



## รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การออกแบบและพัฒนาระบบการวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์  
Design and Development of Motor Vibration Measurement System

นางสาวสุภาวดี คงแคล้ว

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องวัดและควบคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560



## รายงานสหกิจฉบับสมบูรณ์

การออกแบบและพัฒนาระบบการวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์  
Design and Development of Motor Vibration Measurement System

นางสาวสุภาวดี คงแคล้ว

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา การออกแบบและพัฒนาระบบการวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นางสาวสุภาวดี คงแคล้ว

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

ภาควิชา วิศวกรรมการวัดและควบคุม

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ รศ.ดร. เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นายนพดล อัครจาคะ

สถานประกอบการ บริษัททรานซิชันส์ อ็อพติกัล (ประเทศไทย) จำกัด

## บทคัดย่อ

รายงานสหกิจศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์และพัฒนาระบบการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์เพื่อให้ง่ายต่อการวางแผนซ่อมบำรุง วิธีการดำเนินงานจะใช้ Velocity Transducers วัดค่าการสั่นจากมอเตอร์และส่งสัญญาณผ่านไปยัง NI USB 6211 เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางโปรแกรมแลบวิวเพื่อใช้แสดงผล โดยโปรแกรมแลบวิวสามารถแสดงค่าการสั่นสะเทือนแบบเรียลไทม์พร้อมกับแจ้งเตือนด้วยสีตามระดับความรุนแรงของการสั่นสะเทือนโดยการเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ISO 10816-1 ค่าการสั่นสะเทือนที่ถูกบันทึกโดยโปรแกรมแลบวิวสามารถนำไปวิเคราะห์แบบอัตโนมัติในโปรแกรม Microsoft Excel เป็นการลดเวลาและขั้นตอนในการวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์จากระบบการวัดแบบเดิมที่ใช้พนักงานรวบรวมข้อมูลการวัด

ผลการดำเนินงานพบว่าระบบเครื่องมือวัดค่าการสั่นสะเทือนที่ออกแบบและสร้างขึ้นจากงานวิจัยสามารถวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์และแสดงระดับความรุนแรงในการสั่นได้ เมื่อนำค่าการสั่นสะเทือนที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับมิเตอร์วัดการสั่นสะเทือนยี่ห้อ EXTECH INSTRUMENTS พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนในแนวแกนตั้งมากที่สุด 2.5 เปอร์เซ็นต์ ในแนวแกนนอน 7.5 เปอร์เซ็นต์ และใช้เวลาในการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลเร็วกว่าระบบเดิมที่ใช้พนักงานวัดรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลถึง 5.7 นาที

**Cooperative Title:** Design and Development on Motor Vibration Measurement System  
**Student Intern Name:** Suphawadee Kongklaew  
**Faculty:** Engineering                      **Department:** Instrumentation and Control Engineering  
**Advisor Name:** Assoc. Prof. Dr. Kaset Sirisantisamrid  
**Mentor Name:** Noppanol Arkkarajaka  
**Company:** Transition Optical (Thailand) Co., Ltd.

## ABSTRACT

This cooperative educational report has aim to design and develop a motor vibration measurement system to make it easy for maintenance planning. The procedure starts from velocity transducers measure the motor vibration and send the signal to NI USB 6211 that communicated with computer through LABVIEW program for display the results. LABVIEW can show the motor vibration values in real time and warning the user by colors follows to strength of vibration by comparing them with standard ISO 10816-1. The vibration values recorded by LABVIEW can automatically analyze in Microsoft Excel. It reduces time consumption and procedures for old motor vibration measurement system that use an operator to measure vibration and collect the data.

The results show that the designed and developed vibration measurement device can measure the motor vibration and indicate the strength of motor vibration. When compare the measured vibration values of designed device with the vibration values of vibration meter band EXTECH INSTRUMENTS, found that the designed device has 2.5% and 7.5% error in vertical and horizontal respectively, but the collection and analysis time of designed device is less than old system of 5.7 min.

## กิตติกรรมประกาศ

รายงานสหกิจศึกษาฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี บุคคลแรกข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รศ. ดร. เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์ อาจารย์นิเทศ ที่ให้ความกรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ซึ่งแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นตลอดในการทำวิจัย รวมทั้งอาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่านที่ให้การศึกษาคความรูู้ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถนำความรู้ที่ได้เล่าเรียนมาใช้ทำการวิจัยจนสำเร็จ

ขอกราบขอบพระคุณ คุณสมชัย โจน์วณิชยากุล ผู้จัดการแผนกซ่อมบำรุงที่ให้โอกาสและทุนในการทำวิจัยนี้และคุณนพดล อัครระจาอะ วิศวกรแผนกซ่อมบำรุง ซึ่งเป็นผู้นิเทศงาน ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้คำปรึกษา ให้ข้อมูลด้านต่างๆในการทำวิจัย อีกทั้งยังให้การดูแลตลอดระยะเวลาการทำกรวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณบริษัททรานซิชั่นส์ อีอพิคัล (ประเทศไทย) จำกัด และบุคคลากรในบริษัททุกท่านที่ให้การสนับสนุนให้ข้อมูล เอื้อเฟื้อสถานที่ทำการวิจัยและอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ใช้ทำการวิจัยครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้การอบรมเลี้ยงดู ส่งเสริมด้านการศึกษาตลอดทั้งทุนทรัพย์ด้านต่างๆรวมทั้งพี่-น้องและเพื่อนๆที่ให้กำลังใจและให้การช่วยเหลือตลอดมา

สุดท้ายนี้คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากรายงานฉบับนี้ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่านด้วยความเคารพอย่างยิ่ง

สุภาวดี คงแคล้ว

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง .....	VI
สารบัญรูปภาพ .....	VII
บทที่ 1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ .....	3
1.3 ขอบเขตของโครงการ .....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีการสั่นสะเทือนและหลักการทำงานของระบบวัด .....	4
2.1 การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ตามสภาพ (Predictive Maintenance).....	4
2.1.1 หลักการบำรุงรักษาแบบพยากรณ์ตามสภาพ .....	4
2.1.2 เทคนิคในการบำรุงรักษาแบบพยากรณ์ตามสภาพ .....	5
2.2 ทฤษฎีของการสั่นสะเทือน.....	6
2.3 ทฤษฎีการเคลื่อนที่ของการสั่นสะเทือน .....	6
2.3.1 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก (Harmonic Motion).....	7
2.3.2 การเคลื่อนที่แบบไม่เป็นฮาร์มอนิก (Non-harmonic Motion).....	9
2.4 พลศาสตร์ของเครื่องจักร .....	10
2.4.1 มวล .....	10
2.4.2 ความมั่นคงแข็งแรง (Stiffness).....	10
2.4.3 ความหน่วง (Damping).....	11
2.5 ชนิดของการสั่นสะเทือน.....	11
2.5.1 การสั่นแบบอิสระโดยไม่มี ความหน่วง .....	11
2.5.2 การสั่นแบบอิสระโดยมี ความหน่วง .....	12
2.5.3 การสั่นแบบมีแรงกระทำโดยไม่มี ความหน่วง.....	13
2.5.4 การสั่นแบบมีแรงกระทำโดยมี ความหน่วง.....	14
2.6 มาตรฐานการสั่นสะเทือน .....	16
2.7 อุปกรณ์การวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือน .....	18

2.7.1	ทรานสดิวเซอร์วัดการสั่นสะเทือน (Vibration Transducer)	18
2.7.2	การ์ดเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ (Data Acquisition)	22
2.7.3	ซอฟต์แวร์ LabView	33
<b>บทที่ 3</b>	<b>ระบบวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์</b>	<b>38</b>
3.1	หลักการและแนวคิด	38
3.2	หลักการทำงานของระบบวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์	38
3.3	รายละเอียดในการออกแบบระบบวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์	39
3.3.1	การออกแบบฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในระบบการวัด	40
3.3.2	การออกแบบซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวัด	42
3.3.3	การออกแบบซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการรวบรวมวิเคราะห์ข้อมูล	54
3.4	เปรียบเทียบขั้นตอนการปฏิบัติการระบบวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์	57
3.4.1	ระบบวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์แบบเดิม	57
3.4.2	ระบบวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ที่ได้จากงานวิจัย	60
<b>บทที่ 4</b>	<b>วิธีดำเนินการวิจัยและวิเคราะห์ผลการวิจัย</b>	<b>65</b>
4.1	วิธีดำเนินการวิจัย	65
4.1.1	การทดลองที่ 1	65
4.1.2	การทดลองที่ 2	66
4.2	ผลการทดลอง	66
<b>บทที่ 5</b>	<b>สรุปผลการวิจัย</b>	<b>79</b>
5.1	สรุปผลการวิจัย	79
5.2	ข้อเสนอแนะ	80
	เอกสารอ้างอิง	81
	ภาคผนวก	83

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ฟังก์ชันโปรแกรมแลปวิวที่ใช้ในส่วนตั้งค่าการสื่อสารกับ Vibration Transducer ผ่านบอร์ด DAQ.....	44
3.2 ฟังก์ชันโปรแกรมแลปวิวที่ใช้ในส่วนการรับสัญญาณอินพุตและ Scaling.....	46
3.3 ฟังก์ชันโปรแกรมแลปวิวที่ใช้ในส่วนการแสดงค่าและกราฟการสั่นสะเทือนของมอเตอร์.....	49
3.4 ฟังก์ชันโปรแกรมแลปวิวที่ใช้ในส่วนการบันทึกข้อมูล.....	51
4.1 ค่าการสั่นสะเทือนที่วัดได้จากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น.....	66
4.2 ค่าการสั่นสะเทือนที่วัดได้จากมิเตอร์ที่ได้มาตรฐาน.....	70
4.3 ระยะเวลาในการปฏิบัติการวัดค่าการสั่นสะเทือนและการวิเคราะห์ .....	77

## สารบัญรูปลูกภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนการเคลื่อนที่ของวัตถุของ บริษัททรานซิชันส์ อีออปติกัล (ประเทศไทย) จำกัด.....	1
2.1 การเคลื่อนที่แบบคาบเวลา (Periodic Motion).....	7
2.2 รูปแบบการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย (Simple Harmonic Motion).....	7
2.3 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก 2 ค่าโดยที่ค่าเฟสระหว่างกัน.....	9
2.4 การเคลื่อนที่แบบไม่เป็นฮาร์มอนิก (Non-harmonic Motion).....	9
2.5 Undamped Spring-Mass System.....	11
2.6 Damped Spring-Mass System.....	12
2.7 Damped Forced Vibration System.....	14
2.8 มาตรฐานการสั่นสะเทือน ISO 10816.....	17
2.9 ส่วนประกอบสำหรับการวัดและวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน.....	18
2.10 ส่วนประกอบของระบบทรานสดิวเซอร์วัดการสั่นสะเทือนแบบระยะทาง.....	19
2.11 ทรานสดิวเซอร์การสั่นสะเทือนแบบความเร็วที่ใช้หลักการขดลวดเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็ก.....	20
2.12 VTV122 Data Sheet.....	20
2.13 หัววัดการสั่นสะเทือน (ซ้าย) และภาพตัดของหัววัด (ขวา).....	22
2.14 ขั้วต่อสัญญาณด้าน Digital.....	23
2.15 ขั้วต่อสัญญาณด้าน Analog.....	23
2.16 ส่วนประกอบของ NI 6211.....	24
2.17 NI USB 6211 Data Sheet.....	24
2.18 Sampling.....	29
2.19 Sampling Rate 10 Hz – 25 Hz.....	30
2.20 กราฟสัญญาณโดยใช้ ADC 3 บิต.....	30
2.21 กราฟสัญญาณโดยใช้ ADC 6 บิต.....	31
2.22 กราฟสัญญาณ.....	31
2.23 วิธีการต่อสายเข้ากับอุปกรณ์ DAQ แบบ Differential.....	32
2.24 วิธีการต่อสายเข้ากับอุปกรณ์ DAQ แบบ Referenced Single Ended.....	32
2.25 วิธีการต่อสายเข้ากับอุปกรณ์ DAQ แบบ On- Referenced Single- Ended.....	33
2.26 หน้าจอ Front Panel ในโปรแกรม LabView.....	34
2.27 หน้าจอ Block Diagram ในโปรแกรม LabView.....	35
2.28 หน้าจอ Icon และ Connector ในโปรแกรม LabView.....	35

2.29	คือข้อมูลประเภทตัวเลข Numeric .....	36
2.30	คือข้อมูลประเภท Boolean .....	37
3.1	หลักการการทำงานของระบบวัดความสั่นสะเทือนของมอเตอร์ .....	39
3.2	ส่วนประกอบฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในระบบการวัด.....	40
3.3	Selector Switch ด้านข้างกล่องคอนโทรลแสดงสถานะ OFF.....	40
3.4	Vibration Transducer.....	41
3.5	ลักษณะการต่อสายสัญญาณ Vibration Transducer.....	41
3.6	บล็อกไดอะแกรมระบบวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์โดยใช้โปรแกรมแลปวิว.....	42
3.7	บล็อกไดอะแกรมระบบวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในส่วนที่ใช้ตั้งค่าบอร์ด DAQ เพื่อให้สื่อสารกับ Vibration Transducer .....	43
3.8	บล็อกไดอะแกรมระบบวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในส่วนการรับสัญญาณอินพุตและ Scaling .....	45
3.9	บล็อกไดอะแกรมระบบวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในส่วนการแสดงค่าและกราฟการสั่นสะเทือนของมอเตอร์(กรณีเป็นจริง).....	47
3.10	บล็อกไดอะแกรมระบบวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในส่วนการแสดงค่าและกราฟการสั่นสะเทือนของมอเตอร์(กรณีเป็นเท็จ) .....	48
3.11	บล็อกไดอะแกรมระบบวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในส่วนการเทียบมาตรฐาน ISO 10816-1 .....	49
3.12	บล็อกไดอะแกรมระบบวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในส่วนการบันทึกข้อมูล .....	50
3.13	หน้าจอ Front Panel เครื่องวัดค่าการสั่นสะเทือนแสดงค่า Vibration Value .....	52
3.14	หน้าจอ Front Panel เครื่องวัดค่าการสั่นสะเทือนแสดงค่า Motor Status.....	52
3.15	หน้าจอ Front Panel เครื่องวัดค่าการสั่นสะเทือนแสดงค่า Vibration Charts และ Vibration Average.....	53
3.16	โปรแกรม Microsoft Excel ซีทที่ 1 ที่นำค่าการสั่นสะเทือนที่บันทึกจากโปรแกรมแลปวิวมาใช้ ...	54
3.17	โปรแกรม Microsoft Excel ซีทที่ 2 แสดงค่าการสั่นสะเทือนแต่ละแนวแกนและบอกระดับความรุนแรงในการสั่นสะเทือน .....	55
3.18	โปรแกรม Microsoft Excel ซีทที่ 3 กราฟแสดงการสั่นสะเทือน Vibration Transduce แต่ละโพรบและกราฟแสดงค่าเฉลี่ยการสั่นสะเทือน Vibration Transduce ทุกโพรบ.....	56
3.19	โปรแกรม Microsoft Excel ซีทที่ 4 แสดงแนวโน้มค่าการสั่นสะเทือนของการวัดทุกครั้ง .....	56
3.20	มิเตอร์วัดการสั่นสะเทือนยี่ห้อ Extech Instrument.....	57
3.21	ตรวจสอบความเรียบร้อยของมิเตอร์ก่อนใช้งาน.....	58
3.22	ตำแหน่งการติดตั้ง Vibration Transducers ให้ลักษณะตั้งฉากกัน .....	58
3.23	หน้าจอมิเตอร์แสดงผลค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ .....	59

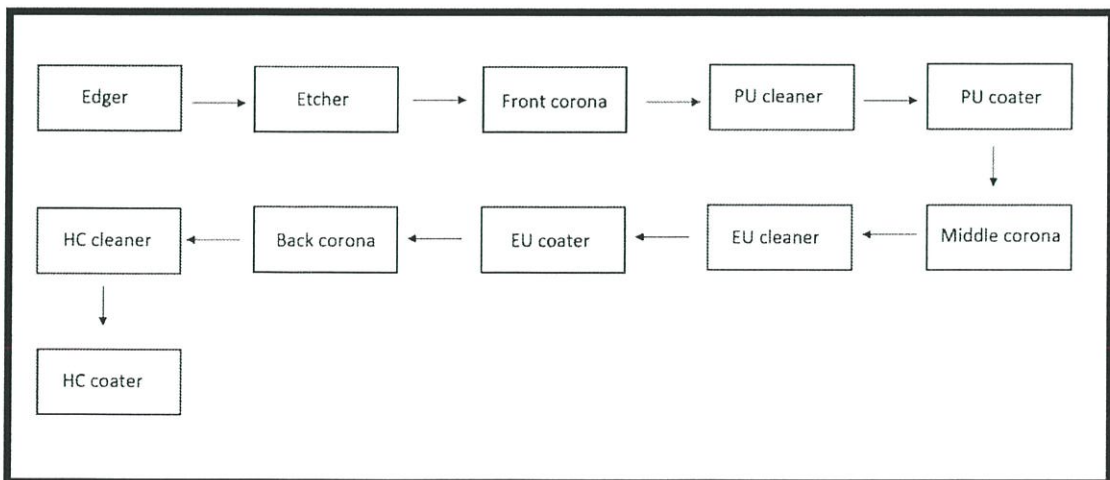
3.24	พนักงานปฏิบัติการรวบรวมข้อมูลค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์.....	59
3.25	การนำเสนอค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ที่พนักงานจัดทำขึ้น.....	60
3.26	ระบบวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์โดยแสดงผลผ่านโปรแกรมแลปวิว.....	61
3.27	ตรวจสอบความเรียบร้อยของโปรแกรมแลปวิวที่ก่อนใช้งาน.....	61
3.28	ตำแหน่งการติดตั้ง Vibration Transducers ให้ลักษณะตั้งฉากกัน.....	62
3.29	ตำแหน่งการติดตั้ง Vibration Transducers ให้ลักษณะตั้งฉากกัน.....	62
3.30	ค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์แต่ละแนวแกนที่ถูกบันทึกโดยโปรแกรมแลปวิว.....	63
3.31	ข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม Microsoft Excel ที่ออกแบบไว้.....	63
4.1	หน้าจอโปรแกรมแลปวิวแสดงผลการวัดในกรณีค่าการสั่นสะเทือนอยู่ในระดับมีการสั่นมาก.....	73
4.2	หน้าจอโปรแกรมแลปวิวแสดงผลการวัดในกรณีค่าการสั่นสะเทือนอยู่ในระดับมีการสั่นที่ดี.....	74
4.3	หน้าจอโปรแกรมแลปวิวแสดงผลการวัดในกรณีค่าการสั่นสะเทือนอยู่ในระดับมีการสั่นปานกลาง....	75
4.4	หน้าจอโปรแกรมแลปวิวแสดงผลการวัดในกรณีค่าการสั่นสะเทือนอยู่ในระดับมีการสั่นที่รุนแรง.....	76
4.5	กราฟ Vibration Trend ในโปรแกรม Microsoft Excel ที่ใช้บันทึกค่าการสั่นสะเทือน.....	78

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

บริษัททรานซิชั่นส์ อ็อพติคัล (ประเทศไทย) จำกัด ดำเนินธุรกิจเคลือบผิวเลนส์ด้วยเทคโนโลยีโฟโตโครมิก ทำให้เลนส์มีคุณสมบัติพิเศษเมื่อสัมผัสกับแสงยูวี โมเลกุลโฟโตโครมิกหลายๆล้านโมเลกุลในเลนส์จะเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทำให้เลนส์มีสีเข้มขึ้นตามปริมาณแสงที่ตกกระทบกับเลนส์ บริษัททรานซิชั่นส์ อ็อพติคัล มีฐานการผลิต 5 แห่งทั่วโลก โดยฐานการผลิตใหญ่ตั้งอยู่ในประเทศสหรัฐอเมริกา (รัฐฟลอริดา) และได้ขยายฐานการผลิตไปยังประเทศไอร์แลนด์ (เมืองทวม) ฟิลิปปินส์ (เมืองลากูน่า) บราซิล (เมืองโซเซเร) และประเทศไทย (จังหวัดชลบุรี) กระบวนการเคลือบเลนส์เริ่มจากใส่เลนส์ที่รับจากลูกค้าเข้าไปในเครื่อง Edger ทำการตัดขอบเลนส์ให้มีขนาดตามที่คุณค่าต้องการ เมื่อทำการตัดขอบเลนส์เสร็จเรียบร้อย ลักษณะขอบเลนส์ที่ออกมาจากเครื่อง Edger จะยังมีลักษณะไม่เรียบเนียน สายพานการผลิตก็จะลำเลียงเลนส์เหล่านี้เข้าเครื่อง Etcher เพื่อทำการปรับขอบเลนส์ให้เรียบและลำเลียงต่อไปยังเครื่อง Front Corona เพื่อทำการเตรียมสภาพผิวหน้าของเลนส์ เพื่อให้หน้ายาที่จะทำการเคลือบติดกับหน้าเลนส์ดีขึ้น โดยใช้ไฟฟ้า 2000 W ให้ความร้อนกับหน้าเลนส์ ต่อไปเป็นขั้นตอนทำความสะอาดเลนส์ชำระฝุ่นผงที่ติดมากับเลนส์โดยเครื่อง PU Cleaner ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการเคลือบน้ำยา (PU Coater) โดยน้ำยาแรกที่ทำการเคลือบคือ PU มีคุณสมบัติทำให้น้ำยาที่จะเคลือบเลนส์ในขั้นต่อไปเคลือบติดกับเลนส์ไม่หลุดลอกออก จากนั้นเลนส์ถูกส่งต่อไปยังเครื่อง Middle Corona และ EU Cleaner เพื่อทำความสะอาดเลนส์ก่อนเคลือบด้วยน้ำยา EU เพื่อให้เลนส์มีคุณสมบัติเปลี่ยนเลนส์มีสีเข้มขึ้นตามปริมาณแสง ก่อนส่งต่อไปยังเครื่อง Back Corona และ HC Cleaner แล้วทำการเคลือบน้ำยา HC ในขั้นตอน HC Coater เพื่อป้องกันรอยขีดข่วนที่จะเกิดขึ้นกับเลนส์เป็นขั้นตอนสุดท้ายจึงสิ้นสุดกระบวนการเคลือบน้ำยา



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการเคลือบเลนส์ของบริษัททรานซิชั่นส์ อ็อพติคัล (ประเทศไทย) จำกัด

ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการเคลือบเลนส์ดังที่กล่าวมาข้างต้นประกอบด้วยมอเตอร์จำนวนมาก ที่ทำงานร่วมกัน หน่วยงานซ่อมบำรุงของบริษัทได้ใช้ระบบการซ่อมบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance) ในการตรวจสอบมอเตอร์ ทำให้ทราบว่ามอเตอร์มีสภาพการทำงานในขณะนั้นเป็นอย่างไร และสามารถคาดการณ์ได้ล่วงหน้าถึงสภาวะที่จะเกิดขึ้นกับมอเตอร์นั้นๆ ทำให้สามารถวางแผนการซ่อมบำรุงมอเตอร์ได้ ตัวอย่างเช่น ถ้าการตรวจสอบมอเตอร์พบว่าเกิดข้อบกพร่องขึ้นแต่ยังไม่สร้างความเสียหายต่อกระบวนการผลิต ก็จะสามารถใช้งานต่อไปได้โดยไม่ต้องซ่อมหรือเปลี่ยนทำให้สามารถใช้งานมอเตอร์ได้อย่างคุ้มค่า แต่ถ้าหากตรวจสอบแล้วพบอาการที่บ่งบอกถึงความเสื่อมสภาพของมอเตอร์ ก็ต้องวิเคราะห์หาสาเหตุของความผิดปกติที่เกิดขึ้นและวางแผนหยุดเครื่องจักร เพื่อการซ่อมบำรุงโดยให้มีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตน้อยที่สุด รวมทั้งสามารถจัดระบบการเตรียมอะไหล่ที่จะใช้ในการซ่อมบำรุงเพื่อลดระยะเวลาการหยุดเครื่องจักรและกระบวนการให้น้อยที่สุด เนื่องจากการหยุดของเครื่องจักรจะส่งผลกระทบต่อ การส่งมอบสินค้าให้แก่ลูกค้า ซึ่งเป็นการสูญเสียทั้งค่าใช้จ่ายและโอกาสในการหารายได้ให้แก่บริษัท

ในปัจจุบันทางบริษัทตรวจสอบมอเตอร์ได้ใช้เทคนิควัดค่าการสั่นสะเทือน ด้วยวิธีการวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์โดยใช้มิเตอร์ยี่ห้อ Extech Instrument การวัดทำได้โดยการติดตั้งโพรบวัดการสั่นสะเทือนที่ให้มาพร้อมกับมิเตอร์ในตำแหน่งแวนด์สมีแกนนอนและแวนด์สมีแกนตั้งของมอเตอร์ แล้วส่งค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในแต่ละแนวแกน แล้วจัดบันทึกค่าการสั่นสะเทือนเป็นเวลา 3 นาที เมื่อครบเวลาที่กำหนดก็จะนำข้อมูลที่วัดได้ไปสร้างตาราง แล้วหาค่าการสั่นสะเทือนมากที่สุดของแต่ละแนวแกน และคำนวณค่าเฉลี่ยของแต่ละแนวแกน เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร (ISO 10816-1) เพื่อนำไปวิเคราะห์สภาพของมอเตอร์ อย่างไรก็ตามทางบริษัทประสบกับปัญหาที่มอเตอร์ที่ใช้วัดการสั่นสะเทือนมีจำนวนไม่เพียงพอต่อจำนวนมอเตอร์ เนื่องจากมิเตอร์วัดการสั่นสะเทือนมีราคาแพง และระบบการวัดปัจจุบันของบริษัทใช้ยังพนักงานทำการวัดและรวบรวมข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ซึ่งต้องการเวลาในการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผล ไม่มีข้อมูลการวัดครั้งอื่นๆ ก่อนหน้าเพื่อใช้หาแนวโน้มการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ ทางบริษัทจึงมีนโยบายที่จะพัฒนาระบบการวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ เพื่อให้การซ่อมบำรุงมอเตอร์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

โครงการนี้ได้รับมอบหมายในการปฏิบัติงานสหกิจศึกษาเป็นการออกแบบเครื่องวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์โดยใช้โปรแกรมแลปวิวในการแสดงผลการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ ขอบเขตในการศึกษาจะใช้มอเตอร์ Air Knife Blower ที่อยู่ในขบวนการเตรียมสภาพผิวเลนส์ก่อนการเคลือบสาร ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่าโคโรน่า ซึ่งเป็นมอเตอร์ขนาด 7 kW และให้พัฒนาระบบการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ผลโดยใช้ Velocity Transmitter ที่มีโพรบ 2 ตัว เพื่อวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ทั้งในแวนด์สมีแกนนอนและแวนด์สมีแกนตั้ง และใช้โปรแกรมแลปวิวแสดงผลการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในแต่ละแนวแกนพร้อมทั้งบอกระดับความรุนแรงในการสั่นและสีในการแจ้งเตือนโดยเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ISO 10816-1 และสามารถนำข้อมูลการสั่นสะเทือนที่บันทึกไว้โดยโปรแกรมแลปวิว ไปวิเคราะห์แบบอัตโนมัติในโปรแกรม Microsoft Excel

ผลการดำเนินงานระบบวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์สามารถแสดงค่าการสั่นสะเทือนผ่านทางหน้าจอแลปวิว ระบบที่สร้างขึ้นมีสภาพที่แข็งแรงเมื่อนำไปทดสอบในไลน์การผลิตสามารถใช้แทนมิเตอร์วัดการสั่นสะเทือนที่มีราคาสูงถึงหลักแสนได้ นอกจากนี้โปรแกรมแลปวิวที่ได้ออกแบบยังสามารถแสดงผลการสั่นได้ในรูปของกราฟและแสดงสีตามระดับความรุนแรงของการสั่นสะเทือน สามารถนำข้อมูลที่วัดได้ในแต่ละครั้งมาแสดงเป็นกราฟแนวโน้มของการสั่นสะเทือน ด้วยวิธีการนี้ทำให้ลดขั้นตอนและลดเวลาในการวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์โดยแสดงผลการวัดผ่านโปรแกรมแลปวิว

1.2.2 เพื่อพัฒนาระบบวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ให้มีข้อมูลประวัติการวัดเพื่อช่วยในการวิเคราะห์และใช้เวลาในการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลน้อยที่สุด

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ศึกษาการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ที่มีกำลังไม่เกิน 15 kW

1.3.2 ศึกษามาตรฐาน ISO10816-1 เป็นมาตรฐานที่ใช้ประเมินระดับความรุนแรงในการสั่นสะเทือนของมอเตอร์

1.3.3 เขียนโปรแกรมวัดการสั่นสะเทือนและบันทึกข้อมูลการสั่นสะเทือนโดยโปรแกรมแลปวิวเวอร์ชัน 2015 และวิเคราะห์ข้อมูลการสั่นสะเทือนโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel

1.3.4 ใช้หัววัดการสั่นสะเทือนชนิดความเร็ว (Velocity Transmitter) ย่านการวัดความถี่ 10-1000 Hz

1.3.5 ใช้ NI DAQ CARD รุ่น NI 6211 USB รับแรงดันที่อยู่ในช่วง +/- 10 V ความละเอียด 16 Bits

1.3.6 เปรียบเทียบผลการทดลองกับใช้มิเตอร์วัดการสั่นสะเทือนที่ได้รับมาตรฐานผ่านการสอบเทียบยี่ห้อ Extech Instrument

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้เครื่องวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ที่ออกแบบหน้าจอแสดงผลจากโปรแกรมแลปวิว

1.4.2 สามารถบอกข้อดีในการเปรียบเทียบระหว่างระบบการวัดที่สร้างขึ้นกับระบบการวัดเดิมของบริษัททรานซิชันส์ อ็อพทิคัล (ประเทศไทย) จำกัดได้

1.4.3 สามารถนำข้อมูลค่าการสั่นสะเทือนไปวิเคราะห์วางแผนบำรุงรักษาแบบเชิงพยากรณ์ได้

1.4.4 สามารถใช้โปรแกรมแลปวิวในการประยุกต์เข้ากับระบบควบคุมในรูปแบบต่าง ๆ

1.4.3 สามารถนำความรู้ในการเขียนโปรแกรมแลปวิวไปใช้ในวิชาชีพวิศวกรรมได้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีการสั่นสะเทือนและหลักการทำงานของระบบวัด

ในบทนี้จะกล่าวถึงการจะทำการวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์นั้น จะต้องทำการศึกษาว่าการสั่นสะเทือนในมอเตอร์เกิดขึ้นจากสาเหตุใด การสั่นแต่ละแบบมีลักษณะอย่างไรและปัจจัยใดที่ทำให้การสั่นสะเทือนมีระดับที่ต่างกัน และศึกษาการทำงานของอุปกรณ์แต่ละอย่างที่น่ามาประกอบเป็นระบบในการวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ว่ามีหลักการทำงานอย่างไรบ้าง

#### 2.1 การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ตามสภาพ (Predictive Maintenance) [1]

เป็นการติดตามสภาพของเครื่องจักรตามช่วงเวลาที่กำหนด เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสภาพเครื่องจักร ทำให้ฝ่ายบำรุงรักษาสามารถทราบถึงต้นเหตุของการชำรุดและสามารถที่จะวางแผนในการซ่อมบำรุงรักษา เตรียมแรงงาน จัดซื้อชิ้นส่วนอะไหล่ล่วงหน้า สามารถวางแผนหยุดเครื่องเพื่อแก้ไขความผิดปกติที่ตรวจพบตามความจำเป็นโดยมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตน้อยที่สุด เพื่อให้กระบวนการผลิตดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง

##### 2.1.1 หลักการบำรุงรักษาแบบพยากรณ์ตามสภาพ

หลักการบำรุงรักษาเครื่องจักรแบบพยากรณ์ตามสภาพนั้น จะเป็นการคอยตรวจวัดสภาพของเครื่องจักรเป็นคาบเวลาอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งหลักการทำงานประกอบไปด้วย

##### 1. การตรวจสอบขั้นพื้นฐาน

เป็นการตรวจสอบที่ปฏิบัติกันมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยจะทำการตรวจสอบโดยอาศัยประสบการณ์ของแต่ละบุคคล โดยการใช้ประสาทสัมผัสของผู้ตรวจสอบเป็นเครื่องมือช่วย เช่น การสังเกตด้วยตา หูตรวจฟังเสียงและอาจใช้มือสัมผัส เพื่อตรวจสอบสภาพของเครื่องจักรขณะนั้นว่ายังอยู่ในสภาพปกติหรือไม่ ซึ่งการตรวจสอบลักษณะนี้จะไม่ตรวจสอบได้ถูกต้องเสมอไป เนื่องจากประสบการณ์ในการทำงานของบางบุคคลไม่มีความชำนาญมากพอที่จะทำการตรวจสอบและตัดสินใจว่า สภาพเครื่องจักรนั้นมีความผิดปกติรุนแรงเท่าใด ในการตรวจสอบลักษณะนี้จะรู้สภาพเครื่องจักรได้ก็ต่อเมื่อสภาพเครื่องจักรนั้นเข้าสู่สภาวะสุดท้ายของช่วงอายุการใช้งานแล้ว ทำให้กลับไปเป็นการบำรุงรักษาแบบซ่อมเมื่อเสีย (Breakdown Maintenance)

##### 2. การตรวจสอบสภาพเครื่องจักร

เป็นการตรวจสอบสภาพโดยการนำเครื่องมือสำหรับตรวจสอบโดยตรงมาช่วยในการวัดค่า เช่น เครื่องมือวัดอุณหภูมิ เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือน เครื่องมือวัดการสึกหรอ ซึ่งจะสามารถตรวจประเมินสภาพของเครื่องจักรนั้นได้

##### 3. การตรวจดูแนวโน้มสภาพเครื่องจักร

การตรวจเฝ้าดูแนวโน้มสภาพของเครื่องจักร (Trend Monitoring) สามารถตรวจเฝ้าดูได้หลายวิธี

ด้วยกัน เช่น การเฝ้าดูแนวโน้มของค่าการสั่นสะเทือนในเครื่องจักรหมุน ในการเฝ้าดูแนวโน้มของสภาพเครื่องจักรนี้จะต้องตั้งค่าระดับการเตือนภัยไว้ เมื่อมีความรุนแรงถึงระดับเตือนระวังแล้ว ผู้ดูแลเครื่องจักรจะต้องคอยระวังอย่างใกล้ชิดหรือเพิ่มความถี่ในการตรวจวัดสภาพของเครื่องจักรนั้น และควรวางแผนไว้ล่วงหน้าว่าจะเข้าดำเนินการซ่อมบำรุงตอนไหน ก่อนที่สภาพเครื่องจักรนั้นจะเข้าสู่ระดับอันตราย การตรวจเฝ้าดูแนวโน้มสภาพของเครื่องจักรจึงเป็นผลดีต่อระบบการผลิตของโรงงาน

## 2.1.2 เทคนิคในการบำรุงรักษาแบบพยากรณ์ตามสภาพ

การบำรุงรักษาแบบพยากรณ์ตามสภาพมีรูปแบบและวิธีการต่างๆกันหลายแบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าเราต้องการใช้การบำรุงรักษากับงานอะไร เช่น ประเภทเครื่องจักร ท่อทาง หรือกับโครงสร้าง เป็นต้น ซึ่งบางประเภทนั้นยังอาจจะใช้วิธีการหลายๆแบบร่วมกัน เพื่อความเชื่อมั่นและประมวลผลที่แม่นยำยิ่งขึ้น และส่งผลให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น เทคนิคในการบำรุงรักษาแบบพยากรณ์ตามสภาพที่นิยมใช้กันแพร่หลายประกอบด้วย

### 1. การตรวจสอบความร้อน (Thermal Monitoring)

โดยทั่วไปแล้วขณะที่เครื่องจักรกำลังทำงานอยู่ในสภาวะปกติ ต้องมีความร้อนเกิดขึ้นในระดับหนึ่งเรียกว่าอุณหภูมิทำงานปกติของเครื่องจักร แต่เมื่ออุณหภูมิเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมนั้นก็หมายความว่าเกิดความผิดปกติบางอย่างขึ้นกับเครื่องจักรนั้น และจุดที่นิยมทำการตรวจวัดความร้อนของเครื่องจักรกลหมุนคือตัวแบริง (Bearing Housing) หรือตำแหน่งที่มีการเสียดสีหรือตรวจวัดอุณหภูมิของสารหล่อลื่นภายในเครื่องจักร เช่น กล่องเกียร์ (Gearbox) การตรวจสอบสภาพของฉนวนกันความร้อนต่างๆ เป็นต้น

### 2. การวิเคราะห์น้ำมัน (Oil Analysis)

เป็นการนำตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเพื่อทำการตรวจหาสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นกับเครื่องจักรกลนั้นๆ เช่น สภาพการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องจักร ในการตรวจสอบสารหล่อลื่นที่ใช้แล้วนั้นเพื่อทำการตรวจสอบความหนืด จุดวาบไฟ ปริมาณเศษโลหะ เช่น เหล็ก ตะกั่ว ทองแดง ที่ผสมในสารหล่อลื่นที่ใช้แล้ว เพราะเศษโลหะที่ผสมในสารหล่อลื่นที่ใช้แล้วสามารถบอกได้ถึงการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆว่าเป็นชิ้นส่วนใดของเครื่องจักรที่หลุดออกมา และตรวจสอบปริมาณเขม่าหรือสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ซึ่งจะบอกให้ทราบถึงสภาพของน้ำมันเครื่องเอง

### 3. การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน (Vibration Analysis)

การสั่นสะเทือนเกิดจากปัญหาของเครื่องจักรที่แสดงผลออกมาให้เห็นทางกลซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานและทำให้สมรรถนะการทำงานของเครื่องจักรลดลง เมื่อมีการสั่นสะเทือนเกิดขึ้นกับเครื่องจักรแสดงว่ามีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นกับเครื่องจักรนั้น ซึ่งจะต้องมีปัญหาวางใดอย่างหนึ่งเกิดขึ้นแล้ว เช่น การไม่สมดุลในมอเตอร์เนื่องจากการเสียหายของแบริง เป็นต้น

### 4. การทดสอบรอยรั่ว (Leak Test)

เป็นการตรวจหารอยรั่วบนชิ้นงานที่ไม่สามารถตรวจสอบได้ง่ายๆด้วยสายตา เช่น การรั่วของแก๊สจากถัง หรือการรั่วจากท่อใต้ดินโดยอาศัยวิธีการตรวจสอบด้วยอัลตราโซนิก

## 5. การวิเคราะห์การกัดกร่อน (Corrosion and Erosion Analysis)

เป็นการตรวจสอบการกัดกร่อนของชิ้นส่วนและท่อต่างๆ โดยนำชิ้นส่วนในขณะทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับชิ้นส่วนก่อนใช้งานที่ทำการประเมิน และทำการวิเคราะห์สาเหตุและหาแนวทางการป้องกันต่อไป

