

# สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาพฤติกรรมโครงสร้างพื้นของสะพานข้ามคลองทั้งก่อนและหลังการซ่อมแซม

STUDY ON STRUCTURAL BEHAVIOR OF CANAL BRIDGE SLABS

BEFORE AND AFTER REPAIRING



T119436



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... **119436**  
วัน,เดือน,ปี..... **7 S.ค. 2554**

b. 12368647  
i. ....

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

**STUDY ON STRUCTURAL BEHAVIOR OF CANAL BRIDGE SLABS  
BEFORE AND AFTER REPAIRING**



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2010**

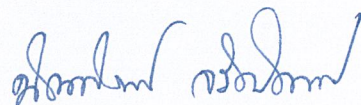
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อ โครงการพิเศษ การศึกษาพฤติกรรมโครงสร้างพื้นสะพานของสะพานข้ามคลองทั้งก่อนและ  
หลังการซ่อมแซม

นักศึกษา นายกฤติน เหล่าประไพพรรณ รหัสประจำตัว 50010040  
นายเกียรติ แสงจันทร์ รหัสประจำตัว 50010146  
นางสาวจริงใจ กุหาวิชานันท์ รหัสประจำตัว 50010191  
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.แหลมทอง เหล่าคงถาวร  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์ อ.ทรงกลด แซ่ฮึง ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร ผศ.แหลมทอง เหล่าคงถาวร	 

สาขาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ผศ.นันทวัฒน์ จรัสโรจนเดช)

ประธานสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 17 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2554

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาพฤติกรรมโครงสร้างพื้นสะพานของสะพานข้ามคลองทั้งก่อนและ  
หลังการซ่อมแซม

นักศึกษา	นายกฤติน	เหล่าประไพพรรณ
	นายเกียรติ	แสงจันทร์
	นางสาวจริงใจ	คูหาวิชานันท์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.แหลมทอง	เหล่าคงถาวร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.อาทิตย์	เพชรศศิธร
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์	
ปีการศึกษา	2553	

## บทคัดย่อ

ในเขตจังหวัดกรุงเทพมหานครมีสะพานข้ามคลองจำนวนมากที่อยู่ในสภาพทรุดโทรม  
ดังนั้นกรุงเทพมหานครจึงได้ดำเนินการปรับปรุงให้ใช้งานได้อย่างปลอดภัย ในงานวิจัยนี้ได้เลือก  
ตัวอย่างสะพานข้ามคลองจำนวน 3 สะพาน มาวิเคราะห์หาค่าการแอ่นตัวในแนวตั้งของพื้นสะพานก่อน  
การซ่อมแซมด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้โปรแกรม sap2000 พบว่าทั้ง 3 สะพานมีระยะการแอ่นตัว  
4.28 mm, 1.12 mm และ 2.225 mm จากนั้นได้มีการทดสอบสะพานหลังการซ่อมแซมด้วยวิธีทดสอบ  
โดยการรับน้ำหนักบรรทุกจริง โดยการนำรถบรรทุกสี่ล้อน้ำหนัก 25 ตันมาวิ่งบนสะพานทั้งการ  
ทดสอบแบบสถิตย์และการทดสอบแบบพลวัต จากการทดสอบแบบสถิตย์ พบว่าทั้ง 3 สะพาน มีระยะ  
แอ่นตัว 1.083 mm, 0.697 mm และ 0.618 mm และทราบค่าความเครียดของพื้นสะพานเมื่อรถบรรทุกมา  
จอดนิ่ง ณ ตำแหน่งต่างๆ จากการทดสอบแบบพลวัต โดยการนำรถบรรทุกมาวิ่งผ่านที่ความเร็วต่างๆกัน  
ทำให้ทราบว่า ความเร็วและน้ำหนักบรรทุกมีผลต่อค่าความเร่งของพื้นสะพาน พบว่า ถ้าความเร็วและ  
น้ำหนักบรรทุกมีค่ามาก จะทำให้ค่าความเร่งของพื้นสะพานมากขึ้นตามไปด้วย

Project Title : STUDY ON STRUCTURAL BEHAVIOR OF CANAL BRIDGE SLABS  
BEFORE AND AFTER REPAIRING

Name : MR.GRIDTIN LAOPRAPAI PAN  
MR.KIAT SAENGCHAN  
MISS.JINGJAI KUHAVICHANAN

Field : CIVIL ENGINEERING

Department : CIVIL ENGINEERING

Faculty : ENGINEERING

Project Advisor : ASST. PROF. LAEMTHONG LAOKHONGTHAVON

Project Co-Advisor: Dr. ARTHIT PETCHSASITHON

## ABSTRACT

In Bangkok area, there are a lot of canal bridges in disrepair. So the Bangkok Metropolitan decided to renovate them to use safely. This research had sampled three canal bridges which were analyzed to find the vertical deflection of slab before repairing, by using SAP2000. It shown that the deflection of bridges are 4.28 mm, 1.12 mm and 2.225 mm. Then these bridges were tested static and dynamic load test after repairing. The testing was done by using 25 tons weight, ten-wheel truck ran on the bridge. Result of static load test shows that deflection are 1.083 mm, 0.697 mm and 0.618 mm and strain of each observed locations of bridge when the truck parked at those locations. From dynamic load test, it express that speed and weight of ran vehicles influence to the acceleration of bridge slab. Higher the speed and heavier weight make higher acceleration of slab bridge as well.

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษ ขอกล่าวขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับความอนุเคราะห์ของอาจารย์แหลมทอง เหล่าคงถาวร ในการเป็นที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ ท่านได้ให้ความเมตตาต่างๆ เริ่มตั้งแต่ในการเตรียมงานขั้นต้นของโครงการพิเศษ และตลอดทุกช่วงเวลาทำงาน จนกระทั่งโครงการพิเศษนี้เสร็จสิ้นลงด้วยดี ทั้งให้คำแนะนำและแนะแนวทางในการทำโครงการพิเศษ ไม่ว่าจะเป็นการให้สัมภาษณ์เพื่อใช้ศึกษาในการทำโครงการพิเศษ ช่วยสอนและอธิบายถึงเนื้อหาความรู้ที่จำเป็นในการทำงาน พร้อมทั้งให้คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ในการทำงาน ซึ่งทางคณะผู้จัดทำถือเป็นประสบการณ์อันมีค่าที่ได้รับจากการจัดทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบคุณ ท่านอาจารย์อาทิตย์ เพชรศศิธร ที่ให้การดูแลในการเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ร่วม และคอยให้คำแนะนำพร้อมทั้งข้อเสนอแนะในการทำโครงการพิเศษ มิเช่นนั้น โครงการพิเศษนี้อาจไม่สามารถสำเร็จได้อย่างสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ท่านอาจารย์สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์และท่านอาจารย์ทรงกลด แซ่ฮึ้ง ที่สละเวลาอันมีค่าของท่านเพื่อมาทำหน้าที่ในฐานะกรรมการสอบโครงการพิเศษนี้ คณะผู้จัดทำรู้สึกเป็นเกียรติอย่างสูง ที่ได้รับคำชี้แนะและข้อเสนอแนะต่างๆ ที่ท่านอาจารย์ทั้งสองได้มอบให้ คณะผู้จัดทำจะจดจำและนำคำแนะนำเหล่านั้น ไปประยุกต์ใช้ในวิชาชีพวิศวกรรมโยธา เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ขอขอบคุณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การต้อนรับอย่างอบอุ่น และสั่งสอนสิ่งต่างๆ แก่คณะผู้จัดทำตลอดสี่ปีที่ผ่านมา เพื่อจบออกไปเป็นบุคลากรที่มีคุณภาพทั้งในด้านความคิดและจริยธรรม

ท้ายที่สุดนี้ ขอขอบพระคุณความรักและความกรุณา ค่อบุพการีและครอบครัวที่อบอุ่นของคณะผู้จัดทำ ที่ให้ความรักและการเลี้ยงดู จนทำให้คณะผู้จัดทำมีทุกวันนี้ได้

นายกฤติน                      เหล่าประไพพรรณ

นายเกียรติ                      แสงจันทร์

นางสาวจริงใจ                      กุหาวิชานันท์

# สารบัญ

บทที่ เรื่อง	หน้า
ปกใน (ภาษาไทย)	ก
ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
หน้าอนุมัติ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฐ
สารบัญรูป	ฑ
1 บทนำ	
1.1. ความเป็นมา	1
1.2. ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.3. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	4
1.4. ขอบเขตของโครงการวิจัย	5
1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
2 วรรณกรรมปริทัศน์	
2.1. ชนิดของสะพาน	7
2.2. ลักษณะการใช้งานสะพาน	8
3 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
3.1. การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกจริงหลังการปรับปรุงสะพาน	12
3.2. การทดสอบภายใต้น้ำหนักบรรทุกแบบสถิตย์	12
3.3. การทดสอบภายใต้น้ำหนักบรรทุกแบบพลวัต	15
3.4. การวางน้ำหนักและติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ	16

# สารบัญ

บทที่ เรื่อง	หน้า
3.4.1 การวางน้ำหนักทดสอบ	16
3.5. ขั้นตอนการตรวจวัด	17
3.5.1. การตรวจวัดสำหรับการทดสอบน้ำหนักบรรทุกแบบสถิตย์	17
3.5.2. การตรวจวัดสำหรับการทดสอบน้ำหนักบรรทุกแบบพลวัต	18
3.6. เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการตรวจวัด	18
3.6.1. อุปกรณ์สำหรับการตรวจวัด	18
3.6.2. อุปกรณ์สำหรับการแปลงผลสัญญาณและบันทึกค่า	18
3.6.3. เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการตรวจวัด	19
3.6.3.1. อุปกรณ์สำหรับการตรวจวัด (Sensor Unit) ได้แก่	19
3.6.3.2. อุปกรณ์สำหรับการแปลงผลสัญญาณและบันทึกค่า (Data Acquisition Unit) ทำหน้าที่รับสัญญาณ	19
3.7. การวิเคราะห์โครงสร้างสะพานด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method)	19
3.7.1. สมการควบคุมการวิเคราะห์	20
3.7.1.1. สมการสถานะสมดุล (Equilibrium equations)	20
3.7.1.2. สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดของวัสดุ (Stress-strain relationship)	21
3.7.1.3. ความต่อเนื่องของการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และเงื่อนไข ขอบเขต (Compatibility and Boundary conditions)	21
3.7.2. ประเภทของการวิเคราะห์	22
3.8. การทดสอบอื่นๆ	22
3.8.1. การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Compressive Strength) ด้วยวิธี Core Drilling	22
3.8.1.1. ขั้นตอนและวิธีการทดสอบ	23
3.8.2. การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโดยใช้ Rebound Hammer	24

# สารบัญ

บทที่ เรื่อง	หน้า
3.8.2.1. ขั้นตอนและวิธีการทดสอบ	24
3.8.3. การทดสอบหาค่าการเสื่อมสภาพของคอนกรีตเนื่องจากปฏิกิริยา Carbonation และ Chloride Attack	26
<b>4 ขั้นตอนการทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพานข้ามคลอง</b>	
4.1. การทดสอบแบบสถิตย์ (Static Load Test)	28
4.2. การทดสอบแบบพลวัต (Dynamic Load Test)	30
4.3. ขั้นตอนการตรวจวัด	30
4.3.1. การตรวจวัดสำหรับการทดสอบน้ำหนักบรรทุกแบบสถิตย์	31
4.3.2. การตรวจวัดสำหรับการทดสอบน้ำหนักบรรทุกแบบพลวัต	31
4.4. เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการตรวจวัด	32
4.4.1. อุปกรณ์สำหรับการตรวจวัด (Sensor Unit)	32
4.4.1.1. Strain Gauge	32
4.4.1.2 Displacement Transducer	35
4.4.1.3. Accelerometer	37
4.4.2. อุปกรณ์สำหรับการแปลงผลสัญญาณและบันทึกค่า (Data Acquisition Unit)	38
4.4.3. อุปกรณ์อื่นๆ	39
<b>5 ผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกจริงของสะพานข้ามคลอง</b>	
5.1. ผลการทดสอบ Load Test คลองตาแป้น	41
5.1.1. ข้อมูลรถที่ใช้ในการทดสอบ	41
5.1.2. บันทึกตำแหน่งเซนเซอร์	42
5.1.3. เทียบไป จาก บางแค ไป ราชพฤกษ์	44
5.1.3.1. สัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge	44
5.1.3.2. สัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer	52

# สารบัญ

บทที่ เรื่อง	หน้า
5.1.3.3. สัญญาณที่ได้รับจาก Displacement Transducer	54
5.1.4. เทียบกลับ จาก ราชพฤกษ์ กลับ บางแค	57
5.1.4.1. สัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge	57
5.1.4.2. สัญญาณที่ได้จาก Accelerometer	64
5.1.4.3. สัญญาณที่ได้จาก Displacement Transducer	67
5.2. ผลการทดสอบ Load Test คลองตาน้ำ	70
5.2.1. ข้อมูลรถที่ใช้ในการทดสอบ	70
5.2.2. บันทึกตำแหน่งเซนเซอร์	71
5.2.3. เทียบไป จาก บางแค ไป ราชพฤกษ์	73
5.2.3.1. สัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge	73
5.2.3.2. สัญญาณที่ได้จาก Accelerometer	77
5.2.3.3. สัญญาณที่ได้จาก Displacement Transducer	79
5.2.4. เทียบกลับ จาก ราชพฤกษ์ ไป บางแค	81
5.2.4.1. สัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge	81
5.2.4.2. สัญญาณที่ได้จาก Accelerometer	86
5.2.4.3. สัญญาณที่ได้จาก Displacement Transducer	88
5.3. ผลการทดสอบ Load Test คลองบางระเนาะ	90
5.3.1. ข้อมูลรถที่ใช้ในการทดสอบ	90
5.3.2. บันทึกตำแหน่งเซนเซอร์	91
5.3.3. เทียบไป จาก บางแค ไป ราชพฤกษ์	93
5.3.3.1. สัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge	93
5.3.3.2. สัญญาณที่ได้จาก Accelerometer	97
5.3.3.3. สัญญาณที่ได้จาก Displacement Transducer	98
5.3.4. เทียบกลับ จาก ราชพฤกษ์ ไป บางแค	100
5.3.4.1. สัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge	100
5.3.4.2. สัญญาณที่ได้จาก Accelerometer	104

# สารบัญ

บทที่ เรื่อง	หน้า
5.5. ผลการทดสอบแบบ Dynamic คลองตาเป็น	105
5.5.1. รถวิ่ง 2 คัน ด้วยอัตราเร็ว 20 km/hr	105
5.5.2. รถวิ่ง 2 คัน ด้วยอัตราเร็ว 40 km/hr	106
5.5.3. รถวิ่ง 1 คัน ด้วยอัตราเร็ว 45 km/hr	109
5.6. ผลการทดสอบแบบ Dynamic คลองตาน้ำ	110
5.6.1. รถวิ่ง 1 คัน ด้วยอัตราเร็ว 20 km/hr	110
5.6.2. รถวิ่ง 1 คัน ด้วยอัตราเร็ว 40 km/hr	111
5.6.3. รถวิ่ง 1 คัน ด้วยอัตราเร็ว 60 km/hr	112
5.7. ผลการทดสอบแบบ Dynamic คลองบางระแนง	113
5.7.1. รถวิ่ง 1 คัน ด้วยอัตราเร็ว 20 km/hr	113
5.7.2. รถวิ่ง 1 คัน ด้วยอัตราเร็ว 40 km/hr	114
5.7.2. รถวิ่ง 1 คัน ด้วยอัตราเร็ว 40 km/hr	115
<b>6 การวิเคราะห์โครงสร้างสะพานโดยใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์</b>	<b>116</b>
6.1. การสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์	116
6.2. น้ำหนักและมิติของรถทดสอบในแบบจำลอง	117
6.2.1. แบบจำลองของสะพานข้ามคลองตาเป็น	117
6.2.2. แบบจำลองของสะพานข้ามคลองตาน้ำ	119
6.2.3. แบบจำลองของสะพานข้ามคลองบางระแนง	121
<b>สรุป</b>	<b>123</b>
<b>บรรณานุกรม</b>	<b>124</b>

# สารบัญ

บทที่ เรื่อง

หน้า

ภาคผนวก ก.

การทดสอบภาคสนาม

ภาคผนวก ข.

ผลการทดสอบหาค่าลึงค์ประลัยคอนกรีต โดยการกดแท่งคอนกรีตตัวอย่าง

ภาคผนวก ค.

แบบสะพาน



# สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
5.1.	บันทึกเวลาการทดสอบคลองตาแป้น	41
5.2.	ตารางบันทึกตำแหน่งเซนเซอร์คลองตาแป้น	42
5.3.	บันทึกเวลาการทดสอบคลองตาน้ำ	70
5.4.	ตารางบันทึกตำแหน่งเซนเซอร์คลองตาน้ำ	71
5.5.	บันทึกเวลาการทดสอบคลองบางระเนาะ	90
5.6.	ตารางบันทึกตำแหน่งเซนเซอร์คลองบางระเนาะ	91
6.1.	แสดงค่าการแอ่นตัวในแนวตั้งของสะพาน	122



# สารบัญรูป

รูปที่ ชื่อรูป	หน้า
2.1. ค่อม่อฐานรากแผ่	9
2.2. ค่อม่อฐานแผ่	9
2.3. ค่อม่อเสาตอก	10
2.4. ค่อม่อเสาตอก	10
2.5. REINFORCED CONCRETE SLAB TYPE	11
2.6. REINFORCED CONCRETE SLAB-GIRDER TYPE	11
2.7. PRECAST BOX GIRDER TYPE	11
2.8. PRECAST I-GIRDER TYPE	11
3.1. การจัดระยะหยุครถสำหรับสะพานที่มีช่วงยาวตั้งแต่ 10 เมตรขึ้นไป	13
3.2. การจัดระยะหยุครถสำหรับสะพานที่มีช่วงยาวไม่ถึง 10 เมตร	14
3.3. แสดงพฤติกรรมการเสียรูปของโครงสร้างสะพานเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกที่ตำแหน่งต่างๆบนสะพาน	14
3.4. แสดงพฤติกรรมการเสียรูปของโครงสร้างสะพานเนื่องจากการเคลื่อนที่ของรถบรรทุกทดสอบ	15
3.5. แสดงลักษณะรถบรรทุกของไทย (Thai Truck Load)	16
3.6. แสดงลักษณะรถบรรทุกตามมาตรฐาน AASHTO HS 20-44	16
3.7. แสดงการวัดระยะแอนท์ที่กึ่งกลางช่วงเมื่อรถหยุดที่ตำแหน่งต่างๆ	17
3.8. แสดงอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่าง Core Drilling	23
3.9. ตัวอย่างอุปกรณ์ Rebound Hammer	24
3.10. แสดงตำแหน่งการทดสอบ 16 จุด ของการทดสอบ Rebound Test	25
3.11. ตาราง Rebound Number	26
3.12. แสดงตารางมาตรฐานอ้างอิงที่ใช้ในการทดสอบวัสดุ	27
4.1. การจัดระยะหยุครถสำหรับสะพานที่มีช่วงยาวตั้งแต่ 10 เมตรขึ้นไป	29
4.2. การจัดระยะหยุครถสำหรับสะพานที่มีช่วงยาวไม่ถึง 10 เมตร	29
4.3. ภาพแสดงตำแหน่งวางแท่งไม้ที่ระยะ L/2	30

# สารบัญรูป

รูปที่ ชื่อรูป	หน้า
4.4. แสดงการวัดระยะแอนท์กึ่งกลางช่วงเมื่อรุดหยุดที่ตำแหน่งต่างๆ	31
4.5. Strain Gauge สำหรับติดบนผิวคอนกรีต	32
4.6. Data Sheet ของ Strain Gauge สำหรับติดบนผิวคอนกรีต	33
4.7. Strain Gauge สำหรับติดบนผิวแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์	33
4.8. Data Sheet ของ Strain Gauge สำหรับติดบนผิวคาร์บอนไฟเบอร์	34
4.9. Gauge Terminal	34
4.10. แสดงตัวอย่างการติด Gauge Terminal เข้ากับ Strain Gauge	35
4.11. Displacement Transducer สำหรับวัดระยะการแอนตัวในแนวตั้งของโครงสร้างพื้นสะพาน	35
4.12. Test Data Sheet ของ Displacement Transducer สำหรับวัดระยะการแอนตัวในแนวตั้ง	36
4.13. Displacement Transducer สำหรับวัดระยะการเคลื่อนตัวของคานสะพาน	36
4.14. Test Data Sheet ของ Displacement Transducer สำหรับวัดระยะการเคลื่อนตัวของคานสะพาน	37
4.15. Accelerometer และทิศทาง	37
4.16. Test Data Sheet ของ Accelerometer	38
4.17. อุปกรณ์สำหรับการแปลงผลสัญญาณและบันทึกค่า (Data Acquisition Unit)	38
4.18. คอมพิวเตอร์สำหรับแสดงค่าจาก Data Acquisition Unit	39
4.19. กาวชนิดพิเศษสำหรับติดตั้ง Strain Gauge และ Accelerometer	39
4.20. Bridge Box ที่ใช้รับสัญญาณจาก Strain Gauge	40
5.1. แสดงระยะช่วงต่างๆของรถบรรทุกสิบล้อ	41
5.2. รูปแสดงตำแหน่งติดเซนเซอร์คลองตาเป็น	43
5.3. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็นขาไป CH1	44
5.4. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็นขาไป CH2	44

# สารบัญรูป

รูปที่ ชื่อรูป	หน้า
5.5. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH3	44
5.6. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH4	45
5.7. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH5	45
5.8. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH6	45
5.9. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH7	46
5.10. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH8	46
5.11. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH9	46
5.12. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH10	47
5.13. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH11	47
5.14. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH12	47
5.15. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH13	48
5.16. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH14	48
5.17. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH15	48

# สารบัญรูป

รูปที่ ชื่อรูป	หน้า
5.18. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH16	49
5.19. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH17	49
5.20. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH18	49
5.21. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH19	50
5.22. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH20	50
5.23. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH21	50
5.24. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH22	51
5.25. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH23	51
5.26. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH24 (แกน X)	52
5.27. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH25 (แกน Y)	52
5.28. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH26 (แกน Z)	53
5.29. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH27	54
5.30. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH28	54
5.31. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH29	55
5.32. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH30	55
5.33. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH31	56

# สารบัญรูป

รูปที่ ชื่อรูป	หน้า
5.34. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ซากลับ CH1	57
5.35. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ซากลับ CH2	57
5.36. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ซากลับ CH3	58
5.37. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ซากลับ CH4	58
5.38. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ซากลับ CH5	58
5.39. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ซากลับ CH6	59
5.40. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ซากลับ CH7	59
5.41. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ซากลับ CH8	59
5.42. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ซากลับ CH9	60
5.43. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ซากลับ CH10	60
5.44. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ซากลับ CH11	60
5.45. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ซากลับ CH32	61
5.46. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ซากลับ CH13	61

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
5.47.	กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขากลับ CH14	61
5.48.	กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขากลับ CH15	62
5.49.	กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขากลับ CH16	62
5.50.	กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขากลับ CH17	62
5.51.	กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขากลับ CH18	63
5.52.	กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขากลับ CH19	63
5.53.	กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขากลับ CH20	63
5.54.	กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขากลับ CH21	64
5.55.	กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขากลับ CH22	64
5.56.	กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขากลับ CH23	64
5.57.	กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH24 (แกน X)	65
5.58.	กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH25 (แกน Y)	65
5.59.	กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH26 (แกน Z)	66
5.60.	กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH27	67
5.61.	กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH28	67
5.62.	กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH29	68

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
5.63.	กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH30	68
5.64.	กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH31	69
5.65.	แสดงระยะช่วงต่างๆของรถบรรทุกสิบล้อ	70
5.66.	รูปแสดงตำแหน่งติดตั้งเซ็นเซอร์สะพานข้ามคลองตาน้ำ	72
5.67.	กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาน้ำ ขาไป CH1-2	73
5.68.	กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาน้ำ ขาไป CH3-4	73
5.69.	กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาน้ำ ขาไป CH5-6	73
5.70.	กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาน้ำ ขาไป CH7-8	74
5.71.	กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาน้ำ ขาไป CH9-10	74
5.72.	กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาน้ำ ขาไป CH11-12	74
5.73.	กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาน้ำ ขาไป CH13-14	75
5.74.	กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาน้ำ ขาไป CH15	75
5.75.	กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาน้ำ ขาไป CH16-17	75
5.76.	กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาน้ำ ขาไป CH18-19	76
5.77.	กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาน้ำ ขาไป CH20-21	76

# สารบัญรูป

รูปที่ ชื่อรูป	หน้า
5.78. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาน้ำ ขาไป CH22-23	76
5.79. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH24 (แกน X)	77
5.80. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH25 (แกน Y)	77
5.81. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH26 (แกน Z)	78
5.82. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH27-28	79
5.83. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH29-30	79
5.84. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH31	80
5.85. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาน้ำ ขากลับ CH1-2	81
5.86. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาน้ำ ขากลับ CH3-4	81
5.87. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาน้ำ ขากลับ CH5-6	82
5.88. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาน้ำ ขากลับ CH7-8	82
5.89. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาน้ำ ขากลับ CH9-10	82
5.90. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาน้ำ ขากลับ CH11-12	83
5.91. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาน้ำ ขากลับ CH13-14	83

# สารบัญรูป

รูปที่ ชื่อรูป	หน้า
5.92. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาฉ่ำ ขากลับ CH15	83
5.93. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาฉ่ำ ขากลับ CH16-17	84
5.94. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาฉ่ำ ขากลับ CH18-19	84
5.95. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาฉ่ำ ขากลับ CH20-21	84
5.96. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาฉ่ำ ขากลับ CH22-23	85
5.97. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH24 (แกน X)	86
5.98. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH25 (แกน Y)	86
5.99. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH26 (แกน Z)	87
5.100. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH27	88
5.101. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH28-29	88
5.102. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH30-31	89
5.103. แสดงระยะช่วงต่างๆของรถบรรทุกสิบล้อ	90
5.104. รูปแสดงตำแหน่งติดตั้งเซ็นเซอร์ของสะพานข้ามคลองบางระแนะ	92
5.105. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระแนะ ขาไป CH1-2	93
5.106. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระแนะ ขาไป CH3-4	93
5.107. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระแนะ ขาไป CH5-6	93

# สารบัญรูป

รูปที่ ชื่อรูป	หน้า
5.108. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ ขาไป CH7-8	94
5.109. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ ขาไป CH9-10	94
5.110. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ ขาไป CH11-12	94
5.111. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ ขาไป CH13-14	95
5.112. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ ขาไป CH15-16	95
5.113. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ ขาไป CH17-18	95
5.114. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ ขาไป CH19-20	96
5.115. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ ขาไป CH21-22	96
5.116. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ ขาไป CH23	96
5.117. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH24 (แกน X)	97
5.118. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH25 (แกน Y)	97
5.119. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH26 (แกน Z)	97
5.120. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH27	98
5.121. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH28	98
5.122. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH29	98
5.123. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH30	99

# สารบัญรูป

รูปที่ ชื่อรูป	หน้า
5.124. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH31	99
5.125. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ ชากลับ CH1-2	100
5.126. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ ชากลับ CH3-4	100
5.127. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ ชากลับ CH5-6	100
5.128. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ ชากลับ CH7-8	101
5.129. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ ชากลับ CH9-10	101
5.130. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ ชากลับ CH11-12	101
5.131. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ ชากลับ CH13-14	102
5.132. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ ชากลับ CH15-16	102
5.133. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ ชากลับ CH17-18	102
5.134. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ ชากลับ CH19-20	103
5.135. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ ชากลับ CH21-22	103

# สารบัญรูป

รูปที่ ชื่อรูป	หน้า
5.136. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ ขากลับ CH23	103
5.137. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH24 (แกน X)	104
5.138. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH25 (แกน Y)	104
5.139. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับ Accelerometer CH26 (แกน Z)	104
5.140. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH27	105
5.141. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH28	105
5.142. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH29	105
5.143. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH30	106
5.144. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH31	106
5.145. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ณ คลองตาแป้น ด้วยอัตราเร็ว 20 km./hr. ในแนวแกน X	107
5.145. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ณ คลองตาแป้น ด้วยอัตราเร็ว 20 km./hr. ในแนวแกน Y	107
5.147. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ณ คลองตาแป้น ด้วยอัตราเร็ว 20 km./hr. ในแนวแกน Z	107
5.148. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ณ คลองตาแป้น ด้วยอัตราเร็ว 40 km./hr. ในแนวแกน X	108
5.149. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ณ คลองตาแป้น ด้วยอัตราเร็ว 40 km./hr ในแนวแกน Y	108
5.150. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ณ คลองตาแป้น ด้วยอัตราเร็ว 40 km./hr. ในแนวแกน Z	108
5.151. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ณ คลองตาแป้น ด้วยอัตราเร็ว 45 km./hr. ในแนวแกน X	109
5.152. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ณ คลองตาแป้น ด้วยอัตราเร็ว 45 km./hr. ในแนวแกน Y	109

## สารบัญรูป

รูปที่ ชื่อรูป	หน้า
5.153. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ณ คลองตาเป็น ด้วยอัตราเร็ว 45 km./hr. ในแนวแกน Z	109
5.154. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ณ คลองตาน้ำ ด้วยอัตราเร็ว 20 km./hr. ในแนวแกน X	110
5.155. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ณ คลองตาน้ำ ด้วยอัตราเร็ว 20 km./hr. ในแนวแกน Y	110
5.156. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ณ คลองตาน้ำ ด้วยอัตราเร็ว 20 km./hr. ในแนวแกน Z	110
5.157. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ณ คลองตาน้ำ ด้วยอัตราเร็ว 40 km./hr. ในแนวแกน X	111
5.158. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ณ คลองตาน้ำ ด้วยอัตราเร็ว 40 km./hr. ในแนวแกน Y	111
5.159. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ณ คลองตาน้ำ ด้วยอัตราเร็ว 40 km./hr. ในแนวแกน Z	111
5.160. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ณ คลองตาน้ำ ด้วยอัตราเร็ว 60 km./hr. ในแนวแกน X	112
5.161. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ณ คลองตาน้ำ ด้วยอัตราเร็ว 60 km./hr. ในแนวแกน Y	112
5.162. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ณ คลองตาน้ำ ด้วยอัตราเร็ว 60 km./hr ในแนวแกน Z	112
5.163. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ณ คลองบางระแนะ ด้วยอัตราเร็ว 20 km./hr. ในแนวแกน X	113
5.164. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ณ คลองบางระแนะ ด้วยอัตราเร็ว 20 km./hr. ในแนวแกน Y	113

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
5.165.	กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ณ คลองบางระเนน ด้วยอัตราเร็ว 20 km./hr. ในแนวแกน Z	113
5.166.	กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ณ คลองบางระเนน ด้วยอัตราเร็ว 40 km./hr. ในแนวแกน X	114
5.167.	กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ณ คลองบางระเนน ด้วยอัตราเร็ว 40 km./hr. ในแนวแกน Y	114
5.168.	กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ณ คลองบางระเนน ด้วยอัตราเร็ว 40 km./hr. ในแนวแกน Z	114
5.169.	กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ณ คลองบางระเนน ด้วยอัตราเร็ว 50 km./hr ในแนวแกน X	115
5.170.	กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ณ คลองบางระเนน ด้วยอัตราเร็ว 50 km./hr. ในแนวแกน Y	115
5.171.	กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ณ คลองบางระเนน ด้วยอัตราเร็ว 50 km./hr. ในแนวแกน Z	115
6.1.	แบบจำลอง 3 มิติของสะพานตาเป็น ความยาวช่วง 8 เมตร	116
6.2.	น้ำหนักรถบรรทุกทดสอบที่กระทำกับแบบจำลองคอมพิวเตอร์ ของคลองตาเป็น ที่ระยะ L/3	117
6.3.	น้ำหนักรถบรรทุกทดสอบที่กระทำกับแบบจำลองคอมพิวเตอร์ ของคลองตาเป็น ที่ระยะ L/2	118
6.4.	แสดงการแอ่นตัวในแนวตั้งของพื้นสะพานคลองตาเป็น	118
6.5.	น้ำหนักรถบรรทุกทดสอบที่กระทำกับแบบจำลองคอมพิวเตอร์ ของคลองตาจำ ที่ระยะ L/3	119
6.6.	น้ำหนักรถบรรทุกทดสอบที่กระทำกับแบบจำลองคอมพิวเตอร์ ของคลองตาจำ ที่ระยะ L/2	119

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
6.7.	แสดงการแอนตัวในแนวดิ่งของพื้นสะพานคลองตาน้ำ	120
6.8.	น้ำหนักรถบรรทุกทดสอบที่กระทำกับแบบจำลองคอมพิวเตอร์ ของคลองบางระเนะ ที่ระยะ L/3	121
6.9.	น้ำหนักรถบรรทุกทดสอบที่กระทำกับแบบจำลองคอมพิวเตอร์ ของคลองบางระเนะ ที่ระยะ L/2	121
6.10.	แสดงการแอนตัวในแนวดิ่งของพื้นสะพานคลองบางระเนะ	122



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1. ความเป็นมา

สะพานเป็นส่วนประกอบหนึ่งของระบบการคมนาคมขนส่งทางบกที่มีความสำคัญอย่างมากรองรับการขยายตัวทั้งทางด้านสังคม เศรษฐกิจ และอุตสาหกรรมของประเทศ ความต้องการในการคมนาคมขนส่งนับวันยิ่งจะมีมากขึ้น ดังที่จะเห็น ได้จากมาตรการเพิ่มพิกัดน้ำหนักบรรทุกของทางรัฐบาล ทำให้หน่วยงานที่มีหน้าที่ดูแลรับผิดชอบต้องหาแนวทางในการปรับปรุงหรือเสริมกำลังสะพาน ให้มีความมั่นคงแข็งแรงเพียงพอที่จะรองรับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ได้อย่างมีความปลอดภัย

### 1.2. ความสำคัญและที่มาของปัญหา (Problem Identification)

เนื่องด้วยกรุงเทพมหานครมีสะพานข้ามคลองทั้งหมดมากกว่า 1000 สะพาน ซึ่งสะพานจำนวนมากมีสภาพทรุดโทรม ดังนั้นกรุงเทพมหานครจึงได้ดำเนินการปรับปรุงสะพานข้ามคลองจำนวน 28 สะพาน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสะพานที่ก่อสร้างไว้เมื่อประมาณ 20-40 ปีที่แล้วประกอบกับสภาพการใช้งานที่รถบรรทุกน้ำหนักเกินกว่ากฎหมายกำหนดฝ่าฝืนกฎหมาย งานที่ทำส่วนใหญ่จะเป็นการปรับปรุงสภาพภายนอกให้เหมาะสมแก่การใช้งานได้อย่างปลอดภัย ซึ่งจะต้องมีการตรวจสอบและประเมินสภาพโครงสร้างอย่างละเอียดอีกครั้งก่อน ประกอบกับการที่คณะรัฐมนตรีมีมติผ่อนผันน้ำหนักบรรทุกสิบสองจากเดิม 21 ตัน เป็น 25 ตัน รวมทั้งในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาเหตุการณ์แผ่นดินไหวก็เริ่มถี่คลานมาถึงกรุงเทพมหานคร และมีประกาศใช้กฎหมายต้องออกแบบสิ่งปลูกสร้างเพื่อต้านทานแผ่นดินไหว โดยครอบคลุมทุกพื้นที่ของกรุงเทพมหานครด้วยในอีกไม่ช้านี้ ดังนั้นเพื่อให้การใช้สะพานเกิดความปลอดภัยจากปัจจัยต่างๆข้างต้น กรุงเทพมหานครจึงดำเนินการจัดซ่อมสะพานและเสริมกำลังสะพาน แต่เนื่องจากการตรวจสอบความเสียหายที่ผ่านมาเป็นการตรวจแบบพินิจ เมื่อพบการเสียหายทางกายภาพจะทำการ

ซ่อมแซมสะพานตามสภาพ ส่วนการตรวจสอบความแข็งแรงของ โครงสร้าง กรุงเทพมหานคร ไม่มีเครื่องมือ และความชำนาญที่จะทำการวิเคราะห์และประเมินความสามารถรับน้ำหนักสะพาน กรุงเทพมหานครเห็นว่า สถาบันการศึกษาของรัฐมีผู้เชี่ยวชาญและเครื่องมือในการวิเคราะห์และประเมินความสามารถรับน้ำหนัก สะพานกรุงเทพมหานครจึงกำหนดให้ผู้รับจ้างงานปรับปรุงสะพานข้างสถาบันการศึกษาของรัฐ เพื่อทำการ สำรวจตรวจสอบความเสียหายและประเมินความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกทุกสะพาน พร้อมจัดทำ รายละเอียดสะพานทั้ง 28 สะพาน ดังกล่าวเพื่อนำผลการตรวจสอบไปพิจารณาดำเนินการในขั้นตอนต่อไป และยังเป็นแนวทางการปรับปรุงแก่สะพานต่างๆของกรุงเทพมหานครให้มีอายุการใช้งานยาวนานรองรับ การใช้งานต่อไป

จากข้อกำหนดการจ้างสถาบันการศึกษาในงานจัดซ่อมและเสริมกำลังสะพานข้ามคลองใน พื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยให้ผู้รับจ้างทำการว่าจ้างสถาบันการศึกษาของทางราชการ ที่มีการจดทะเบียนที่ ปรีกษาที่กระทรวงการคลังและมีบุคลากรของสถาบันที่มีใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม สาขาโยธาระดับวุฒิวิศวกร อย่างน้อย 1 คน ดังเช่น จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ฯลฯ เพื่อสำรวจตรวจสอบความเสียหายและประเมินความสามารถรับน้ำหนัก บรรทุกสะพาน พร้อมจัดทำรายละเอียดการเสริมกำลังสะพานซึ่งอาจใช้วัสดุ CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) หรืออื่นๆ ซึ่งทางสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังก็ได้รับ คัดเลือกให้สำรวจความเสียหายของสะพานทั้ง 28 สะพาน ด้วยเช่นกัน โดยมีวัตถุประสงค์ในการทดสอบ เพื่อ

1. ทำการสำรวจตรวจสอบความเสียหายทุกชนิดในทุกชั้นส่วนของ โครงสร้างสะพานพร้อม ทั้งถ่ายภาพประกอบและทำการวินิจฉัยและระบุสาเหตุของความชำรุดพร้อมทั้งอ้างทฤษฎีทางวิศวกรรม โครงสร้างเพื่อยืนยันสาเหตุ และจัดทำแบบก่อสร้าง (Shop Drawing) ระบุตำแหน่งและปริมาณความเสียหาย และวิธีจัดซ่อมลงในแบบ และทำการจัดเรียงลำดับการซ่อมแซมของแต่ละสะพาน และทำการสำรวจหา ขนาดของชิ้นส่วน โครงสร้าง สำรวจหาขนาด จำนวนและหน้าตัดที่เหลื่ออยู่ที่รับน้ำหนักได้ของเหล็กเสริม เดิม ทำการทดสอบวัสดุเพื่อหาค่าลึงวัสดุเดิมเพื่อใช้ประกอบในการออกแบบการเสริมกำลัง Pre Load Test

2.ทำการตรวจสอบ ทดสอบ วิเคราะห์และประเมินความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกของ สะพาน ตามมาตรฐานการทางของสหรัฐอเมริกา (AASHTO) และทำการตรวจสอบถึงความเป็นไปได้เชิง วิศวกรรมและออกแบบการเสริมกำลังโครงสร้าง

3.ทำการวิเคราะห์โครงสร้างและประเมินหาความสามารถในการต้านทานแผ่นดินไหวของ สะพาน และตรวจสอบกับระดับของแผ่นดินไหวที่กำหนดโดยกฎกระทรวง

4.จัดทำรายละเอียดการเสริมกำลังสะพาน เพื่อให้รองรับน้ำหนักบรรทุกของไทย (Thai Truck Load) และ 1.30 เท่าของน้ำหนักบรรทุกตามมาตรฐาน AASHTO HS20-44 รวมไปถึงการทำ ข้อเสนอแนะในการเสริมกำลังสะพานสำหรับต้านทานแผ่นดินไหว

5.ทำการทดสอบการรับน้ำหนักของสะพาน (Load Test) หลังจากจัดซ่อมและเสริมกำลัง สะพานแล้วเสร็จ โดยทำการทดสอบแบบสถิตย์ (Static Load Test) และทดสอบแบบพลวัต (Dynamic Load Test)

6.อบรมให้ความรู้แก่เจ้าหน้าที่ของกรุงเทพมหานคร เพื่อให้เข้าใจหลักการสำรวจตรวจสอบ ความเสียหาย และประเมินการรับน้ำหนักบรรทุกสะพาน หลักการออกแบบการซ่อมแซมและ เสริมกำลัง การวิเคราะห์และการประเมินความต้านทานต่อแรงแผ่นดินไหวของสะพาน การทดสอบการรับ น้ำหนักของสะพาน ตลอดจนการบำรุงรักษาสะพาน

ซึ่งจากวัตถุประสงค์ในการทดสอบจะเห็นว่าทางสถาบันฯจะต้องทำการทดสอบและเก็บ ข้อมูลของสะพานแต่ละสะพาน โดยต้องเก็บข้อมูลจากสภาพจริง ข้อมูลวัสดุ และจะเห็นได้ว่าข้อมูลที่เก็บ จากในสนามทั้งหมดนั้นจะมีเป็นจำนวนมากเนื่องจากการทดสอบและเก็บข้อมูลจากสะพานหลายๆ สะพาน แต่จากการค้นคว้าพบว่ายังไม่มีบุคคลใดนำข้อมูลที่เก็บจริงจากในสนามของทางสถาบันฯไปทำการ วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของ

- Load Test

- Calculation (FEM)

- Material Properties

และทุกท่านคงทราบดีว่าข้อมูลที่ทางสถาบันฯ ได้เก็บรวบรวมเอาไว้มากมายจากการทดสอบในสนามนั้น เป็นข้อมูลซึ่งหาได้ยากซึ่งอาจเนื่องมาจากสาเหตุในด้านต่างๆ เช่น

- ค่าใช้จ่าย เนื่องจากการทดสอบทั้งแบบสถิตย์ (Static Load Test) และการทดสอบแบบ พลวัต (Dynamic Load Test) นั้น ต่างมีค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูง

- เวลา จากการออกแบบและการก่อสร้างสะพานจะพบว่า สะพานที่สร้างขึ้นนั้นล้วนแต่มีความแข็งแรงและคงทน ดังนั้นในการตรวจสอบและเก็บข้อมูลเพื่อซ่อมบำรุงสะพานที่เกิดการชำรุดเสียหาย นั้นอาจต้องรอเป็นเวลานาน และในการเก็บข้อมูลต่างๆเพื่อนำไปวิเคราะห์ก่อนทำการปรับปรุงซ่อมแซม สะพานที่ชำรุดเสียหายก็ต้องใช้เวลาในการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผลเช่นกัน ซึ่งอาจทำให้ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้หลายๆสะพาน

- ความสะดวกในการปฏิบัติงาน เป็นที่ทราบกันดีถึงการจราจรที่หนาแน่นของ กรุงเทพมหานคร ดังนั้นในการปฏิบัติงานเพื่อทำการเก็บข้อมูลของสะพานนั้นจะทำได้ยากลำบาก และเกิดผลกระทบต่อจราจรมากมาย

จากข้อมูลซึ่งทางสถาบันฯ ได้เก็บรวบรวมไว้ จึงเป็นโอกาสที่ดีที่จะได้นำเอาผลการทดสอบ บางส่วนมาวิเคราะห์เพื่อให้เกิดประโยชน์ในการศึกษาต่อไป

### 1.3. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อเป็นการเปรียบเทียบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของสะพานข้ามคลอง คอนกรีตเสริมเหล็กจำนวน 8 สะพาน ในเขตกรุงเทพมหานคร โดยการทดสอบด้วยวิธีการรับน้ำหนักบรรทุกจริง (Load Test) กับการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงสร้างสะพานด้วยวิธี Finite Element Method (FEM) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

#### 1.4. ขอบเขตของโครงการวิจัย

- สะพานข้ามคลองคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีพื้นที่อยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร จำนวน 8 สะพาน
- ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงตามตามมาตรฐานการทางของสหรัฐอเมริกา (AASHTO)

#### 1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- เพื่อให้ทราบว่าคุณค่าที่ได้จากการทดสอบแบบสถิตย์กับวิธีไฟในต้อลิเมนต์เหมือนหรือต่างกันอย่างไร เพราะอะไร
- เป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัย เลือกตัวแปรที่จะศึกษา ออกแบบการวิจัย สร้างเครื่องมือ วิเคราะห์ข้อมูล แปรผล สรุปผล และเขียนรายงานการวิจัย ตลอดจนการนำผลการวิจัยไปใช้ในการต่อยอดทางการวิจัยใหม่ๆต่อไป

## บทที่ 2

### วรรณกรรมปริทัศน์

L.Fryba และ M. Pimer (2001) ได้ทำการศึกษาเรื่อง การทดสอบการรับน้ำหนักและการวิเคราะห์สะพาน โดยอธิบายว่าได้มีการทดสอบสะพานเป็นระยะเวลายาวนานทั้งการทดสอบแบบสถิตย์และการทดสอบแบบพลวัต ซึ่งได้ดำเนินการทดสอบในประเทศ Czech และ Slovak Republics ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1968 วิธีมาตรฐาน ได้ถูกเสริมกับหลักเกณฑ์สำหรับการยืดหยุ่น รูปร่างที่ถาวร ความถี่โดยธรรมชาติ และปัจจัยการปะทะแบบพลวัต ติดตามค่าความเค้นในสภาพการจราจรปกติซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับความล้มเหลวของสะพาน สำหรับการประมาณค่าระยะเวลาที่เหลือที่สามารถใช้งาน และสำหรับการกำหนดช่วงเวลาในการตรวจสอบ การวิเคราะห์และการระบุคุณสมบัติเฉพาะตัวของสะพานจากการตอบสนองของตัวสะพาน ความเสียหายในสะพานอาจจะสะท้อนให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงความถี่โดยธรรมชาติหรือการสั่นสะเทือนโดยธรรมชาติ

Mostafiz R. Chowdhury และ James C. Ray (2003) ได้ทำการศึกษาเรื่อง Accelerometers สำหรับการทดสอบการรับน้ำหนักของสะพาน โดยอธิบายขั้นตอนการทดสอบการรับน้ำหนักโดยใช้ Accelerometers และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับการทดสอบแบบเดิมที่ใช้ข้อมูลจาก strain-gauge จากนั้นให้โหลดกับสะพานตามความสามารถของคานขนาดใหญ่ที่สำคัญสำหรับรับกำลังที่ได้กำหนดไว้ล่วงหน้า ผลที่ได้พบว่าการใช้ Accelerometers นั้นสะดวกที่จะดึงข้อมูลของสะพานได้อย่างอิสระจากเงื่อนไขทางกายภาพ การประยุกต์ใช้ Accelerometers สามารถเพิ่มการวัดและการตอบสนองของการแตกของสะพานคอนกรีต ซึ่งขั้นตอนที่นำเสนอมีประโยชน์ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของสะพานในแต่ละช่วงเวลาและวัดประสิทธิภาพในการเคลื่อนตัวของสะพานโดยเปรียบเทียบทั้งก่อนและหลังการซ่อมแซม

กิตติ จิวโพธิ์เจริญ (2009) ได้ศึกษาน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยและอายุการใช้งานของโครงสร้างสะพานแบบแผ่นพื้น โดยสะพานมีความยาวช่วงระหว่าง 5-10 เมตร ได้ทำการหาน้ำหนักของรถบรรทุกโดยการทดสอบแบบเคลื่อนที่โดยทำการทดสอบ 2 วิธีคือ เปรียบเทียบระหว่างรถบรรทุกทดสอบ

กับการชั่งน้ำหนักที่ด้านข้างซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลจากสภาพการจราจรจริงจากรถบรรทุก 10 ล้อ 2000 คัน รถบรรทุกกึ่งพ่วง 500 คัน และรถบรรทุกพ่วง 500 คัน จากการเก็บข้อมูลพบว่ามียานยนต์ถึง 29% ที่บรรทุกน้ำหนักเกินพิกัดที่กฎหมายกำหนด และเมื่อนำค่าที่ได้มาประเมินความสามารถของสะพานโดยเทียบกับมาตรฐานของสมาคมทางหลวงและขนส่งแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (AASHTO) ทำให้ทราบว่าถึงแม้ว่าสะพานจะต้องรับน้ำหนักบรรทุกเกินกำหนดแต่ก็ยังสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้โดยยังไม่วิบัติในทันที แต่จะทำให้สะพานชำรุดเสียหายและมีอายุการใช้งานที่สั้นลง นอกจากนี้ยังพิจารณาการเสื่อมสภาพของของสะพานอันเนื่องมาจากการเกิดสนิมในเหล็กเสริม โดยพิจารณาผลจากคลอไรด์และผลจากคาร์บอนชั้น โดยพบว่าสะพานที่ใกล้ชายฝั่งทะเลต้องมีการซ่อมบำรุงภายในระยะเวลา 30 ปี ส่วนผลของคาร์บอนชั้นพบว่าสะพานยังคงใช้งานได้นานตามตามมาตรฐานการออกแบบสะพาน

รัฐภูมิ ภูมมา (2009) ได้นำเสนอวิธีการตรวจสอบสภาพและประเมินกำลังรับน้ำหนักของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยทำการเลือกตัวอย่างสะพานที่มีปัญหาการเสื่อมสภาพจากสภาวะแวดล้อม และจากการที่ต้องมีน้ำหนักบรรทุกสัญจรผ่านไปมา โดยใช้การตรวจสอบด้วยสายตาในการชี้วัดการเสื่อมสภาพ และทำการทดสอบแบบไม่ทำลาย นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบกำลังการรับน้ำหนักบรรทุกจริง พร้อมทั้งมีการทดสอบทางวัสดุ โดยนำผลที่ได้มาประเมินพฤติกรรมและกำลังของโครงสร้างสะพานที่เสื่อมสภาพ ซึ่งผลการทดสอบพบว่าค่าดัชนีชี้วัดการเสื่อมสภาพอยู่ในช่วง 4-9 การทดสอบด้วยอุปกรณ์ UPV ให้ผลที่สอดคล้องของการเสื่อมสภาพของสะพานมากกว่า Rebound Hammer

## 2.1. ชนิดของสะพาน

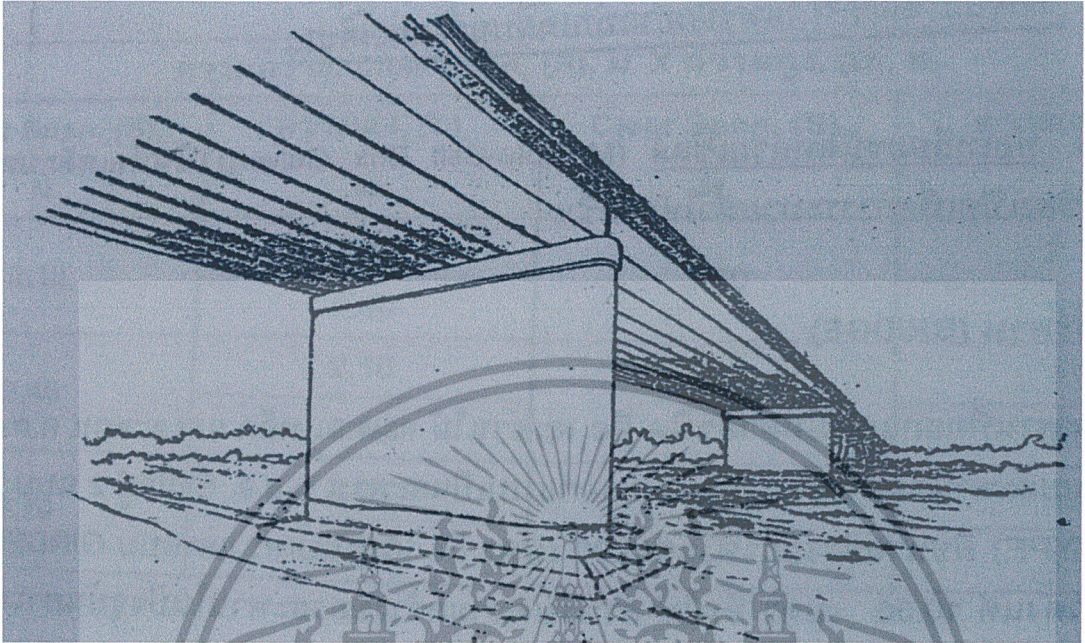
สะพานที่ออกแบบมีหลายชนิด คือ สะพานไม้ สะพานเหล็ก และสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่ในปัจจุบันการออกแบบสะพานของกรมทางหลวงจะออกแบบเป็นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบแผ่นพื้น (SLAB TYPE) มีขนาดช่วงยาวตั้งแต่ 5.00 เมตร ถึง 10.00 เมตร และแบบ GIRDER TYPE ซึ่งมีขนาดช่วงยาวตั้งแต่ 10.00 เมตร ขึ้นไป สำหรับความกว้างของสะพานในปัจจุบัน การออกแบบความกว้างของสะพานจะให้มีความกว้างเท่ากับความกว้างของคันทางไม่มีทางเข้า สำหรับทาง

หลวงนอกเมือง สำหรับสะพานที่จะออกแบบในบริเวณย่านชุมชนความกว้างของสะพานจะกว้างตั้งแต่ 7.00 เมตร ขึ้นไป และมีทางเท้ากว้างข้างละ 1.00 เมตร – 1.50 เมตร

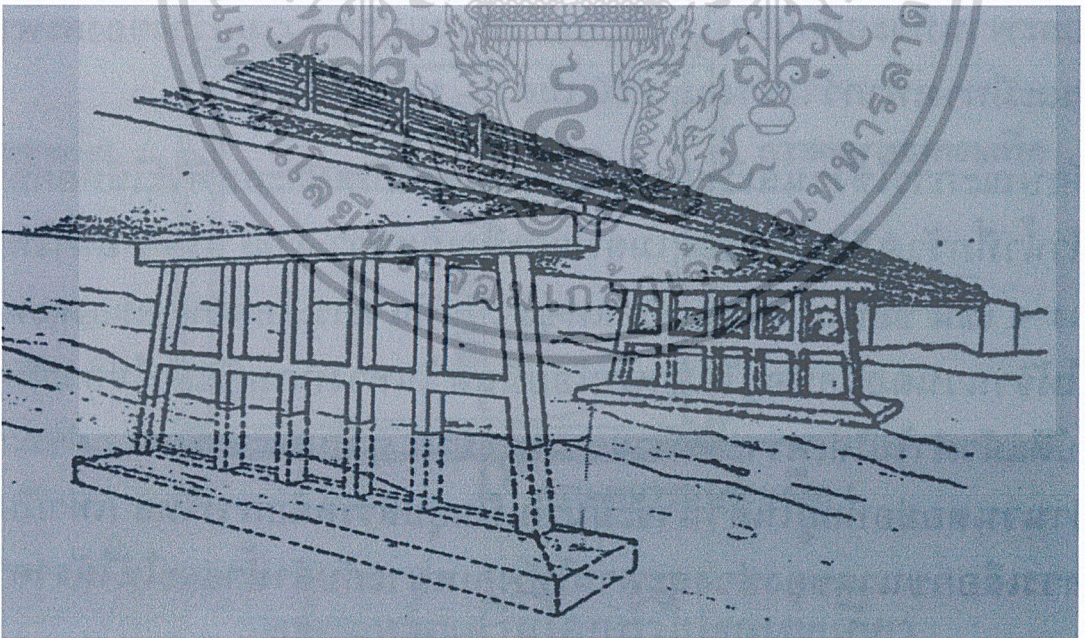
## 2.2. ลักษณะการใช้งานสะพาน

ลักษณะการใช้งานสะพาน ใช้ในลำน้ำซึ่งไม่เหมาะสมที่จะใช้ท่อกลมหรือท่อเหลี่ยม สะพานควรใช้ในลำน้ำที่กว้างเกินกว่า 10 เมตร และลึกเกินกว่า 4.00 เมตร มีน้ำไหลตลอดปี มีเรือวิ่ง และมีสิ่งลอยน้ำต่างๆ เช่น ขอนไม้ กิ่งไม้ หรือแพซุง เป็นต้น การเลือกขนาดของสะพานจะต้องให้ยาวพอ และพยายามให้จำนวนตอม่อที่อยู่ในลำน้ำน้อยที่สุด ในทางทฤษฎีแล้วไม่ควรมียอดม่ออยู่ในลำน้ำเลย แต่ในทางปฏิบัติแล้วทำไม่ได้เพราะสะพานช่วงยาวมากๆ นั้นมีราคาแพง แต่ขณะเดียวกันสะพานช่วงสั้นราคาถูก จำนวนตอม่อที่อยู่ในลำน้ำจะมีมากเป็นอุปสรรคต่อการไหล (เท่ากับลดพื้นที่ช่องน้ำ) ของน้ำดังนั้นจึงควรเลือกขนาดของช่วงสะพานให้พอเหมาะกับลำน้ำและให้ได้ราคาถูกอีกด้วย โดยคำนึงถึงองค์ประกอบต่างๆ พร้อมกันไปด้วย เช่นขนาดของเรือ ขนาดของขอนไม้หรือแพซุง เป็นต้น ขนาดของช่วงสะพานแนะนำสำหรับลำน้ำตามปกติก็คือ

