

การพัฒนาระบบวิเคราะห์การสันสะท้อนเพื่อช่วยในงานซ่อมบำรุง
ด้วยเว็บเบสแอปพลิเคชัน



นายพีรพงษ์ พิมพ็อบ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2563

**DEVELOPMENT OF THE ONLINE CONDITION-BASED
MAINTENANCE USING WEB-BASED APPLICATION**



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the
Degree of Master of Engineering in Mechatronic Engineering**

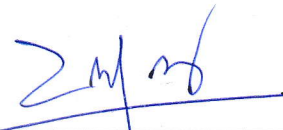
Suranaree University of Technology

Academic Year 2020

การพัฒนากระบวนการจัดการต้นสะเทือนเพื่อช่วยในงานซ่อมบำรุงด้วยเว็บแอปพลิเคชัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รศ. ดร.บัณฑิต กฤตาคม)

ประธานกรรมการ



(รศ. ดร.จิระพล ศรีเสรีวุฒ)

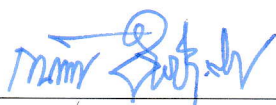
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(อ. ดร.ธีทัต คลวิชัย)

กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล





(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

พิรพงษ์ พิมพ์อุบ : การพัฒนาระบบวิเคราะห์การสั่นสะเทือนเพื่อช่วยในงานซ่อมบำรุง
ด้วยเว็บแอปพลิเคชัน (DEVELOPMENT OF THE ONLINE CONDITION-BASED
MAINTENANCE USING WEB-BASED APPLICATION) อาจารย์ที่ปรึกษา :
รองศาสตราจารย์ ดร.จิระพล ศรีเสวีวุฒ, 108 หน้า.

ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมมีเป้าหมายในการผลิตสินค้าที่มีต้นทุนการผลิตที่ลดลง
และมีคุณภาพสินค้าที่ได้มาตรฐานมากยิ่งขึ้น พร้อมทั้งส่งมอบสินค้าให้ตรงตามเวลาที่กำหนด
ปัจจัยในการผลิตจะประกอบไปด้วย วัตถุดิบ, แรงงาน และเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิต
ซึ่งกระบวนการผลิตที่ได้ทั้งปริมาณและคุณภาพที่ดีนั้นจำเป็นจะต้องมีเครื่องจักรที่ดีมีคุณภาพ
โดยการเลือกใช้เครื่องจักรที่มีความแข็งแรงทนทาน มีความเที่ยงตรงและแม่นยำสามารถทำงานได้
ตลอดเวลา แต่ตามหลักของความเป็นจริงแล้วสามารถเป็นไปได้ยาก เนื่องจากเมื่อใช้เครื่องจักร
ไปเป็นเวลานาน ๆ เครื่องจักรก็จะมีการเสื่อมสภาพตามอายุการใช้งาน เช่น การชำรุด สึกหรอ
ความขัดข้อง เป็นต้น ดังนั้นเครื่องจักรที่ถูกใช้งานมาเป็นระยะเวลาสั้น จึงจำเป็นที่จะต้องมีการ
การบำรุงรักษาที่ถูกต้อง โดยหลักการแล้วงานบำรุงรักษาจะสามารถแบ่งออกได้ 4 ประเภท คือ
การซ่อมเมื่อเสีย (Breakdown Maintenance), การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance : PM),
การบำรุงรักษาแบบพยากรณ์ตามสภาพ (Predictive Maintenance : PdM) และการบำรุงรักษาเชิงรุก
(Proactive Maintenance) ซึ่งแต่ละประเภทก็จะมีจุดมุ่งหมายที่ใกล้เคียงกันคือการบำรุงรักษาเครื่องจักร
ให้กลับมาใช้งานได้ดีดังเดิม สามารถยืดอายุการใช้งานให้ยาวนานขึ้น และไม่เกิดการขัดข้องหรือ
เสียบ่อย ๆ จึงจำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาเครื่องจักรเข้ามาช่วยเพื่อที่จะสามารถควบคุมการทำงาน
ของเครื่องจักรได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยเหตุนี้ทางผู้วิจัยถึงเห็นว่าการนำการบำรุงรักษา
แบบพยากรณ์ตามสภาพ มาช่วยในงานบำรุงรักษาเครื่องจักรเพื่อให้เครื่องจักรทำงานอย่างมี
ประสิทธิภาพ โดยใช้เทคนิคการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรเนื่องจากการสั่นสะเทือนในเครื่องจักร
มีลักษณะเฉพาะตัว สามารถแยกแยะความผิดปกติของเครื่องจักรได้เหมาะที่จะนำมาตรวจสอบ
สภาวะการทำงานของเครื่องจักร และมีการแสดงสถานะการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรผ่าน
เว็บแอปพลิเคชันเพื่อเฝ้าระวังเครื่องจักรที่มีความสำคัญต่อสายการผลิตอย่างต่อเนื่อง

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อนักศึกษา 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

PEERAPONG PIMUP : DEVELOPMENT OF THE ONLINE CONDITION -
BASED MAINTENANCE USING WEB - BASED APPLICATION.

THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. JIRAPHON SRISERTPOL, Ph.D.,
108 PP.

INTERNET OF THINGS/MAINTENANCE/VIBRATION/MONITORING

At present, the goals of the industry are producing products with lower production costs, more standardized product quality and delivering the product on time. Production factors include raw materials, labor, and machinery used in the production process. Selection of machines that are durable and Accuracy all the time. When using the machine for a long time, the machine will deteriorate over time such as wear and tear, failure. Therefore, a machine that has been used for a long time it needs to be maintained properly. Maintenance method is Breakdown Maintenance (BM), Preventive Maintenance (PM), Predictive Maintenance (PdM) and Proactive Maintenance. The target of maintenance is to maintain the machines performance and extend the service life to be longer and no machine breakdown. The researchers realized that implementing condition-based predictive maintenance to help in the maintenance work to keep the machines working efficiently. By using the machine vibration technique. The vibration in the machine is unique in any vibration failure. The vibration analysis technique able to identify machine failures, suitable to check machine working conditions. And there is a display of the vibration status of the machine through a web application to monitor machines that are important to the production line in factory.

School of Mechanical Engineering

Academic year 2020

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ได้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างยิ่ง ทั้งในด้านวิชาการและในด้านดำเนินงานวิจัย จากบุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. จิระพล ศรีเสริฐผล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และแนะแนวทางอันเป็นประโยชน์ยิ่งแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมไปถึงได้ช่วยตรวจทาน และแก้ไขรายงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนทำให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งเป็นกำลังใจ และเป็นแบบอย่างที่ดีในการดำเนินชีวิตหลาย ๆ ด้าน

ขอขอบคุณ คุณอัยญาอุษ รอดพ่าย ที่ได้ช่วยให้ความรู้ในด้านวิชาการและทฤษฎีที่เป็นประโยชน์ในการทำงานวิจัย ซึ่งผู้วิจัยได้นำความรู้ที่ได้รับมาประยุกต์ใช้

ขอขอบคุณ คุณสุนทร โอษฐงาม และคุณศิริพงษ์ ปะวะโก รวมไปถึงบุคลากรใน System and Control Engineering Laboratory ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ และคำปรึกษาในทุก ๆ ด้าน ระหว่างการทำงาน

เจ้าหน้าที่ประจำสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ทุก ๆ ท่าน ที่อำนวยความสะดวกในดำเนินงานเอกสารต่าง ๆ ตลอดจนให้คำปรึกษาแก่ผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณ คุณสมศักดิ์ - คุณราไฟ พิมพ์อุบ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ดูแล เป็นกำลังใจอย่างใกล้ชิด และให้ทุนสนับสนุนค่าใช้จ่ายระหว่างการศึกษแก่ผู้วิจัยเสมอมา

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนขอขอบพระคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ให้ความรู้ทางด้านวิชาการทั้งในอดีตและปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้กำเนิด ความรัก กำลังใจ การอบรม เลี้ยงดู และดูแลส่งเสริมทางการศึกษาอย่างดีมาโดยตลอด จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา

พีรพงษ์ พิมพ์อุบ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย.....	3
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย.....	3
1.5 สถานที่ทำงานวิจัย.....	4
1.6 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	4
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.8 การจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์.....	4
2 ปรัชญ์นั้วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 บทนำ.....	6
2.2 ปรัชญ์นั้วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.3.1 การบำรุงรักษาแบบพยากรณ์ตามสภาพ.....	10
2.3.2 การสันสะเทือน.....	10
2.3.3 สัญญาณของการสันสะเทือน.....	12
2.3.4 เครื่องวิเคราะห์แบบ FFT.....	12
2.3.5 เทคนิคการวัดและมาตรฐานการสันสะเทือน.....	15

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.6	การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนบนแกนความถี่.....	17
2.3.7	สัญญาณการสั่นสะเทือนบนแกนความถี่จากสาเหตุต่าง ๆ.....	19
2.3.8	กรณีศึกษาลักษณะสัญญาณการสั่นสะเทือน.....	21
2.3.9	เว็บแอปพลิเคชัน.....	26
2.4	สรุป.....	32
3	วิธีดำเนินงานวิจัย.....	33
3.1	บทนำ.....	33
3.2	การพัฒนากระบวนการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน.....	33
3.3	การสร้างชุดอุปกรณ์เก็บและประมวลผลสัญญาณการสั่นสะเทือน.....	46
3.3.1	Raspberry Pi 4 (4GB)	46
3.3.2	โฟโตอิลีกทริกเซนเซอร์.....	47
3.3.3	Acceleration Meter.....	48
3.3.4	Compact DAQ Chassis และ Analog Input Device.....	49
3.3.5	แผนภาพบล็อกไดอะแกรมของชุดอุปกรณ์.....	50
3.4	การพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อแสดงผลสัญญาณการสั่นสะเทือน.....	51
3.4.1	การสอบเทียบสัญญาณการสั่นสะเทือน.....	52
3.4.2	การทดสอบเก็บและดึงข้อมูลจาก Firebase.....	52
3.5	สรุป.....	54
4	ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล.....	55
4.1	บทนำ.....	55
4.2	ผลการทดสอบระบบการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน.....	55
4.2.1	ผลการทดสอบระบบการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน ของ Blower.....	56
4.2.2	ผลการทดสอบระบบการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน ของ Single Plane.....	58
4.2.3	ผลการทดสอบระบบการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน ของ Motor Pump.....	59

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3	ผลการทดสอบชุดอุปกรณ์เก็บและประมวลผลสัญญาณการสั้นสะเทือน.....	61
4.3.1	ผลการทดสอบชุดอุปกรณ์เก็บและประมวลผลสัญญาณการสั้นสะเทือน Blower.....	64
4.3.2	ผลการทดสอบชุดอุปกรณ์เก็บและประมวลผลสัญญาณการสั้นสะเทือน Single Plane.....	66
4.3.3	ผลการทดสอบชุดอุปกรณ์เก็บและประมวลผลสัญญาณการสั้นสะเทือน Motor Pump.....	68
4.4	สรุป.....	86
5	บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	88
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	88
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	89
	รายการอ้างอิง.....	90
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก. ตัวอย่างโค้ดการทำงานของซอฟต์แวร์.....	91
	ภาคผนวก ข. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	106
	ประวัติผู้เขียน.....	108

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
3.1 ค่าความคลาดเคลื่อนของค่า Amplitude ที่อ่านได้	35
3.2 ค่าความคลาดเคลื่อนของค่า Amplitude ที่อ่านได้ ครั้งที่ 1	37
3.3 ค่าความคลาดเคลื่อนของค่า Amplitude ที่อ่านได้ ครั้งที่ 2	37
3.4 ค่าความคลาดเคลื่อนของค่า Amplitude ที่อ่านได้ ครั้งที่ 3	37
3.5 ค่าความคลาดเคลื่อนของค่า Amplitude ที่อ่านได้ ครั้งที่ 4	37
3.6 ค่าความคลาดเคลื่อนของค่า Amplitude ที่อ่านได้ ครั้งที่ 5	38
3.7 ค่าความคลาดเคลื่อนของค่า Amplitude ที่อ่านได้ ครั้งที่ 6	38
3.8 ค่าความคลาดเคลื่อนของค่า Amplitude ที่อ่านได้ ครั้งที่ 7	38
3.9 ค่าความคลาดเคลื่อนของค่า Amplitude ที่อ่านได้ ครั้งที่ 8	38
3.10 ค่าความคลาดเคลื่อนของค่า Amplitude ที่อ่านได้ ครั้งที่ 9	38
3.11 ค่าความคลาดเคลื่อนของค่า Amplitude ที่อ่านได้ ครั้งที่ 10	39
3.12 ค่า Sample rate ที่ความถี่ 25, 50 และ 75 Hz.....	39
3.13 ค่าความคลาดเคลื่อนค่า Amplitude ที่ทำการป้อน และค่า Amplitude ที่อ่านค่าได้ ของ Sample rate ที่ความถี่ 25, 50 และ 75 Hz	41
3.14 ทดสอบค่าความถี่ 10 - 1000 Hz.....	42
4.1 เปรียบเทียบค่าแอมพลิจูดของ Blower.....	57
4.2 เปรียบเทียบค่าแอมพลิจูดของ Single Plane	59
4.3 เปรียบเทียบค่าแอมพลิจูดของ Motor Pump	61
4.4 เปรียบเทียบค่าจุกวัดที่ 1 ของ Blower.....	69
4.5 เปรียบเทียบค่าจุกวัดที่ 2 ของ Blower.....	69
4.6 เปรียบเทียบค่าจุกวัดที่ 1 ของ Single Plane	76
4.7 เปรียบเทียบค่าจุกวัดที่ 2 ของ Single Plane	76
4.8 เปรียบเทียบค่าจุกวัดที่ 1 ของ Motor Pump	85
4.9 เปรียบเทียบค่าจุกวัดที่ 2 ของ Motor Pump	85

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.10 เปรียบเทียบค่าจุดวัดที่ 3 ของ Motor Pump	86
4.11 เปรียบเทียบค่าจุดวัดที่ 4 ของ Motor Pump	86



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	องค์ประกอบที่ใช้ในการอธิบายการเคลื่อนที่แบบสั่น 11
2.2	เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนแบบ FFT 12
2.3	ขั้นตอนการแปลงสัญญาณแบบ FFT 13
2.4	รูปแบบการเคลื่อนที่ที่ลักษณะเป็นคาบ..... 14
2.5	ตัวอย่างการกำหนดตำแหน่งการวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร 16
2.6	ตาราง ISO 10816-3..... 16
2.7	สัญญาณการสั่นสะเทือนในรูปกราฟโดเมนเวลา 17
2.8	สัญญาณการสั่นสะเทือนในรูปกราฟโดเมนความถี่ 18
2.9	สัญญาณการสั่นสะเทือนในรูปกราฟโดเมนเวลาลักษณะเป็นคาบ 18
2.10	สัญญาณการสั่นสะเทือนในรูปกราฟโดเมนความถี่ 18
2.11	สัญญาณการสั่นสะเทือนบนแกนความถี่ในกรณีไม่สมดุล..... 19
2.12	สัญญาณการสั่นสะเทือนบนแกนความถี่ในกรณีเชิงแนวแกนเพลลา 19
2.13	สัญญาณการสั่นสะเทือนบนแกนความถี่ในกรณีหลวมคลอนของโครงสร้าง 20
2.14	สัญญาณการสั่นสะเทือนบนแกนความถี่ในกรณีหลวมเนื่องจากโบลต์ยึด ขาตั้งเครื่องจักร 20
2.15	สัญญาณการสั่นสะเทือนบนแกนความถี่ในกรณีหลวมคลอนเนื่องจากรานสวม 21
2.16	ภาพประกอบชุดขับสายพานลำเลียงและตำแหน่งการวัดค่าการสั่นสะเทือน 22
2.17	ค่าการสั่นสะเทือนที่วัดในแต่ละช่วงเวลาของชุดขับสายพาน 22
2.18	สเปกตรัมที่ตำแหน่ง 1H เค้นชัดที่ 1X RPM..... 23
2.19	ภาพประกอบชุดพัดลมแบบเหวี่ยงหนีศูนย์กลางและตำแหน่งการวัดค่า การสั่นสะเทือน 23
2.20	กราฟแนวโน้มการสั่นสะเทือนในแนวแกนที่ตำแหน่งที่ 3 (3A) 24
2.21	กราฟสเปกตรัมแสดงความถี่ในแนวแกนที่ตำแหน่งที่ 3 (3A)..... 24
2.22	ภาพประกอบชุดอุปกรณ์เครื่องสูบน้ำชนิดเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง..... 25
2.23	สเปกตรัมความถี่ที่ตำแหน่ง 1H ของเครื่องสูบน้ำชนิดเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง 26