## 6. การวิเคราะห์การไหล (Flow Analysis)

การวิเคราะห์การไหลของของไหล เป็นการวัดอัตราการไหลที่มีอยู่ในระบบทั้งหมด เพื่อที่ประเมินสมรรถนะ (Performance) และข้อบกพร่องของทั้งระบบได้ เช่น การรั่วไหล การอุดตันของท่อต่างๆ เป็นต้น

## 7. การวิเคราะห์ความเค้น (Stress Analysis)

การวิเคราะห์ความเค้นทำได้โดยการใช้อุปกรณ์วัดความเค้น เช่น Strain Gauge ไปติดกับชิ้นส่วนที่รับแรงหรือชิ้นส่วนที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเพื่อวิเคราะห์สภาพของชิ้นส่วนนั้น และสามารถบอกถึงสภาพการเปลี่ยนแปลงของแรงที่กระทำต่อชิ้นส่วน และทราบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนนั้นได้

## 8. การวิเคราะห์เสียง (Sound Analysis)

เป็นการใช้เสียงตรวจวัดสิ่งผิดปกติในชิ้นส่วน เช่น การตรวจสอบรอยร้าวภายในชิ้นส่วน เป็นต้น

## 9. การทดสอบความร้อนด้วยกล้องอินฟราเรด (Thermal Infrared Testing)

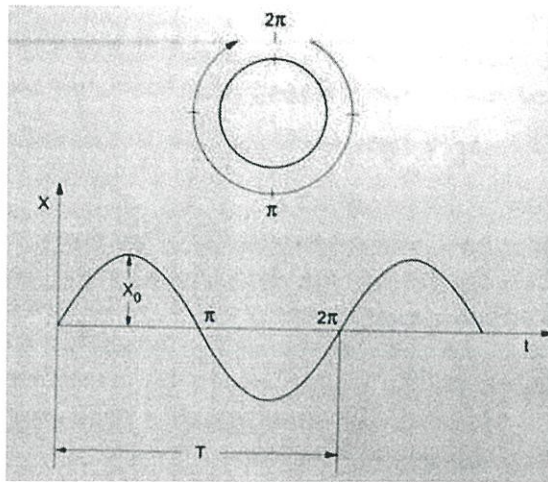
การตรวจวัดการแผ่รังสีความร้อนด้วยการถ่ายภาพรังสีอินฟราเรดเป็นการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของภาชนะหรือชิ้นส่วนต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบสภาพของเครื่องจักรว่ามีการเปลี่ยนแปลงมากน้อยจากปกติแค่ไหน โดยทั่วไปแล้วจะนิยมใช้กับอุปกรณ์ทางไฟฟ้า เช่น ระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูง หม้อแปลงไฟฟ้า เป็นต้น

### 2.2 ทฤษฎีของการสั่นสะเทือน [1]

การสั่นสะเทือน (Vibration) คือการเคลื่อนที่ของวัตถุรอบๆจุดสมดุลในช่วงเวลาหนึ่ง ไม่ว่าจะการเคลื่อนที่รอบจุดสมดุลนั้น จะเป็นแบบการเคลื่อนที่ที่กลับไปกลับมา หรือเป็นการเคลื่อนที่แกว่งไปมา (Oscillation) รอบจุดสมดุลก็ตาม ถ้าสามารถมองเห็นการเคลื่อนที่แบบสั้นในลักษณะที่ช้าลงมากๆจะพบรูปแบบของการเคลื่อนที่ในทิศทางที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับระยะห่างหรือความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุนั้นรอบตำแหน่งสมดุลหนึ่ง ซึ่งทำให้เห็นลักษณะรูปแบบเฉพาะของการเคลื่อนที่แบบสั้นได้

### 2.3 ทฤษฎีการเคลื่อนที่ของการสั่นสะเทือน [1]

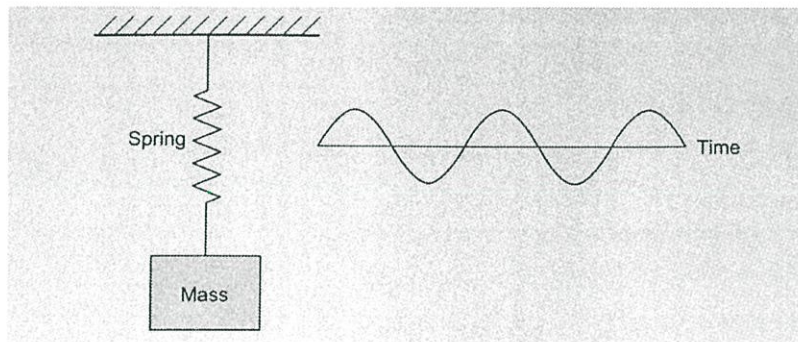
การสั่นสะเทือนมีการเคลื่อนที่ลักษณะแบบคาบเวลา (Periodic Motion) หรือมีการเคลื่อนที่แบบซ้ำๆในช่วงคาบเวลาหนึ่ง (T) หรือ 1 รอบ ( $2\pi$ ) โดยแกนตั้งแทนด้วยระยะขจัด (Displacement; x) และแกนนอนแทนด้วยเวลา (t) ซึ่งการเคลื่อนที่ดังกล่าวนี้แบ่งออกได้ 2 แบบคือ การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก (Harmonic Motion) และการเคลื่อนที่แบบไม่ฮาร์มอนิก (Non-harmonic Motion)



รูปที่ 2.1 การเคลื่อนที่แบบคาบเวลา (Periodic Motion)

### 2.3.1 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก (Harmonic Motion)

เป็นการเคลื่อนที่แบบคาบเวลาที่มีความซับซ้อนน้อยและง่ายต่อการทำความเข้าใจ เป็นการเคลื่อนที่ลักษณะไปกลับที่เหมือนกันทุกคาบเวลา ตัวอย่างเช่น การแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาที่มีการเคลื่อนที่ที่ซับซ้อนน้อยโดยมีคาบเวลาและความถี่คงที่ ตัวอย่างในรูปที่ 2.3 เป็นการแขวนของวัตถุมวล  $m$  ไว้กับสปริง เมื่อมีการดึงวัตถุมวล  $m$  ลงมาด้านล่างแล้วปล่อยก่อนวัตถุ มวล  $m$  ก็จะเคลื่อนที่ขึ้น-ลงเมื่อเรานำแผ่นฟิล์มที่สามารถบันทึกแสงได้ติดไว้กับก้อนวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงและ แผ่นฟิล์มวิ่งผ่านด้วยความเร็วคงที่ ลักษณะของแสงที่ปรากฏบนแผ่นฟิล์มจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 รูปแบบการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย (Simple Harmonic Motion)

การเคลื่อนที่ของการสั่นแบบฮาร์มอนิกสามารถแสดงในรูปของฟังก์ชันทางตรีโกณมิติ แทนความสัมพันธ์ระหว่างระยะขจัด (Displacement;  $x$ ) และเวลา ( $t$ ) ได้ดังนี้

$$x = X_0 \sin(\omega t) \quad (2.1)$$

เมื่อ  $X_0$  คือค่าระยะขจัดสูงสุดหรือค่าแอมพลิจูด (Amplitude)

$x$  คือค่าการขจัดที่เวลา  $t$  ใดๆ

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.2)$$

และ  $T$  คือคาบเวลามีหน่วยเป็นวินาทีต่อรอบ (Sec) หรือเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ 1 รอบ ซึ่งส่วนกลับของ  $T$  คือความถี่ ( $f$ ) มีหน่วยเป็นรอบต่อวินาที (Cycle per Second; cps) หรือเฮิรตซ์ (Hertz; Hz)

นอกจากนี้ยังสามารถวัดความถี่ของการสั่นได้อีกวิธีหนึ่งคือการวัดความถี่เชิงมุม (Circular Frequency;  $\omega$ ) ซึ่งมีหน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที (Radians per Second) จากรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบของการสั่น ( $\omega$ ) จะเกิดขึ้น เมื่อมีมุมรวมเท่ากับ 360 องศา ที่จุดดังกล่าวสามารถอธิบายได้ด้วยสมการนี้

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (2.3)$$

สำหรับเครื่องจักรแบบหมุนความถี่ส่วนใหญ่จะแสดงด้วยค่าการสั่นสะเทือนต่อนาที (Vibrations per Minute; vpm) หรือ

$$\text{vpm} = \frac{\omega}{\pi} \quad (2.4)$$

โดยความหมายแล้วความเร็วเป็นอนุพันธ์ลำดับที่ 1 ของระยะขจัดเทียบกับเวลา สำหรับการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกแล้ว สมการของระยะขจัดจะแสดงได้ดังสมการที่ (2.1) ซึ่งเมื่อหาอนุพันธ์ลำดับที่ 1 ของสมการนี้เทียบกับเวลาจะได้ผลดังนี้

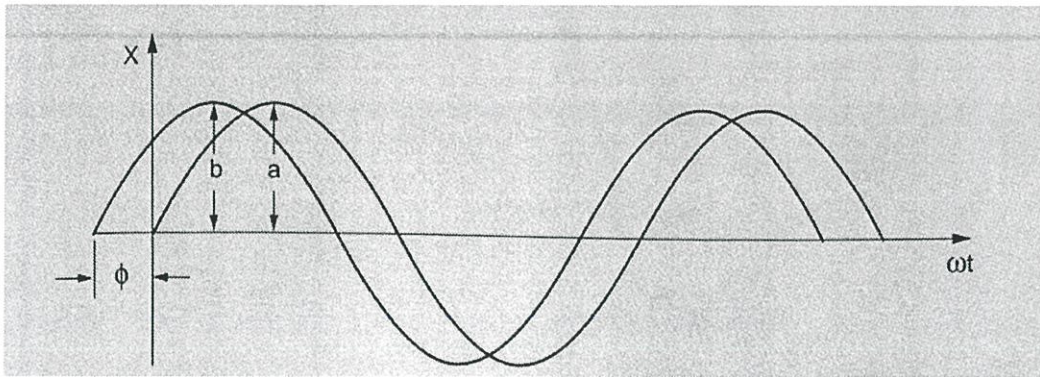
$$v = \frac{dX}{dt} = \dot{X} = \omega X_0 \cos(\omega t) \quad (2.5)$$

จากสมการที่ (2.5) จะพบว่าความเร็วมีความสัมพันธ์แบบฮาร์มอนิกด้วย ทั้งนี้ระยะขจัดต้องเป็นฮาร์มอนิกด้วย และมีค่าสูงสุดหรือแอมพลิจูดเท่ากับ  $\omega X_0$  ในทำนองเดียวกันความเร่งเป็นอนุพันธ์ลำดับที่ 2 ของระยะขจัดเมื่อเทียบกับเวลาแสดงได้ดังนี้

$$a = \frac{d^2X}{dt^2} = \ddot{X} = -\omega^2 X_0 \sin(\omega t) \quad (2.6)$$

สมการที่ (2.6) ความเร่งมีลักษณะเป็นฮาร์มอนิกเช่นกันโดยมีค่าระยะขจัดสูงสุดหรือแอมพลิจูดเท่ากับ  $\omega^2 X_0$

หากพิจารณาความถี่ 2 ค่าโดยให้มีสมการของความถี่ค่าแรกเป็น  $X_1 = a \sin(\omega t)$  และสมการความถี่ค่าที่ 2 เป็น  $X_2 = b \sin(\omega t + \phi)$  ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งแกนนอนจะแทนด้วยค่า  $\omega t$  และค่า  $\phi$  ในสมการของ  $X_2$  คือค่ามุมเฟสที่แตกต่างกันของการสั่นทั้งสองค่านี้ และด้วยค่ามุมเฟสนี้เองทำให้การสั่นทั้งสองค่าดังแสดงในรูปที่ 2.4 ไม่สามารถมีค่าแอมพลิจูดที่เวลาเดียวกันได้ โดยที่การสั่นค่าหนึ่งจะอยู่ห่างจากการสั่นอีกค่าหนึ่งเท่ากับ  $\phi/\omega$  วินาที ทั้งนี้การสั่นทั้งสองค่านี้ต้องมีค่าความถี่เท่ากัน ( $\omega$ ) ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่ามุมเฟสมีความหมายเพียงกรณีของการสั่นสองค่าที่มีความถี่เดียวกันเท่านั้น



รูปที่ 2.3 การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก 2 ค่าโดยที่ค่าเฟสระหว่างกัน

### 2.3.2 การเคลื่อนที่แบบไม่เป็นฮาร์มอนิก (Non-harmonic Motion)

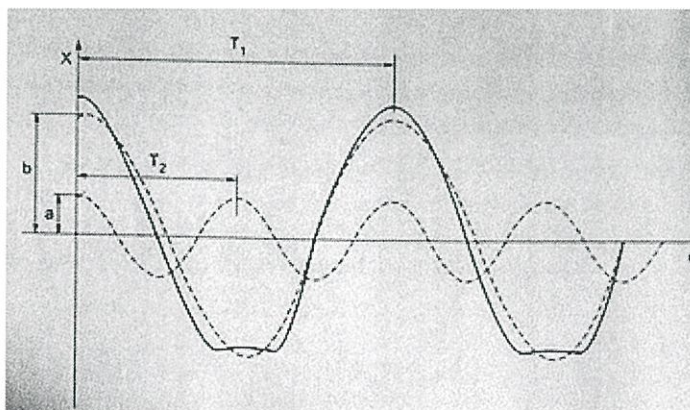
สำหรับเครื่องจักรอุปกรณ์ส่วนใหญ่ปกติแล้วจะมีแหล่งที่มาของการสั่นสะเทือนหลายแหล่ง ดังนั้นรูปแบบของการสั่นเมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างระยะจัดและเวลาส่วนใหญ่จึงมีลักษณะแบบที่ไม่เป็นฮาร์มอนิก ในขณะที่ทุกๆการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกจะมีลักษณะเป็นคาบเวลา แต่ไม่ใช่ทุกๆการเคลื่อนที่ที่มีลักษณะเป็นคาบเวลาจะเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกเสมอไป ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบไม่เป็นฮาร์มอนิกที่เกิดจากการรวมกันของการเคลื่อนที่ในลักษณะเป็นคลื่นไซน์ (Sine Wave) สองคลื่นที่มีความถี่ต่างกันดังรูปที่ 2.5 โดยที่คลื่นแรกคือเส้นประที่มีค่าแอมพลิจูด a และคลื่นที่สองคือเส้นประที่มีค่าแอมพลิจูด b ซึ่งเส้นโค้งดังกล่าวจะสามารถแทนได้ด้วยสมการดังนี้

$$X_1 = a \sin(\omega_1 t) \quad (2.7)$$

$$X_2 = b \sin(\omega_2 t) \quad (2.8)$$

การเคลื่อนที่แบบสั่นรวมจะแทนได้ด้วยเส้นทึบที่เกิดจากการรวมกันของเส้นประทั้งสองซึ่งสามารถแสดงด้วยสมการที่ (2.9)

$$X = X_1 + X_2 = a \sin(\omega_1 t) + b \sin(\omega_2 t) \quad (2.9)$$



รูปที่ 2.4 การเคลื่อนที่แบบไม่เป็นฮาร์มอนิก (Non-harmonic Motion)

สำหรับฟังก์ชันแบบคาบเวลาใดๆ สามารถเขียนแทนได้ด้วยฟังก์ชันไซน์ในลักษณะอนุกรมกัน โดยมีความถี่ที่ค่า  $\omega, 2\omega, 3\omega, \dots$  ตามลำดับ ดังสมการที่ (2.10)

$$f(t) = A_0 + A_1 \sin(\omega t + \phi_1) + A_2 \sin(2\omega t + \phi_2) + A_3 \sin(3\omega t + \phi_3) + \dots \quad (2.10)$$

สมการที่ (2.10) รู้จักกันดีในชื่อของฟูรีเยร์ (Fourier Series) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลา  $f(t)$  โดยที่ค่าแอมพลิจูด ( $A_1, A_2, A_3, \dots$ ) และมุมเฟส ( $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots$ ) ของทุกๆ การเคลื่อนที่แบบสั่นอย่างต่อเนื่องสามารถคำนวณหาได้จากวิธีการทางคณิตศาสตร์เมื่อทราบค่าของฟังก์ชัน โดยที่ทั้งนี้กระบวนการดังกล่าวสามารถทำได้ด้วยเครื่องมือวัดและวิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือนทั่วไป

## 2.4 พลศาสตร์ของเครื่องจักร [1]

เหตุผลสำคัญที่ทำให้รูปแบบการสั่นของเครื่องจักรมีความแตกต่างกันนั้นมีสาเหตุมาจากการเคลื่อนที่แบบพลศาสตร์ของเครื่องจักร (Machine Dynamics) โดยการเคลื่อนที่นี้จะขึ้นอยู่กับมวล (Mass) ความแข็งแรง (Stiffness) ความหน่วง (Damping) และองศาอิสระของการเคลื่อนที่ (Degree of Freedom) แต่อย่างไรก็ตาม ยังจำเป็นต้องมีความระมัดระวังในการวิเคราะห์อยู่เพราะรูปแบบของการสั่นสะเทือนและระดับพลังงานที่ถูกสร้างขึ้นโดยเครื่องจักรนั้นอาจจะแปรผันไปตามปัจจัยของตำแหน่งหรือปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ ในการวัดได้อีกด้วย

**2.4.1 มวล (Mass)** เป็นคุณสมบัติของวัตถุในการอธิบายว่ามีปริมาณเนื้อวัสดุมากน้อยเพียงใด ณ เวลานั้น แต่สำหรับหลักการทางพลศาสตร์มวลจะอธิบายถึงความสามารถของวัตถุในการต้านแรงภายนอกที่มากระทำ หรืออาจกล่าวได้ว่ายิ่งวัตถุมีมวลมากก็ต้องใช้แรงปริมาณมากในการทำให้วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่งระดับหนึ่ง ในเรื่องของวิเคราะห์การสั่นสะเทือนก็เช่นกัน คือถ้าเครื่องจักรมีมวลมากและสูญเสียภาวะสมดุลแล้วปริมาณการสั่นก็จะมากตามไปด้วย

**2.4.2 ความมั่นคงแข็งแรง (Stiffness)** เป็นคุณสมบัติของวัตถุที่คล้ายคุณสมบัติของสปริงคือจะบอกระดับความสามารถของวัตถุในการต้านแรงที่มากระทำ ซึ่งจะส่งผลให้วัตถุเกิดการเปลี่ยนแปลงระยะทางหรือมิติรูปร่าง หน่วยของความมั่นคงแข็งแรงมักจะกำหนดเป็นน้ำหนักต่อระยะทาง (lbf/in) การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรต้องพิจารณาคุณสมบัติความมั่นคงแข็งแรงมากกว่า 1 แบบได้แก่ ความมั่นคงแข็งแรงตามแนวยาว (Shaft Stiffness or Longitudinal Stiffness) ความมั่นคงแข็งแรงในแนวแกนตั้ง (Vertical Stiffness) ความมั่นคงแข็งแรงในแนวแกนนอน (Horizontal Stiffness) ด้วยหลักการดังกล่าวจึงได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการกำหนดตำแหน่งของจุดที่ต้องการวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรต่างๆ นั้นเอง ซึ่งจะพบว่ายิ่งค่าความมั่นคงแข็งแรงมีค่าน้อยลงเพียงใดค่าการสั่นสะเทือนจะยิ่งมากขึ้นเท่านั้น

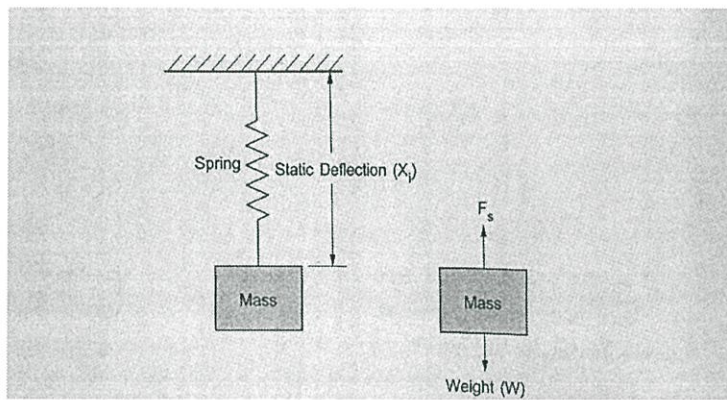
2.4.3 ความหน่วง (Damping) ความหน่วงเป็นคุณสมบัติที่แสดงถึงสภาพด้านการเคลื่อนที่ที่มีผลทำให้ความเร็วของการสั่นลดลง โดยทั่วไปแล้วจะหมายถึงแรงต้านการเคลื่อนที่ที่เกิดจากการกระทำของของเหลวหรือแก๊ส และการเสียดสีสัมผัสกับวัตถุอื่นๆ หน่วยของความหน่วงโดยมากจะกำหนดเป็นน้ำหนักต่อระยะทางต่อเวลา (lbf/in/sec หรือ lbf-sec/in)

## 2.5 ชนิดของการสั่นสะเทือน [2]

จากหลักพลศาสตร์ของเครื่องจักรสามารถแบ่งประเภทการสั่นได้เป็น 4 แบบ หลักๆ ดังนี้

### 2.5.1 การสั่นแบบอิสระโดยไม่มี ความหน่วง (Free Vibration–Undamped)

เพื่อให้เกิดความเข้าใจในลักษณะของการสั่นแบบนี้ ให้พิจารณาตัวอย่างของการสั่นของมวล (M) ที่ผูกติดกับสปริงที่มีค่าความมั่นคงแข็งแรงค่าหนึ่ง (K เป็นค่าเดียวกันกับค่าคงที่ของสปริง) และปล่อยให้มีการเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระในแนวแกนตั้งดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 Undamped Spring-Mass System

แรง ( $F_s$ ) ที่เกิดจากการเคลื่อนตัวในแนวแกนตั้งอันเนื่องมาจากน้ำหนักของมวล M ( $W$ ) ดังแสดงในรูป 2.6 นั้นจะพบว่ามีอยู่ 2 แรงที่กระทำต่อมวล M คือแรงจากน้ำหนักแทนด้วย  $W$  และแรงสปริงแทนด้วย  $F_s$  ซึ่งจะมีค่าเท่ากันแต่อยู่ในทิศทางตรงกันข้ามตามหลักความสมดุลของระบบ ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก  $W$  ของมวล M และค่าการยืดที่ตำแหน่งสมดุลของสปริง  $X_i$  (Static Deflection) สามารถแสดงได้ด้วยสมการที่ (2.11)

$$W = KX_i \quad (2.11)$$

ถ้าสปริงถูกยืดออกมาเป็นระยะ  $X$  จากตำแหน่งเดิมที่  $X_i$  และปล่อยให้เคลื่อนที่โดยอิสระ จะทำให้มวลเกิดการสั่นขึ้นลงด้วยความเร่ง  $a$  และแรงดึงดูด  $g_c$  ( $32.17 \text{ lbf-ft/lbf-sec}^2$ ) ดังนั้นแรงที่เกิดจากสปริงจะสามารถเขียนแทนด้วยสมการได้ดังนี้

$$F_s = -KX = \frac{Ma}{g_c} \quad (2.12)$$

หากแทนค่าความเร่ง  $a$  ด้วยอนุพันธ์อันดับที่ 2 ของระยะขจัดเทียบกับเวลา และแทนค่าระยะขจัด  $X$  ด้วยสมการการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก ( $X = X_0 \cos(\omega t)$ ) จะสามารถเขียนสมการที่ (2.12) ใหม่ได้ดังนี้

$$-\frac{M}{g_c} \frac{d^2 X}{dt^2} + KX = 0 \quad (2.13)$$

$$-\frac{M}{g_c} \omega^2 X_0 \cos(\omega t) + KX = 0 \quad (2.14)$$

$$-\frac{M}{g_c} \omega^2 X + KX = -\frac{M}{g_c} \omega^2 + K = 0 \quad (2.15)$$

ทำการแก้สมการที่ (2.15) และจัดรูปใหม่จะได้

$$\omega = \sqrt{\frac{Kg_c}{M}} \quad (2.16)$$

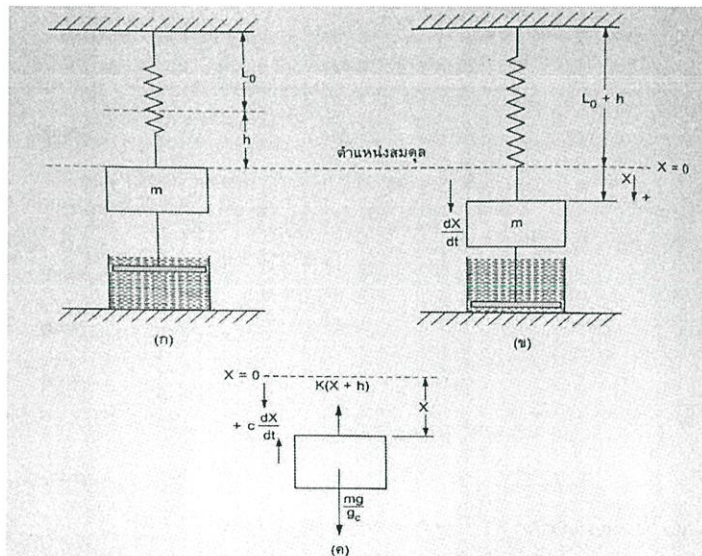
เมื่อ  $\omega$  คือความถี่ธรรมชาติของมวล (Natural Frequency of Mass)

$K$  คือค่าคงที่ของสปริง (Spring Constants)

$M$  คือมวล (Mass)

### 2.5.2 การสั่นแบบอิสระโดยมีความหน่วง (Free Vibration-Damped)

ระบบมีความซับซ้อนมากขึ้นส่งผลให้วัตถุเกิดความหน่วงขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.7 โดยที่ลักษณะความหน่วงนี้จะเรียกว่า การหน่วงจากความหนืด (Viscous Damping) ซึ่งมีลักษณะจะคล้ายกับรูปที่ 2.6 แต่ในกรณีนี้ จะมีความหน่วงจากการเคลื่อนที่ของมวลผ่านของไหลที่มีแรงต้านการเคลื่อนที่ เช่น น้ำมันหรืออากาศ เป็นต้น ความหน่วงจะทำให้ความเร็วของมวลลดลงและส่งผลเกิดพลังงานจากการสั่นขึ้น



รูปที่ 2.6 Damped Spring-Mass System

จากรูปที่ 2.7 ระยะสมดุลเดิมของสปริงคือ  $L_0$  และระยะยืดของสปริงที่ถูกน้ำหนัก  $W$  ของมวล  $m$  ดึงลงคือ  $h$  ดังนั้นจะเห็นได้ว่าน้ำหนักของมวล  $m$  มีค่าเท่ากับ  $kh$  รูปที่ 2.7 (ก) แสดงตำแหน่งสมดุลของมวล  $m$  รูปที่ 2.7 (ข) แสดงตำแหน่งของมวล  $m$  ที่ถูกดึงลงมาเป็นระยะทางเท่ากับ  $X$  จากตำแหน่งสมดุล ทั้งนี้จะพิจารณาให้ค่า  $X$  เป็นบวกในทิศทางดึงลง รูปที่ 2.7 (ค) เป็นแผนภาพอย่างง่ายของมวลและแรงที่กระทำ

ในระบบ ซึ่งจากรูปนี้ จะเห็นได้ว่าแรงจากความหน่วงมีค่าเท่ากับ  $c(dX/dt)$  เมื่อ  $c$  คือค่าคงที่ของความหน่วง ซึ่งจากรูปนี้สามารถนำมาเขียนอธิบายด้วยสมการได้ดังนี้

$$\frac{M}{g_c} \frac{d^2X}{dt^2} = \frac{Mg}{g_c} - c \frac{dX}{dt} - K(X+h) \quad (2.17)$$

$$\frac{M}{g_c} \frac{d^2X}{dt^2} = Kh - c \frac{dX}{dt} - KX - Kh \quad (2.18)$$

$$\frac{M}{g_c} \frac{d^2X}{dt^2} = -c \frac{dX}{dt} - KX \quad (2.19)$$

หารสมการที่ (2.19) ด้วย  $M/g_c$  จะจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$\frac{d^2X}{dt^2} = -\frac{cg_c}{M} \frac{dX}{dt} - \frac{Kg_c X}{M} \quad (2.20)$$

เมื่อแทนค่า  $cg_c/M = 2\mu$  และ  $Kg_c/M = \omega^2$  ในสมการที่ (2.20) จะได้

$$\frac{d^2X}{dt^2} = -2\mu \frac{dX}{dt} - \omega^2 X \quad (2.21)$$

$$\frac{d^2X}{dt^2} + 2\mu \frac{dX}{dt} + \omega^2 X = 0 \quad (2.22)$$

ซึ่งหากทำการแก้สมการอนุพันธ์อันดับที่ 2 นี้จะได้คำตอบคือ

$$X = Ae^{d_1 t} + Be^{d_2 t} \quad (2.23)$$

$$\text{เมื่อ } d_1 = -\mu + \sqrt{\mu^2 - \omega^2}$$

$$d_2 = -\mu - \sqrt{\mu^2 - \omega^2}$$

เราจะมีหลายเงื่อนไขที่ต้องการพิจารณาเกี่ยวกับความหน่วง เช่น ความหน่วงวิกฤต (Critical Damping) ความหน่วงมากเกินไป (Over Damping) และความหน่วงต่ำกว่าปกติ (Under Damping) โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) ความหน่วงวิกฤต (Critical Damping) จะเกิดเมื่อ  $\mu = \omega$
- 2) ความหน่วงมากเกินไป (Over Damping) จะเกิดเมื่อ  $\mu > \omega$
- 3) ความหน่วงต่ำกว่าปกติ (Under Damping) จะเกิดเมื่อ  $\mu < \omega$

สำหรับความหน่วงที่ต่ำกว่าค่าปกติ ( $\mu < \omega$ ) จะสามารถเขียนแทนได้ด้วยสมการดังนี้

$$X = \frac{X_0}{\alpha_1} e^{-\mu t} (\alpha_1 \cos \alpha_1 t + \mu \sin \alpha_1 t) \quad (2.24)$$

$$\text{เมื่อ } \alpha_1 = \sqrt{\omega^2 - \mu^2}$$

### 2.5.3 การสั่นแบบมีแรงกระทำโดยไม่มีความหน่วง (Forced Vibration-Undamped)

สำหรับระบบการสั่นอย่างง่ายที่อธิบายก่อนหน้านี้ เป็นลักษณะการสั่นแบบอิสระที่ไม่มีแรงภายนอกมากระทำให้เกิดการสั่นขึ้น ซึ่งจากหลักการของการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนจะให้ความสำคัญกับความถี่ธรรมชาติหรือความถี่สั่นพ้อง (Natural or Resonance Frequency) ที่เป็นผลมาจากลักษณะเฉพาะของมวล (Mass) ความมั่นคงแข็งแรง (Stiffness) และความหน่วง (Damping) ของวัตถุที่พิจารณา และยังสามารถถูกรบกวนทำให้รูปแบบการสั่นของวัตถุเปลี่ยนไปได้อีก จากการกระทำของแรงภายนอกในระบบที่กระทำต่อวัตถุนั้นพิจารณารูปที่ 2.6 โดยเพิ่มแรงกระทำจากภายนอกกับมวล (Mass) ขนาดเท่ากับ  $F_0$  ในทิศ

ทางดิ่งลงมา และแทนค่า  $F_0 \sin(\omega t)$  ในสมการที่ (2.13) จึงได้สมการที่ (2.25)

$$\frac{M}{g_c} \frac{d^2 X}{dt^2} + KX = F_0 \sin(\omega t) \quad (2.25)$$

เนื่องจากสปริงจะเคลื่อนที่ตามแรง  $F_0 \sin(\omega t)$  ดังนั้นค่า  $X$  จะเท่ากับ  $X_0 \sin(\omega t)$  และเมื่อแทนค่าในสมการที่ (2.25) และแก้สมการจะได้สมการที่ (2.26)

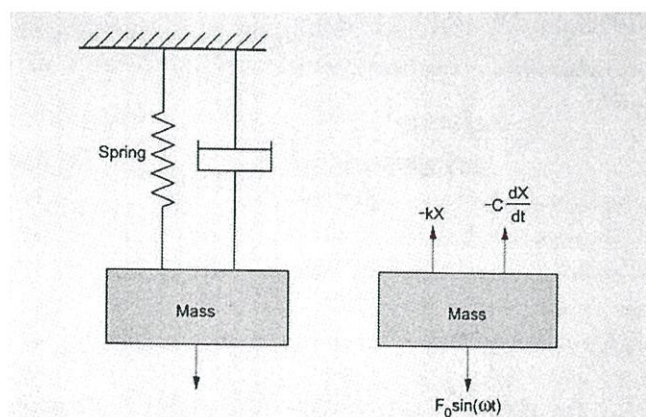
$$x = c_1 \sin(\omega_n t) + c_2 \cos(\omega_n t) + \frac{X_{st}}{1 - (\omega/\omega_n)^2} \sin(\omega t) \quad (2.26)$$

- เมื่อ
- $X$  = การกระจัดของสปริงที่เวลา  $t$
  - $X_{st}$  = การขจัดคงที่ของสปริงเมื่อรับแรงคงที่  $F_0$
  - $\omega$  = ความถี่ที่เกิดจากแรงภายนอก
  - $\omega_n$  = ค่าคงที่ความถี่ธรรมชาติของการสั่น
  - $t$  = เวลา
  - $c_1, c_2$  = ค่าคงที่

จากสมการที่ (2.26) เทอมที่ 1 และ 2 จะแสดงถึงการสั่นแบบอิสระโดยไม่มี ความหน่วงและในเทอมที่ 3 จะแสดงถึงการสั่นที่มีแรงกระทำจากภายนอกโดยไม่มี ความหน่วง คำตอบจะเป็นการรวมกันของคลื่นรูปไซน์ 2 คลื่นที่มีความถี่ต่างกัน จึงสรุปได้ว่าการสั่นแบบนี้จะเป็นการเคลื่อนที่ที่การเคลื่อนที่แบบคาบเวลา แต่จะไม่ใช่การเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก

#### 2.5.4 การสั่นแบบมีแรงกระทำโดยมีความหน่วง (Forced Vibration-Damped)

สำหรับระบบการสั่นที่มีแรงกระทำภายนอกพร้อมกับมีความหน่วงด้วยนั้น สามารถแสดงได้ด้วยรูปที่ 2.8 การเคลื่อนที่ของมวล  $M$  (Mass) ประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญคือ 1) การสั่นแบบอิสระที่มีการหน่วงที่ความถี่ธรรมชาติ 2) การเคลื่อนที่แบบคงตัวในรูปแบบของฮาร์มอนิกที่ความถี่ตามการกระทำของแรง ความถี่ธรรมชาติของวัตถุที่เกิดจากการหน่วงจะลดลงอย่างรวดเร็ว แต่สำหรับกรณีความถี่แบบฮาร์มอนิกคงตัว (Steady-state Harmonic) ที่เกิดจากแรงกระทำจากภายนอกจะดำเนินต่อไปตราบเท่าที่ ยังคงมีพลังงานจากแรงที่กระทำอยู่



รูปที่ 2.7 Damped Forced Vibration System

สำหรับสมการของการสั่นแบบที่มีแรงกระทำจากภายนอกและมีความหน่วงด้วยนั้น ให้พิจารณาจากสมการของการสั่นแบบอิสระที่มีความหน่วงได้เลย โดยเปลี่ยนเทอมด้านขวามือจากค่า 0 เป็นฟังก์ชันของแรง  $F_0 \sin(\omega t)$  ของสมการที่ (2.13) จะได้สมการใหม่ดังสมการที่ (2.27)

$$\frac{M}{g_c} \frac{d^2 X}{dt^2} + c \frac{dX}{dt} + KX = F_0 \sin(\omega t) \quad (2.27)$$

ด้วยภาวะการสั่นที่มีความหน่วง ดังนั้นจึงทำให้ค่าคงที่ของความหน่วง  $c$  มีค่าไม่เท่ากับ 0 ซึ่งส่งผลให้คำตอบของสมการมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น

สมมติให้  $X = X_0 \sin(\omega t - \phi)$  โดยที่  $\phi$  คือค่ามุมเฟส (Phase Angle) หรือเป็นค่ามุมที่แรงกระทำจากภายนอก  $F_0 \sin(\omega t)$  กระทำกับระยะขจัด  $X_0 \sin(\omega t - \phi)$  โดยใช้หลักการของเวกเตอร์ เพื่อหาคำตอบของสมการสามารถแสดงได้ดังนี้

เวกเตอร์ของแรงในแนวแกนตั้ง :

$$KX_0 - \frac{M}{g_c} \omega^2 X_0 - F_0 \cos \phi = 0 \quad (2.28)$$

เวกเตอร์ของแรงในแนวแกนนอน :

$$c\omega X_0 - F_0 \sin \phi = 0 \quad (2.29)$$

เมื่อแก้สมการโดยการแทนค่าสมการเวกเตอร์ทั้งสองด้านบนเพื่อหาค่า  $X_0$  และ  $\phi$  จะได้คำตอบดังนี้

$$\begin{aligned} X_0 &= \frac{F_0}{\sqrt{(c\omega)^2 + (K - \frac{M}{g_c} \omega^2)^2}} \\ &= \frac{F_0/K}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_n^2}\right)^2 + \left(2 \frac{c}{c_c} \times \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}} \end{aligned} \quad (2.30)$$

$$\tan \phi = \frac{c\omega}{K - \frac{M}{g_c} \omega^2} = \frac{2 \frac{c}{c_c} \times \frac{\omega}{\omega_n}}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \quad (2.34)$$

เมื่อ  $c$  = ค่าคงที่ของการหน่วง (Damping Constant)

$c_c$  = การหน่วงวิกฤต (Critical Damping) =  $2(M/g_c)\omega_n$

$c/c_c$  = อัตราส่วนการหน่วง (Damping Ratio)

$F_0$  = แรงกระทำจากภายนอก (External Force)

$F_0/K$  = การเสียรูปของสปริงภายใต้ภาระ  $F_0$  หรือค่าการเสียรูปคงที่ (Static Deflection;  $X_{st}$ )

$\omega$  = ความถี่จากแรงภายนอก (Forced Frequency)

$\omega_n$  = ความถี่ธรรมชาติของการสั่น (Natural Frequency)

$\omega/\omega_n$  = อัตราส่วนความถี่ (Frequency Ratio)

## 2.6 มาตรฐานการสั่นสะเทือน [1]

มาตรฐานการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่ใช้ในอุตสาหกรรม ประกอบไปด้วยมาตรฐาน ISO 10816, ISO 2373 และ ISO 3945 แต่ในโครงการนี้ผู้วิจัยใช้มาตรฐาน ISO 10816 เนื่องจากเป็นมาตรฐานที่ได้มีการปรับปรุงล่าสุดเพื่อให้สอดคล้องกับสถานะการใช้งานเครื่องจักรในอุตสาหกรรมในปัจจุบัน มาตรฐาน ISO 10816 นี้ใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินสภาพการทำงานของเครื่องจักรโดยใช้การสั่นสะเทือน เพื่อบ่งบอกถึงความบกพร่องของชิ้นส่วนภายในเครื่องจักรเพื่อเป็นประโยชน์ในการบำรุงรักษาและเพิ่มอายุการใช้งาน โดยค่ามาตรฐานการสั่นสะเทือนที่นำมาเปรียบจะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขเหล่านี้ คือ