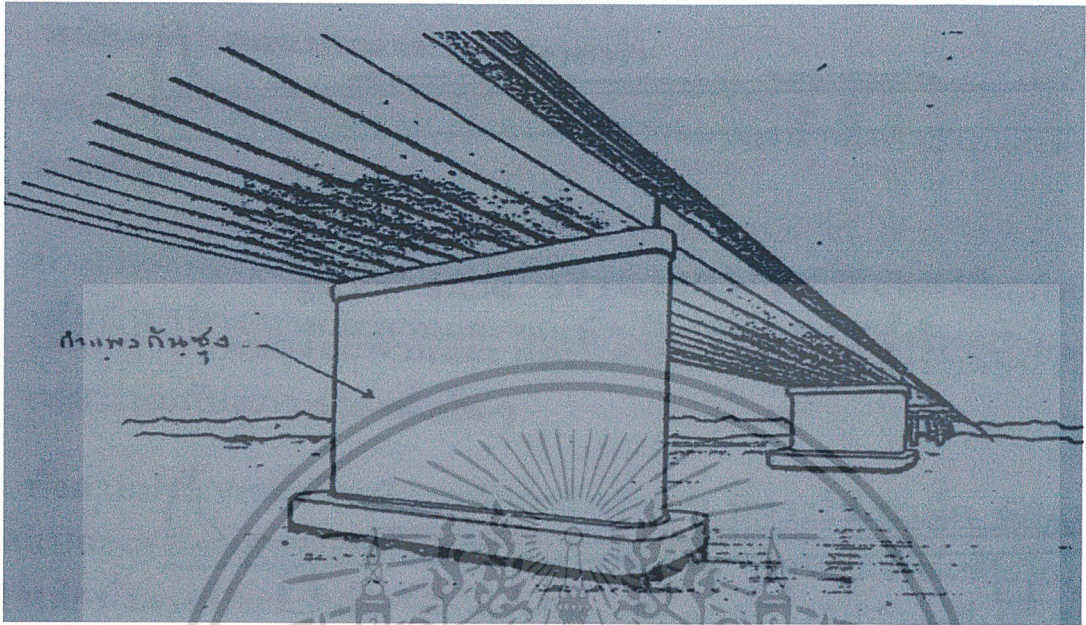
- สำหรับลำน้ำกว้างตั้งแต่ 10 – 70 เมตร ใช้สะพานแบบ Slab Type ช่วง span 5 – 10 เมตร หรือสะพานแบบ I – Girder ช่วง 15 เมตร
- สำหรับลำน้ำกว้าง 70 – 150 เมตร ช่องตรงกลางควรใช้ช่วง 20 เมตร ซึ่งเป็นคานอัดแรง Box Girder ช่องตรงกลางควรใช้ช่วง 30 เมตร ซึ่งเป็นคานอัดแรง I – Girder ช่วงริมฝั่งก็ใช้ช่วง 10 เมตร แบบ Slab Type
- ถ้าลำน้ำกว้างเกิน 250 เมตร ขึ้นไป หรือบางครั้งลำน้ำกว้างเพียง 70 – 150 เมตร แต่มีเรือขนาดใหญ่หรือมีต้นไม้อ่อนใหญ่ขนาดใหญ่ก็จำเป็นต้องออกแบบเป็นพิเศษเฉพาะแห่ง



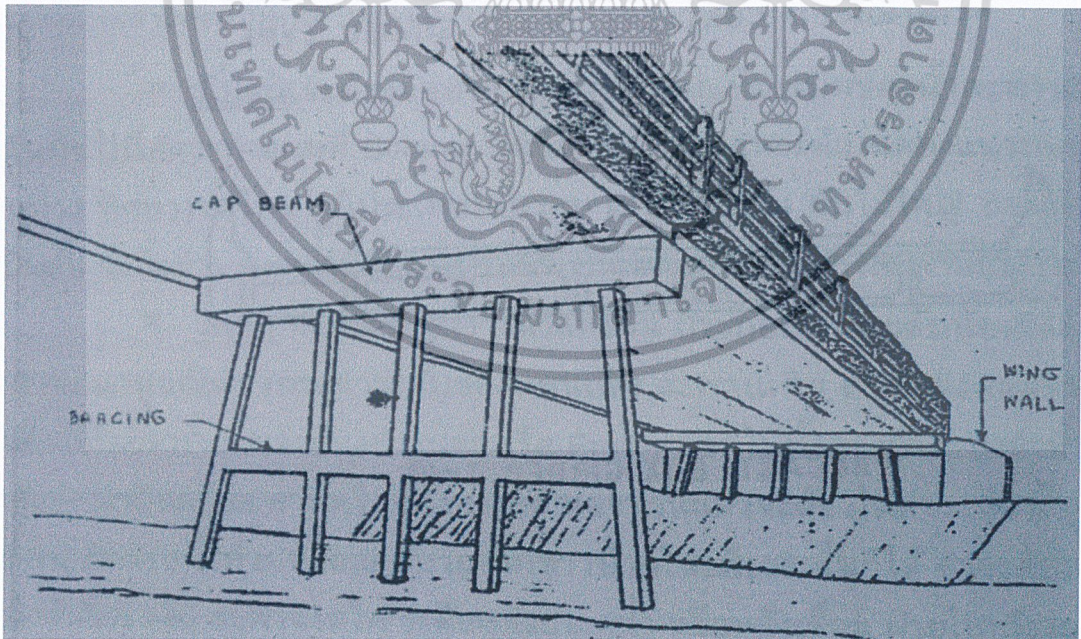
รูปที่ 2.1. ค่อม่อฐานรากแพ



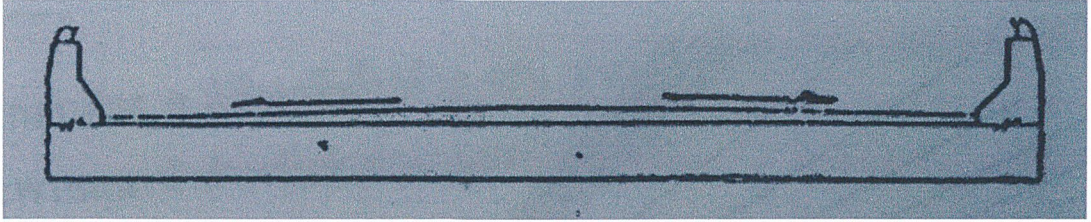
รูปที่ 2.2. ค่อม่อฐานแพ



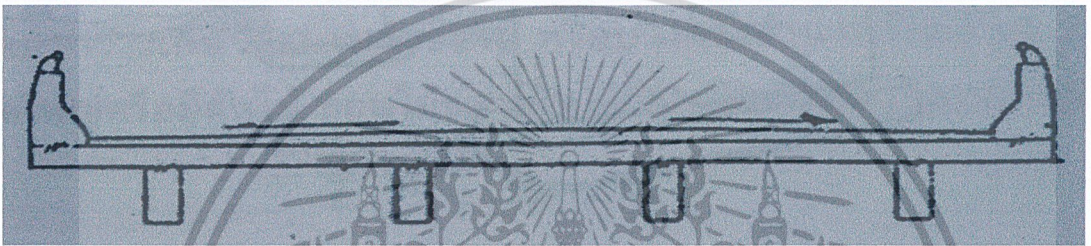
รูปที่ 2.3. ตอม่อเสาตอก



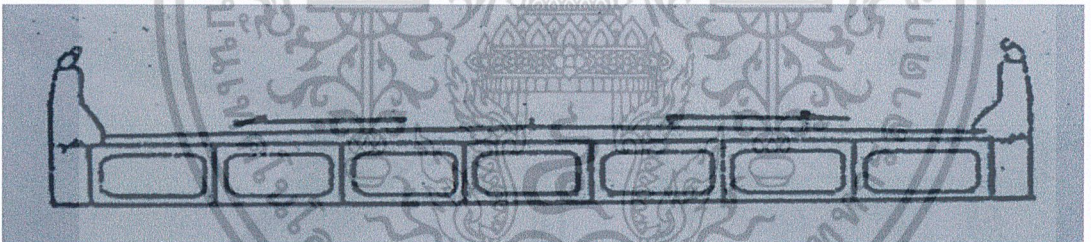
รูปที่ 2.4. ตอม่อเสาตอก



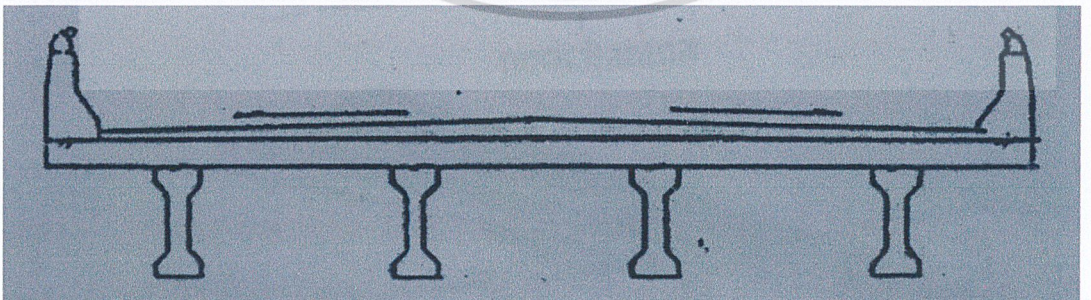
รูปที่ 2.5. REINFORCED CONCRETE SLAB TYPE



รูปที่ 2.6. REINFORCED CONCRETE SLAB-GIRDER TYPE



รูปที่ 2.7. PRECAST BOX GIRDER TYPE



รูปที่ 2.8. PRECAST I-GIRDER TYPE

## บทที่ 3

### หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 3.1. การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกจริงหลังการปรับปรุงสะพาน

การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกจริงของโครงสร้างสะพาน (Bridge Load Test) เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองของโครงสร้างสะพาน ภายใต้น้ำหนักที่กระทำจากรถบรรทุกทดสอบ โดยนำค่าที่ได้มาใช้เป็นค่าอ้างอิงเปรียบเทียบกับหลังการปรับปรุงพื้นสะพาน รวมทั้งสามารถนำมาใช้ในการประเมินความแข็งแรงและความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างสะพาน

การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกจริงของโครงสร้างสะพานนี้ สามารถจำแนกได้ 2 ประเภท ตามลักษณะของน้ำหนักที่ทำการทดสอบ คือ

1. การทดสอบภายใต้แรงกระทำแบบสถิตย์ (Static Load Test) เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมการเสีรูปของ โครงสร้าง เนื่องจากการรับน้ำหนักของรถบรรทุกทดสอบที่หยุดนิ่งตามตำแหน่งต่างๆ ที่กำหนดบนสะพาน

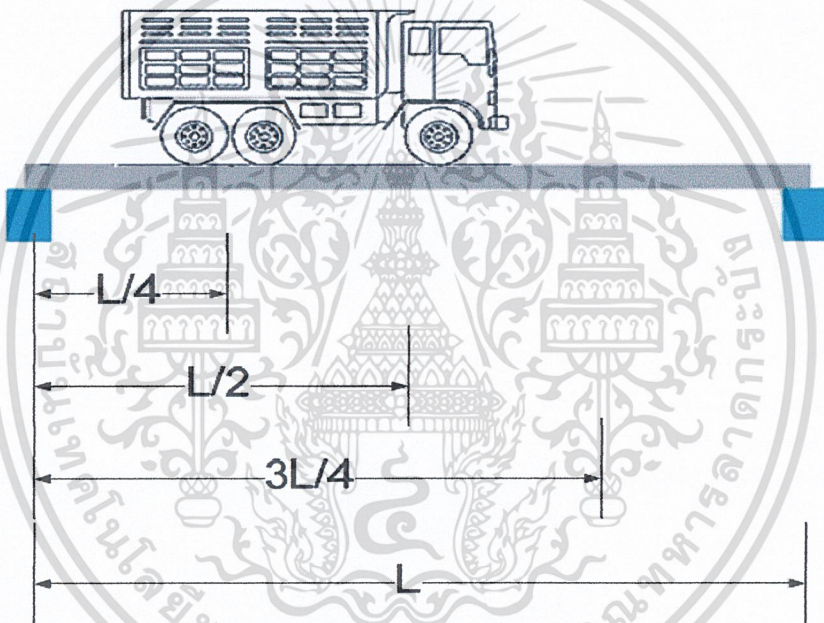
2. การทดสอบภายใต้แรงกระทำแบบพลวัต (Dynamic Load Test) เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาการตอบสนองของ โครงสร้างสะพาน เนื่องจากการรับน้ำหนักของรถบรรทุกทดสอบที่เคลื่อนที่บนสะพานด้วยความเร็วที่กำหนดต่างๆ

#### 3.2. การทดสอบภายใต้น้ำหนักบรรทุกแบบสถิตย์

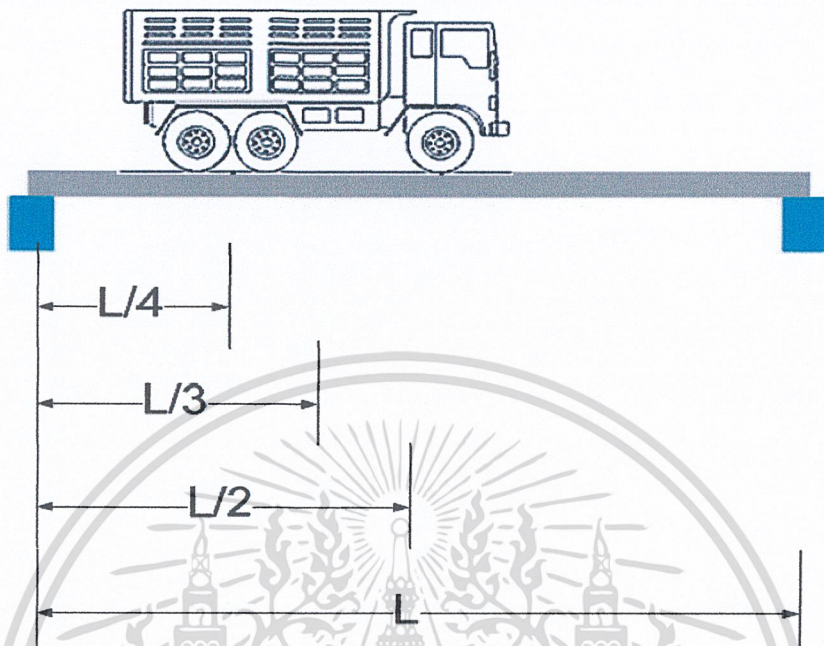
การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกจริงแบบสถิต เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมการเสีรูปของโครงสร้าง อันเนื่องมาจากน้ำหนักของรถบรรทุกทดสอบและตำแหน่งที่น้ำหนักกระทำต่อสะพาน โดยในการทดสอบจะนำรถบรรทุกทดสอบที่มีน้ำหนักตามที่กำหนด มาจอดหยุดนิ่งที่ตำแหน่งต่างๆ ของโครงสร้างสะพาน ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.1.ที่แต่ละตำแหน่งบนสะพาน จะทำการตรวจวัดและบันทึกค่าการเสีรูปของโครงสร้างสะพาน ซึ่งได้แก่ค่าความเครียด (Strain) และค่าการแอ่นตัวตามแนวตั้ง (Vertical Displacement) จากข้อมูลที่ตรวจวัดได้นี้จะสามารถทำการวิเคราะห์และแสดงอยู่ในรูป

ความสัมพันธ์ต่างๆ ได้ เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดกับตำแหน่งของรถบรรทุก ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นตัวแนวตั้งกับตำแหน่งของรถบรรทุก เป็นต้น

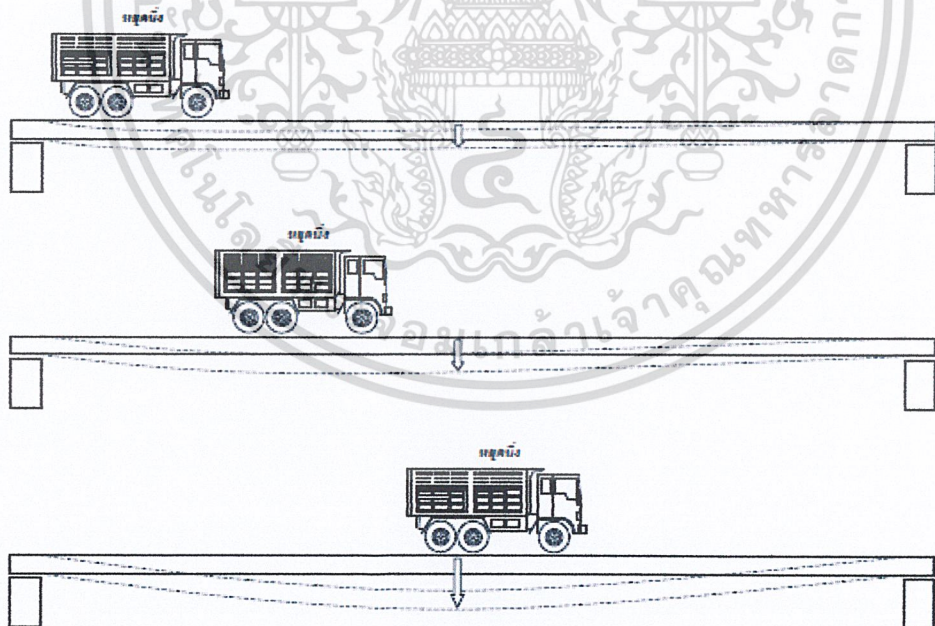
รูปแบบการวางตำแหน่งในการจอร์รถบรรทุกทดสอบ ภายในแต่ละความยาวช่วงสะพาน โดยตำแหน่งดังกล่าวยึดถือที่กึ่งกลางของเพลาลัง สำหรับสะพานที่มีช่วงยาว 10 เมตร ขึ้นไป ให้วัดที่ระยะ  $L/4$ ,  $L/2$  และ  $3L/4$  ทั้งขาไปและขากลับ ดังแสดงในรูปที่ 3.1. สำหรับสะพานที่มีช่วงยาวไม่ถึง 10 เมตร จัดตำแหน่งวัดที่ระยะเดียวกันกับสะพานที่มีช่วงยาวเกิน 10 เมตร แต่อาจมีบางกรณีที่เกิดกลางเพลาลังหลุดออกพ้นช่วงที่ทดสอบ จะต้องย่อระยะลงเพื่อให้ได้ผลการทดสอบที่ถูกต้อง ดังแสดงในรูปที่ 3.2.



รูปที่ 3.1. การจัดระยะหยุดรถสำหรับสะพานที่มีช่วงยาวตั้งแต่ 10 เมตรขึ้นไป



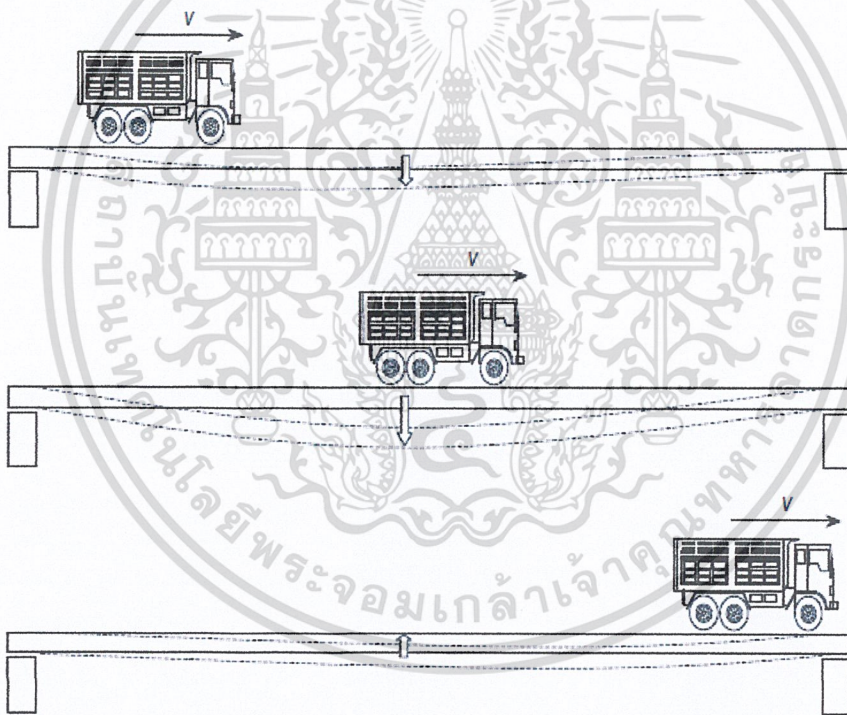
รูปที่ 3.2. การจัดระยะหยุดครดสำหรับสะพานที่มีช่วงยาวไม่ถึง 10 เมตร



รูปที่ 3.3. แสดงพฤติกรรมการเสียรูปของโครงสร้างสะพานเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกที่ตำแหน่งต่างๆ บนสะพาน

### 3.3. การทดสอบภายใต้น้ำหนักบรรทุกแบบพลวัต

การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกจริงแบบพลวัต เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาการตอบสนองของโครงสร้างสะพาน การเสียรูปเชิงพลวัตของ โครงสร้างสะพานอันเนื่องมาจากน้ำหนักและความเร็วของรถบรรทุกทดสอบที่เคลื่อนที่บนสะพาน โดยในการทดสอบจะนำรถบรรทุกทดสอบที่มีขนาดน้ำหนักบรรทุกตามที่กำหนดมาวิ่งบนสะพานผ่านจุดที่ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดด้วยความเร็วต่างๆ กัน ดังแสดงในรูปที่ 3.2. ในแต่ละความเร็วของรถบรรทุกทดสอบที่วิ่งบนสะพาน จะทำการตรวจวัดค่าความเร่งของการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (Vertical Acceleration) ซึ่งจากข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดนี้จะสามารถวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติทางพลศาสตร์ของโครงสร้างต่างๆ ได้ คือ ความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ของโครงสร้าง

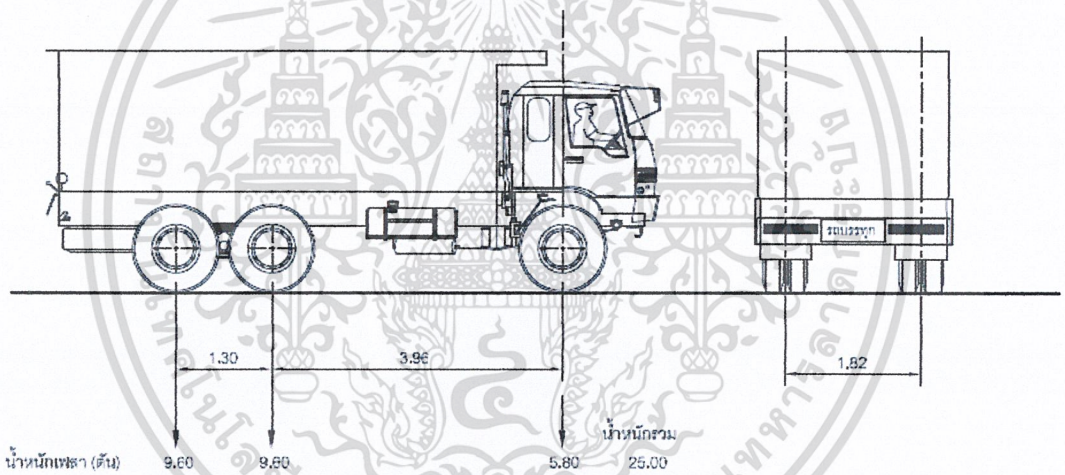


รูปที่ 3.4. แสดงพฤติกรรมการเสียรูปของ โครงสร้างสะพานเนื่องจากการเคลื่อนที่ของรถบรรทุกทดสอบ

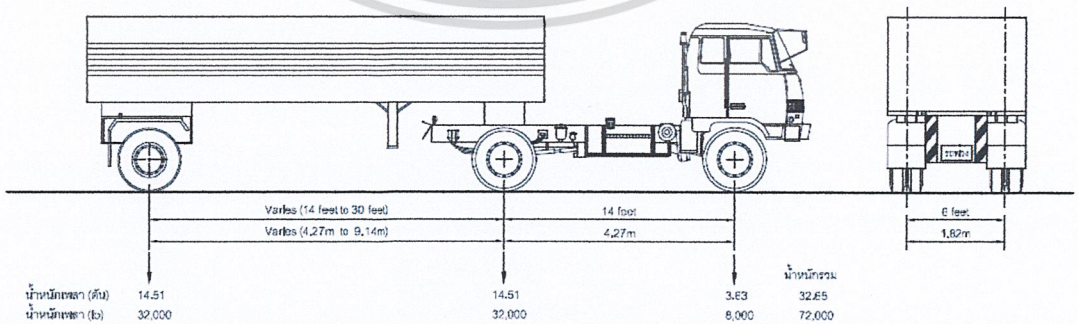
### 3.4. การวางน้ำหนักและติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ

#### 3.4.1 การวางน้ำหนักทดสอบ

ในการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกจริงของโครงสร้างสะพาน จะนิยมทดสอบโดยการใช้รถบรรทุกทดสอบที่มีน้ำหนักครวมกับน้ำหนักบรรทุกที่เหมาะสม คือ รถบรรทุกทดสอบจะต้องมีน้ำหนักมากเพียงพอที่จะทำให้อุปกรณ์ตรวจวัดสามารถวัดค่าได้มากเมื่อเทียบกับค่าการรบกวนทางไฟฟ้าและสภาพแวดล้อม (Noise) แต่จะต้องไม่มากเกินไปจนเกิดความเสียหายแก่โครงสร้างของสะพาน ตลอดจนถนนและส่วนเชิงลาด (Approach) ที่อยู่ข้างเคียง โดยจะต้องทำการวิเคราะห์โครงสร้างสะพานและพิจารณาผลของความเสื่อมสภาพที่ตรวจพบได้จากการตรวจสอบด้วยสายตาประกอบด้วย



รูปที่ 3.5. แสดงลักษณะรถบรรทุกของไทย (Thai Truck Load)



รูปที่ 3.6. แสดงลักษณะรถบรรทุกตามมาตรฐาน AASHTO HS 20-44

3.5. ขั้นตอนการตรวจวัด

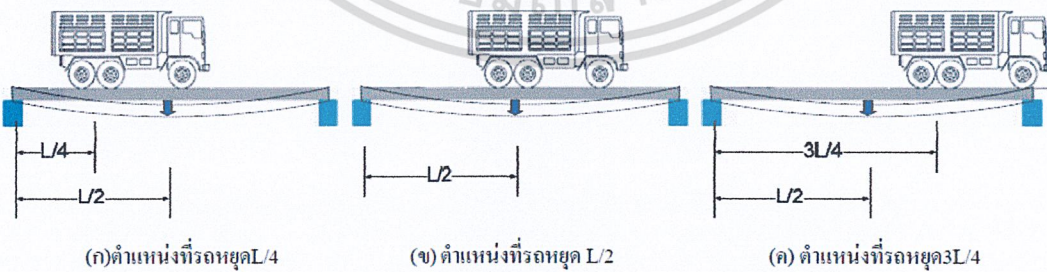
การทดสอบทั้งสองแบบ มีวิธีการทดสอบและตรวจวัดแบ่งเป็นสองช่วง ช่วงแรกของการทดสอบแบบสถิตย์โดยให้รถบรรทุกวิ่งเรียงแถวหน้ากระดานเต็มความกว้างสะพานอย่างช้าๆประมาณ 5 กม./ชม. และหยุดรถตามตำแหน่งที่กำหนดไว้เพื่อเก็บข้อมูลตามต้องการ จากนั้นช่วงที่สองให้รถบรรทุกวิ่งเรียงแถวหน้ากระดานในทิศทางขากลับ และหยุดรถตามตำแหน่งต่างๆฝั่งขากลับ แบบหลังคือการทดสอบแบบพลวัต โดยให้รถบรรทุกจัดวางเรียงแถวเหมือนเดิม วิ่งบนสะพานด้วยความเร็วที่กำหนด คือ 20, 40 และ 60 กม./ชม.ตามลำดับ ผ่านตำแหน่งทดสอบและเก็บข้อมูลตามต้องการ โดยแบ่งเป็นช่วงขาไป-ขากลับ เช่นเดียวกัน และระหว่างการทดสอบต้องปิดการจราจรเพื่อไม่ให้เกิดสัญญาณรบกวน ส่วนรายละเอียดการทดสอบแต่ละช่วงมีดังต่อไปนี้

3.5.1. การตรวจวัดสำหรับการทดสอบน้ำหนักบรรทุกแบบสถิตย์

1. กำหนดตำแหน่งการหยุดรถทั้งขาไปและกลับให้ชัดเจน
2. คิดตั้งอุปกรณ์การทดสอบตามตำแหน่งต่างๆให้ครบถ้วนและปรับอุปกรณ์ให้พร้อม

สำหรับการอ่านค่า

3. เริ่มให้รถบรรทุกที่จัดเตรียมไว้ในตำแหน่ง เคลื่อนที่ผ่านช่องทางและหยุดตามตำแหน่งที่กำหนด การหยุดให้ตำแหน่งที่น้ำหนักลงเพลาลังเป็นจุดหยุดวัด การหยุดใช้เวลาไม่เกิน 1 นาที และกระทำแบบนี้จนครบ และอ่านค่าที่ต้องการต่างๆ โดยเฉพาะค่าการแอ่นตัวของพื้นสะพานที่จุดกึ่งกลางช่วง ณ ตำแหน่งต่างๆที่รถหยุด ดังแสดงในรูปที่ 3.7.



รูปที่ 3.7. แสดงการวัดระยะแอ่นที่กึ่งกลางช่วงเมื่อรถหยุดที่ตำแหน่งต่างๆ

### 3.5.2. การตรวจวัดสำหรับการทดสอบน้ำหนักบรรทุกแบบพลวัต

1. กำหนดความเร็วของการเคลื่อนที่ของรถ
2. เริ่มให้รถบรรทุกที่ทดสอบวิ่งตามความเร็วที่กำหนด ผ่านช่วงสะพานที่ทดสอบ พร้อมกับบันทึกค่าการสั่นไหวของโครงสร้าง เฉพาะภายในช่วงสะพานที่ทดสอบ
3. ตรวจวัดต่อโดยเปลี่ยนความเร็ว และบันทึกค่าการสั่นไหวเช่นเดียวกัน จนครบทุกความเร็วที่กำหนด

### 3.6. เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการตรวจวัด

ในการตรวจวัดพฤติกรรมของโครงสร้างสะพานนั้น จะต้องใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งสามารถจำแนกได้ 3 ประเภทตามหน้าที่การทำงานคือ

1. อุปกรณ์สำหรับการตรวจวัด (Sensor Unit)
2. อุปกรณ์สำหรับการแปลงผลสัญญาณและบันทึกค่า (Data Acquisition Unit)
3. อุปกรณ์สำหรับการแสดงผล (Data Display Unit)

#### 3.6.1. อุปกรณ์สำหรับการตรวจวัด

อุปกรณ์สำหรับการตรวจวัด (Sensor Unit) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งไว้กับชิ้นส่วนโครงสร้างที่ต้องการตรวจวัด เพื่อคอยตรวจวัดพฤติกรรมต่างๆ ของชิ้นส่วนนั้นๆ โดยอาศัยการแปลงค่าพฤติกรรมนั้นๆ เช่น การยืดหดตัว (Elongation) การเคลื่อนตัว (Deflection) เป็นต้น มาเป็นค่าในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้า และส่งไปยังอุปกรณ์แปลงผลสัญญาณและบันทึกค่าต่อไป ตัวอย่างของอุปกรณ์ตรวจวัดเช่น Strain Gauge สำหรับการตรวจวัดความเครียด Displacement Transducer สำหรับการตรวจวัดการเคลื่อนตัวและ Accelerometer สำหรับการตรวจวัดความเร่งจากการสั่นไหว เป็นต้น

#### 3.6.2. อุปกรณ์สำหรับการแปลงผลสัญญาณและบันทึกค่า

อุปกรณ์สำหรับการแปลงผลสัญญาณและบันทึกค่า (Data Acquisition Unit) ทำหน้าที่รับสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจวัดและบันทึกผล ซึ่งความละเอียดของข้อมูลในการรับสัญญาณและบันทึกผลจะ

ขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่อง หลังจากนั้นจึงส่งข้อมูลให้กับอุปกรณ์สำหรับแสดงผล (Data Display Unit) ต่อไป

### 3.6.3. เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการตรวจวัด

ในการตรวจวัดพฤติกรรมของโครงสร้างสะพาน จะต้องเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

#### 3.6.3.1. อุปกรณ์สำหรับการตรวจวัด (Sensor Unit) ได้แก่

1. Strain Gauge สำหรับตรวจวัดความเครียดของชิ้นส่วนโครงสร้าง เช่น คอนกรีต มีความละเอียด 1 Micro strain ทั้งสองทิศทางจำนวน 23 ตัว
2. Displacement Transducer สำหรับวัดการเคลื่อนที่และการแอ่นตัวในแนวดิ่งของโครงสร้าง จำนวน 5 ตัว
3. Accelerometer สำหรับวัดความเร่งจากการสั่นไหวของโครงสร้างในช่วง+1g ความละเอียด 0.5 V/g จำนวน 3 ตัว

#### 3.6.3.2. อุปกรณ์สำหรับการแปลงผลสัญญาณและบันทึกค่า (Data Acquisition Unit)

ทำหน้าที่รับสัญญาณ

จากอุปกรณ์ตรวจวัดและบันทึกผล สำหรับการตรวจสอบสะพานนี้ใช้ Data Acquisition ซึ่งสามารถรับสัญญาณจาก Strain Gauge, Displacement Transducer, Accelerometer และอุปกรณ์อื่นๆ ได้โดยมีความละเอียดในการรับและบันทึกค่าได้ถึง 1 MHz

### 3.7. การวิเคราะห์โครงสร้างสะพานด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method)

ในทางวิศวกรรมโยธาได้มีการนำความรู้และเทคโนโลยีต่างๆ มาประยุกต์เพื่อหาคำตอบและนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ อย่างมากมาย เช่น การนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างที่มีลักษณะซับซ้อน เช่น การวิเคราะห์สะพานแขวน เป็นต้น อย่างไรก็ตามในสภาพ

จริงมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่ควบคุมไม่ได้ และเพื่อให้การแก้ปัญหาเป็นไปได้จึงต้องการสมมุติฐานเพื่อลดปัจจัยที่มีอยู่ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถหาคำตอบมีผลใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด

สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างสามารถทำได้โดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่มีลักษณะรูปร่างใกล้เคียงกับ โครงสร้างจริงมากที่สุด แล้วใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยการแบ่งโครงสร้างให้มีขนาดเล็กหลายๆชิ้นส่วน โดยที่ชิ้นส่วนเล็กแต่ละชิ้นเรียกว่า Element หลังจากนั้นจึงทำการแก้ปัญหาของแบบจำลอง โดยกระบวนการหาคำตอบที่ต้องการคือ ค่าการโก่งตัว (Deflection) แรงที่เกิดขึ้น เป็นต้น คำตอบที่ได้จะเป็นเพียงค่าประมาณเท่านั้น ทั้งนี้ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นของคำตอบจะขึ้นอยู่กับ ชนิด ขนาด และจำนวนของเอลิเมนต์ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับวิธีการเลือกฟังก์ชันการกระจัด (Displacement function) ที่ใช้กับแต่ละเอลิเมนต์ กล่าวคือฟังก์ชันการกระจัดที่สมมุติขึ้นนั้นมีความใกล้เคียงกับผลเฉลยของปัญหามากน้อยเพียงใด

### 3.7.1. สมการควบคุมการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จะต้องอาศัยสมการพื้นฐานของกลศาสตร์โครงสร้าง 3 ประเภท คือ

#### 3.7.1.1. สมการสถานะสมดุล (Equilibrium equations)

โครงสร้างโดยรวมและชิ้นส่วน (Element) จะต้องอยู่ได้สภาวะสมดุลของแรงที่กระทำจากภายนอกและภายใน โดยที่แรงจากภายนอกจะต้องมีค่าเท่ากับผลรวมของแรงภายในของชิ้นส่วน ณ จุดต่อ (Joint) ทั้งหมดของโครงสร้าง

สำหรับที่จุดต่อจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขตามกฎข้อที่ 1 ของนิวตัน ดังสมการ

$$\sum F_x = 0, \sum F_y = 0, \sum F_z = 0$$

$$\sum M_x = 0, \sum M_y = 0, \sum M_z = 0$$

### 3.7.1.2. สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดของวัสดุ

#### (Stress-strain relationship)

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดจะใช้กฎของฮุก (Hook's law) กล่าวคือความเค้นและความเครียดจะถูกสมมติให้เป็นความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear relationship) ในช่วงยืดหยุ่น (Elastic) ของวัสดุ ประกอบกับพฤติกรรมของวัสดุจะต้องมีพฤติกรรมเหมือนกันทุกทิศทาง ซึ่งเป็นสมมุติฐานที่นิยมใช้ในการทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ง่ายและสะดวกต่อการแก้สมการ โดยความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด

### 3.7.1.3. ความต่อเนื่องของการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และเงื่อนไขขอบเขต

#### (Compatibility and Boundary conditions)

ข้อกำหนดของความต่อเนื่องกันจะต้องเป็นไปตามที่กำหนด ในการวิเคราะห์ระบบโครงสร้างของ Element อันใดอันหนึ่ง หรือทุกๆ Element ที่ติดต่อกับข้อต่อ จะต้องได้ค่าของการเคลื่อนที่ที่เท่ากัน ถ้าให้ค่าการเคลื่อนที่ของจุดต่อ (Node displacement) มาด้วย การเปลี่ยนรูป (Deformation) ของ Element ก็จะถูกคำนวณได้จากการใช้สมการพื้นฐานของเรขาคณิต ในการวิเคราะห์ Finite element โดยยึดหลักของการเคลื่อนที่ การสอดคล้องกันของการเคลื่อนที่ของข้อต่อจะเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตจะต้องกำหนดให้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงตามที่ได้สำรวจพบ เช่น ฐานรองรับแบบหมุนได้แต่เคลื่อนที่ไม่ได้ (Hinge) ฐานรองรับแบบเคลื่อนที่ได้เฉพาะแนวอน (Roller) ฐานรองที่ไม่อนุญาตให้มีการหมุนและเคลื่อนที่ (Fixed) และฐานรองรับแบบสปริง (Spring) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม สภาพของฐานรองอาจมีพฤติกรรมร่วมกันระหว่างฐานรองที่ได้กล่าวมาทั้ง 3 ดังนั้น จะต้องใช้พิจารณาในการเลือกแบบที่เหมาะสมและใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

### 3.7.2. ประเภทของการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การวิเคราะห์แบบสถิต และ การวิเคราะห์แบบพลวัต

1. การวิเคราะห์แบบสถิตของโครงสร้างจะอาศัยสมการเชิงเส้น ซึ่งเป็นสมการรวมของระบบโครงสร้างหาได้จากการรวมสมการของแต่ละ Element เข้าด้วยกัน โดยวิธี Superposition method หรือ Direct stiffness method โดยอาศัยหลักการสมดุลของแรงที่จุดต่อของชิ้นส่วนและความต่อเนื่องของโครงสร้าง

ค่า Stiffness matrix สามารถหาได้จากการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น ความเครียด และคุณสมบัติของพื้นที่หน้าตัดในแต่ละกรณีของการบรรทุกน้ำหนัก (Load case) หลังจากนั้นทำการแก้สมการโดยการอินเวอร์สค่า K พร้อมทั้งกำหนดเงื่อนไขขอบ (Boundary condition) ของจตุรรองรับ เพื่อหาค่าเวกเตอร์รวมของการกระจัด ( $d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$ )

2. การวิเคราะห์แบบพลวัตจะทำการวิเคราะห์แบบ Eigenvalue โดยที่การวิเคราะห์ Eigenvalue จะใช้ในกระบวนการปรับแก้แบบจำลองให้มีคุณสมบัติทางพลศาสตร์ทางด้านความถี่ของโครงสร้างสะพานให้ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงจากการทดสอบในภาคสนาม

### 3.8. การทดสอบอื่นๆ

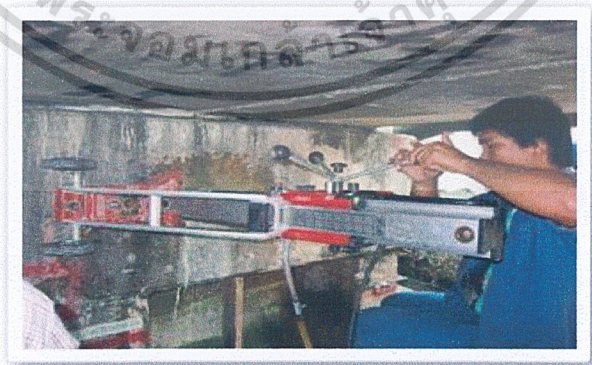
#### 3.8.1. การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Compressive Strength) ด้วยวิธี Core Drilling

การทดสอบหาค่ากำลังอัดแรงคอนกรีตจะทำการเจาะเก็บแท่งตัวอย่างคอนกรีตจากส่วนโครงสร้างด้วยเครื่องเจาะระบบ Rotary หัวเจาะ Dimond Core Bit แท่งตัวอย่างที่ได้จากการเจาะจะถูกนำมาตัดให้อัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2:1 ก่อนนำส่งไปทดสอบหาค่ากำลังอัดด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (UTM) ของห้องปฏิบัติการที่เป็นที่ยอมรับเชื่อถือ

### 3.8.1.1. ขั้นตอนและวิธีการทดสอบ

ขั้นตอนและวิธีการทดสอบการรับแรงอัดของคอนกรีตโดยวิธี Core Drilling สำหรับแท่งคอนกรีตที่เก็บตัวอย่างจากโครงสร้างสะพานประกอบด้วย

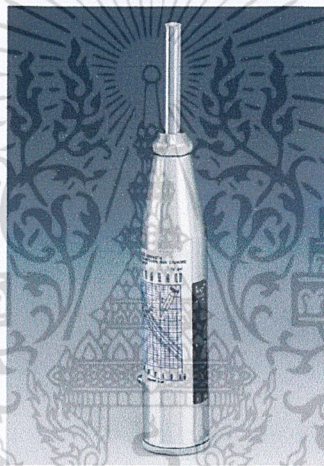
1. การกำหนดตำแหน่งที่จะทำการเจาะเก็บแท่งคอนกรีต (Concrete Cores) จากนั้นจึงทำการติดตั้งเครื่องเจาะ โดยใช้หัวเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร (4 นิ้ว) แล้วทำการเจาะเนื้อคอนกรีตไปจนถึงความลึกประมาณ 30 เซนติเมตร
2. เมื่อเจาะเนื้อคอนกรีตไปจนถึงความลึกประมาณ 30 เซนติเมตรแล้ว ดึงหัวเจาะออกแล้วทำการหักแท่งคอนกรีต เพื่อดึงแท่งคอนกรีตออกมาจากโครงสร้าง
3. กำหนดชื่อเรียกแล้วทำการบันทึกลงบนแท่งคอนกรีต จากนั้นห่อหุ้มแท่งคอนกรีตด้วยพลาสติกเพื่อกันความชื้นและเตรียมนำไปทดสอบต่อไป
4. นำแท่งคอนกรีตไปตัดหัวและท้ายทิ้งให้ได้ความสูงที่เหมาะสม ในกรณีของแท่งคอนกรีตที่มีเหล็กปลอกติดมาด้วย ให้ทำการตัดแท่งคอนกรีตให้พ้นส่วนที่เป็นเหล็กปลอก
5. วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตลอดทั้งความยาว (หัว กลาง ท้าย) และความสูงของแท่งคอนกรีต อย่างน้อยส่วนละ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก
6. การทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) ของคอนกรีตด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (UTM)
7. คำนวณค่ากำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) ของแท่งคอนกรีตแล้วสรุปผล



รูปที่ 3.8. แสดงอุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่าง Core Drilling

### 3.8.2. การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต โดยใช้ Rebound Hammer

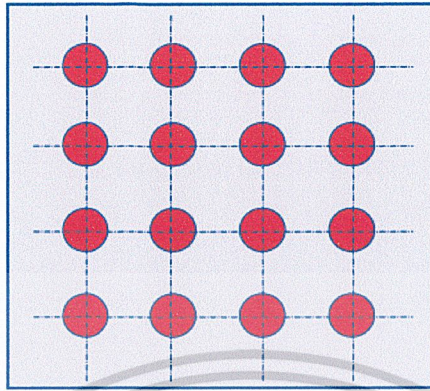
การตรวจสอบเพื่อประเมินกำลังอัดของคอนกรีต โดย Rebound Hammer เป็นการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Test) โดยอาศัยหลักการกระแทกและกระดอนกลับของมวลสปริง (Spring Mass) ค่า Rebound Number ที่ได้จะขึ้นอยู่กับความแข็งของผิวที่ถูกกระแทก ทั้งนี้คอนกรีตที่จะทำการทดสอบด้วย Rebound Hammer ต้องมีผิวเรียบ สม่ำเสมอและมีความหนาไม่น้อยกว่า 10 เซนติเมตร



รูปที่ 3.9. ตัวอย่างอุปกรณ์ Rebound Hammer

#### 3.8.2.1. ขั้นตอนและวิธีการทดสอบ

1. ตรวจสอบสภาพพื้นผิวที่จะทำการตรวจสอบ โดยพื้นผิวที่ทำการทดสอบต้องจัดให้เรียบ เนื่องจากพื้นผิวที่โค้งนูนจะให้ค่า Rebound Number ต่ำกว่าและพื้นผิวที่เว้าจะให้ค่า Rebound Number สูงกว่า
2. กำหนดตำแหน่งทดสอบ 16 จุด ซึ่งแต่ละจุดต้องห่างกันอย่างน้อย 30 มิลลิเมตร ดังรูป 3.10.

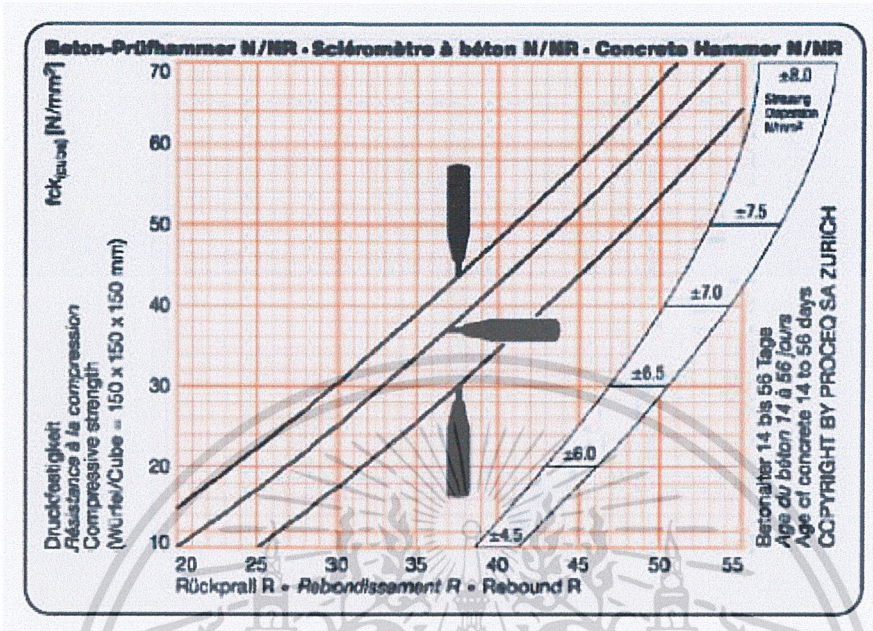


รูปที่ 3.10. แสดงตำแหน่งการทดสอบ 16 จุด ของการทดสอบ Rebound Test

3.ทำการทดสอบด้วย Rebound Hammer ในทิศทางตั้งฉากกับพื้นผิวที่ทำการทดสอบ พร้อมบันทึกค่า Rebound Number และทิศทางที่ใช้ในการกด โดยมี 4 ทิศทางคือ ทิศทางกดขึ้น ทิศทางกดลง ทิศทางกดในแนวราบ และทิศทางกดในแนวเอียงทำมุม  $45^{\circ}$  กับแนวราบ ในการทดสอบจะต้องกดให้หัว Plunger ของ Rebound Hammer กระแทกกับพื้นผิวของคอนกรีตทดสอบจนสุดปลาย Plunger กระทั่งเกิดเสียงกระแทกภายใน Rebound Hammer และปรากฏค่า Rebound Number ขึ้น

4.เฉลี่ยค่า Rebound Number ทั้ง 16 ค่า และตรวจสอบค่า Rebound Number ทุกค่า ต้องแตกต่างจากค่าเฉลี่ยไม่เกินกว่า  $\pm 7$  หากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมีค่า Rebound Number แตกต่างจากค่าเฉลี่ยมากกว่า  $\pm 7$  จะถือว่าข้อมูลของค่า Rebound Number ที่ได้จากการทดสอบครั้ง นั้นไม่สามารถนำมาคำนวณค่าเฉลี่ยของข้อมูลได้ ต้องทำการทดสอบใหม่เพิ่มเติม โดยต้องเปลี่ยนพื้นผิวที่ทำการทดสอบใหม่และห่างจากตำแหน่งที่ได้ทำการทดสอบไปแล้วอย่างน้อย 30 มิลลิเมตร จนกว่าทุกค่ามีค่าไม่เกินกว่าค่าเฉลี่ย  $\pm 7$

5.นำค่าเฉลี่ยของ Rebound Number และทิศทางที่ใช้ในการทดสอบมาแปลงเป็นค่ากำลังอัดของคอนกรีต (Compressive Strength)



รูปที่ 3.11. ตาราง Rebound Number

### 3.8.3. การทดสอบหาการเสื่อมสภาพของคอนกรีตเนื่องจากปฏิกิริยา Carbonation และ Chloride Attack

การกัดกร่อนด้วยคลอรีนมีผลกระทบกับกำลังรับแรงต่างๆของคอนกรีตโดยรวมลดลง ความสามารถความต้านทานความล้า (Fatigue Strength) และการเอนตัวหรือการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Elongation ability) ของโครงสร้างก็ลดลงด้วย ผลข้างเคียงที่เกิดขึ้นคือ การเริ่มเกิดการแตกร้าวของคอนกรีต เป็นส่วนหนึ่งที่เร่งให้น้ำและออกซิเจนเข้าถึงเหล็กได้เร็วขึ้น ซึ่งยังผลให้มีการเกิดสนิมเหล็ก โดยการเกิดสนิมดังกล่าวจะมีผลเสียกับโครงสร้างดังนี้คือ พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมบริเวณที่เหล็กสูญเสียเล็กน้อยจะลดลง ส่วนบริเวณที่เป็นขั้วบวกจะเป็นสนิมพอกพูนขึ้น แรงยึดเหนี่ยว (Bonding) ระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีตในส่วนนี้จะลดลงด้วย จนในที่สุดโครงสร้างคอนกรีตจะแตกเพิ่มขึ้นด้วยการเบ่งตัวของสนิมเหล็ก

ตารางมาตรฐานอ้างอิงที่ใช้ในการทดสอบวัสดุ

การทดสอบ	มาตรฐาน
1. การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต โดยวิธี Core Drilling	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ASTM C39/AASHTO T22 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens</li> <li>● ASTM C42/AASHTO T24 Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete</li> </ul>
2. การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต โดยใช้ Rebound Hammer	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ASTM C805 Method for Rebound Number of Hardened Concrete</li> </ul>
3. การทดสอบหาค่าการเสื่อมสภาพของ คอนกรีตเนื่องจากปฏิกิริยา Carbonation และ Chloride Attack	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ASTM C114 Standard Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement (สำหรับหาปริมาณ Chloride)</li> </ul>

รูปที่ 3.12. แสดงตารางมาตรฐานอ้างอิงที่ใช้ในการทดสอบวัสดุ

## บทที่ 4

# ขั้นตอนการทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก ของสะพานข้ามคลอง

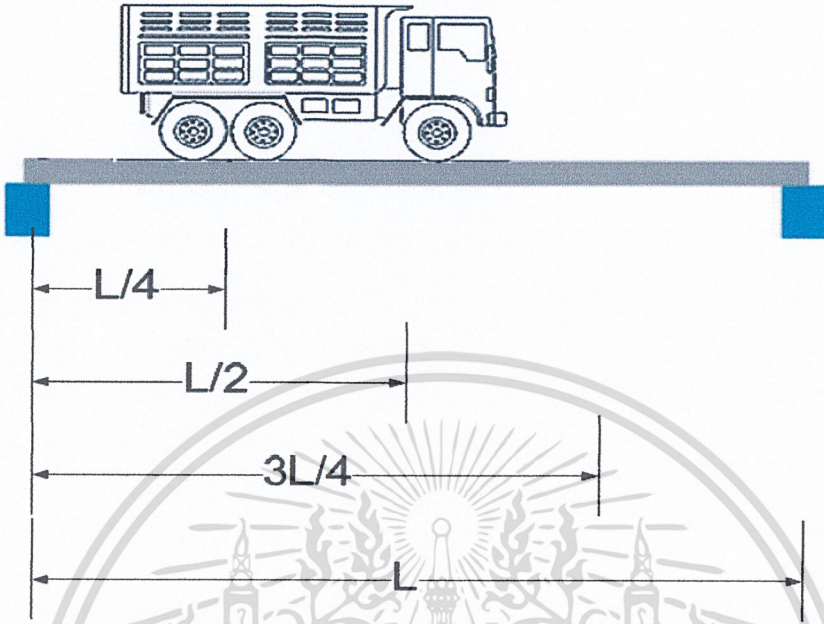
### 4.1. การทดสอบแบบสถิตย์ (Static Load Test)

เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมการเสถียรของโครงสร้าง เนื่องจากการรับน้ำหนักของรถบรรทุกทดสอบที่หยุดนิ่งตามตำแหน่งต่างๆ ที่กำหนดบนสะพาน โดยที่แต่ละตำแหน่งบนสะพานจะทำการตรวจวัดและบันทึกค่าการเสถียรของ โครงสร้างสะพาน ซึ่งได้แก่ค่าความเครียด (Strain) และค่าการแอ่นตัวตามแนวตั้ง (Vertical Displacement)

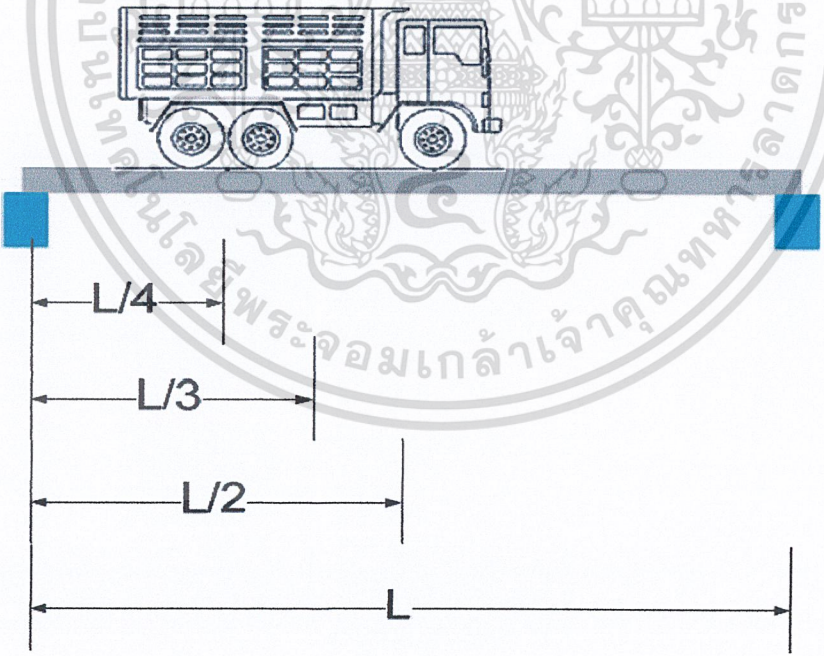
จากข้อมูลที่ตรวจวัดได้นี้จะสามารถทำการวิเคราะห์และแสดงอยู่ในรูปความสัมพันธ์ต่างๆ ได้ เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดกับตำแหน่งของรถบรรทุก ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นตัวแนวตั้งกับตำแหน่งของรถบรรทุก และความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการแอ่นตัวแนวตั้ง เป็นต้น

รูปแบบการวางตำแหน่งในการจอดรถบรรทุก ภายในแต่ละความยาวช่วงสะพานโดยตำแหน่งดังกล่าว ยึดถือที่กึ่งกลางของเพลาลัง สำหรับสะพานที่มีช่วงยาว 10 เมตรขึ้นไป ให้วัดที่ระยะ  $1/4$  ของช่วงสะพาน,  $1/2$  ของช่วงสะพาน และ  $3/4$  ของช่วงสะพาน ทั้งขาไปและขากลับ

สำหรับสะพานที่มีช่วงยาวไม่ถึง 10 เมตร จัดตำแหน่งวัดที่ระยะเดียวกันกับสะพานที่มีช่วงยาวเกิน 10 เมตร แต่อาจมีบางกรณีที่ยึดถือกลางเพลาลังหรือออกพ้นช่วงที่ทดสอบ จะต้องยื่นระยะลงเพื่อให้ได้ผลการทดสอบที่ถูกต้อง



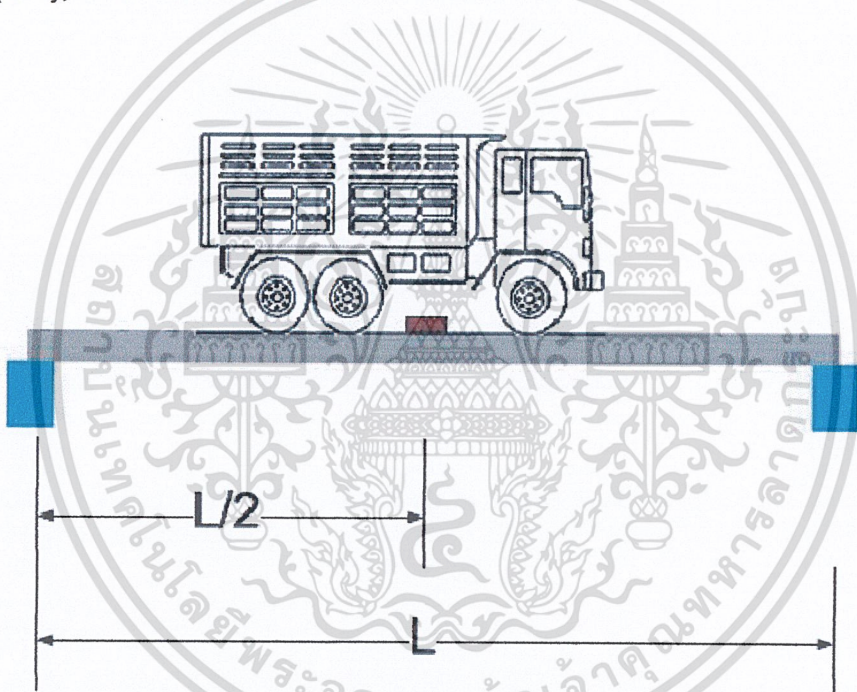
รูปที่ 4.1. การจัดระยะหยุดรถสำหรับสะพานที่มีช่วงยาวตั้งแต่ 10 เมตรขึ้นไป