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
2.24	หลักการทํางานของเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application).....	27
2.25	ส่วนประกอบของเว็บแอปพลิเคชัน	29
3.1	สัญญาณ Sine Wave 25 Hz	34
3.2	สัญญาณ Hanning Window	34
3.3	สัญญาณ 25 Hz + Hanning Window	35
3.4	กราฟโดเมนความถี่ 25 Hz.....	35
3.5	กราฟโดเมนความถี่ 25 และ 50 Hz.....	35
3.6	กราฟโดเมนความถี่ 25, 50 และ 75 Hz.....	36
3.7	สัญญาณ Noise.....	36
3.8	สัญญาณ Sine Wave + Noise	36
3.9	กราฟโดเมนความถี่ 25, 50 และ 75 Hz.....	36
3.10	Raspberry Pi 4 (4GB)	47
3.11	Photoelectric Sensor	48
3.12	Accelerometers	49
3.13	Compact DAQ Chassis	49
3.14	Analog Input Device.....	50
3.15	แผนภาพของการเชื่อมต่อของอุปกรณ์	50
3.16	โปรแกรม PyCharm Community Edition	51
3.17	ซอฟต์แวร์แสดงผลสัญญาณการสั่นสะเทือน	51
3.18	เครื่องสอบเทียบสัญญาณการสั่นสะเทือน	52
3.19	ค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากเซนเซอร์	52
3.20	Code การส่งข้อมูล	53
3.21	ตัวอย่างข้อมูลบน Firebase.....	53
3.22	ตัวอย่างข้อมูลที่ดึงจาก Firebase	54
4.1	เครื่องวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน	56
4.2	ข้อมูลโดเมนเวลาของ Blower.....	56

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 ผลวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนของ Blower	57
4.4 ข้อมูลโดเมนความถี่ของ Blower	57
4.5 ข้อมูลโดเมนเวลาของ Single Plane.....	58
4.6 ผลวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนของ Single Plane	58
4.7 ข้อมูลโดเมนความถี่ของ Single Plane.....	59
4.8 ข้อมูลโดเมนเวลาของ Motor Pump	60
4.9 ผลวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนของ Motor Pump.....	60
4.10 ข้อมูลโดเมนความถี่ของ Motor Pump.....	60
4.11 เครื่องวัดสัญญาณการสั่นสะเทือน (a).....	62
4.12 เครื่องวัดสัญญาณการสั่นสะเทือน (b).....	62
4.13 กำหนดจุดวัดการสั่นสะเทือนของ Blower	63
4.14 ค่าการสั่นสะเทือนของ Blower จุดที่ 1	63
4.15 ค่าการสั่นสะเทือนของ Blower จุดที่ 2	64
4.16 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 1 แกน Vertical ของ Blower จากเครื่องวัด การสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a).....	64
4.17 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 1 แกน Horizontal ของ Blower จากเครื่องวัด การสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a)	65
4.18 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 1 แกน Vertical ของ Blower จากเครื่องวัด การสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (b)	65
4.19 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 1 แกน Horizontal ของ Blower จากเครื่องวัด การสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (b).....	66
4.20 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 2 แกน Vertical ของ Blower จากเครื่องวัด การสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a)	66
4.21 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 2 แกน Horizontal ของ Blower จากเครื่องวัด การสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a).....	67
4.22 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 2 แกน Axial ของ Blower จากเครื่องวัด การสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a).....	67

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.23 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 2 แกน Vertical ของ Blower จากเครื่องวัด การสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (b)	68
4.24 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 2 แกน Horizontal ของ Blower จากเครื่องวัด การสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (b)	68
4.25 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 2 แกน Axial ของ Blower จากเครื่องวัด การสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (b)	69
4.26 กำหนดจุดวัดการสั่นสะเทือนของ Single Plane	70
4.27 ค่าการสั่นสะเทือนของ Single Plane จุดที่ 1	71
4.28 ค่าการสั่นสะเทือนของ Single Plane จุดที่ 2	71
4.29 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 1 แกน Vertical ของ Single Plane จากเครื่องวัด การสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a)	72
4.30 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 1 แกน Horizontal ของ Single Plane จากเครื่องวัด การสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a)	72
4.31 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 1 แกน Vertical ของ Single Plane จากเครื่องวัด การสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (b)	73
4.32 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 1 แกน Horizontal ของ Single Plane จากเครื่องวัด การสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (b)	73
4.33 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 2 แกน Vertical ของ Single Plane จากเครื่องวัด การสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a)	74
4.34 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 2 แกน Horizontal ของ Single Plane จากเครื่องวัด การสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a)	74
4.35 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 2 แกน Vertical ของ Single Plane จากเครื่องวัด การสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (b)	75
4.36 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 2 แกน Horizontal ของ Single Plane จากเครื่องวัด การสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (b)	75
4.37 กำหนดจุดวัดการสั่นสะเทือนของ Motor Pump	77
4.38 ค่าการสั่นสะเทือนของ Motor Pump จุดที่ 1	78

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.39 ค่าการสันสะเทือนของ Motor Pump จุดที่ 2.....	78
4.40 ค่าการสันสะเทือนของ Motor Pump จุดที่ 3.....	79
4.41 ค่าการสันสะเทือนของ Motor Pump จุดที่ 4.....	79
4.42 ค่าการสันสะเทือนจุดที่ 1 แกน Vertical ของ Motor Pump จากเครื่องวัด การสันสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a).....	80
4.43 ค่าการสันสะเทือนจุดที่ 1 แกน Horizontal ของ Motor Pump จากเครื่องวัด การสันสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a).....	80
4.44 ค่าการสันสะเทือนจุดที่ 1 แกน Axial ของ Motor Pump จากเครื่องวัด การสันสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a).....	81
4.45 ค่าการสันสะเทือนจุดที่ 2 แกน Vertical ของ Motor Pump จากเครื่องวัด การสันสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a).....	81
4.46 ค่าการสันสะเทือนจุดที่ 2 แกน Horizontal ของ Motor Pump จากเครื่องวัด การสันสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a).....	82
4.47 ค่าการสันสะเทือนจุดที่ 2 แกน Axial ของ Motor Pump จากเครื่องวัด การสันสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a).....	82
4.48 ค่าการสันสะเทือนจุดที่ 3 แกน Vertical ของ Motor Pump จากเครื่องวัด การสันสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a).....	83
4.49 ค่าการสันสะเทือนจุดที่ 3 แกน Horizontal ของ Motor Pump จากเครื่องวัด การสันสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a).....	83
4.50 ค่าการสันสะเทือนจุดที่ 4 แกน Vertical ของ Motor Pump จากเครื่องวัด การสันสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a).....	84
4.51 ค่าการสันสะเทือนจุดที่ 4 แกน Horizontal ของ Motor Pump จากเครื่องวัด การสันสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a).....	84