1. ต้องเป็นค่าการสั่นสะเทือนแบบรวม (Overall Vibration) และย่านความถี่สำหรับการตรวจวัดการสั่นสะเทือนจะอยู่ที่ 10 – 1000 Hz (600-60000 CPM หรือ Cycles Per Minute)

2. จุดที่ทำการวัดการสั่นสะเทือนจะต้องเป็นโครงสร้างภายนอก (Casing Vibration) และใกล้กับตำแหน่งของแบริ่งให้มากที่สุด (Bearing Gap)

3. หน่วยที่วัดจะใช้เป็นแบบความเร็ว เช่น mm/s หรือ in/s (rms หรือ Peak)

4. รอบการหมุนของเครื่องจักรจะต้องอยู่ช่วง 10 – 200 Hz (600 – 12000 RPM)

ระดับความรุนแรงของการสั่นสะเทือนสามารถจำแนก 4 ระดับดังนี้

1. **ระดับดี (Good)** เป็นระดับการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่ใช้งานใหม่ หรือเพิ่งได้รับการซ่อมบำรุงในเวลาไม่นานมานี้ ทำให้เครื่องจักรแทบที่จะไม่มีค่าการสั่นสะเทือน

2. **ระดับพอใช้ (Satisfactory)** เป็นระดับที่เครื่องจักรเริ่มมีการสั่นสะเทือนแต่ยังสามารถทำงานได้ต่อเนื่องไม่ก่อให้เกิดความเสียหาย แต่จะต้องทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนเพื่อติดตามดูแนวโน้มของค่าของการสั่นสะเทือนอย่างสม่ำเสมอ เพื่อที่ไม่ให้เครื่องจักรมีค่าการสั่นสะเทือนมากกว่านี้

3. **ระดับที่ไม่น่าพอใจ (Unsatisfactory)** เป็นการสั่นสะเทือนในระดับที่เป็นอันตราย ถ้าไม่สามารถหยุดตรวจซ่อมได้ในระดับนี้จะต้องเฝ้าดูแนวโน้มอย่างใกล้ชิด เพราะอาจจะทำให้เครื่องจักรเกิดความขัดข้องเสียหายโดยฉุกเฉิน (Breakdown) และอาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต

4. **ระดับหยุดเครื่องจักร (Unacceptable)** เป็นระดับการสั่นสะเทือนที่ไม่สามารถยอมรับได้ ซึ่งจำเป็นต้องหยุดเครื่องจักรทันที เพื่อตรวจสอบหาสาเหตุและซ่อมบำรุงเครื่องจักรเพื่อให้ค่าการสั่นสะเทือนเป็นปกติ

สำหรับมาตรฐาน ISO 10816 จะจำแนกเครื่องจักรตามกำลัง (Power, kW) ของเครื่องจักร โดยแบ่งประเภทของเครื่องจักรได้ดังนี้

เครื่องจักรประเภทที่ 1 (Group I) เป็นมอเตอร์ไฟฟ้าตั้งแต่ขนาดเล็กถึง 15 kW

เครื่องจักรประเภทที่ 2 (Group II) เป็นเครื่องจักรประเภทปานกลางตั้งแต่ 15-75 kW หรือเครื่องจักรขนาดเล็กถึง 300 kW และเครื่องจักรนั้นติดบนแท่นรองรับที่แข็งแรง (Rigid Support) เช่น คอนกรีต เป็นต้น

### เครื่องจักรประเภทที่ 3 (Group III)

เป็นเครื่องจักรที่ติดตั้งบนแท่นรองรับที่ยืดหยุ่นได้ (Flexible Support) เช่น แท่นรองรับสปริง ยางแข็ง เป็นต้น ตั้งแต่ขนาด 75-300 kW หรือเครื่องจักรขนาดใหญ่ที่ติดตั้งบนแท่นฐานรองรับที่แข็งแรง (Rigid Support) ตั้งแต่ขนาด 300 kW ขึ้นไป

### เครื่องจักรประเภทที่ 4 (Group IV)

เป็นเครื่องจักรขนาดใหญ่ที่ติดตั้งบนแท่นรองรับที่ยืดหยุ่นได้ (Flexible Support) ตั้งแต่ขนาด 300 KW ขึ้นไป

Machine	Machine		Class I Small Machines	Class II Medium Machines	Class II Large Rigid Foundation	Class III Large Soft Foundation
	In/s	mm/s				
Vibration Velocity Vrms	0.01	0.28				
	0.02	0.45				
	0.03	0.71			GOOD	
	0.04	1.12				
	0.07	1.80				
	0.11	2.80			SATISFACTORY	
	0.18	4.50				
	0.28	7.10			UNSATISFACTORY	
	0.44	11.20				
	0.70	18.00				
	1.10	28.00			UNACCEPTABLE	
	1.77	45.90				

รูปที่ 2.8 มาตรฐานการสั่นสะเทือน ISO 10816

จากรูปที่ 2.8 มาตรฐานการสั่นสะเทือน ISO 10816 จะสังเกตได้ว่าใช้สีเพื่อแบ่งระดับความรุนแรงของการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร โดยจะแบ่งเป็น 4 สีดังนี้

1. สีเขียว แสดงถึงการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่ใช้งานใหม่ หรือเพิ่งได้รับการซ่อมบำรุงในเวลาไม่นานมานี้ การสั่นสะเทือนระดับนี้จะอยู่ในช่วงความเร็วของการสั่นสะเทือนสำหรับเครื่องจักรประเภทที่ 1 ตั้งแต่ช่วง 0.28 -1.119 Vrms (mm/s) สำหรับเครื่องจักรประเภทที่ 2 อยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.28 -1.79 Vrms (mm/s) สำหรับเครื่องจักรประเภทที่ 3 อยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.28-2.79 Vrms (mm/s) และสำหรับเครื่องจักรประเภทที่ 4 อยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.28-4.49 Vrms (mm/s)

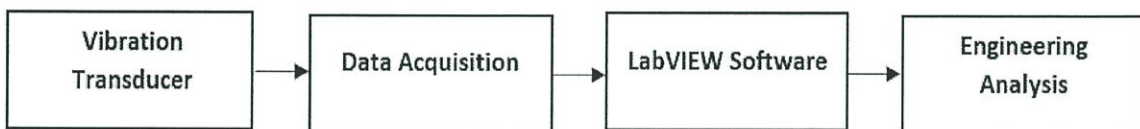
2. สีเหลือง แสดงถึงเครื่องจักรเริ่มมีการสั่นสะเทือนแต่ยังสามารถทำงานได้ต่อไม่ก่อให้เกิดความเสียหาย การสั่นสะเทือนระดับนี้จะอยู่ในช่วงความเร็วของการสั่นสะเทือนสำหรับเครื่องจักรประเภทที่ 1 ตั้งแต่ช่วง 1.12 ถึง 2.79 Vrms (mm/s) สำหรับเครื่องจักรประเภทที่ 2 อยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.8 -4.49 Vrms (mm/s) สำหรับเครื่องจักรประเภทที่ 3 อยู่ในช่วงตั้งแต่ 2.8-7.09 Vrms (mm/s) และสำหรับเครื่องจักรประเภทที่ 4 อยู่ในช่วงตั้งแต่ 4.5-11.19 Vrms (mm/s)

3. สีส้ม แสดงถึงการสั่นสะเทือนในระดับที่เป็นอันตราย ถ้าไม่สามารถหยุดตรวจซ่อมได้ในระดับนี้ จะต้องเฝ้าดูแนวโน้มอย่างใกล้ชิด เพราะอาจจะทำให้เครื่องจักรเกิดความขัดข้องเสียหายโดยฉุกเฉิน (Break-down) ค่าการสั่นสะเทือนระดับนี้จะอยู่ในช่วงความเร็วของการสั่นสะเทือนสำหรับเครื่องจักรประเภทที่ 1 ตั้งแต่ช่วง 2.8 ถึง 7.09 Vrms (mm/s) สำหรับเครื่องจักรประเภทที่ 2 อยู่ในช่วงตั้งแต่ 4.5 -11.19 Vrms (mm/s) สำหรับเครื่องจักรประเภทที่ 3 อยู่ในช่วงตั้งแต่ 7.1-17.79 Vrms (mm/s) และสำหรับเครื่องจักรประเภทที่ 4 อยู่ในช่วงตั้งแต่ 11.20-27.79 Vrms (mm/s)

4. สีแดง แสดงถึงการสั่นสะเทือนที่ไม่สามารถยอมรับได้ ซึ่งจำเป็นต้องหยุดเครื่องจักรเพื่อตรวจสอบหาสาเหตุและแก้ไขให้เป็นปกติ การสั่นสะเทือนระดับนี้จะอยู่ในช่วงความเร็วของการสั่นสะเทือนสำหรับเครื่องจักรประเภทที่ 1 ตั้งแต่ช่วง 7.1 ถึง 45.90 Vrms (mm/s) สำหรับเครื่องจักรประเภทที่ 2 อยู่ในช่วงตั้งแต่ 11.20 -45.90 Vrms (mm/s) สำหรับเครื่องจักรประเภทที่ 3 อยู่ในช่วงตั้งแต่ 18-45.90 Vrms (mm/s) และสำหรับเครื่องจักรประเภทที่ 4 อยู่ในช่วงตั้งแต่ 28-45.90 Vrms (mm/s)

## 2.7 อุปกรณ์การวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือน [1]

ในการวัดและการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของมอเตอร์มีลำดับ และขั้นตอนในแต่ละส่วนดังที่จะอธิบายในลำดับต่อไปนี้



รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบสำหรับการวัดและวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน

### 2.7.1 ทรานส์ดิวเซอร์วัดการสั่นสะเทือน (Vibration Transducer)

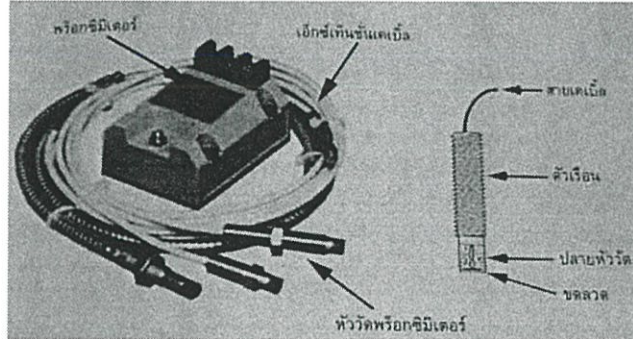
ทรานส์ดิวเซอร์วัดการสั่นสะเทือนมีหลักการทำงานคือ แปลงสัญญาณทางกลให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อที่จะทำการส่งสัญญาณทางไฟฟ้านั้นไปสู่เครื่องมือบันทึกผลและแสดงค่าการสั่นสะเทือนในลำดับต่อไป ทรานส์ดิวเซอร์วัดการสั่นสะเทือนที่ใช้ในปัจจุบันสามารถแยกตามหลักการทำงานได้เป็น 3 ประเภทคือ ทรานส์ดิวเซอร์วัดการสั่นสะเทือนแบบระยะทาง ทรานส์ดิวเซอร์วัดการสั่นสะเทือนแบบความเร็ว และทรานส์ดิวเซอร์วัดการสั่นสะเทือนแบบความเร่ง ซึ่งในโครงการนี้ใช้ทรานส์ดิวเซอร์วัดการสั่นสะเทือนแบบความเร็ว เนื่องจากเป็นการวัดการสั่นสะเทือนที่มีความถี่ระหว่าง 15 Hz-1000 Hz

#### 1. ทรานส์ดิวเซอร์วัดการสั่นสะเทือนแบบระยะทาง (Displacement Transducer)

ทรานส์ดิวเซอร์วัดการสั่นสะเทือนแบบระยะทางหรือเรียกอีกแบบว่าทรานส์ดิวเซอร์การสั่นสะเทือนทรานส์ดิวเซอร์วัดการสั่นสะเทือนแบบกระแสนวน (Eddy-Current) ทรานส์ดิวเซอร์วัดการสั่นสะเทือนแบบนี้ใช้สำหรับวัดระยะห่างระหว่างทรานส์ดิวเซอร์กับผิวของตัวนำ เช่น วัดระยะห่างระหว่างผิวเพลลาที่หมุนกับปลายทรานส์ดิวเซอร์วัดการสั่นสะเทือน

ส่วนประกอบของระบบทรานส์ดิวเซอร์วัดการสั่นสะเทือนแบบระยะทางนี้จะประกอบไปด้วย

1. หัววัดระยะทาง (Proximity Probe)
2. เอ็กซ์เทนชันเคเบิล (Extension Cable)
3. พร็อกซิมิเตอร์ (Proximeter)

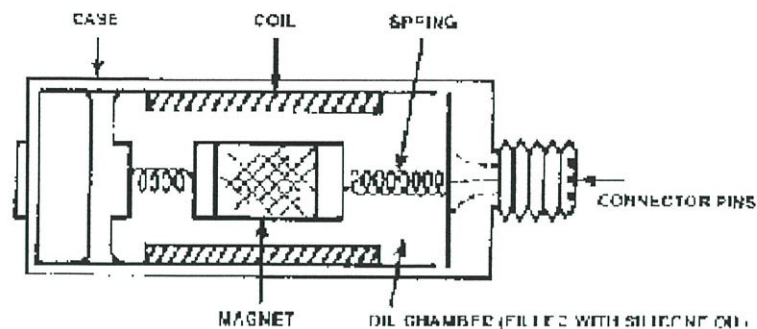


รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบของระบบทรานส์ดิวเซอร์วัดการสั่นสะเทือนแบบระยะทาง

หลักการทำงานโดยทั่วไปคือการเหนี่ยวนำทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า โดยหัววัดระยะทางเป็นตัวสร้างสนามแม่เหล็ก และสนามแม่เหล็กจะถูกตัดผ่านโดยวัตถุที่ต้องการวัดการสั่นสะเทือน เช่น เพลahmen ซึ่งหัววัดระยะทางเป็นตัวทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก โดยค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะแปรตามระยะห่างระหว่างผิวหัววัดการสั่นสะเทือนแบบระยะทางกับวัตถุที่ต้องการวัดการสั่นสะเทือน เช่น ค่ากระแสที่วัดกลับมามีค่าต่ำลงเมื่อระยะห่างระหว่างผิวหัววัดกับผิวของวัตถุขยายน้อยลง เนื่องจากวัตถุจะไปขวางไม่ให้กระแสไฟฟ้าไหลกลับได้สะดวกและค่ากระแสสูงขึ้นเมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้น หัววัดการสั่นสะเทือนแบบระยะทางนี้เหมาะสมกับการใช้งานการสั่นสะเทือนในเครื่องจักรหมุนที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น ชุดกังหันแก๊ส ชุดกังหันไอน้ำ ชุดเกียร์ขนาดใหญ่ เป็นต้น

## 2. ทรานส์ดิวเซอร์วัดการสั่นสะเทือนแบบความเร็ว (Velocity Transducer)

ทรานส์ดิวเซอร์วัดค่าความเร็วในการสั่นสะเทือนโดยอาศัยหลักการพื้นฐานการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ตัดกันของแม่เหล็กกับขดลวด ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าขึ้น ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญคือตัวเรือนหัววัด สปริง ขดลวด และแม่เหล็ก หลักการทำงานของทรานส์ดิวเซอร์การสั่นสะเทือนแบบความเร็วคือ เมื่อนำทรานส์ดิวเซอร์วัดการสั่นสะเทือนแบบความเร็วไปติดกับวัตถุที่มีการสั่นสะเทือน ทรานส์ดิวเซอร์วัดการสั่นสะเทือนก็จะมี การสั่นไปตามวัตถุ แท่งแม่เหล็กติดอยู่กับสปริงจะเกิดการสั่นและเคลื่อนที่ตัดกับขดลวดที่ติดอยู่บริเวณสองข้างตัวเรือน ทำให้เกิดการทางไฟฟ้าขึ้นการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าเป็นสัดส่วนกับความเร็วของการเคลื่อนที่ของวัตถุที่หัววัดการสั่นสะเทือนติดอยู่ แล้วนำไปประมวลผลแสดงเป็นค่าของการสั่นสะเทือนของวัตถุนั้นต่อไป



รูปที่ 2.11 ทรานสดิวเซอร์การสั่นสะเทือนแบบความเร็วที่ใช้หลักการขดลวดเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็ก

<b>Application</b>	
Application	vibration transmitter to ISO 10816
<b>Electrical data</b>	
Operating voltage [V]	9.6...32 DC
Protection class	III
<b>Inputs / outputs</b>	
Total number of inputs and outputs	1
<b>Outputs</b>	
Analogue current output [mA]	4...20
Max. load [ $\Omega$ ]	$< (U_b - 9,6 \text{ V}) \times 50$ ; $U_b = 24 \text{ V}$ : 720
<b>Range</b>	
Number of measurement axes	1
Number of axes	1
<b>Measuring/setting range</b>	
Measuring range of vibration [mm/s]	0...25; (RMS)
Frequency range [Hz]	10...1000
<b>Accuracy / deviations</b>	
Measuring error [% of the final value]	$< \pm 3$
Repeatability	$< 0,5$ ; (% of the final value)
Linearity deviation	0,25 %
<b>Operating conditions</b>	
Ambient temperature [ $^{\circ}\text{C}$ ]	-30...125
Note on ambient temperature	UL application: $< 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Protection	IP 67; IP 68; IP 69K

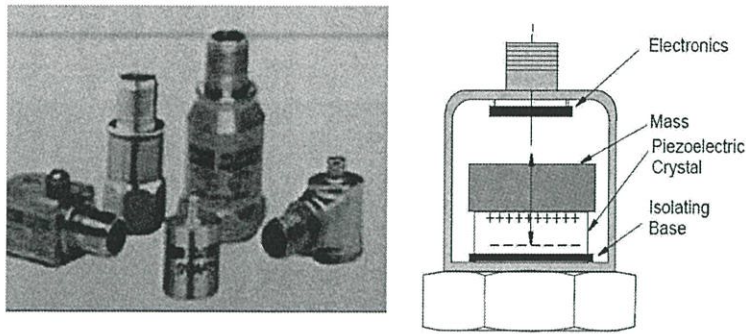
Tests / approvals		
EMC	EN 61000-4-2 ESD	4 kV CD / 8 kV AD
	EN 61000-4-3 HF radiated	10 V/m
	EN 61000-4-4 Burst	2 kV
	EN 61000-4-5 Surge	1 kV
	EN 61000-4-6 HF conducted	10 V
Shock resistance		400 g
MTTF [years]	881	
Mechanical data		
Weight [g]	122	
Type of mounting	set screw	
Materials	stainless steel (1.4404 / 316L)	
Tightening torque [Nm]	8	
Sensor type	microelectromechanical system (MEMS)	
Remarks		
Pack quantity	1 pcs.	
Electrical connection		
Connection	Connector: 1 x M12	

รูปที่ 2.12 VTV122 Data Sheet

### 3. ทรานส์ดิวเซอร์วัดการสั่นสะเทือนแบบความเร่ง (Acceleration Transducer)

ทรานส์ดิวเซอร์วัดการสั่นสะเทือนแบบความเร่ง มีลักษณะคล้ายกันกับทรานส์ดิวเซอร์วัดการสั่นสะเทือนแบบความเร็วคือเป็นหัววัดสำหรับวัดการเคลื่อนที่เทียบกับเวลาสำหรับชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนไหวหรือเกิดการสั่นสะเทือน ซึ่งสามารถวัดในรูปแบบของความเร่งหรือแปลงค่าวัดในรูปแบบของความเร็วก็ได้โดยการแปลงการเคลื่อนที่ทางกลมาเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งอาศัยหลักการของผลึกเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Crystal) และก้อนน้ำหนักรวมอยู่ในหัววัดการสั่นสะเทือนพร้อมทั้งวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายใน หลักการทำงานของหัววัดการสั่นสะเทือนชนิดนี้จะอาศัยคุณสมบัติของผลึกเพียโซ ซึ่งผลึกเพียโซนี้จะมีคุณสมบัติไวต่อการเปลี่ยนแปลงมาก เมื่อผลึกถูกแรงกระทำที่มีลักษณะกระทำที่มีลักษณะเป็นแรงกดหรือแรงเฉียดแล้ว ผลึกนี้ก็จะสามารถจ่ายเป็นพลังงานในรูปแบบของแรงดันไฟฟ้าออกมาซึ่งจะมีค่ามากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับแรงดันที่กระทำกับผลึกเพียโซ ส่วนประกอบของหัววัดจะแสดงดังรูปที่ 2.11 รูปร่างภายนอก (ด้านซ้าย) และภาพตัดภายใน (ด้านขวา) ของหัววัด โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ตัวเรือน ผลึกเพียโซ ก้อนน้ำหนักรวม และวงจรอิเล็กทรอนิกส์

หลักการทำงานของหัววัดการสั่นชนิดนี้เมื่อนำหัววัดไปติดกับเครื่องจักรที่มีการสั่นสะเทือน หัววัดก็จะเกิดการสั่นสะเทือนตามเครื่องจักรนั้น เมื่อหัววัดเกิดการสั่นสะเทือนก็จะทำให้อ่อนน้ำหนักรวมภายในหัววัดนั้นเกิดการเคลื่อนที่แล้วไปกดทับกับเพียโซ ซึ่งผลึกเพียโซก็จะคายประจุออกมาในรูปแบบของแรงดันไฟฟ้า ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ออกมานั้นจะสูงหรือต่ำก็ขึ้นอยู่กับลักษณะของเครื่องจักร ถ้าเครื่องจักรเกิดการสั่นสะเทือนมากค่าแรงดันที่ออกมาก็จะมีค่าสูงตาม

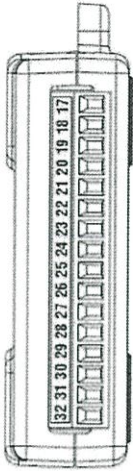


รูปที่ 2.13 หัววัดการสั่นสะเทือน (ซ้าย) และภาพตัดของหัววัด (ขวา)

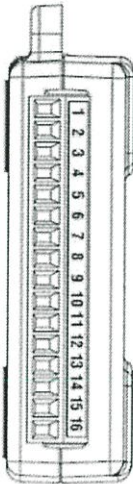
### 2.7.2 การ์ดเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ (Data Acquisition) [3]

การ์ดเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ (Data Acquisition) มีหน้าที่รับสัญญาณจากภายนอก (Analog เพื่อทำการแปลงสัญญาณเป็น Digital) เข้าไปสู่การประมวลผลและแปลความหมายโดยคอมพิวเตอร์ เช่น Sensor ที่ทำการทดลองตรวจสอบ สำหรับระบบ DAQ (Data Acquisition) เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลในลักษณะเวลาแบบ Real Time ในการทดสอบงานด้านวิศวกรรมเชิงคุณภาพที่มีประสิทธิภาพผ่านคอมพิวเตอร์ โดยมีฮาร์ดแวร์พิเศษที่สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น อุณหภูมิ แรง เสียง แสง ความดันอากาศ ก๊าซ อัตราการไหล เป็นต้น โดยรับสัญญาณจากเครื่องมือวัดหรือ Sensor ภายนอกผ่านวงจร Converter เพื่อรับสัญญาณ Voltage ที่กำหนดไว้ตามคู่มือของ DAQ (Data Acquisition) แต่ละรุ่น ทำให้เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์แล้วแสดงผลตามรูปแบบที่ได้เขียนผ่านคำสั่งโปรแกรม LabView ที่พัฒนาตามคุณลักษณะของงานวิจัยทดลองนั้นๆ

ในปัจจุบันได้พบว่าอุปกรณ์มากมายทางอิเล็กทรอนิกส์ ได้ถูกสร้างขึ้นมาและพร้อมกันนั้นก็มียุอุปกรณ์ Data Acquisition ที่มีชื่อว่า NI USB-6211 ซึ่งเป็น DAQ รุ่นเล็กที่ผลิตโดยบริษัท National Instruments โดยมีจำนวนช่อง Analog Input สำหรับวัดแรงดันที่อยู่ในช่วง +/- 10 V จำนวน 16 ช่อง 16 bits ที่ความเร็ว Sampling Rate 250 kS/s (kilo samples/sec), Analog Output 2 ช่อง 16 bits

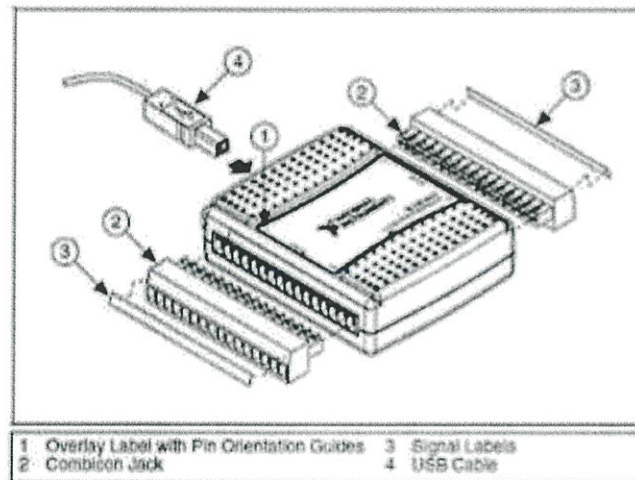
Module	Terminal	Signal
	17	P0.0
	18	P0.1
	19	P0.2
	20	P0.3
	21	P0.4
	22	P0.5
	23	P0.6
	24	P0.7
	25	P1.0
	26	P1.1
	27	P1.2
	28	P1.3
	29	PF10
	30	+2.5 V
	31	+5 V
	32	GND

รูปที่ 2.14 ขั้วต่อสัญญาณด้าน Digital

Module	Terminal	Signal, Single-Ended Mode	Signal, Differential Mode
	1	GND	GND
	2	AI 0	AI 0+
	3	AI 4	AI 0-
	4	GND	GND
	5	AI 1	AI 1+
	6	AI 5	AI 1-
	7	GND	GND
	8	AI 2	AI 2+
	9	AI 6	AI 2-
	10	GND	GND
	11	AI 3	AI 3+
	12	AI 7	AI 3-
	13	GND	GND
	14	AO 0	AO 0
	15	AO 1	AO 1
	16	GND	GND

รูปที่ 2.15 ขั้วต่อสัญญาณด้าน Analog

ความเร็ว Sampling Rate 250 kS/s (kilo samples/sec), Digital I/O 4 ช่อง และ 32-bit Counter 2 ช่อง สามารถใช้งานร่วมกับโปรแกรม LabVIEW และ Measurement Studio.NET โดยใช้ไฟเลี้ยงอุปกรณ์จากสาย USB ช่องสำหรับต่อสัญญาณจะเป็นแบบขันสกรูในตัว สะดวกต่อการต่อสายใช้งาน ขนาดเล็ก มีราคาไม่สูงมากเหมาะผู้เริ่มต้นสามารถนำไปใช้ได้ในงานต่างๆ ไป



รูปที่ 2.16 ส่วนประกอบของ NI 6211

## Analog Output

Number of channels	2
DAC resolution	16 bits
DNL	±1 LSB
Monotonicity	16 bit guaranteed
Maximum update rate	
1 channel	250 kS/s
2 channels	250 kS/s per channel
Timing accuracy	50 ppm of sample rate
Timing resolution	50 ns
Output range	±10 V
Output coupling	DC
Output impedance	0.2 Ω
Output current drive	±2 mA
Overdrive protection	±30 V
Overdrive current	2.4 mA
Power-on state	±20 mV
Power-on glitch	±1 V for 200 ms
Output FIFO size	8,191 samples shared among channels used
Data transfers	USB Signal Stream, programmed I/O
AO waveform modes	Non-periodic waveform, periodic waveform regeneration mode from onboard FIFO, periodic waveform regeneration from host buffer including dynamic update
Settling time, full-scale step, 15 ppm (1 LSB)	32 μs
Slew rate	5 V/μs

# NI USB-6211

## M Series Data Acquisition: 16 AI, 2 AO, 4 DI, 4 DO Bus-Powered USB

The following specifications are typical at 25 °C, unless otherwise noted. For more information about the NI USB-6211, refer to the NI USB-621x User Manual available from [ni.com/manuals](http://ni.com/manuals).



**Caution** The input/output ports of this device are not protected for electromagnetic interference due to functional reasons. As a result, this device may experience reduced measurement accuracy or other temporary performance degradation when connected cables are routed in an environment with radiated or conducted radio frequency electromagnetic interference.

To ensure that this device functions within specifications in its operational electromagnetic environment and to limit radiated emissions, care should be taken in the selection, design, and installation of measurement probes and cables.

## Analog Input

Number of channels	8 differential or 16 single ended
ADC resolution	16 bits
DNL	No missing codes guaranteed
INL	Refer to the <i>AI Absolute Accuracy</i> section
Sample rate	
Single channel maximum	250 kS/s
Multichannel maximum (aggregate)	250 kS/s
Minimum	0 S/s
Timing accuracy	50 ppm of sample rate
Timing resolution	50 ns
Input coupling	DC
Input range	±0.2 V, ±1 V, ±5 V, ±10 V
Maximum working voltage for analog inputs (signal + common mode)	±10.4 V of AI GND

## Physical Characteristics

---

Enclosure dimensions (includes connectors)	16.9 cm × 9.4 cm × 3.1 cm (6.65 in. × 3.70 in. × 1.20 in.)
Weight	206 g (7.2 oz)
I/O connectors	2 16-position combicon
USB connector	Series B receptacle
Screw terminal wiring	16 to 28 AWG
Torque for screw terminals	0.22 to 0.25 N · m (2.0 to 2.2 lb · in.)

## Calibration

---

Recommended warm-up time	15 minutes
Calibration interval	1 year

## Environmental

---

Operating temperature	0 °C to 45 °C
Storage temperature	-20 °C to 70 °C
Humidity	10% RH to 90% RH, noncondensing
Maximum altitude	2,000 m
Pollution Degree	2

Indoor use only.

## Maximum Working Voltage

---

*Maximum working voltage* refers to the signal voltage plus the common-mode voltage.

Channel-to-earth ground	11 V, Measurement Category I
-------------------------	------------------------------

Measurement Category I is for measurements performed on circuits not directly connected to the electrical distribution system referred to as MAINS voltage. MAINS is a hazardous live electrical supply system that powers equipment. This category is for measurements of voltages from specially protected secondary circuits. Such voltage measurements include signal levels, special equipment, limited-energy parts of equipment, circuits powered by regulated low-voltage sources, and electronics.



**Caution** Do not use for measurements within Categories II, III, or IV.

## General-Purpose Counters/Timers

Number of counter/timers	2
Resolution	32 bits
Counter measurements	Edge counting, pulse, semi-period, period, two-edge separation
Position measurements	X1, X2, X4 quadrature encoding with Channel Z reloading; two-pulse encoding
Output applications	Pulse, pulse train with dynamic updates, frequency division, equivalent time sampling
Internal base clocks	80 MHz, 20 MHz, 0.1 MHz
External base clock frequency	0 MHz to 20 MHz
Base clock accuracy	50 ppm
Inputs	Gate, Source, HW_Arm, Aux, A, B, Z, Up_Down
Routing options for inputs	PFI <0..3>, many internal signals
FIFO	1,023 samples
Data transfers	USB Signal Stream, programmed I/O

## Frequency Generator

Number of channels	1
Base clocks	10 MHz, 100 kHz
Divisors	1 to 16
Base clock accuracy	50 ppm

Output can be available on any output PFI terminal.

## External Digital Triggers

Source	PFI <0..3>
Polarity	Software-selectable for most signals
Analog input function	Start Trigger, Reference Trigger, Pause Trigger, Sample Clock, Convert Clock, Sample Clock Timebase

รูปที่ 2.17 NI USB 6211 Data Sheet

### 2.7.2.1 ภาพรวมของระบบ DAQ บน PC

ระบบ DAQ บน PC คือกระบวนการในการอ่านค่าสัญญาณทางไฟฟ้าแล้วนำไปเก็บไว้ใน หน่วยความจำบน PC เพื่อการวิเคราะห์ จัดเก็บ หรือแสดงผลต่อไป ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในออกแบบโปรแกรมแลปวิวของแต่ละแอปพลิเคชัน ซึ่งระบบ PC จะมีส่วนประกอบอยู่ 4 ส่วนด้วยกัน คือส่วนของแหล่งสัญญาณส่วนฮาร์ดแวร์ Signal Conditioning ส่วนของการแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

1. แหล่งสัญญาณทางไฟฟ้า สัญญาณทางไฟฟ้ามีหลากหลายรูปแบบ ซึ่งแหล่งกำเนิดของมันอาจมาจากตัวส่งสัญญาณ หรือ Sensor ซึ่งสัญญาณเหล่านี้จะแสดงถึงปริมาณทางกายภาพของสิ่งที่เราจะวัด เช่น การวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิ้ลหรือ RTD, การวัดแรงด้วยโหลดเซลล์, การวัดแสงด้วยโฟโตเซ็นเซอร์, การวัดเสียงด้วยไมโครโฟน เป็นต้น สัญญาณอนาลอกจะถูกแปลงไปเป็นแรงดันไฟฟ้าอุปกรณ์ Signal Conditioning เรียกแหล่งกำเนิดสัญญาณประเภทแรงดันไฟฟ้าว่า Voltage Source ซึ่งเป็นความต่างศักย์ระหว่างสายสองเส้น Voltage Source จึงเป็นตัวแทนของแหล่งสัญญาณที่พร้อมที่จะถูกวัด ซึ่งแบ่งออกเป็นสองชนิด ได้แก่ แหล่งสัญญาณแบบต่อกราวด์ (Grounded Source) และแบบไม่ต่อกราวด์ หรือแบบลอย (Floating Source)

2. Signal Conditioning คืออุปกรณ์เสริมที่ทำหน้าที่ปรับสัญญาณให้เหมาะสมก่อนแสดงผลการวัดเพื่อให้ได้ผลการวัดที่เที่ยงตรงและปลอดภัยมากขึ้น ทั้งนี้อาจสร้างวงจรแปลงสัญญาณขึ้นมาหรือใช้อุปกรณ์สำเร็จรูปที่มีคุณภาพสูงเพื่อความแม่นยำ ซึ่งอุปกรณ์ Signal Condition มีหลากหลายรูปแบบให้เลือก ทั้งแบบติดตั้งแยกจาก DAQ และแบบที่รวมเป็นชิ้นเดียวกันกับ DAQ และแต่ละแบบก็ยังคงแยกตามชนิดของสัญญาณ ตัวอย่าง Signal Conditioning ที่พบได้ทั่วไปมีดังนี้

- Amplification: คือการขยายสัญญาณที่เล็กให้มีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้อุปกรณ์ DAQ สามารถตรวจสอบถึงการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณได้ละเอียดมากขึ้น เช่น สัญญาณจาก เทอร์โมคัปเปิ้ล ซึ่งจะอยู่ในระดับมิลลิโวลต์

- Excitation: คือการจ่ายไฟกระตุ้น เนื่องจากเซ็นเซอร์บางชนิด เช่น โหลดเซลล์ จำเป็นต้องมีการจ่ายแรงดันไปเลี้ยง หรือ RTD ก็ต้องจ่ายกระแสไฟไปเลี้ยง Signal Conditioning จะทำการจ่ายไฟเลี้ยงให้ในรูปแบบและขนาดที่เหมาะสม

- Bridge Configuration: คือการต่อตัวต้านทานเพิ่มให้ครบสี่ตัวเป็นวงจรแบบบริดจ์ ซึ่งใช้กับการวัดด้วยสเตรนเกจ (Strain Gauge)

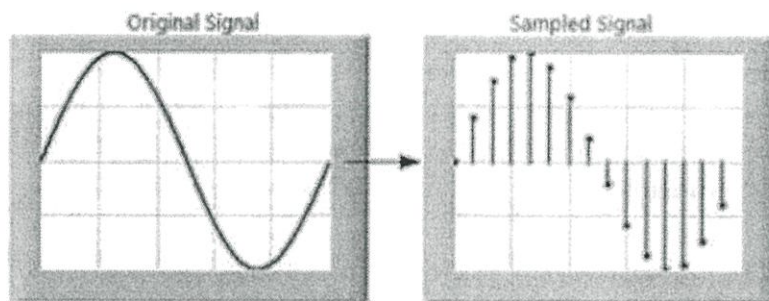
- Filtering: คือการกรองสัญญาณในย่านความถี่ที่ไม่ต้องการออก เช่น ถ้าสัญญาณที่เราต้องการมีความถี่ต่ำแต่ในระบบมีสัญญาณรบกวนความถี่สูงปะปนเข้ามาด้วย สามารถใช้ Low-Pass Filter เพื่อตัดสัญญาณรบกวนย่านความถี่สูงออก หรือในกระบวนการสุ่มสัญญาณเราสามารถใช้อнти-aliasing Filter เพื่อตัดสัญญาณที่เราไม่ต้องการอ่านออกไปจากระบบเพื่อให้สัญญาณมีคุณภาพดีขึ้น

- Isolation: คือการแยกตัวนำไฟฟ้าของระบบวัดสัญญาณสองส่วนออกจากกัน เพื่อความปลอดภัยในกรณีที่มีทรานเซียนขนาดใหญ่เข้ามาในระบบ

### 3. ขั้นตอนการแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิทัล

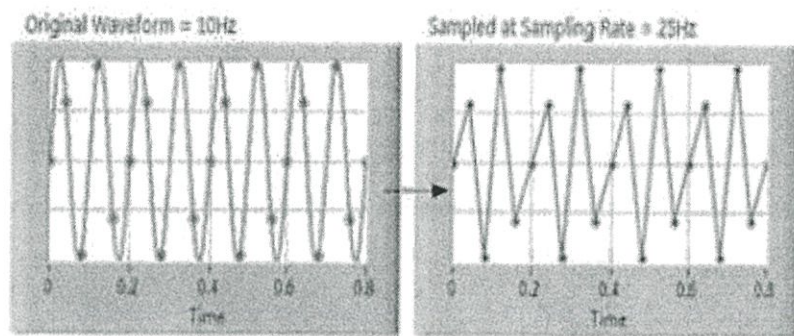
ในอุปกรณ์ DAQ ทั่วไปจะมีช่องสำหรับวัดสัญญาณอนาลอกเรียกว่าช่อง Analog Input ซึ่งจะวัดสัญญาณในช่วง + หรือ -10V ได้ (แล้วแต่รุ่น) การนำสัญญาณอนาลอกนี้เข้ามาอยู่ใน PC ซึ่งเป็น พอร์มตแบบดิจิทัลต้องผ่านอุปกรณ์แปลงสัญญาณที่เรียกว่า Analog to Digital Converter (ADC) ซึ่งเป็นกระบวนการในการนำค่าทางดิจิทัล (ซึ่งมีจำนวนจำกัด) มาเลียนแบบค่าอนาลอก (ซึ่งมีจำนวนไม่จำกัด) โดยกระบวนการนี้มีขั้นตอนที่นำไปปรับแต่งค่าอุปกรณ์ในการดึงสัญญาณ ดังนี้