รูปที่ 4.2. การจัดระยะหยุดรถสำหรับสะพานที่มีช่วงยาวไม่ถึง 10 เมตร

#### 4.2. การทดสอบแบบพลวัต (Dynamic Load Test)

เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาการตอบสนองของโครงสร้างสะพาน เนื่องจากการรับน้ำหนักของรถบรรทุกทดสอบที่เคลื่อนที่บนสะพานด้วยความเร็วต่างๆ ที่กำหนด ทับแท่งไม้ขนาดความสูงประมาณ 4 ซม. ที่ วางไว้ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางช่วงสะพาน โดยในแต่ละความเร็วของรถบรรทุกทดสอบที่วิ่งบนสะพาน จะทำการตรวจวัดค่าความเร่งของการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (Vertical Acceleration) ซึ่งจากข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดนี้จะสามารถวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติทางพลศาสตร์ของโครงสร้างต่างๆ ได้ เช่น ความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ของโครงสร้าง เป็นต้น



รูปที่ 4.3. ภาพแสดงตำแหน่งวางแท่งไม้ที่ระยะ  $L/2$

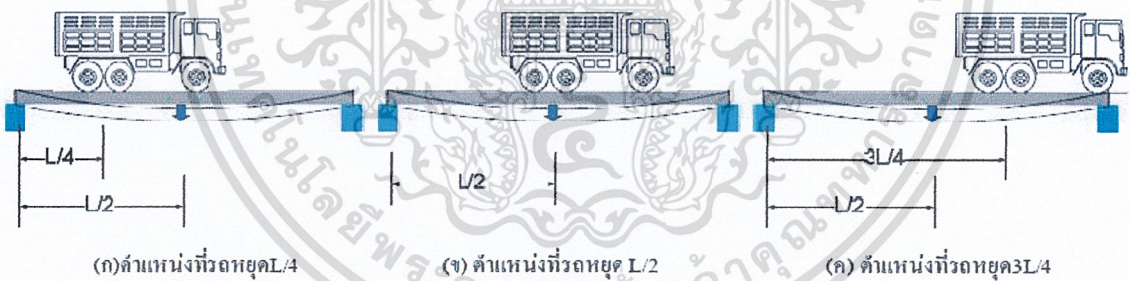
#### 4.3. ขั้นตอนการตรวจวัด

การทดสอบทั้งสองแบบ มีวิธีการทดสอบและตรวจวัดแบ่งเป็นสองช่วง ช่วงแรกของการทดสอบแบบสถิตย์คือให้รถบรรทุกวิ่งเรียงแถวหน้ากระดานเต็มความกว้างสะพานอย่างช้าๆ ประมาณ 5 กม./ชม. และหยุดรถตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ เพื่อเก็บข้อมูลตามต้องการ จากนั้นช่วงที่สองให้รถบรรทุกวิ่งเรียงแถวหน้ากระดานในทิศทางขากลับ และหยุดรถตามตำแหน่งต่างๆ ฝั่งขากลับ แบบหลังคือการทดสอบแบบ

พลวัต โดยให้รถบรรทุกจัดวางเรียงแถวเหมือนเดิม วิ่งบนสะพานด้วยความเร็วที่กำหนด คือ 20,40 และ 60 กม./ชม. ตามลำดับ ผ่านตำแหน่งทดสอบและเก็บข้อมูลตามต้องการ โดยแบ่งเป็นช่วงขาไปและขากลับ เช่นเดียวกัน ระหว่างการทดสอบต้องปิดการจราจรเพื่อไม่ให้เกิดสัญญาณรบกวน ส่วนรายละเอียดการทดสอบแต่ละช่วง มีดังต่อไปนี้

#### 4.3.1. การตรวจวัดสำหรับการทดสอบน้ำหนักบรรทุกแบบสถิตย์

1. กำหนดตำแหน่งการหยุดรถทั้งขาไปและกลับให้ชัดเจน
2. ติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบตามตำแหน่งต่างๆ ให้ครบถ้วน และปรับอุปกรณ์ให้พร้อมสำหรับการอ่านค่า
3. เริ่มให้รถบรรทุกที่จัดเตรียมไว้ในตำแหน่งที่น้ำหนักลงเพลาหลังเป็นจุดหยุดวัด การหยุดใช้เวลาไม่เกิน 1 นาที และกระทำแบบนี้จนครบและอ่านค่าที่ต้องการต่างๆ โดยเฉพาะค่าการแอ่นตัวของพื้นสะพานที่จุดกึ่งกลางช่วง ณ ตำแหน่งต่างๆ ที่รถหยุด



รูปที่ 4.4. แสดงการวัดระยะแอ่นที่กึ่งกลางช่วงเมื่อรถหยุดที่ตำแหน่งต่างๆ

#### 4.3.2. การตรวจวัดสำหรับการทดสอบน้ำหนักบรรทุกแบบพลวัต

1. กำหนดความเร็วของการเคลื่อนที่ของรถ
2. เริ่มให้รถบรรทุกที่ทดสอบวิ่งตามความเร็วที่กำหนด ผ่านช่วงสะพานที่ทดสอบพร้อมกับการบันทึกค่าการสั่นไหวของโครงสร้าง เฉพาะภายในช่วงสะพานที่ทดสอบ

3. ตรวจวัดต่อโดยเปลี่ยนความเร็ว และบันทึกค่าการสั่นไหวเช่นเดียวกัน จนครบทุกความเร็วที่กำหนด

#### 4.4. เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการตรวจวัด

ในการตรวจวัดพฤติกรรมของโครงสร้างสะพาน จะต้องเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

##### 4.4.1. อุปกรณ์สำหรับการตรวจวัด (Sensor Unit) ได้แก่

4.4.1.1. Strain Gauge สำหรับตรวจวัดความเครียดของชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีต มีความละเอียด 1 Micro strain

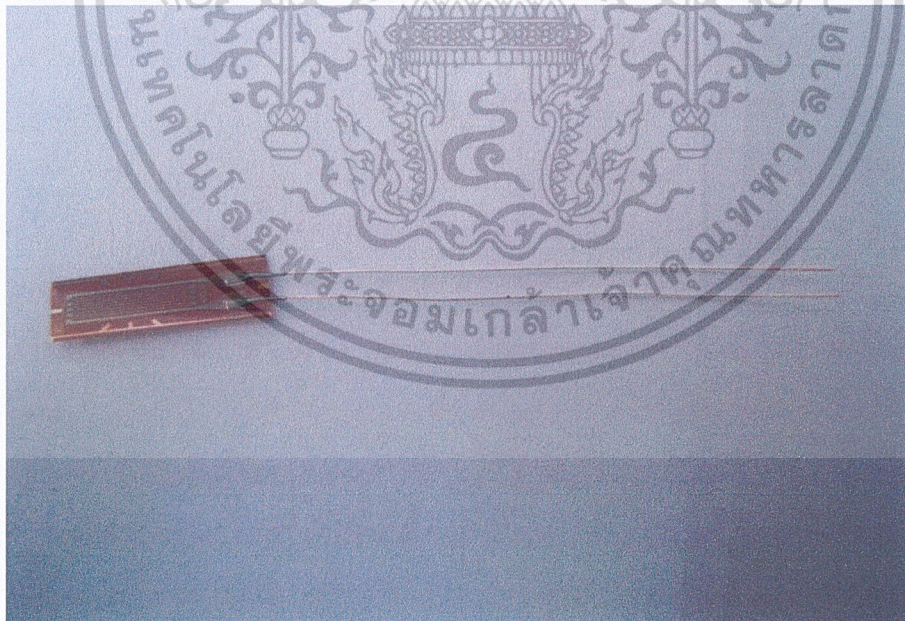


รูปที่ 4.5. Strain Gauge สำหรับติดบนผิวคอนกรีต

KYOWA		MADE IN JAPAN		
TYPE KC-70-120-A1-11				
GAGE FACTOR (24°C, 50%RH)	2.11 ± 1.0%	LOT No.	Y194	BATCH 180A Q08
GAGE LENGTH	67 mm	TEMPERATURE COEFFICIENT OF GAGE FACTOR	+0.015 %/°C	
GAGE RESISTANCE(24°C, 50%RH)	120.2 ± 0.2 Ω	APPLICABLE GAGE CEMENT	PC-12B, CC-35	
ADOPTABLE THERMAL EXPANSION	10.8 PPM/°C	QUANTITY	10	

KYOWA STRAIN GAGES

รูปที่ 4.6. Data Sheet ของ Strain Gauge สำหรับติดบนผิวคอนกรีต

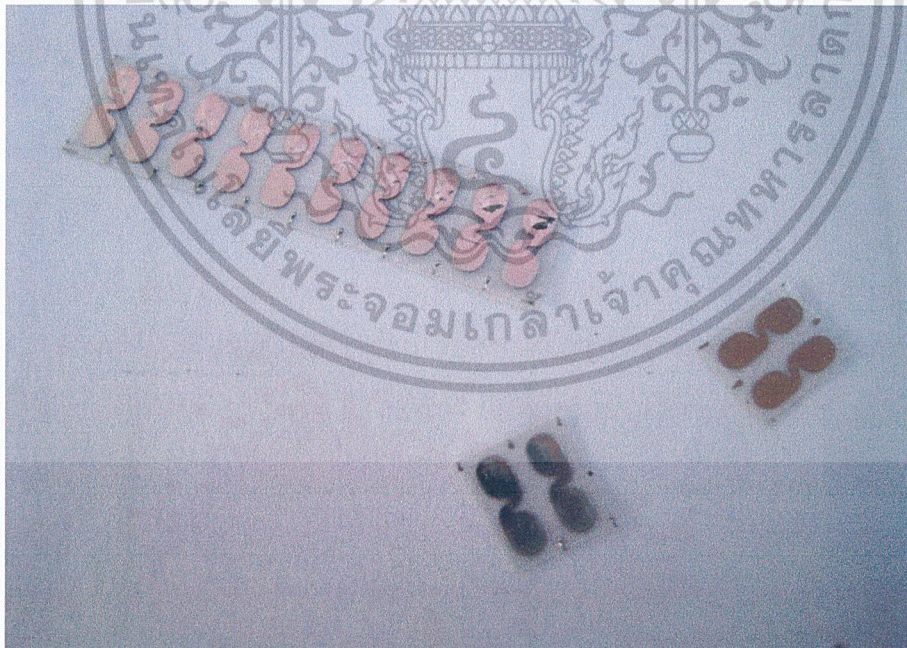


รูปที่ 4.7. Strain Gauge สำหรับติดบนผิวแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์

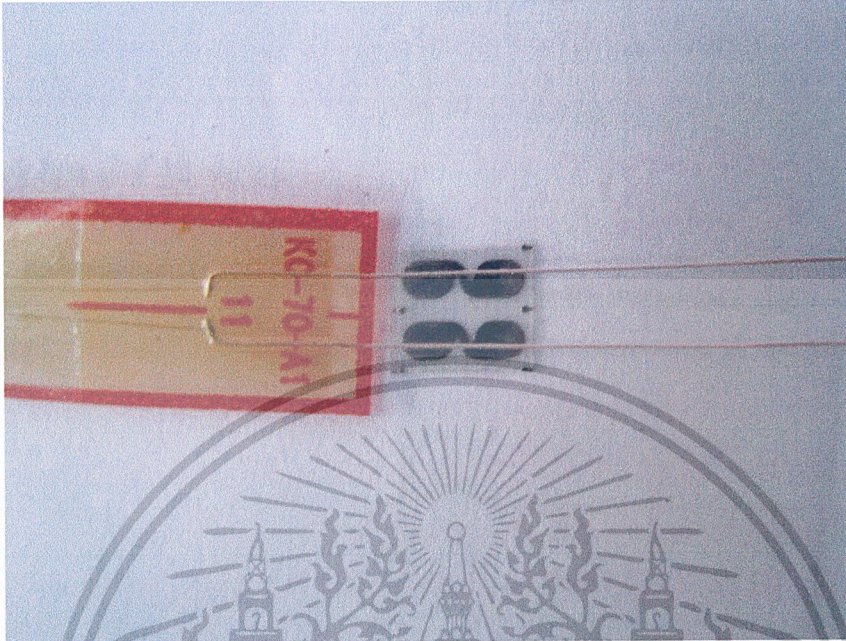
KYOWA		MADE IN JAPAN		
TYPE KFG-5-120-C1-11				
GAGE FACTOR (24°C, 50%RH)	2.09 ± 1.0%	LOT No.	Y3483S	BATCH 795A Q10
GAGE LENGTH	5 mm	TEMPERATURE COEFFICIENT OF GAGE FACTOR +0.008 %/°C		
GAGE RESISTANCE(24°C, 50%RH)	119.8 ± 0.2 Ω	APPLICABLE GAGE CEMENT CC-33A, PC-6		
ADOPTABLE THERMAL EXPANSION	11.7 PPM/°C	QUANTITY 10		

## KYOWA STRAIN GAGES

รูปที่ 4.8. Data Sheet ของ Strain Gauge สำหรับติดบนผิวคาร์บอนไฟเบอร์



รูปที่ 4.9. Gauge Terminal



รูปที่ 4.10. แสดงตัวอย่างการติด Gauge Terminal เข้ากับ Strain Gauge

4.4.1.2 Displacement Transducer สำหรับวัดระยะการแอ่นตัวในแนวตั้งของโครงสร้างพื้น  
สะพาน ความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร จำนวน 3 ตัว



รูปที่ 4.11. Displacement Transducer สำหรับวัดระยะการแอ่นตัวในแนวตั้งของโครงสร้างพื้นสะพาน

**検査成績書**  
Test Data Sheet

型式名 Model	DTH-A-50	検査年月日 Inspected date	2010. 6.28	製造番号 Serial No.	FT8700063
定容量 Rated Capacity	50mm	温度 Temp.	23 °C	湿度 Humidity	50 %RH
1. 定容量出力 Rated output				4997 $\mu$ V/V	
				9994 $\times 10^{-4}$ %	
2. 非直線性 Nonlinearity				0.06	%RO
3. ヒステリシス Hysteresis				0.04	%RO
4. 校正係数 Calibration constant				0.01001mm / $\mu$ V/V	
				0.005003mm / $1.0 \times 10^{-4}$ %	
5. 入出力抵抗 Input & Output resistance		入力 Input	350.2 $\Omega$	出力 Output	349.5 $\Omega$

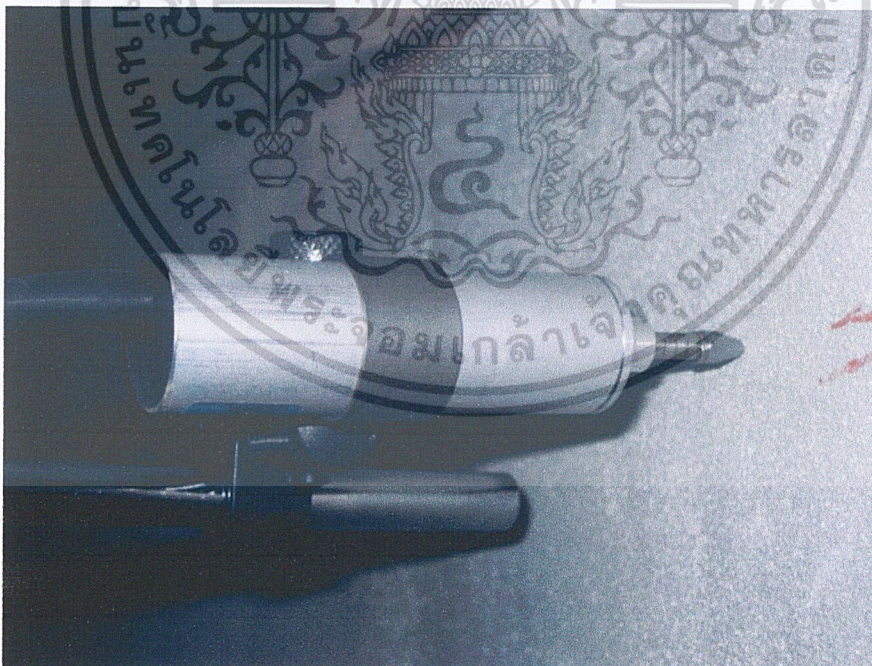
単位 Unit: mm,  $\mu$ V/V, Serial

株式会社 共和電業  
KYOWA ELECTRONIC INSTRUMENTS CO., LTD.

検査者  
Inspector

責任者  
Semen

รูปที่ 4.12. Test Data Sheet ของ Displacement Transducer สำหรับวัดระยะการแอ่นตัวในแนวตั้ง



รูปที่ 4.13. Displacement Transducer สำหรับวัดระยะการเคลื่อนตัวของคานสะพาน

検査成績書  
Test Data Sheet

型式名 Model	DTH-A-10	検査年月日 Inspected date	2010. 5. 24	製造番号 Serial No.	FS8120020
定格容量 Rated Capacity	10mm	温度 Temp.	23 °C	湿度 Humidity	50 %RH
1. 定格出力 Rated output			4996	$\mu V/V$	
			9992	$\times 10^{-3}$	
2. 非直線性 Nonlinearity			0.02	%RO	
3. ヒステリシス Hysteresis			0.02	%RO	
4. 校正係数 Calibration constant			0.002002mm / $\mu V/V$		
			0.001001mm / $1.0 \times 10^{-3}$		
5. 入出力抵抗 Input & Output resistance		入力 Input	349.9	$\Omega$	
		出力 Output	349.7	$\Omega$	

単位 Unit: 長さ寸法 Strain

株式会社 共和電業  
KYOWA ELECTRONIC INSTRUMENTS CO., LTD.

検査者 Inspector  
責任者 Supervisor

รูปที่ 4.14. Test Data Sheet ของ Displacement Transducer สำหรับวัดระยะการเคลื่อนตัวของคานสะพาน

#### 4.4.4.3. Accelerometer สำหรับวัดความเร่งจากการสั่นไหวของโครงสร้างในช่วง+2g



รูปที่ 4.15. Accelerometer และทิศทาง

検査成績書 Test Data Sheet 加速度変換器 Acceleration transducer			
型式名 Model	AS-2GB	検査年月日 Inspected date	2010. 4. 22
定額感度 Rated Constant	19.61m/s <sup>2</sup>	温度 Temp.	23 °C
		製造番号 Serial No.	FTB620088
		湿度 Humidity	60 %RH
1. 応答周波数範囲 (±5 %以内, 23°C) ±5 %at23°C Frequency response (within ±5 %at23°C)		0 ~	80 Hz
2. 定額出力 Rated output		696	mV/V
		1192	×10 <sup>-6</sup>
3. 非直線性 Nonlinearity		1.00	%RO 以内
4. 校正係数 Calibration constant		0.03290m/s <sup>2</sup> / 1mV/V	
		0.01645m/s <sup>2</sup> / 1×10 <sup>-6</sup>	
5. 入力抵抗 Input Impedance		入力 Input	122.5 MΩ
		出力 Output	122.5 MΩ
単位 Unit			
株式会社 共立電業 KYOWA ELECTRONIC INSTRUMENTS CO., LTD.			

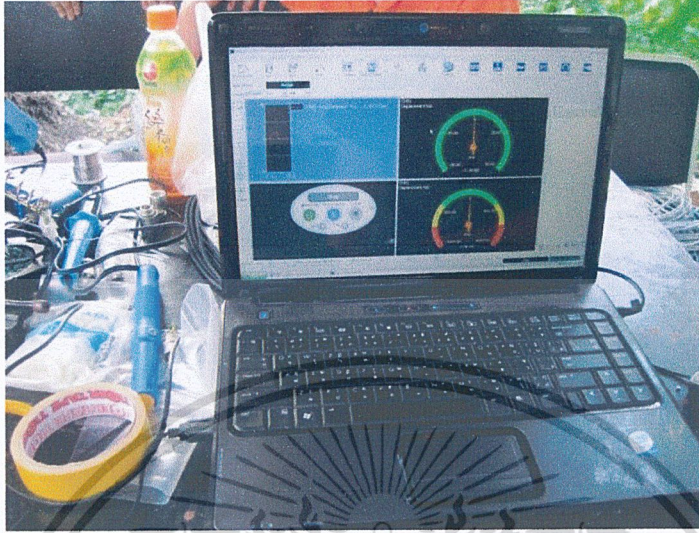
รูปที่ 4.16. Test Data Sheet ของ Accelerometer

#### 4.4.2 อุปกรณ์สำหรับการแปลงผลสัญญาณและบันทึกค่า (Data Acquisition Unit)

ทำหน้าที่รับสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจวัดและบันทึกผล สำหรับการตรวจสอบสะพานนี้ใช้ Data Acquisition ซึ่งสามารถรับสัญญาณจาก Strain Gauge, Displacement Transducer, Accelerometer และอุปกรณ์อื่นๆ ได้โดยมีความละเอียดในการรับและบันทึกค่าได้ถึง 1MHz



รูปที่ 4.17. อุปกรณ์สำหรับการแปลงผลสัญญาณและบันทึกค่า (Data Acquisition Unit)

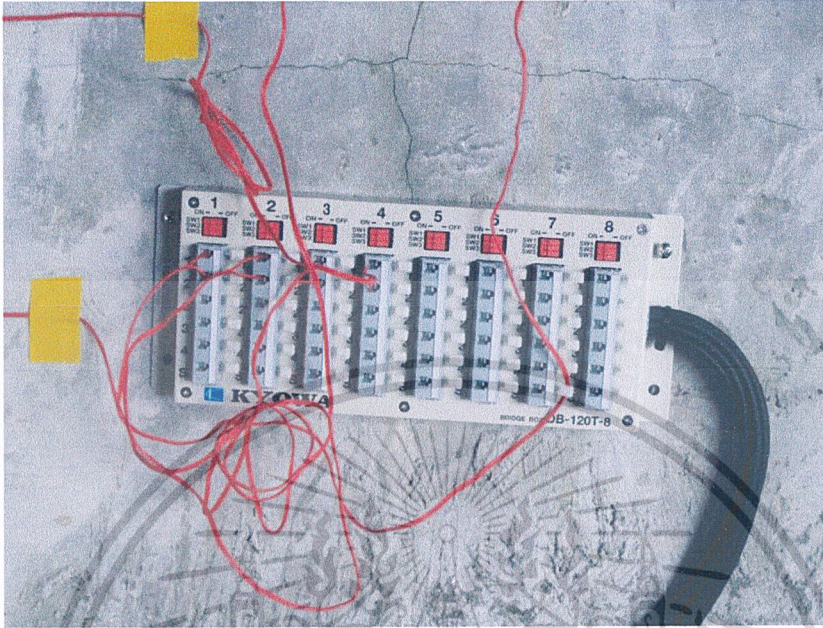


รูปที่ 4.18. คอมพิวเตอร์สำหรับแสดงค่าจาก Data Acquisition Unit

#### 4.4.3. อุปกรณ์อื่นๆ



รูปที่ 4.19. กาวชนิดพิเศษสำหรับติดตั้ง Strain Gauge และ Accelerometer



รูปที่ 4.20. Bridge Box ที่ใช้รับสัญญาณจาก Strain Gauge

## บทที่ 5

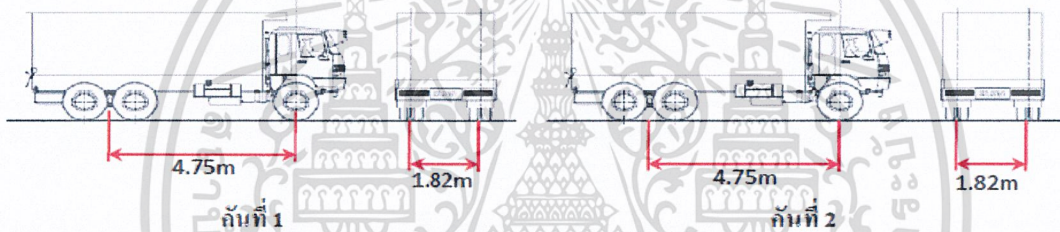
# ผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกจริงของสะพานข้ามคลอง

### 5.1. ผลการทดสอบ Load Test คลองตาแป้น (วันที่ทดสอบ 29 มกราคม พ.ศ. 2554)

#### 5.1.1. ข้อมูลรถที่ใช้ในการทดสอบ

คันที่ 1 เลขทะเบียน 98-4595 น้ำหนักบรรทุกรวม 25.5 ตัน

คันที่ 2 เลขทะเบียน 95-9661 น้ำหนักบรรทุกรวม 25.6 ตัน



รูปที่ 5.1. แสดงระยะช่วงต่างๆของรถบรรทุกสลิปด้อ

#### Static Load Test

เที่ยวไป.....จาก บางแค ไป ราชพฤกษ์.....				เที่ยวกลับ...จาก ราชพฤกษ์ ไป บางแค .....			
ตำแหน่งกึ่งกลางเพลาล้อหลัง (นาท)				ตำแหน่งกึ่งกลางเพลาล้อหลัง (นาท)			
ระยะช่วง	L/3	L/2	2L/3	2L/3	L/2	L/3	หมายเหตุ
เวลารอดหยุด ณ ตำแหน่ง	0.55.860	2.23.000		0.57.810	2.23.000		
เวลารอดออก ณ ตำแหน่ง	2.16.000	3.27.000		2.05.000	3.06.00		
File name	TestbridgeKMIT0005			TestbridgeKMIT0006			

#### Dynamic Load Test

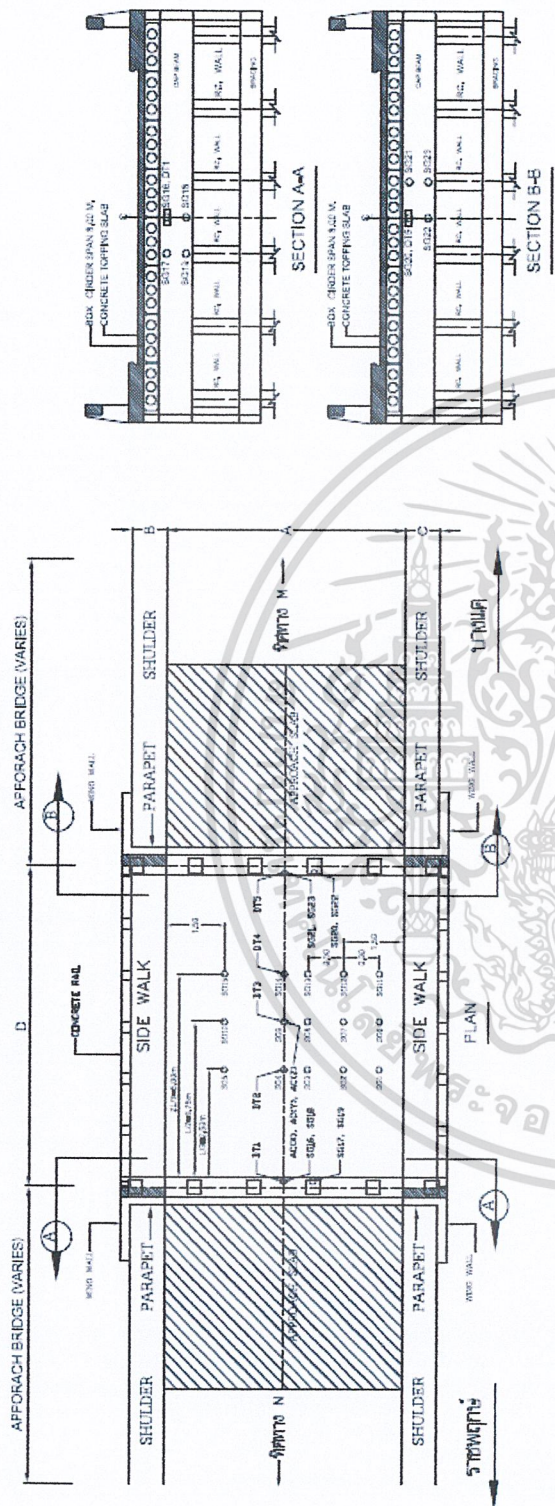
เที่ยวไป.....จาก บางแค ไป ราชพฤกษ์.....		เที่ยวกลับ...จาก ราชพฤกษ์ ไป บางแค .....	
ตำแหน่งกึ่งกลางเพลาล้อหลัง (นาท)		ตำแหน่งกึ่งกลางเพลาล้อหลัง (นาท)	
ระยะช่วง	L/2	L/2	File name
เวลา ณ ความเร็ว 20 กม/ชม.	0.03.050		TestbridgeKMIT0007
เวลา ณ ความเร็ว 40 กม/ชม.		0.12.370	TestbridgeKMIT0008
เวลา ณ ความเร็ว 45 กม/ชม.		0.15.500	TestbridgeKMIT0009
			หมายเหตุ
			วิ่ง 2 คัน
			วิ่ง 2 คัน
			วิ่ง 1 คัน

ตารางที่ 5.1 บันทึกเวลาการทดสอบคลองตาแป้น

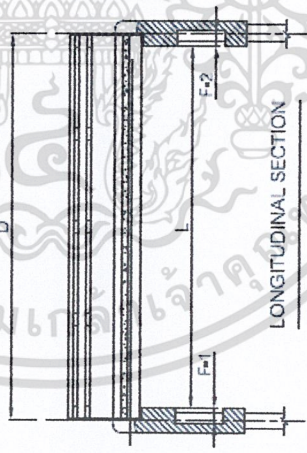
### 5.1.2. บันทึกตำแหน่งเซนเซอร์

No.	Sensor	Code	CH.	Bridge Box	ตำแหน่ง	หมายเหตุ
1	Strain Gage	SG1	1		ใต้พื้นสะพาน	
2	Strain Gage	SG2	2		ใต้พื้นสะพาน	
3	Strain Gage	SG3	3		ใต้พื้นสะพาน	
4	Strain Gage	SG4	4		ใต้พื้นสะพาน	
5	Strain Gage	SG5	5		ใต้พื้นสะพาน	
6	Strain Gage	SG6	6		ใต้พื้นสะพาน	
7	Strain Gage	SG7	7		ใต้พื้นสะพาน	
8	Strain Gage	SG8	8		ใต้พื้นสะพาน	
9	Strain Gage	SG9	9		ใต้พื้นสะพาน	
10	Strain Gage	SG10	10		ใต้พื้นสะพาน	
11	Strain Gage	SG11	11		ใต้พื้นสะพาน	
12	Strain Gage	SG12	32		ใต้พื้นสะพาน	
13	Strain Gage	SG13	13		ใต้พื้นสะพาน	
14	Strain Gage	SG14	14		ใต้พื้นสะพาน	
15	Strain Gage	SG15	15		ใต้พื้นสะพาน	
16	Strain Gage	SG16	16		ข้าง Cap beam บน (ระหว่างเสา)	
17	Strain Gage	SG17	17		ข้าง Cap beam บน (กึ่งกลางเสา)	
18	Strain Gage	SG18	18		ข้าง Cap beam ต่ำ (ระหว่างเสา)	
19	Strain Gage	SG19	19		ข้าง Cap beam ต่ำ (กึ่งกลางเสา)	
20	Strain Gage	SG20	20		ข้าง Cap beam บน (ระหว่างเสา)	
21	Strain Gage	SG21	21		ข้าง Cap beam บน (กึ่งกลางเสา)	
22	Strain Gage	SG22	22		ข้าง Cap beam ต่ำ (ระหว่างเสา)	
23	Strain Gage	SG23	23		ข้าง Cap beam ต่ำ (กึ่งกลางเสา)	
24	Acceleration	AC (x)	24		ใต้พื้นสะพาน	
25	Acceleration	AC (y)	25		ใต้พื้นสะพาน	
26	Acceleration	AC (z)	26		ใต้พื้นสะพาน	
27	Displacement	DT1	27		ข้าง Cap beam บน (ระหว่างเสา)	
28	Displacement	DT2	28		ใต้พื้นสะพาน	
29	Displacement	DT3	29		ใต้พื้นสะพาน	
30	Displacement	DT4	30		ใต้พื้นสะพาน	
31	Displacement	DT5	31		ข้าง Cap beam บน (ระหว่างเสา)	

ตารางที่ 5.2. ตารางบันทึกตำแหน่งเซนเซอร์คลองตาเป็น



ระยะความกว้างขี้นคาน-ขี้นคาน	A	6.01 m
ระยะความกว้างคาน	B	1.02 m
ระยะความกว้างขี้นคาน	C	1.00 m
ความหนาขี้นคาน-ขี้นคาน	D	8.04 m
ระยะเดือย ขี้นคาน-ขี้นคาน	L	7.50 m
ความกว้างของบ้่านคานคาน	F-1	0.25 m
ความกว้างของบ้่านคานคาน	F-2	0.25 m
ขี้นคาน M ขี้นคาน	ขี้นคาน	
ขี้นคาน N ขี้นคาน	ขี้นคาน	



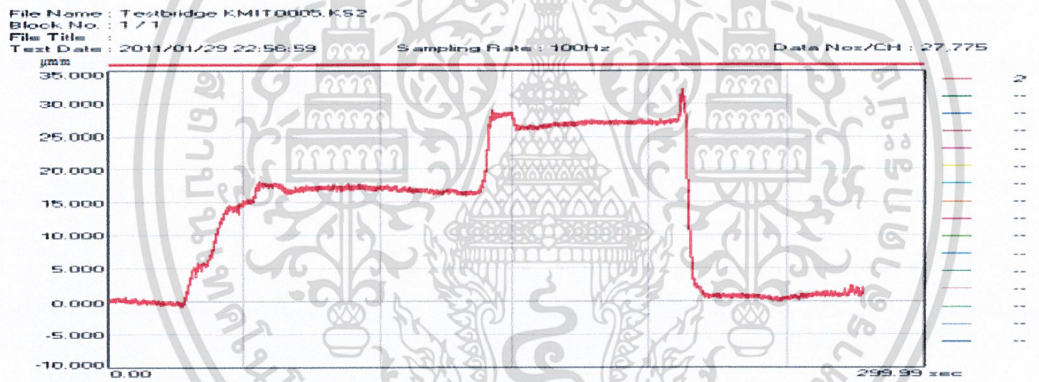
รูปที่ 5.2. รูปแสดงตำแหน่งติดตั้งเซอร์คัลองตาเป็น

### 5.1.3. เทียบไปจาก บางแค ไป ราชพฤกษ์

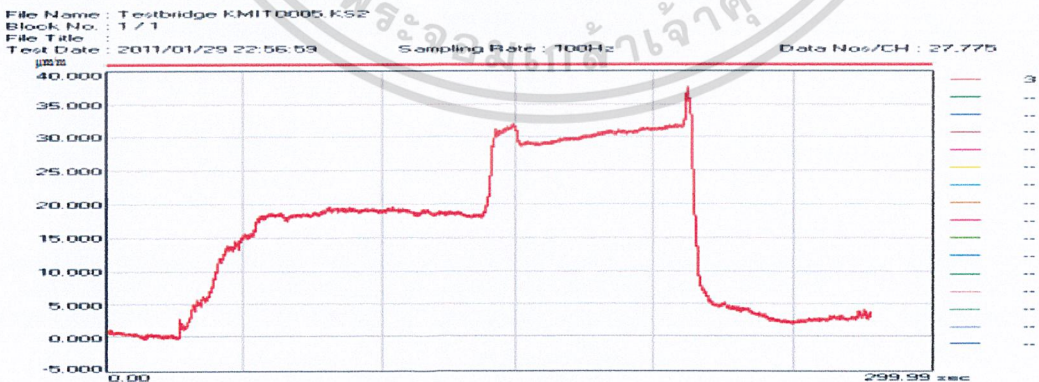
#### 5.1.3.1. สัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge



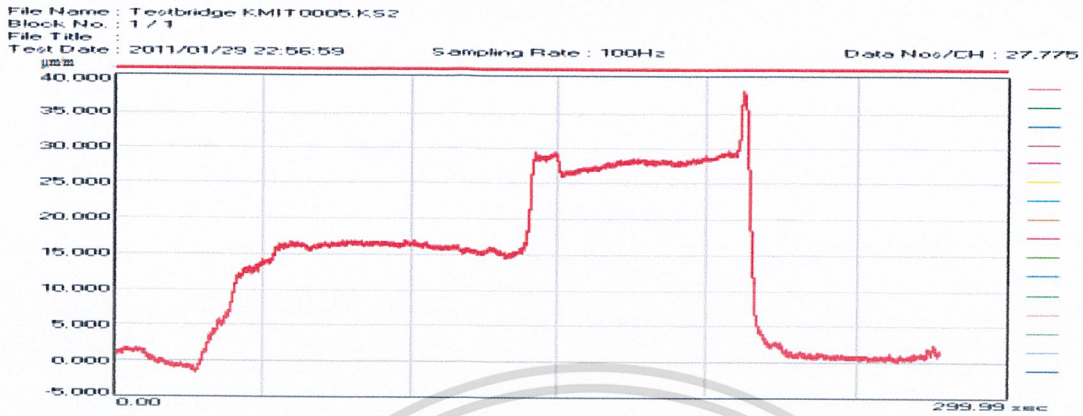
รูปที่ 5.3. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH1



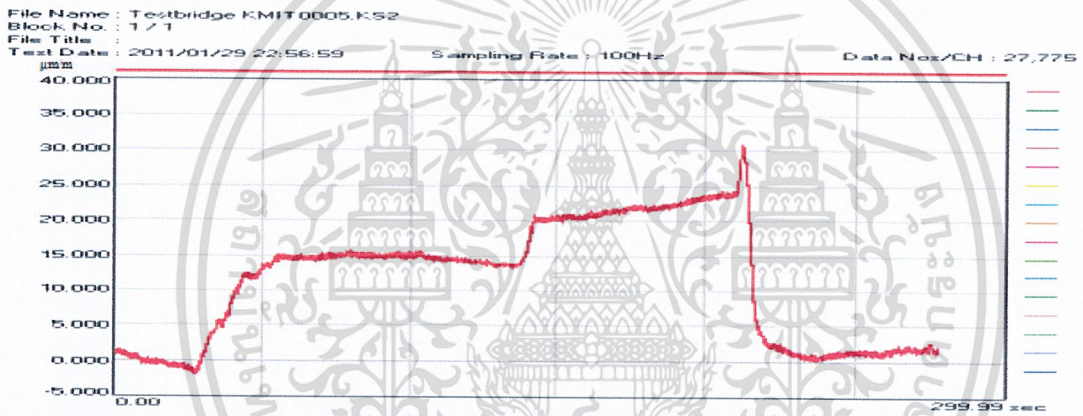
รูปที่ 5.4. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH2



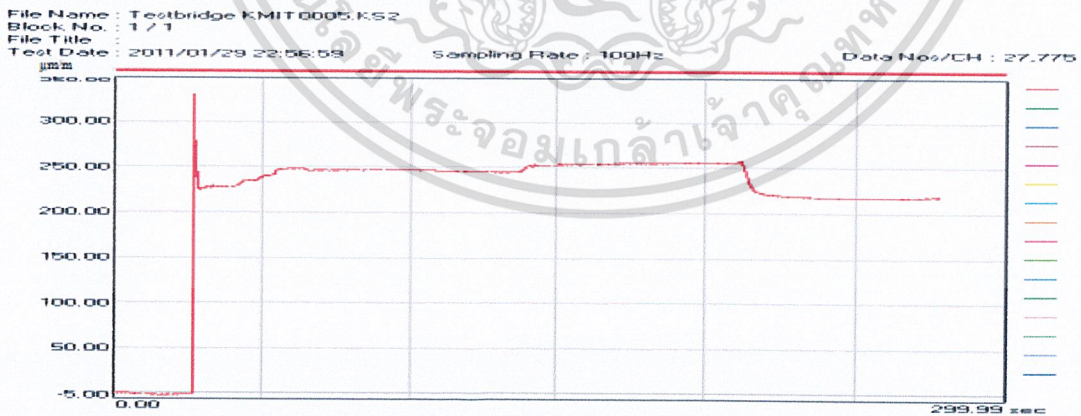
รูปที่ 5.5. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH3



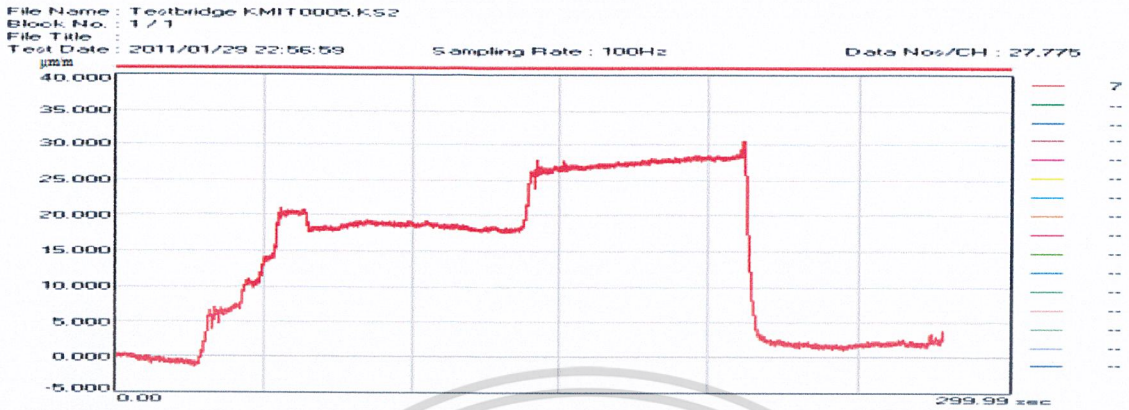
รูปที่ 5.6. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH4



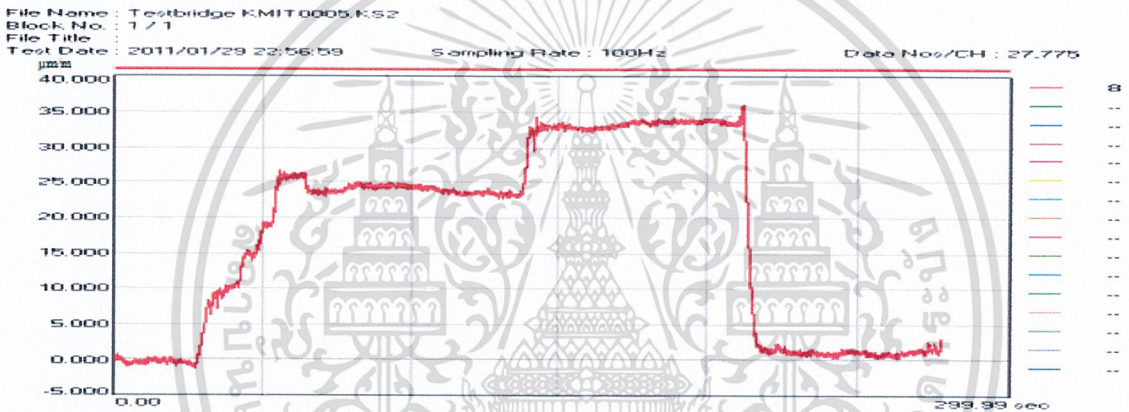
รูปที่ 5.7. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH5



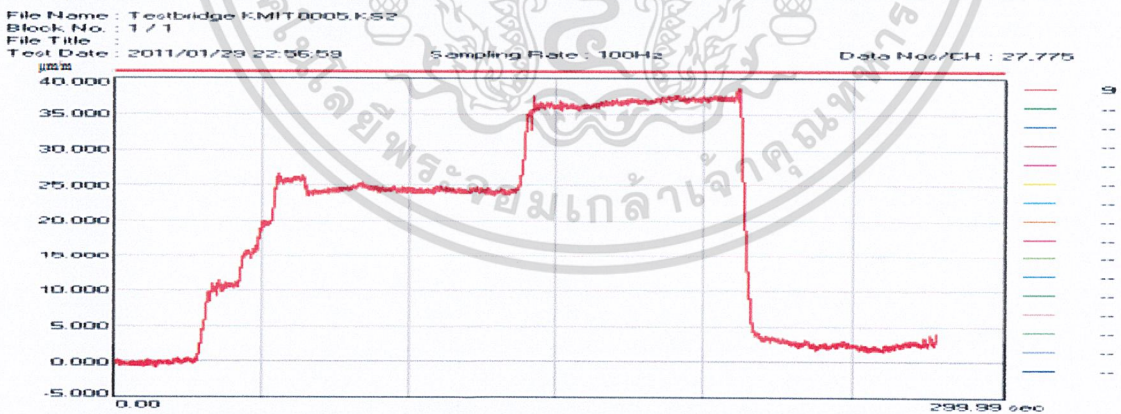
รูปที่ 5.8. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH6



รูปที่ 5.9. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH7

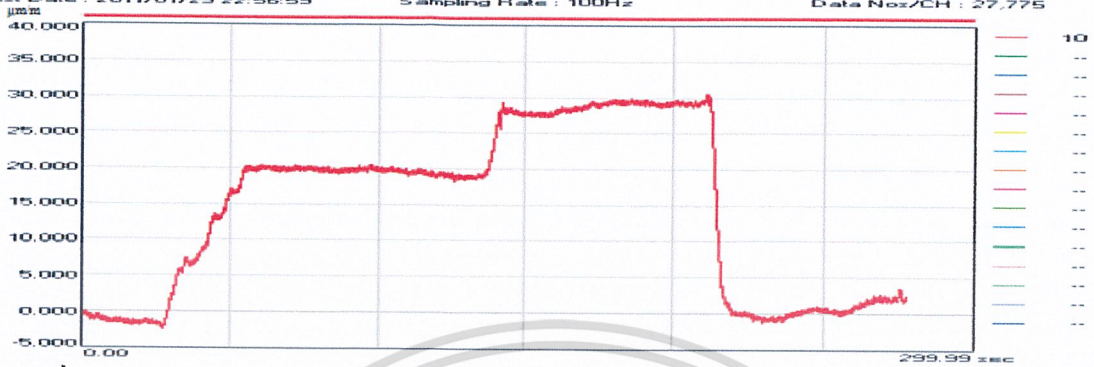


รูปที่ 5.10. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH8



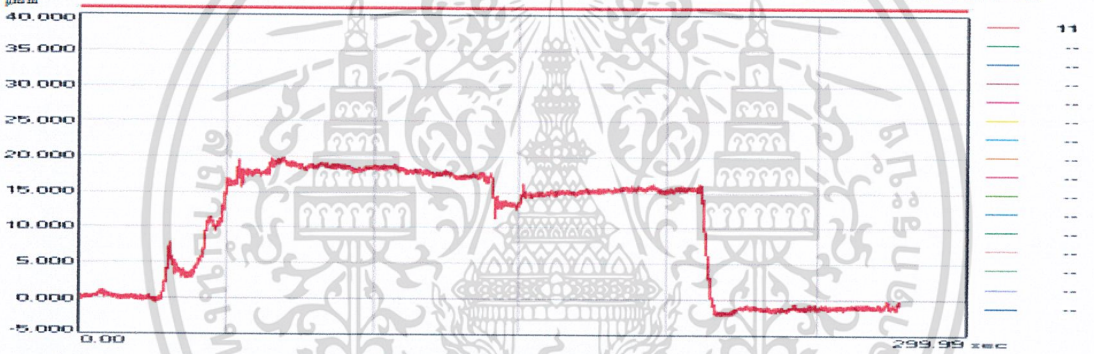
รูปที่ 5.11. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH9

File Name : Testbridge KMIT0005.KS2  
 Block No. : 1 / 1  
 File Title :  
 Test Date : 2011/01/29 22:56:59 Sampling Rate : 100Hz Data Noz/CH : 27,775



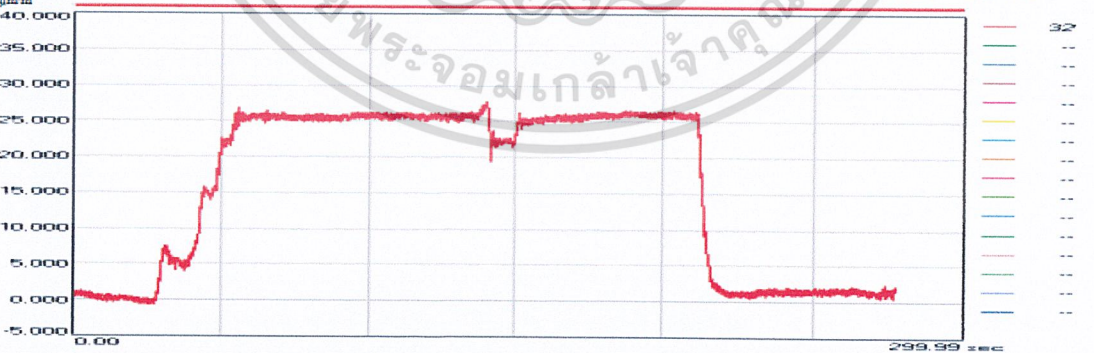
รูปที่ 5.12. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH10

File Name : Testbridge KMIT0005.KS2  
 Block No. : 1 / 1  
 File Title :  
 Test Date : 2011/01/29 22:56:59 Sampling Rate : 100Hz Data Noz/CH : 27,775



รูปที่ 5.13. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH11

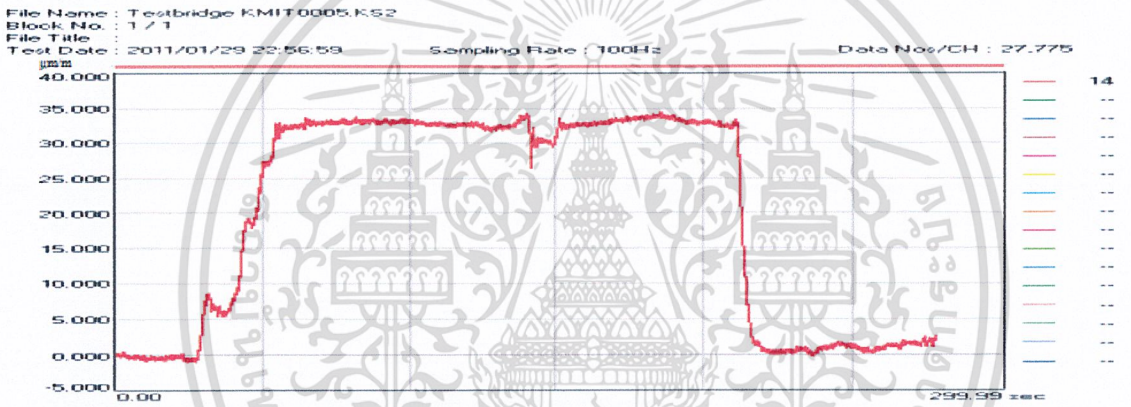
File Name : Testbridge KMIT0005.KS2  
 Block No. : 1 / 1  
 File Title :  
 Test Date : 2011/01/29 22:56:59 Sampling Rate : 100Hz Data Noz/CH : 27,775



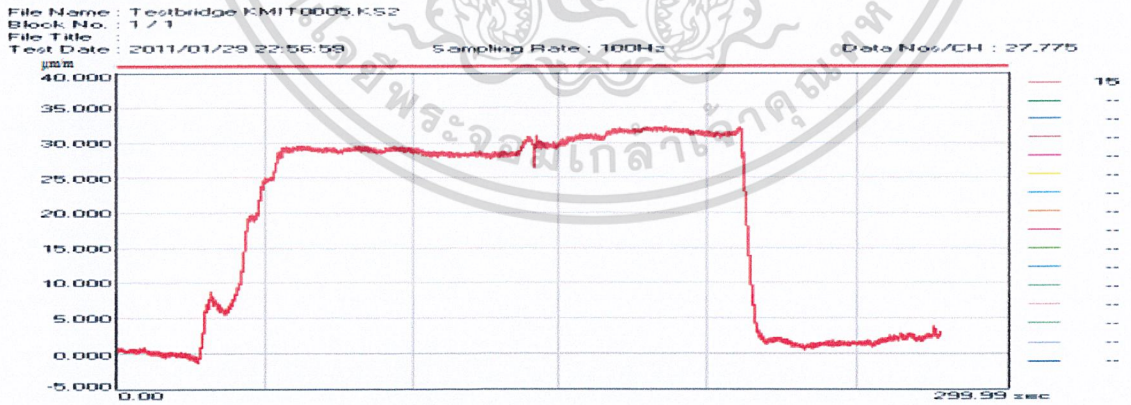
รูปที่ 5.14. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH32



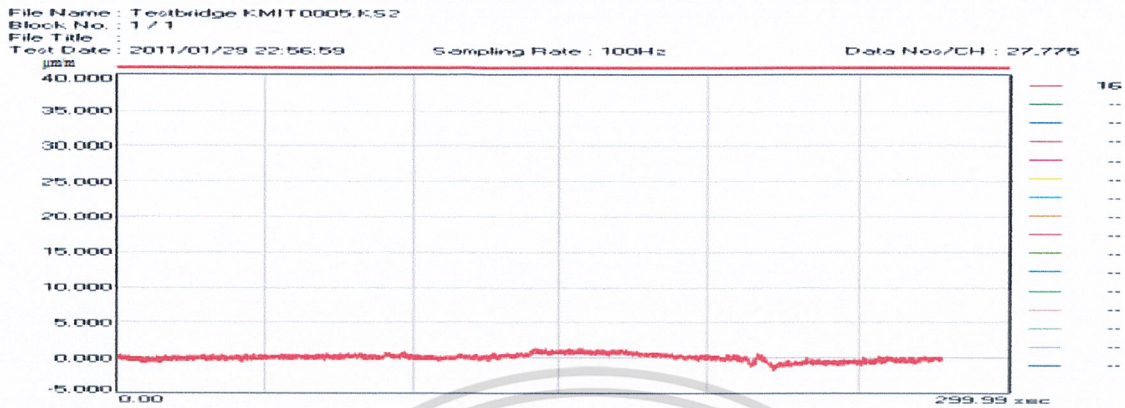
รูปที่ 5.15. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH13



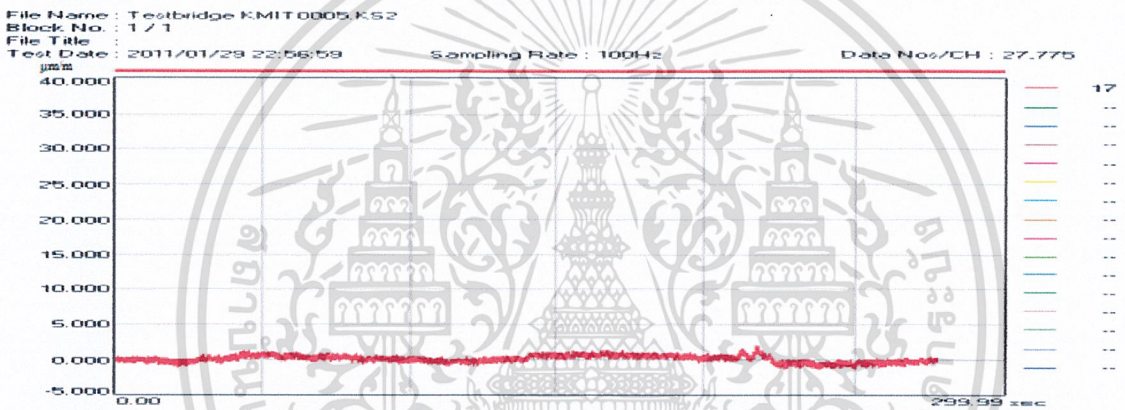
รูปที่ 5.16. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH14



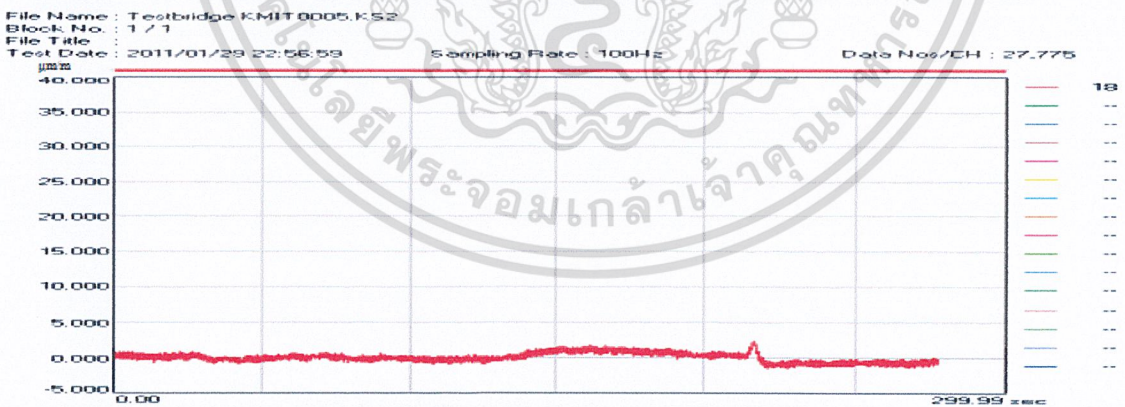
รูปที่ 5.17. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH15



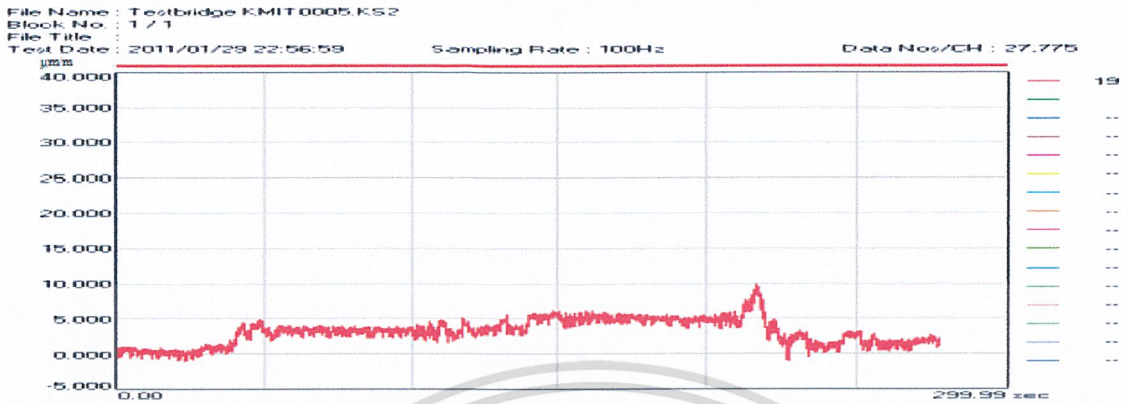
รูปที่ 5.18. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH16