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในยุคปัจจุบัน โรงงานอุตสาหกรรมมีเป้าหมายหลัก ของการผลิตสินค้าและบริการ เพื่อให้สินค้าและบริการมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ คุณภาพได้มาตรฐาน พร้อมการส่งมอบได้ทันตามที่ลูกค้ากำหนด ในการผลิตโดยทั่วไปนั้นมีปัจจัยประกอบหลัก 3 ประการคือ วัตถุดิบ แรงงาน และเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตการผลิตที่ได้ทั้งปริมาณและคุณภาพที่ดีนั้นจำเป็นจะต้องมีเครื่องจักรที่ดีมีคุณภาพการเลือกใช้เครื่องจักรที่มีความแข็งแรงทนทานมีความเที่ยงตรงแม่นยำสามารถทำงานได้ตลอดเวลา ซึ่งตามหลักความเป็นจริงแล้วเป็นไปได้ยาก เนื่องจากเครื่องจักรเมื่อใช้ไปเวลานานก็ต้องมีการเสื่อมสภาพตามอายุการใช้งาน เช่น การชำรุด สึกหรือขัดข้อง เป็นต้น ดังนั้นเพื่อให้เครื่องจักรมีระยะเวลาการทำงานที่ยาวนาน จึงต้องมีการบำรุงรักษาโดยหลักการแล้วงานบำรุงรักษาสามารถแบ่งออกได้ 4 ประเภทด้วยกัน ซึ่งแต่ละประเภทมีจุดมุ่งหมายใกล้เคียงกันหรือเหมือนกันนั่นก็คือ การบำรุงรักษาเครื่องจักรให้กลับมาใช้งานได้ดังเดิมยาวนานขึ้น ไม่เกิดการขัดข้องหรือเสียหาย ๆ จำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาเครื่องจักรเข้ามาช่วยเพื่อที่จะสามารถควบคุมการทำงานของเครื่องจักรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การซ่อมเมื่อเสีย (Breakdown Maintenance) เป็นการบำรุงรักษาโดยจะทำการซ่อมแซมเครื่องจักรหลังเกิดความเสียหายหรือเหตุขัดข้องหรือถ้าพูดง่าย ๆ คือ “การใช้จนเสียแล้วค่อยซ่อม” นั่นเองการบำรุงรักษาเครื่องจักรในลักษณะนี้ถือเป็นการบำรุงรักษาเชิงวางแผนอย่างหนึ่งคือวางแผนที่จะให้เครื่องจักรนั้น Breakdown เสียก่อนแล้วจึงทำการซ่อมซึ่งข้อดีของการวางแผนซ่อมบำรุงรักษาแบบนี้คือใช้งบประมาณในการซ่อมบำรุงค่อนข้างต่ำกว่าวิธีอื่น ๆ แต่มีข้อเสียทำให้สูญเสียโอกาสทางการผลิตไป ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับเครื่องจักรหรือชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ไม่ค่อยมีความสำคัญมากนัก ยกตัวอย่างเช่น ในการเปลี่ยนหลอดไฟคงไม่มีใครที่จะทำการเปลี่ยนหลอดไฟที่บ้านเมื่อมีอายุครบ 6 เดือน เพราะถ้าเสียเมื่อใดเราก็สามารถหาซื้อหลอดไฟมาเปลี่ยนได้โดยใช้เวลาไม่มากและมีค่าใช้จ่ายที่ น้อยกว่าการที่เราจะเปลี่ยนก่อนที่จะเสีย

การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance : PM) เป็นการบำรุงรักษาที่พัฒนามาจากการซ่อมเมื่อเสียผู้ผลิตไม่ต้องการให้เครื่องจักรเกิดการเสียหายในระหว่างทำการผลิต การวางแผนซ่อมบำรุงนี้จะมีการกำหนดการตรวจสอบซ่อมและบำรุงรักษาตามระยะเวลาที่แน่นอนไม่ว่าจะเป็นการทำความสะอาดหล่อลื่นเครื่องจักรรวมถึงการเปลี่ยนอะไหล่หรือชิ้นส่วนเมื่อ

ถึงเวลา บางครั้งชิ้นส่วนนั้นอาจยังไม่เสียแต่ต้องเปลี่ยนตามแผนการที่ได้กำหนดไว้ ดังนั้น การบำรุงรักษาแบบนี้จึงเป็น“การซ่อมก่อนที่จะเสีย”โดยจุดเด่นของการซ่อมบำรุงในลักษณะนี้คือ ไม่ต้องหยุดเครื่องจักรซ่อมบ่อย ช่วยลดจำนวนช่างซ่อมบำรุงเนื่องจากมีการซ่อมที่น้อยลง ช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องจักรแต่อย่างไรข้อเสียของการซ่อมบำรุงแบบนี้ คือมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงที่สูงกว่า เนื่องจากต้องมีการเปลี่ยนชิ้นส่วนหรืออะไหล่ต่าง ๆ ที่ยังไม่มีความเสียหายเกิดขึ้น

การบำรุงรักษาแบบพยากรณ์ตามสภาพ (Predictive Maintenance : PdM) เป็นการบำรุงรักษาที่สามารถติดตามสถานะของเครื่องจักรได้ในขณะที่เครื่องจักรกำลังทำงานอยู่ปกติไม่จำเป็นต้องหยุดเครื่องจักรเพื่อทำการตรวจสอบและทำการวิเคราะห์สภาพของเครื่องจักรเพื่อหาข้อบกพร่องหรือความเสียหายต่างที่เกิดขึ้นอีกทั้งยังสามารถเฝ้าสังเกตการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบเพื่อประเมินความเสียหายที่เกิดขึ้นทำให้เราสามารถยืดอายุการใช้งานของชิ้นส่วนและอุปกรณ์ไปได้หากยังไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับชิ้นส่วนอื่นและสามารถกำหนดแผนการหยุดเครื่องจักร เพื่อทำการบำรุงรักษาเครื่องจักรในเวลาที่เหมาะสมและสะดวกที่สุด แต่หากเครื่องจักรมีความสำคัญต่อสายการผลิตหลักอาจจะต้องมีการเฝ้าระวังเครื่องจักรอย่างต่อเนื่อง แต่อย่างไรข้อเสียของการซ่อมบำรุงแบบนี้คือ ราคาของอุปกรณ์ ระบบ และผู้เชี่ยวชาญมีราคาสูง ส่วนเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์สภาพเครื่องจักรนั้นมีด้วยกันหลายเทคนิค เช่น อุณหภูมิ ความดันเสียง และการสั่นสะเทือน เป็นต้น

การบำรุงรักษาเชิงรุก (Proactive Maintenance) เป็นการบำรุงรักษาที่จะมุ่งเน้นการพิจารณาที่รากของปัญหา (Root Causes Failure) โดยนำเอาข้อบกพร่องที่พบนั้นไปทำการวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา ซึ่งทำการวิเคราะห์โดยผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์เพื่อที่จะหารากของปัญหาที่แท้จริงแล้วนำข้อมูลที่ได้ไปปรับปรุงเครื่องจักรหรือหาวิธีป้องกันไม่ให้เกิดเหตุการณ์ขึ้นอีกหรือให้เกิดขึ้นน้อยที่สุดสามารถยืดอายุของเครื่องจักรให้ใช้ได้ยาวนานขึ้นเครื่องจักรมีความน่าเชื่อถือเพิ่มขึ้นแต่อย่างไรข้อเสียของการซ่อมบำรุงแบบนี้คือ ใช้เวลาในการตรวจสอบปัญหาของเครื่องจักรมากกว่าวิธีอื่น ๆ และต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญมาร่วมในการวิเคราะห์ปัญหา

จากที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยเล็งเห็นว่าการนำการบำรุงรักษาแบบพยากรณ์ตามสภาพมาช่วยในงานบำรุงรักษาเครื่องจักรเพื่อให้เครื่องจักรทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้เทคนิคการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรเนื่องจากการสั่นสะเทือนในเครื่องจักรมีลักษณะเฉพาะตัว สามารถแยกแยะความผิดปกติของเครื่องจักรได้เหมาะที่จะนำมาตรวจสอบสถานะการทำงานของเครื่องจักรและมีการแสดงสถานะการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรผ่านเว็บแอปพลิเคชันเพื่อเฝ้าระวังเครื่องจักรที่มีความสำคัญต่อสายการผลิตอย่างต่อเนื่องและใช้หลักการทำนายความเสียหายของเครื่องจักรที่ใช้งานอยู่ชิ้นส่วนเริ่มมีความเสียหายต้องมีการวางแผนซ่อมบำรุงหรือไม่