4. Sampling เนื่องจาก PC จะเก็บและประมวลผลข้อมูลในรูปแบบดิจิทัลเท่านั้น กระบวนการนี้จึงเป็นการเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกที่เป็นเส้นกราฟต่อเนื่องให้กลายเป็นจุดของข้อมูลดิจิทัลที่ไม่ต่อเนื่องด้วยวิธีการสุ่มเนื่องสัญญาณหรือเรียกว่า Sampling ด้วยอัตราเร็วที่คงที่ ดังภาพด้านซ้ายคือรูปสัญญาณอนาลอกต้นฉบับและฝั่งขวาคือสัญญาณที่ถูกสุ่ม



รูปที่ 2.18 Sampling

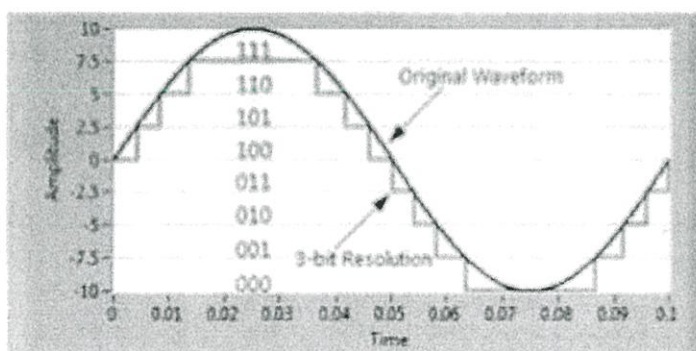
จะสังเกตได้ว่าถ้าหากเรายิ่งสุ่มสัญญาณเร็วขึ้น จุดที่ได้จากการสุ่มก็จะหนาแน่นมากขึ้นก็จะยิ่งเก็บความละเอียดของเส้นกราฟได้ใกล้เคียงต้นฉบับมากขึ้น ความเร็วในการสุ่มสัญญาณนี้เรียกว่า Sampling Rate มีหน่วยเป็นจุดต่อวินาที (Sample/s) หรือ Hz แต่ความเร็วนี้จะมีข้อจำกัดอยู่ที่ Sample Clock ของอุปกรณ์ว่าจะสามารถสุ่มได้เร็วสูงสุดเท่าไร แต่การสุ่มข้อมูลด้วยความเร็วมากเกินไปก็ไม่ใช้สิ่งที่จำเป็นเพราะจะทำให้สิ้นเปลืองหน่วยความจำและพื้นที่เก็บข้อมูล เราสามารถกำหนด Sampling Rate ในการแปลงสัญญาณที่เหมาะสม โดยยึดตามหลักการแปลงสัญญาณที่ เรียกว่า ทฤษฎี Nyquist ทฤษฎี Nyquist กล่าวไว้ว่าสัญญาณจะต้องถูกสุ่มด้วยความเร็วอย่างน้อยสองเท่าของความถี่สูงสุดที่มีอยู่ในสัญญาณ เพื่อให้สามารถนำจุดข้อมูลเหล่านั้นมาสร้างเป็นเวฟฟอร์มกลับให้เหมือนกับสัญญาณต้นฉบับได้ ยกตัวอย่างเช่น เราต้องการดึงสัญญาณอนาลอกขายนเวฟที่มีความถี่ 10 Hz เราจะต้องตั้ง Sampling Rate ที่สูงกว่า 20Hz เช่น ถ้าเราตั้งเป็น 25Hz จะได้ผลดังนี้



รูปที่ 2.19 Sampling Rate 10Hz ถึง 25Hz

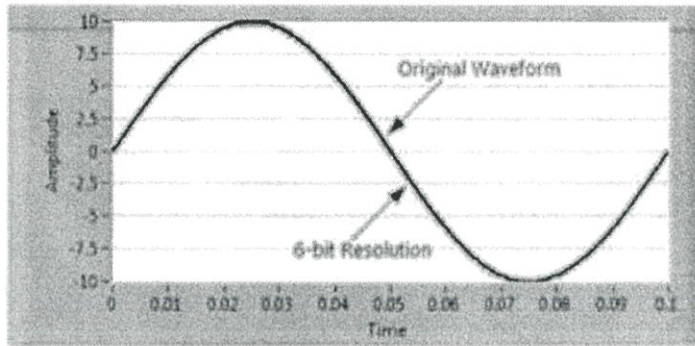
จะพบว่าเราสามารถนำจุดข้อมูลที่เกิดจาก Sampling ที่ 25 Hz มาสร้างเป็นเวฟฟอร์มที่มีความถี่ 10 Hz ได้เหมือนเดิม (โดยการลากเส้นเชื่อมจุดต่อระหว่างจุด)

5. Resolution ขั้นตอนการ Sampling คือการสุ่มสัญญาณทางแกนเวลา (แกนแนวนอน) แต่สำหรับแกนแนวตั้งซึ่งเป็นค่าของสัญญาณที่จะต้องทำการสุ่มเช่นกัน เพื่อเปลี่ยนให้เป็นค่าทางดิจิทัลด้วยวิธีการปัดค่า ทศนิยมขึ้นหรือลง เราเรียนขั้นตอนนี้ว่า Quantization หรือ Digitization ขั้นตอนนี้จะคล้ายการกับการวัดความยาวไม้บรรทัด โดยไม้บรรทัดทั่วไปจะมีขีดที่ละเอียดที่สุดช่องละ 1 mm เพราะฉะนั้นค่าที่วัดออกมาได้จะต้องถูกปัดให้อยู่ในช่วง 1 mm ไม่เล็กไปกว่านี้ แต่ถ้าหากไม้บรรทัดนั้นมีขีดแบ่งที่ละเอียดกว่าก็จะสามารถวัดได้ละเอียดมากขึ้นความละเอียดของการทำ Digitization ขึ้นอยู่กับความละเอียดของ ADC ถ้ายังมีความละเอียดมาก ก็จะสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณนอกได้ละเอียดยิ่งขึ้น ซึ่งความละเอียดของ ADC เราจะนับกันเป็นจำนวนบิต ยกตัวอย่างเช่น ADC ที่มีความละเอียด 3 บิตจะสามารถแสดงระดับสัญญาณได้ 8 ระดับ ( $2^3 = 8$ ) โดยเริ่มนับจากรหัสเลขฐานสอง 000 ไปจนถึง 111 ดังภาพจะเป็นการ Digitize สัญญาณโดยใช้ ADC 3 บิต



รูปที่ 2.20 กราฟสัญญาณโดยใช้ ADC 3 บิต

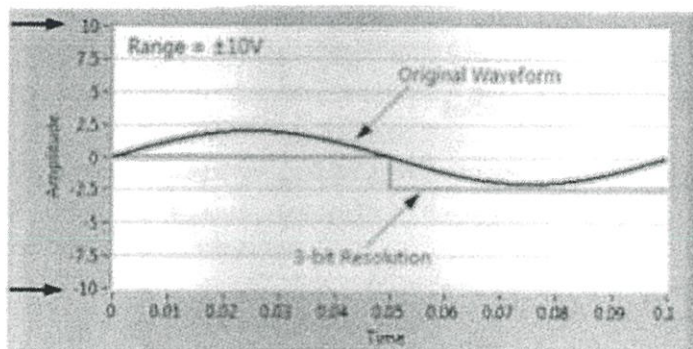
ซึ่งจะเห็นได้ว่าการสัญญาณที่ได้จะไม่ค่อยเหมือนต้นฉบับนัก เพราะถูกปัดค่าตำแหน่งไปมากจนมองเห็นเป็นรูปขั้นบันได แต่ถ้าเราใช้ความละเอียดที่มากขึ้นก็จะได้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับต้นฉบับมากขึ้น เช่น การใช้ ADC ความละเอียด 6 บิต ก็จะสามารถแสดงระดับสัญญาณได้ถึง 64 ค่าดังนี้



รูปที่ 2.21 กราฟสัญญาณโดยใช้ ADC 6 บิต

เราจึงต้องพิจารณาเลือกอุปกรณ์รุ่นที่เหมาะสมกับสัญญาณที่เราต้องการวัด โดยในอุปกรณ์ DAQ จะมีให้เลือกตั้งแต่รุ่น 12 บิต (4096 ระดับ) ไปจนถึง 24 บิต (มากกว่า 16 ล้านระดับ)

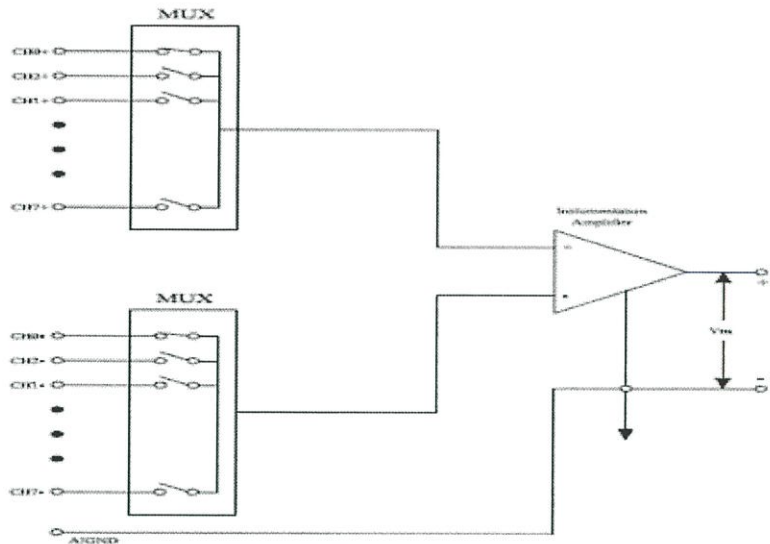
6. Range ความละเอียดของ ADC ในอุปกรณ์แต่ละรุ่นจะถูกกำหนดตายตัวมาจากผู้ผลิตซึ่งไม่สามารถแก้ไขได้ แต่สามารถเลือก Range ในการวัดให้เหมาะสมได้ เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดจากความละเอียดของ ADC ที่มีอยู่ Range คือการกำหนดความกว้างในขั้นตอนการทำ Digitization เช่น ถ้าเรามี ADC ความละเอียด 3 บิตและตั้ง Range การวัดในช่วงกว้างที่สุดคือ -10V ถึง +10V (Peak to Peak= 20V) แต่สัญญาณที่จะวัดได้กลับเล็กกว่านั้นมากจะทำให้เราได้ผลลัพธ์ที่หยาบกว่าปกติ โดยจะวัดได้ระดับละ 2.5 V คำนวณได้จาก Range หารด้วยจำนวนระดับของ ADC,  $(20/8=2.5)$  ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.22 กราฟสัญญาณ

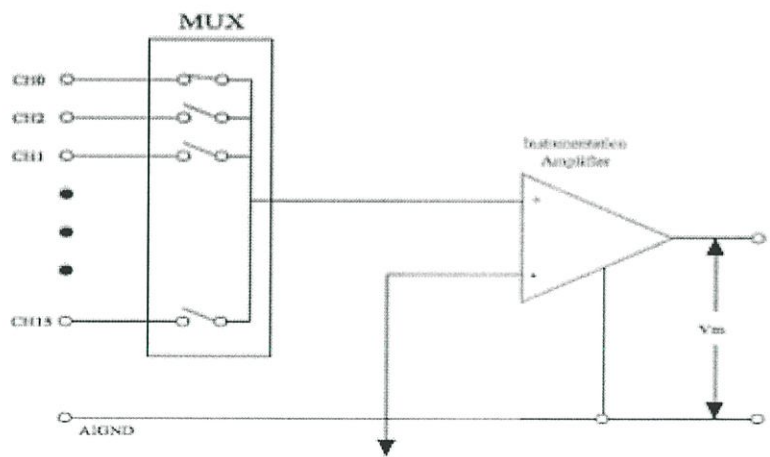
ประเภทของระบบการวัดสัญญาณ เนื่องจากแหล่งสัญญาณมีสองประเภทที่ได้กล่าวมาแล้ว คือ Floating Source กับ Grounded Source จึงมีวิธีในการต่อสายเข้ากับอุปกรณ์ DAQ ที่แตกต่างกันตามความเหมาะสมด้วย ในกรณีที่อุปกรณ์ DAQ ไม่ได้มีส่วน Isolation มาให้

1) Differential หรือ DIFF คือการวัดสัญญาณที่ขาบวกและขาลบของแหล่งสัญญาณไม่ได้ต่อกับจุดอ้างอิงใดๆ เช่น กราวด์ ดังในรูปที่ 2.22 โดยเราจะต่อขาบวกของสัญญาณไปที่ช่อง CHX+ และขาลบไปที่ช่อง CHX- โดยที่ AIGND (Analog Input Ground) คือกราวด์ของระบบการวัด



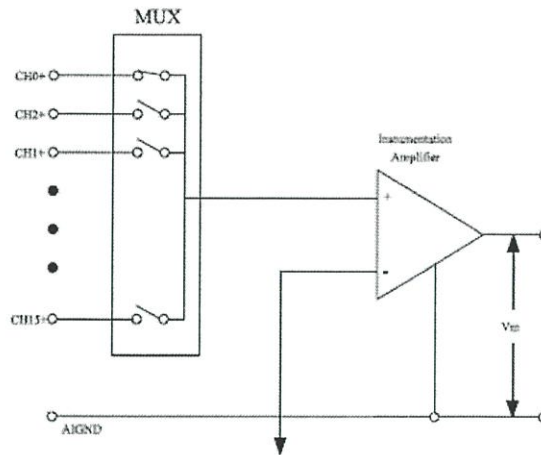
รูปที่ 2.23 วิธีในการต่อสายเข้ากับอุปกรณ์ DAQ ประเภท Differential

2) Referenced Single- Ended หรือ (RSE) คือการวัดสัญญาณที่มีการเทียบกับ AIGND ซึ่งใช้เป็นจุดอ้างอิง โดยเราจะต่อขาบวกของสัญญาณไปที่ช่อง CHX และต่อขาลบของทุกช่องรวมกันที่ AIGND



รูปที่ 2.24 วิธีในการต่อสายเข้ากับอุปกรณ์ DAQ ประเภท Referenced Single-Ended

3) On-Referenced Single-Single-Ended หรือ NRSE เป็นระบบที่คล้ายกับ RSE แต่จะใช้จุดอ้างอิงเป็น AISEN (Analog Input Sense ) แทน ซึ่งศักย์ไฟฟ้าที่จุดนี้จะแตกต่างกับ AIGND



รูปที่ 2.25 วิธีในการต่อสายเข้ากับอุปกรณ์ DAQ ประเภท On-Referenced Single-Ended

### 2.7.3 ซอฟต์แวร์ LabVIEW [4]

โปรแกรม LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench หมายความว่า เป็นโปรแกรมที่สร้างเครื่องมือวัดเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรมเป็น ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ถูกออกแบบมาเพื่อนำมาใช้ในด้านการวัดและเครื่องมือวัด สำหรับงานทางวิศวกรรมในตัวของโปรแกรมจะประกอบไปด้วยฟังก์ชันที่ช่วยในการวัดมากมาย โปรแกรมนี้จะมีประโยชน์อย่างมากเมื่อใช้ร่วมกับเครื่องมือวัดทางวิศวกรรมต่างๆ

LabVIEW เป็นโปรแกรมประเภท GUI (Graphic User Interface) เป็นโปรแกรมที่ใช้รูปภาพ หรือนั่นคือไม่จำเป็นต้องเขียน code หรือคำสั่งใดๆ และที่สำคัญลักษณะภาษาที่ใช้ในโปรแกรมนี้เราจะเรียกว่าเป็นภาษารูปภาพ หรือเรียกอีกอย่างว่าภาษา G (Graphical Language) สัญลักษณ์แทนการเขียนด้วยรูปภาพซึ่งลดความผิดพลาดด้านการสะกดผิดหรือพิมพ์ผิดออกไป ข้อแตกต่างอีกประการหนึ่งที่สำคัญของการเขียนประเภท GUI (Graphic User Interface) โปรแกรมที่ใช้รูปภาพ คือเป็นการเขียนโดยใช้หลักการของ Data Flow ซึ่งเมื่อเริ่มส่งข้อมูลเข้าสู่โปรแกรมต้องกำหนดทิศทางไหลของข้อมูลว่าจะไปที่ส่วนใด ผ่านการประเมินผลและการคำนวณในส่วนใดบ้าง และจะแสดงผลอย่างไร Dataflow มีหลักการทำงานง่ายๆ เพียง “ที่ Node ใดๆ ถ้ามี Input ไหลเข้ามาจนครบทุก Input แล้ว Node นั้นก็จะสามารถทำงานได้ทันที” ซึ่งลักษณะการเขียนภาษา G หรือ Data Flow นี้จะมีลักษณะเหมือนกับการเขียน Block Diagram ซึ่งสามารถทำให้ผู้เขียนโปรแกรมให้ความสนใจกับการเคลื่อนที่และเปลี่ยนแปลงข้อมูลได้โดยไม่ต้องจดจำรูปแบบคำสั่งที่ยุ่งยาก

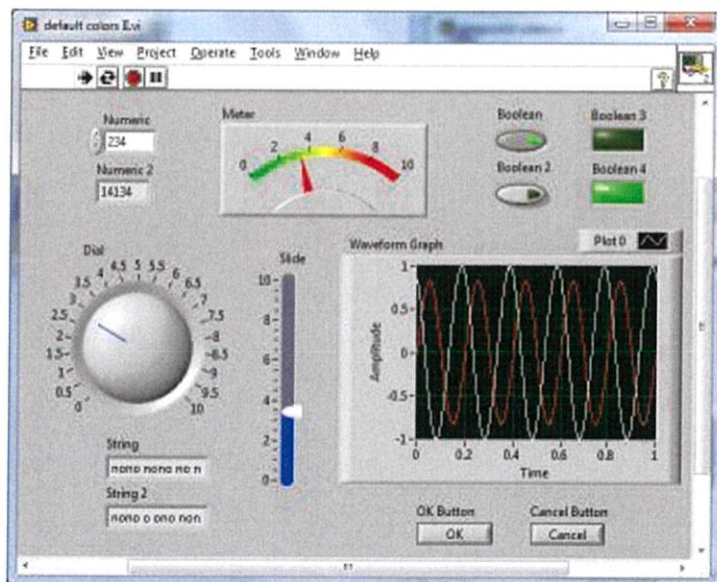
ปัจจุบันจึงมีการนำโปรแกรม LABVIEW มาใช้กันอย่างแพร่หลาย สามารถที่จะจำลองระบบทางวิศวกรรมโดยใช้ภาษากกราฟิก (G Language Programing) เพื่อควบคุมเครื่องมือวัด ทั้งการวิจัยและอุตสาหกรรม โดยการนำเอาเซนเซอร์ เครื่องมือวัด เครื่องมือวิเคราะห์หรือเครื่องมือเก็บข้อมูลต่อเชื่อมเข้ากับคอมพิวเตอร์โดยผ่านทาง Port ต่างๆได้มากมายหลายรูปแบบ เช่น RS232 GPIB และ USB เป็นต้น ทั้ง

ยังสามารถจำลองการทำงานของระบบได้ดี ทำให้สามารถตรวจสอบความผิดพลาดของระบบที่สร้างขึ้นได้ทันที

### 2.7.3.1 ส่วนประกอบของโปรแกรม LabVIEW

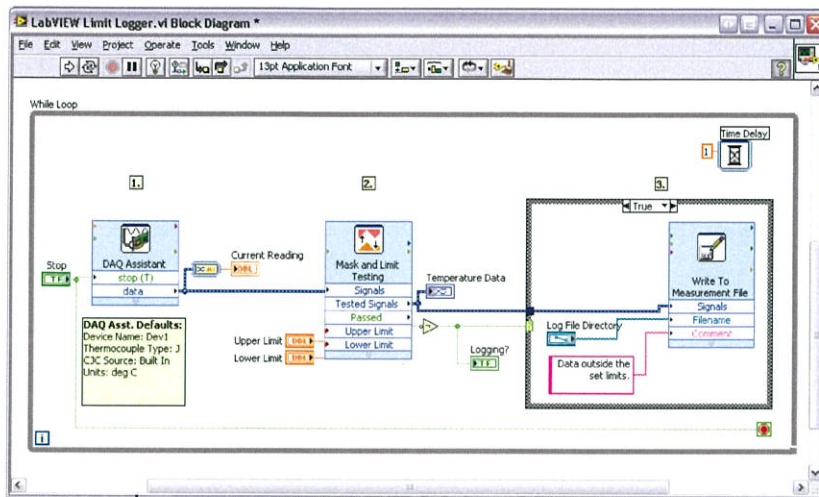
LabVIEW จะถูกเรียกว่า Virtual Instrument (VI) เพราะลักษณะที่ปรากฏทางจอภาพ เมื่อผู้ใช้ใช้งานจะเหมือนกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์ทางวิศวกรรม ในขณะที่เดียวกันหลังจากของอุปกรณ์เสมือนจริงเหล่านั้นจะเป็นการทำงานของฟังก์ชัน, Subroutines และโปรแกรมหลักเหมือนกับภาษาทั่วไป สำหรับ VI หนึ่งๆ จะประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วนคือ

1. **Front Panel** หรือหน้าปัทม์จะเป็นส่วนที่ใช้เชื่อมโยงระหว่างโปรแกรมกับตัวผู้ใช้หรือที่นิยมเรียก User Interface ลักษณะทั่วไปจะเหมือนกับแผงควบคุมของเครื่องมือวัดต่างๆ ใช้สำหรับใส่ค่า (Input) และแสดงผล (Output) ของตัวโปรแกรมที่สร้างขึ้นมาตัว Control และ Indicator ที่ถูกนำมาใช้ใน Front Panel ซึ่งจะมีจุดต่อเชื่อมปรากฏอยู่ที่ Block Diagram ด้วย เมื่อโปรแกรมเริ่มทำงาน ตัว Control ที่ Front Panel จะทำการส่งข้อมูลผ่านไปยัง Block Diagram และตัว Output ก็ส่งค่าจาก Block Diagram กลับมาแสดงผลที่ Front Panel ผ่านตัว Indicator ที่กำหนดไว้ Front Panel ก็จะเหมือนกับ GUI ของโปรแกรมหลักหรือ VI นั้นเอง



รูปที่ 2.26 หน้าจอ Front Panel ในโปรแกรม LabVIEW

2. **Block Diagram** เป็นส่วนที่เก็บ “Source Code” ของโปรแกรม LabVIEW ตัว Code ในโปรแกรม LabVIEW เป็นกราฟฟิกที่เรียกกันว่า G (Graphical) Programming หลักการของโปรแกรมจะเชื่อมต่อตัวจุดเชื่อมต่างๆ เข้าด้วยกันเพื่อกำหนดลักษณะการไหลของข้อมูลระหว่าง Block เหล่านั้น ทำให้ข้อมูลได้รับการประมวลผลตามที่ต้องการและแสดงผลออกมาให้แก่ผู้ใช้ จะมีการตรวจสอบความผิดพลาดของโปรแกรมตลอดเวลา



รูปที่ 2.27 หน้าจอ Block Diagram ในโปรแกรม LabVIEW

ผู้เขียนโปรแกรมสามารถดูรายละเอียดของความผิดพลาดแสดงให้เห็นได้ตลอด เวลาทำให้การเขียนโปรแกรมง่ายขึ้นมากซึ่งประกอบด้วย Block Diagram Node, Node คือรูป Icon ที่อยู่บน Block Diagram ซึ่งมี Input และ/หรือ Output และจะทำงานตามหน้าที่เมื่อมีการรันโปรแกรม โดยแบ่งได้ 3 ชนิด ดังนี้

1) Function เป็น Node พื้นฐานของโปรแกรม LabVIEW ซึ่งเราไม่สามารถที่จะเปิดดูรายละเอียดภายใน Function ได้อีก เช่น การบวก การคูณ

2) SubVIs หรือในภาษาทางซอฟต์แวร์อาจจะเรียกว่า Subroutine หรือ Subprogram คือ โปรแกรมย่อยที่ถูกเขียนขึ้นมาเพื่อถูกนำมาเรียกใช้ในอีกโปรแกรมหนึ่ง สามารถเปิดเข้าไปดู Front Panel และ Block Diagram เมื่อ Double Click ที่ Icon SubVIs

3) Express VIs เป็น SubVIs ประเภทพิเศษคือเมื่อเราเลือก Express VI มาวางบน Block Diagram จะปรากฏหน้าต่าง Configuration ขึ้นมาเพื่อนำป้อนค่า Parameters ต่างๆ เมื่อเราป้อนค่าเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะสร้างโค้ดไว้ภายในอัตโนมัติตามที่ได้ตั้งค่าไว้ ซึ่งความสามารถของ Express VI ทำให้ไม่จำเป็นต้องต่อสาย Input เลย เพราะ Parameter ทั้งหมดได้ถูกสร้างขึ้นมาแล้วถูกเก็บไว้ภายในเรียบร้อยแล้ว จึงทำให้การเขียน LabVIEW ง่ายและรวดเร็วขึ้น โดย Express VI จะมี Icon ขนาดใหญ่ที่มีพื้นหลังเป็นสีฟ้า

3. Icon และ Connector โดย Icon จะหมายถึง Block Diagram ตัวหนึ่งที่มีการส่งข้อมูลเข้าและออกผ่านทาง Connector ซึ่งใน LabVIEW เราจะเรียก Subroutine นี้ว่า SubVIs ข้อดีของการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา G นี้สามารถสร้าง VI ที่ละส่วนขึ้นมาให้ทำงานด้วยตัวเองได้อย่างอิสระ

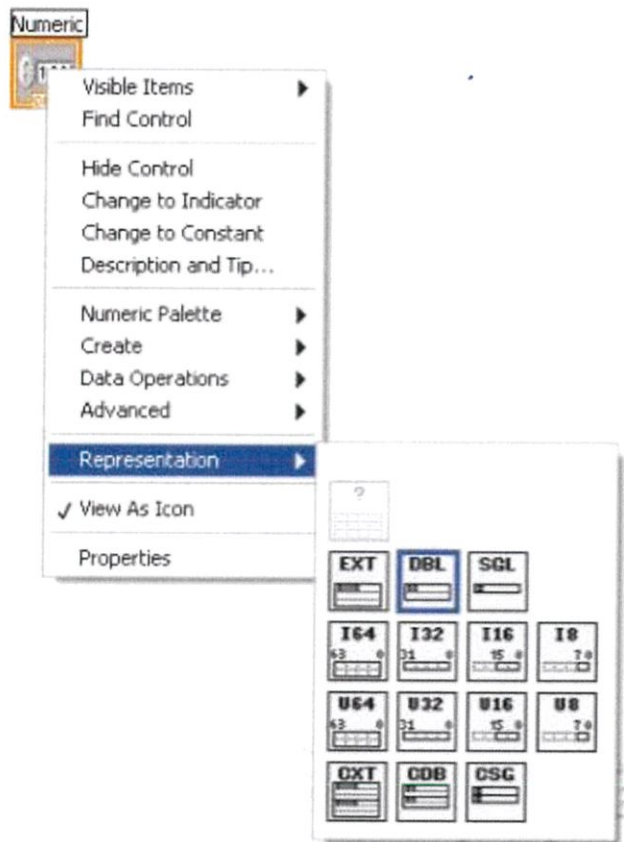


รูปที่ 2.28 หน้าจอ Icon และ Connector ในโปรแกรม LabVIEW

### 2.7.3.2 ประเภทข้อมูลของโปรแกรม LabVIEW

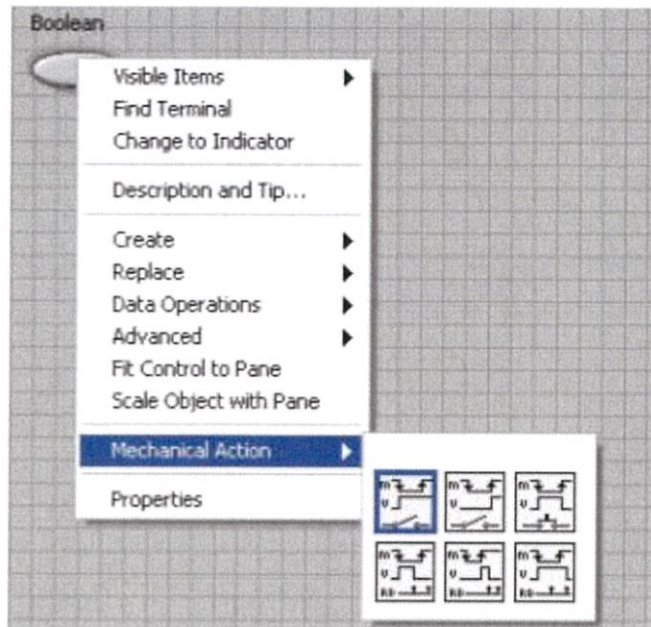
ในการเขียนโปรแกรมต่างๆไปจะต้องมีการประกาศตัวแปรก่อนที่จะใช้ตัวแปรนั้น แต่สำหรับโปรแกรม LabView จะใช้วิธีเลือกวาง Control หรือ Indicator หรือ Constant แล้วมาเลือกปรับค่าอีกที ประเภทของข้อมูลใน LabView มีดังนี้

1. Numeric คือข้อมูลประเภทตัวเลขวิธีการเรียกใช้คือสร้าง Numeric Control/Indicator/ Constant ข้อมูลแบบ Numeric มีทั้งประเภทจำนวนเต็มซึ่งไอคอนและสายใน Block Diagram จะเป็นสีน้ำเงิน และประเภทจำนวนที่มีทศนิยมจะแสดงเป็นสีส้ม



รูปที่ 2.29 คือข้อมูลประเภทตัวเลข Numeric

2. Boolean คือจะมีสองค่าคือ True และ False ค่า Default เดิมมีค่าเป็น False สำหรับบน Block Diagram จะแสดงสีไอคอน และสายของข้อมูลประเภทนี้ด้วยสีเขียว และสำหรับ Front Panel ตัว Boolean จะมีคุณสมบัติเป็นสวิตช์ Control หรือ สวิตช์ (Mechanical Action)



รูปที่ 2.30 ข้อมูลประเภท Boolean

- 1) String คือข้อมูลที่เป็นตัวอักษร Icon และสายของ String จะแสดงเป็นสี่ขมพู สำหรับการแสดง ผลของ String บน Front Panel มีอยู่ 4 รูปแบบคือ Normal Display, Codes Display, Password Display และ Hex Display
- 2) Enum คือข้อมูลประเภทที่แสดงให้ผู้ใช้งานเห็นเป็นตัวหนังสือ แต่ค่าจริงของมันคือตัวเลขจำนวนเต็มบวก ดังนั้นบน Block Diagram เราจึงมองเห็นข้อมูลประเภทนี้เป็นสีน้ำเงิน
- 3) Dynamic (DDT) เป็นข้อมูลที่อยู่ในรูปของ Waveform บน Block Diagram ถูกแสดงด้วยสีน้ำเงินเข้ม ซึ่งภายในจะประกอบด้วย Array ของเวฟฟอร์ม Time Stamp
- 4) Time Stamp เป็นข้อมูลที่ประกอบด้วยวันที่ และเวลาที่มีความละเอียดถึงมิลลิวินาที Time Stamp บน Block Diagram จะมีหน้าต่างที่เป็นสีน้ำตาลเส้นหน้าสามารถนำมาแปลงให้เป็นวันที่ เวลาแบบ String ได้

## บทที่ 3

### ระบบวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์

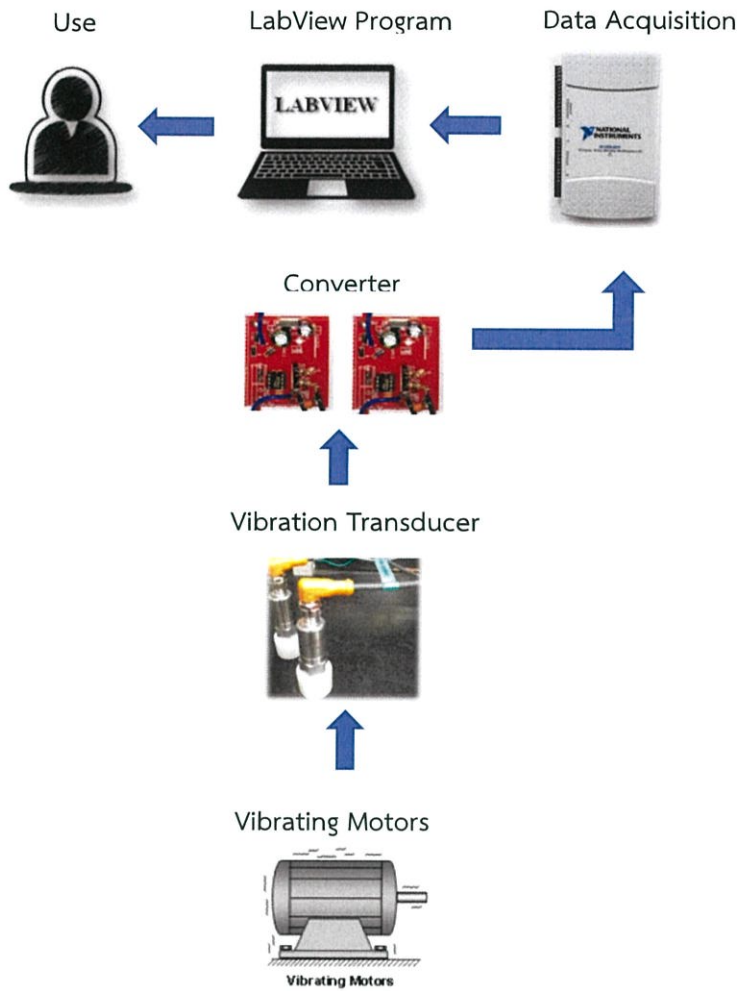
#### 3.1 หลักการและแนวคิด

จากการสำรวจและสอบถามผู้ใช้งานที่ใช้มอเตอร์วัดการสั่นสะเทือนเพื่อตรวจสอบสภาพของมอเตอร์พบว่าจำนวนมิเตอร์วัดการสั่นสะเทือนมีไม่เพียงพอต่อการใช้งาน เนื่องจากมีมอเตอร์จำนวนหลายร้อยตัวที่ต้องทำการตรวจสอบค่าการสั่นสะเทือน นอกจากนี้มิเตอร์วัดการสั่นสะเทือนมีราคาค่อนข้างสูงและในการรวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์สภาพของมอเตอร์ยังคงใช้วิธีการรวบรวมและวิเคราะห์ผลโดยพนักงานที่ทำหน้าที่วัด ทำให้ใช้เวลานานในการวัดในแต่ละครั้ง

บริษัททรานส์ซิสชั่นออพติคัล จำกัด จึงมอบหมายให้ผู้วิจัยออกแบบพัฒนาระบบวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์โดยใช้โปรแกรม LabView และสามารถนำข้อมูลการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ที่วัดได้ไปวิเคราะห์แบบอัตโนมัติด้วยโปรแกรม Microsoft Excel

#### 3.2 หลักการทำงานของระบบวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์

หลักการทำงานของระบบวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์โดยแสดงผลผ่านโปรแกรมแลปวิว เริ่มจาก Vibration Transducer รับค่าการสั่นสะเทือนจากมอเตอร์และแปลงสัญญาณเชิงกลที่วัดได้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ส่งสัญญาณผ่านไปยังวงจร Converter ทำหน้าที่แปลงกระแส 4-20 mA เป็น 0-10 Vdc ก่อนส่งต่อไปที่ DAQ (Data Acquisition) ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล เพื่อให้เหมาะกับการประมวลผลด้วยโปรแกรมแลปวิว โดยโปรแกรมแลปวิวจะทำหน้าที่แสดงผลการวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ และแจ้งเตือนระดับความรุนแรงของการสั่นของมอเตอร์ด้วยสีต่างๆตามมาตรฐาน ISO 10816-1 นอกจากนี้ยังสามารถบันทึกค่าการสั่นสะเทือน เพื่อใช้วิเคราะห์ผลการสั่นสะเทือนต่อไป ซึ่งเป็นการดำเนินการโดยผู้ใช้งาน

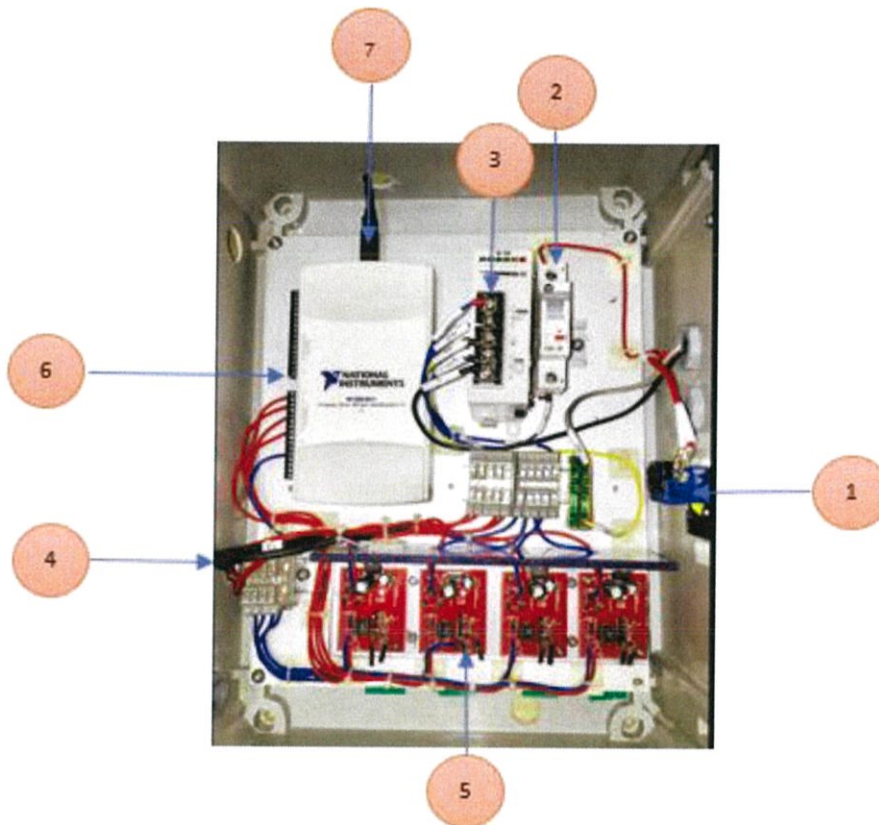


รูปที่ 3.1 หลักการทำงานของระบบวัดความสั่นสะเทือนของมอเตอร์

### 3.3 รายละเอียดในการออกแบบระบบวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์

กล่องควบคุมที่ประกอบขึ้นเองของโครงงานนี้ถูกแสดงในรูปที่ 3.2 จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ 7 อย่าง คือ Selector Switch, เบรกเกอร์ (Breaker), แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply), Vibration Transducer, วงจร Converter, DAQ (Data Acquisition) และสาย USB รายละเอียดการออกแบบการระบบวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

### 3.3.1 การออกแบบฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในระบบการวัด



รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในระบบการวัด

จากรูปที่ 3.12 ฮาร์ดแวร์ต่างๆที่ใช้ในระบบวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ สามารถอธิบายการทำงานได้เป็น 7 ส่วนดังนี้