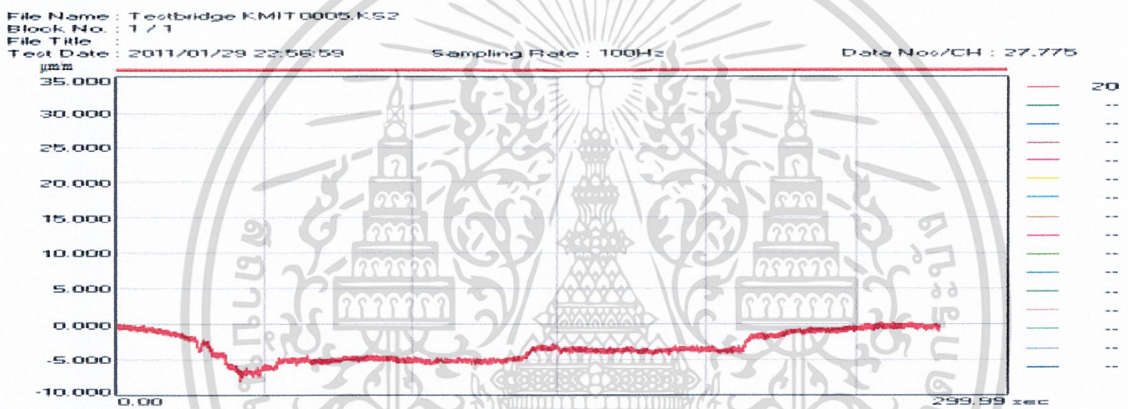
รูปที่ 5.19. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH17



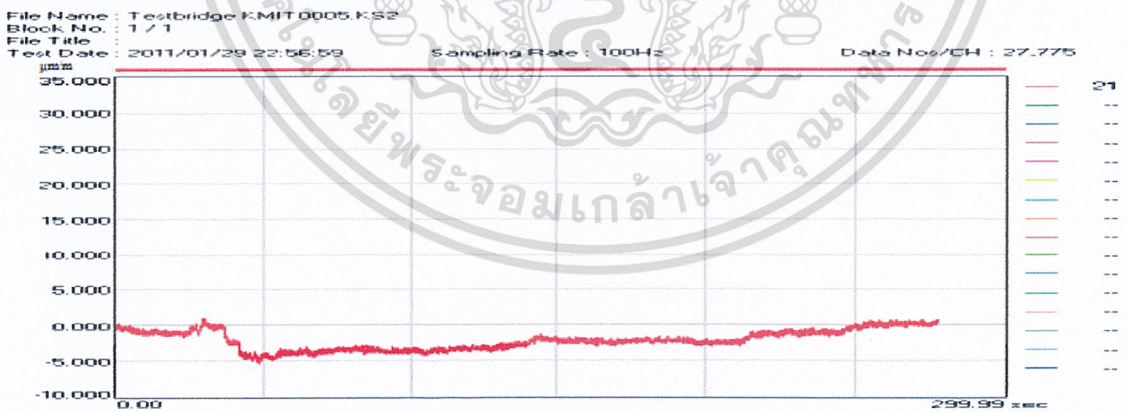
รูปที่ 5.20. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH18



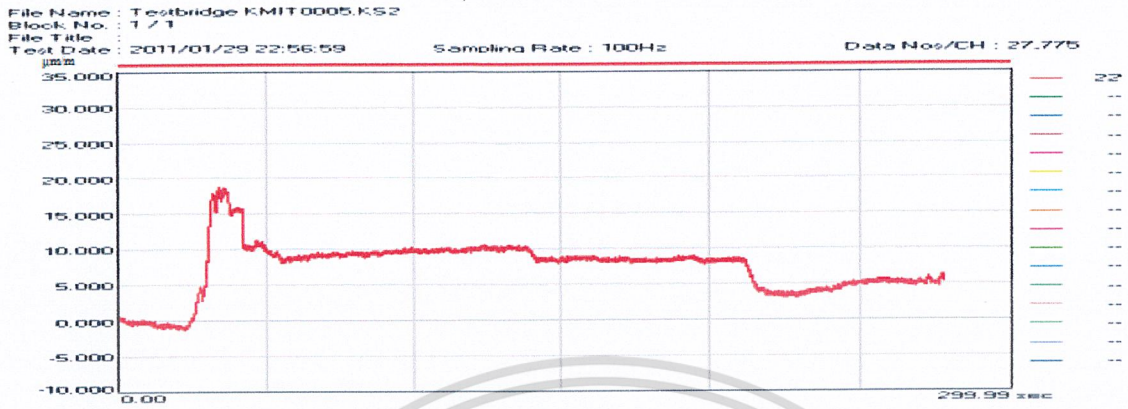
รูปที่ 5.21. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH19



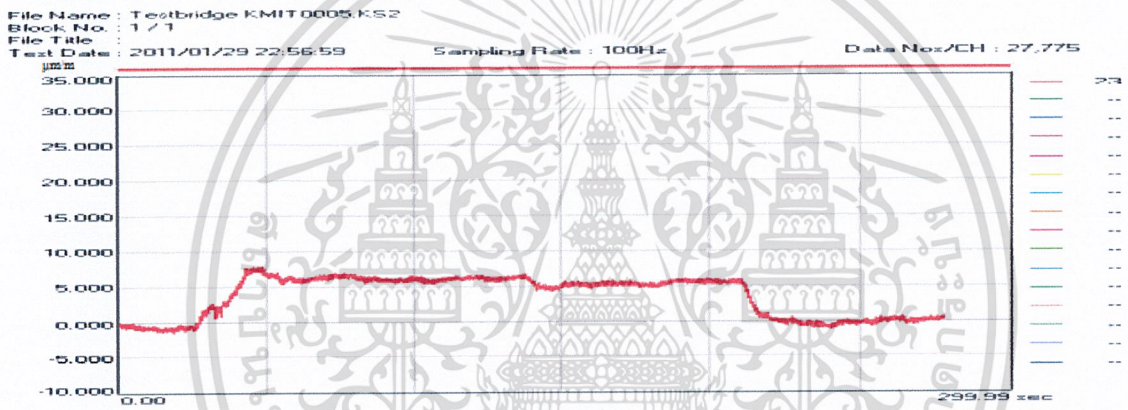
รูปที่ 5.22. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH20



รูปที่ 5.23. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH21



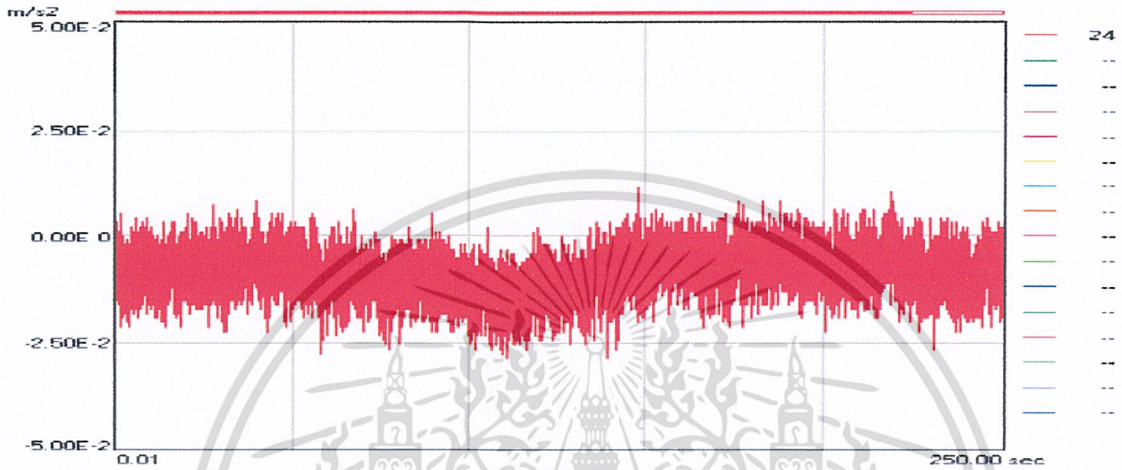
รูปที่ 5.24. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH22



รูปที่ 5.25. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขาไป CH23

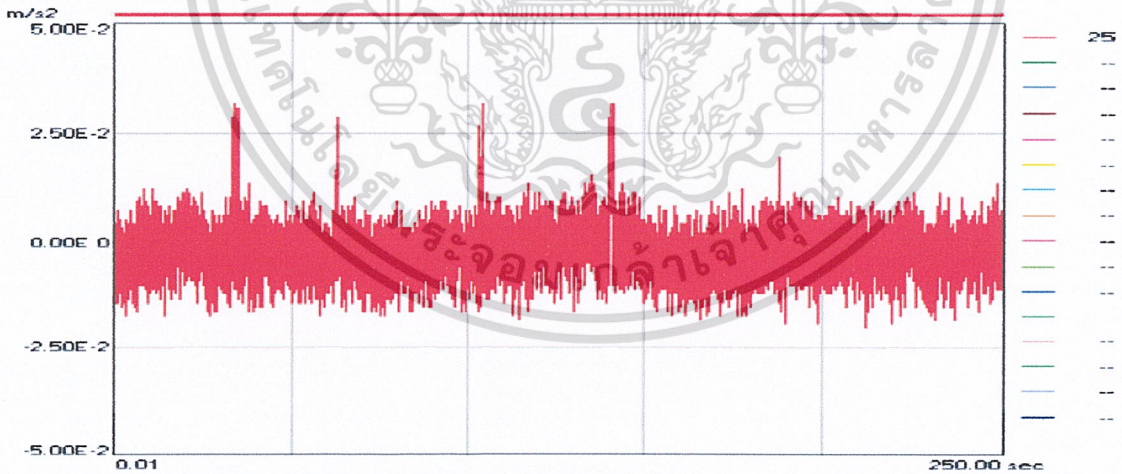
### 5.1.3.2. สัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer

File Name : Testbridge KMIT0005.KS2  
Block No. : 1 / 1  
File Title :  
Test Date : 2011/01/29 22:56:59 Sampling Rate : 100Hz Data Nos/CH : 27,775



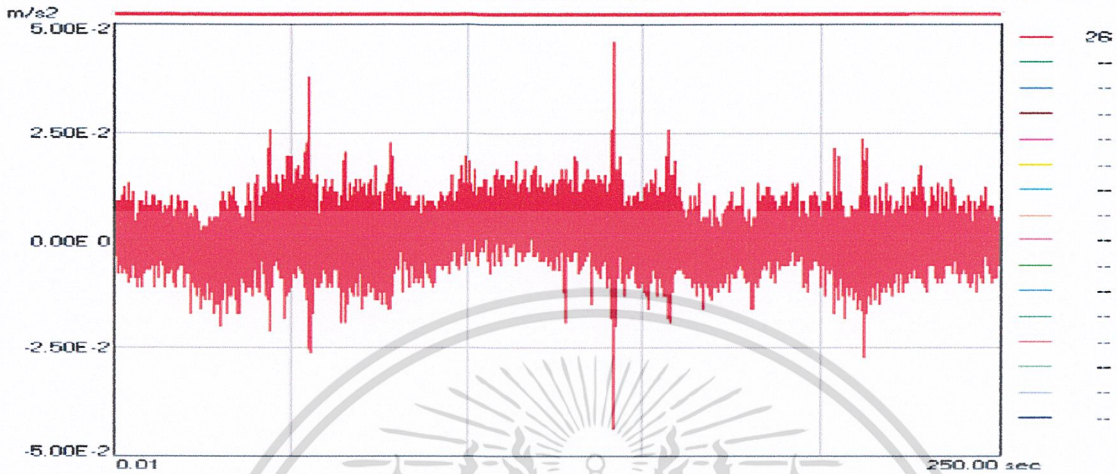
รูปที่ 5.26. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH24 (แกน X)

File Name : Testbridge KMIT0005.KS2  
Block No. : 1 / 1  
File Title :  
Test Date : 2011/01/29 22:56:59 Sampling Rate : 100Hz Data Nos/CH : 27,775



รูปที่ 5.27. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH25 (แกน Y)

File Name : Testbridge KMIT0005.KS2  
Block No. : 1 / 1  
File Title :  
Test Date : 2011/01/29 22:56:59      Sampling Rate : 100Hz      Data Nos/CH : 27,775

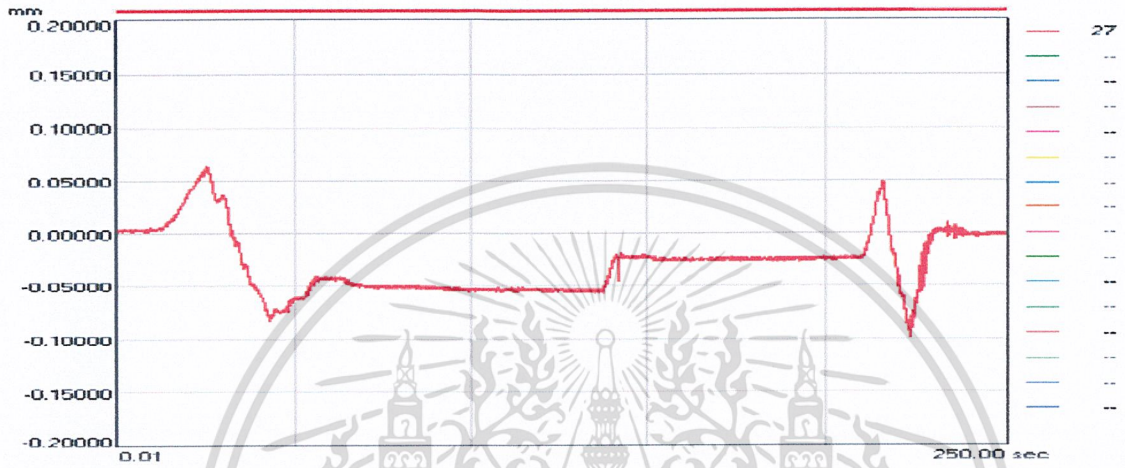


รูปที่ 5.28. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH26 (แกน Z)



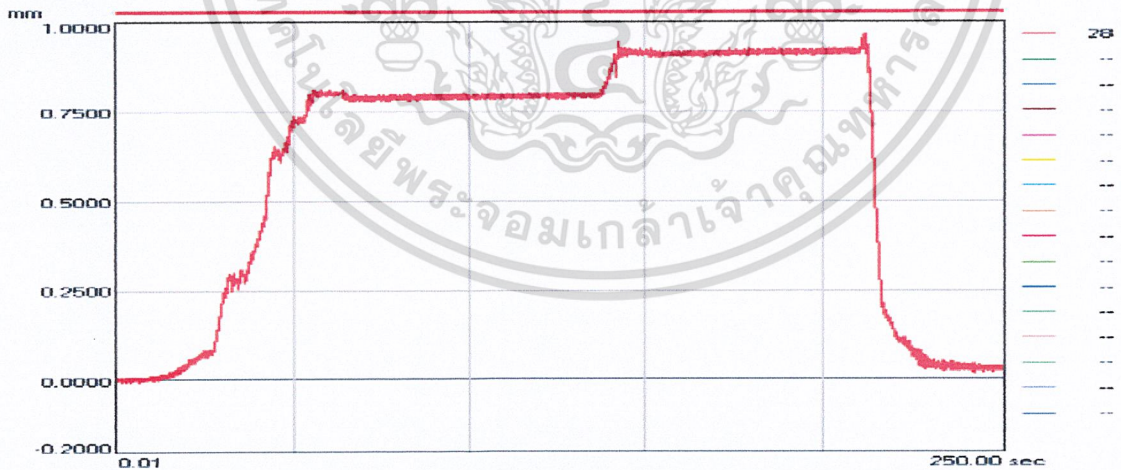
### 5.1.3.3. สัญญาณที่ได้รับจาก Displacement Transducer

File Name : Testbridge KMIT0005.KS2  
Block No. : 1 / 1  
File Title :  
Test Date : 2011/01/29 22:56:59      Sampling Rate : 100Hz      Data Nos/CH : 27,775



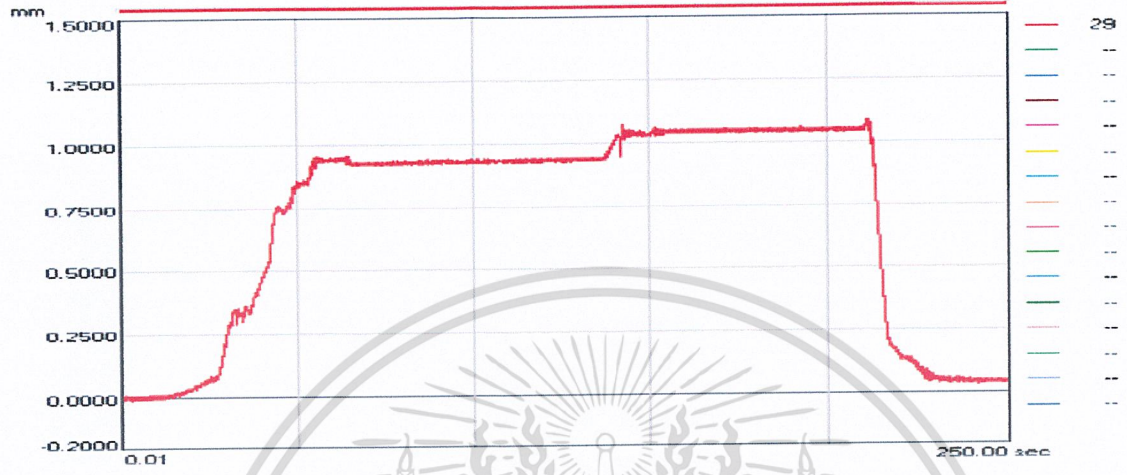
รูปที่ 5.29. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH27

File Name : Testbridge KMIT0005.KS2  
Block No. : 1 / 1  
File Title :  
Test Date : 2011/01/29 22:56:59      Sampling Rate : 100Hz      Data Nos/CH : 27,775



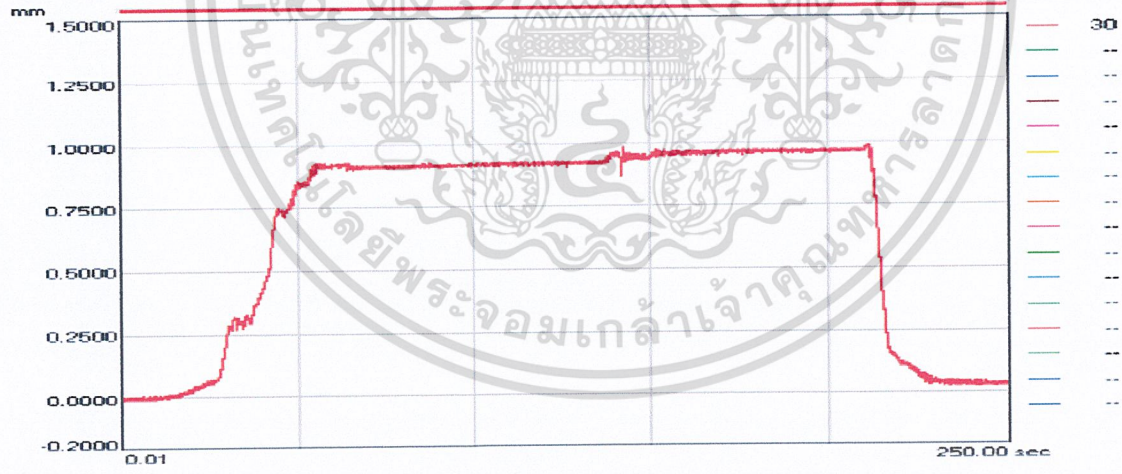
รูปที่ 5.30. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH28

File Name : Testbridge KMIT0005 KS2  
 Block No. : 1 / 1  
 File Title :  
 Test Date : 2011/01/29 22:56:59      Sampling Rate : 100Hz      Data Nos/CH : 27,775



รูปที่ 5.31. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH29

File Name : Testbridge KMIT0005 KS2  
 Block No. : 1 / 1  
 File Title :  
 Test Date : 2011/01/29 22:56:59      Sampling Rate : 100Hz      Data Nos/CH : 27,775

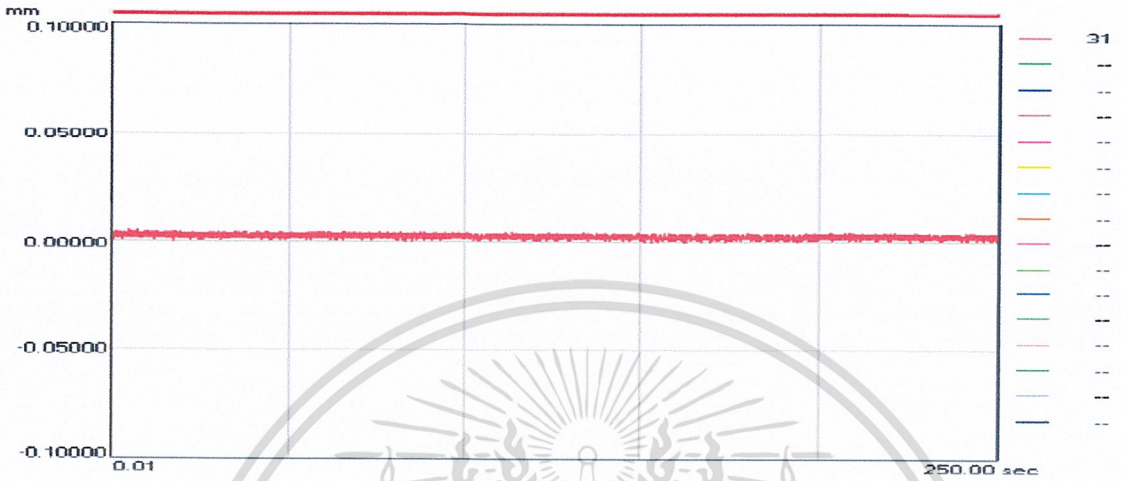


รูปที่ 5.32. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH30

File Name : Testbridge KMIT0005.KS2  
Block No. : 1 / 1  
File Title :  
Test Date : 2011/01/29 22:56:59

Sampling Rate : 100Hz

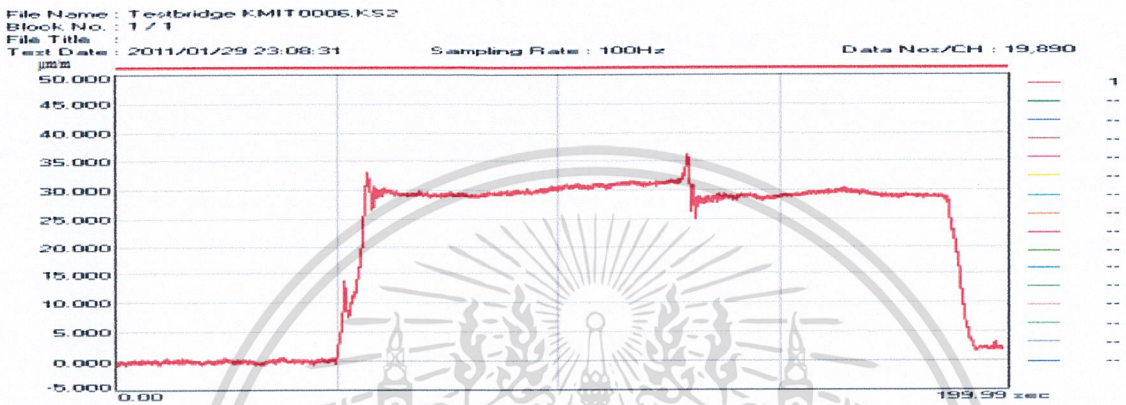
Data Nos/CH : 27,775



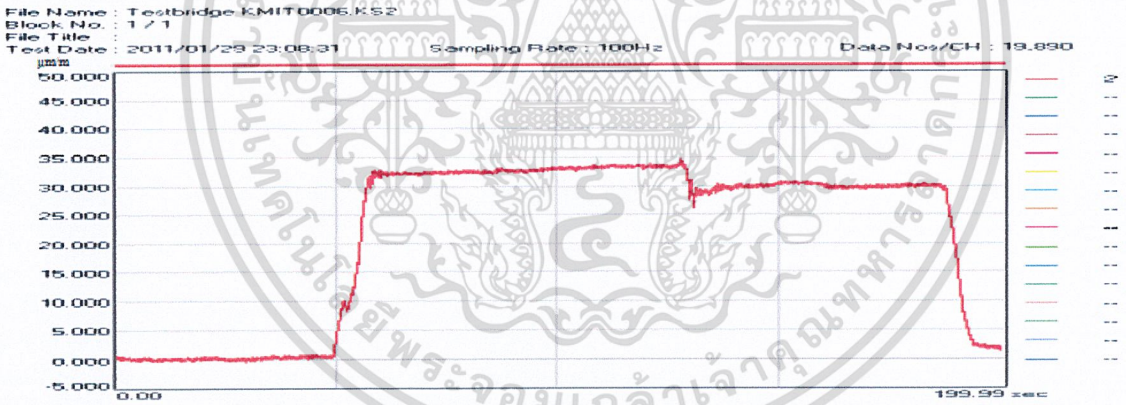
รูปที่ 5.33. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH31

### 5.1.4. เทียบกลับ จาก ราชพฤกษ์ กลับ บางแค

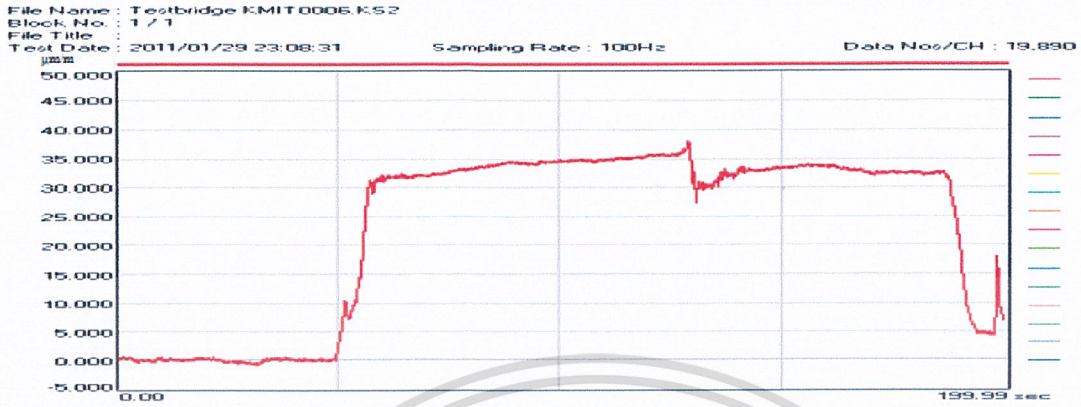
#### 5.1.4.1. สัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge



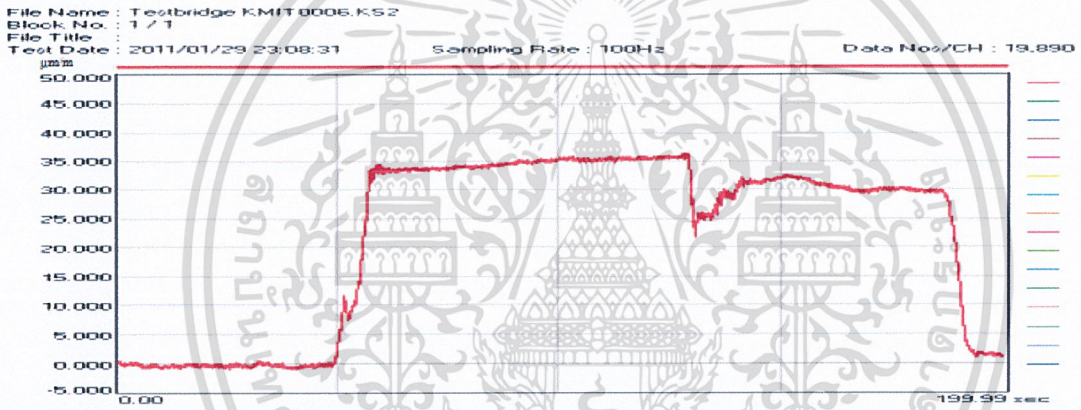
รูปที่ 5.34. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาแป้น จากกลับ CH1



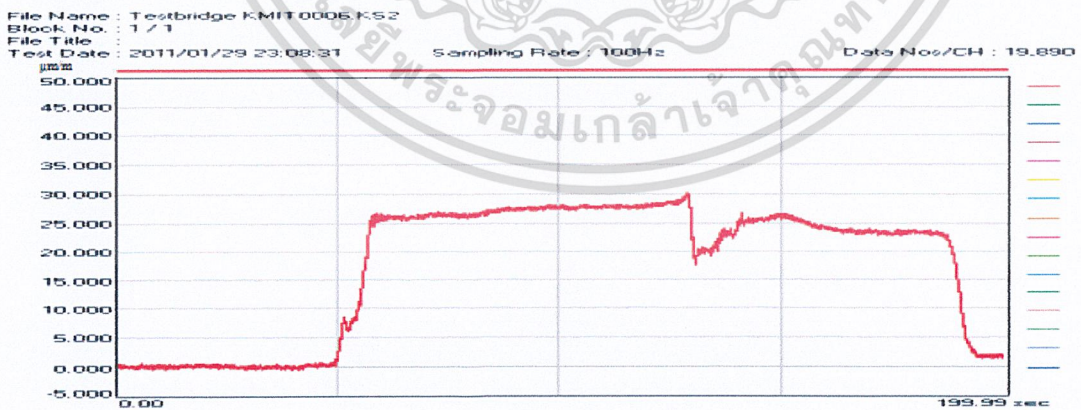
รูปที่ 5.35. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาแป้น จากกลับ CH2



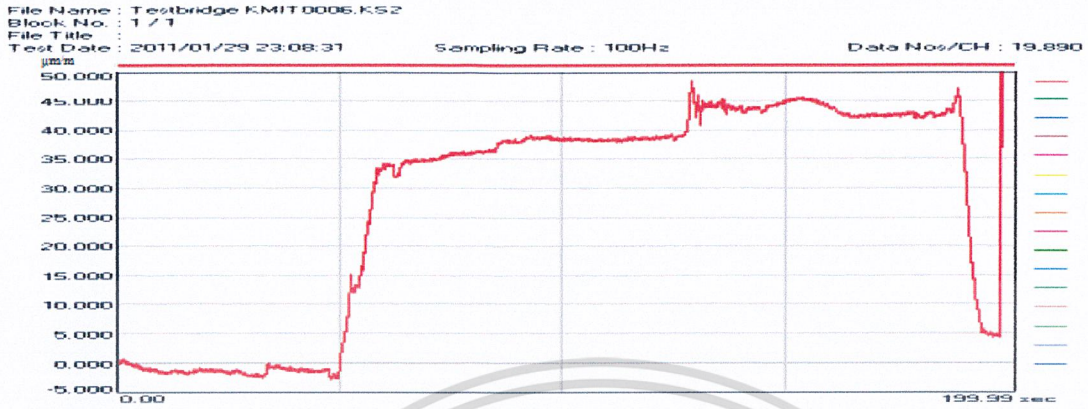
รูปที่ 5.36. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขากลับ CH3



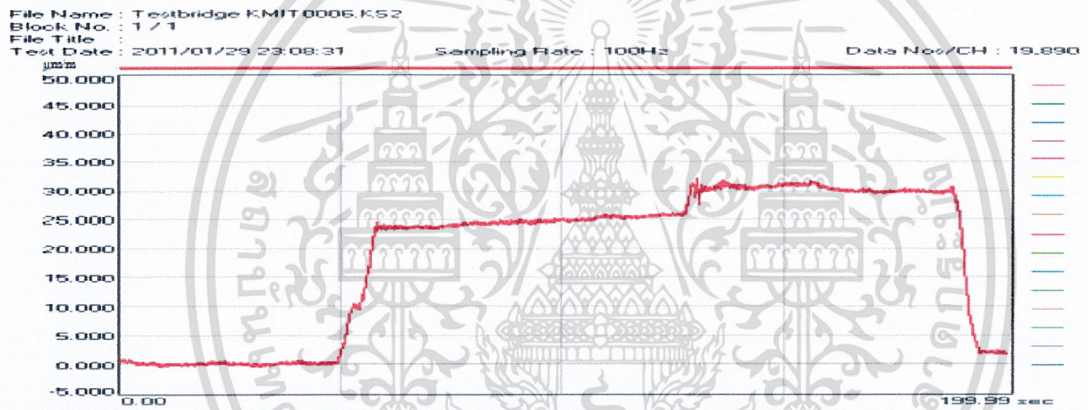
รูปที่ 5.37. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขากลับ CH4



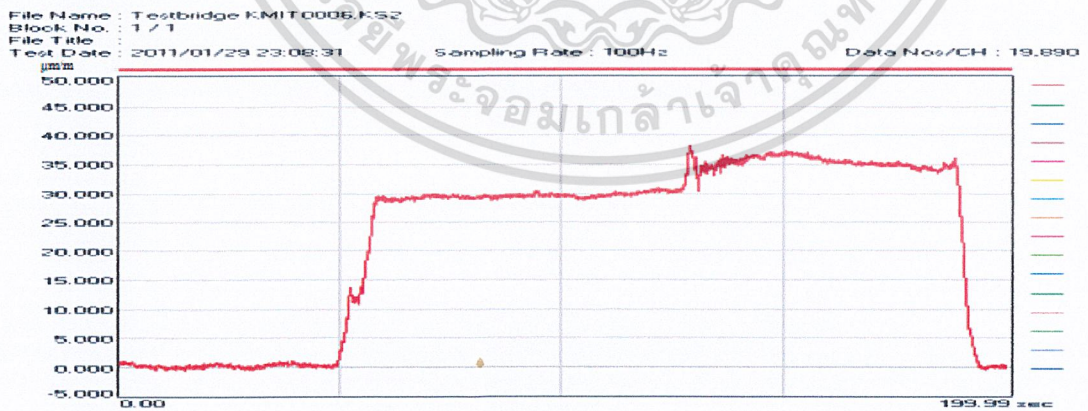
รูปที่ 5.38. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขากลับ CH5



รูปที่ 5.39. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาแป้น ขากลับ CH6

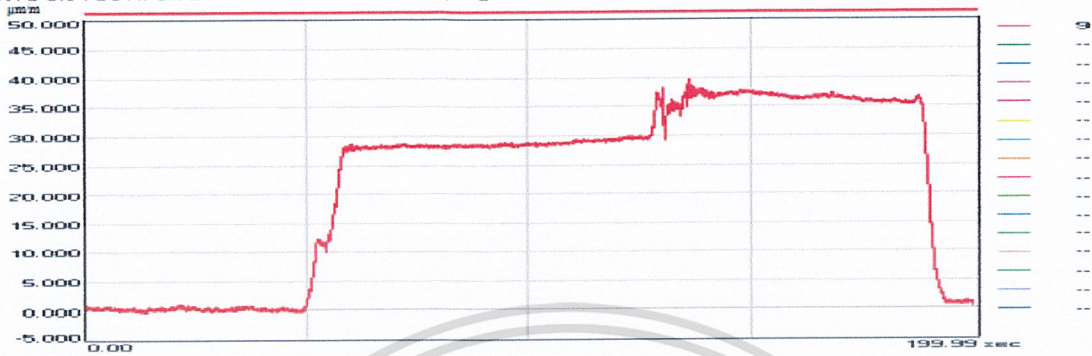


รูปที่ 5.40. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาแป้น ขากลับ CH7



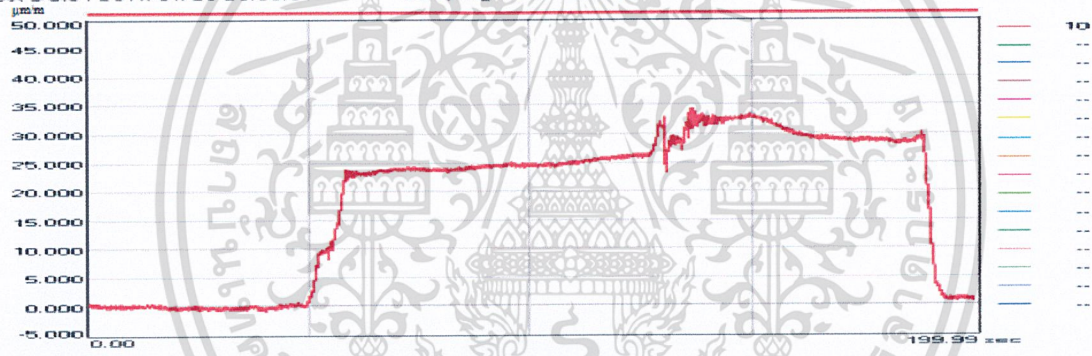
รูปที่ 5.41. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาแป้น ขากลับ CH8

File Name : Testbridge KMIT0005.KS2  
 Block No. : 1 / 1  
 File Title :  
 Test Date : 2011/01/29 23:08:31 Sampling Rate : 100Hz Date No./CH : 19.890



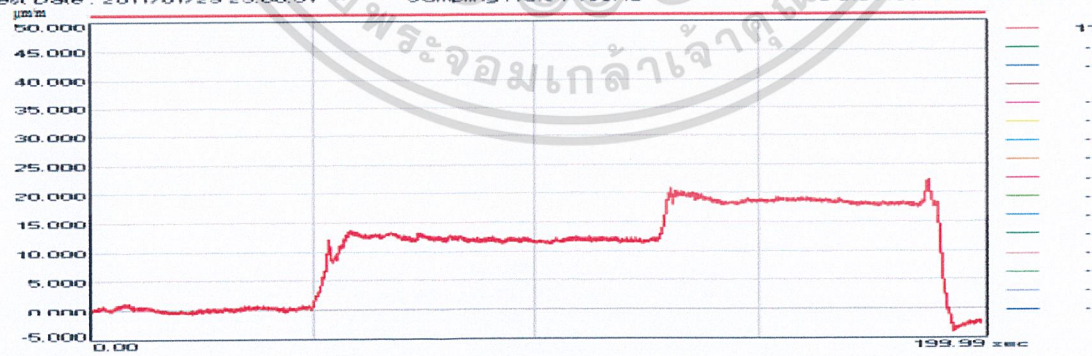
รูปที่ 5.42. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขากลับ CH9

File Name : Testbridge KMIT0005.KS2  
 Block No. : 1 / 1  
 File Title :  
 Test Date : 2011/01/29 23:08:31 Sampling Rate : 100Hz Date No./CH : 19.890

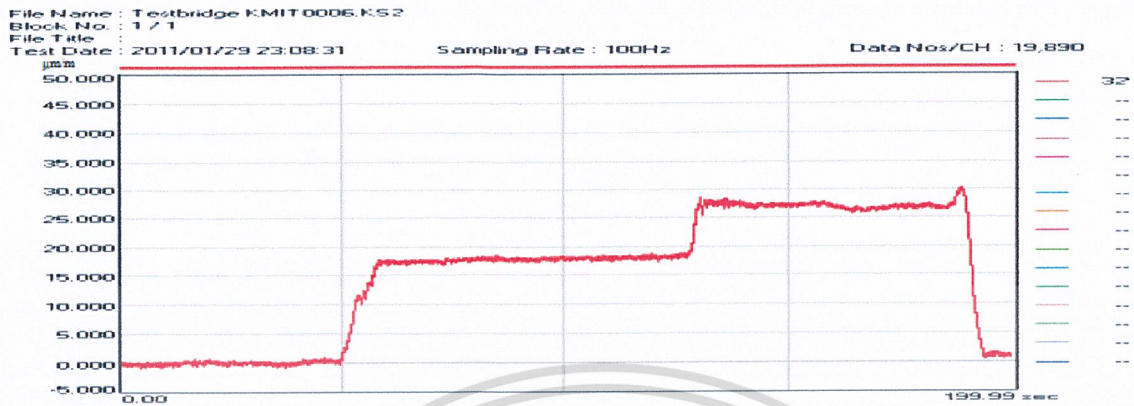


รูปที่ 5.43. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขากลับ CH10

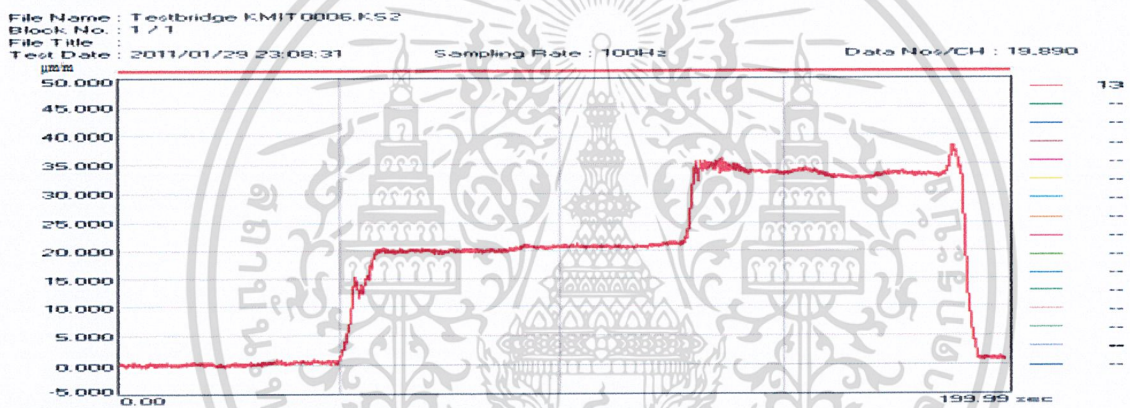
File Name : Testbridge KMIT0005.KS2  
 Block No. : 1 / 1  
 File Title :  
 Test Date : 2011/01/29 23:08:31 Sampling Rate : 100Hz Date No./CH : 19.890



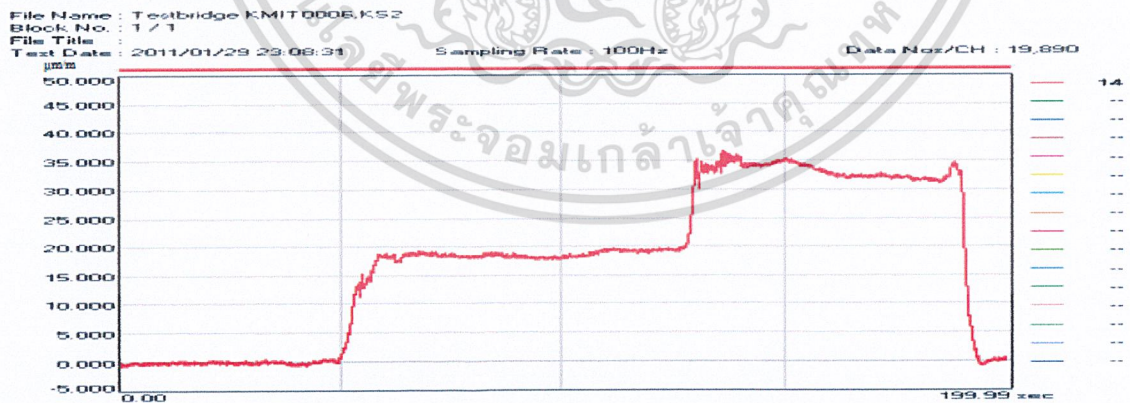
รูปที่ 5.44. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขากลับ CH11



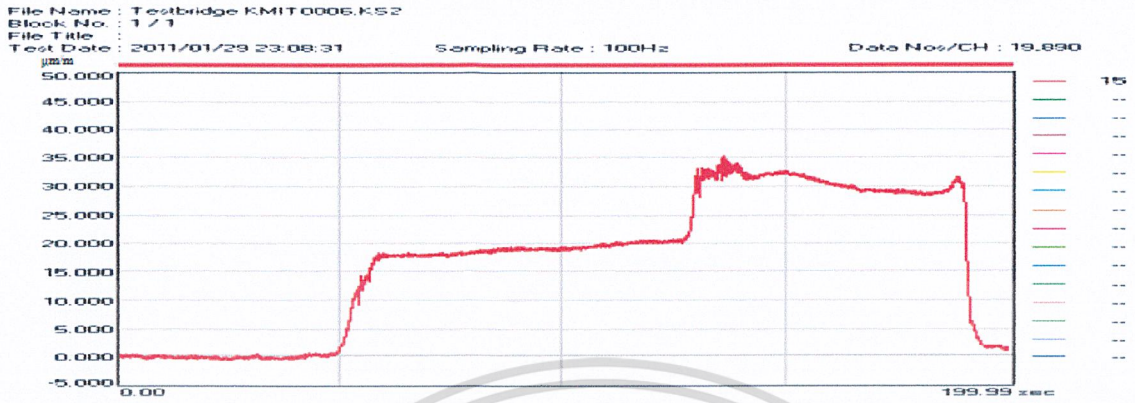
รูปที่ 5.45. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขากลับ CH32



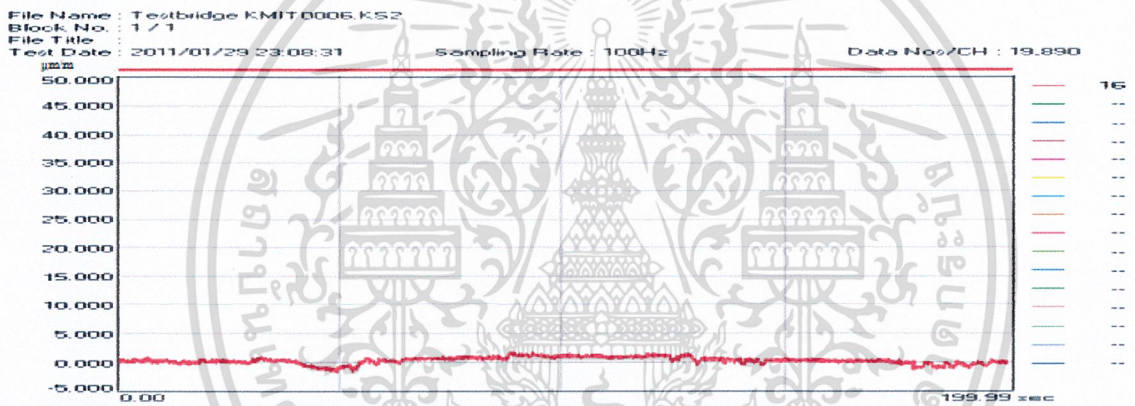
รูปที่ 5.46. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขากลับ CH13



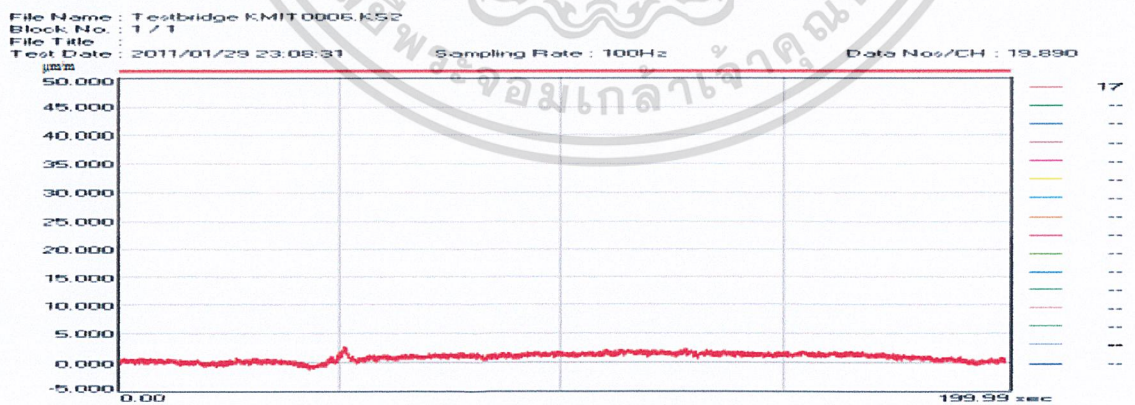
รูปที่ 5.47. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขากลับ CH14



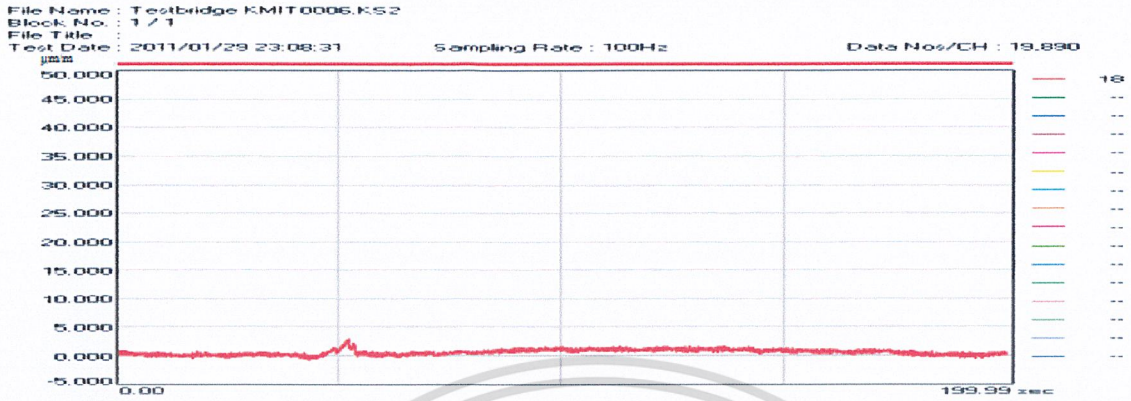
รูปที่ 5.48. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขากลับ CH15



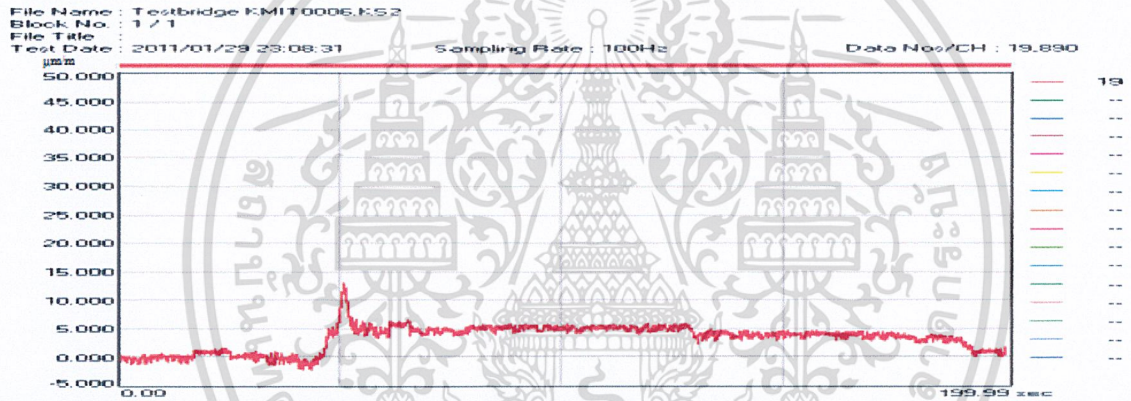
รูปที่ 5.49. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขากลับ CH16



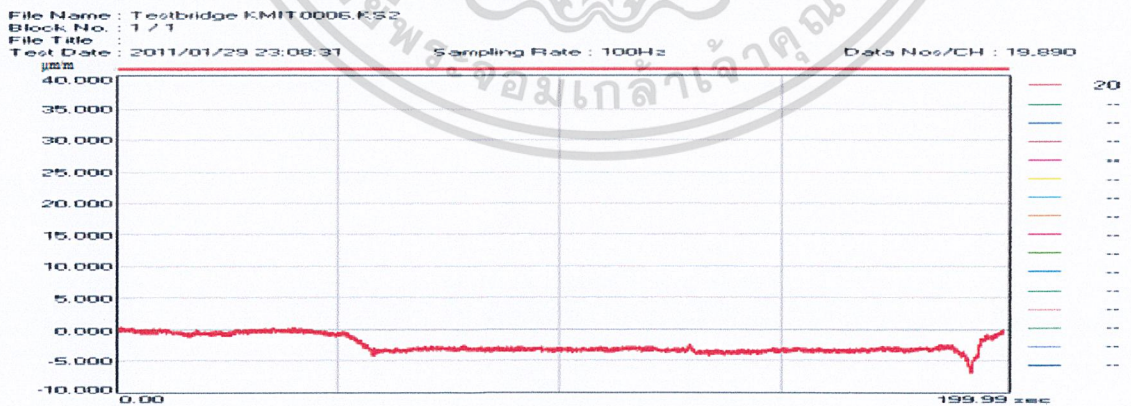
รูปที่ 5.50. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น ขากลับ CH17



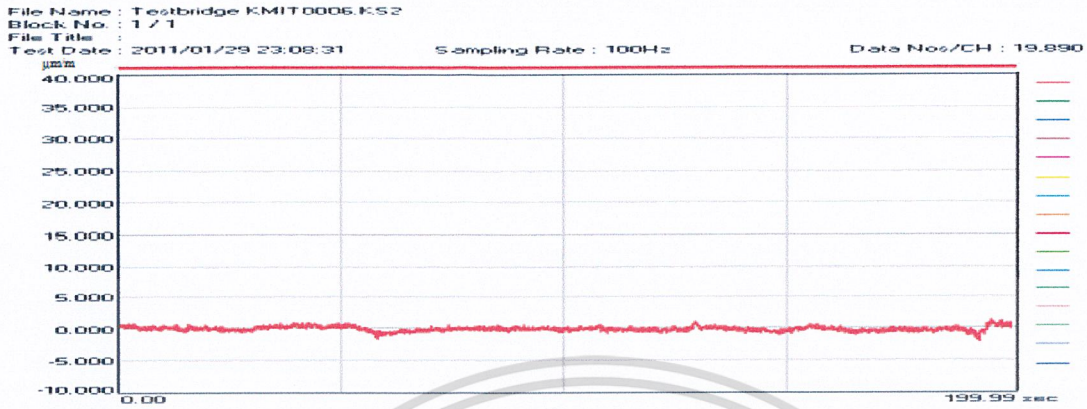
รูปที่ 5.51. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น จากลับ CH18



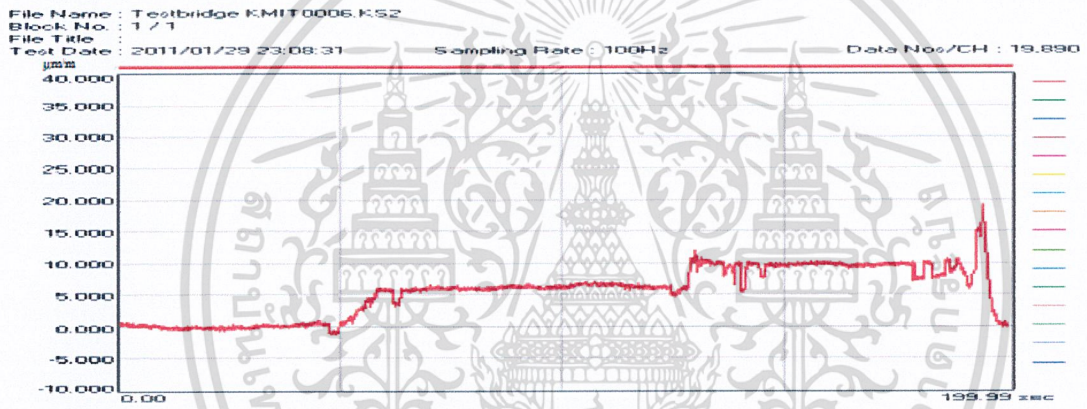
รูปที่ 5.52. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น จากลับ CH19



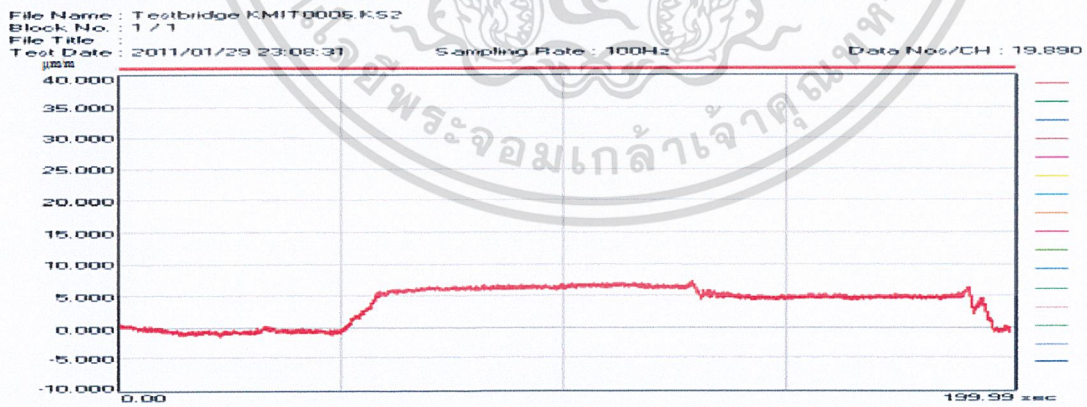
รูปที่ 5.53 กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาเป็น จากลับ CH20



รูปที่ 5.54. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาแป้น จากถับ CH21



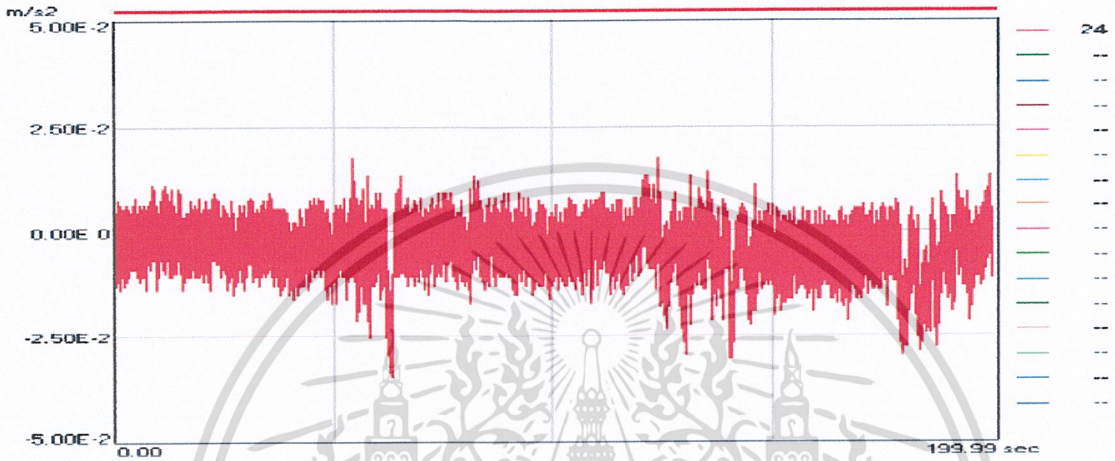
รูปที่ 5.55. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาแป้น จากถับ CH22