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาและสร้างชุดอุปกรณ์และซอฟต์แวร์ในการเก็บข้อมูล และวินิจฉัยสัญญาณการสั้นสะเทือนของมอเตอร์บีบ โดยใช้หลักการบำรุงรักษาแบบพยากรณ์ตามสภาพ

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์เพื่อเก็บข้อมูลสัญญาณการสั้นสะเทือน
- 1.2.2 เพื่อศึกษาและพัฒนาซอฟต์แวร์วินิจฉัยลักษณะของสัญญาณการสั้นสะเทือน

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย

- 1.3.1 สร้างอุปกรณ์ในการรับค่าสัญญาณการสั้นสะเทือนจากชุดเซนเซอร์วัดการสั้นสะเทือน
- 1.3.2 ใช้เครื่องมือวัดการสั้นสะเทือนที่ได้มาตรฐานเป็นเครื่องมือในการสอบเทียบกับอุปกรณ์
- 1.3.3 ใช้เทคนิคการวิเคราะห์การสั้นสะเทือนในการวินิจฉัยแนวโน้มความเสียหายของเครื่องจักร
- 1.3.4 สามารถนำข้อมูลที่ทำกรวัดได้ในโดเมนเวลาสร้างเป็นกราฟในโดเมนความถี่
- 1.3.5 สามารถนำข้อมูลที่ได้มาวินิจฉัยเพื่อแสดงค่าสั้นสะเทือนที่มีค่าสูงบนความถี่ต่าง ๆ

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

- 1.4.1 รวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดสัญญาณการสั้นสะเทือน
- 1.4.2 ศึกษาลักษณะการเกิดสัญญาณการสั้นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากเครื่องจักร
- 1.4.3 ศึกษามาตรฐานของการวัดสัญญาณการสั้นสะเทือน
- 1.4.4 สร้างอุปกรณ์ในการรับค่าที่วัดจากชุดเซนเซอร์วัดการสั้นสะเทือนและความเร็วรอบ
- 1.4.5 พัฒนาซอฟต์แวร์วิเคราะห์สัญญาณการสั้นสะเทือนของเครื่องจักร และทำการส่งค่าพารามิเตอร์การสั้นสะเทือนและความเร็วรอบไปยัง Firebase
- 1.4.6 พัฒนาซอฟต์แวร์ในการดึงสัญญาณจาก Firebase เพื่อมาแสดงในคอมพิวเตอร์
- 1.4.7 ทดลองชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดการสั้นสะเทือน และทดสอบการทำงานของซอฟต์แวร์ที่ได้พัฒนาขึ้นทำงานเทียบกับอุปกรณ์ที่ได้มาตรฐาน
- 1.4.8 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มา และสรุปผลลัพธ์ที่ได้
- 1.4.9 จัดทำเอกสารและรายการการทำวิจัย

1.5 สถานที่ทำงานวิจัย

1.5.1 อาคารเครื่องมือ 4 (F4) และอาคารเครื่องมือ 5 (F5) ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.6 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

- 1.6.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
- 1.6.2 บอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก (Raspberry pi)
- 1.6.3 เซนเซอร์วัดการสั่นสะเทือน
- 1.6.4 อุปกรณ์ชุดทดสอบ NI (National Instrument)

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ได้ชุดอุปกรณ์และซอฟต์แวร์ในการวินิจฉัยสัญญาณการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร ในราคาที่ต่ำกว่าท้องตลาด

1.7.2 ได้ชุดอุปกรณ์และซอฟต์แวร์ในการวินิจฉัยสัญญาณการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร เพื่อเป็นประโยชน์และช่วยในด้านการบำรุงรักษาอุปกรณ์ในเครื่องจักร

1.7.3 ลดปัญหาการเสียหายแบบทันทีทันใดของเครื่องจักร ทำให้ลดค่าเสียหายและการขาดทุนจากการหยุดของกระบวนการผลิต โดยไม่ได้วางแผนได้

1.8 การจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วย 5 บท 2 ภาคผนวก ซึ่งมีรายละเอียดโดยย่อดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงบทนำซึ่งจะกล่าวถึงความสำคัญของปัญหาวัตถุประสงค์และเป้าหมายของงานวิจัยวิทยานิพนธ์ตลอดจนขอบเขตและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้

บทที่ 2 เป็นการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ทราบถึงแนวทางและระเบียบวิธีการวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยผลจากการสำรวจสืบค้นจะใช้เป็นแนวทางสำหรับการประยุกต์และพัฒนาเข้ากับงานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ และนำเสนอทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบไปด้วย การบำรุงรักษาแบบพยากรณ์ตามสภาพ การสั่นสะเทือน สัญญาณของการสั่นสะเทือน เครื่องวิเคราะห์แบบ FFT เทคนิคการวัดและมาตรฐานการสั่นสะเทือน การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนบนแกนความถี่ สัญญาณการสั่นสะเทือนบนแกนความถี่จากสาเหตุต่าง ๆ กรณีศึกษาลักษณะสัญญาณการสั่นสะเทือนและเว็บแอปพลิเคชันได้ถูกนำมาใช้เป็นความรู้พื้นฐานและความเข้าใจในการดำเนินงานวิจัย

บทที่ 3 บรรยายถึงวิธีการดำเนินงานวิจัย การทดสอบการทำงานของซอฟต์แวร์ การสอบเทียบค่าเซนเซอร์การสัมผัสเทือน การออกแบบชุดอุปกรณ์ในการเก็บและวิเคราะห์สัญญาณการสัมผัสเทือน การพัฒนาการส่งข้อมูลไปยังฐานข้อมูลบนอินเทอร์เน็ต

บทที่ 4 แสดงผลการทดสอบเมื่อใช้ชุดอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเป็นตัววัดการสัมผัสเทือนแล้ว นำสัญญาณมาเทียบเคียงกับอุปกรณ์ที่ได้มาตรฐาน

บทที่ 5 เป็นบทสรุปและข้อเสนอแนะพร้อมงานวิจัยที่จะดำเนินการต่อ
ภาคผนวกประกอบด้วยเนื้อหา 2 ส่วน ได้แก่

ภาคผนวก ก. เป็นการรวบรวมผลงานที่ได้รับการเผยแพร่ของงานวิจัยวิทยานิพนธ์ในขณะดำเนินการศึกษา

ภาคผนวก ข. เป็นการรวบรวมตัวอย่างโค้ดการทำงานของซอฟต์แวร์

บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือ การพัฒนาระบบวิเคราะห์การสั่นสะเทือน เพื่อช่วยในงานซ่อมบำรุงด้วยเว็บแอปพลิเคชัน โดยเลือกใช้ภาษา Python มาเป็นเครื่องมือในการพัฒนา ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องดำเนินการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ทราบถึงแนวทางการวิจัยและระเบียบวิธีที่เคยมีการใช้งานมาก่อนหน้า ผลการดำเนินงานพร้อมทั้งข้อเสนอแนะต่าง ๆ จากคณະนักวิจัยที่มีตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยใช้ฐานข้อมูลที่เป็นแหล่งรวบรวมรายงานวิจัยและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ ฐานข้อมูลจาก IEEE และ Science Direct เป็นต้น รายงานงานวิจัยและวรรณกรรมดังกล่าวจะใช้เป็นแนวทางสำหรับการประยุกต์ และพัฒนาเข้ากับงานวิจัยที่จะดำเนินการต่อไป