1. Selector Switch ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการเปิด-ปิด การทำงานของอุปกรณ์วงจรไฟฟ้าในกล่องคอนโทรล เพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าวงจรไปยัง Breaker หรือตัดกระแสไฟไม่ให้ไหลผ่านวงจร ควบคุมการทำงานของสวิตช์ด้วยมือโดยการบิดให้สวิตช์อยู่ที่ตำแหน่ง “OFF” เพื่อตัดไฟหรือตำแหน่ง “ON” เพื่อจ่ายไฟให้กับระบบ



รูปที่ 3.3 Selector Switch ด้านข้างกล่องควบคุมที่แสดงสถานะ OFF

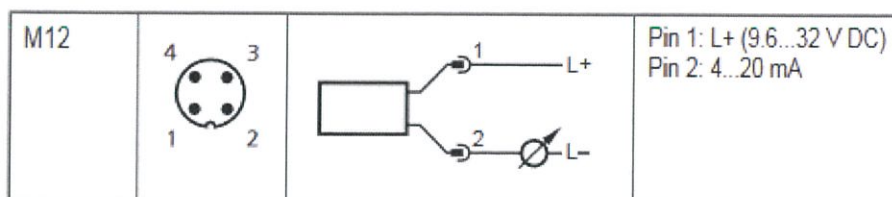
2. เบรกเกอร์ (Breaker) เมื่อกระแสไฟไหลผ่าน Selector Switch จะส่งต่อไปยัง Breaker ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้า ซึ่งเบรกเกอร์จะตัดวงจรไฟฟ้าแบบอัตโนมัติเมื่อมีการไหลของกระแสเกิน 1A ในระบบ เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์ที่ต่อกับเซอร์กิตเบรกเกอร์นั้นเกิดความเสียหาย

3. แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply) เป็นอุปกรณ์จ่ายไฟให้กับ Vibration Transducer และวงจร Converter โดยการแปลงกระแสไฟฟ้าสลับขนาด 220 V ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง 24 V

4. Vibration Transmitter ยี่ห้อ ifm รุ่น VTV 122 เป็นอุปกรณ์รับค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ การวัดค่าความเร็วในการสั่นสะเทือนจะอาศัยหลักการพื้นฐานการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ตัดกันของแม่เหล็กกับขดลวด (รายละเอียดอยู่ในบทที่ 2) เอาท์พุทของ Transmitter จะอยู่ในรูปของสัญญาณ 4-20mA



รูปที่ 3.4 Vibration Transmitter



รูปที่ 3.5 ลักษณะการต่อสายสัญญาณ Vibration Transmitter

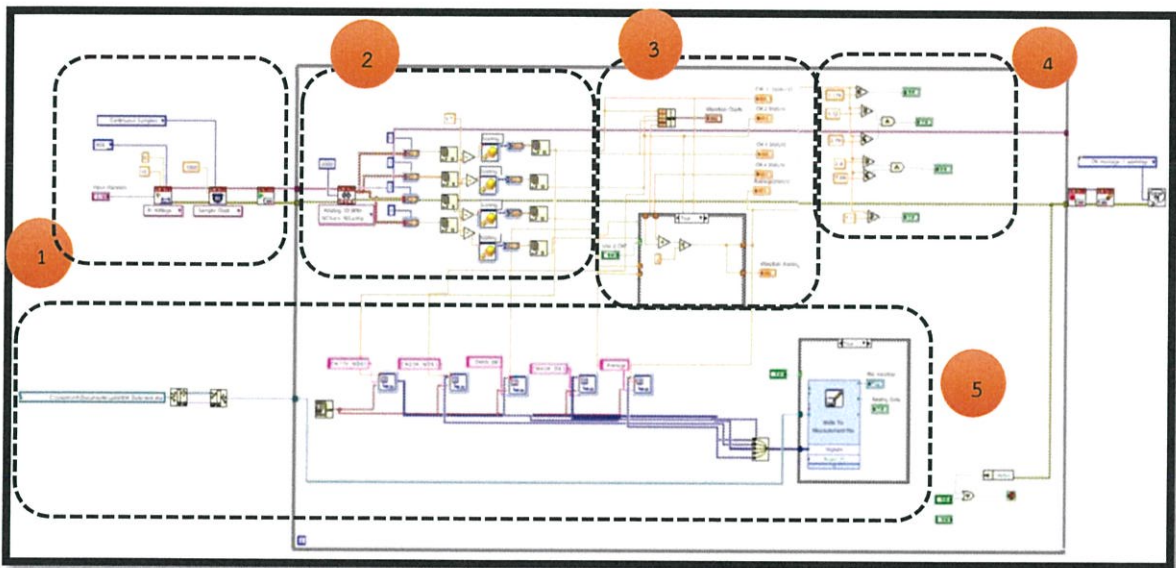
5. วงจร Converter ทำหน้าที่แปลงสัญญาณเอาท์พุทที่ส่งมาจาก Vibration Transmitter จากสัญญาณ 4-20 mA ให้เป็นสัญญาณ 0-10 V เพื่อให้ได้สัญญาณที่เหมาะสมกับ DAQ เนื่องจาก DAQ สามารถวัดแรงดันไฟฟ้าที่อยู่ในช่วง  $\pm 10 V$

6. DAQ (Data Acquisition) ในโครงการนี้ใช้ DAQ รุ่น NI USB 6211 ทำหน้าที่สื่อสารโดยตรงกับ Vibration Transmitter โดยผ่านการแปลงสัญญาณจากวงจร Converter เพื่อนำไปแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ตามโปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้

7. สาย USB ใช้ต่อเชื่อมระหว่าง DAQ กับโปรแกรม LabView เพื่อการสื่อสารและแสดงผลผ่านทางหน้าจอของโปรแกรมได้ โดย DAQ จะใช้ไฟเลี้ยงอุปกรณ์จากสาย USB นี้

### 3.3.2 การออกแบบซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวัด

ในการออกแบบระบบวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ใช้โปรแกรมแลปวิว เวอร์ชัน 2015 ซึ่งรายละเอียดการออกแบบมีดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมระบบวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์โดยใช้โปรแกรมแลปวิว

จากรูปที่ 3.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์โดยใช้โปรแกรมแลปวิวในการประมวลผลและแสดงผล ที่ประกอบด้วยโปรแกรมส่วนตั้งค่าการสื่อสารระหว่าง Vibration Transmitter กับโปรแกรมแลปวิวผ่านทางบอร์ด DAQ โดยรับสัญญาณอนาล็อกจาก Vibration Transmitter และทำการเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อให้เหมาะกับการประมวลผลด้วยโปรแกรมแลปวิว ในส่วนโปรแกรมการรับสัญญาณอินพุตและทำการ Scaling ค่าสัญญาณอินพุตที่รับมาจาก Vibration Transmitter ซึ่งเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า (Vrms) ให้เป็นหน่วยการสั่นสะเทือนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1 mm/วินาที ซึ่งจะนำมาแสดงผลในโปรแกรมแลปวิว ซึ่งค่าการสั่นสะเทือนจะแสดงในรูปตัวเลขและกราฟ โดยออกแบบให้ผู้ปฏิบัติงานวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์สามารถอ่านค่าการสั่นสะเทือนได้ง่ายและสะดวก นอกจากนี้ยังมีการแจ้งเตือนด้วยสีเพื่อบอกระดับการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ของเครื่องจักรตามมาตรฐาน ISO 10816 - 1 และสุดท้ายทำการบันทึกค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในรูปของ Microsoft Excel โดยผู้วิจัยได้ทำการ



2.1 Range เป็นขอบเขตค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด-ต่ำสุดที่รับเข้า DAQ ซึ่งอยู่ในช่วง 0-10 V

2.2 เลือกประเภทของระบบการวัดสัญญาณ จากรูปที่ 3.37 กำหนดรูปแบบของการต่อสายสัญญาณเข้ากับบอร์ด DAQ แบบ RSE (Referenced Single-Ended) ซึ่งการต่อประเภทนี้จะเป็นการต่อแบบเทียบ Ground ซึ่งเหมาะสำหรับการรับสัญญาณอินพุตประเภทแรงดันไฟฟ้า (การต่อแบบต่างๆได้อธิบายไว้บทที่ 2)

3) ฟังก์ชัน DAQmx Timing.vi ใช้กำหนดลักษณะสัญญาณที่ส่งมาจากฟังก์ชัน DAQmx Create Channel.vi หมายเลข 2 ซึ่งกำหนดให้

3.1 ใช้สัญญาณที่ส่งมาจาก DAQmx Create Channel.vi เป็นสัญญาณแบบต่อเนื่อง (Continuous Samples) เนื่องจากต้องการให้สัญญาณที่ส่งมาจากฟังก์ชัน DAQmx Create Channel.vi แสดงผลในกราฟเป็นแบบ Real-Time

3.2 Sample Rate ความเร็วที่ใช้ในการสุ่มสัญญาณ ซึ่งรายละเอียดการสุ่มได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 เนื่องจากต้องการเก็บค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในทุกๆ 2 วินาที ดังนั้นจึงกำหนด Sample Rate ให้มีค่าเท่ากับ 1000 Sample/s และ N=2000 Sample (ซึ่งได้อธิบายในบล็อกไดอะแกรมระบบวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในส่วนการรับสัญญาณอินพุตและ Scaling) ซึ่ง 2 วินาทีนี้เป็นค่าความละเอียดที่เหมาะสมสำหรับ DAQ รุ่น NI USB 6211

จากสูตร  $\frac{N}{Fs} = \text{Total Time}$

$$\text{แก้สมการ Total Time} = \frac{2000 \text{ Sample}}{1000 \text{ Sample/sec}} = 2 \text{ วินาที} \quad (3.1)$$

เมื่อ N= Number of Sample (Sample)

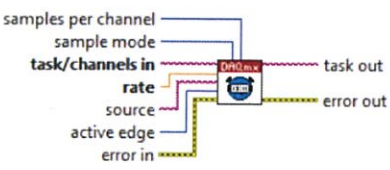

Fs= Sample Rate (Sample/s)

Total Time= เวลาที่ใช้ในการสุ่มข้อมูล (Sec)

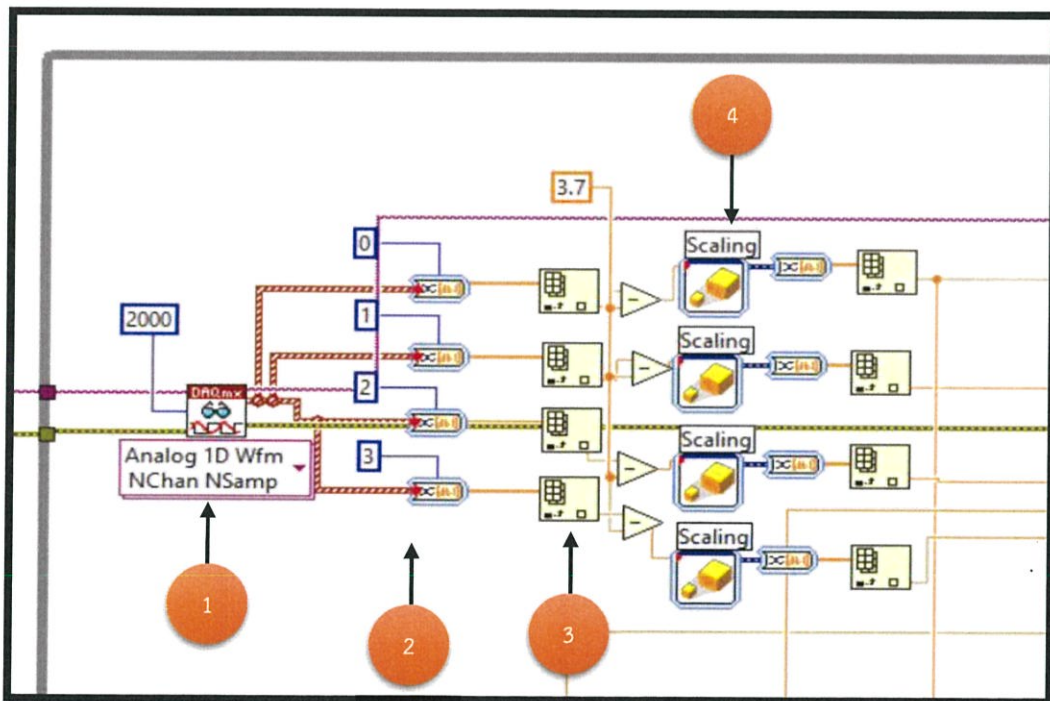
ตารางที่ 3.1 ฟังก์ชันโปรแกรมแลปวิวที่ใช้ในการตั้งค่าการสื่อสารกับ

Vibration Transmitter ผ่านบอร์ด DAQ

ชื่อคำสั่ง	ไอคอนที่แสดง	หน้าที่
DAQmx Create Channel.vi		<p>คำสั่งใช้สำหรับ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-กำหนดช่องอินพุตของสัญญาณเข้า</li> <li>-กำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด-ต่ำสุด</li> <li>-กำหนดลักษณะรูปแบบของต่อสัญญาณเข้ากับ DAQ</li> </ul>

DAQmx Timing.vi		คำสั่งใช้สำหรับ -กำหนดรูปแบบการสุ่มสัญญาณแบบต่อเนื่อง -กำหนดค่า Sample Rate
DAQmx Start Task.vi		-คำสั่งใช้สำหรับการเริ่มต้นทำงานของโปรแกรม

## 2. โปรแกรมการรับสัญญาณอินพุตและ Scaling


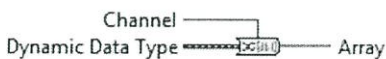
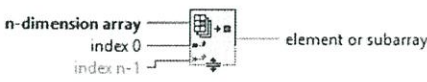



รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมระบบวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ ในการรับสัญญาณอินพุตและ Scaling

โปรแกรมการรับสัญญาณอินพุตและ Scaling ทำหน้าที่ Scaling ค่าสัญญาณอินพุตที่รับมา ซึ่งเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าให้เป็นค่าความเร็วในการสั่นสะเทือน โดยสัญญาณอินพุตที่รับมาเป็นแรงดันไฟฟ้าที่มีหน่วยเป็น Voltage แต่สัญญาณที่ต้องการให้โปรแกรมแลปวิวแสดงผลการวัดคือค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ ซึ่งมีหน่วยเป็น  $V_{rms}$  (mm/s) จึงต้องทำการ Scaling โดยเริ่มจาก

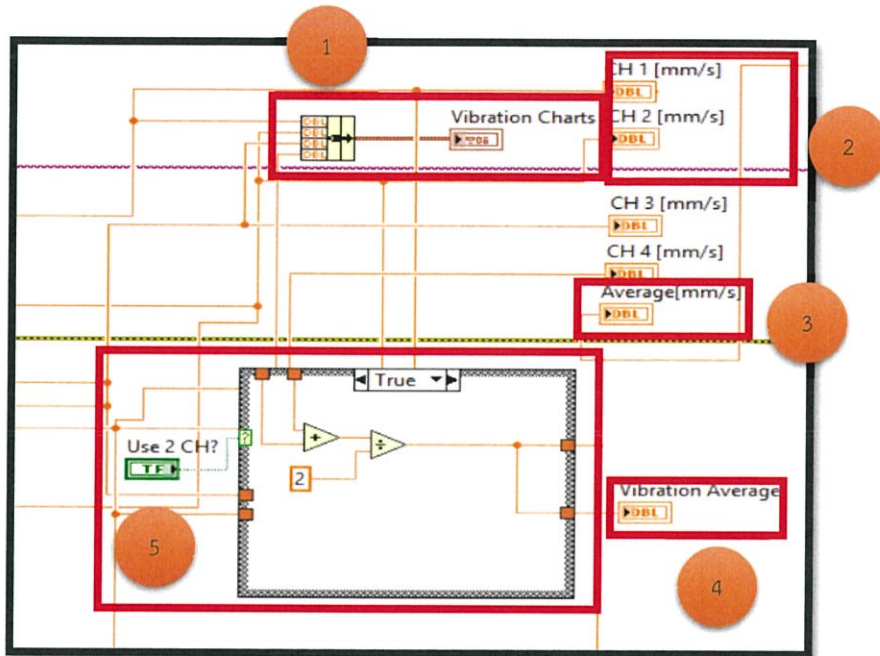
- 1) ฟังก์ชัน DAQmx Read.vi จะรับค่าสัญญาณจากฟังก์ชัน DAQmx Start.vi เข้ามา ฟังก์ชันนี้จะทำการอ่านค่าสัญญาณอินพุตซึ่งเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าและกำหนดค่า Number of Sample ซึ่งค่า Number of Sample คือจำนวนของการสุ่มสัญญาณที่ต้องการอ่านค่าในช่วงเวลานั้นๆ สัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจากฟังก์ชันนี้จะอยู่ในรูปของ Waveform
- 2) Icon Convert from Dynamic ไอคอนนี้ทำการรับค่าสัญญาณจากฟังก์ชัน DAQmx Read.vi ที่อยู่ในรูปของ Waveform มาทำการแปลงให้อยู่ในรูปของ Array
- 3) Icon Index Array ไอคอนนี้จะทำการแปลงค่าจาก Array ให้อยู่ในรูปของ Numeric ในส่วนนี้จะสังเกตเห็นว่าจากรูปที่ 3.8 มีการชดเชยค่าด้วยการลบด้วย 3.7 เนื่องจากการทดสอบวัดค่าแรงดันที่ออกจากวงจร Converter ด้วยโวลต์มิเตอร์กับค่าที่โปรแกรมแลปวิวที่เขียนขึ้นมาเพื่อทดสอบแรงดันก่อนทำการ Scaling เปลี่ยนหน่วยค่าแรงดันทั้งสองมีค่าไม่เท่ากันจึงต้องทำการชดเชยค่าเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง
- 4) ฟังก์ชัน Scaling ฟังก์ชันนี้จะทำการ Scaling ค่าโดยกำหนดค่า m (ค่าความชัน) และ ค่า c (จุดตัดแกน y) ซึ่งสามารถหาค่าเหล่านี้ได้จากสมการเส้นตรง  $y=mx+c$  โดยกำหนดค่าแกน y คือย่านการวัดของ Vibration Transmitter และแกน x คือแรงดันไฟฟ้าอินพุตที่เข้า DAQ ซึ่งตัว Vibration Transmitter มีการวัดค่าการสั่นสะเทือนในย่าน 0-25 Vrms (mm/s) และแรงดันไฟฟ้าซึ่งอยู่ในช่วง 0-10 V ทำการแก้สมการจะได้สมการ Scaling ที่มีค่าเท่ากับ  $y=2.5x$  ดังนั้นค่าที่ออกมาจะเป็นค่าความเร็วในการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ แต่เนื่องจากสัญญาณที่ออกมาจากฟังก์ชัน Scaling อยู่ในรูปของ Waveform จึงต้องทำการแปลงค่าอีกครั้งโดยใช้ไอคอน Convert from Dynamic และ Index Array ดังที่ได้อธิบายไว้ในตารางที่ 3.2 สุดท้ายจะได้ค่าความเร็วในการสั่นสะเทือนที่อยู่ในรูป Numeric

ตารางที่ 3.2 ฟังก์ชันโปรแกรมแลปวิวที่ใช้ในการรับสัญญาณอินพุตและ Scaling

ชื่อคำสั่ง	ไอคอนที่แสดง	หน้าที่
DAQmx Read.vi		- คำสั่งใช้สำหรับรับค่าสัญญาณอินพุต
Covert from Dynamic		- คำสั่งใช้สำหรับเปลี่ยนสัญญาณจากรูป Waveform ให้อยู่ในรูปของ Array
Index Array		- คำสั่งใช้สำหรับการแปลง Array ให้อยู่ในรูปของ Numeric

Scaling		- คำสั่งสำหรับใช้ในการ Scaling
---------	---	--------------------------------

### 3. โปรแกรมการแสดงผลและกราฟการสั่นสะเทือนของมอเตอร์

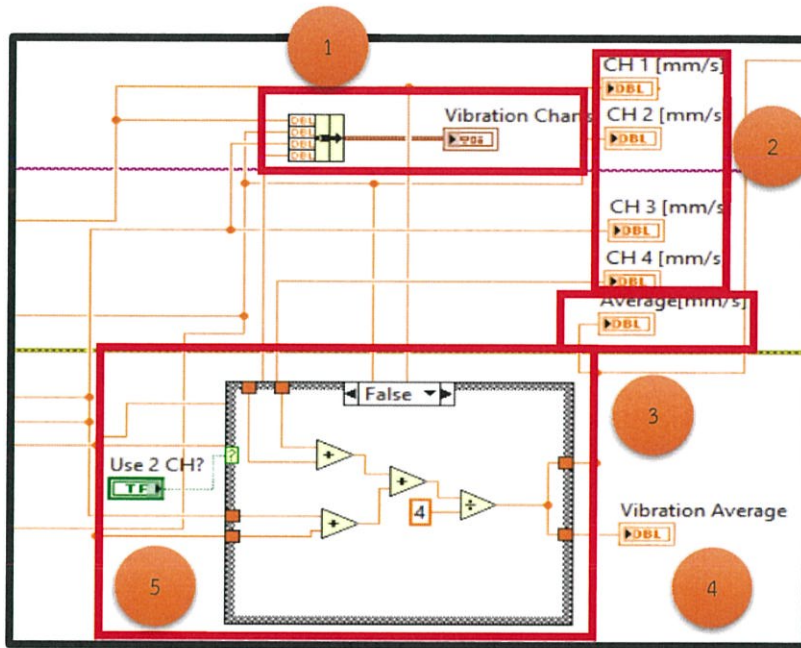


รูปที่ 3.9 บล็อกไดอะแกรมระบบวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในการแสดงผลและกราฟการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ (กรณีเป็นจริง)

โปรแกรมการแสดงผลและกราฟการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ ในกรณีที่เป็นจริงจะใช้กับมอเตอร์ Air Knife Blower ที่ผู้วิจัยได้ทำการทดลอง เป็นมอเตอร์ที่ทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนโดยติดตั้งตัว Vibration Transmitter เพียง 2 ตำแหน่ง คือที่ตำแหน่ง Vertical และ Horizontal เพื่อวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์และแสดงผล การหาค่าเฉลี่ยทำได้จากการนำค่าการสั่นสะเทือนของทั้ง 2 ตำแหน่งมารวมกันแล้วหารด้วยสอง โปรแกรมนี้จะแสดงกราฟ 2 กราฟคือกราฟแสดงการสั่นสะเทือนของโพรบแต่ละตัว กราฟแสดงการสั่นสะเทือนในแต่ละโพรบนั้นจะต้องใช้ Icon Bundle เพื่อทำการรวมกราฟทั้ง 2 เส้นให้อยู่ในกราฟเดียวกัน และจะแสดงกราฟเฉลี่ยค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ ซึ่งโปรแกรมในส่วนนี้จะประกอบด้วย 5 ส่วนดังนี้

- 1) ส่วนกราฟแสดงค่าการสั่นสะเทือนของ Vibration Transmitter ของโพรบแต่ละตัว
- 2) ส่วนแสดงตัวเลขค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ของ Vibration Transmitter ของโพรบแต่ละตัว
- 3) ส่วนแสดงตัวเลขค่าการสั่นสะเทือนเฉลี่ยของ Vibration Transmitter ของโพรบทุกตัวที่ทำการวัด

- 4) กราฟแสดงค่าการสั่นสะเทือนเฉลี่ย Vibration Transmitter ของโพรบทุกตัวที่ทำการวัด
- 5) การหาค่าเฉลี่ยการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ของโพรบทุกตัวที่ทำการวัด

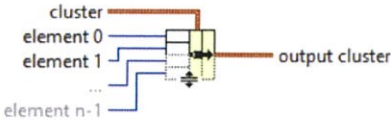




รูปที่ 3.10 บล็อกไดอะแกรมระบบวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในการแสดงค่า และกราฟการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ (กรณีเป็นแท็ง)

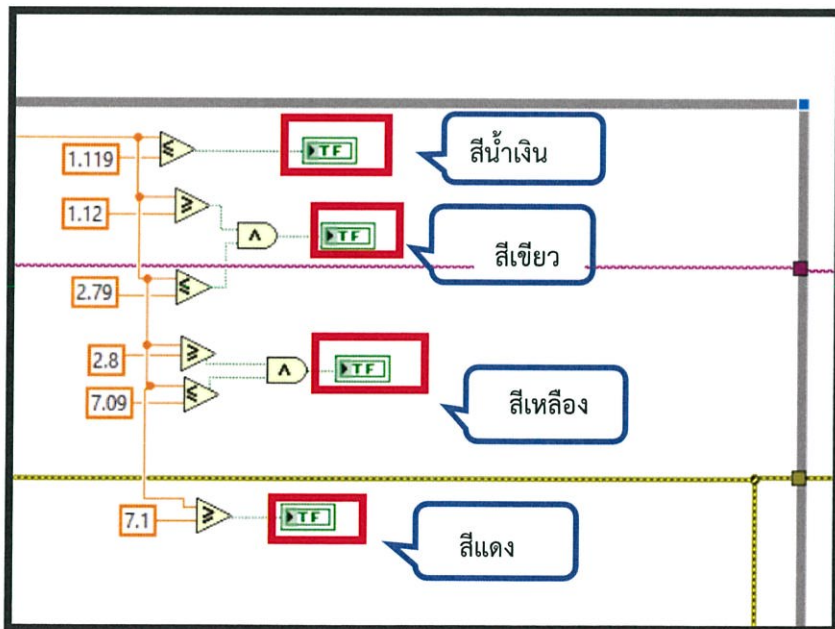
โปรแกรมในการแสดงค่าและกราฟการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในกรณีเป็นแท็ง ซึ่งเป็นกรณีทั่วไปที่ทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนทั้ง 4 ตำแหน่งพร้อมๆกัน ได้แก่ Non-Drive End Vertical, Non-Drive End Horizontal, Drive End Vertical และ Drive End Horizontal ดังนั้นจึงมีการแสดงค่าการสั่นสะเทือนทั้ง 4 ตำแหน่ง และมีการแสดงค่าเฉลี่ย ซึ่งค่าเฉลี่ยหาได้จากการนำค่าการสั่นสะเทือนทั้ง 4 ตำแหน่งมารวมกัน และหารด้วยสี่ และในโปรแกรมนี้อาจจะมีการแสดงกราฟ 4 กราฟ คือกราฟแสดงการสั่นสะเทือนของโพรบแต่ละตัว กราฟแสดงการสั่นสะเทือนของโพรบแต่ละตัวจะต้องใช้ Icon Bundle เพื่อทำการรวมกราฟทั้ง 4 เส้นให้อยู่ในกราฟเดียวกัน และจะแสดงกราฟเฉลี่ยค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ ซึ่งโปรแกรมในส่วนนี้ประกอบด้วย 5 ส่วนดังนี้

- 1) ส่วนกราฟแสดงค่าการสั่นสะเทือนของ Vibration Transmitter ของโพรบแต่ละตัว
- 2) ส่วนแสดงตัวเลขค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ของ Vibration Transmitter ของโพรบแต่ละตัว
- 3) ส่วนแสดงตัวเลขค่าการสั่นสะเทือนเฉลี่ยของ Vibration Transmitter ของโพรบทุกตัวที่ทำการวัด
- 4) แสดงกราฟค่าการสั่นสะเทือนเฉลี่ย Vibration Transmitter ของโพรบทุกตัวที่ทำการวัด
- 5) ส่วนการหาค่าเฉลี่ยการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ของโพรบทุกตัวที่ทำการวัด

ตารางที่ 3.3 ฟังก์ชันโปรแกรมแลปวิวที่ใช้ในการแสดงค่าและกราฟการสั่นสะเทือนของมอเตอร์

ชื่อคำสั่ง	ไอคอนที่แสดง	หน้าที่
Bundle		-ใช้สำหรับการรวมสัญญาณ
Waveform Chart		-ใช้สำหรับแสดงกราฟการสั่นสะเทือนของมอเตอร์
Numeric		-ใช้สำหรับแสดงค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์

4. โปรแกรมการเทียบมาตรฐาน ISO 10816-1



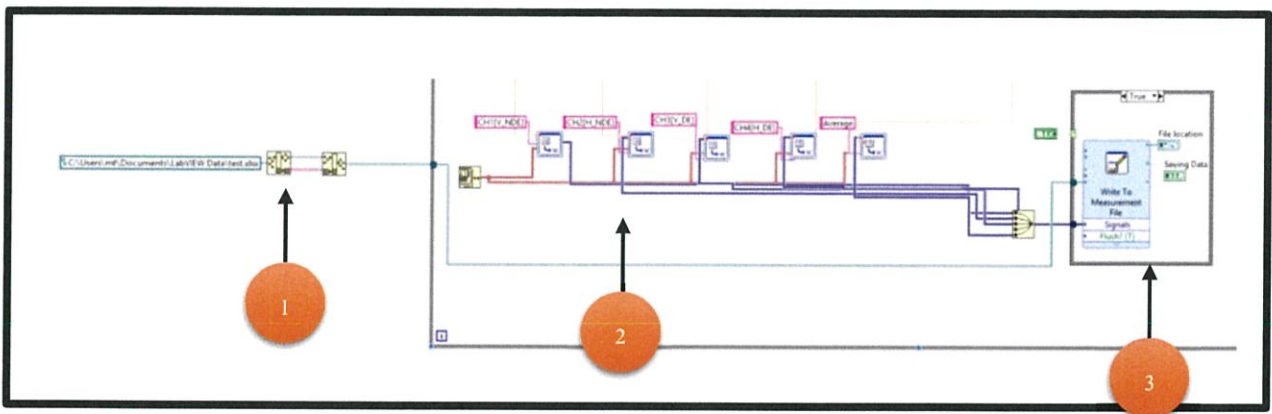
รูปที่ 3.11 บล็อกไดอะแกรมระบบวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในการเทียบมาตรฐาน ISO 10816-1

โปรแกรมการเทียบมาตรฐาน ISO 10816-1 ค่าที่นำมาเทียบกับมาตรฐานเป็นค่าเฉลี่ยของการสั่นสะเทือนดังที่กล่าวไว้เบื้องต้น โปรแกรมในส่วนนี้จะทำการแสดงสีระดับความรุนแรงในการสั่นสะเทือนในเครื่องจักร โดยจะแสดงทั้งหมด 4 สี ได้แก่

- 1) สีน้ำเงิน จะแสดงเป็นสีน้ำเงินในช่วง 0-1.119 Vrms (mm/s) สีน้ำเงินแสดงถึงเป็นการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรใหม่
- 2) สีเขียว จะแสดงเป็นสีเขียวในช่วง 1.12-2.79 Vrms (mm/s) สีเขียวแสดงถึงมอเตอร์เริ่มมีการสั่นสะเทือน
- 3) สีเหลือง จะแสดงเป็นสีเหลืองในช่วง 2.8-7.09 Vrms (mm/s) สีเหลืองแสดงถึงมอเตอร์เริ่มมีการสั่นรุนแรง
- 4) สีแดง จะแสดงเป็นสีแดงในช่วง 7.1 Vrms (mm/s) ขึ้นไป สีแดงแสดงถึงมอเตอร์มีความเสียหายอย่างมากควรที่จะซ่อม

จากรูปที่ 3.11 ในโปรแกรมจะสังเกตได้ว่าการใส่เครื่องหมาย AND เครื่องหมายนี้จะใช้เพื่อเป็นการกำหนดช่วงค่ามาตรฐาน เนื่องจากภาษาทางโปรแกรมไม่มีวิธีการกำหนดช่วง จึงใช้วิธีนี้ในการกำหนดช่วงแทน

## 5. โปรแกรมการบันทึกข้อมูล



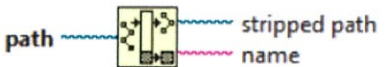
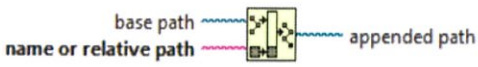

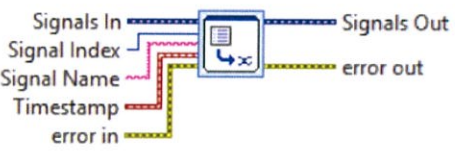
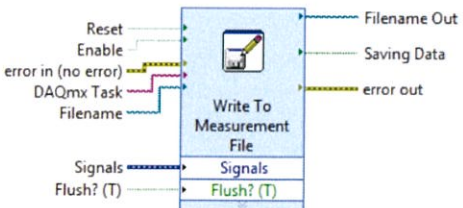
รูปที่ 3.12 บล็อกไดอะแกรมระบบวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในการบันทึกข้อมูล

โปรแกรมในการบันทึกข้อมูล จะประกอบด้วย

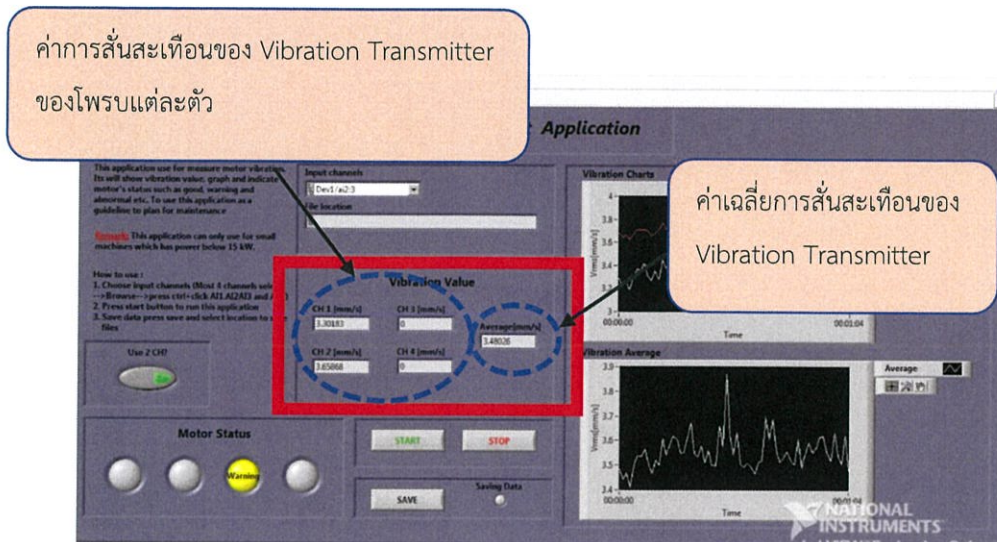
- 1) ฟังก์ชัน Strip path และ Build path เป็นฟังก์ชันที่ต้องใช้ร่วมกัน ฟังก์ชันนี้จะมีหน้าที่ให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกพื้นที่ที่ต้องการทำการบันทึกข้อมูล
- 2) ฟังก์ชัน Set Dynamics Data Attributes ค่าการสั่นสะเทือนที่วัดได้จะถูกรวมไว้ในฟังก์ชันนี้ และใช้ฟังก์ชัน Get Date/Time in Seconds เพื่อระบุเวลาแบบ Real-Time ในการวัดการสั่นสะเทือน

3) ฟังก์ชัน Write to Measurement File ฟังก์ชันนี้จะรับข้อมูลจากฟังก์ชัน Set Dynamics Data Attributes และเขียนข้อมูลเหล่านั้นลงใน Microsoft Excel นอกจากนี้ฟังก์ชันนี้จะมีไฟบอกสถานะว่าข้อมูลเหล่านั้นได้ถูกบันทึกหรือไม่ อีกทั้งยังสามารถบอกพื้นที่ที่ทำการบันทึกข้อมูลไว้

ตารางที่ 3.4 ฟังก์ชันโปรแกรมแลปวิวที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล

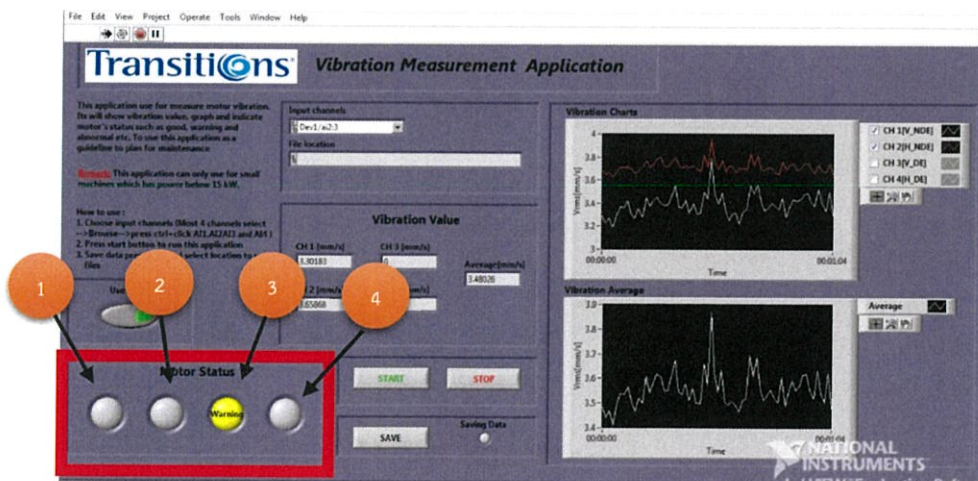
ชื่อคำสั่ง	ไอคอนที่แสดง	หน้าที่
Strip path		-ใช้สำหรับเลือกพื้นที่ที่ต้องการบันทึกค่าการสั่นสะเทือน
Build Path		-เป็นคำสั่งที่ใช้ร่วมกับคำสั่ง Strip path
Get Date/Time in Seconds		-เป็นคำสั่งที่ระบุเวลานั้นๆ (Real-Time)
Set Dynamics Data Attributes		-ใช้สำหรับรวมข้อมูลที่ต้องการบันทึก เพื่อส่งข้อมูลเหล่านั้นไปยังคำสั่ง Write to Measurement File
Write to Measurement File		-ใช้สำหรับบันทึกค่าการสั่นสะเทือนให้อยู่ในรูปของ Microsoft Excel

หน้าจอ Front Panel ของเครื่องวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์โดยใช้โปรแกรมแลปวิว ในการแสดงผลการวัดที่ออกแบบให้หน้าจอแสดงผล Front Panel แสดงผลการวัดที่ชัดเจน มีการจัดหมวดหมู่และแจ้งเตือนระดับความรุนแรงในการสั่นสะเทือนโดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานด้วยสี เพื่อให้ง่ายและสะดวกในการใช้งานสำหรับผู้ทำการวัด ซึ่งโปรแกรมที่ออกแบบมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.13 หน้าจอ Front Panel เครื่องวัดค่าการสั่นสะเทือนแสดงค่า Vibration Value