รูปที่ 5.56. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาแป้น จากถับ CH23

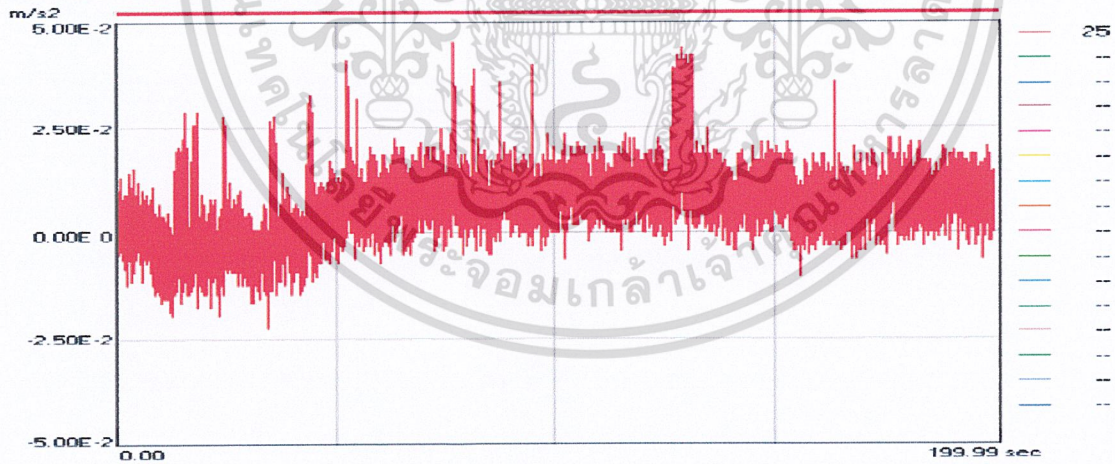
### 5.1.4.2. สัญญาณที่ได้จาก Accelerometer

File Name : Testbridge KMIT0006.KS2  
Block No. : 1 / 1  
File Title :  
Test Date : 2011/01/29 23:08:31 Sampling Rate : 100Hz Data Nos/CH : 19,890



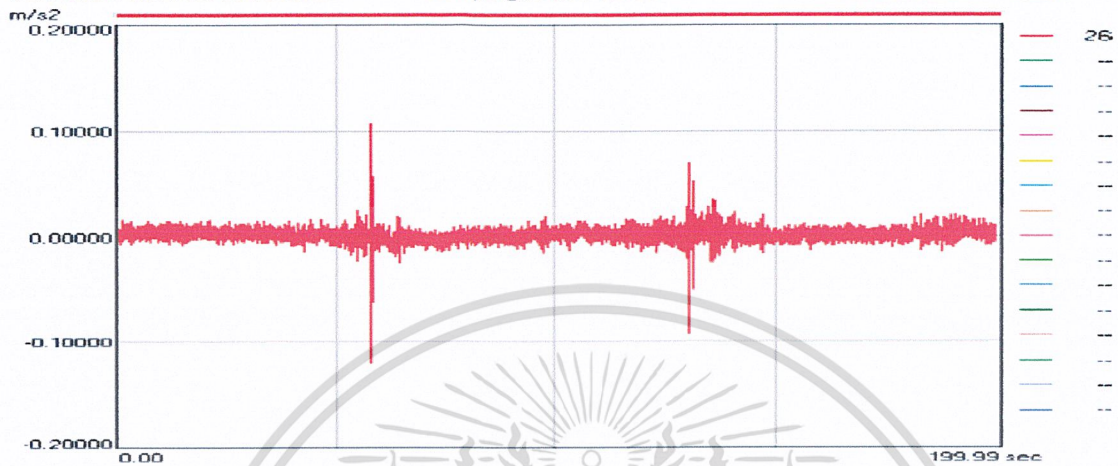
รูปที่ 5.57. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH24 (แกน X)

File Name : Testbridge KMIT0006.KS2  
Block No. : 1 / 1  
File Title :  
Test Date : 2011/01/29 23:08:31 Sampling Rate : 100Hz Data Nos/CH : 19,890

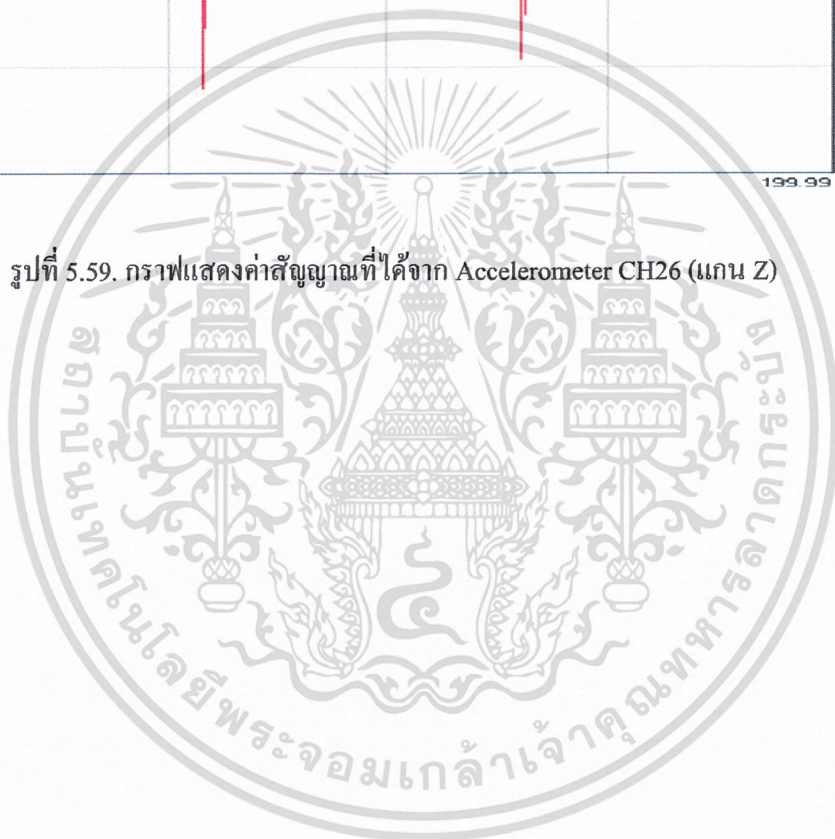


รูปที่ 5.58. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH25 (แกน Y)

File Name : Testbridge KMIT0006.KS2  
Block No. : 1 / 1  
File Title :  
Test Date : 2011/01/29 23:08:31      Sampling Rate : 100Hz      Data Nos/CH : 19,890

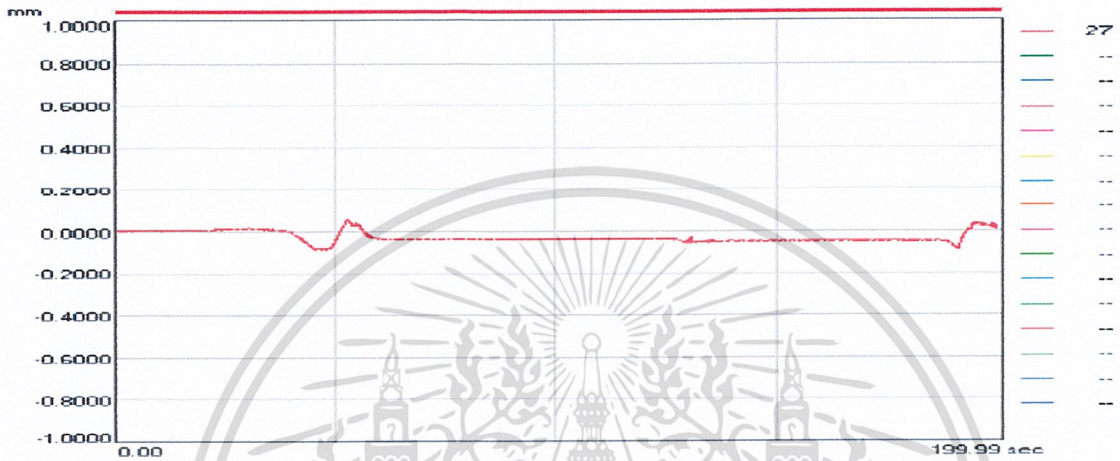


รูปที่ 5.59. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH26 (แกน Z)



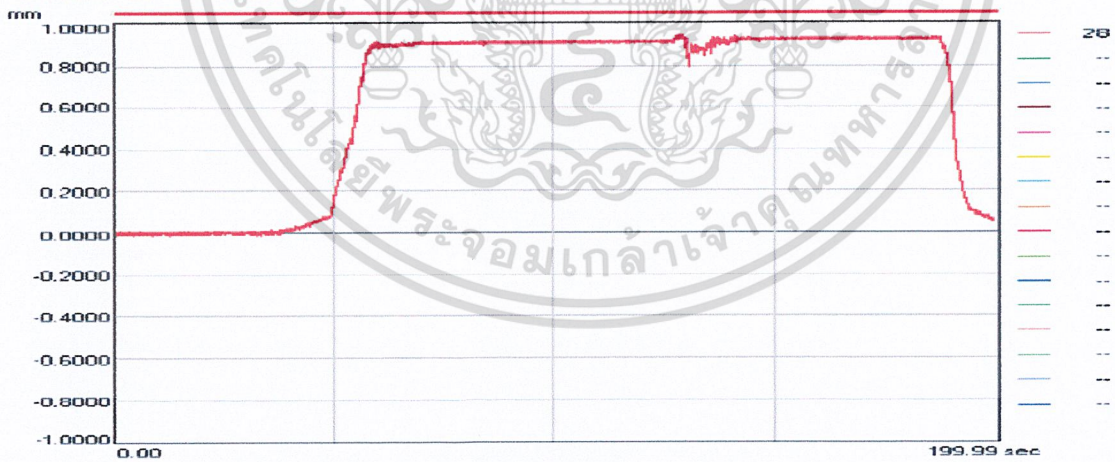
### 5.1.4.3. สัญญาณที่ได้จาก Displacement Transducer

File Name : Testbridge KMIT0006.KS2  
Block No. : 1 / 1  
File Title :  
Test Date : 2011/01/29 23:08:31      Sampling Rate : 100Hz      Data Nos/CH : 19,890



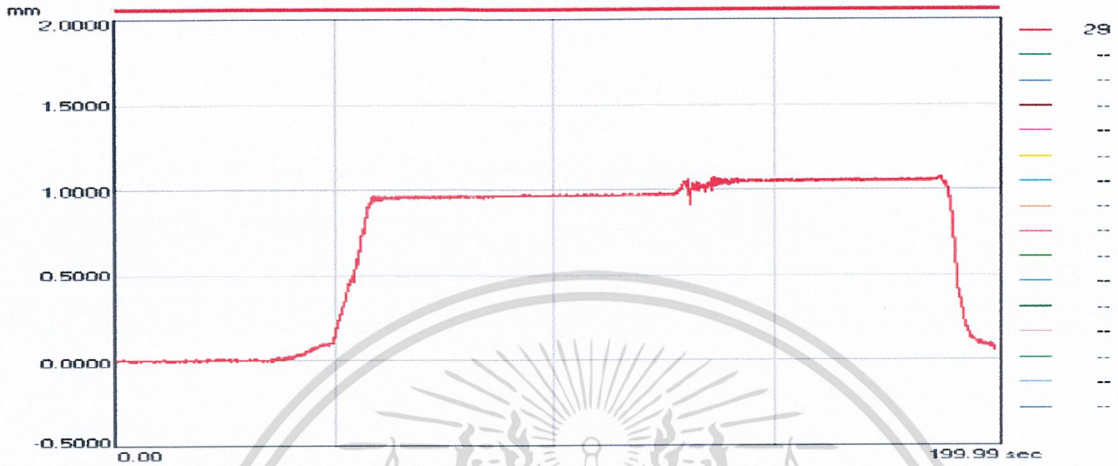
รูปที่ 5.60. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH27

File Name : Testbridge KMIT0006.KS2  
Block No. : 1 / 1  
File Title :  
Test Date : 2011/01/29 23:08:31      Sampling Rate : 100Hz      Data Nos/CH : 19,890



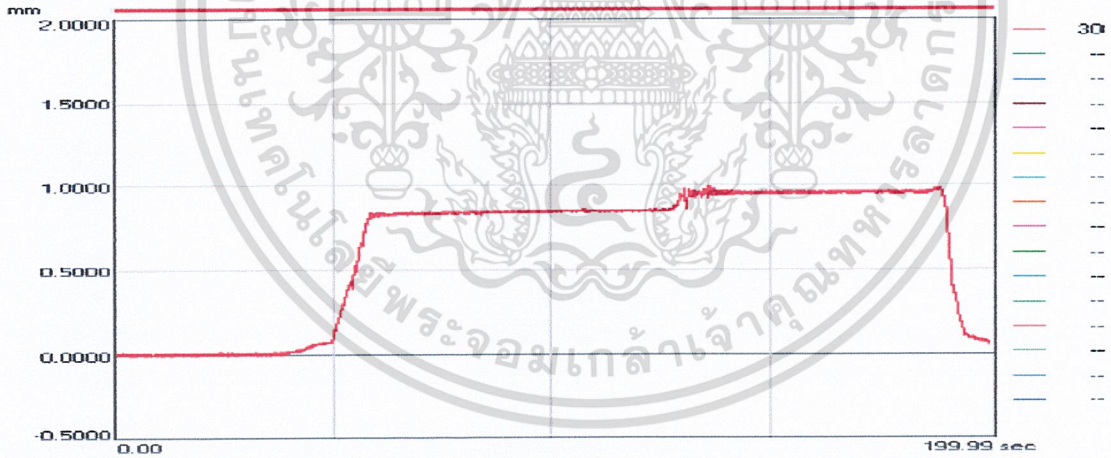
รูปที่ 5.61. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH28

File Name : Testbridge KMIT0006.KS2  
Block No. : 1 / 1  
File Title :  
Test Date : 2011/01/29 23.08.31      Sampling Rate : 100Hz      Data Nos/CH : 19,890



รูปที่ 5.62. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH29

File Name : Testbridge KMIT0006.KS2  
Block No. : 1 / 1  
File Title :  
Test Date : 2011/01/29 23.08.31      Sampling Rate : 100Hz      Data Nos/CH : 19,890

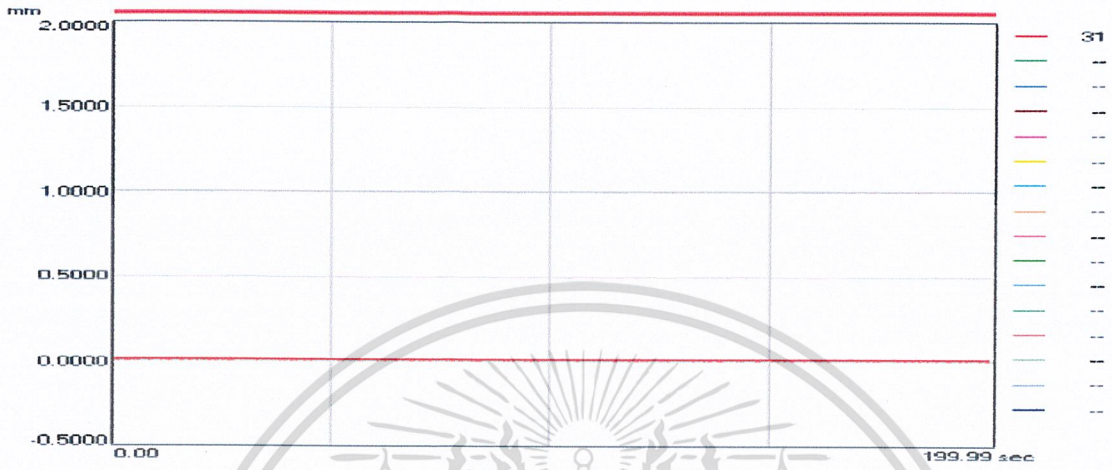


รูปที่ 5.63. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH30

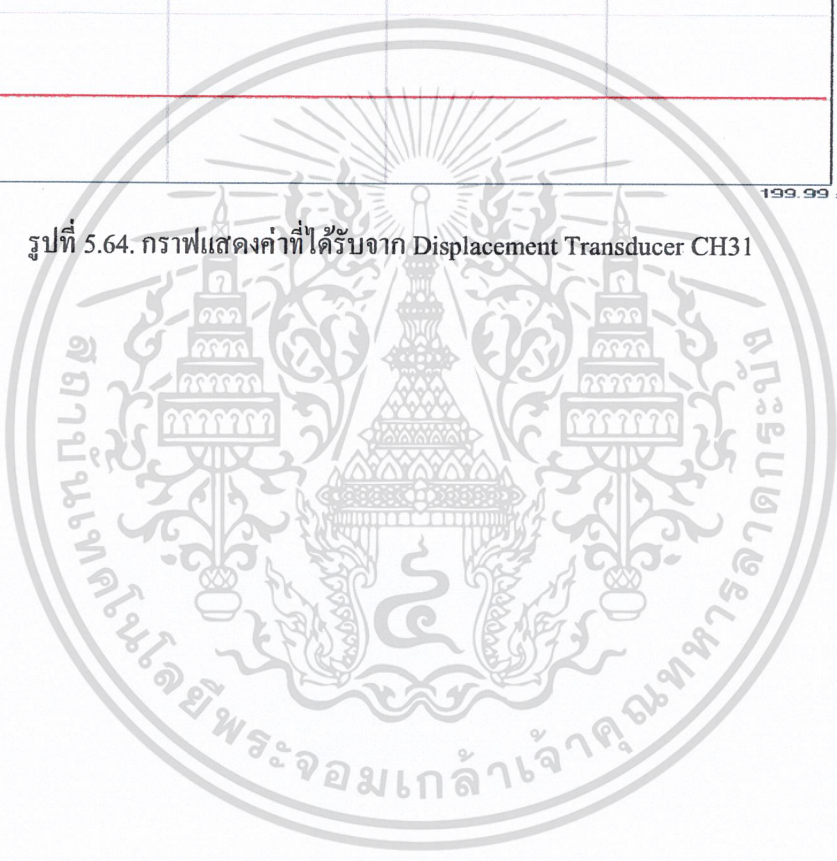
File Name : Testbridge KMIT0006.KS2  
Block No. : 1 / 1  
File Title :  
Test Date : 2011/01/29 23:08:31

Sampling Rate : 100Hz

Data Nos/CH : 19,890



รูปที่ 5.64. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH31

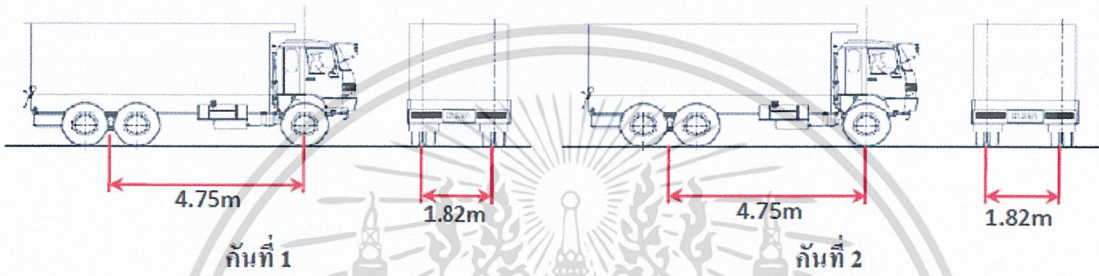


5.2. ผลการทดสอบ Load Test คลองตาดำ (วันที่ทดสอบ 30 มกราคม พ.ศ. 2554)

5.2.1. ข้อมูลรถที่ใช้ในการทดสอบ

คันที่ 1 เลขทะเบียน 98-4595 น้ำหนักรถรวม 25.5 ตัน

คันที่ 2 เลขทะเบียน 95-9661 น้ำหนักรถรวม 25.6 ตัน



รูปที่ 5.65. แสดงระยะช่วงต่างๆของรถบรรทุกสิบล้อ

Static Load Test

เที่ยวไป.....จาก บางแค ไป ราชพฤกษ์.....				เที่ยวกลับ....จาก ราชพฤกษ์ ไป บางแค .....			
ตำแหน่งกึ่งกลางเพลาล้อหลัง (นาท)				ตำแหน่งกึ่งกลางเพลาล้อหลัง (นาท)			
ระยะช่วง	L/3	L/2	2L/3	2L/3	L/2	L/3	หมายเหตุ
เวลารถหยุด ณ ตำแหน่ง	2.51.000	3.50.000		0.48.650	1.42.000		
เวลารถออก ณ ตำแหน่ง	3.28.000	4.34.000		1.12.000	2.26.000		
File name	TestbridgeKMIT0001			TestbridgeKMIT0002			

Dynamic Load Test

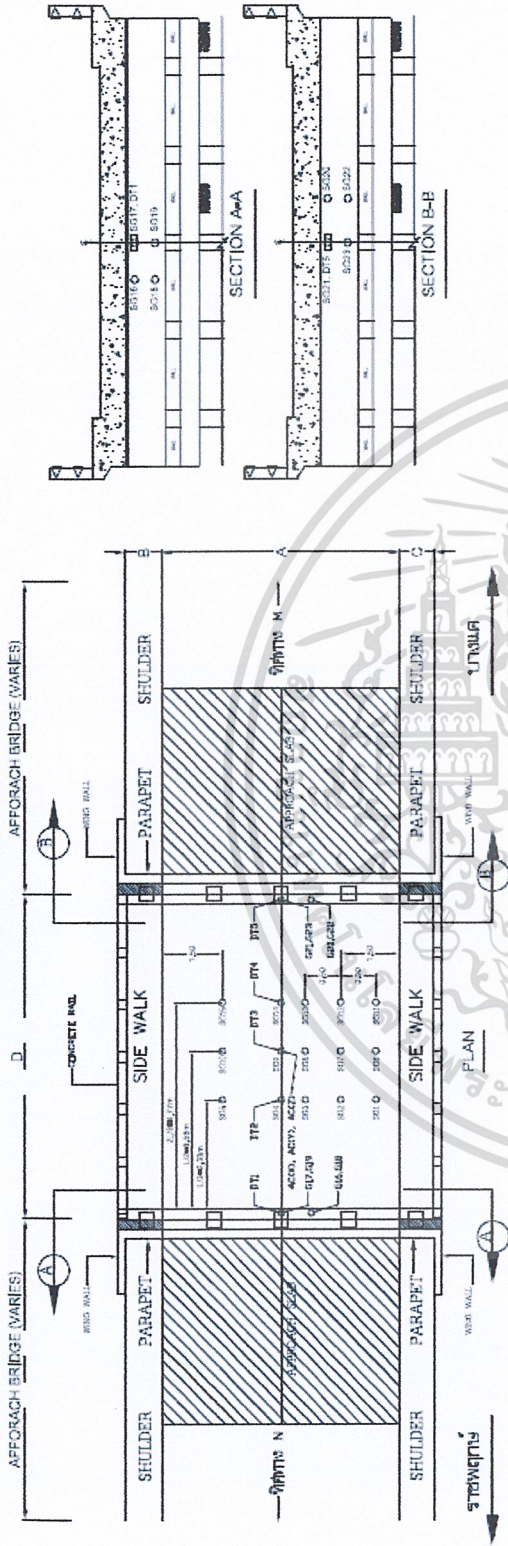
เที่ยวไป.....จาก บางแค ไป ราชพฤกษ์.....		เที่ยวกลับ....จาก ราชพฤกษ์ ไป บางแค .....	
ตำแหน่งกึ่งกลางเพลาล้อหลัง (นาท)		ตำแหน่งกึ่งกลางเพลาล้อหลัง (นาท)	
ระยะช่วง	L/2	L/2	File name
เวลา ณ ความเร็ว 20 กม/ชม.		0.15.650	TestbridgeKMIT0005
เวลา ณ ความเร็ว 40 กม/ชม.	0.15.350		TestbridgeKMIT0004
เวลา ณ ความเร็ว 60 กม/ชม.	0.25.860		TestbridgeKMIT0003
			หมายเหตุ
			วิ่ง 1 คัน
			วิ่ง 1 คัน
			วิ่ง 1 คัน

ตารางที่ 5.3. บันทึกเวลาการทดสอบคลองตาดำ

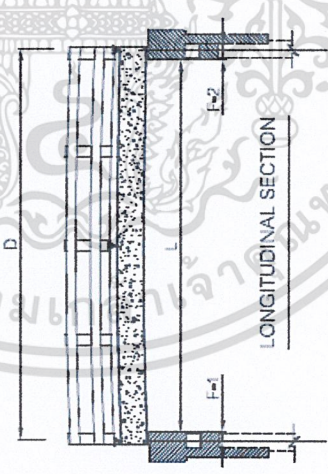
### 5.2.2. บันทึกตำแหน่งเซนเซอร์

No.	Sensor	Code	CH.	Bridge Box	ตำแหน่ง	หมายเหตุ
1	Strain Gage	SG1	1		ใต้พื้นสะพาน	
2	Strain Gage	SG2	2		ใต้พื้นสะพาน	
3	Strain Gage	SG3	3		ใต้พื้นสะพาน	
4	Strain Gage	SG4	4		ใต้พื้นสะพาน	
5	Strain Gage	SG5	5		ใต้พื้นสะพาน	
6	Strain Gage	SG6	6		ใต้พื้นสะพาน	
7	Strain Gage	SG7	7		ใต้พื้นสะพาน	
8	Strain Gage	SG8	8		ใต้พื้นสะพาน	
9	Strain Gage	SG9	9		ใต้พื้นสะพาน	
10	Strain Gage	SG10	10		ใต้พื้นสะพาน	
11	Strain Gage	SG11	11		ใต้พื้นสะพาน	
12	Strain Gage	SG12	12		ใต้พื้นสะพาน	
13	Strain Gage	SG13	13		ใต้พื้นสะพาน	
14	Strain Gage	SG14	14		ใต้พื้นสะพาน	
15	Strain Gage	SG15	15		ใต้พื้นสะพาน	
16	Strain Gage	SG16	16		ข้าง Cap beam บน (ระหว่างเสา)	
17	Strain Gage	SG17	17		ข้าง Cap beam บน (กึ่งกลางเสา)	
18	Strain Gage	SG18	18		ข้าง Cap beam ล่าง (ระหว่างเสา)	
19	Strain Gage	SG19	19		ข้าง Cap beam ล่าง (กึ่งกลางเสา)	
20	Strain Gage	SG20	20		ข้าง Cap beam บน (ระหว่างเสา)	
21	Strain Gage	SG21	21		ข้าง Cap beam บน (กึ่งกลางเสา)	
22	Strain Gage	SG22	22		ข้าง Cap beam ล่าง (ระหว่างเสา)	
23	Strain Gage	SG23	23		ข้าง Cap beam ล่าง (กึ่งกลางเสา)	
24	Acceleration	AC (x)	24		ใต้พื้นสะพาน	
25	Acceleration	AC (y)	25		ใต้พื้นสะพาน	
26	Acceleration	AC (z)	26		ใต้พื้นสะพาน	
27	Displacement	DT1	27		ข้าง Cap beam บน (ระหว่างเสา)	
28	Displacement	DT2	28		ใต้พื้นสะพาน	
29	Displacement	DT3	29		ใต้พื้นสะพาน	
30	Displacement	DT4	30		ใต้พื้นสะพาน	
31	Displacement	DT5	31		ข้าง Cap beam บน (ระหว่างเสา)	

ตารางที่ 5.4. ตารางบันทึกตำแหน่งเซนเซอร์คลองดำฉั่ว



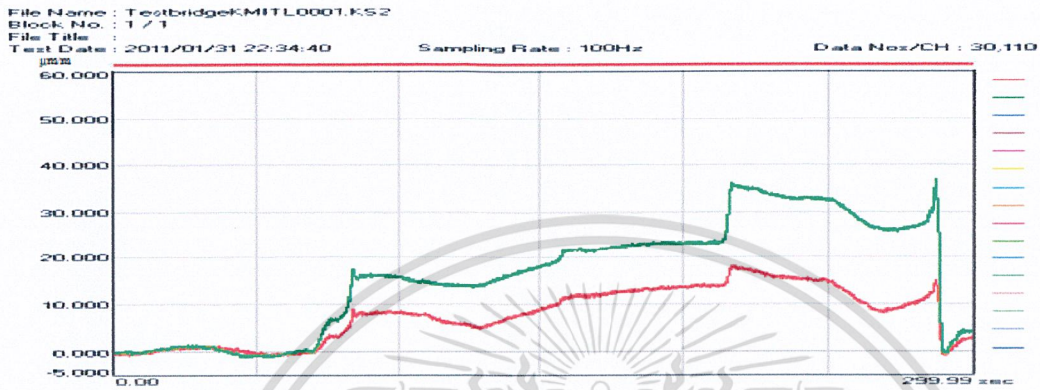
ระยะความกว้างสะพาน-ฝั่งฟุตบาท	A	7.10 m
ระยะความกว้างฟุตบาท	B	1.08 m
ระยะความกว้างฟุตบาท	C	1.035 m
ความยาวสะพานฝั่ง-ฝั่ง	D	7.96 m
ระยะเคอร์รับดินด้าน-ฝั่งด้าน	L	7.16 m
ความกว้างของบ่อรับดินสะพาน	F-1	0.40 m
ความกว้างของบ่อรับดินสะพาน	F-2	0.40 m
จุดทาง M มุ่งไป	บางแค	
จุดทาง N มุ่งไป	ราชพฤกษ์	



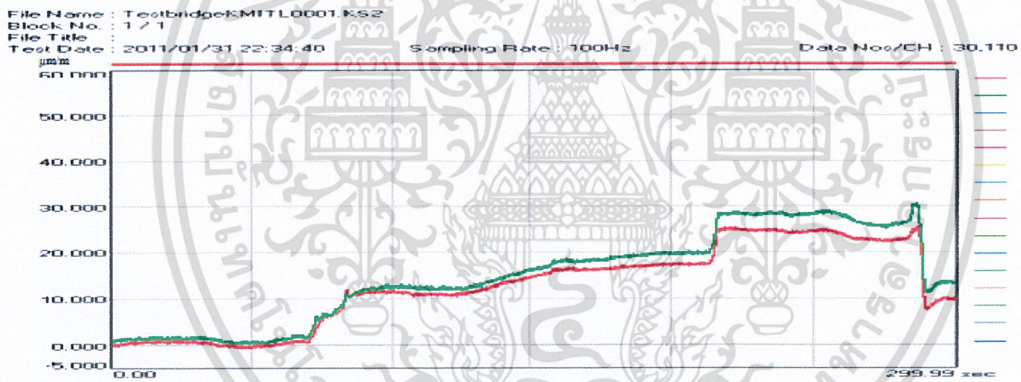
รูปที่ 5.66. รูปแสดงตำแหน่งติดตั้งเซนเซอร์สะพานข้ามคลองต่า

### 5.2.3. เทียบไป จาก บางแค ไป ราชพฤกษ์

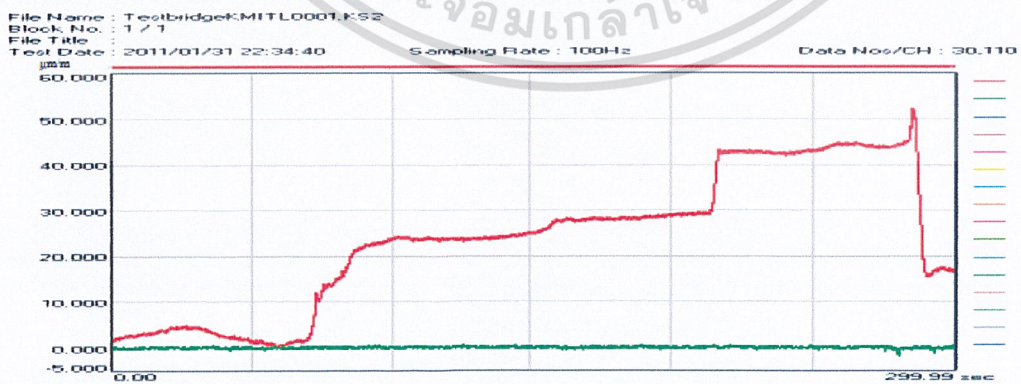
#### 5.2.3.1 สัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge



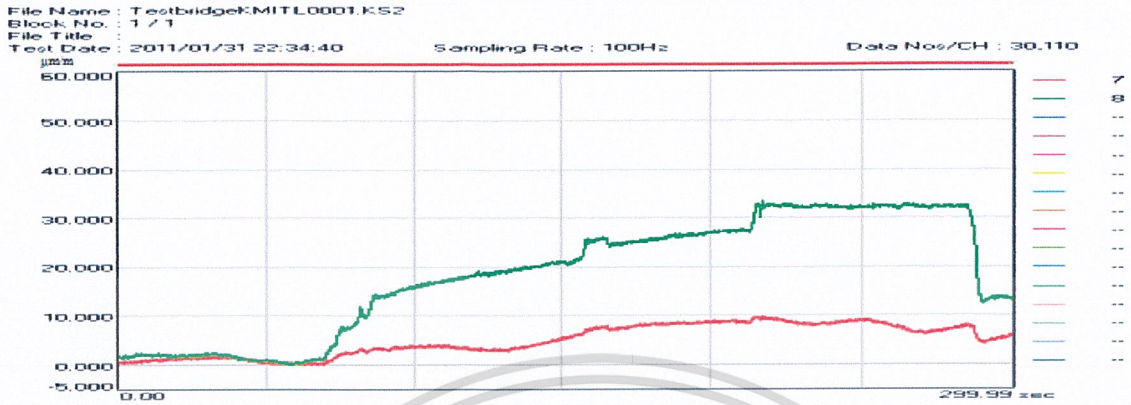
รูปที่ 5.67. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตำน้ำ ขาไป CH1-2



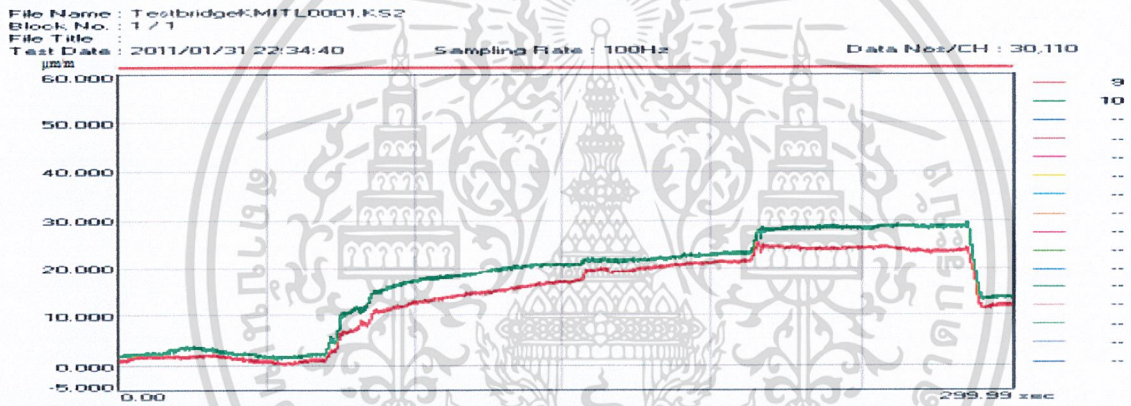
รูปที่ 5.68. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตำน้ำ ขาไป CH3-4



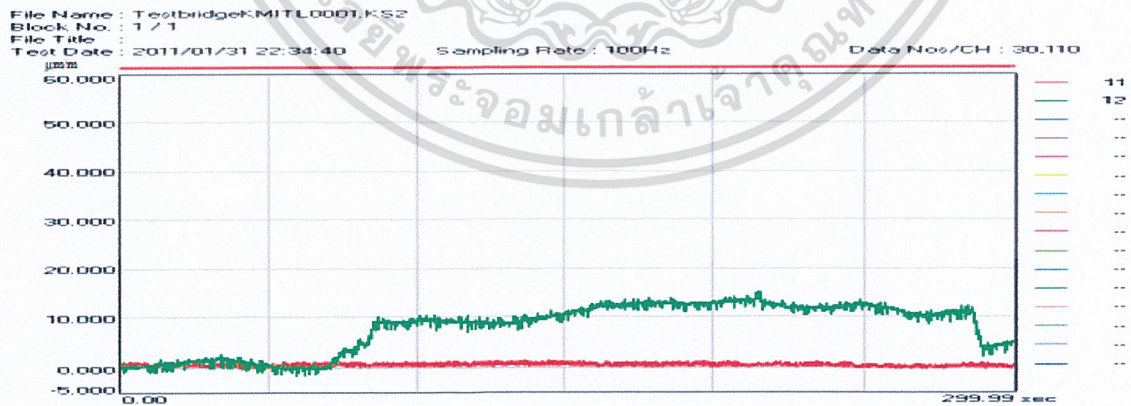
รูปที่ 5.69. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตำน้ำ ขาไป CH5-6



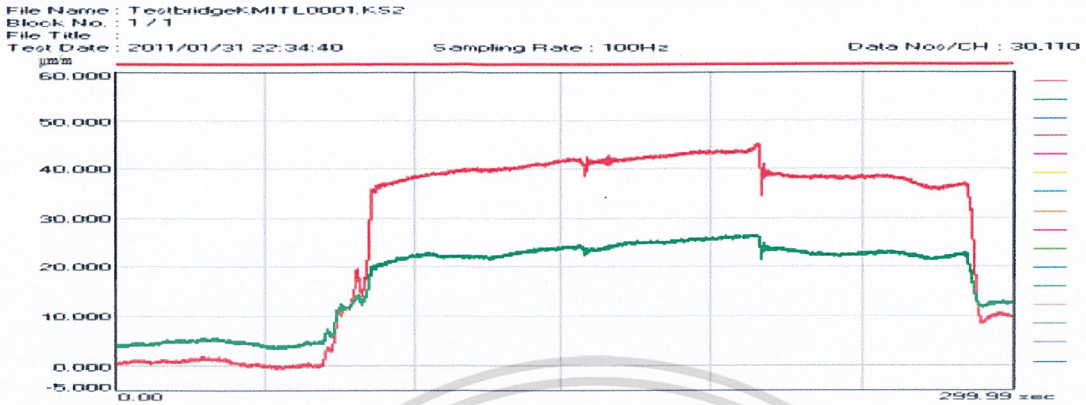
รูปที่ 5.70. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาฉ่ำ ขาไป CH7-8



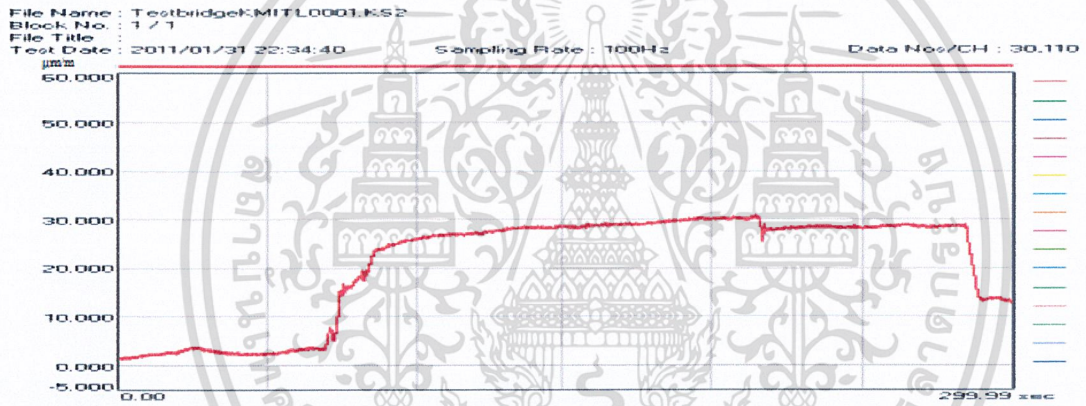
รูปที่ 5.71. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาฉ่ำ ขาไป CH9-10



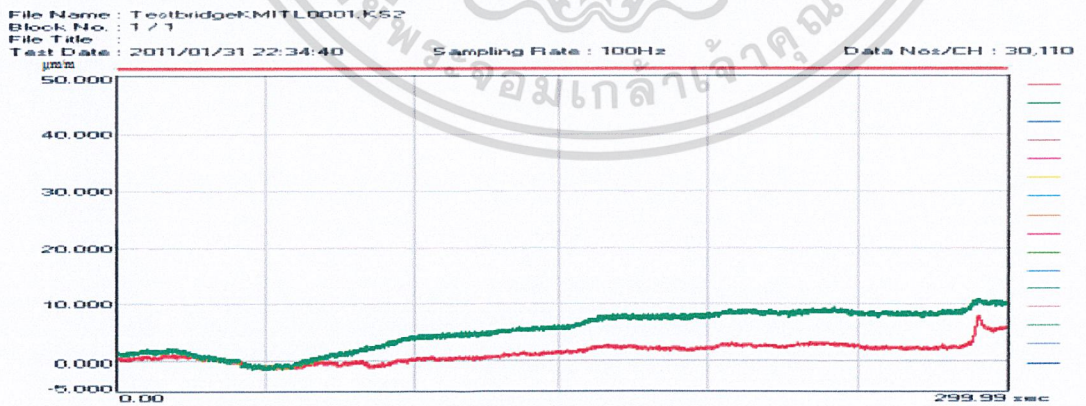
รูปที่ 5.72. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาฉ่ำ ขาไป CH11-12



รูปที่ 5.73. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาฉ่ำ ขาไป CH13-14



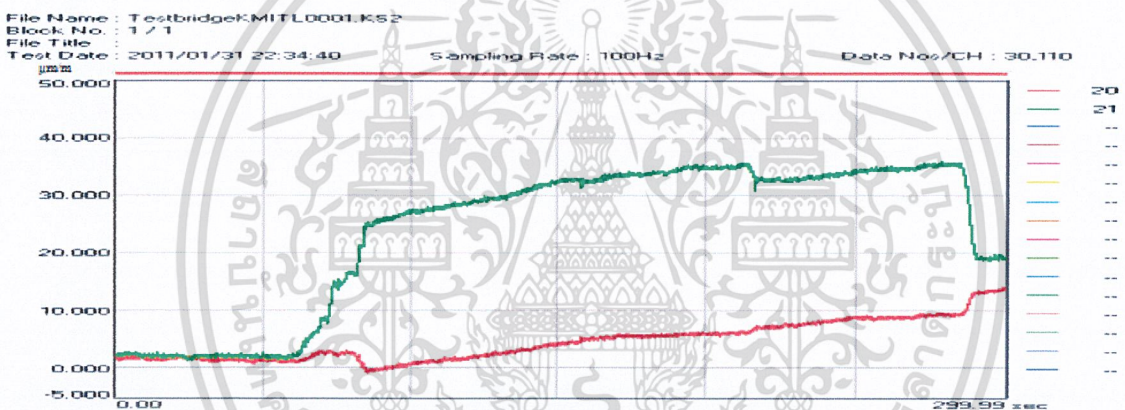
รูปที่ 5.74. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาฉ่ำ ขาไป CH15



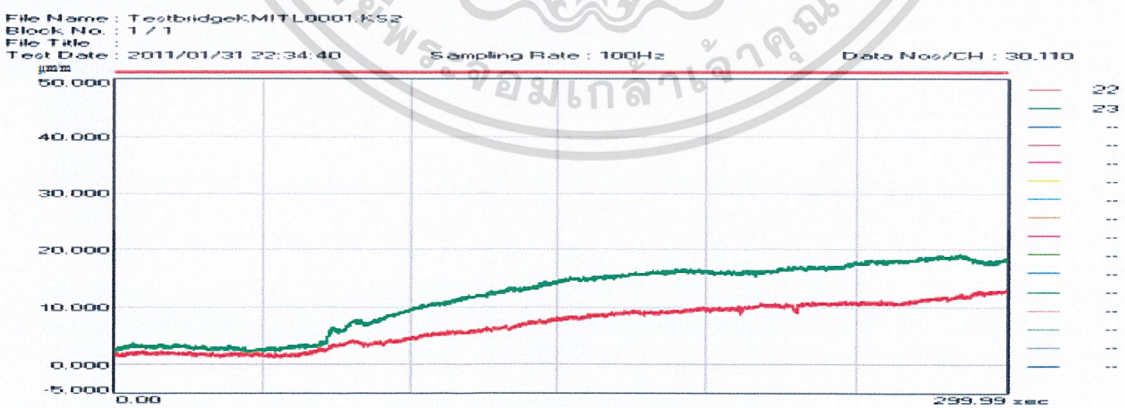
รูปที่ 5.75. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาฉ่ำ ขาไป CH16-17



รูปที่ 5.76. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาฉ่ำ ขาไป CH18-19



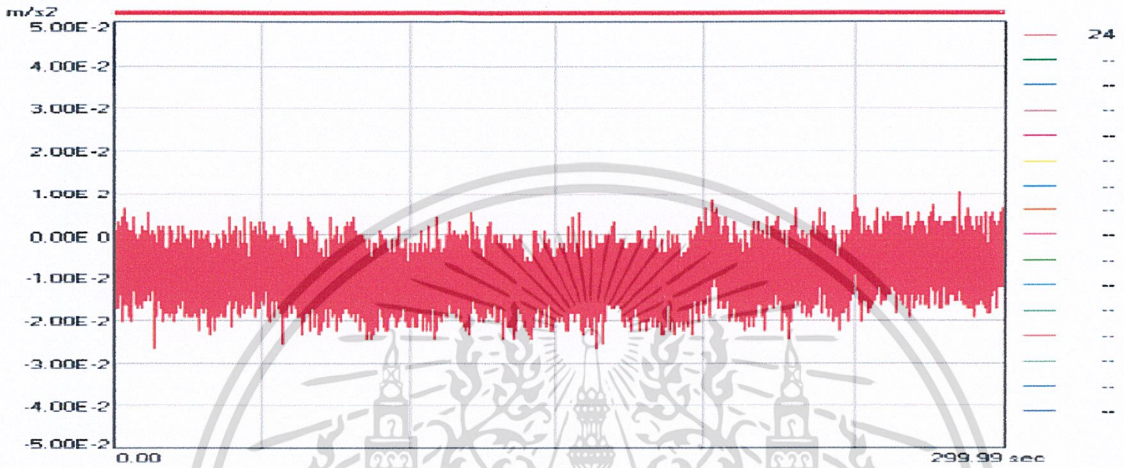
รูปที่ 5.77. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาฉ่ำ ขาไป CH20-21



รูปที่ 5.78. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาฉ่ำ ขาไป CH22-23

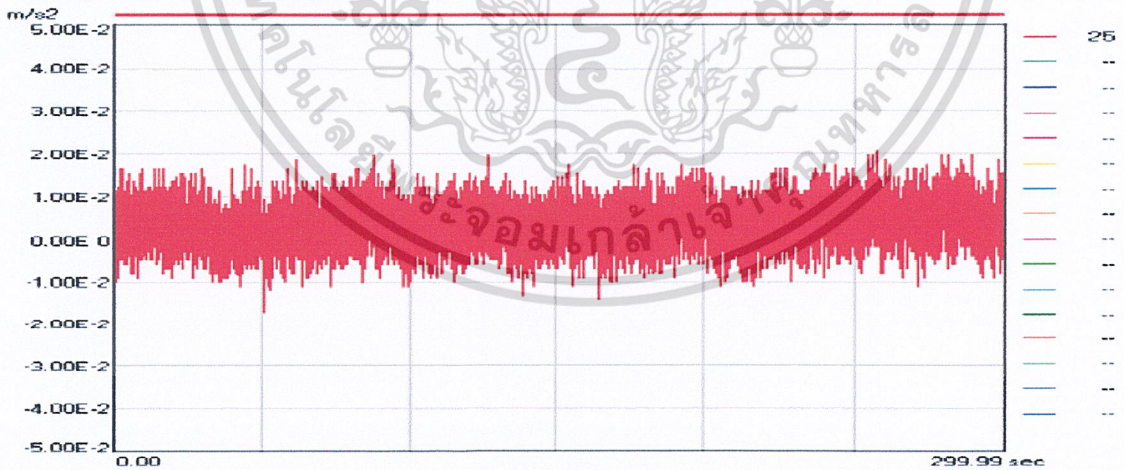
### 5.2.3.2. สัญญาณที่ได้จาก Accelerometer

File Name : TestbridgeKMITL0001.KS2  
Block No. : 1 / 1  
File Title :  
Test Date : 2011/01/31 22:34:40      Sampling Rate : 100Hz      Data Nos/CH : 30,110



รูปที่ 5.79. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH24 (แกน X)

File Name : TestbridgeKMITL0001.KS2  
Block No. : 1 / 1  
File Title :  
Test Date : 2011/01/31 22:34:40      Sampling Rate : 100Hz      Data Nos/CH : 30,110

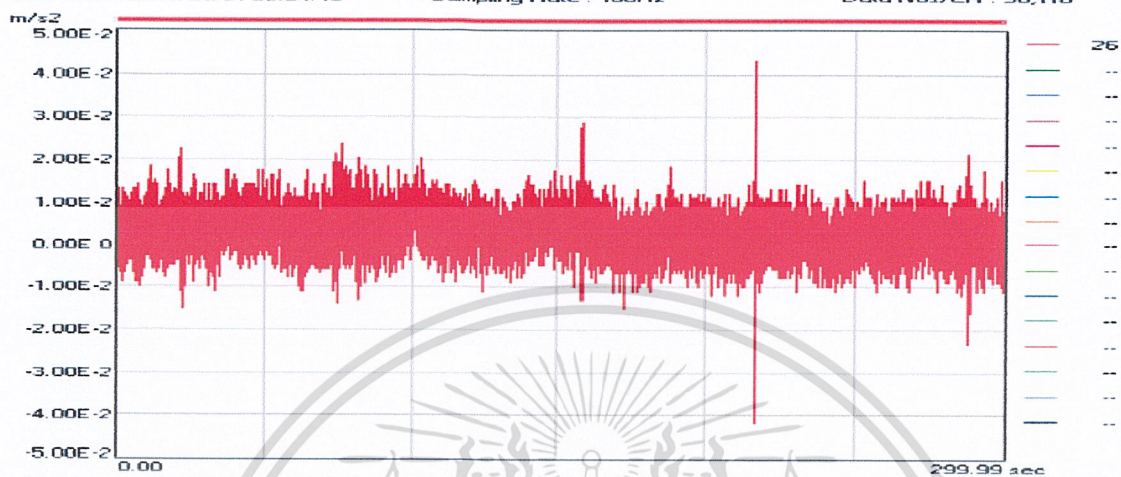


รูปที่ 5.80. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH25 (แกน Y)

File Name : TestbridgeKMITL0001.K52  
Block No. : 1 / 1  
File Title :

Sampling Rate : 100Hz

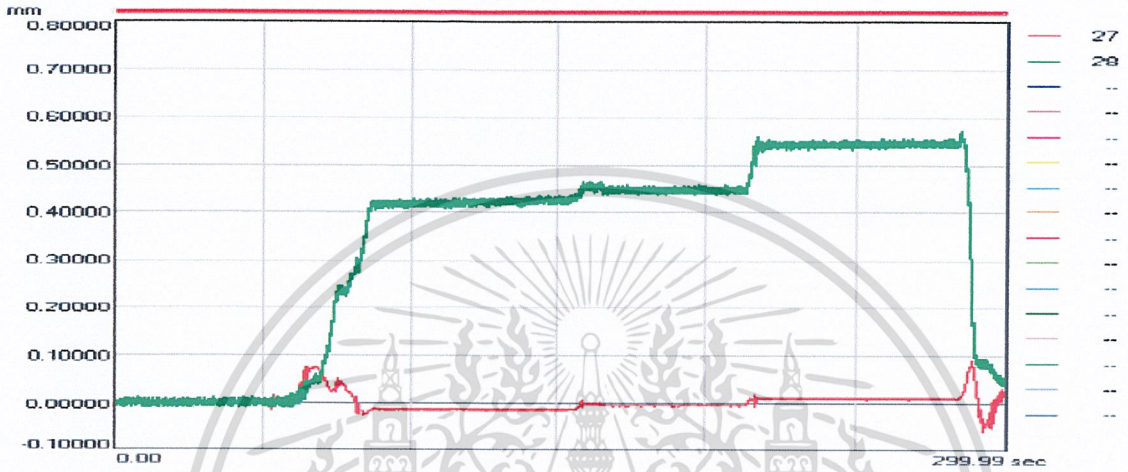
Data Nos/CH : 30,110



รูปที่ 5.81. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH26 (แกน Z)

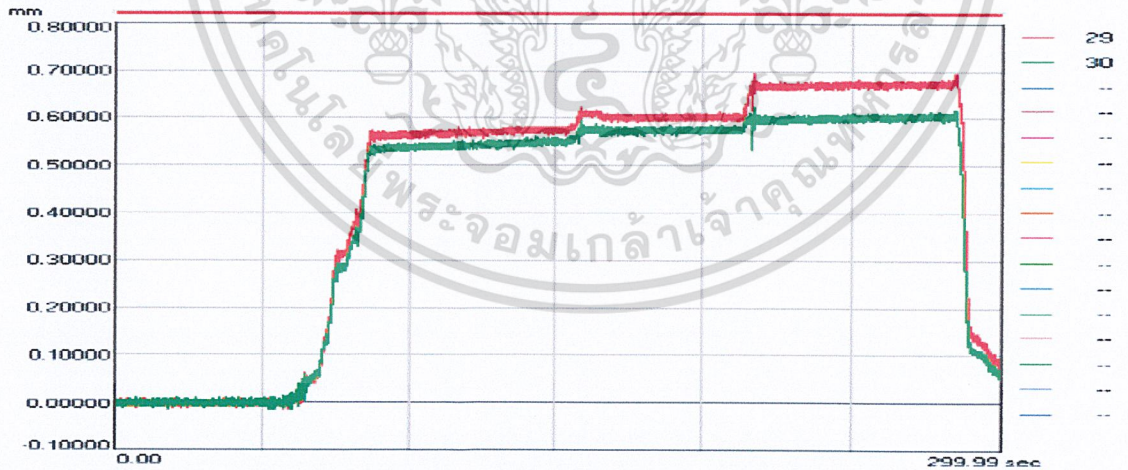
### 5.2.3.3. สัญญาณที่ได้จาก Displacement Transducer

File Name : TestbridgeKMITL0001.KS2  
Block No. : 1 / 1  
File Title :  
Test Date : 2011/01/31 22:34:40      Sampling Rate : 100Hz      Data Nos/CH : 30,110



รูปที่ 5.82. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH27-28

File Name : TestbridgeKMITL0001.KS2  
Block No. : 1 / 1  
File Title :  
Test Date : 2011/01/31 22:34:40      Sampling Rate : 100Hz      Data Nos/CH : 30,110

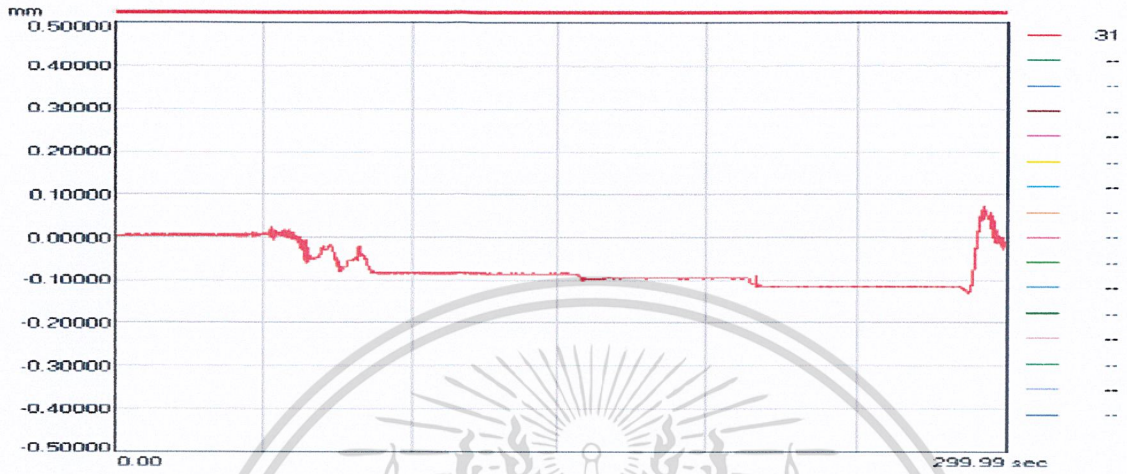


รูปที่ 5.83. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH29-30

File Name : TestbridgeKMITL0001.KS2  
Block No. : 1 / 1  
File Title :  
Test Date : 2011/01/31 22:34:40

Sampling Rate : 100Hz

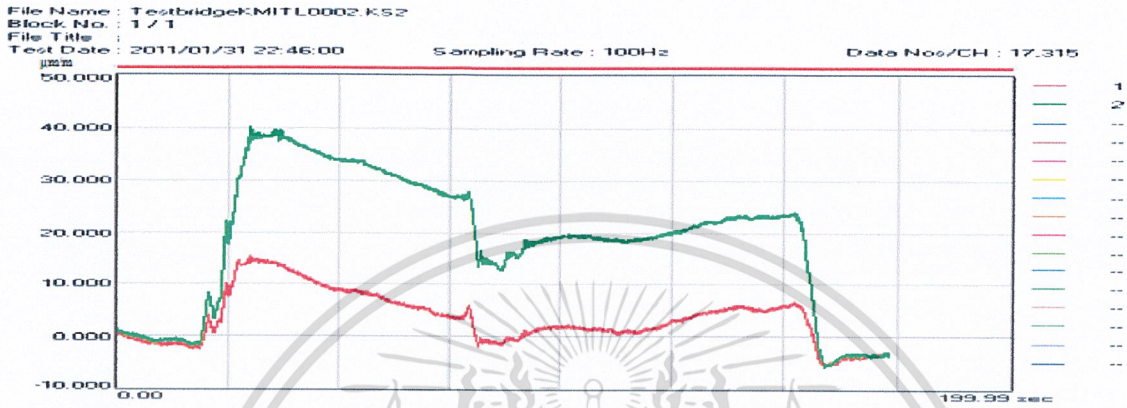
Data Nos/CH : 30,110



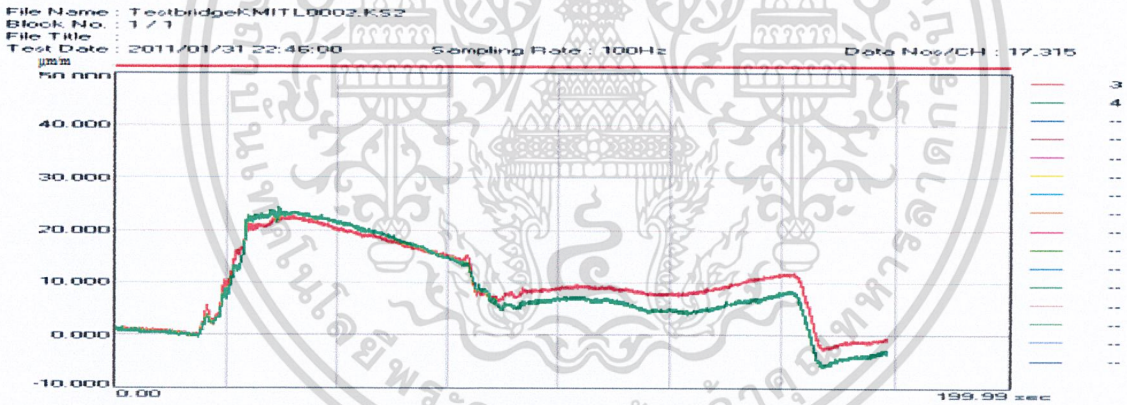
รูปที่ 5.84. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH31