2.2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การนำเสนอปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากเรื่องการพัฒนาาระบบวิเคราะห์การสั่นสะเทือนตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน สามารถสรุปโดยย่อเป็นตารางได้ดังตารางที่ 2.1 ซึ่งสามารถจัดเรียงลำดับได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ค.ศ.	คณะผู้ทำวิจัย	การดำเนินงานวิจัย
1997	สมชาย เดโชธรรมสถิต	สาเหตุเบื้องต้นของการสั่นสะเทือนที่จะนำมาสู่การวิเคราะห์นั้นมาจากเครื่องจักรหมุนนั้นเกิดการเอียงศูนย์เกิดการสึกหรอหรือแตกหักภายในซึ่งแสดงอาการออกมาอยู่ในรูปแบบของการสั่นสะเทือนการสั่นสะเทือนเป็นตัวบ่งบอกการเกิดความผิดพลาดในเครื่องจักรแบบหมุนการเกิดความผิดพลาดในเครื่องจักรแบบหมุนนั้นค่าการสั่นสะเทือนจะมีการเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ

ตารางที่ 2.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ค.ศ.	คณะผู้จัดทำ	การดำเนินงานวิจัย
2002	จตุโรจน์ เบ็ญจลักษณ์	นำเสนอการพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลหมุนการพัฒนาโปรแกรมอ้างอิงตามมาตรฐาน ISO 10816-1, ISO 10816-2, และ ISO 10816-3 โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานในลักษณะต่อเนื่องในเวลาจริง เปลี่ยนสัญญาณการสั่นสะเทือนในแกนเวลาให้อยู่ในแกนความถี่วิเคราะห์ความผิดปกติของเครื่องจักรกลหมุนเก็บข้อมูลสำหรับการแสดงข้อมูลในอดีตและเตือนเมื่อเครื่องจักรกลหมุนเริ่มเสียหาย
2002	จตุโรจน์ เบ็ญจลักษณ์	ได้เสนอลดเวลาการซ่อมบำรุงหลังเกิดเหตุขัดข้องโดยทำการหาเวลาที่เหมาะสมในการหยุดเดินเครื่องจักรเพื่อที่จะสามารถกำหนดเวลาในการจัดซื้ออะไหล่ล่วงหน้า ประกอบกับเตรียมความพร้อมก่อนทำการซ่อมบำรุงแบบยกเครื่อง และสามารถทำการซ่อมบำรุงแบบยกเครื่องได้ทันทีเมื่อเครื่องจักรเสีย ด้วยมาตรฐาน ISO 0816-3 มาเป็นมาตรฐานในการประเมินสภาพ
2003	S. Rao	ได้ให้ความหมายของการสั่นสะเทือน คือ การเคลื่อนที่ของวัตถุรอบ ๆ จุดสมดุลในช่วงเวลาหนึ่งของการเคลื่อนที่ไม่ว่าการเคลื่อนที่รอบจุดสมดุลนั้นจะเกิดขึ้นในแบบซ้ำตัวเองหรือไม่ก็ตาม จะเรียกการเคลื่อนที่แบบนี้ว่า “การสั่น (Vibration)” หรือ “การแกว่ง (Oscillation)”
2009	หทัยเทพ วงศ์สุวรรณ	ได้ให้ความหมายของการบำรุงรักษา คือการพยายามรักษาสภาพของเครื่องจักรและอุปกรณ์ให้มีความพร้อมจะใช้งานอยู่เสมอการบำรุงรักษานั้นรวมไปถึงการซ่อมบำรุงดูแลเครื่องจักรและอุปกรณ์ด้วย

ตารางที่ 2.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ค.ศ.	คณะผู้จัดทำ	การดำเนินงานวิจัย
2011	Lia, et al.	<p>ทำการสรุปวรรณกรรมในเรื่องของวิธีการพยากรณ์ แนวโน้มสัญญาณการสั้นสะเทือนกล่าวว่าแนวโน้ม สัญญาณการสั้นสะเทือนนั้นมีสองลักษณะ คือ แนวโน้มที่เป็นเชิงเส้นและแนวโน้มไม่เป็นเชิงเส้น รูปแบบแนวโน้มทั้งสองลักษณะนั้นสามารถใช้ อนุกรมเวลาในการพยากรณ์ได้ซึ่งมีหลายวิธี ตัวอย่างเช่นการใช้ AR Model, MA Model, ARMA Model และ ARIMA Model และอื่น ๆ เป็นต้นแต่ โดยส่วนใหญ่แล้ววิธีการพยากรณ์ในอนุกรมเวลาจะ มีความเหมาะสมในการนำมาใช้พยากรณ์แนวโน้ม สัญญาณการสั้นสะเทือนที่จะเกิดขึ้นในอนาคตใน ช่วงระยะเวลาสั้นเท่านั้นจึงจะมีความแม่นยำใน การพยากรณ์</p>
2012	Said Hadjerrouit	<p>ได้เสนอการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับบน เว็บ ในเชิงวิศวกรรมซอฟต์แวร์สำหรับการสร้างเว็บ เบสแอปพลิเคชันแก่ผู้ที่มีปัญหาในเรื่องของความรู้ใน เรื่องของเว็บเบสแอปพลิเคชัน ที่เน้นประสิทธิภาพ เป็นหลักในการออกแบบ</p>
2014	Ping-Ping Ding, et al.	<p>ได้นำเสนอการประเมินสนามแม่เหล็กในร่างกายมนุษย์ ที่สัมผัสกับระบบชาร์จแบบไร้สายของยานพาหนะ ไฟฟ้า เพื่อให้สามารถตรวจสอบความสอดคล้องของ ระบบการชาร์จต่อขีดจำกัดการสัมผัสสนามแม่เหล็ก ของมนุษย์ การประเมินระบบชาร์จแบบไร้สายภายใต้ เงื่อนไขการทำงาน</p>

ตารางที่ 2.1 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ค.ศ.	คณะผู้จัดทำ	การดำเนินงานวิจัย
2016	Amit Aherwar	การใช้โดเมนเวลาในการวิเคราะห์สัญญาณสั่นสะเทือนที่กราฟโดเมนเวลาค่าที่กราฟโดเมนเวลา (ค่า RMS, ค่าสูงสุด และอัตราส่วนของระดับสูงสุดของสัญญาณ (Peak) ต่อค่าเฉลี่ย (RMS) ของสัญญาณ) และระดับการสั่นสะเทือนทั้งหมดจะไม่มีผลต่อการวิเคราะห์ความเสียหายแต่ทำให้ทราบถึงขอบเขตของจุดที่เสียหายในอุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบของชุดเกียร์เท่านั้น ส่วนการใช้โดเมนความถี่หรือกราฟสเปกตรัมในการวิเคราะห์จะทำให้ทราบถึงสาเหตุที่มาของความเสียหาย เช่น เม็ดลูกปืน แหวนใน แหวนนอก เป็นต้น เครื่องจักรพร้อมทั้งนำการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance) บนพื้นฐานของสภาพการใช้งานและการบำรุงรักษาจริงมาทำการประยุกต์ใช้กับชุดเกียร์ขับเคลื่อนสายพานลำเลียงด้วยวิธีการวิเคราะห์แนวโน้มการสั่นสะเทือน (Vibration Analysis)
2017	หทัยเทพ วงศ์สุวรรณ	การศึกษาการประยุกต์ใช้และสร้างโปรแกรมวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่ผู้ใช้สนใจ เช่น เครื่องจักรที่มีการทำงานปกติแล้ว เกิดการสั่นสะเทือนสามารถบ่งบอกถึงลักษณะของความเสียหายเพื่อทำนายสถานะเครื่องจักร

รายงานผลการสืบค้นปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่จะดำเนินการ จากฐานข้อมูล IEEE IEE Science Direct และอื่น ๆ ซึ่งทำให้ทราบถึงแนวทางที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ระเบียบวิธีที่ผู้ทำการวิจัยอื่นได้นำมาใช้ ผลการดำเนินงาน ข้อเสนอแนะต่าง ๆ จากผู้วิจัยตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน จากการศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องไม่เคยปรากฏงานวิจัยที่มุ่งเน้นการศึกษาและการพัฒนาระบบวิเคราะห์การสั่นสะเทือนเพื่อช่วยในงานซ่อมบำรุงด้วยเว็บแอปพลิเคชันด้วยเหตุนี้งานวิจัยชิ้นนี้จึงพัฒนาขึ้นเพื่อศึกษาการพัฒนาระบบวิเคราะห์การสั่นสะเทือนเพื่อช่วยในงานซ่อมบำรุงด้วยเว็บแอปพลิเคชัน