1) Vibration Value มีลักษณะเป็นช่องแสดงค่าการสั่นสะเทือนทั้งหมด 5 ค่า โดย 4 ช่องแรกแสดงค่าการสั่นสะเทือนของ Vibration Transmitter ของโพรบแต่ละตัวที่วัดในตำแหน่งต่างๆของมอเตอร์มอเตอร์ ซึ่งแสดงค่าการวัดด้วยทศนิยม 4 ตำแหน่ง และหากโพรบตัวใดไม่มีการใช้งาน ค่าในช่องแสดงค่าการสั่นสะเทือนจะมีค่าเป็น 0 ช่องสุดท้ายใช้แสดงค่าเฉลี่ยการสั่นสะเทือนของ Vibration Transmitter ของทุกโพรบที่ใช้งาน โดยแสดงค่าการสั่นสะเทือนด้วยทศนิยม 4 ตำแหน่ง ซึ่งเป็นค่าที่จะนำไปเทียบกับมาตรฐาน ISO10816-1 เป็นมาตรฐานที่ใช้ประเมินระดับความรุนแรงในการสั่นสะเทือนของมอเตอร์



รูปที่ 3.14 หน้าจอ Front Panel เครื่องวัดค่าการสั่นสะเทือนแสดงค่า Motor Status

2) Motor Status แจ้งเตือนระดับความรุนแรงในการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ซึ่งใช้ค่าเฉลี่ยการสั่นสะเทือนเทียบกับมาตรฐาน ISO10816-1 และแสดงสีที่บ่งบอกถึงระดับความเสียหายของมอเตอร์ที่ได้ทำการวัด ซึ่งแบ่งระดับความรุนแรงในการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เป็น 4 ระดับดังนี้



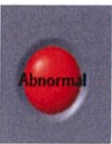
ระดับที่ 1 Very Good จะแจ้งเตือนเป็นสีน้ำเงินเมื่อมอเตอร์มีการสั่นสะเทือนในช่วง 0-1.119 Vrms (mm/s) แสดงถึงมอเตอร์อยู่ในสภาพที่ดียังไม่มีอาการสั่นสะเทือน



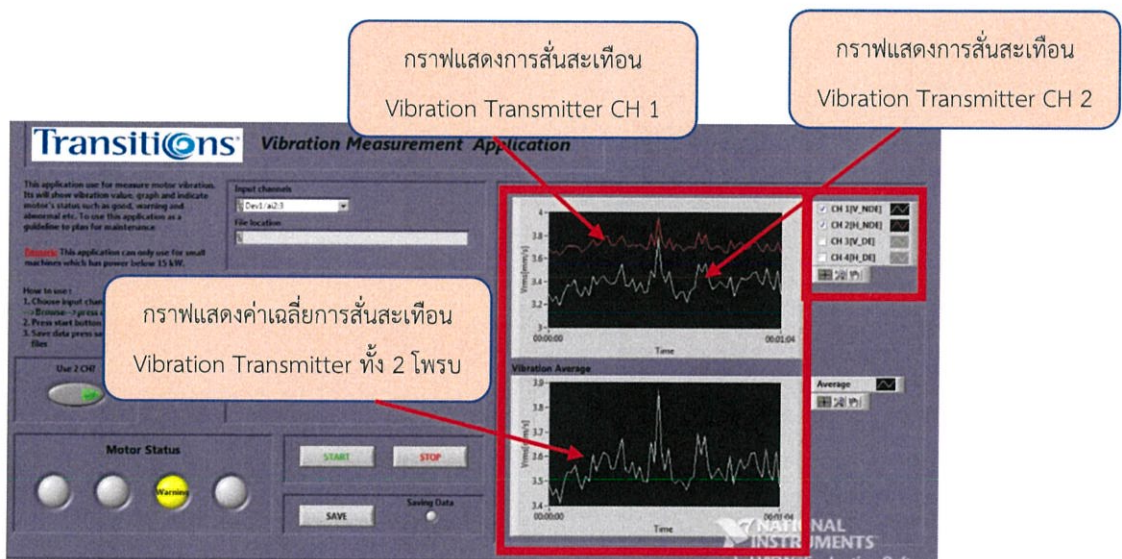
ระดับที่ 2 Good จะแจ้งเตือนเป็นสีเขียวเมื่อมอเตอร์มีการสั่นสะเทือนในช่วง 1.12-2.79 Vrms (mm/s) แสดงถึงมอเตอร์เริ่มมีสภาพการสั่นสะเทือนเกิดขึ้น



ระดับที่ 3 Warning จะแจ้งเตือนเป็นสีเหลืองเมื่อมอเตอร์มีการสั่นสะเทือนในช่วง 2.8 - 7.09 Vrms (mm/s) แสดงถึงมอเตอร์เริ่มมีสภาพการสั่นสะเทือนที่รุนแรง



ระดับที่ 4 Warning จะแจ้งเตือนเป็นสีแดงเมื่อมอเตอร์มีการสั่นสะเทือนในช่วง 7.1 Vrms (mm/s) ขึ้นไป แสดงถึงมอเตอร์เริ่มมีสภาพการสั่นสะเทือนที่รุนแรงมากควรที่จะซ่อมบำรุง



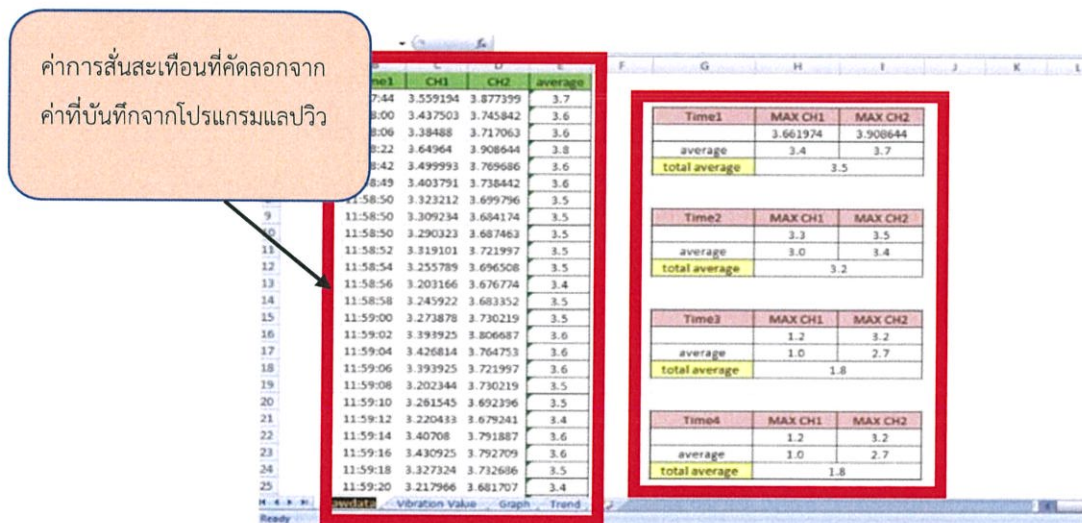
รูปที่ 3.15 หน้าจอ Front Panel เครื่องวัดค่าการสั่นสะเทือนแสดงค่า Vibration Charts และ Vibration Average

3) Vibration Chart กราฟแสดงค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ของโพรบแต่ละตัว โดยแสดงในหน่วย Vrms (mm/s) กำหนดให้ CH1 เป็น Vibration Transmitter ที่วัดการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งแนวรัศมีแกนนอนของมอเตอร์แสดงด้วยกราฟสีแดง และกำหนดให้ CH2 เป็น Vibration Transmitter ที่วัดการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งแนวรัศมีแกนตั้งของมอเตอร์แสดงด้วยกราฟสีเขียว โดยแกน X ของกราฟคือเวลา แกน y คือความเร็วในหน่วย Vrms (mm/s)

4) Vibration Average กราฟแสดงค่าเฉลี่ยการสั่นสะเทือนของ Vibration Transmitter ของทุกโพรบที่ใช้งาน แสดงด้วยกราฟสี่ขาวโดยแกน X ของกราฟคือเวลา แกน y คือความเร็วในหน่วย Vrms (mm/s) ด้านซ้ายของกราฟจะมีฟังก์ชันให้เลือกขยายดูช่วงใดๆของกราฟที่เราสนใจและสามารถเลือกดูเฉพาะกราฟค่าการสั่นสะเทือนของโพรบที่ต้องการศึกษาเป็นพิเศษได้ ทำให้สามารถวิเคราะห์ขณะปฏิบัติงานได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

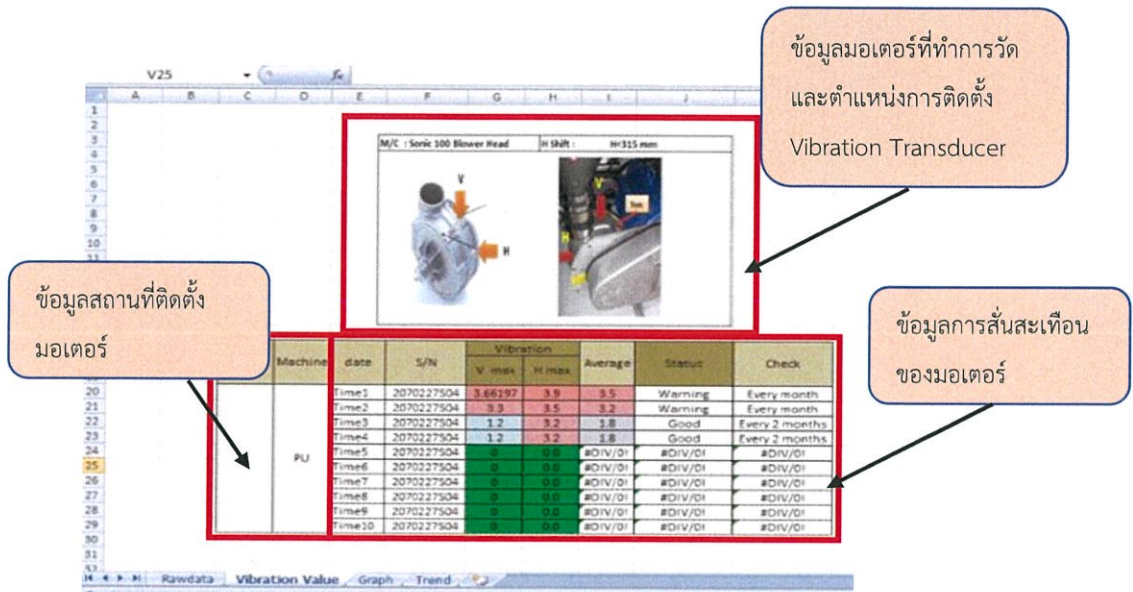
### 3.3.3 การออกแบบซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการรวบรวมวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เสร็จเรียบร้อยแล้วจึงนำค่าการสั่นสะเทือนที่ถูกบันทึกโดยโปรแกรมแลปวิวไปคัดลอกวางในโปรแกรม Microsoft Excel ที่ออกแบบไว้ทั้งหมด 4 sheet ซึ่งแต่ละ sheet จะแสดงข้อมูลที่ช่วยในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของมอเตอร์แบบอัตโนมัติ แต่ละ sheet มีรายละเอียดดังนี้



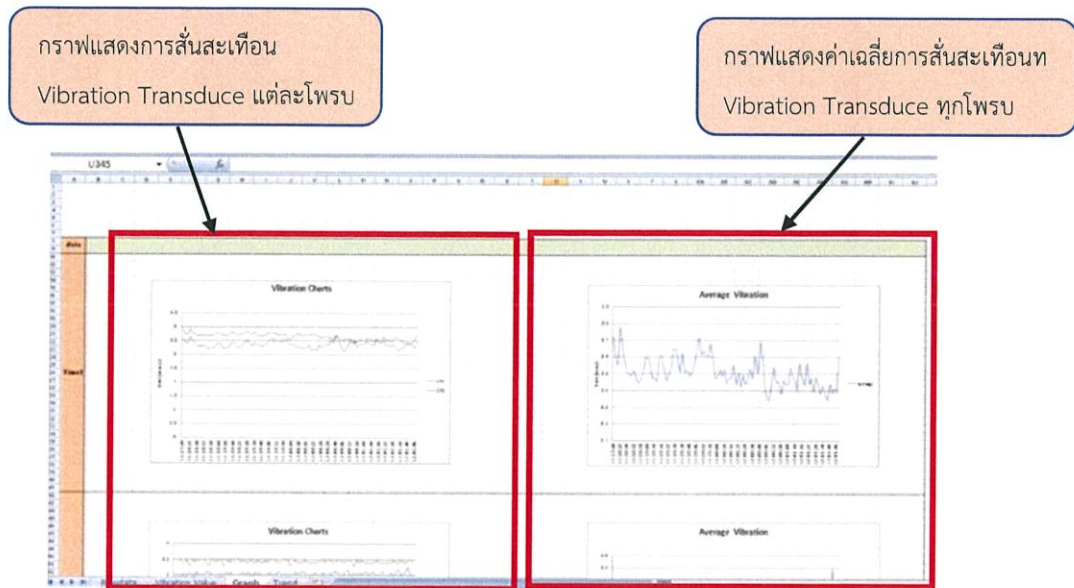
รูปที่ 3.16 โปรแกรม Microsoft Excel sheet ที่ 1 ที่นำค่าการสั่นสะเทือนที่บันทึกจากโปรแกรมแลปวิวมาใช้

Sheet 1 ประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นส่วนที่คัดลอกข้อมูลค่าการสั่นสะเทือนที่ได้จากการบันทึกจากโปรแกรมแลปวิวคัดลอกลงในตารางข้อมูลดิบที่ได้สร้างไว้ โดยข้อมูลที่อยู่ใน sheet ที่ 1 ในส่วนนี้จะมีรูปแบบเหมือนกับข้อมูลที่ถูกบันทึกด้วยโปรแกรมแลปวิวซึ่งแสดงข้อมูลเวลาที่ทำการวัด ค่าการสั่นสะเทือนที่วัดได้จาก Vibration Transmitter ของโพรบแต่ละตัวและค่าการสั่นสะเทือนเฉลี่ยของ Vibration Transmitter ของทุกโพรบ ซึ่งข้อมูลส่วนที่ 2 จะลิงค์ข้อมูลมาจากส่วนแรกโดยจะแสดงข้อมูล ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดที่วัดได้จาก Vibration Transmitter ของโพรบแต่ละตัว ค่าเฉลี่ยการสั่นสะเทือนของ Vibration Transmitter ของโพรบแต่ละตัวและค่าการสั่นสะเทือนเฉลี่ยที่วัดได้จาก Vibration Transmitter ของทุกโพรบ ข้อมูลใน sheet ที่ 1 นี้จะถูกเชื่อมโยงไปอีก 3 sheet เพื่อให้สะดวกและประหยัดเวลาแก่ผู้ใช้งานมากยิ่งขึ้น



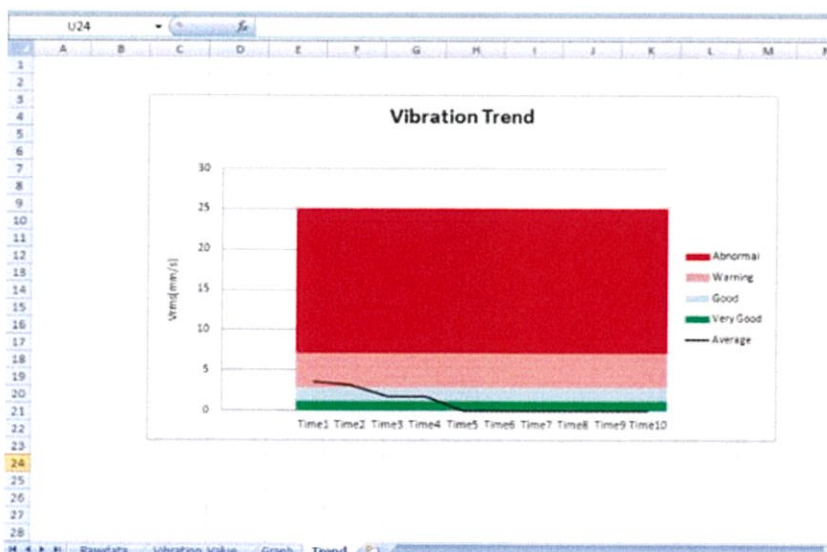
รูปที่ 3.17 โปรแกรม Microsoft Excel ซีทที่ 2 แสดงค่าการสั่นสะเทือน แต่ละแนวแกนและบอกระดับความรุนแรงในการสั่นสะเทือน

Sheet 2 ประกอบด้วยข้อมูล 3 ส่วน ส่วนแรกจะแสดงข้อมูลของมอเตอร์ ประกอบด้วยยี่ห้อและรูปภาพของมอเตอร์ที่ทำการวัดพร้อมทั้งมีรูปภาพมอเตอร์และตำแหน่งในการติดตั้ง Vibration Transmitter ของโพรบแต่ละตัว ส่วนที่ 2 จะแสดงสถานที่ที่ติดตั้งมอเตอร์ที่ทำการวัดการสั่นสะเทือนว่าอยู่ในไลน์การผลิตใด อยู่ในกระบวนการไหนในไลน์การผลิตนั้นๆพร้อมทั้งมีการแสดง Serial Number ของมอเตอร์ที่ทำการวัดด้วย ส่วนที่ 3 เป็นส่วนแสดงค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ซึ่งลิงค์มาจากซีทที่ 1 บอกค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดที่วัดได้จาก Vibration Transmitter ของโพรบแต่ละตัว ค่าเฉลี่ยการสั่นสะเทือนของ Vibration Transmitter ของโพรบแต่ละตัวที่วัดแต่ละแนวแกนของมอเตอร์ แต่จะมีส่วนที่เพิ่มมาจากซีทที่ 1 คือ จะมีการแสดงสีตามระดับความรุนแรงในการสั่นสะเทือนเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ISO10816-1 โดยการแสดงเป็นสีเขียวในช่วง 0-1.119 Vrms (mm/s) บอถึงมอเตอร์อยู่ในสภาพที่ดี สีฟ้าในช่วง 1.12-2.79 Vrms (mm/s) บอถึงมอเตอร์เริ่มมีการสั่นสะเทือนแสดงเป็นสีชมพูในช่วง 2.8-7.09 Vrms (mm/s) บอถึงมอเตอร์เริ่มมีการสั่นรุนแรง แสดงเป็นสีแดงในช่วง 7.1 Vrms (mm/s) ขึ้นไป บอถึงมอเตอร์มีความเสียหายอย่างมากควรที่จะซ่อมบำรุง เพื่อจ่ายต่อการสังเกต พร้อมบอกระดับความรุนแรงในการสั่นอีกทั้งยังบอความถี่ในการเข้าไปตรวจเช็คมอเตอร์เครื่องนั้นๆ โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยการสั่นสะเทือนที่วัดได้จาก Vibration Transmitter ของทุกโพรบ ถ้าค่าการสั่นสะเทือนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.1 Vrms (mm/s) ขึ้นไป ต้องทำการตรวจสอบสภาพมอเตอร์ทุกอาทิตย์ ถ้าค่าการสั่นสะเทือนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.8-7.09 Vrms (mm/s) ต้องทำการตรวจสอบสภาพมอเตอร์เดือนละ 1 ครั้ง ถ้าค่าการสั่นสะเทือนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.12-2.79 Vrms (mm/s) ต้องทำการตรวจสอบสภาพมอเตอร์ 2 เดือนต่อครั้ง ถ้าค่าการสั่นสะเทือนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0-1.119 Vrms (mm/s) ต้องทำการตรวจสอบสภาพมอเตอร์ 2 เดือนต่อครั้งเช่นกัน ซึ่งเป็นหลักเกณฑ์ที่หน่วยงานซ่อมบำรุงของบริษัทตั้งขึ้น



รูปที่ 3.18 โปรแกรม Microsoft Excel ซีทที่ 3 กราฟแสดงการสั่นสะเทือน Vibration Transmitter ของโพรบแต่ละตัวและกราฟแสดงค่าเฉลี่ยการสั่นสะเทือน Vibration Transmitter ของทุกโพรบ

Sheet 3 กราฟแสดงการสั่นสะเทือน Vibration Transmitter ของโพรบแต่ละตัวโดยกราฟเส้นสีน้ำแดงจะบอกค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในแนวแกนตั้งของมอเตอร์ และเส้นกราฟสีน้ำเงินจะบอกการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในแนวนอนของมอเตอร์ ส่วนกราฟแสดงค่าเฉลี่ยการสั่นสะเทือน Vibration Transmitter ของทุกโพรบที่ทำการวัดนั้นจะแสดงด้วยเส้นกราฟสีน้ำเงิน สามารถบันทึกกราฟการสั่นสะเทือนที่ทำการวัดได้ถึง 10 ครั้ง เพื่อใช้ประกอบในการพิจารณาวิเคราะห์สภาพของมอเตอร์ว่ามีความเสียหายมากน้อยเพียงใดสำหรับวางแผนและลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง



รูปที่ 3.19 โปรแกรม Microsoft Excel ซีทที่ 4 แสดงแนวโน้มค่าการสั่นสะเทือนของการวัดทุกครั้ง

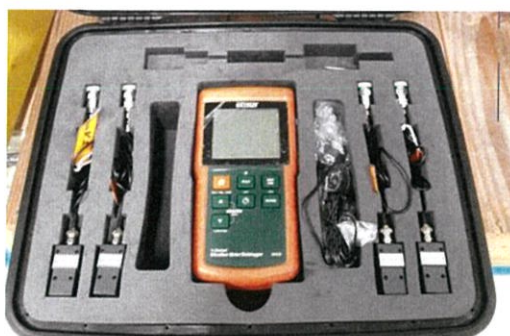
Sheet 4 เป็นซีทที่ไว้พิจารณาแนวโน้มน้ำค่าการสั่นสะเทือน โดยจะแสดงค่าการสั่นสะเทือนเฉลี่ยของทุกครั้งที่เคยทำการวัดมาแล้ว โดยแกน x ของกราฟคือครั้งที่ทำการวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ตัวนั้นๆ ซึ่งสามารถทำการวัดได้มากที่สุดถึง 10 ครั้ง แกน y คือความเร็วเฉลี่ยในการวัดแต่ละครั้งในหน่วย Vrms (mm/s) เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือนและการวางแผนซ่อมบำรุง โดยจะมีพื้นหลังของกราฟแสดงสีบอกระดับความรุนแรงในการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เปรียบเทียบกับมาตรฐาน ISO 10816-1 พื้นหลังเป็นสีเขียวในช่วง 0-1.119 Vrms (mm/s) เป็นฟ้าในช่วง 1.12-2.79 Vrms (mm/s) เป็นสีชมพูในช่วง 2.8-7.09 Vrms (mm/s) และเป็นสีแดงในช่วง 7.1 Vrms (mm/s) ขึ้นไป

การพัฒนากระบวนการวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์และเปรียบเทียบขั้นตอนที่ปฏิบัติการวัดระหว่างระบบวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์แบบเดิมที่ใช้มิเตอร์วัดการสั่นสะเทือนยี่ห้อ Extech Instrument กับระบบการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรมแลปวิวในการแสดงผลการวัด มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

### 3.4 เปรียบเทียบขั้นตอนการปฏิบัติงานระบบวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์

การเปรียบเทียบจะทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ Air Knife Blower ซึ่งเป็นมอเตอร์ที่อยู่ในกระบวนการเตรียมสภาพผิวเลนส์ก่อนการเคลือบสาร ซึ่งเป็นมอเตอร์ขนาด 7 kW โดยใช้ Velocity Transmitter จำนวน 2 โพรบ เพื่อวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ทั้งในแนวรัศมีแกนนอนและแนวรัศมีแกนตั้ง (ปฏิบัติการวัดในไลน์การผลิตที่ 1 ที่เครื่อง PU)

#### 3.4.1 ระบบวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์แบบเดิมโดยใช้มิเตอร์วัดการสั่นสะเทือนยี่ห้อ Extech Instrument



รูปที่ 3.20 มิเตอร์วัดการสั่นสะเทือนยี่ห้อ Extech Instrument

1) เปิดมิเตอร์วัดการสั่นสะเทือนยี่ห้อ Extech Instrument และตรวจสอบความเรียบร้อยของ Vibration Transmitters ที่เสียบในแต่ละ Channel ของมิเตอร์ให้แน่นทุก Channel



รูปที่ 3.21 ตรวจสอบความเรียบร้อยของมิเตอร์ก่อนใช้งาน

2) ติดตั้งโพรบ Vibration Transmitters สองโพรบที่มอเตอร์เพื่อวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในแนวรัศมีแกนนอนและแนวรัศมีแกนตั้ง ในกรณีที่พื้นที่ติดตั้งทั้งในแนวรัศมีแกนนอนและแนวรัศมีแกนตั้งไม่อำนวยต่อการติดตั้งโพรบสามารถติดตั้งโพรบให้อยู่ในลักษณะตั้งฉากกันได้



รูปที่ 3.22 ตำแหน่งการติดตั้ง Vibration Transmitter ในลักษณะตั้งฉากกัน

3) เริ่มทำการวัดโดยดูค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์แต่ละแนวแกนบนหน้าจอมิเตอร์ แล้วจดบันทึกในแบบฟอร์มบันทึกค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ที่บริษัทจัดทำขึ้น โดยทำการวัดครั้งละ 3 นาที เพื่อให้ได้ค่าการสั่นสะเทือนที่เพียงพอเหมาะสมต่อการวิเคราะห์



รูปที่ 3.23 หน้าจอมิเตอร์แสดงผลค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์

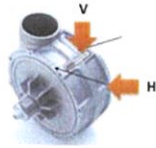
4) นำแบบฟอร์มที่จัดบันทึกค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์มากรอกข้อมูลลงในคอมพิวเตอร์ เพื่อรวบรวมข้อมูลจัดทำนำเสนอข้อมูลการสั่นสะเทือน



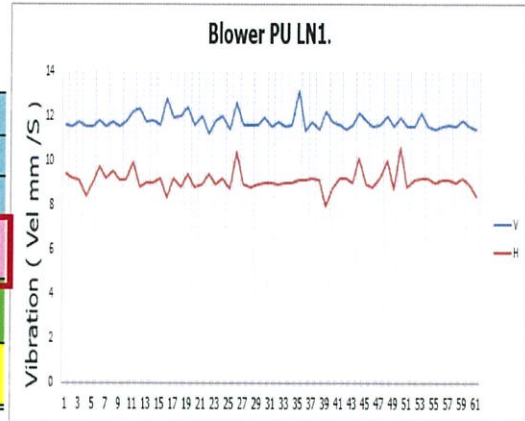
รูปที่ 3.24 พนักงานปฏิบัติการรวบรวมข้อมูลค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์

5) พนักงานปฏิบัติคำนวณค่าเฉลี่ยการสั่นสะเทือนในแต่ละแนวแกนของมอเตอร์ พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ISO10816-1 จัดทำนำเสนอข้อมูลโดยใช้สีในการบอกระดับความรุนแรงในการสั่นสะเทือนของมอเตอร์และแสดงค่าการสั่นสะเทือนทุกค่าด้วยกราฟ

Date : 15-05-2017      KW :  
M/C : Sonic 100 Blower Head      H Shift :      H<315 mm



Line	Machine	S/N	Vibration			
			V		H	
			Max	Avg	Max	Avg
1	PU	2070227504	3.7	3.4	3.9	3.7
	EU	2070112511	8.7	5.7	6.2	4.9
	HC	2070227503	19.2	18.4	8.9	7.5



รูปที่ 3.25 การนำเสนอค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ที่พนักงานจัดทำขึ้น

การนำเสนอค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์แบบเดิมโดยใช้มิเตอร์วัดการสั่นสะเทือนยี่ห้อ Extech Instrument จัดทำในโปรแกรม Microsoft Excel โดยทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ ได้ข้อมูลทั้งหมดดังนี้ ทำการวัดการสั่นสะเทือนมอเตอร์ Air Knife Blower ยี่ห้อ Sonic 100 Blower Head Serial Number ของมอเตอร์คือ 2070227504 มีค่าการสั่นสะเทือนมากสุดในแนวแกนตั้งเท่ากับ 3.7 Vrms (mm/s) ระดับความรุนแรงในการสั่นสะเทือนอยู่ในระดับมอเตอร์เริ่มมีการสั่นที่รุนแรงแสดงเป็นแถบสีชมพู และมีค่าการสั่นสะเทือนเฉลี่ยในแนวแกนตั้งเท่ากับ 3.4 Vrms (mm/s) ระดับความรุนแรงในการสั่นสะเทือนอยู่ในระดับมอเตอร์เริ่มมีการสั่นที่รุนแรงแสดงเป็นแถบสีชมพู ในส่วนของแนวแกนนอนของมอเตอร์มีค่าการสั่นสะเทือนมากสุดในแนวแกนนอนเท่ากับ 3.9 Vrms (mm/s) ระดับความรุนแรงในการสั่นสะเทือนอยู่ในระดับมอเตอร์เริ่มมีการสั่นที่รุนแรงแสดงเป็นแถบสีชมพู และมีค่าการสั่นสะเทือนเฉลี่ยในแนวแกนนอนเท่ากับ 3.7 Vrms (mm/s) ระดับความรุนแรงในการสั่นสะเทือนอยู่ในระดับมอเตอร์เริ่มมีการสั่นที่รุนแรงแสดงเป็นแถบสีชมพู ค่าการสั่นสะเทือนทั้งสองแนวแกนของมอเตอร์ถูกแสดงด้วยกราฟ โดยสีน้ำเงินแทนค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในแนวแกนตั้ง และกราฟเส้นสีแดงแทนค่าการเคลื่อนที่ในแนวแกนนอนของมอเตอร์

3.4.2 ระบบวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ที่ได้จากงานวิจัยโดยวัดการสั่นสะเทือนแสดงผลผ่านโปรแกรมแลปวิว



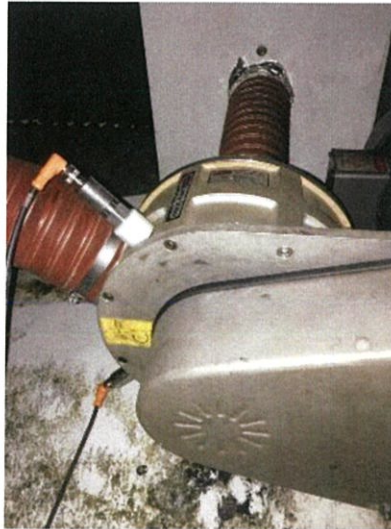
รูปที่ 3.26 ระบบวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์โดยแสดงผลผ่านโปรแกรมแลปวิว

1) เปิดโปรแกรมแลปวิวที่ออกแบบไว้สำหรับวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ และเปิด Switch ที่กล่องควบคุม



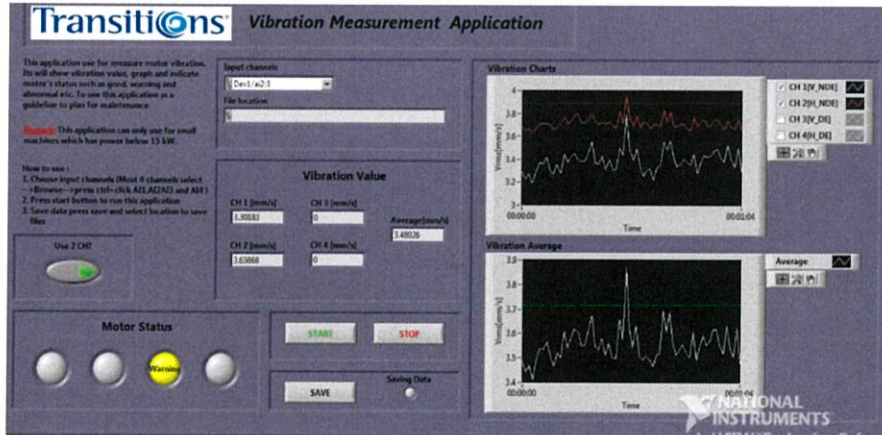
รูปที่ 3.27 ตรวจสอบความเรียบร้อยของโปรแกรมแลปวิวที่ก่อนใช้งาน

2) ติดตั้งโพรบ Vibration Transmitters ทั้งสองโพรบที่มอเตอร์เพื่อวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในแนวรัศมีแกนนอนและแนวรัศมีแกนตั้ง ในกรณีที่พื้นที่ติดตั้งทั้งในแนวรัศมีแกนนอนและแนวรัศมีแกนตั้งไม่อำนวยต่อการติดตั้งโพรบสามารถติดตั้งโพรบให้อยู่ในลักษณะตั้งฉากกันได้ ซึ่งทำเหมือนกันกับระบบการวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์แบบเดิม



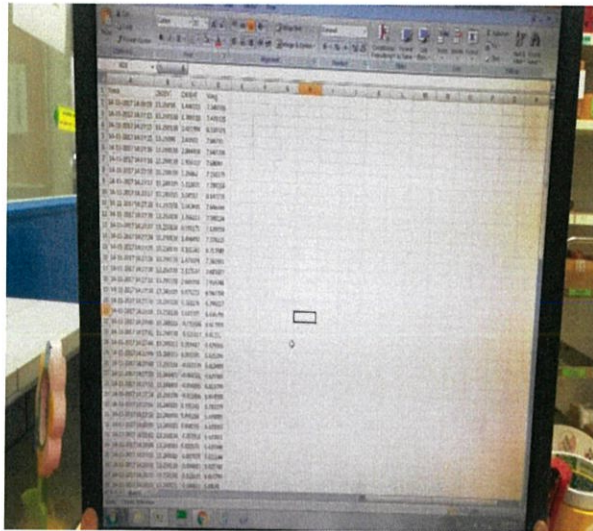
รูปที่ 3.28 ตำแหน่งการติดตั้ง Vibration Transmitters ในลักษณะตั้งฉากกัน

3) เมื่อเริ่มทำการวัด หน้าจอ Front Panel ของโปรแกรมแลปวิวที่ออกแบบไว้จะแสดงค่าการสั่นสะเทือนในแต่ละแนวแกนของมอเตอร์แสดงทั้งเป็นตัวเลขและกราฟ และสามารถแจ้งเตือนด้วยสีตามระดับความรุนแรงในการสั่นสะเทือนเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ISO 10816-1 ในลักษณะ Real Time ทำการวัดครั้ง 3 นาทีเหมือนระบบการวัดแบบเก่า



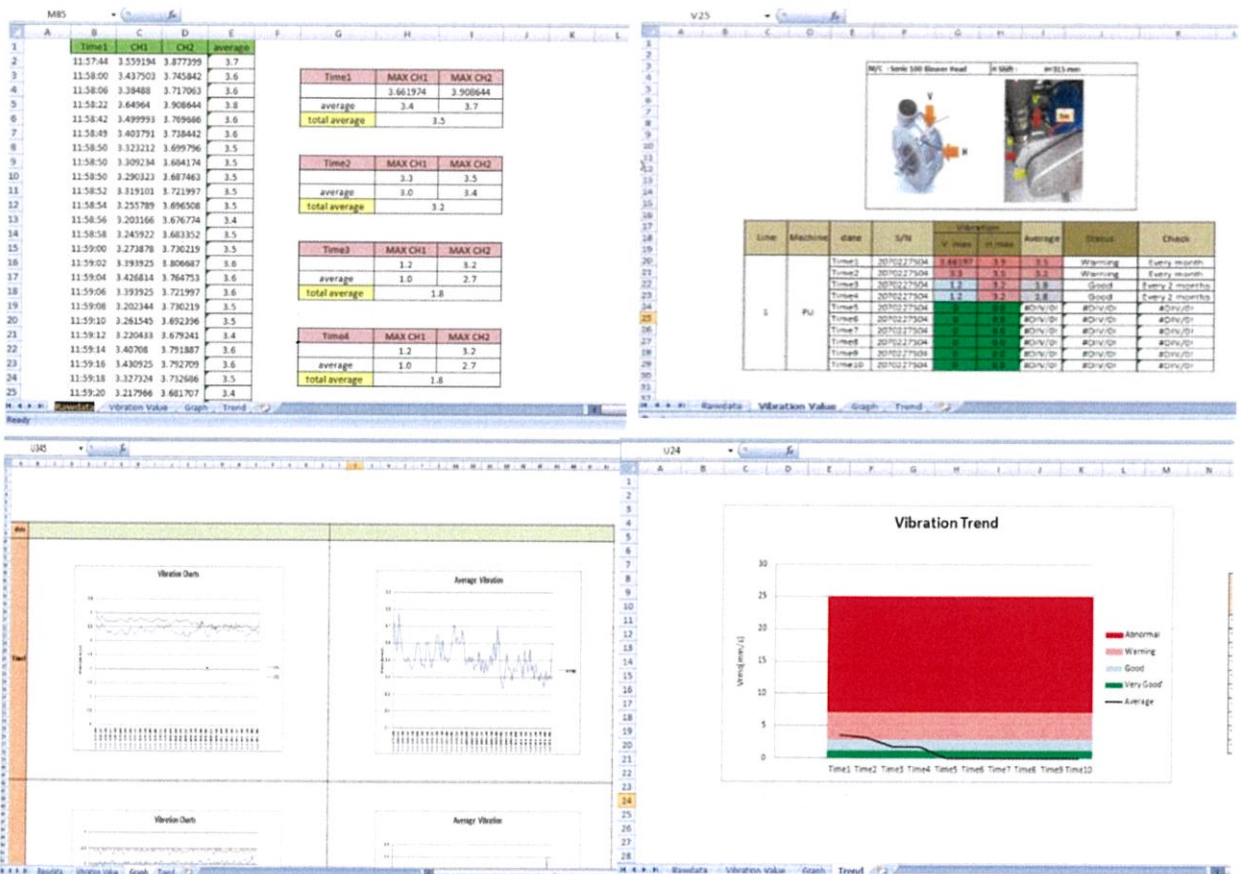
รูปที่ 3.29 หน้าจอโปรแกรมแลปวิวแสดงค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์

4) เมื่อทำการวัดเสร็จเรียบร้อยแล้วจะได้ค่าการสั่นสะเทือนในแต่ละแนวแกนและค่าเฉลี่ยการสั่นสะเทือนที่บันทึกโดยโปรแกรมแลปวิวอย่างเรียบร้อย ไม่ต้องทำการจดบันทึกเองเหมือนกับระบบการวัดแบบเดิม และพนักงานที่ทำหน้าที่ในการวัดก็จะนำข้อมูลการสั่นสะเทือนที่ได้นี้ คัดลอกลงในไฟล์โปรแกรม Microsoft Excel ที่ได้ออกแบบไว้ ก็จะแสดงซีทีที่ได้ออกแบบเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลการสั่นสะเทือนอย่างอัตโนมัติ



รูปที่ 3.30 ค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ที่ได้จากการบันทึกโดยโปรแกรมแลปวิว

5) ข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม Microsoft Excel แบบอัตโนมัติ มีทั้งหมด 4 ซิต ซึ่งรายละเอียดแต่ละซิทจะกล่าวในหัวข้อที่ 3.4.3 ซึ่งต่างกับระบบวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เดิมคือ เพิ่มเติมส่วนที่แจ้งเตือนความถี่ที่ควรตรวจเช็ค แล้วสามารถบันทึกข้อมูลค่าการสั่นสะเทือนได้มากถึง 10 ครั้ง เพื่อนำมาทำสถิติเพื่อศึกษาแนวโน้มของค่าการสั่นสะเทือน



รูปที่ 3.31 ข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม Microsoft Excel ที่ออกแบบไว้

ระบบวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ที่ได้จากงานวิจัยได้วัดการสั่นสะเทือนแสดงผลผ่านโปรแกรม แลปวิวจจะนำเสนอในโปรแกรม Microsoft Excel โดยทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ ได้ข้อมูลทั้งหมดดังนี้ ทำการวัดการสั่นสะเทือนมอเตอร์ Air Knife Blower ยี่ห้อ Sonic 100 Blower Head Serial Number ของมอเตอร์คือ 2070227S04 มีค่าการสั่นสะเทือนมากสุดในแนวแกนตั้งเท่ากับ 3.7 Vrms (mm/s) ระดับความรุนแรงในการสั่นสะเทือนอยู่ในระดับมอเตอร์เริ่มมีการสั่นที่รุนแรงแสดงเป็นแถบสีชมพู และมีค่าการสั่นสะเทือนเฉลี่ยในแนวแกนตั้งเท่ากับ 3.4 Vrms (mm/s) ระดับความรุนแรงในการสั่นสะเทือนอยู่ในระดับมอเตอร์เริ่มมีการสั่นที่รุนแรงแสดงเป็นแถบสีชมพู ในส่วนของแนวแกนนอนของมอเตอร์มีค่าการสั่นสะเทือนมากสุดในแนวแกนนอนเท่ากับ 3.9 Vrms (mm/s) ระดับความรุนแรงในการสั่นสะเทือนอยู่ในระดับมอเตอร์เริ่มมีการสั่นที่รุนแรงแสดงเป็นแถบสีชมพู และมีค่าการสั่นสะเทือนเฉลี่ยในแนวแกนนอนเท่ากับ 3.7 Vrms (mm/s) ระดับความรุนแรงในการสั่นสะเทือนอยู่ในระดับมอเตอร์เริ่มมีการสั่นที่รุนแรงแสดงเป็นแถบสีชมพู ค่าการสั่นสะเทือนทั้งสองแนวแกนของมอเตอร์ถูกแสดงด้วยกราฟ โดยสีน้ำเงินแทนค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในแนวแกนตั้ง และกราฟเส้นสีแดงแทนค่าการเคลื่อนที่ในแนวแกนนอนของมอเตอร์เหมือนกับข้อมูลที่ได้จากการนำเสนอค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์แบบเดิมโดยใช้มิเตอร์วัดการสั่นสะเทือนยี่ห้อ Extech Instrument แต่เพิ่มเติมส่วนจากแบบเดิมคือซีทีที่สองบอกค่าการสั่นสะเทือนโดยเฉลี่ยของ Vibration Transmitters ของทุกโพรบที่ทำกรวัด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.5 Vrms (mm/s) ระดับความรุนแรงในการสั่นสะเทือนอยู่ในระดับมอเตอร์เริ่มมีการสั่นที่รุนแรงแสดงเป็นแถบสีชมพู และประเมินความเสี่ยงจากค่าเฉลี่ยนี้แจ้งเตือนสภาพการสั่นสะเทือนคือ Warning ซึ่งความถี่ที่ต้องทำการตรวจเช็คสภาพมอเตอร์นี้คือเดือนละ 1 ครั้ง ซึ่งมีกราฟที่ใช้ในการศึกษาแนวโน้มการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ตัวนี้ โดยใช้ค่าการสั่นสะเทือนเฉลี่ยของ Vibration Transmitters ของทุกโพรบที่ทำกรวัดที่เคยทำการการวัดมาพล็อตเป็นกราฟเดียวกันเพื่อใช้ในการวางแผนซ่อมบำรุง วัดได้จำนวนมากที่สุดถึง 10 ครั้ง

## บทที่ 4

### วิธีดำเนินการวิจัยและวิเคราะห์ผลการวิจัย

#### 4.1 วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบระบบการวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์และพัฒนาระบบการวิเคราะห์ข้อมูลการสั่นสะเทือน ซึ่งผู้วิจัยจะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง

**4.1.1 การทดลองที่ 1** ทำการทดลองวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ Air Knife Blower ซึ่งเป็นมอเตอร์ที่อยู่ในกระบวนการเตรียมสภาพผิวเลนส์ก่อนการเคลือบสาร ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่าโคโรน่า เป็นมอเตอร์ขนาด 7 kW โดยใช้ Velocity Transducer จำนวน 2 โพรบ เพื่อวัดการสั่นสะเทือนทั้งในแนวแกนนอนและแนวแกนตั้งของมอเตอร์

ทำการวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์โดยแบ่งเป็น 5 กรณี โดยในแต่ละกรณีมีการจำลองให้มอเตอร์มีระดับการสั่นที่แตกต่างกันดังนี้

**กรณีที่ 1** ทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ขณะกำลังทำงานในไลน์การผลิต โดยมอเตอร์มีค่าการสั่นสะเทือนในระดับที่มีการสั่นมาก

**กรณีที่ 2** ทำความสะอาดมอเตอร์และหล่อลื่นเพลลาของมอเตอร์ที่มีการวัดค่าการสั่นสะเทือนแล้ว (กรณีที่ 1) โดยทำการถอดมอเตอร์ออกมาจากเครื่องจักรและใช้ลมแรงเป่าฝุ่นคราบสิ่งสกปรกที่จับตัวบนตัวมอเตอร์ทั้งส่วนภายนอกและโครงสร้างภายใน หล่อลื่นเพลลาด้วยจาระบี ทำให้มอเตอร์มีค่าการสั่นสะเทือนในระดับที่มีการสั่นที่ดีและทำการวัดค่าการสั่นสะเทือน

**กรณีที่ 3** ทำการคายน้ำ Cover ของมอเตอร์ให้หลวม เพื่อให้มอเตอร์มีค่าการสั่นสะเทือนในระดับที่มีการสั่นปานกลางและทำการวัดค่าการสั่นสะเทือน

**กรณีที่ 4** ทำการคายน้ำ Cover ของมอเตอร์ให้หลวมคลอนมากขึ้น เพื่อให้มอเตอร์มีค่าการสั่นสะเทือนในระดับที่มีการสั่นมากและทำการวัดค่าการสั่นสะเทือน

**กรณีที่ 5** ทำให้แท่นยึดมอเตอร์หลวมคลอน เพื่อให้มอเตอร์มีค่าการสั่นสะเทือนในระดับที่มีการสั่นรุนแรงและทำการวัดค่าการสั่นสะเทือน

โปรแกรมแลปวิวที่ออกแบบจะทำการสุ่ม (Sampling) และบันทึกค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ 1 ค่า ทุกๆ 2 วินาที และการทดลองในทุกๆกรณีจะทำการบันทึกค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์กรณีละ 3 นาที ซึ่งจะได้ข้อมูลการสั่นสะเทือนทั้งหมด 90 ข้อมูล และคิดว่าเป็นจำนวนที่เหมาะสมต่อการพิจารณาระดับความรุนแรงในการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ จากนั้นนำค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ที่ออกแบบจากงานวิจัยนี้ไปเปรียบเทียบกับค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ที่วัดได้จากมิเตอร์วัดการสั่นสะเทือนยี่ห้อ Extech Instrument

4.1.2 การทดลองที่ 2 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการปฏิบัติงานในการวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์และการวิเคราะห์ข้อมูลระหว่างการใช้ระบบการวัดการสั่นสะเทือนที่ได้ออกแบบกับวิธีการวัดดั้งเดิมที่ใช้พนักงานรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผล โดยจับเวลาตั้งแต่เริ่มทำการวัดจนถึงการรวบรวมและวิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ โดยใช้พนักงานปฏิบัติหน้าที่วัดคนเดียว

#### 4.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองเปรียบเทียบค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ที่วัดจากระบบการวัดการสั่นสะเทือนที่ได้ ออกแบบและที่ได้จากมิเตอร์วัดการสั่นสะเทือนยี่ห้อ Extech Instrument

ตารางที่ 4.1 ค่าการสั่นสะเทือนที่วัดได้จากเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนที่ได้ออกแบบ

เวลา (วินาที)	กรณีที่ 1		กรณีที่ 2		กรณีที่ 3		กรณีที่ 4		กรณีที่ 5	
	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal
2	3.87	3.55	0.78	0.54	1.55	1.35	3.75	3.44	12.40	12.10
4	3.74	3.43	0.63	0.46	1.53	1.33	3.71	3.47	12.47	12.16
6	3.71	3.38	0.56	0.41	1.56	1.36	3.69	3.48	12.49	12.19
8	3.90	3.64	0.61	0.49	1.59	1.39	3.65	3.46	12.50	12.21
10	3.76	3.49	0.64	0.44	1.63	1.43	3.70	3.43	12.52	12.25
12	3.73	3.40	0.61	0.41	1.58	1.40	3.73	3.40	12.49	12.29
14	3.69	3.32	0.64	0.48	1.59	1.39	3.76	3.42	12.48	12.27
16	3.68	3.30	0.64	0.42	1.54	1.38	3.77	3.43	12.46	12.23
18	3.72	3.29	0.61	0.48	1.55	1.35	3.79	3.49	12.42	12.20
20	3.69	3.31	0.63	0.49	1.52	1.32	3.81	3.41	12.43	12.18
22	3.67	3.22	0.61	0.43	1.58	1.33	3.79	3.42	12.47	12.14
24	3.68	3.20	0.63	0.46	1.62	1.36	3.76	3.42	12.49	12.12
26	3.73	3.24	0.67	0.42	1.59	1.38	3.72	3.44	12.50	12.16
28	3.80	3.27	0.69	0.48	1.57	1.40	3.77	3.47	12.45	12.17
30	3.76	3.39	0.57	0.37	1.53	1.39	3.80	3.49	12.43	12.20
32	3.72	3.42	0.51	0.33	1.51	1.37	3.82	3.42	12.40	12.19
34	3.73	3.39	0.57	0.38	1.49	1.36	3.78	3.39	12.39	12.16
36	3.69	3.42	0.62	0.46	1.55	1.33	3.76	3.42	12.41	12.14

38	3.67	3.39	0.67	0.44	1.59	1.39	3.72	3.39	12.43	12.10
40	3.79	3.20	0.59	0.32	1.54	1.43	3.75	3.42	12.42	12.20
42	3.79	3.26	0.57	0.38	1.53	1.41	3.71	3.46	12.46	12.26
46	3.73	3.22	0.64	0.39	1.58	1.38	3.69	3.42	12.43	12.22
48	3.68	3.40	0.61	0.34	1.57	1.40	3.67	3.44	12.49	12.24
50	3.75	3.43	0.62	0.36	1.52	1.43	3.63	3.43	12.53	12.28
52	3.72	3.32	0.57	0.31	1.59	1.38	3.69	3.42	12.47	12.30
54	3.69	3.32	0.64	0.33	1.63	1.37	3.66	3.42	12.41	12.32
56	3.75	3.21	0.64	0.49	1.68	1.35	3.63	3.41	12.45	12.40
60	3.72	3.24	0.61	0.42	1.52	1.38	3.60	3.44	12.48	12.26
62	3.87	3.55	0.64	0.40	1.50	1.35	3.75	3.45	12.40	12.22
64	3.74	3.43	0.61	0.47	1.53	1.33	3.71	3.43	12.47	12.17
66	3.71	3.38	0.64	0.41	1.56	1.36	3.69	3.44	12.49	12.10
68	3.90	3.64	0.64	0.49	1.59	1.39	3.65	3.47	12.50	12.16
70	3.76	3.49	0.61	0.44	1.63	1.43	3.70	3.48	12.52	12.19
72	3.73	3.40	0.63	0.41	1.58	1.40	3.73	3.46	12.49	12.21
74	3.69	3.32	0.61	0.51	1.59	1.39	3.76	3.43	12.48	12.25
76	3.68	3.30	0.63	0.42	1.54	1.38	3.77	3.40	12.46	12.29
78	3.72	3.29	0.57	0.48	1.55	1.35	3.79	3.42	12.42	12.27
80	3.69	3.31	0.70	0.39	1.52	1.32	3.81	3.43	12.43	12.23
82	3.67	3.22	0.57	0.33	1.58	1.33	3.79	3.49	12.47	12.20
84	3.68	3.20	0.61	0.36	1.62	1.36	3.76	3.41	12.49	12.18
86	3.73	3.24	0.57	0.42	1.59	1.38	3.72	3.42	12.50	12.14
88	3.80	3.27	0.62	0.38	1.57	1.40	3.77	3.42	12.45	12.12
90	3.76	3.39	0.57	0.37	1.53	1.39	3.81	3.44	12.43	12.16
92	3.72	3.42	0.69	0.43	1.51	1.39	3.82	3.47	12.40	12.17
94	3.73	3.39	0.62	0.48	1.49	1.36	3.78	3.49	12.39	12.20
96	3.69	3.42	0.64	0.40	1.55	1.33	3.76	3.42	12.41	12.19
98	3.67	3.39	0.61	0.35	1.59	1.39	3.72	3.39	12.43	12.16

100	3.79	3.20	0.62	0.32	1.54	1.43	3.75	3.42	12.42	12.14
102	3.79	3.26	0.67	0.48	1.53	1.41	3.71	3.39	12.46	12.10
104	3.73	3.22	0.61	0.49	1.58	1.38	3.69	3.42	12.43	12.20
106	3.68	3.40	0.64	0.44	1.57	1.40	3.67	3.46	12.49	12.26
108	3.75	3.43	0.61	0.46	1.52	1.43	3.63	3.42	12.53	12.22
110	3.72	3.32	0.64	0.41	1.59	1.38	3.69	3.44	12.47	12.24
112	3.69	3.32	0.64	0.43	1.63	1.37	3.66	3.43	12.41	12.28
114	3.75	3.21	0.61	0.39	1.68	1.35	3.63	3.42	12.45	12.30
116	3.72	3.24	0.63	0.45	1.52	1.38	3.68	3.42	12.48	12.32
118	3.87	3.55	0.61	0.37	1.50	1.35	3.75	3.41	12.40	12.29
120	3.74	3.43	0.63	0.44	1.53	1.33	3.71	3.44	12.47	12.26
122	3.71	3.38	0.67	0.46	1.56	1.36	3.69	3.45	12.49	12.10
124	3.90	3.64	0.70	0.51	1.59	1.39	3.65	3.44	12.50	12.16
126	3.76	3.49	0.67	0.49	1.63	1.43	3.70	3.47	12.52	12.19
128	3.73	3.40	0.61	0.44	1.58	1.40	3.73	3.48	12.49	12.21
130	3.69	3.32	0.57	0.41	1.59	1.39	3.76	3.46	12.48	12.25
132	3.68	3.30	0.62	0.48	1.54	1.38	3.77	3.43	12.46	12.29
134	3.72	3.29	0.67	0.42	1.55	1.35	3.79	3.40	12.42	12.27
136	3.69	3.31	0.59	0.38	1.52	1.32	3.81	3.42	12.43	12.23
138	3.67	3.22	0.57	0.39	1.58	1.33	3.79	3.43	12.47	12.20
140	3.68	3.20	0.64	0.43	1.62	1.36	3.76	3.49	12.49	12.18
142	3.73	3.24	0.61	0.46	1.59	1.38	3.72	3.41	12.50	12.14
144	3.80	3.27	0.62	0.42	1.57	1.40	3.77	3.42	12.45	12.12
146	3.76	3.39	0.67	0.48	1.53	1.39	3.80	3.42	12.43	12.16
148	3.72	3.42	0.67	0.47	1.51	1.37	3.82	3.44	12.40	12.17
150	3.73	3.39	0.66	0.43	1.49	1.36	3.78	3.47	12.39	12.20
152	3.69	3.42	0.67	0.48	1.55	1.33	3.76	3.49	12.41	12.19
154	3.67	3.39	0.61	0.40	1.59	1.39	3.72	3.42	12.43	12.16
156	3.79	3.20	0.64	0.45	1.54	1.43	3.75	3.39	12.42	12.14

158	3.79	3.26	0.66	0.42	1.53	1.41	3.71	3.42	12.46	12.10
160	3.73	3.22	0.67	0.48	1.58	1.38	3.69	3.39	12.43	12.20
162	3.68	3.40	0.69	0.49	1.57	1.40	3.67	3.42	12.49	12.26
164	3.75	3.43	0.67	0.44	1.52	1.43	3.63	3.46	12.53	12.22
166	3.72	3.32	0.64	0.46	1.59	1.38	3.69	3.42	12.47	12.24
168	3.69	3.32	0.70	0.51	1.63	1.37	3.66	3.44	12.41	12.28
170	3.75	3.21	0.67	0.43	1.68	1.35	3.63	3.43	12.45	12.30
172	3.72	3.24	0.61	0.49	1.52	1.38	3.60	3.42	12.48	12.32
174	3.68	3.39	0.57	0.35	1.59	1.39	3.72	3.42	12.41	12.29
176	3.75	3.20	0.62	0.42	1.54	1.36	3.75	3.41	12.43	12.26
178	3.72	3.26	0.67	0.48	1.53	1.33	3.71	3.44	12.42	12.26
180	3.69	3.24	0.71	0.51	1.49	1.39	3.67	3.45	12.46	12.22
เฉลี่ย	3.73	3.34	0.63	0.43	1.56	1.38	3.73	3.43	12.45	12.21

ตารางที่ 4.2 ค่าการสั่นสะเทือนที่วัดได้จากมิเตอร์ยี่ห้อ Extech Instrument

เวลา (วินาที)	กรณีที่ 1		กรณีที่2		กรณีที่3		กรณีที่4		กรณีที่5	
	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical	Horizontal
2	3.8	3.6	0.8	0.5	1.6	1.4	3.8	3.4	12.4	12.1
4	3.7	3.4	0.6	0.5	1.5	1.3	3.7	3.5	12.5	12.1
6	3.7	3.4	0.5	0.4	1.6	1.4	3.7	3.5	12.5	12.1
8	3.9	3.6	0.6	0.5	1.6	1.4	3.7	3.5	12.5	12.1
10	3.7	3.5	0.6	0.4	1.6	1.4	3.7	3.4	12.5	12.2
12	3.7	3.4	0.6	0.4	1.6	1.4	3.7	3.4	12.5	12.2
14	3.6	3.3	0.6	0.5	1.6	1.4	3.8	3.4	12.5	12.2
16	3.6	3.3	0.7	0.4	1.5	1.4	3.8	3.4	12.5	12.2
18	3.7	3.3	0.6	0.5	1.6	1.4	3.8	3.5	12.4	12.2
20	3.6	3.3	0.6	0.5	1.6	1.4	3.8	3.4	12.5	12.2
22	3.6	3.2	0.6	0.4	1.5	1.3	3.8	3.4	12.5	12.1
24	3.6	3.2	0.6	0.5	1.6	1.4	3.8	3.4	12.5	12.1
26	3.7	3.2	0.7	0.4	1.6	1.4	3.7	3.5	12.5	12.2
28	3.8	3.3	0.7	0.5	1.6	1.4	3.8	3.5	12.5	12.2
30	3.7	3.4	0.6	0.4	1.5	1.4	3.8	3.5	12.4	12.2
32	3.7	3.4	0.6	0.3	1.5	1.4	3.8	3.4	12.4	12.2
34	3.7	3.4	0.6	0.4	1.5	1.4	3.8	3.4	12.4	12.1
36	3.6	3.4	0.6	0.5	1.6	1.3	3.8	3.4	12.4	12.1
38	3.6	3.4	0.7	0.4	1.6	1.4	3.7	3.4	12.4	12.1
40	3.7	3.2	0.6	0.3	1.5	1.4	3.8	3.4	12.4	12.2
42	3.7	3.3	0.6	0.4	1.5	1.4	3.7	3.5	12.5	12.3
46	3.7	3.2	0.6	0.4	1.6	1.4	3.7	3.4	12.4	12.2
48	3.6	3.4	0.6	0.3	1.6	1.4	3.7	3.5	12.5	12.2
50	3.7	3.4	0.6	0.4	1.5	1.4	3.7	3.4	12.5	12.3
52	3.7	3.3	0.6	0.3	1.6	1.4	3.7	3.4	12.5	12.3
54	3.6	3.3	0.6	0.3	1.6	1.4	3.7	3.4	12.4	12.3

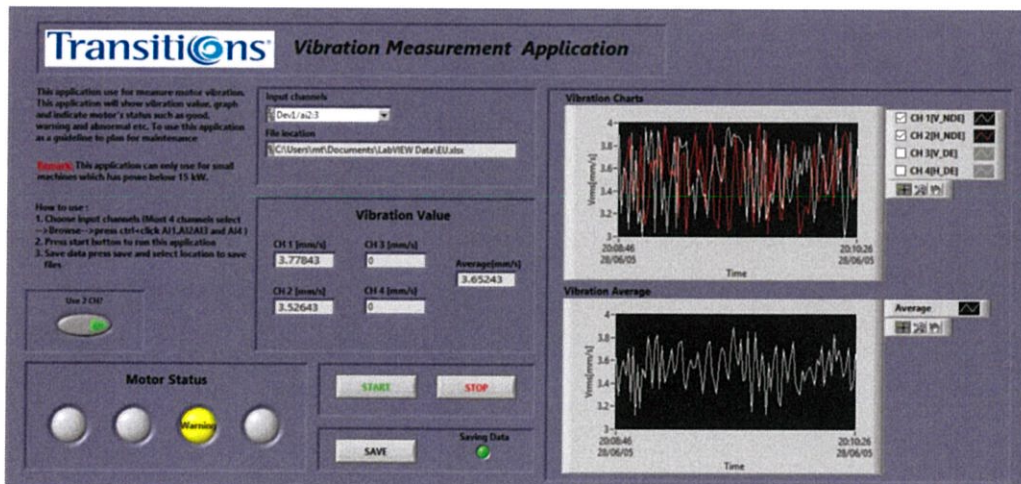
56	3.7	3.2	0.6	0.5	1.7	1.4	3.6	3.4	12.5	12.4
60	3.7	3.2	0.6	0.4	1.5	1.4	3.6	3.4	12.5	12.3
62	3.8	3.6	0.6	0.4	1.5	1.4	3.8	3.5	12.4	12.2
64	3.7	3.4	0.6	0.5	1.5	1.3	3.7	3.4	12.5	12.2
66	3.7	3.4	0.6	0.4	1.6	1.4	3.7	3.4	12.5	12.1
68	3.9	3.6	0.6	0.5	1.6	1.4	3.7	3.5	12.5	12.2
70	3.7	3.5	0.6	0.4	1.6	1.4	3.7	3.5	12.5	12.2
72	3.7	3.4	0.6	0.4	1.6	1.4	3.7	3.5	12.5	12.2
74	3.6	3.3	0.6	0.5	1.6	1.4	3.7	3.4	12.5	12.3
76	3.6	3.3	0.6	0.4	1.5	1.4	3.7	3.4	12.5	12.3
78	3.7	3.3	0.6	0.5	1.6	1.4	3.8	3.4	12.4	12.3
80	3.7	3.3	0.7	0.4	1.5	1.3	3.8	3.4	12.4	12.3
82	3.7	3.2	0.6	0.3	1.6	1.3	3.8	3.5	12.5	12.2
84	3.7	3.2	0.6	0.4	1.6	1.4	3.8	3.4	12.5	12.2
86	3.7	3.2	0.6	0.4	1.6	1.4	3.7	3.4	12.5	12.1
88	3.8	3.3	0.6	0.4	1.6	1.4	3.8	3.4	12.5	12.1
90	3.8	3.4	0.6	0.4	1.5	1.4	3.8	3.4	12.4	12.2
92	3.7	3.4	0.7	0.4	1.5	1.4	3.8	3.5	12.4	12.2
94	3.7	3.4	0.6	0.5	1.5	1.4	3.8	3.5	12.4	12.2
96	3.7	3.4	0.6	0.4	1.6	1.3	3.8	3.4	12.4	12.2
98	3.7	3.4	0.6	0.4	1.6	1.4	3.7	3.4	12.4	12.2
100	3.8	3.2	0.6	0.4	1.5	1.4	3.8	3.4	12.4	12.2
102	3.8	3.3	0.7	5.0	1.5	1.4	3.7	3.4	12.5	12.1
104	3.7	3.2	0.6	0.5	1.6	1.4	3.7	3.4	12.4	12.1
106	3.7	3.4	0.6	0.4	1.6	1.4	3.7	3.5	12.5	12.2
108	3.8	3.4	0.6	0.5	1.5	1.4	3.6	3.4	12.5	12.3
110	3.7	3.3	0.6	0.4	1.6	1.4	3.7	3.4	12.5	12.2
112	3.7	3.3	0.7	0.4	1.6	1.4	3.7	3.4	12.4	12.2
114	3.8	3.2	0.6	0.4	1.7	1.4	3.6	3.4	12.5	12.3

116	3.7	3.2	0.6	0.5	1.5	1.4	3.7	3.4	12.5	12.3
118	3.9	3.6	0.6	0.4	1.5	1.4	3.8	3.4	12.4	12.3
120	3.7	3.4	0.6	0.4	1.5	1.3	3.7	3.4	12.5	12.3
122	3.7	3.4	0.7	0.5	1.6	1.4	3.7	3.5	12.5	12.3
124	3.9	3.6	0.7	0.5	1.6	1.4	3.7	3.5	12.5	12.1
126	3.8	3.5	0.7	0.5	1.6	1.4	3.7	3.5	12.5	12.2
128	3.7	3.4	0.6	0.4	1.6	1.4	3.7	3.5	12.5	12.2
130	3.7	3.3	0.6	0.4	1.6	1.4	3.8	3.5	12.5	12.3
132	3.7	3.3	0.6	0.5	1.5	1.4	3.8	3.4	12.5	12.3
134	3.7	3.3	0.7	0.4	1.6	1.4	3.8	3.4	12.4	12.3
136	3.7	3.3	0.6	0.4	1.5	1.3	3.8	3.4	12.4	12.2
138	3.7	3.2	0.6	0.4	1.6	1.3	3.8	3.4	12.5	12.2
140	3.7	3.2	0.6	0.4	1.6	1.4	3.8	3.5	12.5	12.1
142	3.7	3.2	0.6	0.5	1.6	1.4	3.7	3.4	12.5	12.1
144	3.8	3.3	0.6	0.4	1.6	1.4	3.8	3.4	12.5	12.1
146	3.8	3.4	0.7	0.5	1.5	1.4	3.8	3.4	12.5	12.2
148	3.7	3.4	0.7	0.5	1.5	1.4	3.8	3.5	12.4	12.2
150	3.7	3.4	0.6	0.4	1.5	1.4	3.8	3.5	12.4	12.2
152	3.7	3.4	0.7	0.5	1.6	1.3	3.8	3.5	12.4	12.2
154	3.7	3.4	0.6	0.4	1.6	1.4	3.7	3.4	12.4	12.2
156	3.8	3.2	0.6	0.4	1.5	1.4	3.8	3.4	12.4	12.1
158	3.8	3.3	0.6	0.4	1.5	1.4	3.7	3.4	12.5	12.1
160	3.7	3.2	0.7	0.5	1.6	1.4	3.7	3.4	12.4	12.2
162	3.7	3.4	0.7	0.5	1.6	1.4	3.7	3.4	12.5	12.3
164	3.8	3.4	0.7	0.4	1.5	1.4	3.6	3.5	12.5	12.2
166	3.7	3.3	0.6	0.5	1.6	1.4	3.7	3.4	12.5	12.2
168	3.7	3.3	0.7	0.5	1.6	1.4	3.7	3.4	12.5	12.3
170	3.8	3.2	0.7	0.4	1.7	1.4	3.6	3.4	12.5	12.3
172	3.7	3.2	0.6	0.5	1.5	1.4	3.6	3.4	12.5	12.3

174	3.7	3.4	0.6	0.4	1.6	1.4	3.7	3.4	12.4	12.3
176	3.8	3.2	0.6	0.4	1.5	1.4	3.8	3.4	12.4	12.3
178	3.7	3.3	0.7	0.5	1.5	1.3	3.7	3.4	12.4	12.3
180	3.7	3.2	0.7	0.5	1.5	1.4	3.7	3.5	12.5	12.2
เฉลี่ย	3.7	3.3	0.6	0.5	1.6	1.4	3.7	3.4	12.5	12.2

จากผลการทดลองเปรียบเทียบค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ที่วัดได้จากระบบการวัดการสั่นสะเทือนที่ได้ออกแบบและมีมอเตอร์วัดการสั่นสะเทือนยี่ห้อ Extech Instrument จะเห็นได้ว่าค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ที่วัดได้จากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ออกแบบจะบันทึกค่าการสั่นสะเทือนเป็นเลขทศนิยมสองหลัก เนื่องจากค่ามาตรฐานการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร (ISO 10816-1) ที่ใช้ในการเปรียบเทียบระดับความรุนแรงในการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ เป็นตัวเลขทศนิยมสองหลักเช่นกัน ซึ่งถือเป็นข้อจำกัดของมิตเตอร์ยี่ห้อ Extech Instrument ที่สามารถวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์โดยมีความละเอียดเพียงทศนิยมหนึ่งหลัก จากผลการทดลองที่ 1 สามารถอธิบายได้ดังนี้

กรณีที่ 1 ตารางผลการทดลองเปรียบเทียบค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ โดยวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ขณะกำลังทำงานในไลน์การผลิต ซึ่งมอเตอร์มีค่าการสั่นสะเทือนในระดับที่มีการสั่นมาก ค่าการสั่นสะเทือนที่วัดได้จากระบบการวัดการสั่นสะเทือนที่ได้ออกแบบเปรียบเทียบกับมิตเตอร์วัดการสั่นสะเทือนยี่ห้อ Extech Instrument มีเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนดังนี้



รูปที่ 4.1 หน้าจอโปรแกรมแลปวิวแสดงผลการวัดในกรณีค่าการสั่นสะเทือนอยู่ในระดับมีการสั่นมาก

จากสูตร

$$\left| \frac{\text{ค่าที่ได้จากเครื่องวัดจากงานวิจัย} - \text{ค่าที่ได้จากมิเตอร์ยี่ห้อ Extech Instrument}}{\text{ค่าที่ได้จากมิเตอร์ยี่ห้อ Extech Instrument}} \right| \times 100 = \text{เปอร์เซ็นต์ค่าความคาดเคลื่อน}$$

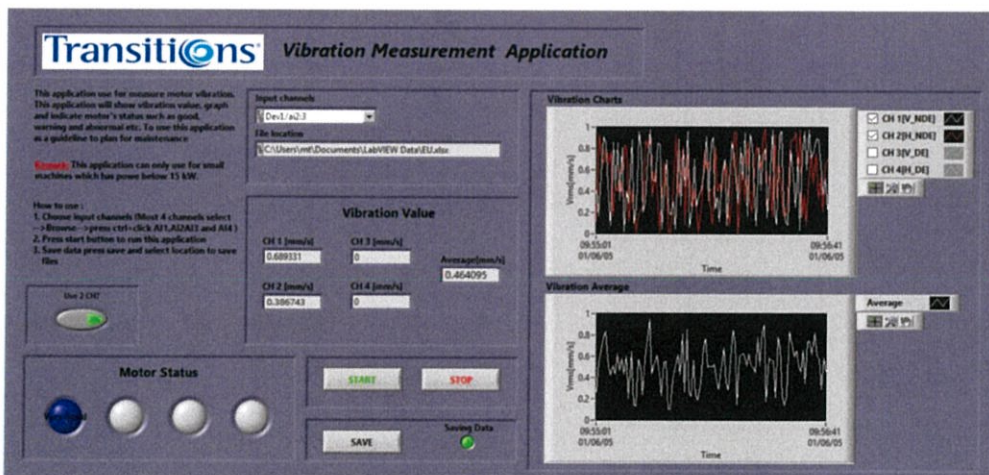
กรณีที่ 1 ค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในแนวตั้ง Vertical

$$\left| \frac{3.73 - 3.7}{3.7} \right| \times 100 = 0.81 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

ค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในแนวนอน Horizontal ของมอเตอร์

$$\left| \frac{3.34 - 3.3}{3.3} \right| \times 100 = 1.21 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

กรณีที่ 2 จากตารางผลการทดลองเปรียบเทียบค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ กรณีทำความสะอาดมอเตอร์ และหล่อลื่นเพลลาของมอเตอร์ที่มีการวัดค่าการสั่นสะเทือนแล้ว โดยทำการถอดมอเตอร์ออกมาจากเครื่องจักร และใช้ลมแรงเป่าฝุ่นคราบสิ่งสกปรกที่จับตัวบนตัวมอเตอร์ทั้งส่วนภายนอกและโครงสร้างภายใน หล่อลื่นเพลลา ด้วยจาระบีทำให้มอเตอร์มีค่าการสั่นสะเทือนในระดับที่มีการสั่นที่ต่ำและทำการวัดค่าการสั่นสะเทือน ค่าการสั่นสะเทือนที่วัดได้จากระบบการวัดการสั่นสะเทือนที่ได้ออกแบบเปรียบเทียบกับมิเตอร์วัดการสั่นสะเทือนยี่ห้อ Extech Instrument มีเปอร์เซ็นต์ค่าความคาดเคลื่อนดังนี้



รูปที่ 4.2 หน้าจอโปรแกรมแลปวิวแสดงผลการวัดในกรณีค่าการสั่นสะเทือนอยู่ในระดับมีการสั่นที่ต่ำ

จากสูตร

$$\left| \frac{\text{ค่าที่ได้จากเครื่องวัดจากงานวิจัย} - \text{ค่าที่ได้จากมิเตอร์ยี่ห้อ Extech Instrument}}{\text{ค่าที่ได้จากมิเตอร์ยี่ห้อ Extech Instrument}} \right| \times 100 = \text{เปอร์เซ็นต์ค่าความคาดเคลื่อน}$$

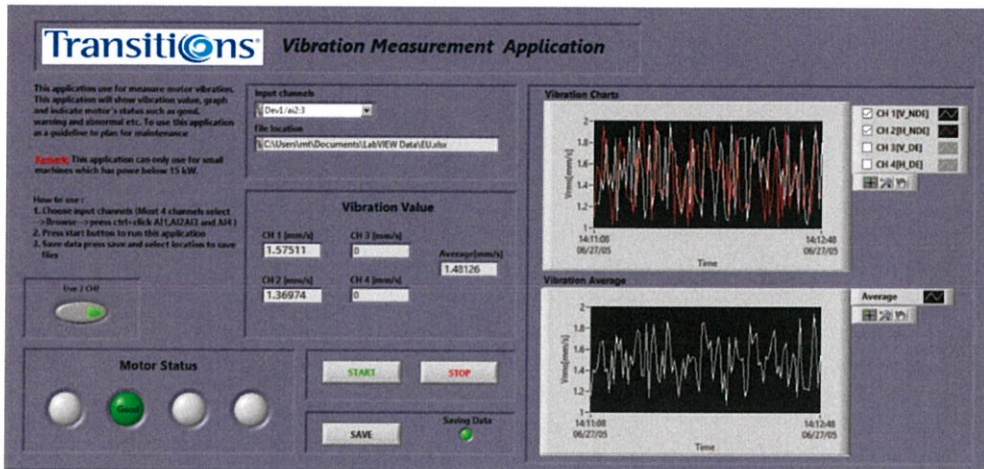
กรณีที่ 2 ค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในแนวตั้ง Vertical

$$\left| \frac{0.63 - 0.6}{0.6} \right| \times 100 = 5 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

ค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในแนวนอน Horizontal ของมอเตอร์

$$\left| \frac{0.43-0.5}{0.5} \right| \times 100 = 7.5 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

กรณีที่ 3 จากตารางผลการทดลองเปรียบเทียบค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ โดยทำการคายน้ำต Cover ของมอเตอร์ให้หลวม เพื่อให้มอเตอร์มีค่าการสั่นสะเทือนในระดับที่มีการสั่นปานกลาง ค่าการสั่นสะเทือนที่วัดได้จากระบบการวัดการสั่นสะเทือนที่ได้ออกแบบเปรียบเทียบกับมิเตอร์วัดการสั่นสะเทือนยี่ห้อ Extech Instrument มีเปอร์เซ็นต์ค่าความคาดเคลื่อนดังนี้



รูปที่ 4.3 หน้าจอโปรแกรมแลปวิวแสดงผลการวัดในกรณีค่าการสั่นสะเทือนอยู่ในระดับที่มีการสั่นปานกลาง

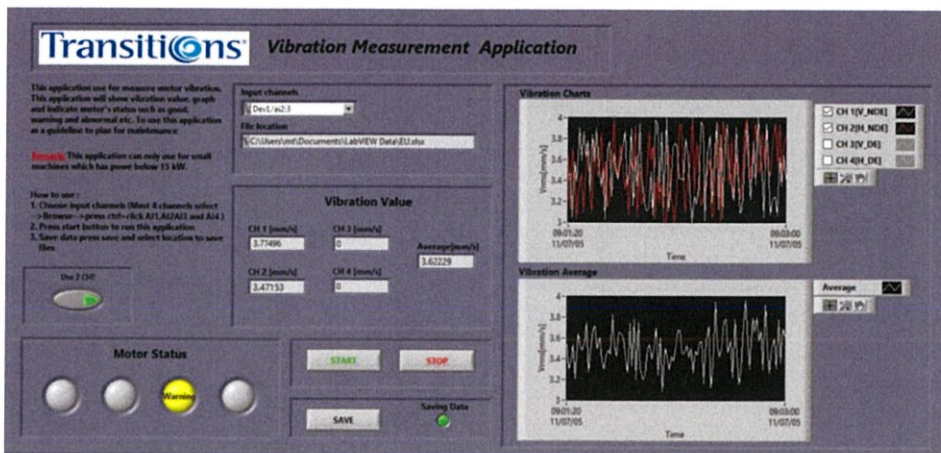
กรณีที่ 3 ค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในแนวตั้ง Vertical

$$\left| \frac{1.56-1.6}{1.6} \right| \times 100 = 2.5 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

ค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในแนวนอน Horizontal ของมอเตอร์

$$\left| \frac{1.38-1.4}{1.4} \right| \times 100 = 1.42 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

กรณีที่ 4 จากตารางผลการทดลองเปรียบเทียบค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ โดยทำการคายน้ำต Cover ของมอเตอร์ให้หลวมคลอนมากขึ้น เพื่อให้มอเตอร์มีค่าการสั่นสะเทือนในระดับที่มีการสั่นมาก ค่าการสั่นสะเทือนที่วัดได้จากระบบการวัดการสั่นสะเทือนที่ได้ออกแบบเปรียบเทียบกับมิเตอร์วัดการสั่นสะเทือนยี่ห้อ Extech Instrument มีเปอร์เซ็นต์ค่าความคาดเคลื่อนดังนี้



รูปที่ 4.4 หน้าจอโปรแกรมแลปวิวแสดงผลการวัดในกรณีค่าการสั่นสะเทือนอยู่ในระดับมีการสั่นมาก