## 5.2.4. เทียบกลับ จาก ราชพฤกษ์ ไป บางแค

### 5.2.4.1. สัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge



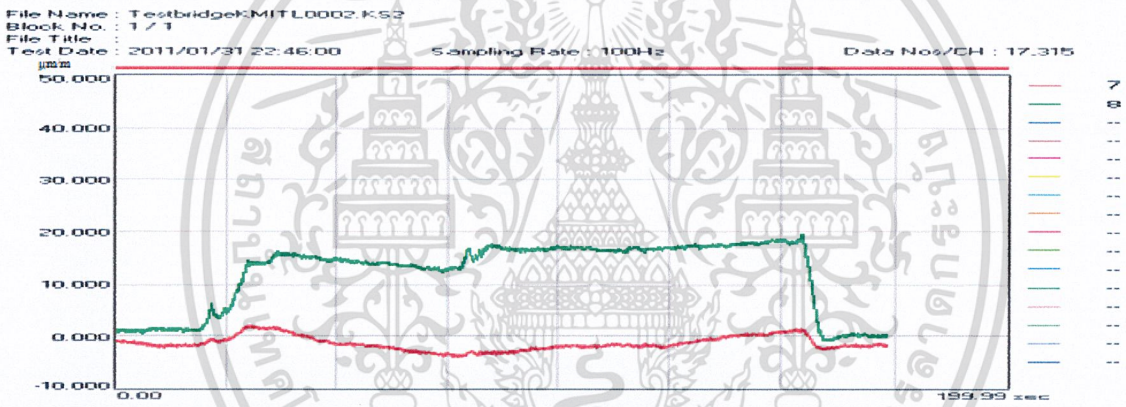
รูปที่ 5.85. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาฉ่ำ ขากลับ CH1-2



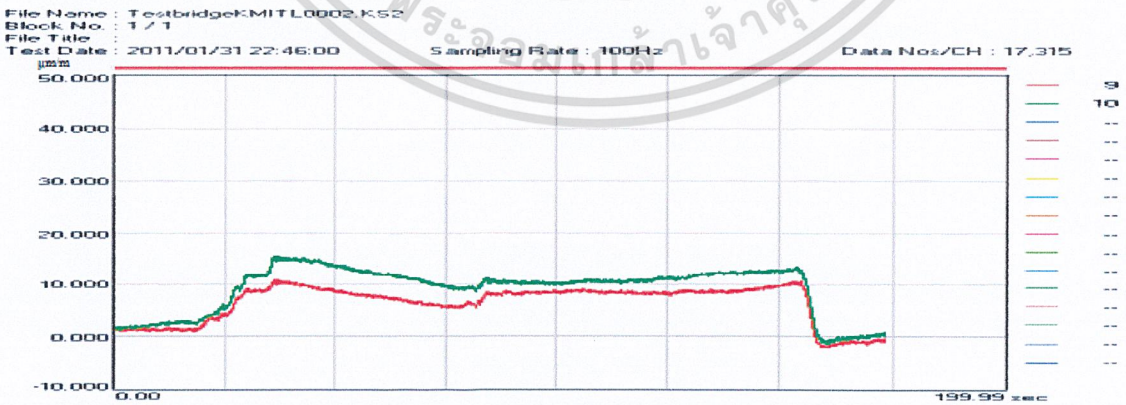
รูปที่ 5.86. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาฉ่ำ ขากลับ CH3-4



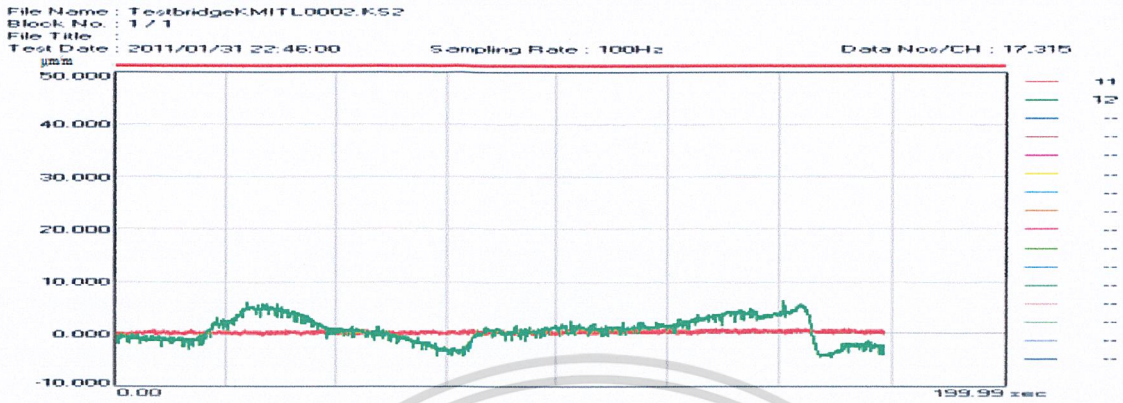
รูปที่ 5.87. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาฉ่ำ ขากลับ CH5-6



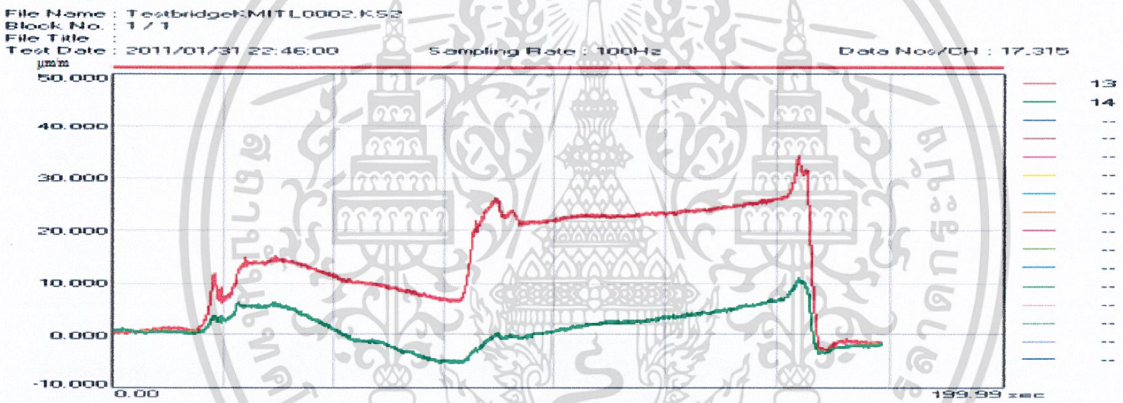
รูปที่ 5.88. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาฉ่ำ ขากลับ CH7-8



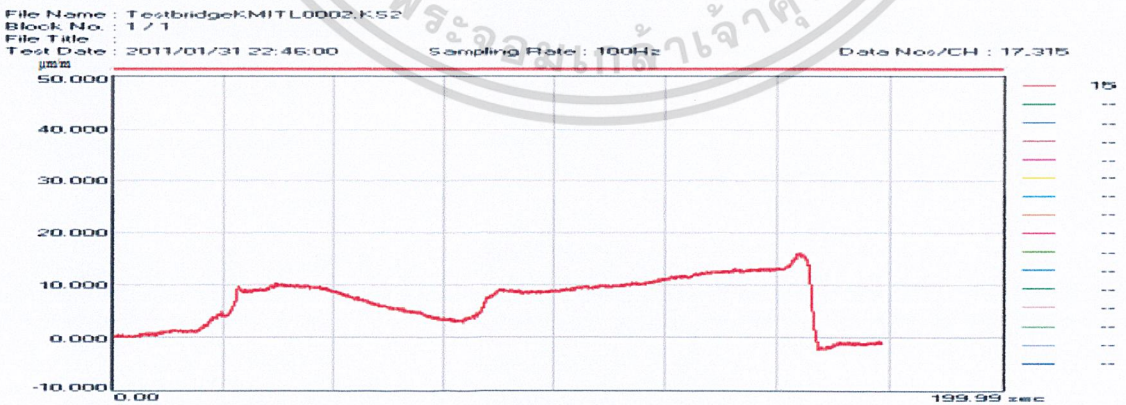
รูปที่ 5.89. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาฉ่ำ ขากลับ CH9-10



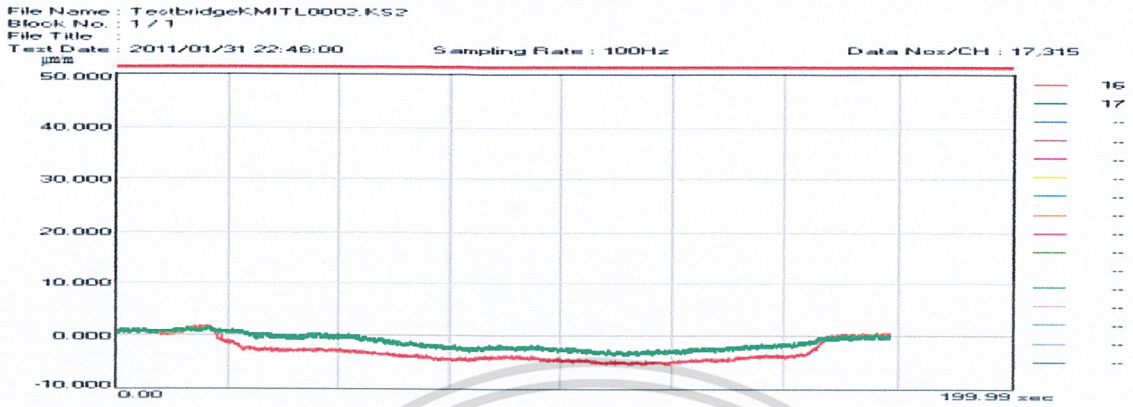
รูปที่ 5.90. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาฉ่ำ ขากลับ CH11-12



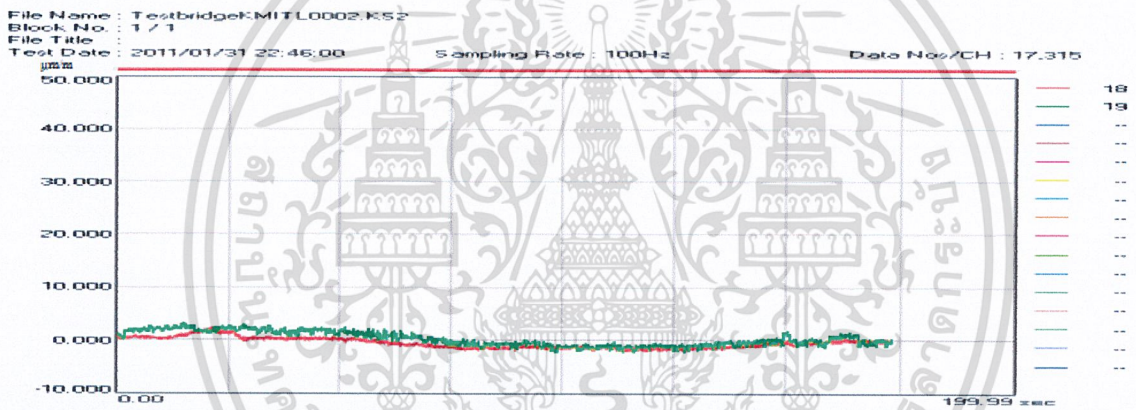
รูปที่ 5.91. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาฉ่ำ ขากลับ CH13-14



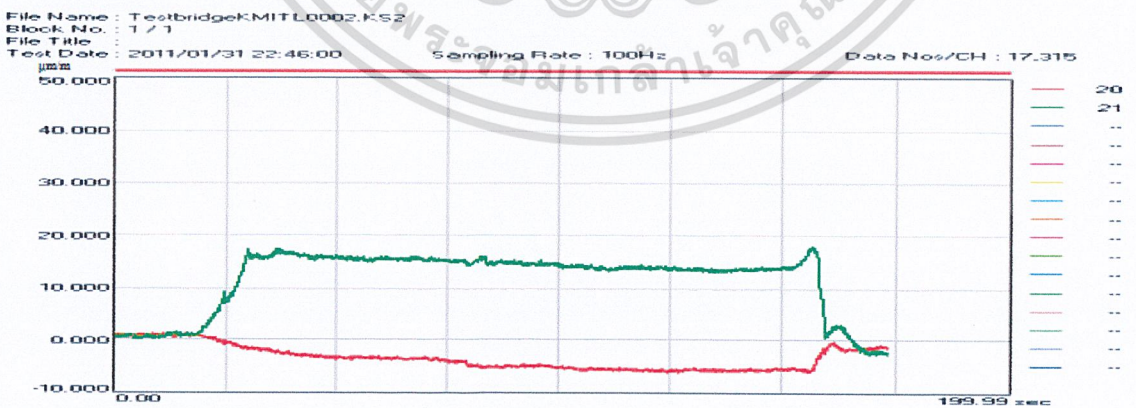
รูปที่ 5.92. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาฉ่ำ ขากลับ CH15



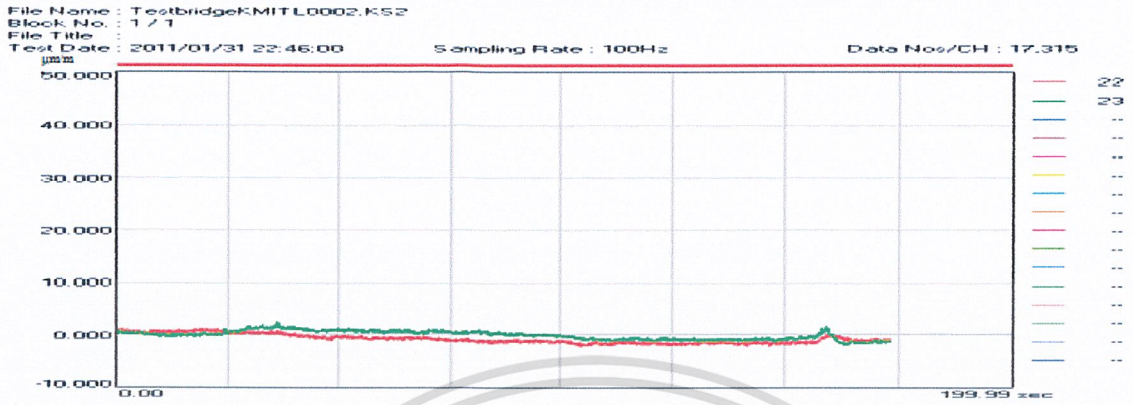
รูปที่ 5.93. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาฉ่ำ ขากลับ CH16-17



รูปที่ 5.94. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาฉ่ำ ขากลับ CH18-19



รูปที่ 5.95. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาฉ่ำ ขากลับ CH20-21

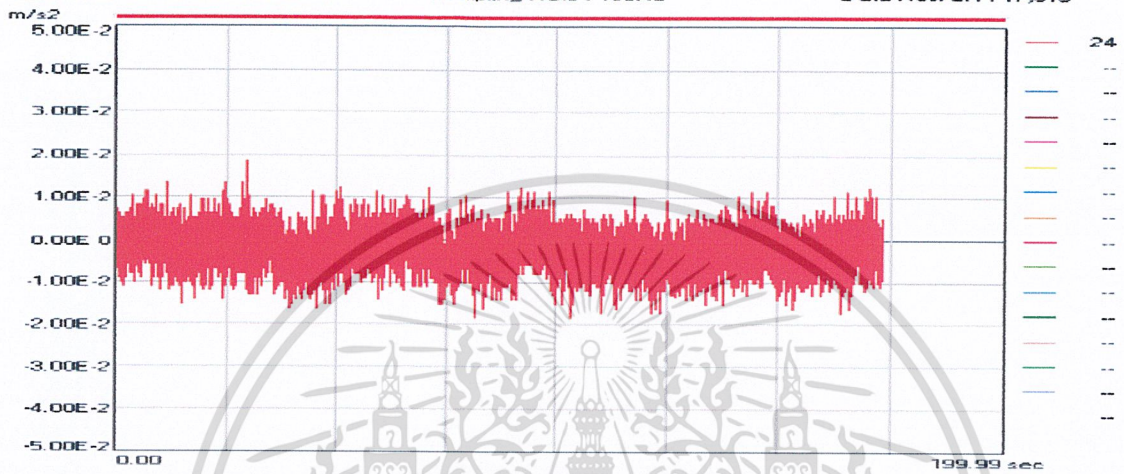


รูปที่ 5.96. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองตาหน้า ขากลับ CH22-23



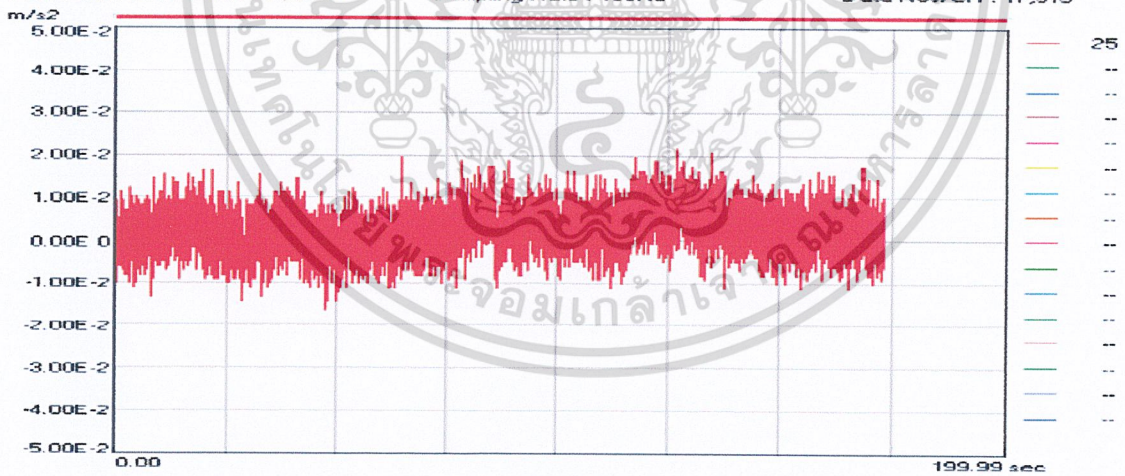
### 5.2.4.2. สัญญาณที่ได้จาก Accelerometer

File Name : TestbridgeKMITL0002.KS2  
Block No. : 1 / 1  
File Title :  
Test Date : 2011/01/31 22:46:00      Sampling Rate : 100Hz      Data Nos/CH : 17,315



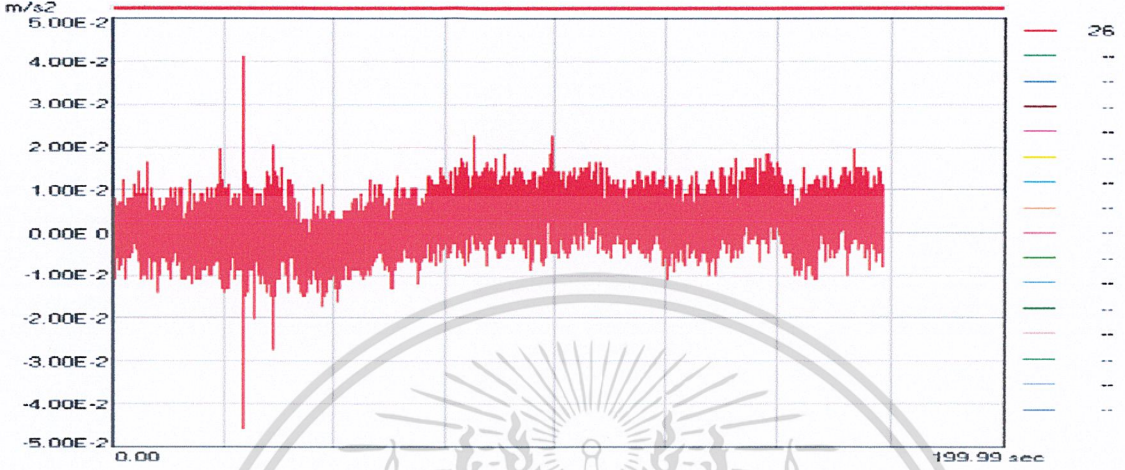
รูปที่ 5.97. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH24 (แกน X)

File Name : TestbridgeKMITL0002.KS2  
Block No. : 1 / 1  
File Title :  
Test Date : 2011/01/31 22:46:00      Sampling Rate : 100Hz      Data Nos/CH : 17,315

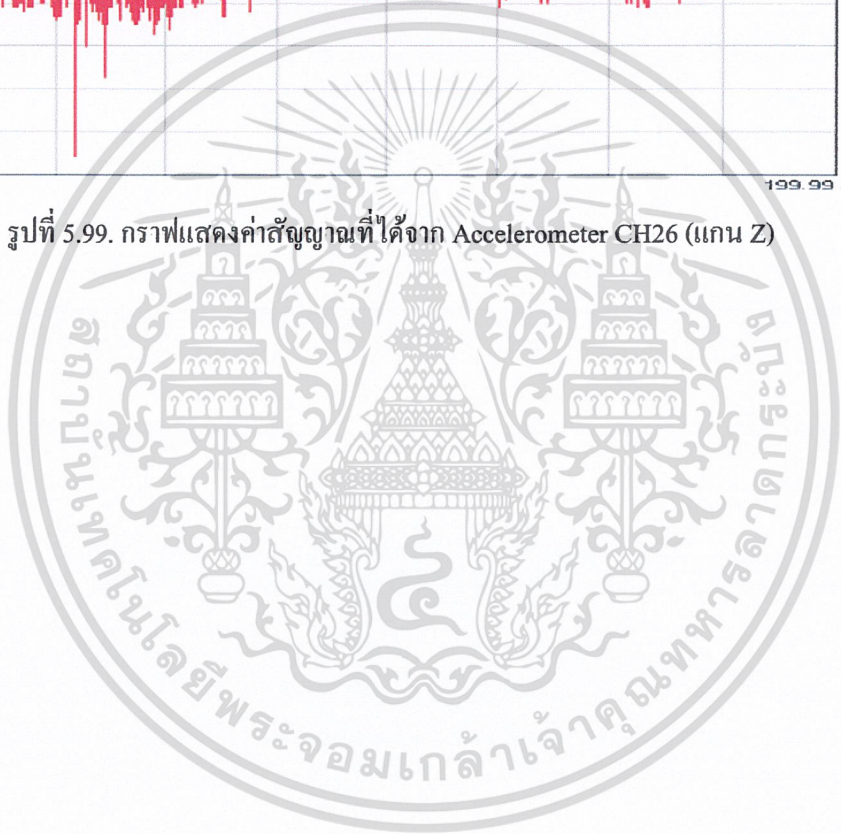


รูปที่ 5.98. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH25 (แกน Y)

File Name : TestbridgeKMITL0002.KS2  
Block No. : 1 / 1  
File Title :  
Test Date : 2011/01/31 22:46:00      Sampling Rate : 100Hz      Data Nos/CH : 17,315



รูปที่ 5.99. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH26 (แกน Z)

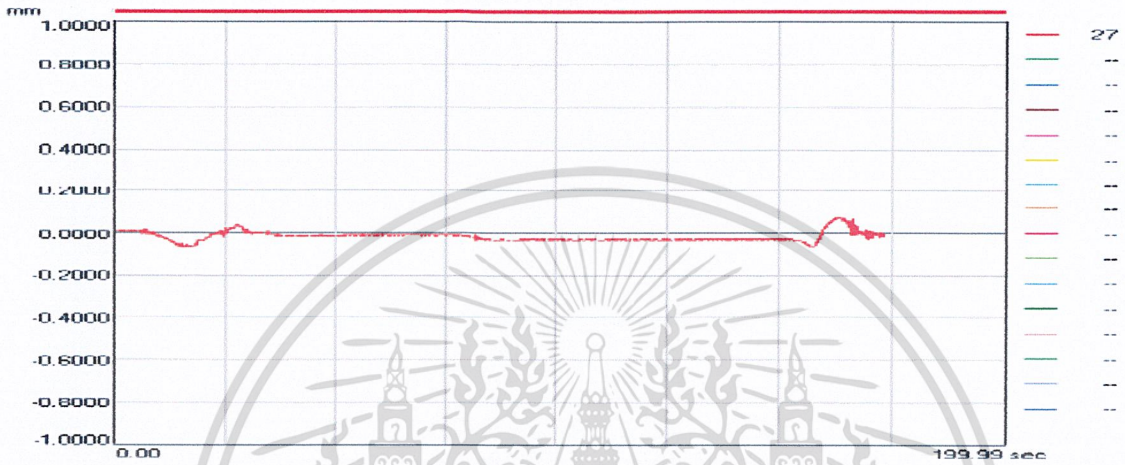


### 5.2.4.3. สัญญาณที่ได้จาก Displacement Transducer

File Name : TestbridgeKMITL0002.KS2  
Block No. : 1 / 1  
File Title :

Sampling Rate : 100Hz

Data Nos/CH : 17,315

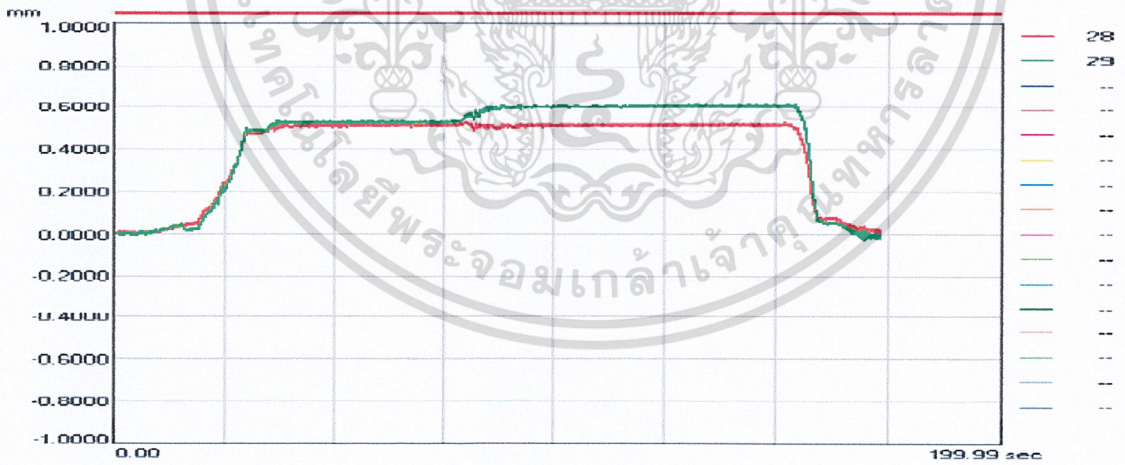


รูปที่ 5.100. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH27

File Name : TestbridgeKMITL0002.KS2  
Block No. : 1 / 1  
File Title :

Sampling Rate : 100Hz

Data Nos/CH : 17,315

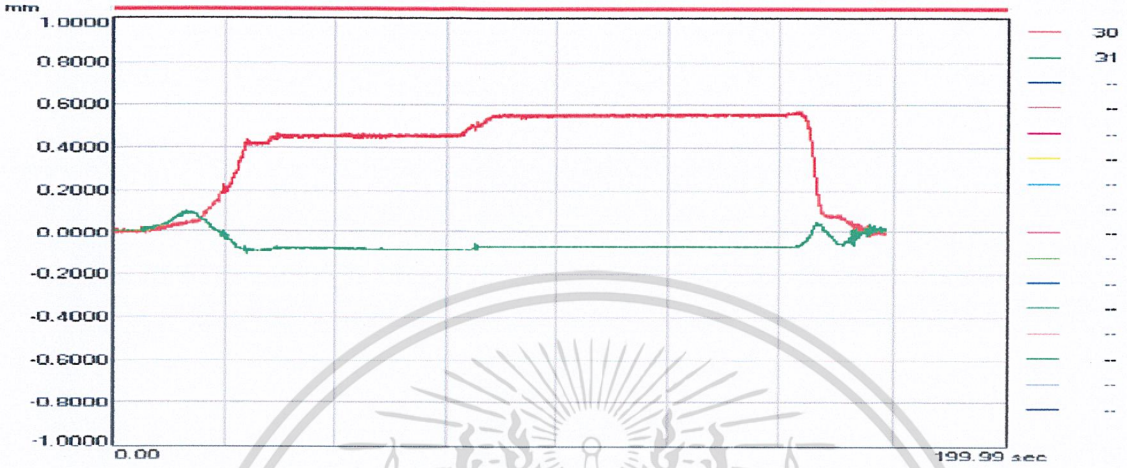


รูปที่ 5.101. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH28-29

File Name : TestbridgeKMITL0002.KS2  
Block No. : 1 / 1  
File Title :

Sampling Rate : 100Hz

Data Nos/CH : 17.315



รูปที่ 5.102. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH30-31

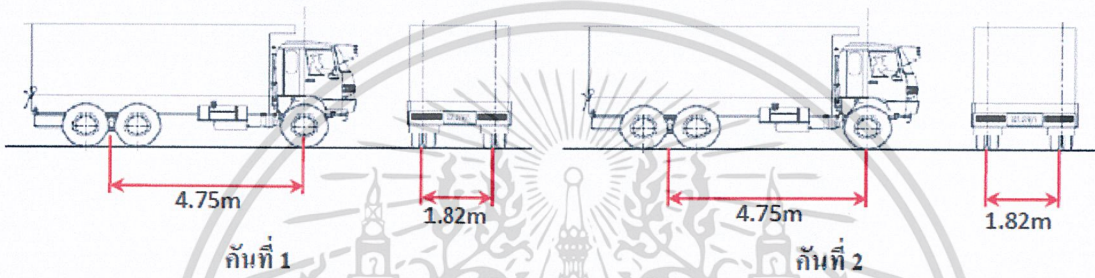


### 5.3. ผลการทดสอบ Load Test คลองบางระแนะ (วันที่ทดสอบ 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554)

#### 5.3.1. ข้อมูลรถที่ใช้ในการทดสอบ

คันที่ 1 เลขทะเบียน 98-4595 น้ำหนักบรรทุกรวม 25.5 ตัน

คันที่ 2 เลขทะเบียน 95-9661 น้ำหนักบรรทุกรวม 25.6 ตัน



รูปที่ 5.103. แสดงระยะช่วงต่างๆของรถบรรทุกสี่ล้อ

Static Load Test							
เที่ยวไป.....ราชพฤกษ์ ไป บางแค..... (นาที).....				เที่ยวกลับ.....บางแค ไป ราชพฤกษ์..... (นาที).....			
ตำแหน่งกึ่งกลางเพลาล้อหลัง				ตำแหน่งกึ่งกลางเพลาล้อหลัง			
ระยะช่วง	L/3	L/2	2L/3	2L/3	L/2	L/3	หมายเหตุ
เวลารถหยุด ณ ตำแหน่ง	0.48.700	2.07.0		0.52.300	2.0.0		
เวลารถออก ณ ตำแหน่ง	1.28.0	2.52.0		1.38.0	2.45.0		
File ข้อมูล	File 18			File 20			
Dynamic Load Test							
เที่ยวไป.....ราชพฤกษ์ ไป บางแค..... (นาที).....				เที่ยวกลับ.....บางแค ไป ราชพฤกษ์..... (นาที).....			
ระยะช่วง	L/2		L/2		File ข้อมูล	หมายเหตุ	
เวลา ณ ความเร็ว 20 กม/ชม.	0.25.500				File 21		
เวลา ณ ความเร็ว 40 กม/ชม.	0.13.300				File 22		
เวลา ณ ความเร็ว 60 กม/ชม.			0.13.20		File 23	ได้ 45 กม/ชม	
เวลา ณ ความเร็ว 60 กม/ชม.	0.20.100				File 24	ได้ 50 กม/ชม	
เวลา ณ ความเร็ว 60 กม/ชม.			0.28.50		File 25	ได้ 50 กม/ชม	
เวลา ณ ความเร็ว 60 กม/ชม.	0.8.700				File 26		

ตารางที่ 5.5. บันทึกเวลาการทดสอบคลองบางระแนะ

### 5.3.2. บันทึกตำแหน่งเซนเซอร์

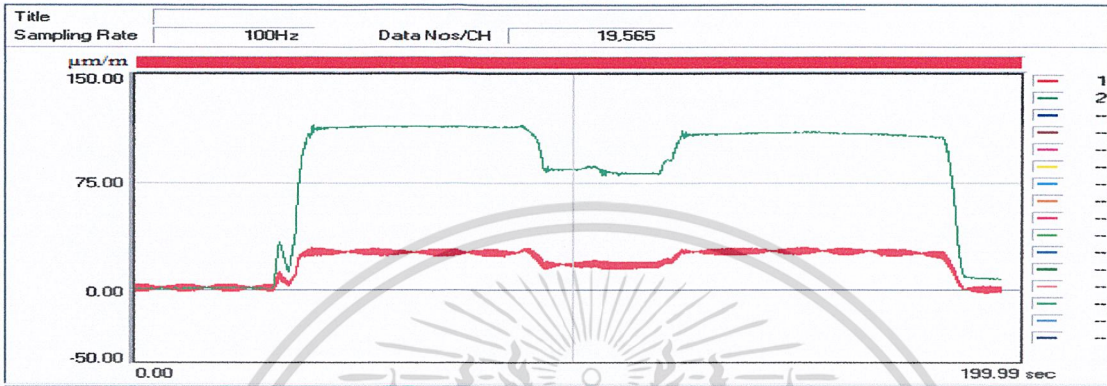
No.	Sensor	Code	CH.	Bridge Box	ตำแหน่ง	หมายเหตุ
1	Strain Gage	SG1	1		ใต้พื้นสะพาน	
2	Strain Gage	SG2	2		ใต้พื้นสะพาน	
3	Strain Gage	SG3	3		ใต้พื้นสะพาน	
4	Strain Gage	SG4	4		ใต้พื้นสะพาน	
5	Strain Gage	SG5	5		ใต้พื้นสะพาน	
6	Strain Gage	SG6	6		ใต้พื้นสะพาน	
7	Strain Gage	SG7	7		ใต้พื้นสะพาน	
8	Strain Gage	SG8	8		ใต้พื้นสะพาน	
9	Strain Gage	SG9	9		ใต้พื้นสะพาน	
10	Strain Gage	SG10	10		ใต้พื้นสะพาน	
11	Strain Gage	SG11	11		ใต้พื้นสะพาน	
12	Strain Gage	SG12	12		ใต้พื้นสะพาน	
13	Strain Gage	SG13	13		ใต้พื้นสะพาน	
14	Strain Gage	SG14	14		ใต้พื้นสะพาน	
15	Strain Gage	SG15	15		ใต้พื้นสะพาน	
16	Strain Gage	SG16	16		ข้าง Cap beam บน (ระหว่างเสา)	
17	Strain Gage	SG17	17		ข้าง Cap beam บน (กึ่งกลางเสา)	
18	Strain Gage	SG18	18		ข้าง Cap beam ล่าง (ระหว่างเสา)	
19	Strain Gage	SG19	19		ข้าง Cap beam ล่าง (กึ่งกลางเสา)	
20	Strain Gage	SG20	20		ข้าง Cap beam บน (ระหว่างเสา)	
21	Strain Gage	SG21	21		ข้าง Cap beam บน (กึ่งกลางเสา)	
22	Strain Gage	SG22	22		ข้าง Cap beam ล่าง (ระหว่างเสา)	
23	Strain Gage	SG23	23		ข้าง Cap beam ล่าง (กึ่งกลางเสา)	
24	Acceleration	AC (x)	24		ใต้พื้นสะพาน	
25	Acceleration	AC (y)	25		ใต้พื้นสะพาน	
26	Acceleration	AC (z)	26		ใต้พื้นสะพาน	
27	Displacement	DT1	27		ข้าง Cap beam บน (ระหว่างเสา)	
28	Displacement	DT2	28		ใต้พื้นสะพาน	
29	Displacement	DT3	29		ใต้พื้นสะพาน	
30	Displacement	DT4	30		ใต้พื้นสะพาน	
31	Displacement	DT5	31		ข้าง Cap beam บน (ระหว่างเสา)	

ตารางที่ 5.6. ตารางบันทึกตำแหน่งเซนเซอร์คลองบางระแนะ

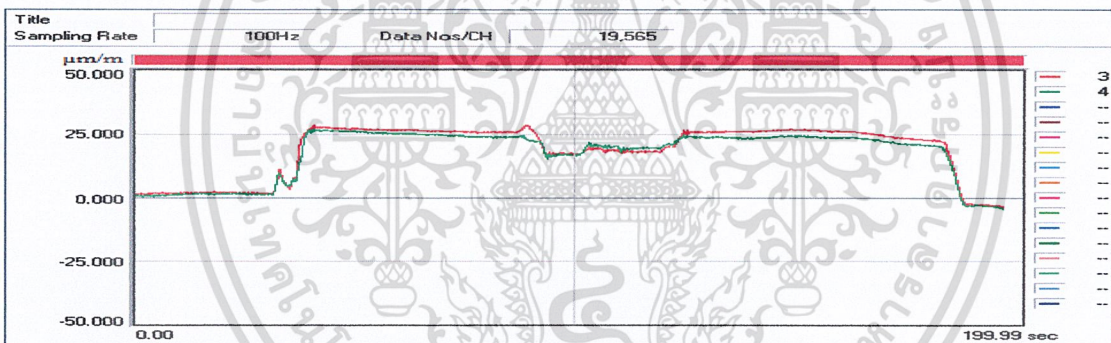


### 5.3.3. เทียวไป จาก บางแค ไป ราชพฤกษ์

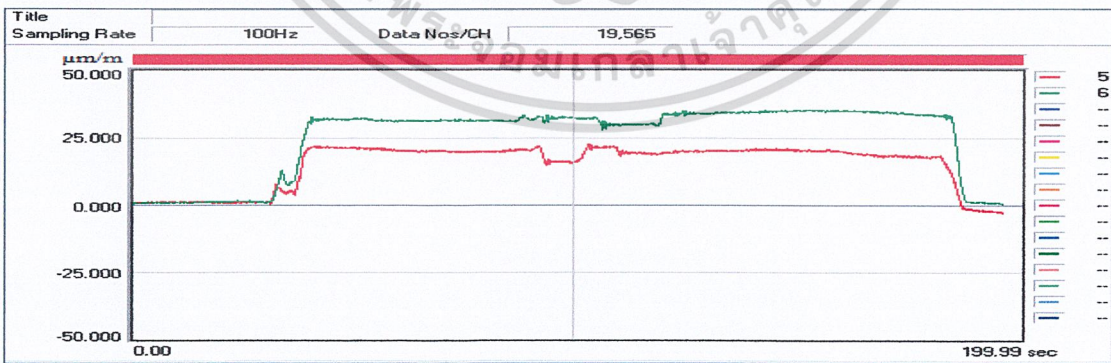
#### 5.3.3.1. สัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge



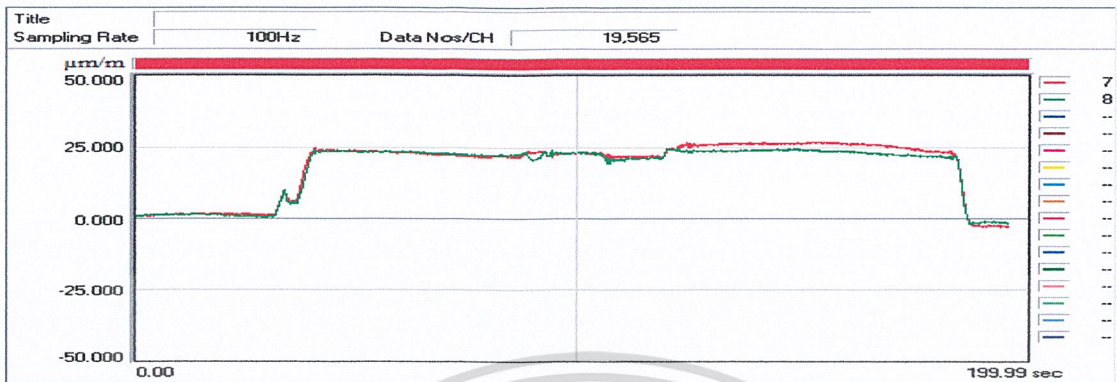
รูปที่ 5.105. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระแนะ CH1-2



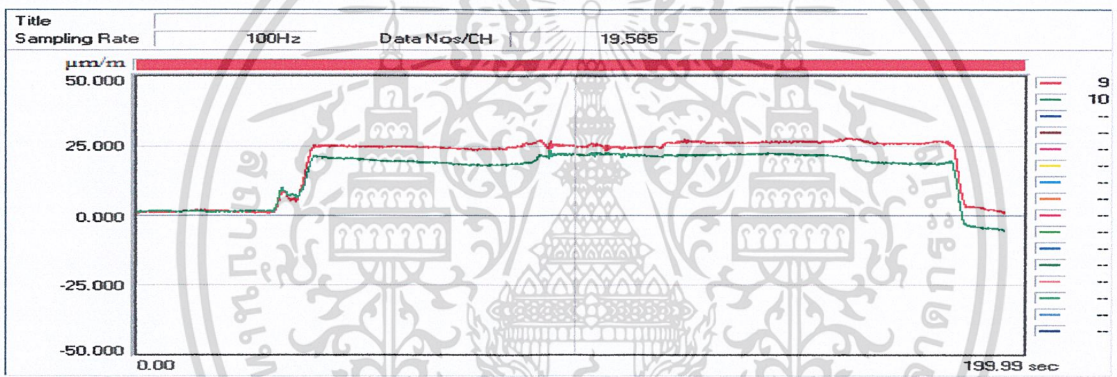
รูปที่ 5.106. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระแนะ CH3-4



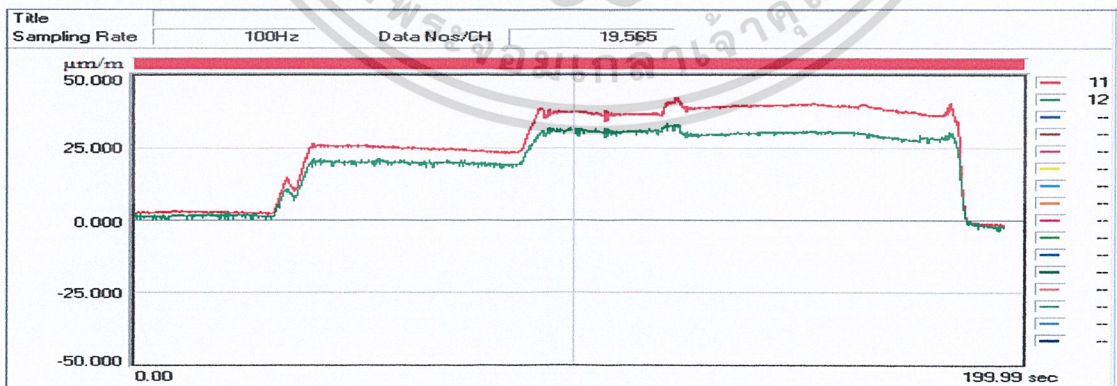
รูปที่ 5.107. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระแนะ CH5-6



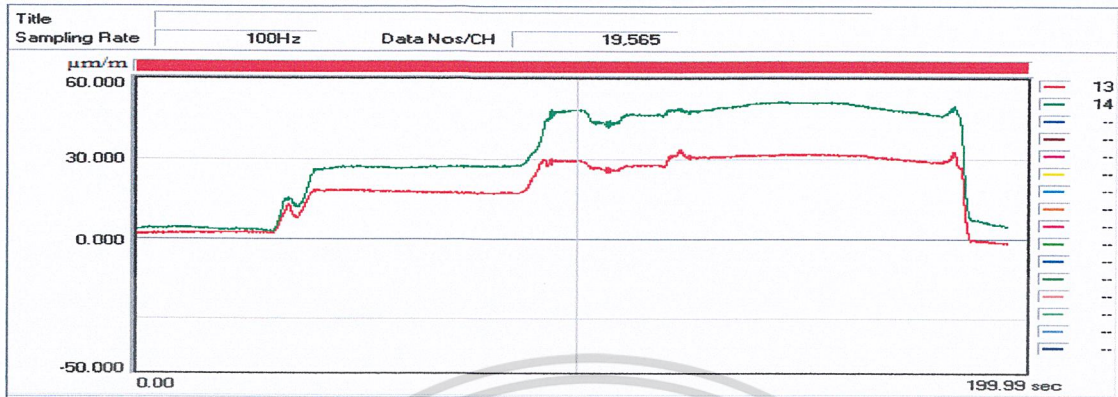
รูปที่ 5.108. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ CH7-8



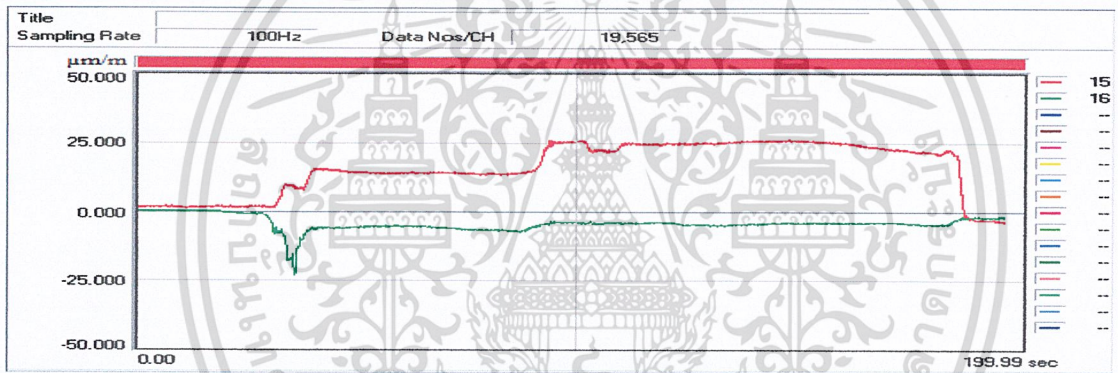
รูปที่ 5.109. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ CH9-10



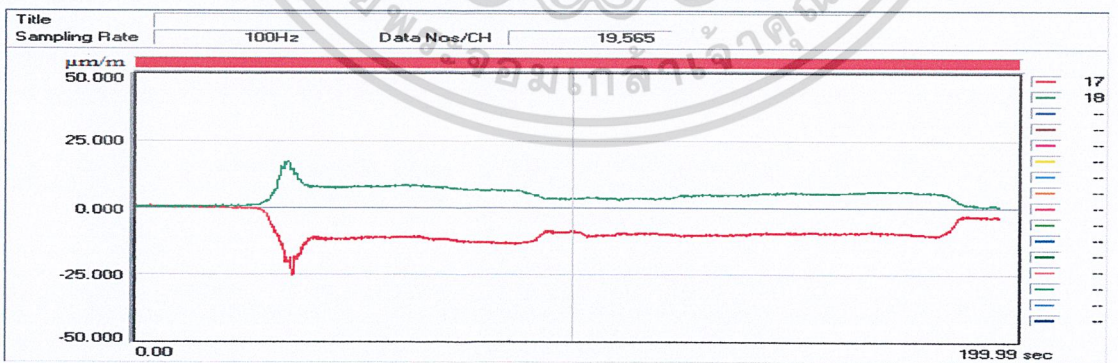
รูปที่ 5.110. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ CH11-12



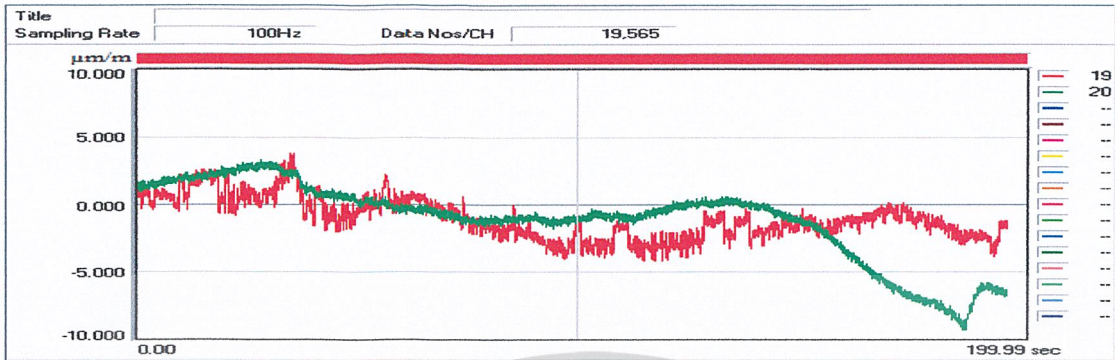
รูปที่ 5.111. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ CH13-14



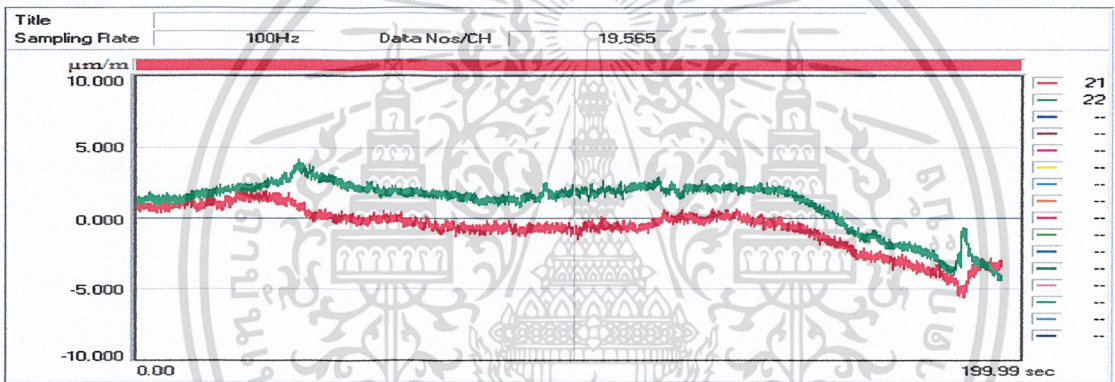
รูปที่ 5.112. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ CH15-16



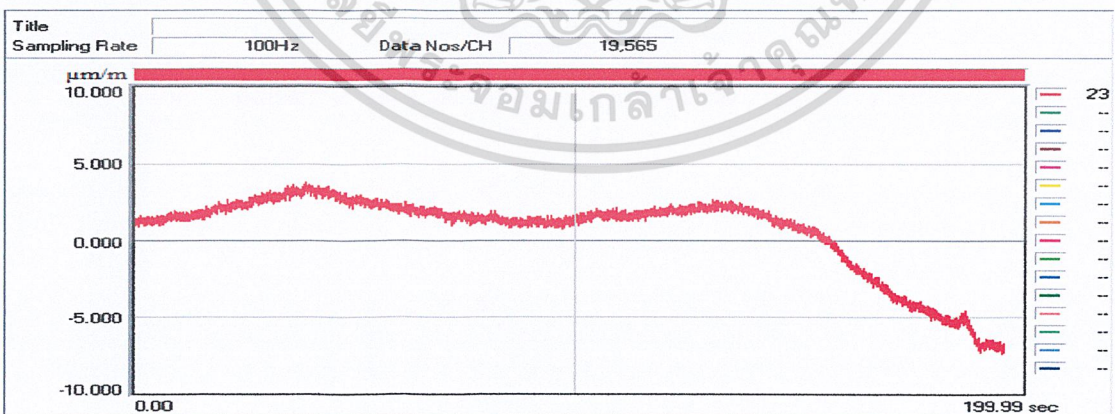
รูปที่ 5.113. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ CH17-18



รูปที่ 5.114. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ CH19-20

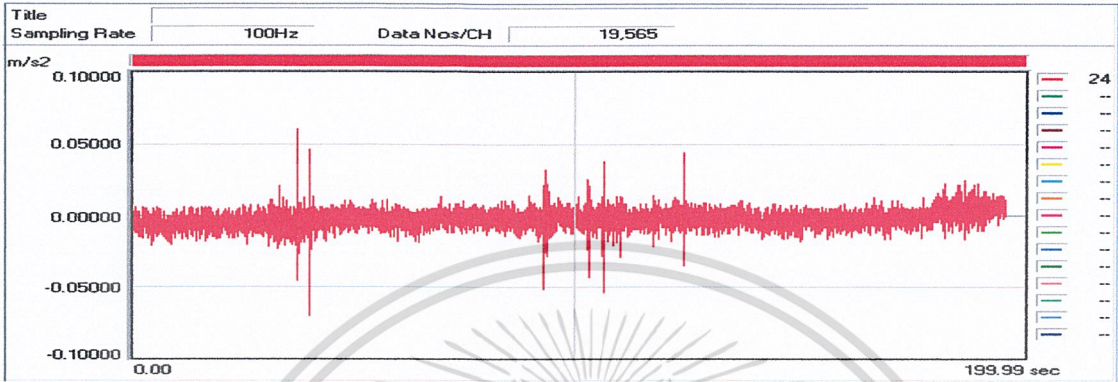


รูปที่ 5.115. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ CH21-22

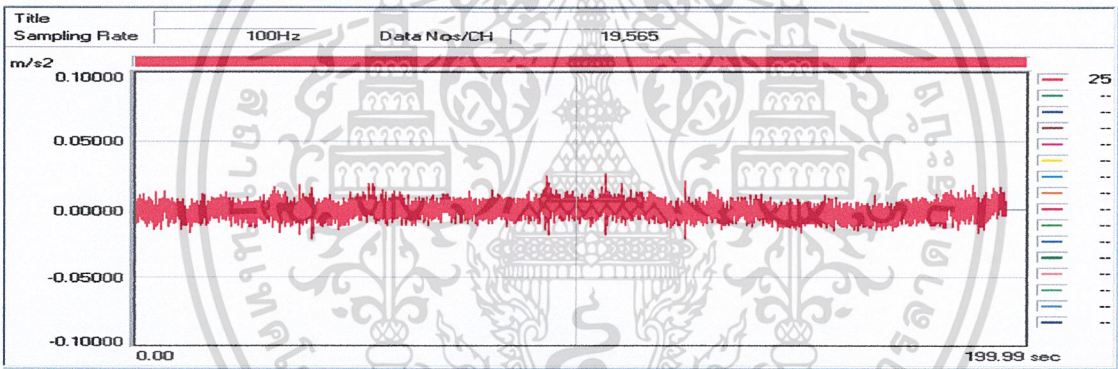


รูปที่ 5.116. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ CH23

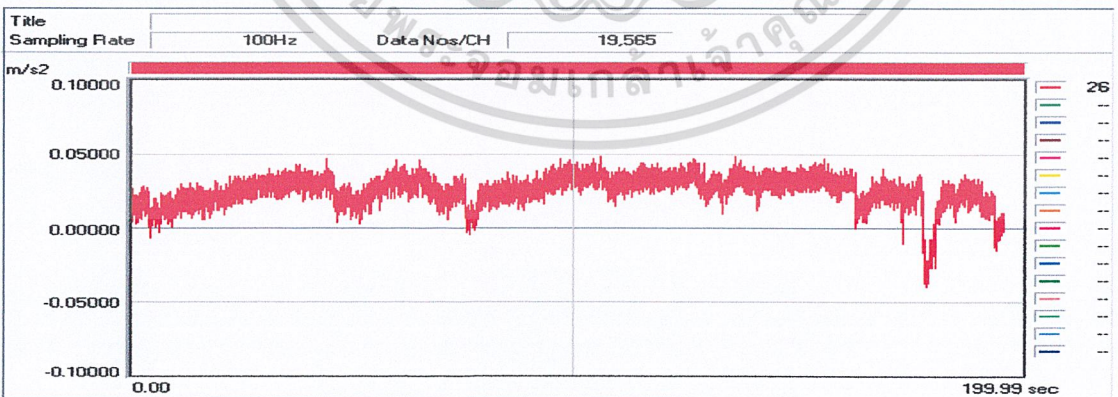
### 5.3.3.2. สัญญาณที่ได้จาก Accelerometer



รูปที่ 5.117. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH24 (แกน X)

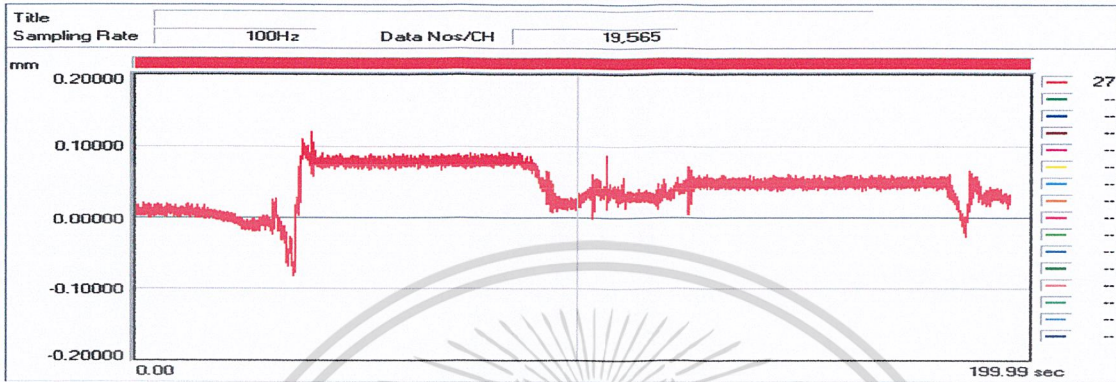


รูปที่ 5.118. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH25 (แกน Y)