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาและเข้าใจถึงทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ถือว่ามีความสำคัญ และเป็นประโยชน์อย่างมากในการดำเนินงาน ทั้งนี้เพื่อเป็นพื้นฐานความรู้ และความเข้าใจในงาน สำหรับนำไปเป็นแหล่งอ้างอิงในการดำเนินงานวิจัย ดังนั้นในบทนี้จึงได้นำเสนอทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ ซึ่งประกอบไปด้วย 9 หัวข้อหลัก ได้แก่ (1) การบำรุงรักษาแบบพยากรณ์ตามสภาพ (2) การสั่นสะเทือน (3) สัญญาณของการสั่นสะเทือน (4) เครื่องวิเคราะห์แบบ FFT (5) เทคนิคการวัดและมาตรฐานการสั่นสะเทือน (6) การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนบนแกนความถี่ (7) สัญญาณการสั่นสะเทือนบนแกนความถี่จากสาเหตุต่าง ๆ (8) กรณีศึกษาลักษณะสัญญาณการสั่นสะเทือน และ (9) เว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) โดยจะกล่าวถึงเฉพาะส่วนที่เป็นประโยชน์หรือถูกกล่าวอ้างถึงต่อการดำเนินงานวิจัย ทั้งนี้เพื่อให้เนื้อหา มีความกระชับและชัดเจนยิ่งขึ้น

2.3.1 การบำรุงรักษาแบบพยากรณ์ตามสภาพ

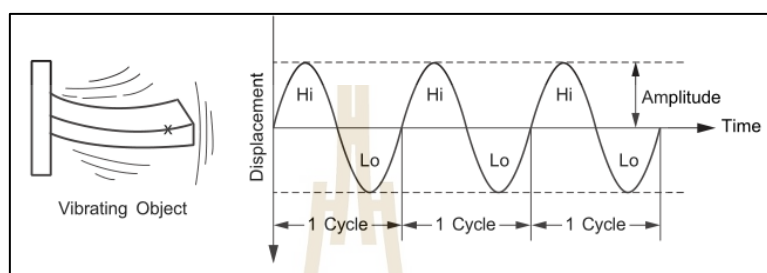
การบำรุงรักษาแบบพยากรณ์ตามสภาพ (Predictive Maintenance: Pd.M.) คือ การบำรุงรักษาที่สามารถคาดคะเนอัตราการเสื่อมสภาพของเครื่องจักรจากผลการวิเคราะห์พยากรณ์อาการชำรุดในปัจจุบันทำให้สามารถจัดวางแผนการเพื่อทำการบำรุงรักษาเครื่องจักรในช่วงเวลาที่เหมาะสมและสะดวกที่สุดซึ่งในระหว่างการใช้งานก่อนที่จะถึงช่วงของการซ่อมบำรุงจริง ๆ นั้น ก็อาจจะมี การเข้าไปดูแลในขั้นต้นหรือการบำรุงรักษาเล็ก ๆ น้อย ๆ ให้มีความถี่มากขึ้นหรืออาจจะต้องทำการเผื่อระวังเครื่องจักรอย่างต่อเนื่อง

โดยสามารถจัดแบ่งการบำรุงรักษาแบบนี้ออกเป็นวิธีการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน (Vibration Analysis) การวิเคราะห์ภาพถ่ายความร้อน (Thermography Monitoring) เป็นต้น ซึ่งเราเรียกวิธีการเหล่านี้ว่าเป็นการติดตามสภาพของเครื่องจักรเพื่อเป็นข้อมูลให้ฝ่ายบำรุงรักษาสามารถที่จะทราบถึงต้นเหตุของการชำรุดและสามารถที่จะวางแผนในการซ่อมบำรุงรักษาเตรียมแรงงานจัดซื้อชิ้นส่วนอะไหล่ล่วงหน้าและสามารถที่จะกำหนดช่วงเวลาในการทำงานได้โดยประโยชน์ที่จะได้รับจากการบำรุงรักษาลักษณะนี้คือลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาลดสถิติการชำรุดของเครื่องจักรลดเวลาในการซ่อมเครื่องจักรลดปริมาณอะไหล่คงคลังในการบำรุงรักษาเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตวางแผนการบำรุงรักษาได้ประสิทธิภาพสูงขึ้น ทำให้การหยุดชะงักของเครื่องจักรน้อยลง

2.3.2 การสั่นสะเทือน

การสั่นสะเทือน (Vibration) คือ การเคลื่อนที่ของวัตถุรอบ ๆ จุดสมดุลในช่วงเวลาหนึ่งของการเคลื่อนที่ไม่ว่าจะเป็นการเคลื่อนที่ที่รอบจุดสมดุลนั้นจะเกิดขึ้นในแบบการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาหรือจะเป็นการแกว่ง (Oscillation) รอบจุดสมดุลก็ตาม

ถ้าเราสามารถมองเห็นการเคลื่อนที่แบบสั่นในลักษณะที่ช้าลงได้เราจะพบรูปแบบของการเคลื่อนที่ในทิศทางที่ต่างกันขึ้นอยู่กับความห่างไกลหรือความเร็วในการเคลื่อนที่ของตัววัตถุนั้นรอบตำแหน่งสมดุลซึ่งจะทำให้เราเห็นลักษณะเฉพาะของการเคลื่อนที่แบบสั่นได้ แสดงดังรูปที่ 2.1 องค์ประกอบที่ใช้ในการอธิบายการเคลื่อนที่แบบสั่นนี้ ได้แก่ ความถี่ (Frequency), แอมพลิจูด (Amplitude), ความเร่ง (Acceleration) และความเร็ว (Velocity)



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบที่ใช้ในการอธิบายการเคลื่อนที่แบบสั่น

1. ความถี่ (Frequency)

วัตถุที่มีการสั่นจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาผ่านตำแหน่งคงที่หนึ่งเมื่อเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งสูงสุดค่าหนึ่งและกลับมาผ่านตำแหน่งสูงสุดอีกค่าหนึ่งและย้อนกลับมายังตำแหน่งคงที่เดิมถือว่าการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบ (1 Cycle) แสดงในรูปที่ 2.1 จำนวนรอบของการสั่นของวัตถุในช่วงเวลา 1 วินาทีจะเรียกว่า “ความถี่” ซึ่งมีหน่วยเป็น เฮิรตซ์ (Hertz; Hz) หรือ 1 เฮิรตซ์จะเท่ากับการเคลื่อนที่ไปกลับ 1 รอบในเวลา 1 วินาที

2. แอมพลิจูด (Amplitude)

วัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบสั่นจะมีการกระจัดหรือขจัด (Displacement) มากที่สุดในแต่ละข้างของตำแหน่งคงที่หนึ่งแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งค่าระยะทางดังกล่าวจะเรียกว่า แอมพลิจูด และมีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (Millimeter) หรือนิ้ว (Inches)

3. ความเร็ว (Velocity)

วัตถุที่มีการเคลื่อนที่แบบสั่นจะมีการขจัด (Displacement) ที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลาในระหว่างการเคลื่อนที่จะเรียกว่า ความเร็ว มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรต่อวินาที (mm/sec) หรือนิ้วต่อวินาที (inch/sec) ในการวัดความเร็วเรามักจะวัดแบบ RMS เราจะใช้ หน่วยนี้กับการวัดการสั่นสะเทือนที่มีความถี่ระหว่าง 20 Hz - 1,000 Hz (หรือความเร็วรอบในการหมุนที่สูงกว่า 1,200 รอบ/นาที)

2.3.3 สัญญาณของการสั่นสะเทือน

สัญญาณของการสั่นสะเทือน (Vibration Signal) ในเครื่องจักรที่วัดได้นั้นจะเป็นตัวช่วยในการบ่งบอกถึงสภาพหรือความบกพร่องของเครื่องจักรซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญของการวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือนประกอบด้วย

1. ความถี่ (Frequency)