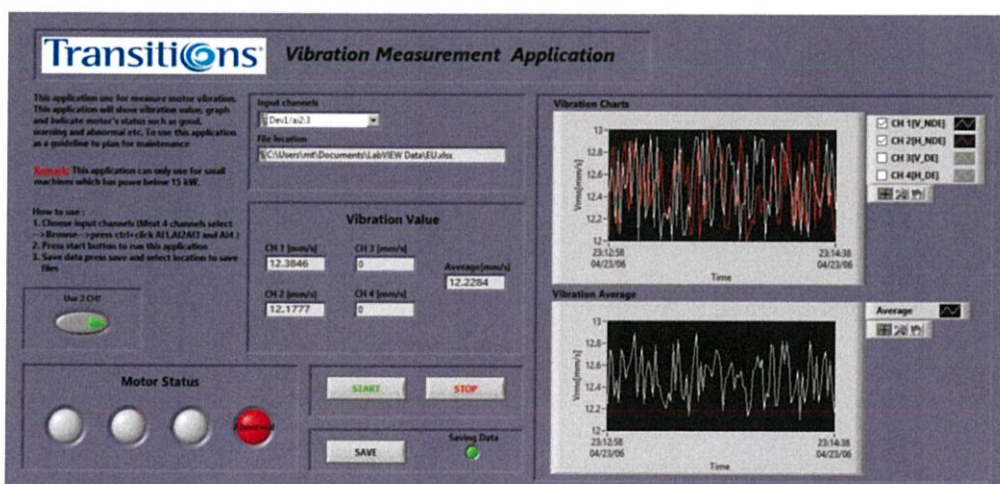
กรณีที่ 4 ค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในแนวตั้ง Vertical

$$\left| \frac{3.73 - 3.7}{3.7} \right| \times 100 = 0.81 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

ค่าค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในแนวนอน Horizontal ของมอเตอร์

$$\left| \frac{3.43 - 3.4}{3.4} \right| \times 100 = 0.88 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

กรณีที่ 5 จากตารางผลการทดลองเปรียบเทียบค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ โดยทำให้แท่นยึดมอเตอร์หลวมคลอน เพื่อให้มอเตอร์มีค่าการสั่นสะเทือนในระดับที่มีการสั่นรุนแรง ค่าการสั่นสะเทือนที่วัดได้จากระบบการวัดการสั่นสะเทือนที่ได้ออกแบบเปรียบเทียบกับมิเตอร์วัดการสั่นสะเทือนยี่ห้อ Exttech Instrument มีเปอร์เซ็นต์ค่าความคาดเคลื่อนดังนี้



รูปที่ 4.5 หน้าจอโปรแกรมแลปวิวแสดงผลการวัดในกรณีค่าการสั่นสะเทือนอยู่ในระดับมีการสั่นที่รุนแรง

กรณีที่ 5 ค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในแนวตั้ง Vertical

$$\left| \frac{12.45-12.5}{12.5} \right| \times 100 = 0.4 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

ค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในแนวนอน Horizontal ของมอเตอร์

$$\left| \frac{12.21-12.2}{12.2} \right| \times 100 = 0.08 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

จากการทดลองพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของการสั่นสะเทือนมอเตอร์ในแนวตั้ง (Vertical) ที่วัดได้จากระบบการวัดการสั่นสะเทือนที่ได้ออกแบบเปรียบเทียบกับมิเตอร์วัดการสั่นสะเทือนยี่ห้อ Extech Instrument ในกรณีที่ 1 เท่ากับ 0.81 เปอร์เซ็นต์ กรณีที่ 2 เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ กรณีที่ 3 เท่ากับ 2.5 เปอร์เซ็นต์ กรณีที่ 4 เท่ากับ 0.81 เปอร์เซ็นต์ และกรณีที่ 5 เท่ากับ 0.4 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลการทดลองเปรียบเทียบค่าการสั่นสะเทือนในแนวนอน (Horizontal) พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนในกรณีที่ 1 เท่ากับ 1.21 เปอร์เซ็นต์ กรณีที่ 2 เท่ากับ 7.5 เปอร์เซ็นต์ กรณีที่ 3 เท่ากับ 1.42 เปอร์เซ็นต์ กรณีที่ 4 เท่ากับ 0.88 เปอร์เซ็นต์ และกรณีที่ 5 เท่ากับ 0.08 เปอร์เซ็นต์

ผลการทดลองเปรียบเทียบระยะเวลาในการปฏิบัติงานในการวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ และการวิเคราะห์ข้อมูลระหว่างการใช้ระบบการวัดการสั่นสะเทือนที่ได้ออกแบบ กับวิธีการวัดดั้งเดิมที่ใช้พนักงานรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผล โดยจับเวลาตั้งแต่เริ่มทำการวัดจนถึงการรวบรวมและวิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ โดยใช้พนักงานปฏิบัติหน้าที่วัดคนเดียวกันจำนวน 10 ครั้ง แสดงดังตารางที่ 4.3

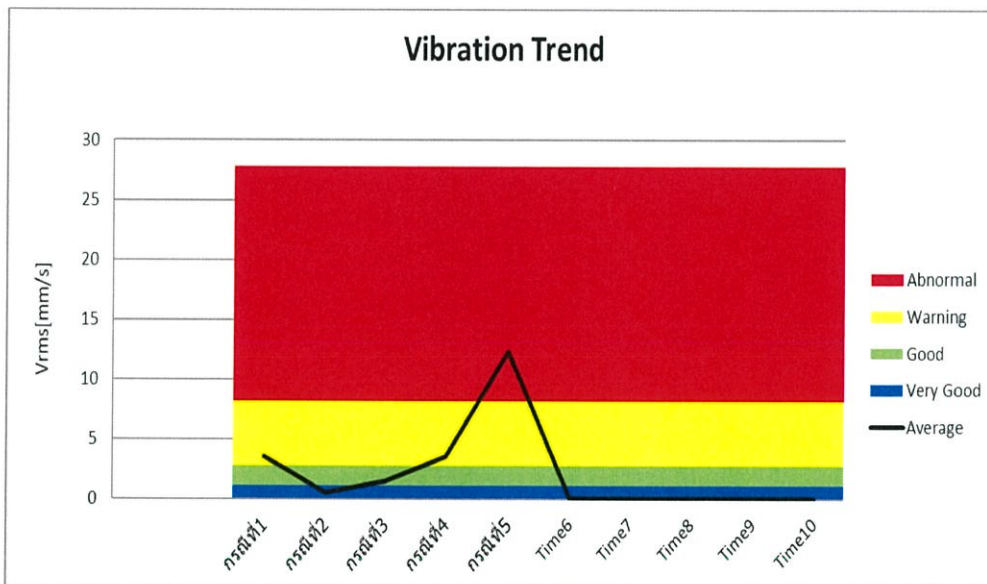
ตารางเวลาที่ 4.3 ระยะเวลาในการปฏิบัติการวัดค่าการสั่นสะเทือนและการวิเคราะห์

ครั้งที่	ระบบที่ได้ออกแบบ (นาที)	วิธีวัดดั้งเดิม (นาที)
1	6.32	12.23
2	6.28	11.54
3	6.26	12.13
4	6.18	12.14
5	6.17	12.23
6	6.18	11.56
7	6.23	11.53
8	6.19	12.26
9	6.27	12.17
10	6.24	11.48

ค่าเฉลี่ย	6.23	11.93
S.D.	0.06	0.36

จากตารางที่ 4.3 พบว่าปฏิบัติงานในการวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ด้วยระบบการวัดการสั่นสะเทือนที่ได้ออกแบบใช้เวลาอย่างน้อยที่สุด 6.17 นาที และมากที่สุด 6.32 นาที โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.006 นาที และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.23 นาที ส่วนวิธีการวัดดั้งเดิมใช้เวลาปฏิบัติงานน้อยที่สุด 11.48 นาที มากที่สุด 12.26 นาที มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.36 นาที และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.93 นาที

ข้อมูลการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ที่เก็บรวบรวมในโปรแกรม Microsoft Excel ที่ออกแบบให้แสดงแนวโน้มค่าการสั่นสะเทือนอย่างอัตโนมัติในซีทที่ 4 สามารถบอกระดับความรุนแรงในการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ได้ตรงกับหน้าจอโปรแกรมแลปวิวที่แสดงค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์แบบ Real Time



รูปที่ 4.6 กราฟ Vibration Trend ในโปรแกรม Microsoft Excel ที่ใช้บันทึกค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในระบบที่ได้ออกแบบ

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลที่ได้รับจากการออกแบบและพัฒนาระบบการวัดการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ คือได้เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนที่สามารถแสดงผลการวัดผ่านโปรแกรม LabView ที่ออกแบบให้หน้าจอแสดงผลบน Front Panel อย่างชัดเจน มีการจัดหมวดหมู่และแสดงมาตรฐานด้วยสี เพื่อให้ง่ายและสะดวกในการใช้งานสำหรับผู้ทำการวัด ซึ่งโปรแกรมที่ออกแบบมีลักษณะเด่นคือสามารถแสดงผลค่าการสั่นสะเทือนใน Channel ต่างๆที่ทำการวัด และค่าเฉลี่ยของการสั่นสะเทือนทั้งหมดพร้อมทั้งแสดงออกมาในรูปแบบกราฟ เพื่อให้ง่ายต่อการสังเกตการเปลี่ยนแปลง และสามารถแจ้งเตือนระดับความรุนแรงในการสั่นเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร (ISO 10816-1) ผ่านหน้าจอแสดงผลได้โดยตรง ผู้ทำการวัดสามารถตรวจสอบค่าการสั่นสะเทือนและระดับการสั่นสะเทือนผ่านหน้าจอแสดงผลทำให้สะดวกต่อการใช้งาน สามารถติดตั้งในคอมพิวเตอร์เครื่องอื่นเพื่อลดปัญหาเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนมีจำนวนไม่เพียงพอต่อความต้องการการวัด ซึ่งต่างกับการวัดค่าการสั่นสะเทือนด้วยมิเตอร์ด้วยวิธีดั้งเดิมที่ผู้ทำการวัดอ่านค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ แล้วนำค่าที่อ่านได้ไปเทียบมาตรฐานการสั่นสะเทือนเอง ซึ่งใช้เวลานานและเกิดความผิดพลาดในการวิเคราะห์ข้อมูลได้ง่าย

ส่วนของการพัฒนาระบบการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล สามารถรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์แบบอัตโนมัติในโปรแกรม Microsoft Excel นอกจากจะแสดงข้อมูลค่าการสั่นสะเทือน Channel ต่างๆ ระดับความรุนแรงในการสั่นสะเทือนเปรียบเทียบเป็นกราฟ เหมือนหน้าจอ Front Panel ของโปรแกรม LabView แสดงแล้ว ยังสามารถช่วยวิเคราะห์ความถี่ในการตรวจวัดที่ควรปฏิบัติที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์และทำการเก็บข้อมูลในการวัดทุกครั้งไว้เพื่อแสดงแนวโน้มของการสั่นสะเทือนของมอเตอร์เครื่องนั้นๆ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนซ่อมบำรุง สามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลได้ทันทีหลังจากทำการวัดเสร็จ ซึ่งขนาดของเครื่องมือวัดที่ได้ออกแบบให้มีขนาดเล็กสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย เมื่อนำเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนที่ได้ออกแบบไปทดสอบการใช้งานก่อนการทดลอง และนำไปทำการทดลอง ซึ่งแบ่งการทดลองเป็น 2 การทดลองพบว่า

**การทดลองที่ 1** ทดลองเปรียบเทียบค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ที่วัดได้จากระบบการวัดการสั่นสะเทือนที่ได้ออกแบบกับมิเตอร์วัดการสั่นสะเทือนยี่ห้อ Extech Instrument พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนในแนวตั้ง (Vertical) ในกรณีที่ 1 เท่ากับ 0.81 เปอร์เซ็นต์ กรณีที่ 2 เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ กรณีที่ 3 เท่ากับ 2.5 เปอร์เซ็นต์ กรณีที่ 4 เท่ากับ 0.81 เปอร์เซ็นต์ และกรณีที่ 5 เท่ากับ 0.4 เปอร์เซ็นต์ ส่วนความผิดพลาดในแนวนอน (Horizontal) พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อน กรณีที่ 1 เท่ากับ 1.21 เปอร์เซ็นต์ กรณีที่ 2 เท่ากับ 7.5 เปอร์เซ็นต์ กรณีที่ 3 เท่ากับ 1.42 เปอร์เซ็นต์ กรณีที่ 4 เท่ากับ 0.88 เปอร์เซ็นต์ และกรณีที่ 5 เท่ากับ 0.08 เปอร์เซ็นต์

ซึ่งสามารถสรุปผลการทดสอบและทดลองการใช้งานได้ว่าระบบการวัดการสั่นสะเทือนที่ได้ออกแบบสามารถใช้งานได้จริงในไลน์การผลิต โปรแกรม LabView สามารถแสดงผลการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ได้จริง สามารถแสดงในรูปแบบกราฟ แสดงแจ้งเตือนระดับความรุนแรงในการสั่นด้วยสีตามมาตรฐานการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร (ISO 10816-1) เมื่อเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับมิเตอร์วัดการสั่นสะเทือนยี่ห้อ Extech Instrument มีค่าความผิดพลาดมากที่สุดในแนวแกนตั้งเท่ากับ 2.5 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความผิดพลาดมากที่สุดในแนวแกนนอนเท่ากับ 7.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

การทดลองที่ 2 การเปรียบเทียบระยะเวลาในการปฏิบัติงานในการวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์และการวิเคราะห์ข้อมูลระหว่างการใช้ระบบการวัดการสั่นสะเทือนที่ได้ออกแบบกับวิธีการวัดดั้งเดิมที่ใช้พนักงานรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลพบว่าระบบที่ได้ออกแบบใช้เวลาเฉลี่ยในการปฏิบัติงานในการวัดและรวบรวมข้อมูลวิเคราะห์ประมาณ 6.23 นาที มีค่าเบี่ยงมาตรฐานเท่ากับ 0.06 นาที วิธีการวัดดั้งเดิมที่ใช้พนักงานรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลใช้เวลาเฉลี่ย 11.93 นาที ค่าเบี่ยงมาตรฐานเท่ากับ 0.36 นาที

ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองได้ว่า เวลาในการปฏิบัติงานในการวัดค่าการสั่นสะเทือนของระบบที่ได้ออกแบบสามารถลดเวลาและลดขั้นตอนในการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลถึง 5.7 นาที ซึ่งลดเวลาได้เกือบครึ่งหนึ่งของการปฏิบัติงานในการวัดด้วยวิธีดั้งเดิม

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรออกแบบให้ระบบการวัดการสั่นสะเทือนโดย LabView สามารถประเมินระดับการสั่นสะเทือนตามมาตรฐาน 10816-2 และ 10816-3
2. ควรศึกษาสาเหตุการชำรุดของมอเตอร์จากค่าการสั่นสะเทือน
3. ระบบในการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลในครั้งต่อไปควรมีการพัฒนา ระบบให้สามารถเรียกดูข้อมูลการวัดได้จากระยะไกลได้ เช่น WIFI หรือ LAN เป็นต้น

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ประดิษฐ์ หมุ่มเมืองสอง (2550) การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- [2] กิจไพบูลย์ ชิวพนธ์ศรี (2557) การสร้างระบบอัตโนมัติด้วย LabVIEW ร่วมกับระบบ Data Acquisition และ Machine Vision สำหรับผู้เริ่มต้น กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- [3] อัยภยูธ รอดพ่าย; การตรวจวัดการสั่นสะเทือน ด้วย Vibration Meter; แหล่งที่มา: <http://blisservices.blogspot.com/2016/01/vibration-meter.html> (สืบค้นวันที่ 20 ตุลาคม 2560)
- [4] Vibration measuring techniques; แหล่งที่มา: [http://saba.kntu.ac.ir/eecd/ecourses/instrumenttation/rojects/reports/Seismic1/general/theory/A\\_P\\_C\\_S\\_%20Vibration%20and%20Displacement%20Measurement.htm](http://saba.kntu.ac.ir/eecd/ecourses/instrumenttation/rojects/reports/Seismic1/general/theory/A_P_C_S_%20Vibration%20and%20Displacement%20Measurement.htm) (สืบค้นวันที่ 20 ตุลาคม 2560)
- [5] ทฤษฎีและหลักการโปรแกรม LabVIEW; แหล่งที่มา: [http://www.research-system.siam.edu/images/coop/DESIGN\\_AND\\_CONSTRUCTION\\_OF\\_ELECTRICAL\\_MEASUREMENT\\_USING\\_LABVIEW\\_\\_\\_PROGRAM/ch2.pdf](http://www.research-system.siam.edu/images/coop/DESIGN_AND_CONSTRUCTION_OF_ELECTRICAL_MEASUREMENT_USING_LABVIEW___PROGRAM/ch2.pdf)

## ภาคผนวก

### ภาคผนวก ก คู่มือการใช้งานเครื่องวัดการสั่นสะเทือนจากโปรแกรมแลปวิว

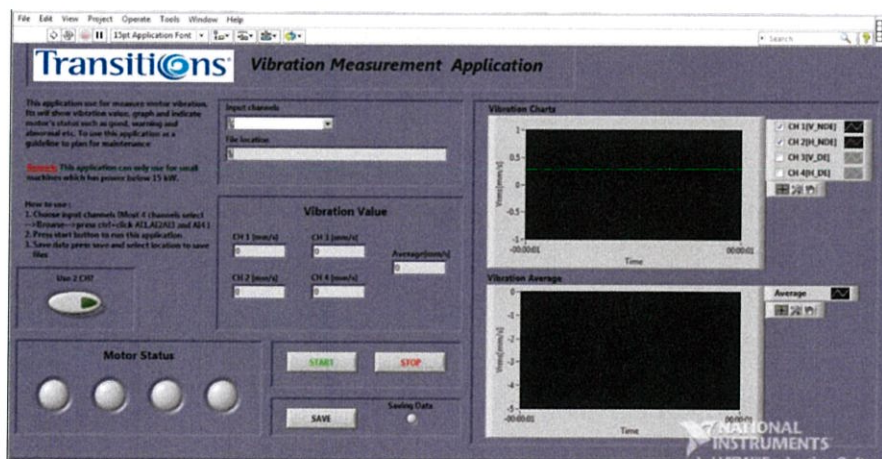
โปรแกรมแลปวิวที่ใช้แสดงผลค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ของระบบการวัดการสั่นสะเทือนที่ได้จากการวิจัยมีขั้นตอนการใช้งานดังนี้

1. เปิดไฟล์โปรแกรม LabView ที่ออกแบบไว้บนหน้า Desktop คอมพิวเตอร์



รูปที่ ก.1 แสดงไอคอนโปรแกรมแลปวิวที่พัฒนาขึ้นบนหน้าจอ Desktop

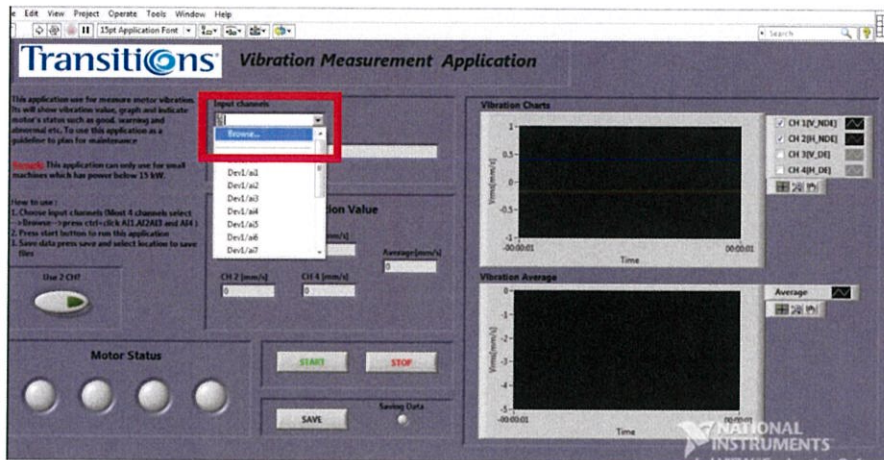
จะปรากฏหน้าจอโปรแกรม LabView ที่ออกแบบไว้สำหรับวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์



รูปที่ ก.2 แสดงหน้าจอโปรแกรมแลปวิวที่พร้อมวัดค่าการสั่นสะเทือน

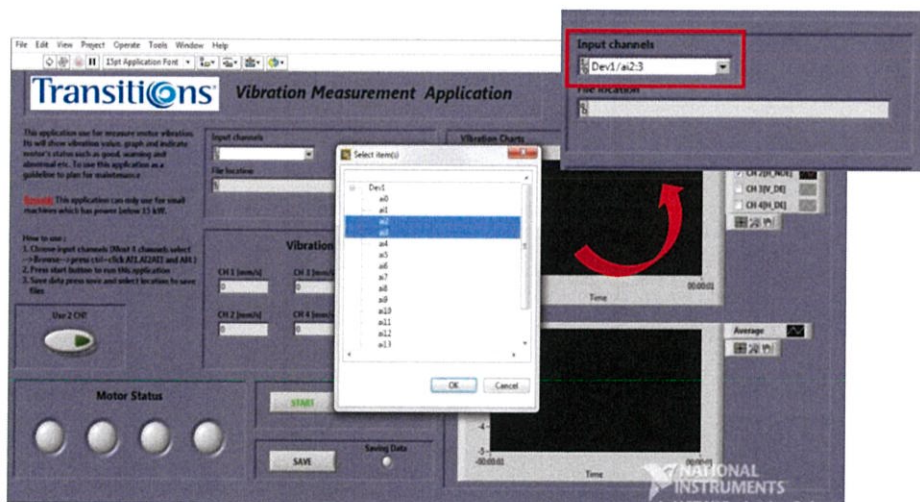
2. ทำการคลิกเลือกปุ่ม Drop Down เพื่อเลือกช่องสัญญาณอินพุตที่ Vibration Transmitter จะส่งสัญญาณเข้ามา โดยออกแบบให้ Vibration Transmitter โพรบที่ 1, 2, 3, 4 ต่อกับช่อง Input Channel

ที่ a1, a2, a3, a4 ตามลำดับ โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้ Vibration Transmitter โพรบที่ 2, 3 จึงคลิกเลือก Input Channel ที่ a2, a3



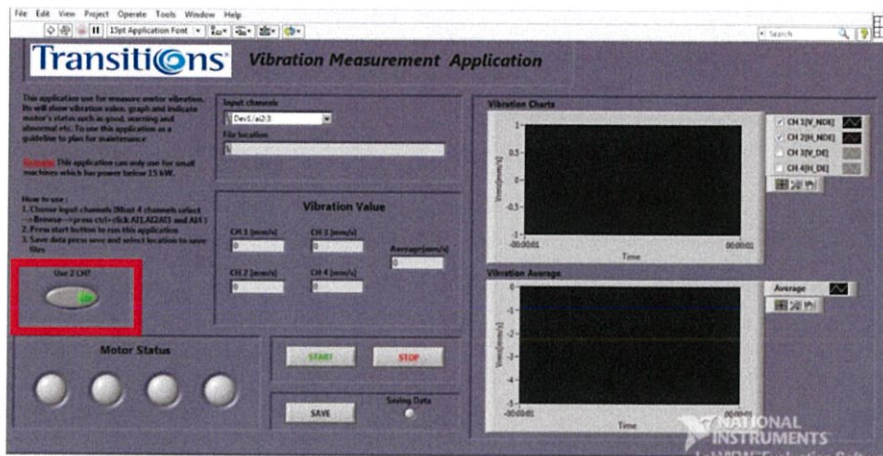
รูปที่ ก.3 แสดงหน้าจอโปรแกรมแลปวิวส่วนเลือก Input Channel

เมื่อทำการเลือก Input Channel มากกว่า 1 ช่อง ให้กดปุ่ม Ctrl ที่ Keyboard ที่แล็ปที่อปค้างไว้เมื่อทำการเลือกเสร็จหน้าต่างแสดงผลจะปรากฏดังนี้



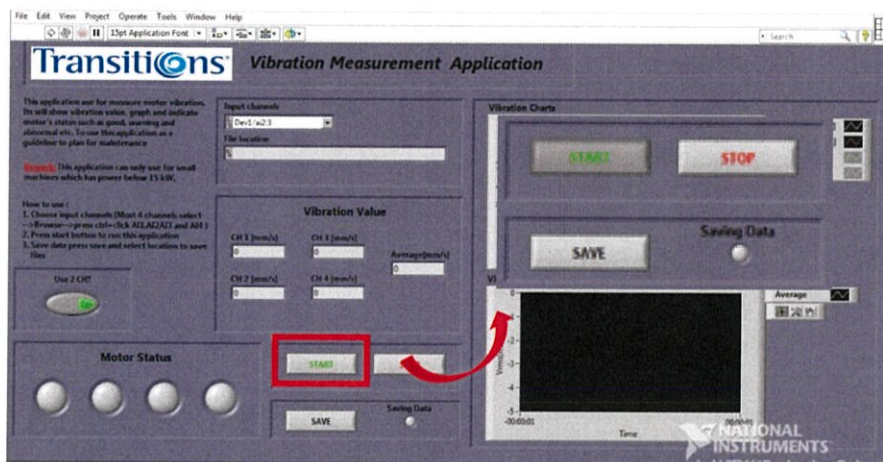
รูปที่ ก.4 แสดงหน้าจอโปรแกรมแลปวิวส่วนแสดง Input Channel ที่เลือก

3. กดเลือก Use 2 CH เนื่องจากใช้ Vibration Transmitter เพียง 2 โพรบ แต่หากใช้ 4 โพรบก็ข้ามขั้นตอนนี้ได้เลยโดยไม่ต้องเลือก โปรแกรมจะสามารถรู้ได้เองว่าใช้ Vibration Transmitter 4 โพรบ เมื่อทำการกดเลือกแล้ว จะมีไฟแสดงสถานะสีเขียวสว่างขึ้นบริเวณปุ่มกด



รูปที่ ก.5 แสดงหน้าจอโปรแกรมแลปวิส่วนกดเลือก Use 2 CH

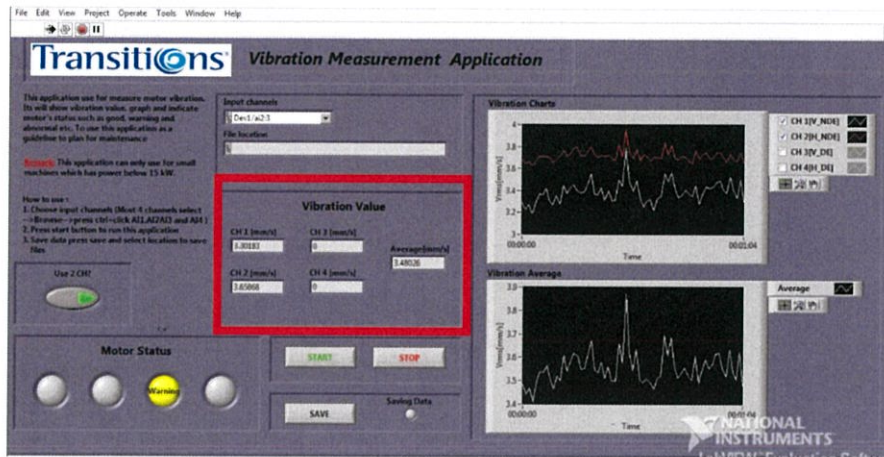
4. ทำการคลิกปุ่ม START เพื่อให้โปรแกรมเริ่มทำงานวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์



รูปที่ ก.6 แสดงหน้าจอโปรแกรมแลปวิส่วนกดปุ่ม START เพื่อให้โปรแกรมเริ่มทำงาน

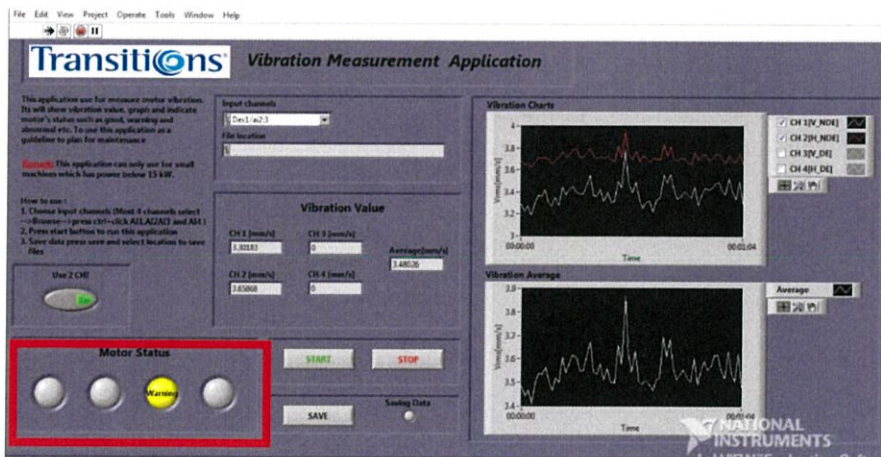
5. จอแสดงผลโปรแกรม LabView จะแสดงผลดังนี้

Vibration Value จะแสดงค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์แต่ละโพรบที่ทำการวัดในแต่ละตำแหน่งโพรบ  
ใดไม่มีการใช้งานค่าในช่องแสดงค่าการสั่นสะเทือนจะแสดงค่าเป็น 0 และแสดงค่า  
เฉลี่ยการสั่นสะเทือนที่จะนำไปเทียบกับมาตรฐานการสั่นสะเทือน



รูปที่ ก.7 แสดงหน้าจอโปรแกรมแลปวิวส่วนแสดงค่า Vibration Value

Motor Status จะแสดงระดับความรุนแรงในการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ ซึ่งใช้ค่าเฉลี่ยการสั่นสะเทือน  
เทียบกับมาตรฐาน ISO 10816-1

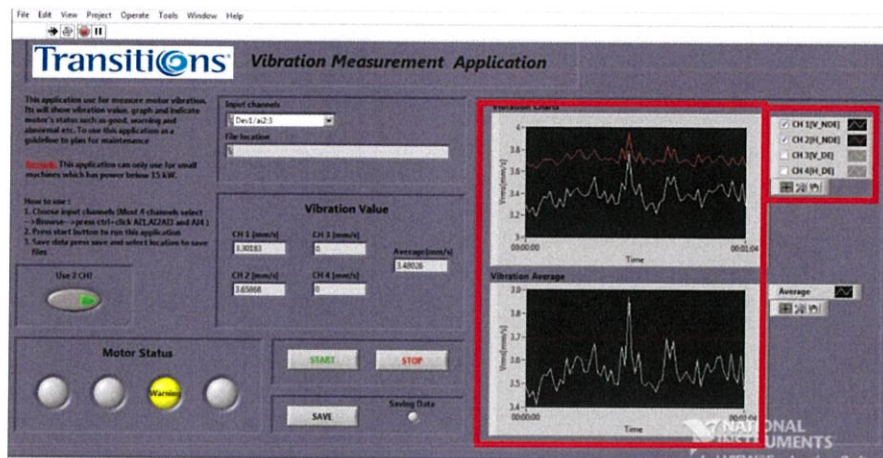


รูปที่ ก.8 แสดงหน้าจอโปรแกรมแลปวิวส่วนแสดง Motor Status

Vibration Charts    กราฟแสดงค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ในแต่ละโพรบ

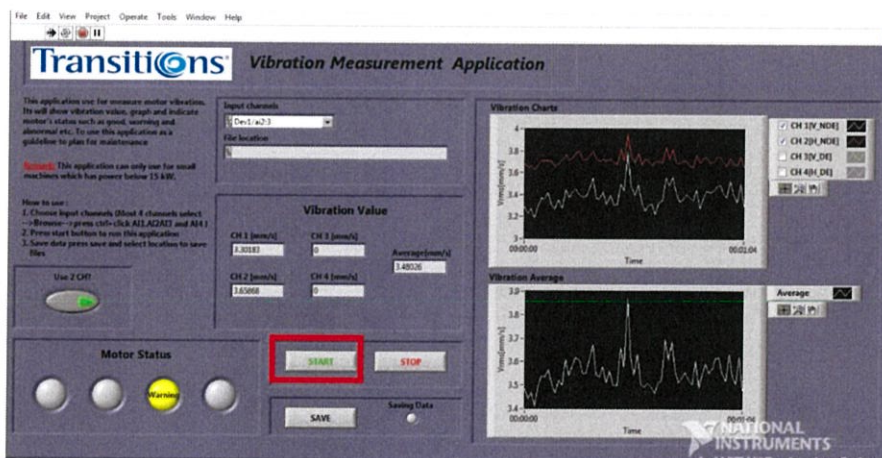
Vibration Average    กราฟแสดงค่าเฉลี่ยการสั่นสะเทือนของมอเตอร์

ด้านซ้ายของกราฟจะมีฟังก์ชันให้เลือกขยายดูช่วงใดๆของกราฟ และสามารถเลือกดูเฉพาะกราฟค่าการสั่นสะเทือนของ โพรบที่สนใจได้



รูปที่ ก.9 แสดงหน้าจอโปรแกรมแลปวิวส่วนที่แสดง Vibration Charts และ Vibration Average

6. ทำการบันทึกค่าการสั่นสะเทือนที่ทำการวัด ทำได้โดยการคลิกเลือกปุ่ม SAVE ที่หน้าโปรแกรม LabView



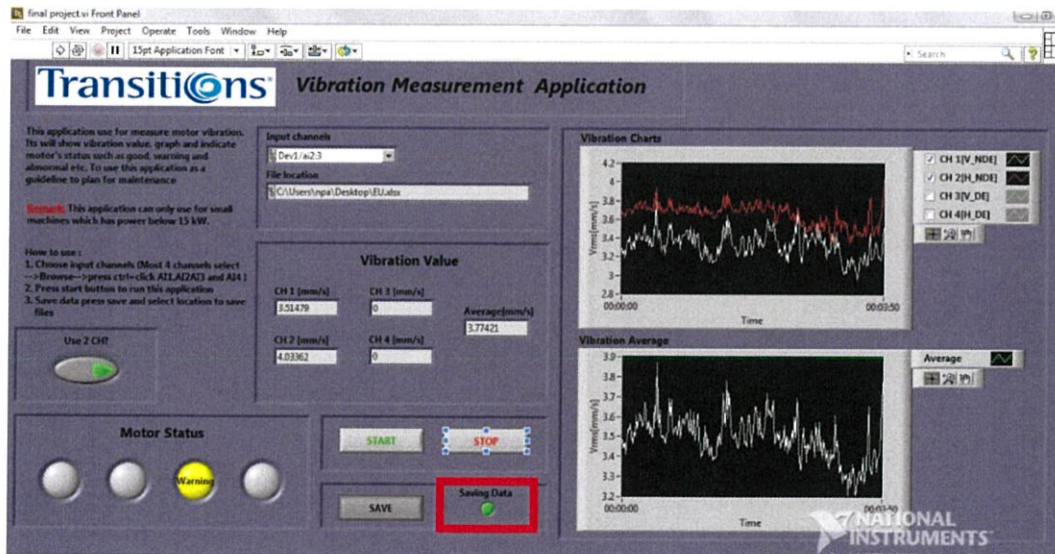
รูปที่ ก.10 แสดงหน้าจอโปรแกรมแลปวิวส่วนเลือกปุ่มกด SAVE เพื่อทำการบันทึกข้อมูล

7. จะปรากฏหน้าต่างให้เลือกโฟลเดอร์ที่จะเป็นที่อยู่ของบันทึกค่าการสั่นสะเทือนนี้ เมื่อทำการเลือกโฟลเดอร์และตั้งชื่อไฟล์ข้อมูลนี้เรียบร้อยแล้ว ช่องแสดง File Location ที่หน้าจอโปรแกรม LabView จะแสดงที่อยู่ไฟล์ที่เราทำการเลือกไว้



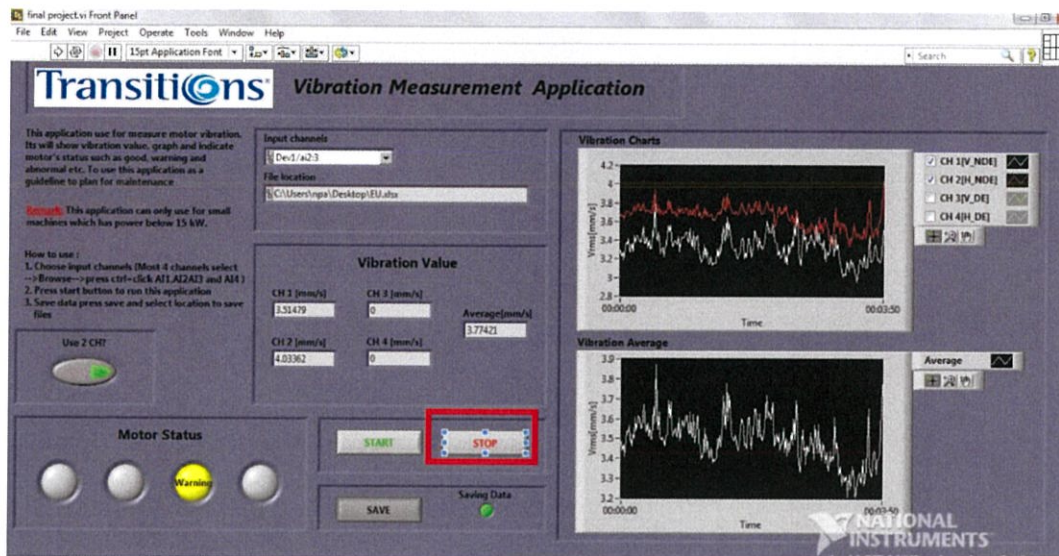
รูปที่ ก.11 แสดงหน้าจอโปรแกรมแลบวิวส่วนแสดง File Location ที่ข้อมูลบันทึกอยู่

ไฟแสดงสถานะสีเขียว Saving Data จะสว่างขึ้นขณะทำการบันทึกค่าการสั่นสะเทือนในไฟล์ที่เลือกไว้



รูปที่ ก.12 แสดงหน้าจอโปรแกรมแลบวิวส่วนไฟแสดงสถานะ Saving Data

8. เมื่อทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนตามเวลาที่ต้องการแล้ว จึงกดปุ่ม STOP ซึ่งเป็นการสิ้นสุดการวัดค่าการสั่นสะเทือนของมอเตอร์ ของโปรแกรม LabView ที่ทำการออกแบบไว้



รูปที่ ก.13 แสดงหน้าจอโปรแกรมแลบวิวส่วนเลือกกดปุ่ม STOP เพื่อให้โปรแกรมหยุดทำงาน

## ประวัติผู้เขียน

- ชื่อ-นามสกุล : นางสาวสุภาวดี คงแคล้ว
- วัน เดือน ปีเกิด : 30 มิถุนายน พ.ศ.2538
- ภูมิลำเนา : 21 หมู่ 1 ตำบล ห้วยซ้อง อำเภอ บ้านลาด จังหวัด เพชรบุรี 76150
- อีเมลล์ : dear8532@hotmail.com
- ประวัติการศึกษา : ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น  
โรงเรียนบ้านลาดวิทยา จังหวัดเพชรบุรี  
: ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย  
โรงเรียนพรหมานุสรณ์ จังหวัดเพชรบุรี  
: ระดับปริญญาตรี  
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ประวัติการทำงาน : มิถุนายน - กรกฎาคม พ.ศ.2560  
นักศึกษาฝึกงาน แผนก Maintenance  
ทรานซิชั่นส์ อีอพทิคัล (ประเทศไทย) จำกัด  
: สิงหาคม - พฤศจิกายน พ.ศ.2560  
นักศึกษาสหกิจศึกษา แผนก Maintenance  
ทรานซิชั่นส์ อีอพทิคัล (ประเทศไทย) จำกัด