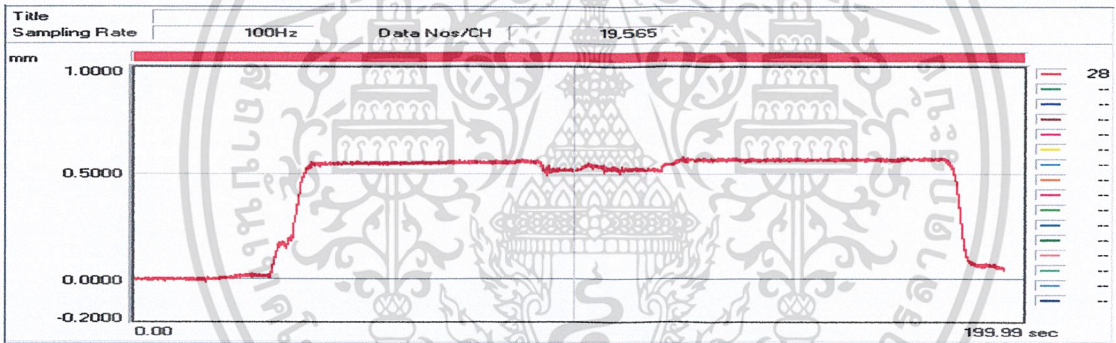


รูปที่ 5.119. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH26 (แกน Z)

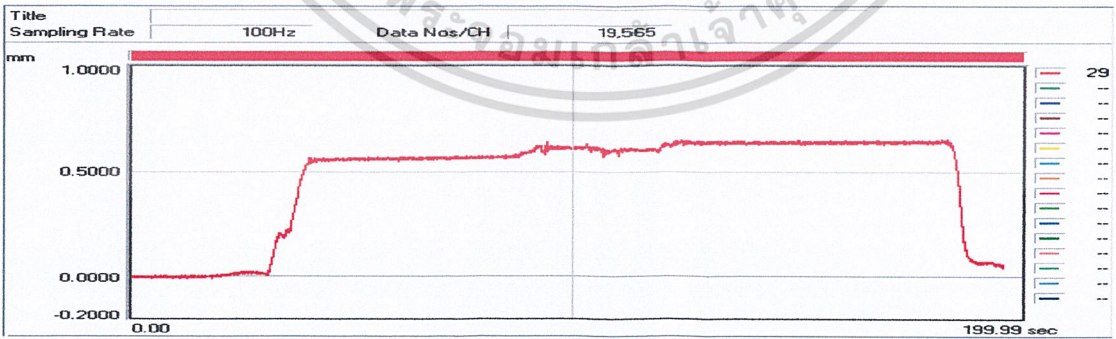
### 5.3.3.3. สัญญาณที่ได้จาก Displacement Transducer



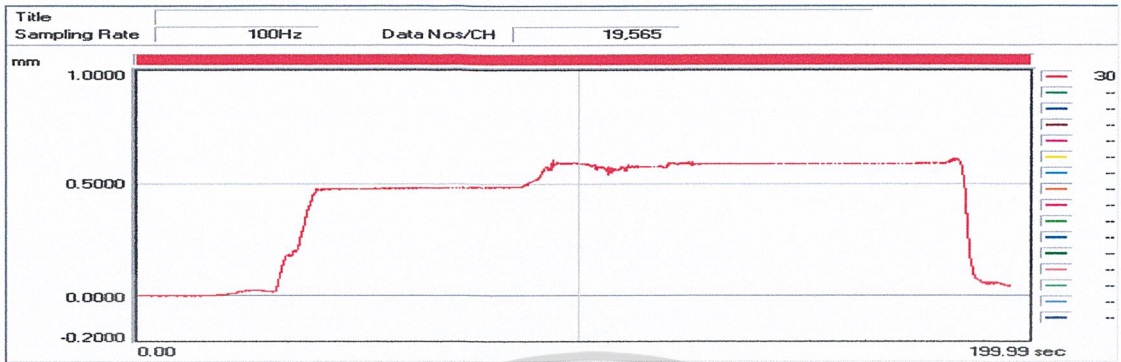
รูปที่ 5.120. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH27



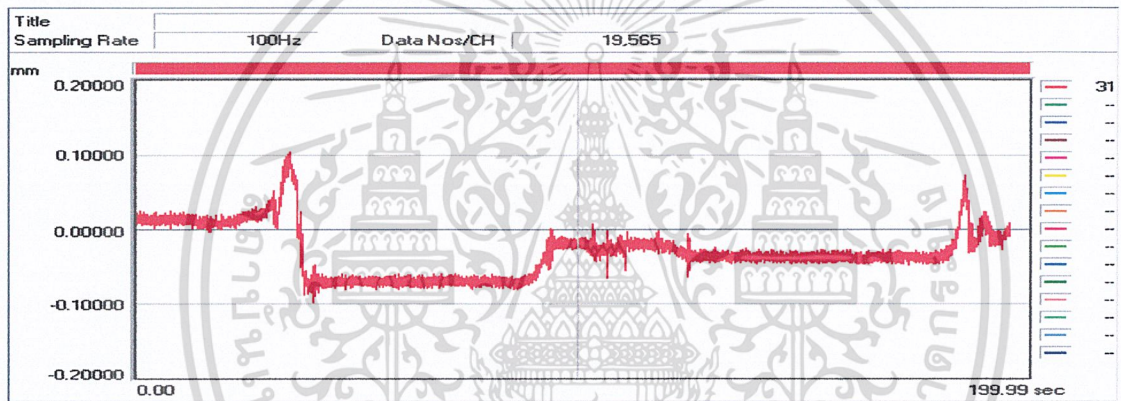
รูปที่ 5.121. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH28



รูปที่ 5.122. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH29



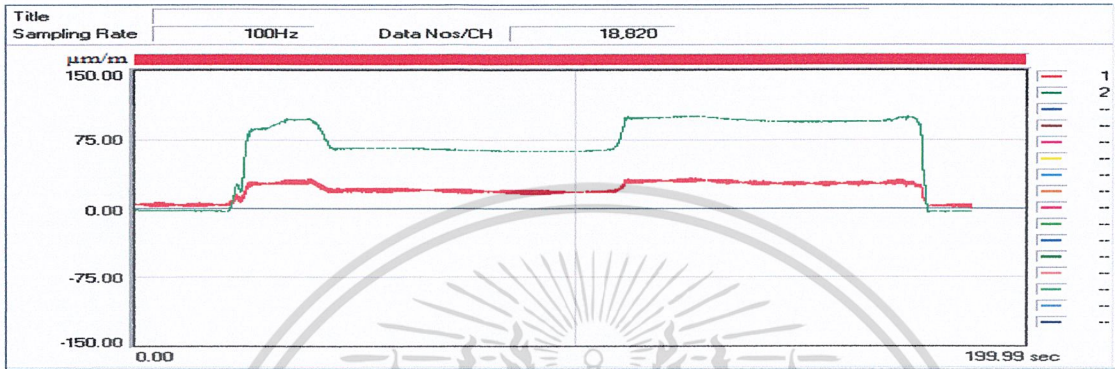
รูปที่ 5.123. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH30



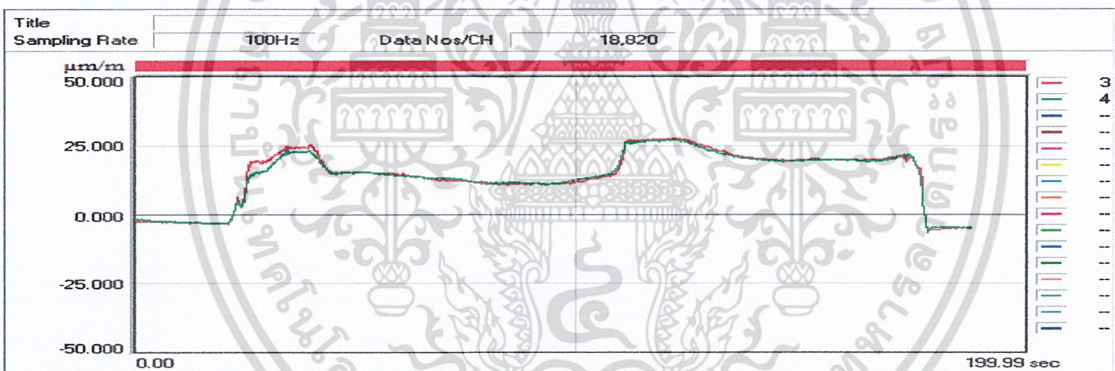
รูปที่ 5.124. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH31

### 5.3.4. เทียบกลับ จาก ราชพฤกษ์ ไป บางแค

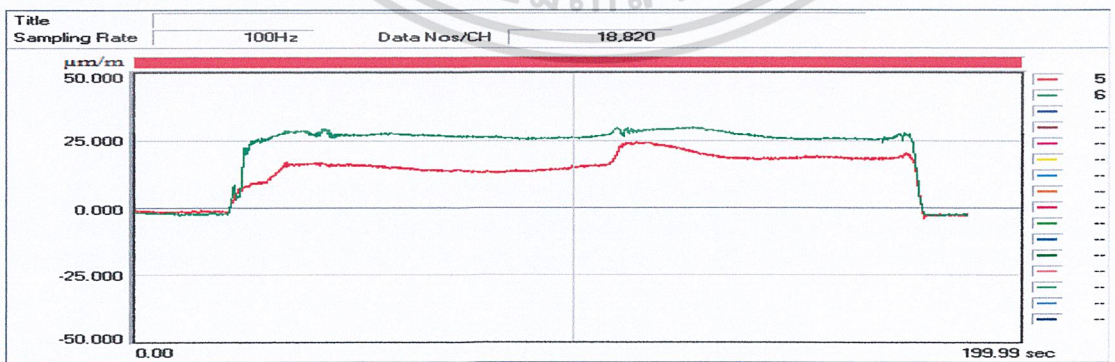
#### 5.3.4.1. สัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge



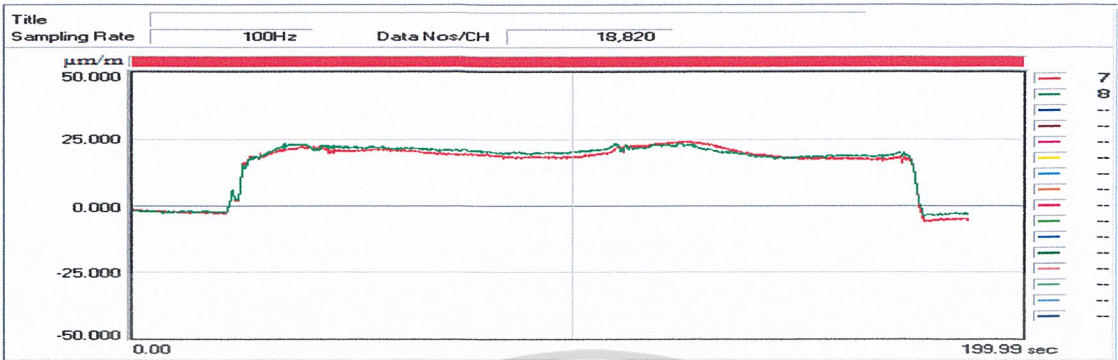
รูปที่ 5.125. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ CH1-2



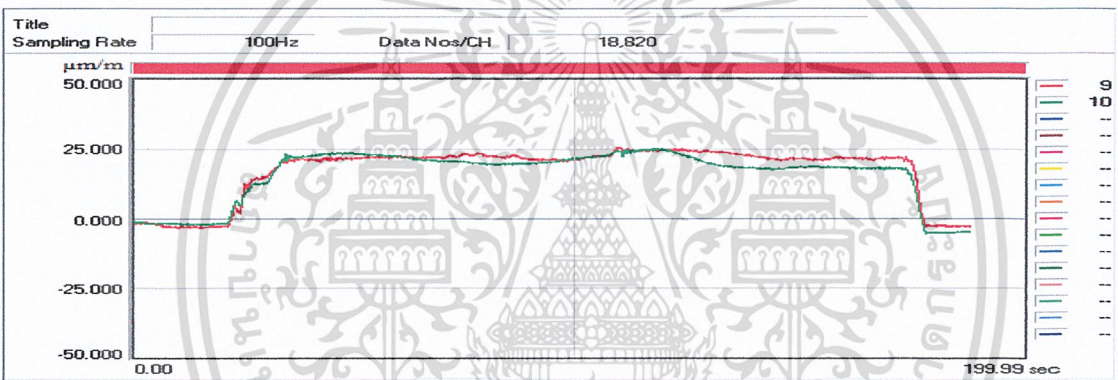
รูปที่ 5.126. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ CH3-4



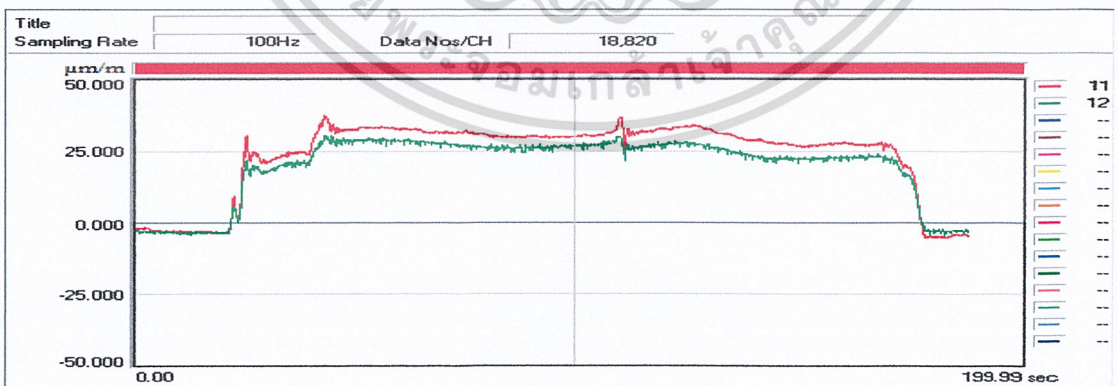
รูปที่ 5.127. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ CH5-6



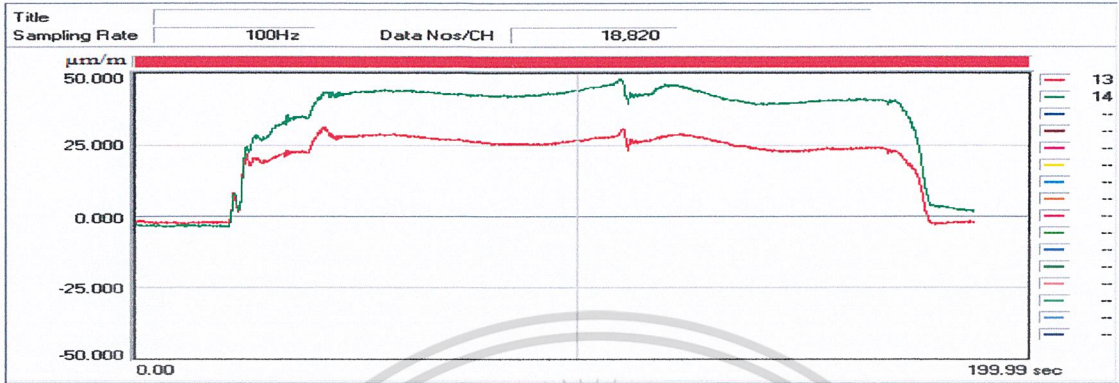
รูปที่ 5.128. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ CH7-8



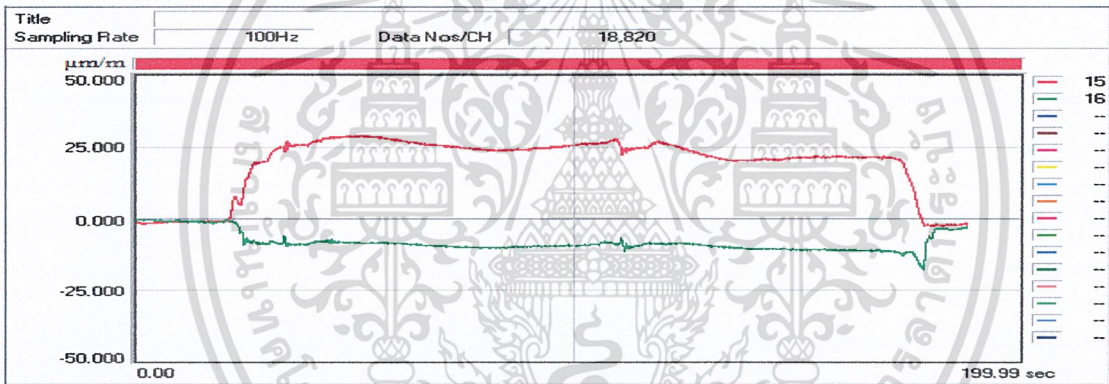
รูปที่ 5.129. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ CH9-10



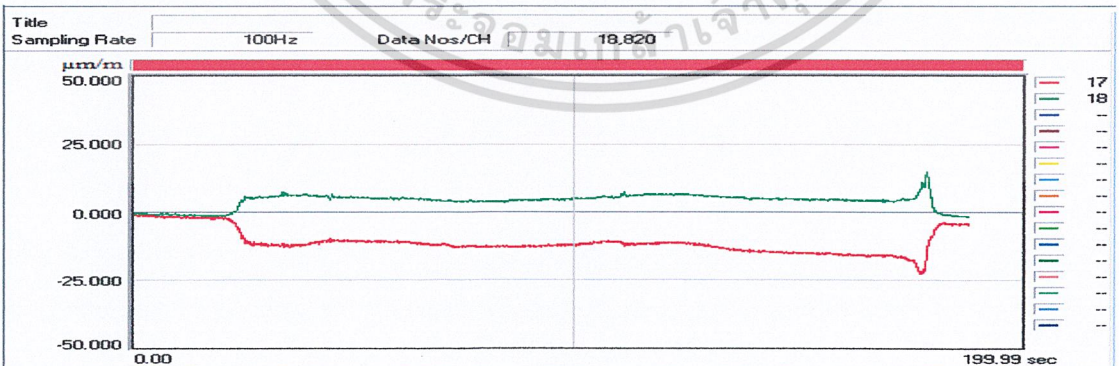
รูปที่ 5.130. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ CH11-12



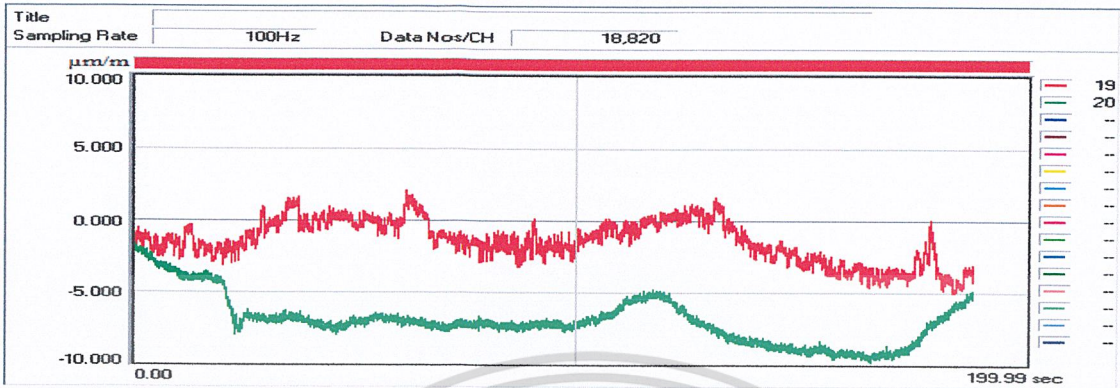
รูปที่ 5.131. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ CH13-14



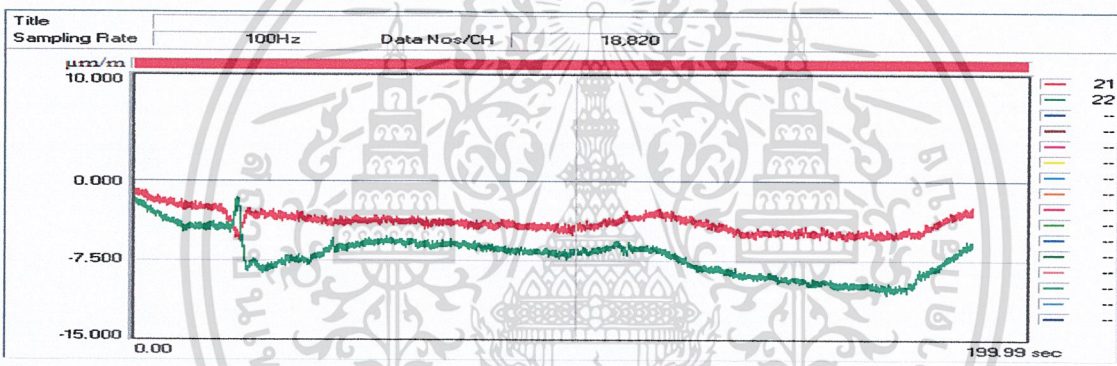
รูปที่ 5.132. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ CH15-16



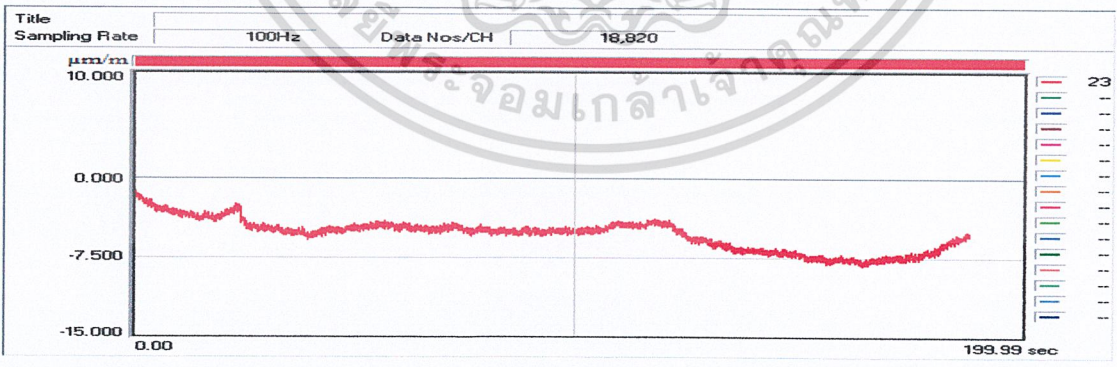
รูปที่ 5.133. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนาะ CH17-18



รูปที่ 5.134. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนน CH19-20

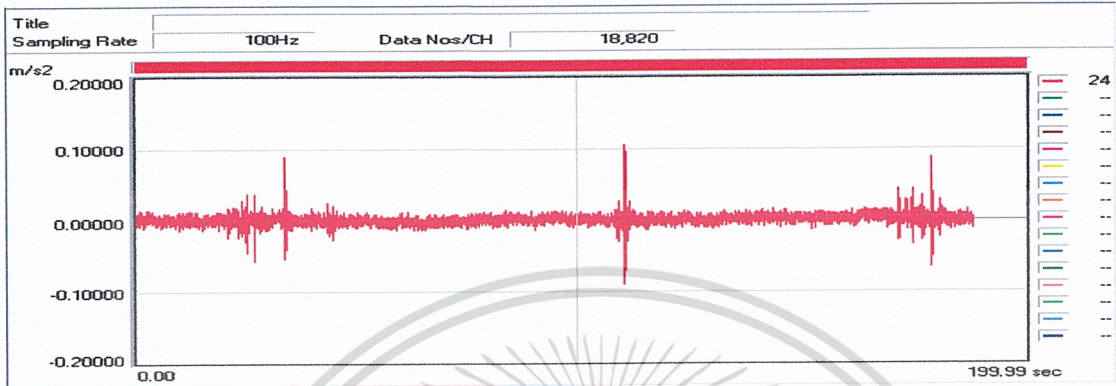


รูปที่ 5.135. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนน CH21-22

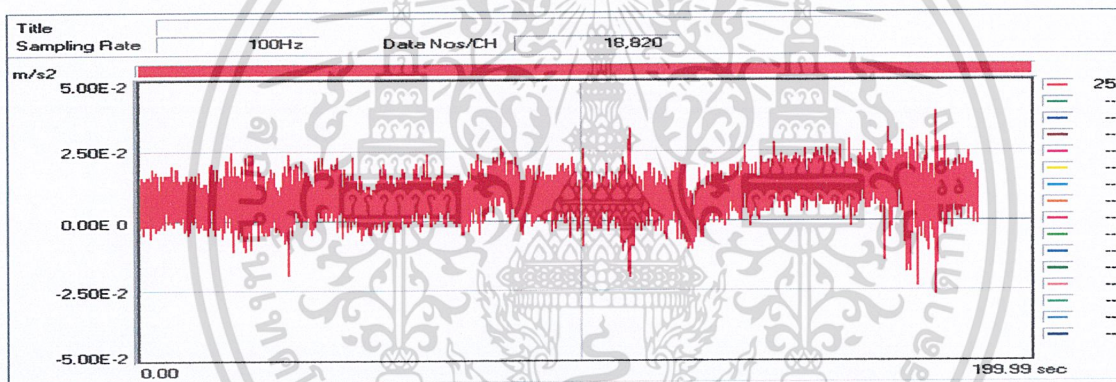


รูปที่ 5.136. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Strain Gauge สะพานข้ามคลองบางระเนน จากถับ CH23

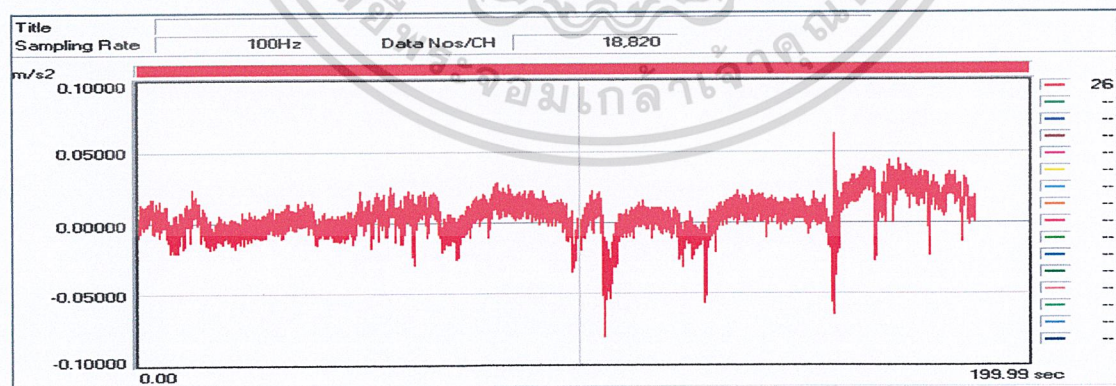
### 5.3.4.2. สัญญาณที่ได้จาก Accelerometer



รูปที่ 5.137. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH24 (แกน X)

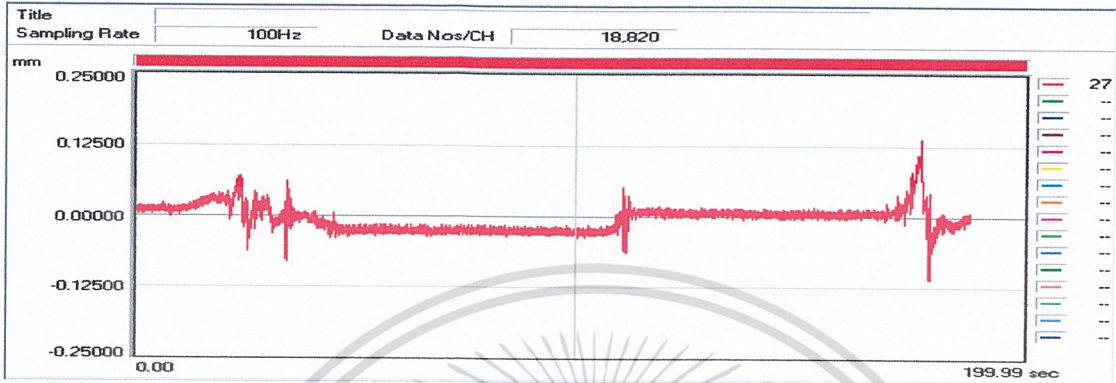


รูปที่ 5.138. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้จาก Accelerometer CH25 (แกน Y)

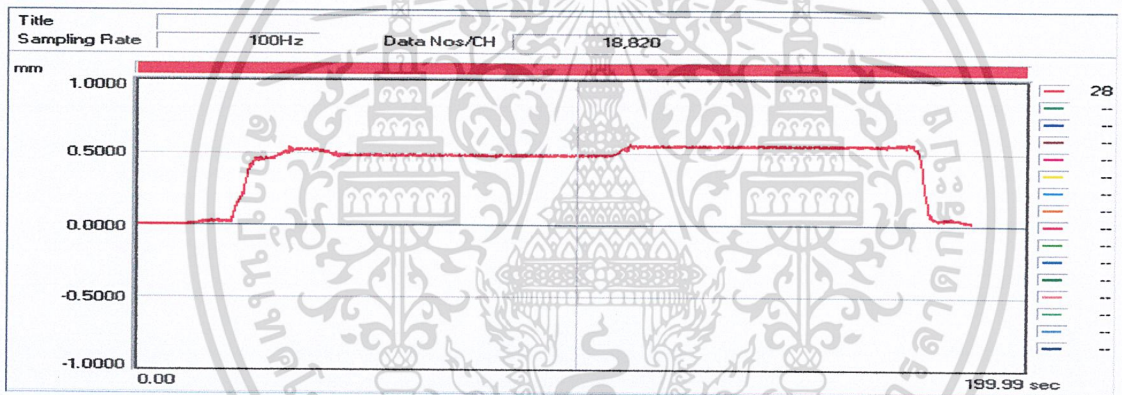


รูปที่ 5.139. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ตั้งแต่ CH26 (แกน Z)

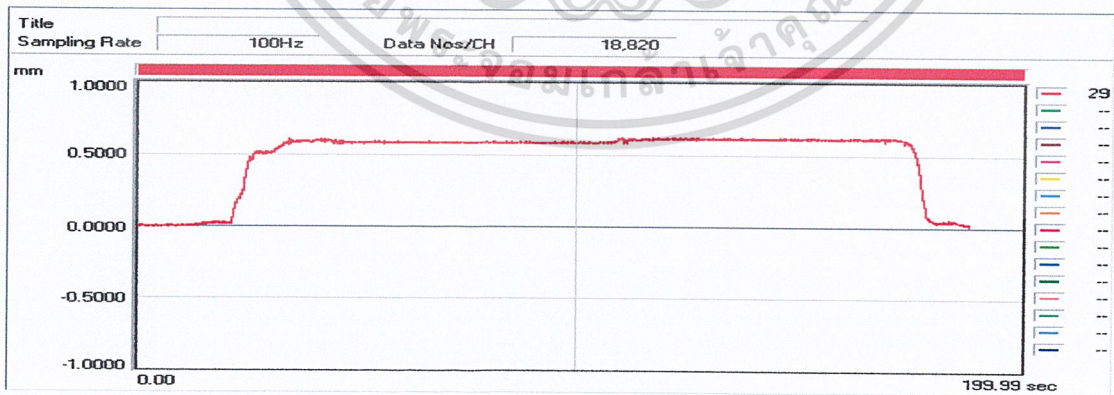
### 5.4.3.3. สัญญาณที่ได้จาก Displacement Transducer



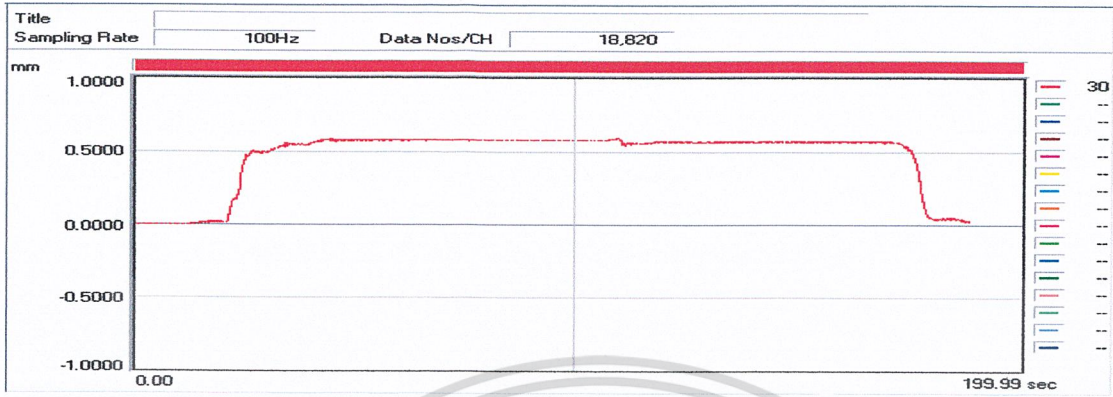
รูปที่ 5.140. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH27



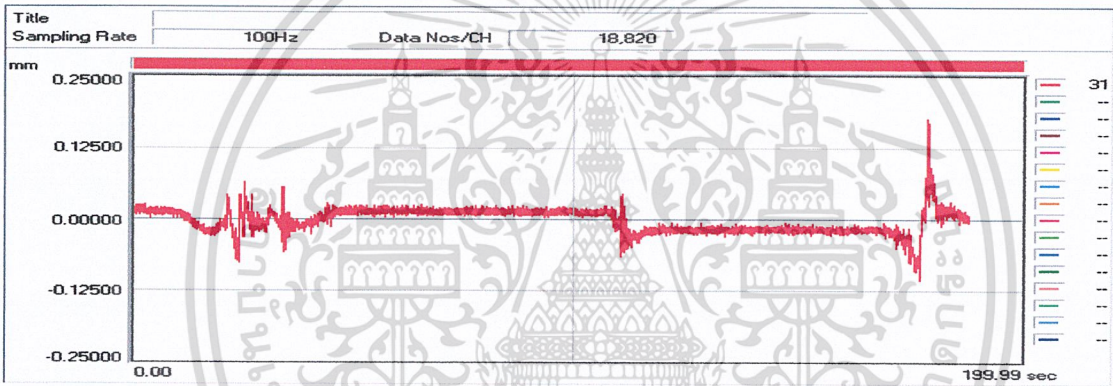
รูปที่ 5.141. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH28



รูปที่ 5.142. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH29



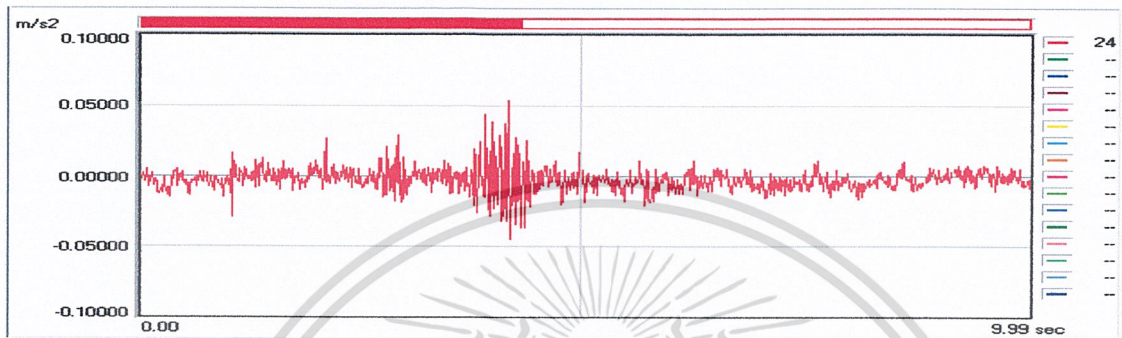
รูปที่ 5.143. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH30



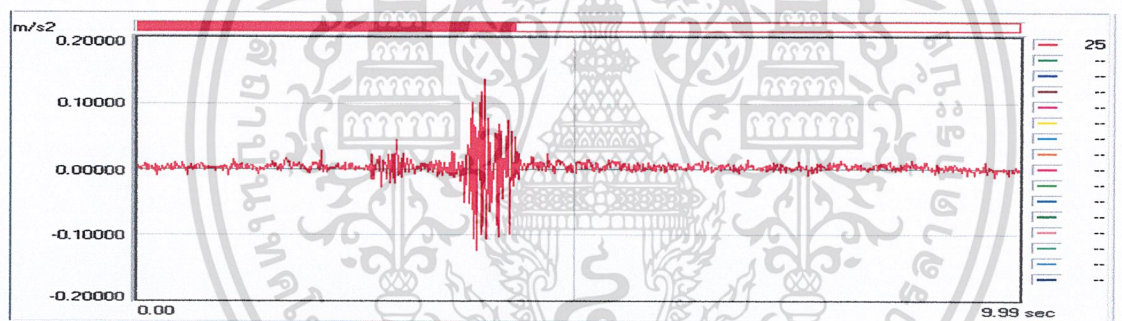
รูปที่ 5.144. กราฟแสดงค่าที่ได้รับจาก Displacement Transducer CH31

### 5.5. ผลการทดสอบแบบ Dynamic คลองตาเป็น

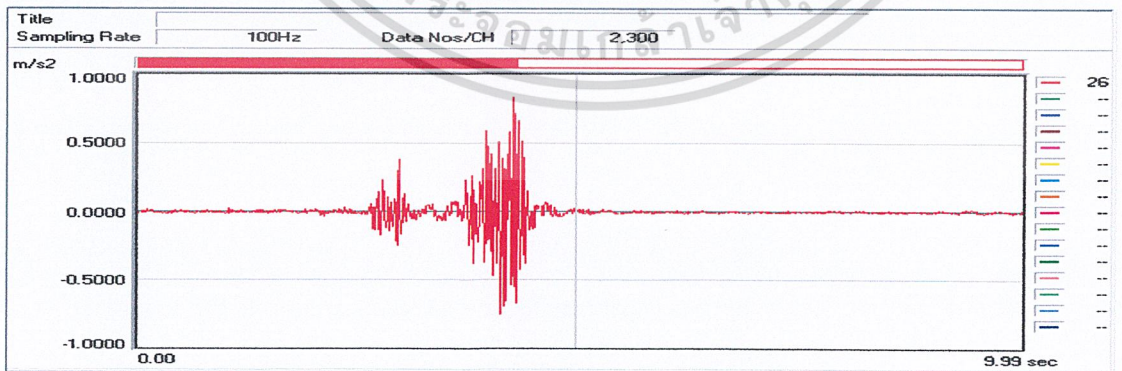
#### 5.5.1. รดwing 2 คัน ด้วยอัตราเร็ว 20 km/hr



รูปที่ 5.145. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ในแนวแกน X

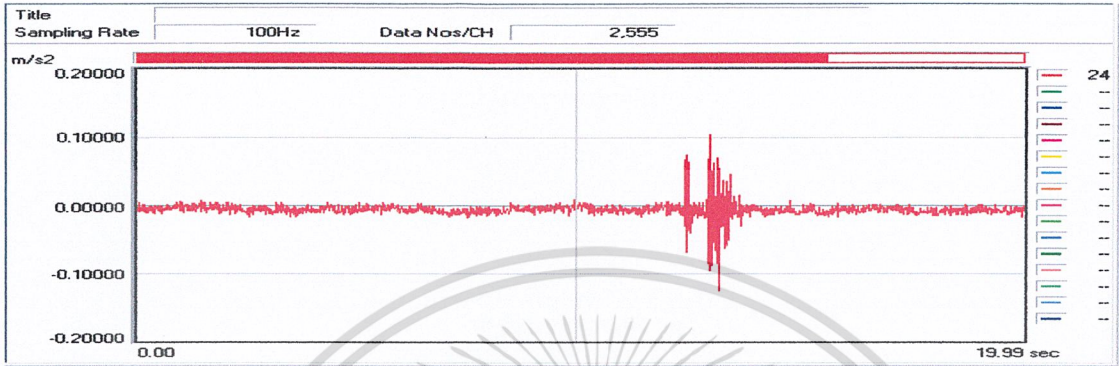


รูปที่ 5.146. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ในแนวแกน Y

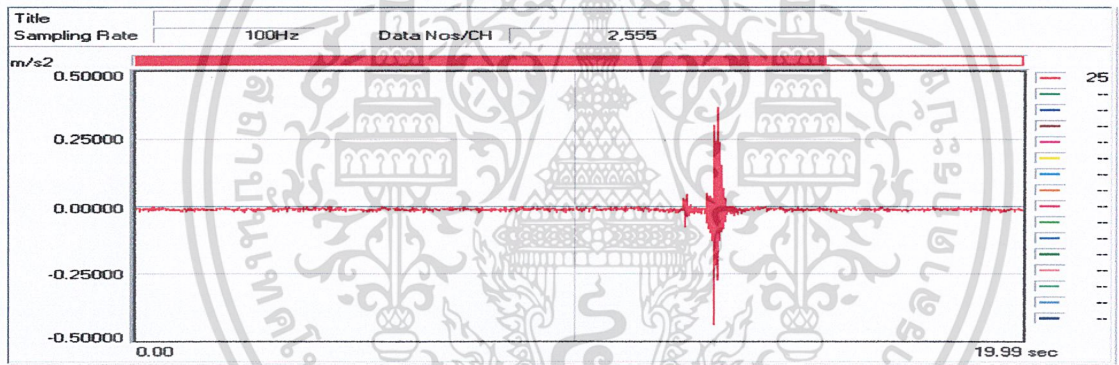


รูปที่ 5.147. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ในแนวแกน Z

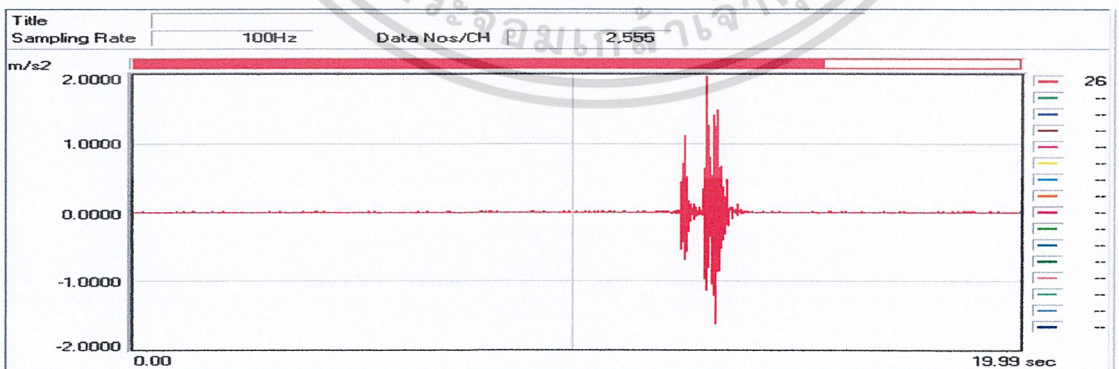
5.5.2. รถวิ่ง 2 คัน ด้วยอัตราเร็ว 40 km/hr



รูปที่ 5.148. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ในแนวแกน X

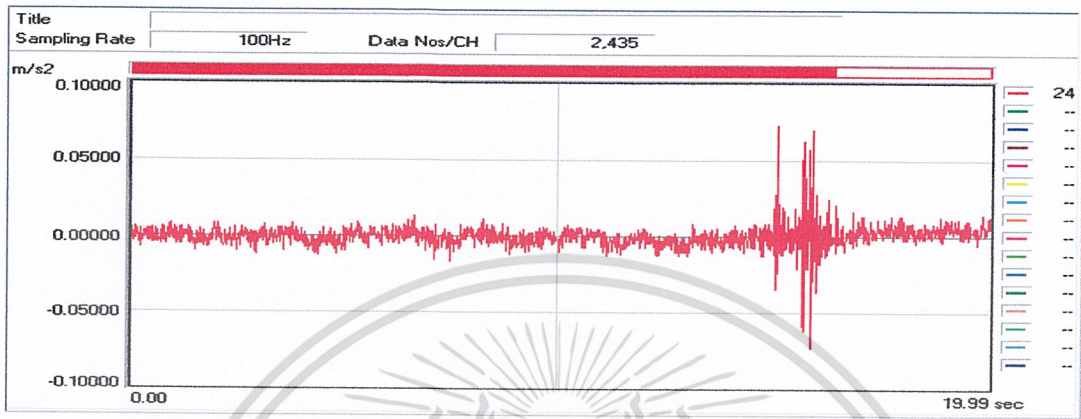


รูปที่ 5.149. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ในแนวแกน Y

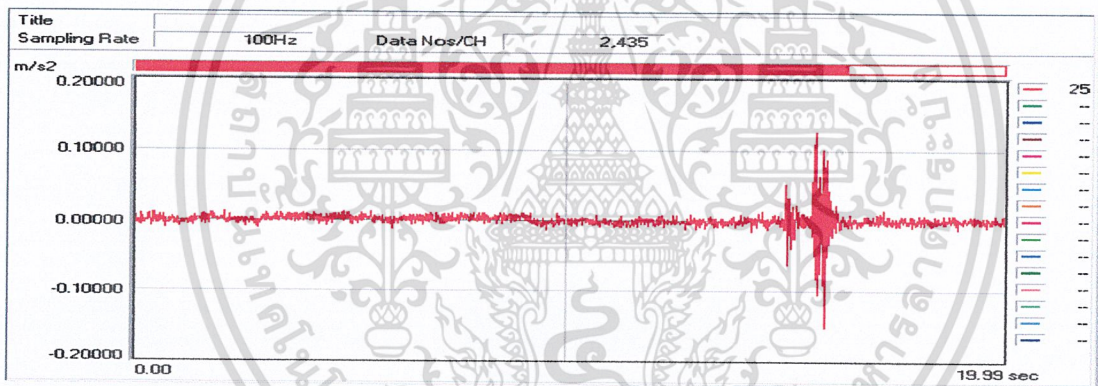


รูปที่ 5.150. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ในแนวแกน Z

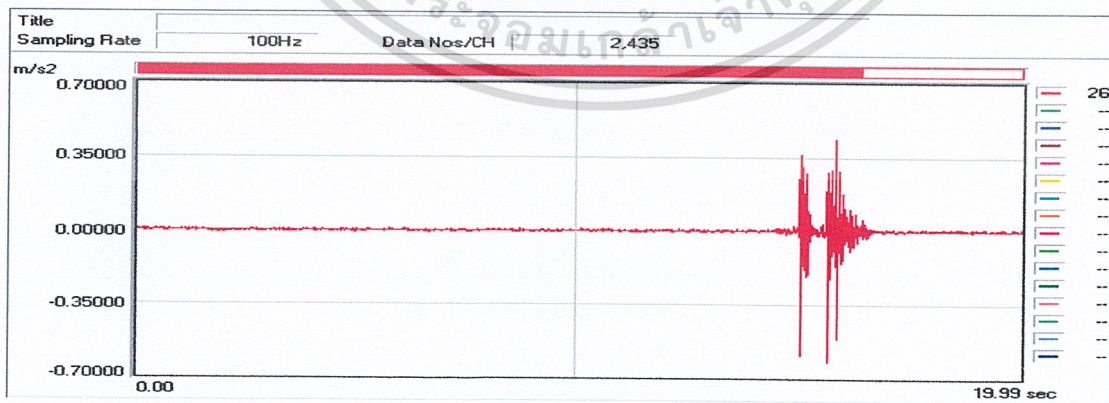
### 5.5.3. รถวิ่ง 1 ครั้ง ด้วยอัตราเร็ว 45 km/hr



รูปที่ 5.151. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ในแนวแกน X



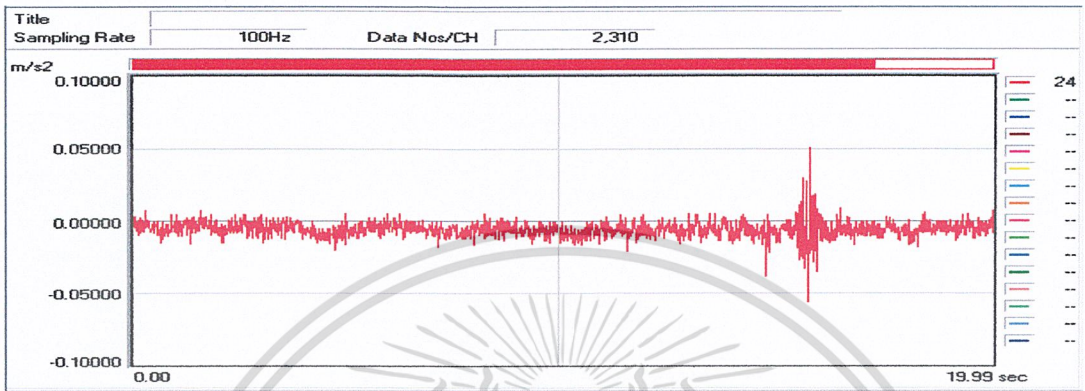
รูปที่ 5.152. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ในแนวแกน Y



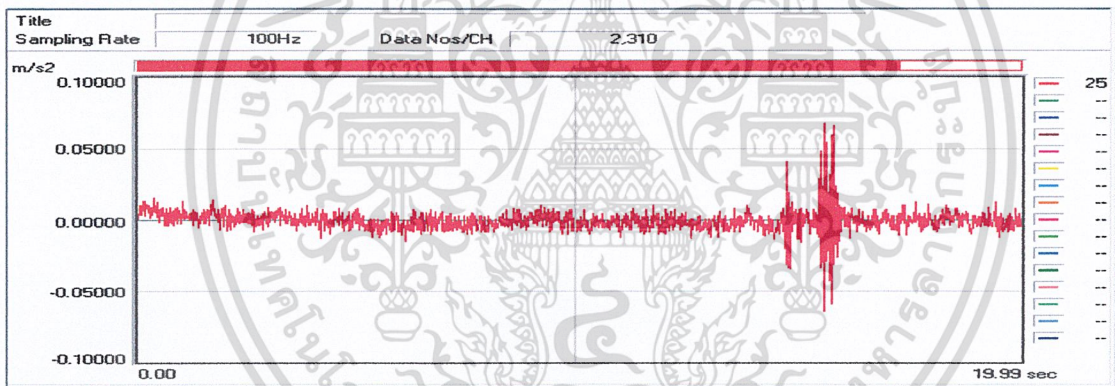
รูปที่ 5.153. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ในแนวแกน Z

## 5.6. ผลการทดสอบแบบ Dynamic คลองต้ำ

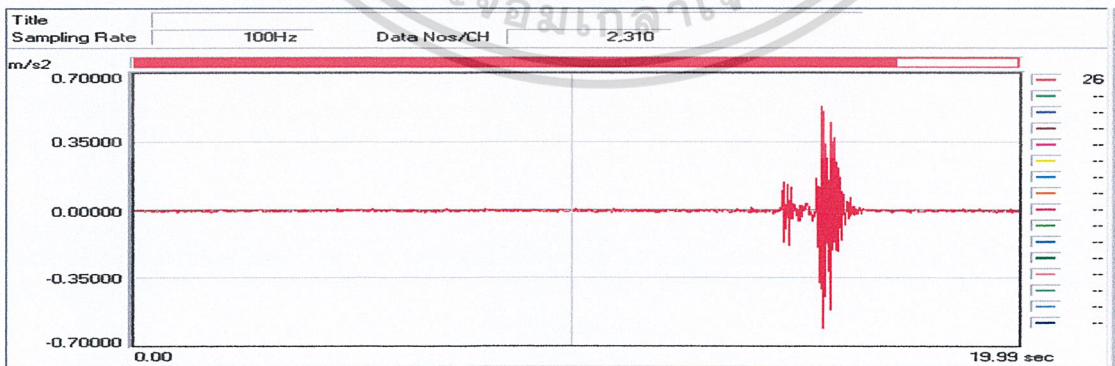
### 5.6.1. รถวิ่ง 1 ครั้ง ด้วยอัตราเร็ว 20 km/hr



รูปที่ 5.154. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ในแนวแกน X

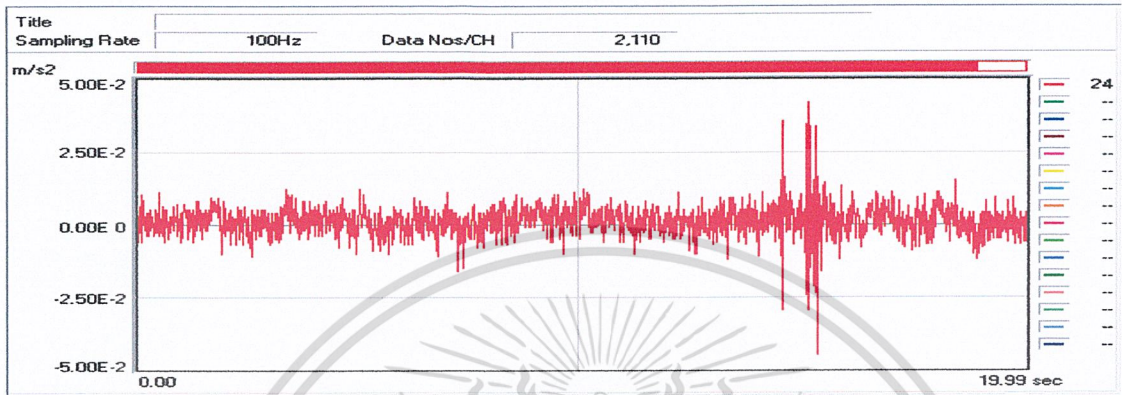


รูปที่ 5.155. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ในแนวแกน Y

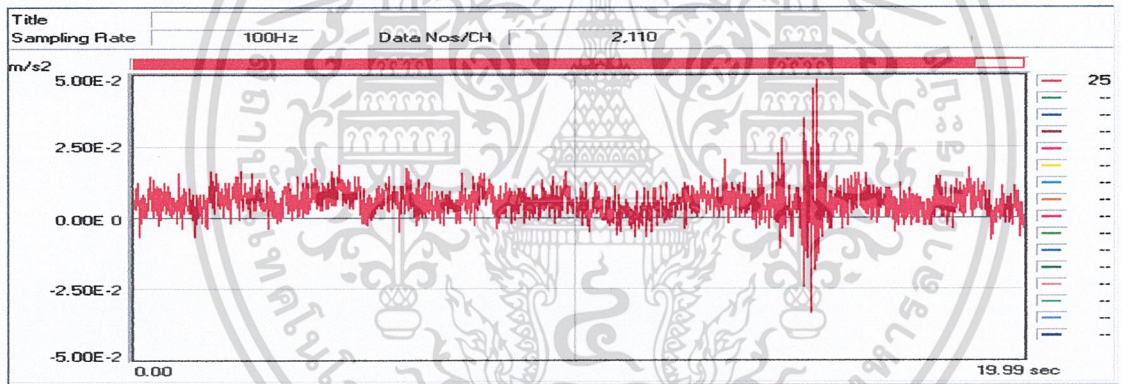


รูปที่ 5.156. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ในแนวแกน Z

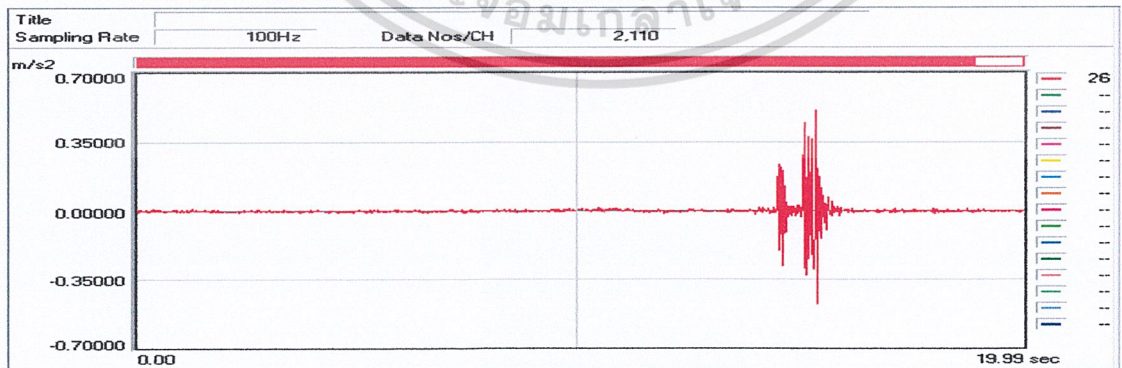
5.6.2. รถวิ่ง 1 ครั้ง ด้วยอัตราเร็ว 40 km/hr



รูปที่ 5.157. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ในแนวแกน X

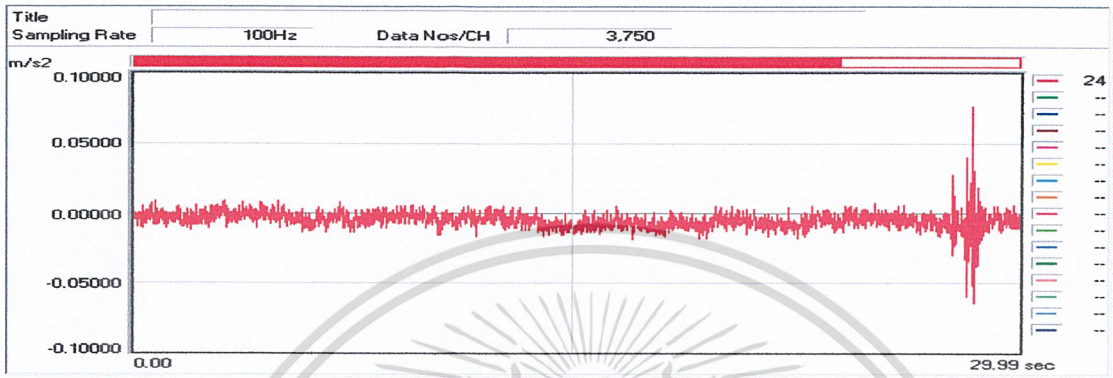


รูปที่ 5.158. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ในแนวแกน Y

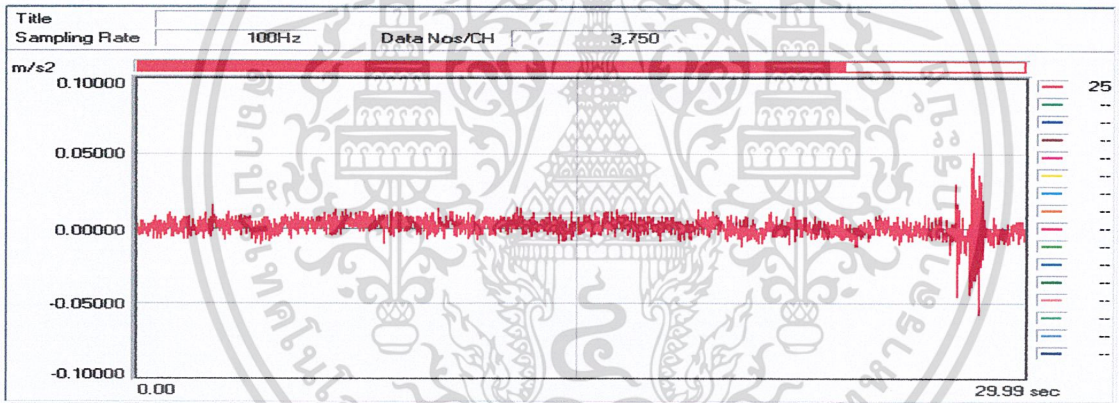


รูปที่ 5.159. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ในแนวแกน Z

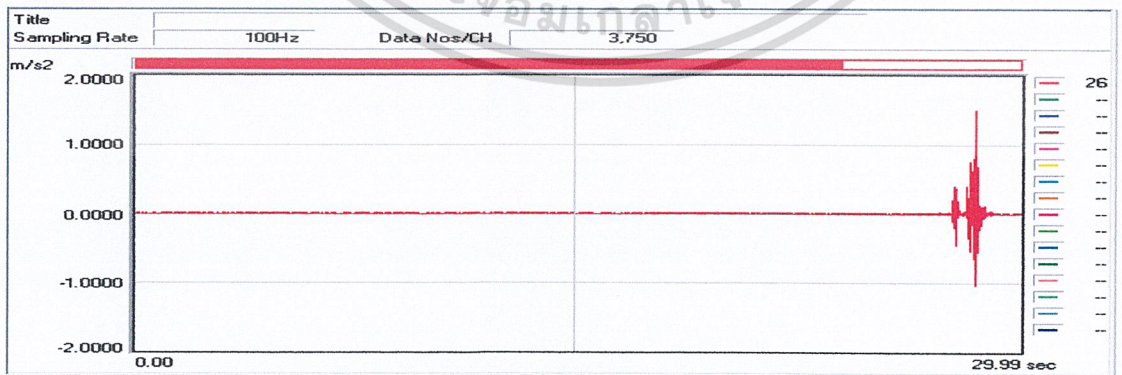
5.6.3. รถวิ่ง 1 คัน ด้วยอัตราเร็ว 60 km/hr



รูปที่ 5.160. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ในแนวแกน X



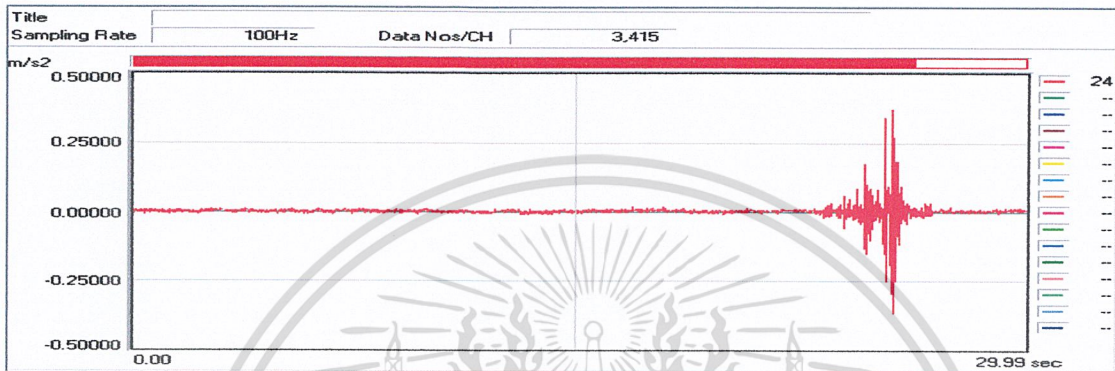
รูปที่ 5.161. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ในแนวแกน Y



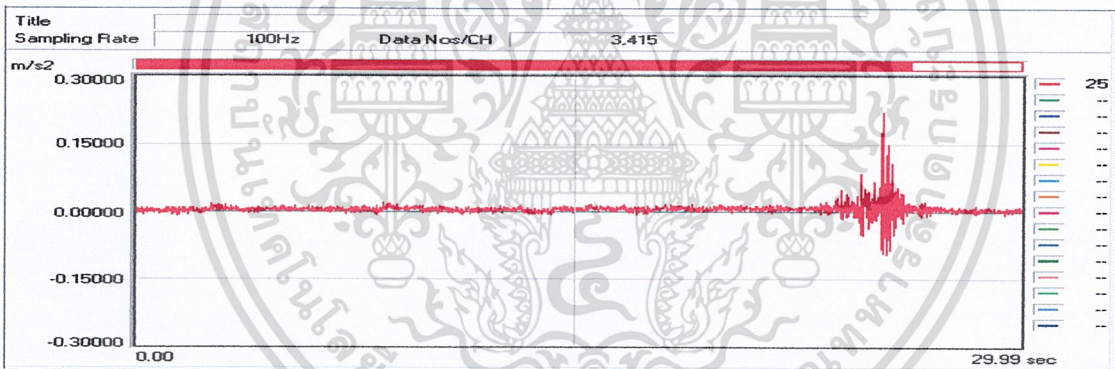
รูปที่ 5.162. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ในแนวแกน Z

## 5.7. ผลการทดสอบแบบ Dynamic คลองบางระแนะ

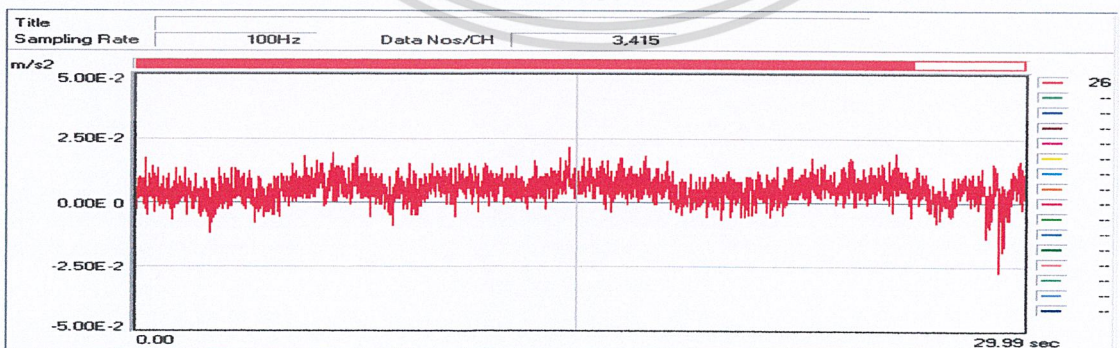
### 5.7.1. รถวิ่ง 1 ครั้ง ด้วยอัตราเร็ว 20 km/hr



รูปที่ 5.163. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ในแนวแกน X

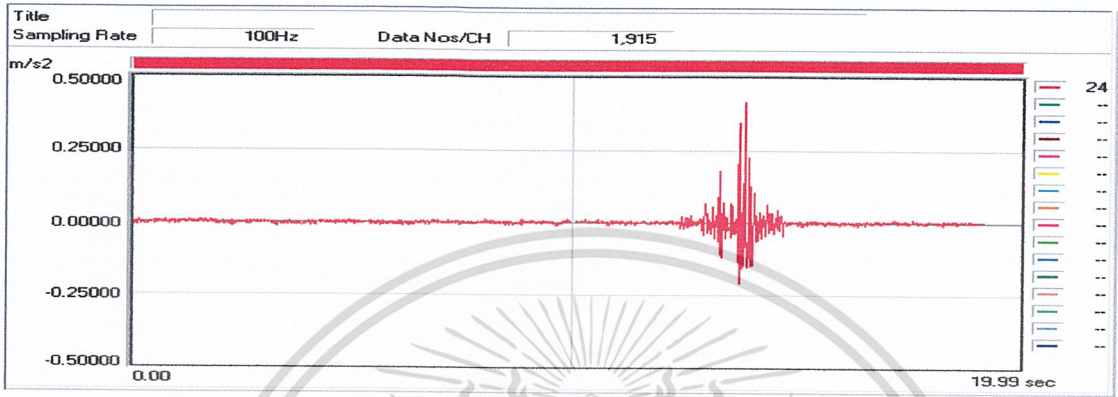


รูปที่ 5.164. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ในแนวแกน Y

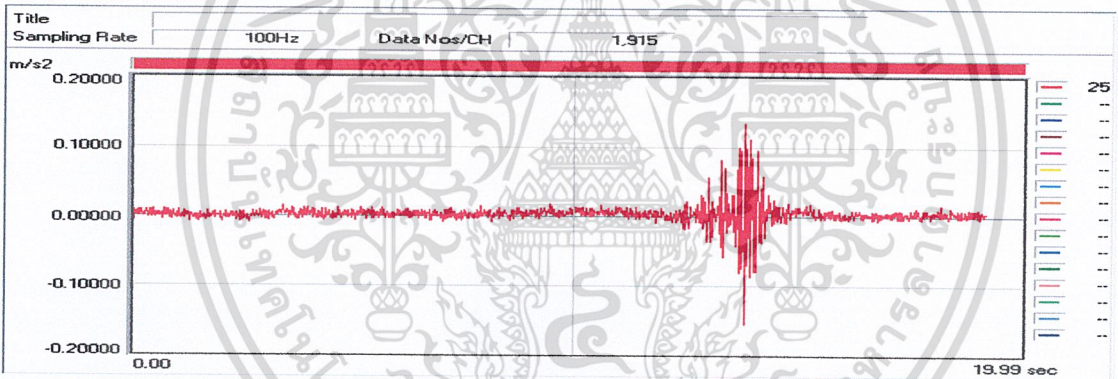


รูปที่ 5.165. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ในแนวแกน Z

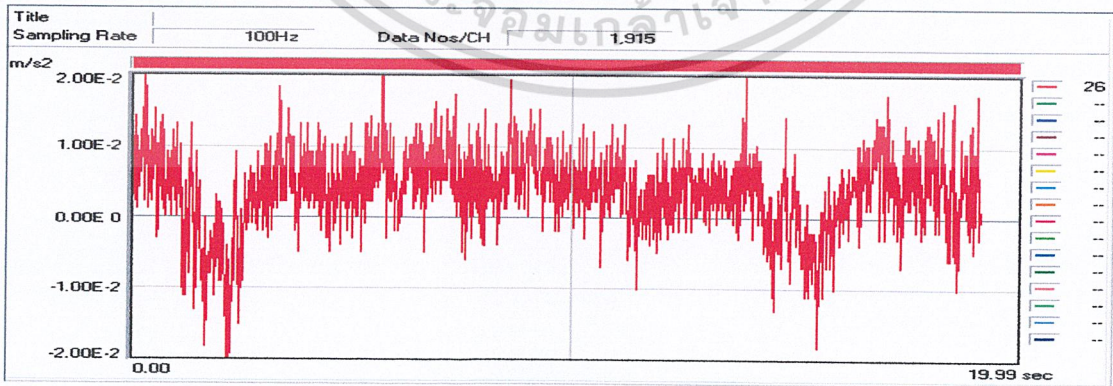
5.7.2. รถวิ่ง 1 คัน ด้วยอัตราเร็ว 40 km/hr



รูปที่ 5.166. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ในแนวแกน X

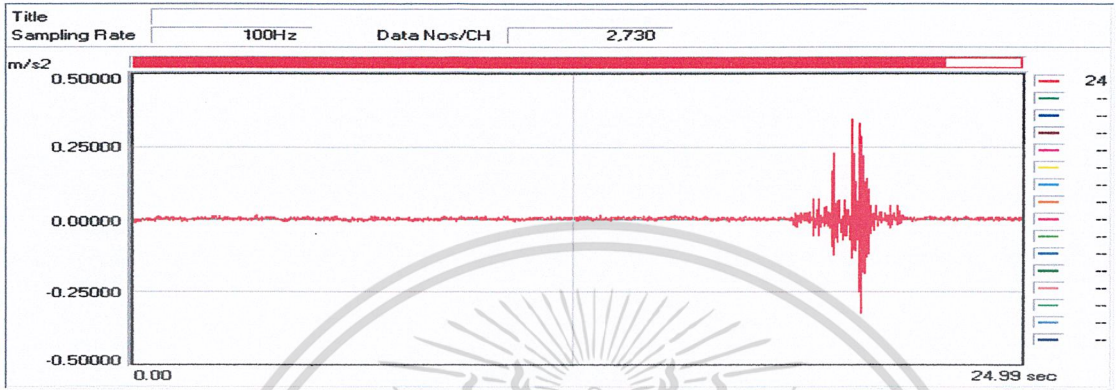


รูปที่ 5.167. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ในแนวแกน Y

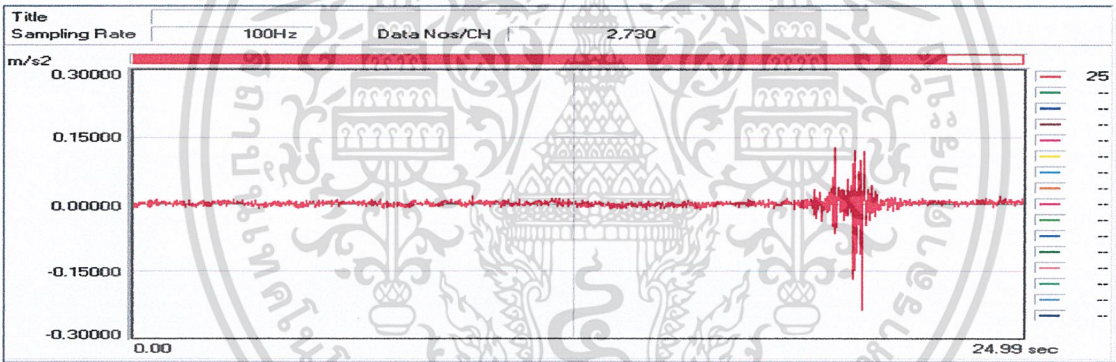


รูปที่ 5.168. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ในแนวแกน Z

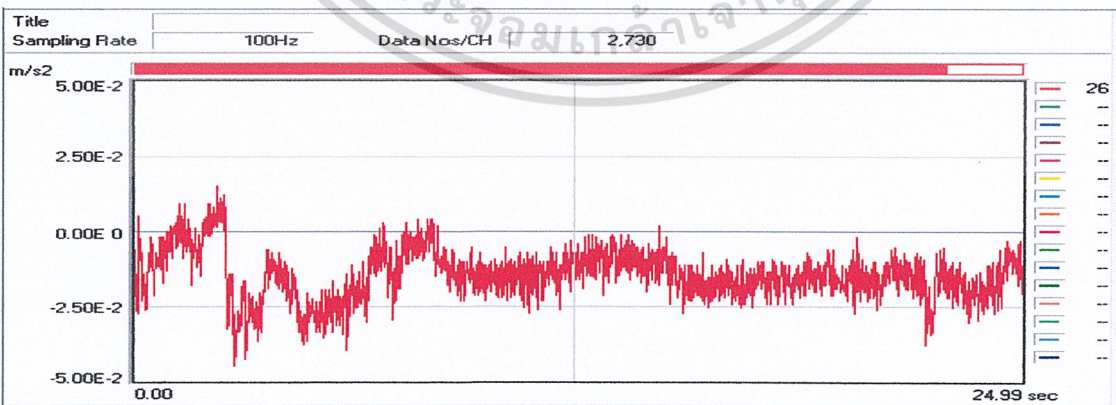
### 5.7.3. รถวิ่ง 1 คัน ด้วยอัตราเร็ว 50 km/hr



รูปที่ 5.169. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ในแนวแกน X



รูปที่ 5.170. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ในแนวแกน Y



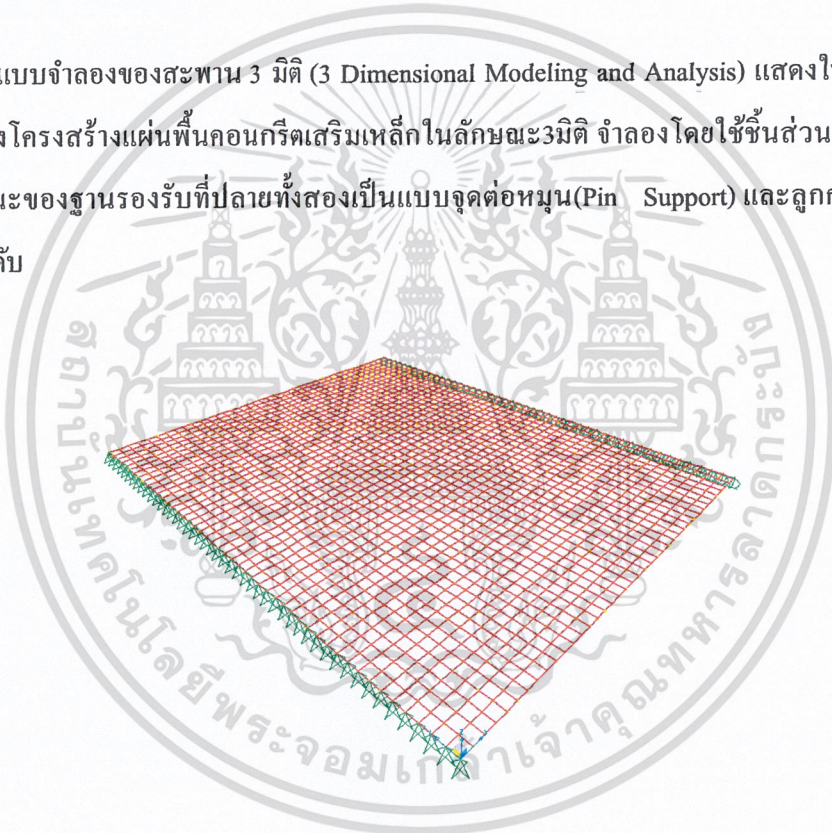
รูปที่ 5.171. กราฟแสดงค่าสัญญาณที่ได้รับจาก Accelerometer ในแนวแกน Z

## บทที่ 6

### การวิเคราะห์โครงสร้างสะพานโดยใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์

#### 6.1. การสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์

แบบจำลองของสะพาน 3 มิติ (3 Dimensional Modeling and Analysis) แสดงในรูปที่ 6.1. แสดงแบบจำลองโครงสร้างแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กในลักษณะ 3 มิติ จำลองโดยใช้ชิ้นส่วนชนิด Shell Element ลักษณะของฐานรองรับที่ปลายทั้งสองเป็นแบบจุดต่อหมุน (Pin Support) และลูกกลิ้ง (Roller Support) ตามลำดับ

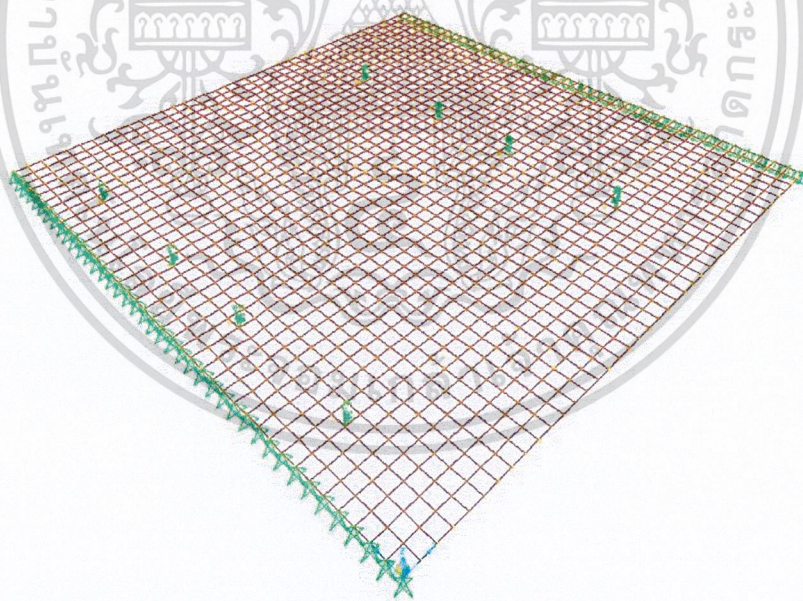


รูปที่ 6.1. แบบจำลอง 3 มิติของสะพานตาแป้น ความยาวช่วง 8 เมตร

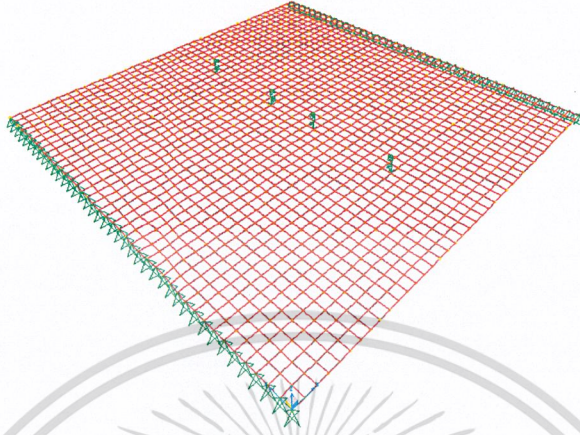
## 6.2. น้ำหนักและมิติของรถทดสอบในแบบจำลอง

การตรวจวัดภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกแบบสถิติจะดำเนินการโดยใช้รถบรรทุกทดสอบ (สิบล้อ) บรรทุกน้ำหนักรวม 25 ตันจำนวน 2 คันวิ่งพร้อมกันและหยุดรถที่ตำแหน่งทดสอบต่างๆ บนสะพาน แต่ละตำแหน่งของการหยุดรถจะทำการบันทึกค่าการเสียรูปของโครงสร้างสะพาน ซึ่งได้แก่ ค่าความเครียด (Strain) และค่าการแอ่นตัว (Deflection) ส่วนการทดสอบภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกแบบพลวัตจะดำเนินการโดยใช้รถบรรทุกทดสอบ (สิบล้อ) บรรทุกน้ำหนักรวม 25 ตัน จำนวน 2 คัน วิ่งพร้อมกันบนสะพานที่ความเร็วตามที่กำหนดและทำการตรวจวัดค่าต่างๆ ได้แก่ ค่าการแอ่นตัวแนวตั้ง ค่าความเครียด และค่าความเร่งของการเคลื่อนที่ของโครงสร้าง รูปที่ 6.2. แสดงน้ำหนักรถบรรทุกทดสอบที่กระทำกับแบบจำลองคอมพิวเตอร์

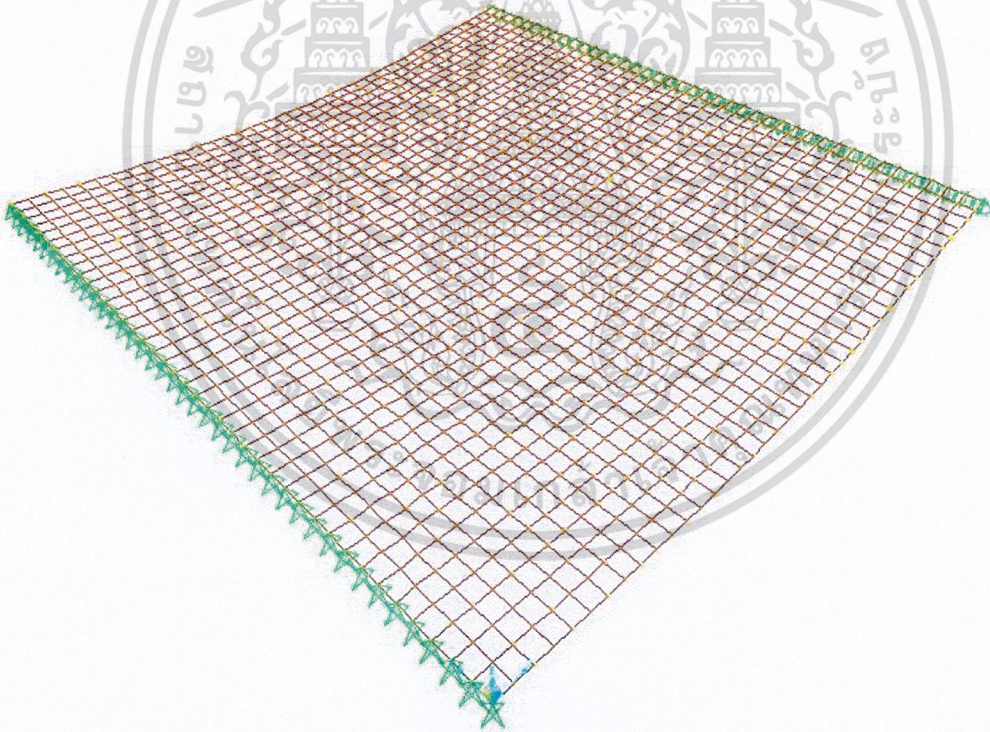
### 6.2.1. แบบจำลองของสะพานข้ามคลองตาแป้น



รูปที่ 6.2. น้ำหนักรถบรรทุกทดสอบที่กระทำกับแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของคลองตาแป้น ที่ระยะ L/3

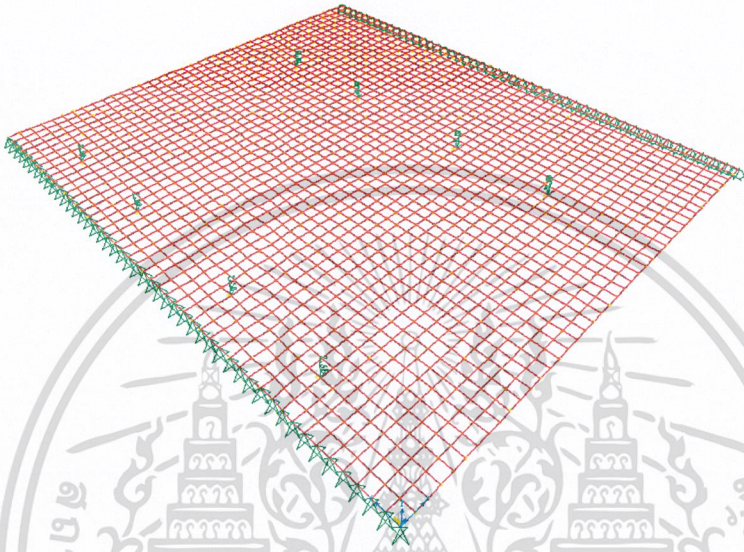


รูปที่ 6.3. ใ้หน้ากรณบรรทุกทดสอบที่กระทำกับแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของคลองตาแป้น ที่ระยะ  $L/2$

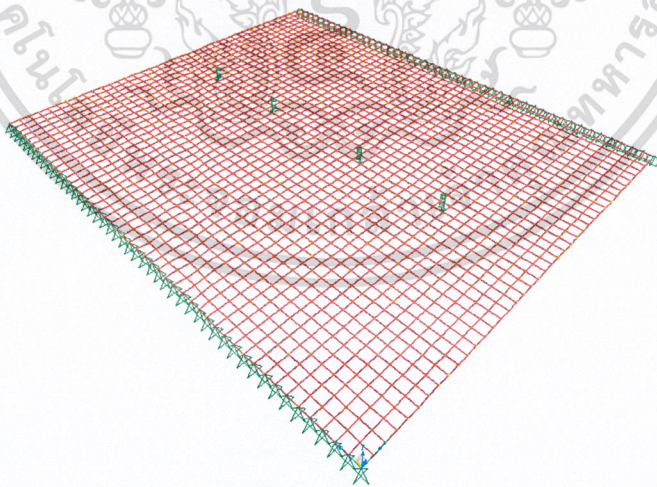


รูปที่ 6.4. แสดงการแอ่นตัวในแนวตั้งของพื้นสะพานคลองตาแป้น

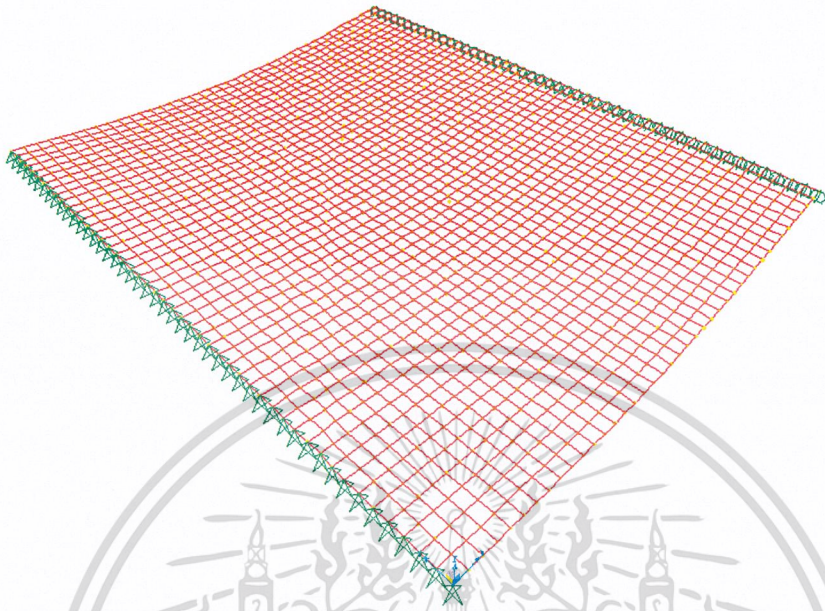
6.2.2. แบบจำลองของสะพานข้ามคลองตาจ๋า



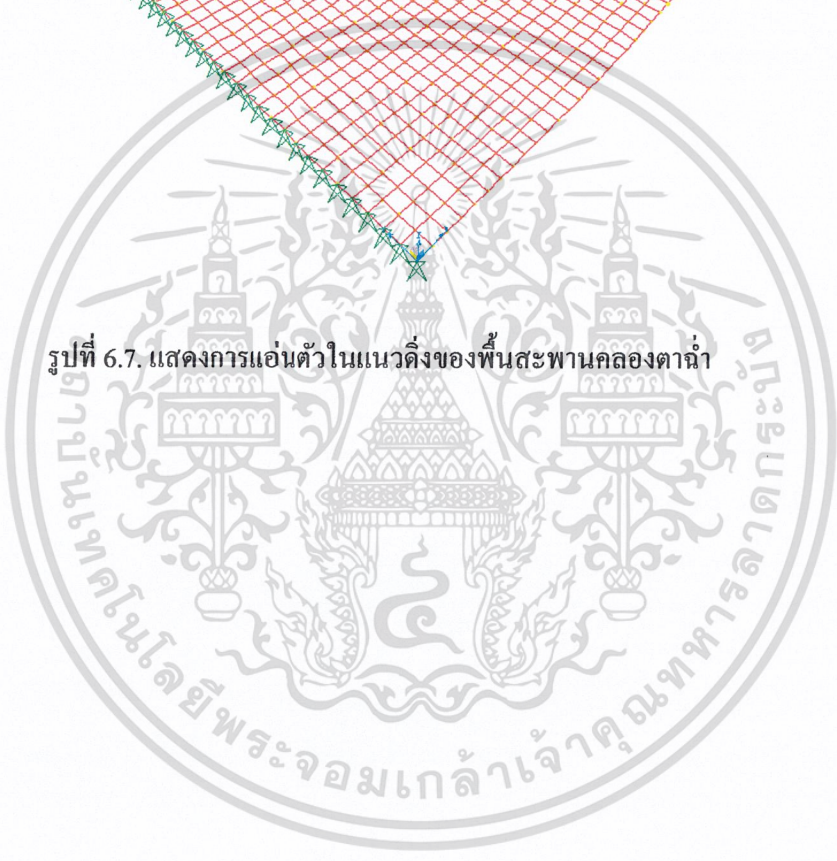
รูปที่ 6.5. น้้าหนักบรรทุกทุกทดสอบที่กระทำกับแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของคลองตาจ๋า ที่ระยะ  $L/3$



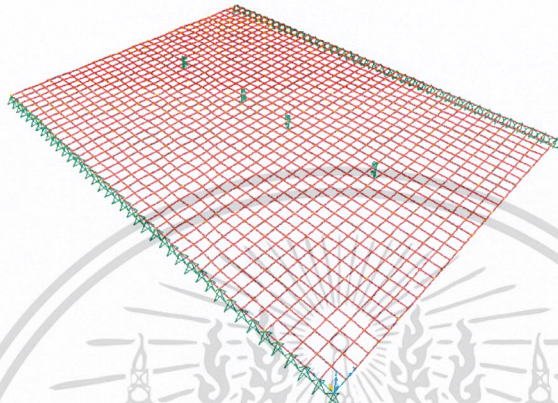
รูปที่ 6.6. น้้าหนักบรรทุกทุกทดสอบที่กระทำกับแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของคลองตาจ๋า ที่ระยะ  $L/2$



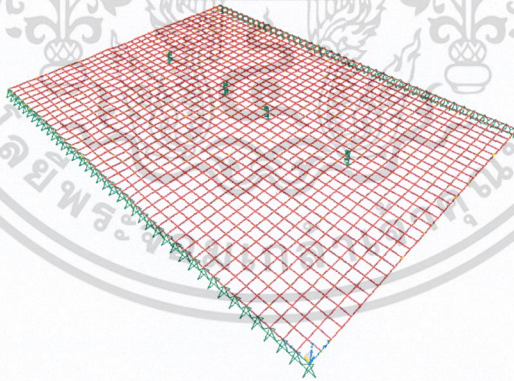
รูปที่ 6.7. แสดงการแอนตัวในแนวตั้งของพื้นสะพานคลองตาฉ่ำ



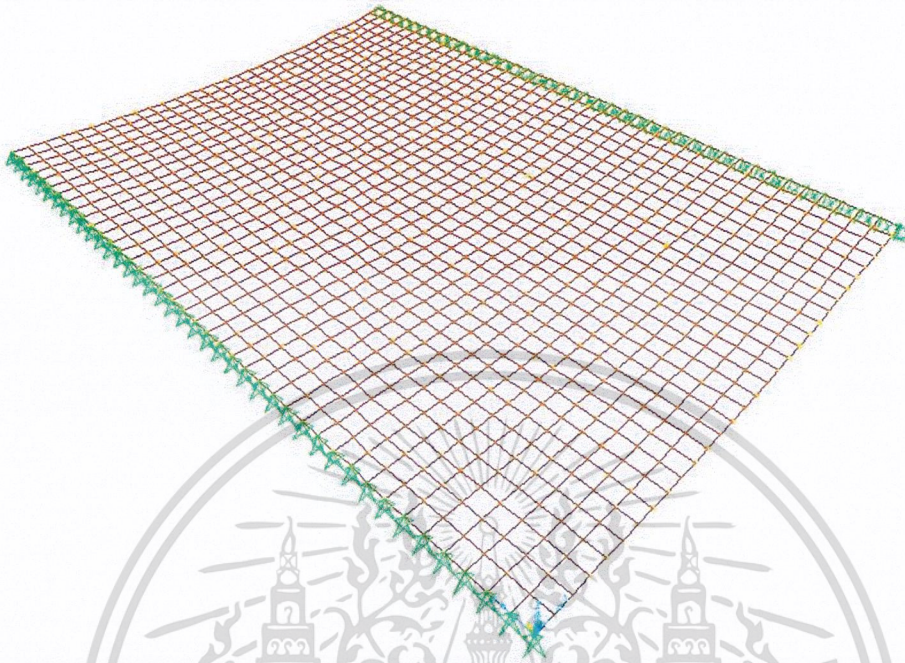
### 6.2.3. แบบจำลองของสะพานข้ามคลองบางระเนะ



รูปที่ 6.8. น้้าหนักบรรทุกทุกทดสอบที่กระทำกับแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของคลองบางระเนะ ที่ระยะ L/3



รูปที่ 6.9. น้้าหนักบรรทุกทุกทดสอบที่กระทำกับแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของคลองบางระเนะ ที่ระยะ L/2



รูปที่ 6.10. แสดงการแอนตัวในแนวตั้งของพื้นสะพานคลองบางระแนะ

	L/3	L/2
คลองตาแปน	4.12 mm	4.28 mm
คลองตาผ้า	0.88 mm	1.12 mm
คลองบางระแนะ	1.87 mm	2.225 mm

ตารางที่ 6.1. แสดงค่าการแอนตัวในแนวตั้งของสะพาน

## สรุป

1. จากการทดสอบแบบพลวัต (Dynamic Load Test) โดยการนำรถบรรทุก 10 ล้อ ขนาดบรรทุก 25 ตัน มาวิ่งบนสะพานที่ความเร็วต่างๆกัน พบว่า

- ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถบรรทุกที่มีผลต่อค่าความเร่งของพื้นสะพาน คือเมื่อความเร็วมากขึ้น ค่าความเร่งของพื้นสะพานก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย

- น้ำหนักบรรทุกเคลื่อนที่ของรถบรรทุกมีผลต่อค่าความเร่งของพื้นสะพาน โดยที่ ถ้าน้ำหนักบรรทุกมากกว่า ค่าความเร่งของพื้นสะพาน จะมีค่ามากกว่าน้ำหนักบรรทุกที่น้อยกว่า

2. จากการทดสอบแบบรับน้ำหนักบรรทุกจริง (Static Load Test) โดยการนำรถบรรทุก 10 ล้อ มาจอดที่ระยะต่างๆ พบว่า ค่าการแอ่นตัวในแนวตั้งของพื้นสะพานเมื่อรถบรรทุก 10 ล้อ มาจอดที่ระยะ L/2 จะมากกว่าเมื่อจอดที่ระยะ L/3 เสมอ ดังนี้

- คลองตาเป็นมีค่าการแอ่นตัวในแนวตั้ง เมื่อหยุดรถที่ระยะ L/2 มากกว่า เมื่อหยุดรถที่ระยะ L/3 เท่ากับ 12.076%

- คลองตาจุ่มมีค่าการแอ่นตัวในแนวตั้ง เมื่อหยุดรถที่ระยะ L/2 มากกว่า เมื่อหยุดรถที่ระยะ L/3 เท่ากับ 11.475%

- คลองบางระเนมมีค่าการแอ่นตัวในแนวตั้ง เมื่อหยุดรถที่ระยะ L/2 มากกว่า เมื่อหยุดรถที่ระยะ L/3 เท่ากับ 12.743%

3. จากการเปรียบเทียบค่าการแอ่นตัวในแนวตั้ง ระหว่าง การทดสอบด้วยวิธีน้ำหนักบรรทุกจริงกับการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรม Sap 2000 พบว่า ค่าที่ได้จากโปรแกรมจะมากกว่าความเป็นจริง

## บรรณานุกรม

- กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2552, มาตรฐานการออกแบบอาคารด้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว. มยผ. 1302. กรมโยธาธิการและผังเมือง
- รัฐภูมิ ภูมมา, 2552. การประเมินสภาพและกำลังรับน้ำหนักของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสื่อมสภาพ, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุพจน์ ศรีนิล, สมเกียรติชัยพฤกษ์, และแหลมทอง เหล่าคงถาวร, 2549. คู่มือการพิมพ์และการเขียนปริญญาบัตร. 100 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- บริษัทอิตาเลียนไทย ดีเวลอปเม้นท์ จำกัด (มหาชน)





รถบรรทุกที่ใช้ในการทดสอบ น้ำหนัก 25 ตัน ตามมาตรฐานรถบรรทุกไทย



กำหนดระยะที่จะนำรถบรรทุกมาจอด



การทดสอบแบบสถิตย์โดยใช้รถบรรทุกวิ่งคู่กันขึ้นมาจอดตามตำแหน่ง



เซนเซอร์ที่ติดตั้งอยู่ใต้สะพาน

The seal of Rajabhat Buriram University is a circular emblem. It features a central five-tiered stupa with a sunburst above it. The stupa is flanked by two smaller three-tiered stupas. The entire emblem is surrounded by a decorative border with Thai script. The text in the seal includes "มหาวิทยาลัยราชภัฏบรือรัมย์" (Mahavithayalai Rajabhat Buriram) and "เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง" (Technology of King Chulalongkornrajavidyalaya University).

**ภาคผนวก ข**

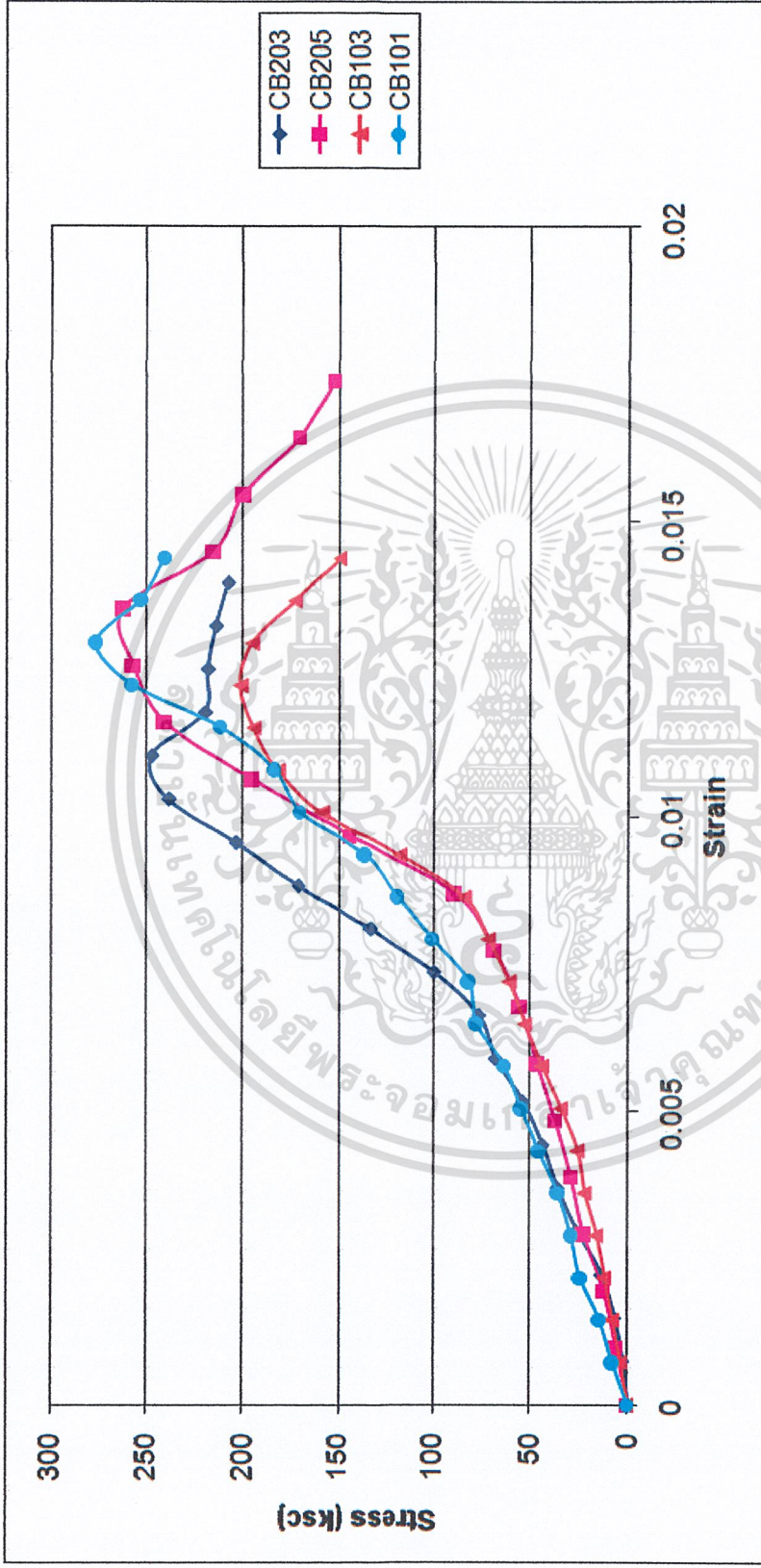
**ผลการทดสอบหากล้างอัดประลัยคอนกรีตโดยการกดแท่ง**

**คอนกรีตตัวอย่าง**

BRIDGE NAME		BRIDGE NUMBER		CODE		TESTED BY	
คลองตาเย็น ถ.เทศบาล		สป.4849		G225-BG		Mr.Sombat Natesawang	

Spec. No.	Element	Cross Section (cm <sup>2</sup> )	Height (cm)	Weight (kg)	Diameter (cm)	Date of Test (d/m/y)	Ultimate Load (kgf)	Compressive Strength		Weight per Volume
								Original Size Sample (ksc)	Equivalent Standard Cylindrical Sample (ksc)	
1	CB203	37.94	13.61	1.196	6.950	19/1/10	10,033	264.46	247.12	2,316.40
2	CB205	37.94	10.35	0.916	6.950	19/1/10	11,060	291.55	262.05	2,332.90
3	CB103	37.94	13.92	1.221	6.950	19/1/10	8,131	214.33	200.99	2,312.16
4	CB101	37.94	13.90	1.207	6.950	19/1/10	11,188	294.90	276.49	2,288.93

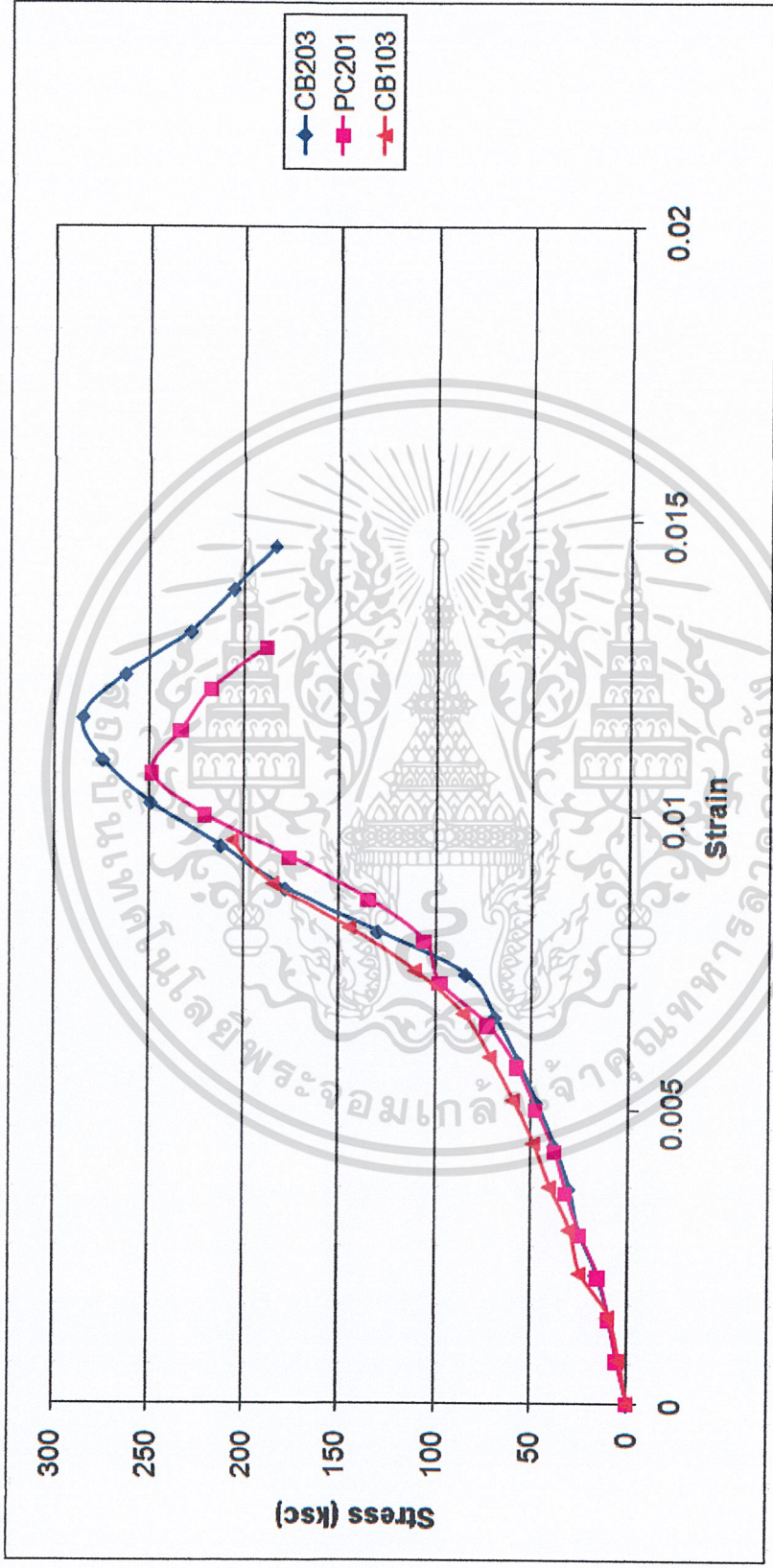
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Stress และ Strain ของแท่งคอนกรีตตัวอย่างของสะพานข้ามคลองตาเป็น



BRIDGE NAME	BRIDGE NUMBER	CODE	TESTED BY
คลองตำเสา อ.เมืองภูเก็ต	ศพ.4850	G224-PG	Mr.Sombat Natesawang

Spec. No.	Element	Cross Section (cm <sup>2</sup> )	Height (cm)	Weight (kg)	Diameter (cm)	Date of Test (d/m/y)	Ultimate Load (kgf)	Compressive Strength		Weight per Volume
								Original Size (ksc)	Equivalent Standard Cylindrical Sample (ksc)	
1	CB203	37.94	13.72	1.255	6.950	19/1/10	11,549	304.43	284.83	2,411.18
2	PC201	37.88	14.00	1.258	6.945	19/1/10	10,029	264.75	248.52	2,372.02
3	CB103	37.94	13.58	1.214	6.950	22/1/10	8,374	220.74	206.19	2,356.46

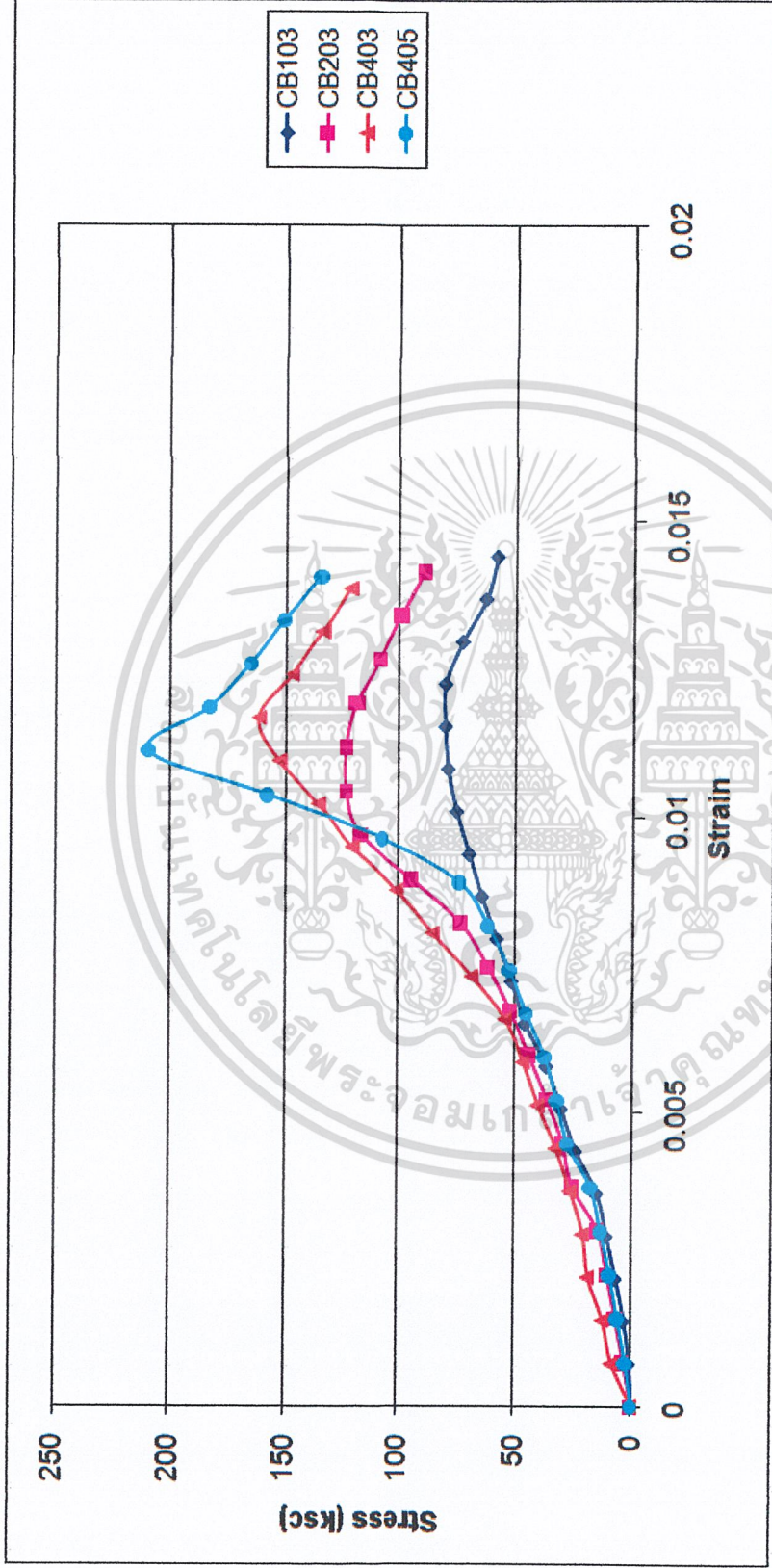
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Stress และ Strain ของสะพานข้ามคลองตาฉ่ำ



BRIDGE NAME		BRIDGE NUMBER		CODE		TESTED BY	
คลองบางระจัน อ.พุดซา		ศพ.4848		G227-PG		Mr.Sombat Natesawang	

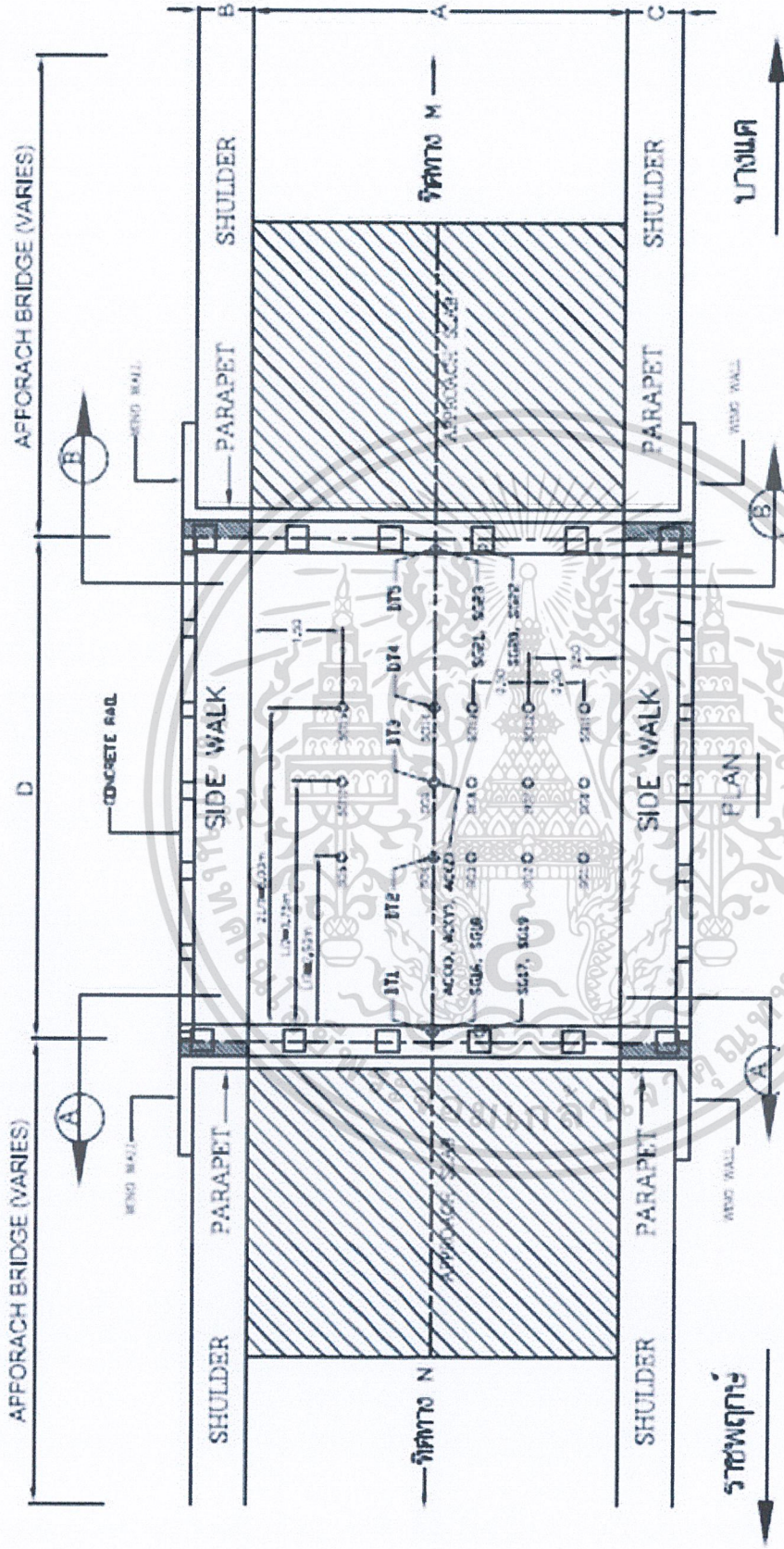
Spec. No.	Element	Cross Section (cm <sup>2</sup> )	Height (cm)	Weight (kg)	Diameter (cm)	Date of Test (d/m/y)	Ultimate Load (kgf)	Compressive Strength		Weight per Volume
								Original Size (ksc)	Equivalent Standard Cylindrical Sample (ksc)	
1	CB103	37.83	13.89	1.090	6.940	18/1/10	3,249	85.88	80.52	2,074.51
2	CB203	37.83	13.42	1.145	6.940	18/1/10	5,011	132.47	123.53	2,255.51
3	CB403	37.83	13.71	1.191	6.940	18/1/10	6,551	173.17	162.02	2,296.50
4	CB405	37.88	13.51	1.193	6.945	18/1/10	8,506	224.53	209.58	2,331.05

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Stress และ Strain ของแท่งคอนกรีตตัวอย่างของสะพานข้ามคลองบางพระระแนะ





แบบสะพานคลองตาเป็น



ทางเดิน

ทางน้ำ



แบบสะพานคดองบางระมะณะ