สัญญาณของการสั่นสะเทือนบนกราฟโดเมนเวลาแล้วความถี่ในที่นี้ก็คือจำนวนรอบของการสั่นสะเทือนต่อหน่วยเวลาและหน่วยที่นิยมใช้จะเป็นรอบต่อนาที (CPM) และบางครั้งใช้รอบต่อวินาทีหรือหน่วยเฮิร์ตซ์ (Hz)

2. ขนาดของการสั่นสะเทือน (Amplitude)

ขนาดการสั่นสะเทือนเป็นตัวบ่งชี้ถึงสภาพความรุนแรงของการสั่นสะเทือนในเครื่องจักรกล้าขนาดของการสั่นสะเทือนมีค่าเพิ่มขึ้นมากเมื่อเทียบกับสภาวะปกติแสดงว่าเครื่องจักรนั้นเริ่มมีปัญหาซึ่งขนาดของการสั่นสะเทือนที่ใช้ในปัจจุบันและเป็นที่ยอมรับกันมากที่สุดมีอยู่ 3 ชนิด คือ การจัดหรือระยะการเคลื่อนที่, ความเร็ว และความเร่ง

3. มุมเฟส (Phase)

มุมเฟสของการสั่นสะเทือน หมายถึง ความแตกต่างของตำแหน่งชิ้นส่วนหรือวัตถุที่มีการสั่นสะเทือนขึ้นหนึ่งเมื่อเทียบกับจุดอ้างอิงหรือชิ้นส่วนที่มีการสั่นสะเทือนอีกชิ้นหนึ่ง

2.3.4 เครื่องวิเคราะห์แบบ FFT

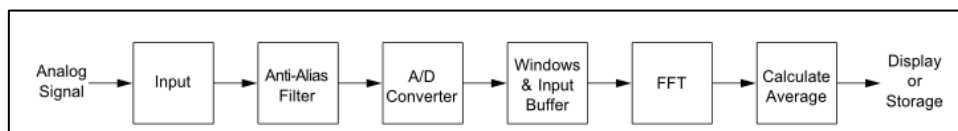
เครื่องมือเก็บข้อมูลและวิเคราะห์แบบ FFT (Fast Fourier Transform) เป็นเครื่องมือที่มีความสามารถสูงกว่ามิเตอร์วัดการสั่นสะเทือนเครื่องมือนี้สามารถเก็บข้อมูลวัดได้ทั้งรูปแบบของโดเมนความถี่ (Frequency Domain) และ โดเมนเวลา (Time Domain) ในปัจจุบันได้มีบริษัทผู้ผลิตเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนหลายบริษัททำการบรรจุมารสำเร็จรูปสำหรับแปลงสัญญาณการสั่นสะเทือนโดยใช้สมการของฟูเรียร์ไว้ในเครื่องวัดแล้วทำให้ผู้ใช้งานโดยทั่วไปไม่ต้องทำการแปลงสัญญาณเองซึ่งเครื่องมือดังกล่าวเรียกว่า เครื่องวิเคราะห์แบบ FFT แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนแบบ FFT

1. ขั้นตอนการแปลงสัญญาณแบบ FFT

ขั้นตอนการแปลงสัญญาณแบบ FFT (Fast Fourier Transform) มีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการแปลงสัญญาณแบบ FFT

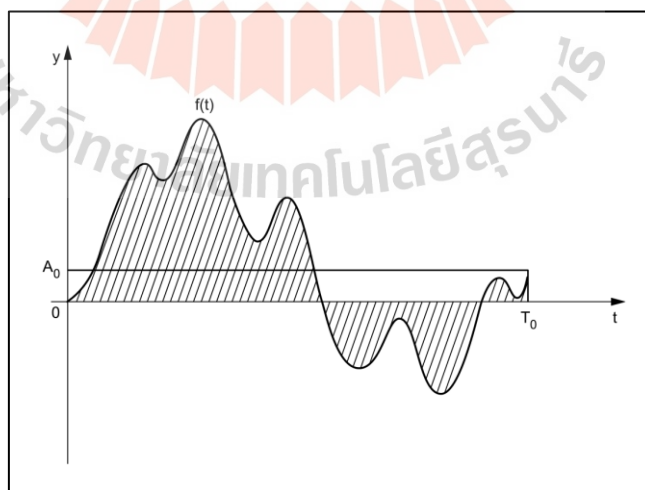
- สัญญาณแบบอนาล็อก (Analog Signal)
สัญญาณที่รับมาจากหัวรับสัญญาณนั้นจะอยู่ในรูปแบบอนาล็อกเช่น สัญญาณจากหัววัดการสั่นสะเทือนแบบความเร่งและสัญญาณอื่น ๆ ที่อยู่ในรูปนี้เช่น หัววัดความดัน เป็นต้น
- สัญญาณขาเข้า (Input)
สัญญาณขาเข้าที่ได้มานั้นจะเป็นสัญญาณที่ได้จากหัวรับสัญญาณต่าง ๆ ก็จะได้รับจากหัววัดการสั่นสะเทือนซึ่งอาจจะอินทิเกรตสัญญาณครั้งเดียวหรือสองครั้งก็ได้ แล้วแต่ความต้องการของผู้ใช้งาน
- กรองเฉพาะความถี่ที่ต้องการ (Anti-Alias Filter)
เป็นการตั้งค่าความถี่ที่ต้องการจะเก็บข้อมูล โดยทำการตั้งค่ากรองสัญญาณความถี่ที่ต้องการเท่านั้นความถี่ไหนไม่ต้องการก็ทำการตัดออกไปแล้วนำค่าความถี่ที่เก็บมาเข้าสู่กระบวนการประมวลต่อไป
- ปรับปรุงสัญญาณ (A/D Converter)
เป็นการดำเนินการนำสัญญาณที่ผ่านการกรองความถี่มาทำการปรับปรุงสัญญาณ โดยทำการปรับปรุงสัญญาณจากอนาล็อกไปเป็นดิจิทัล (Analog To Digital: A/D)
- การปรับปรุงสัญญาณแบบวินโดว์ (Windowing)
การนำสัญญาณต่อเนื่องที่เข้ามาสู่เครื่องมือวัดการสั่นสะเทือน แล้วทำการเริ่มการบันทึกค่า (จุดเริ่มต้น) และหยุดการบันทึกค่า (จุดสุดท้าย) ของการเก็บข้อมูล
- กระบวนการ FFT (FFT Process)
การคำนวณทางคณิตศาสตร์นี้จะใช้รูปแบบของสมการ FFT (FFT Transform) เพื่อที่จะทำการแยกความถี่หลาย ๆ ความถี่ที่รวมกันบนโดเมนเวลาออกมาแสดงแต่ความถี่บนกราฟโดเมนความถี่

- กระบวนการเฉลี่ยค่า (Averaging Process)
ข้อมูลที่ผ่านมาจากกระบวนการของ FFT ออกมาจะมีตัวอย่างข้อมูลมากกว่าหนึ่งข้อมูล ดังนั้นการแสดงผลค่าออกมาจึงต้องแสดงผลออกมาในรูปของค่าเฉลี่ย
- การแสดงผลหรือเก็บข้อมูล (Display or Storage of Data)
เป็นการแสดงผลออกมาในรูปแบบของ กราฟ โดเมนความถี่ เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ประเมินค่าต่าง ๆ

2. การแปลงสัญญาณแบบฟูรีเยร์

ในปี ค.ศ. 1768 - 1830 J.B.J de Fourier ซึ่งเป็นนักคณิตศาสตร์ที่มีชื่อเสียงชาวฝรั่งเศสได้ทำการหาวิธีในการพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการวิเคราะห์สัญญาณความถี่ที่เกิดขึ้นจากสัญญาณในรูปลักษณะเป็นคาบมาเป็นสัญญาณในรูปแบบของความถี่ เพื่อให้่ง่ายในการแปรผลโดยอาศัยคอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือช่วยการอธิบายความหมายของสมการฟูรีเยร์ นั้นจะใช้กราฟการเคลื่อนที่ลักษณะเป็นคาบดังแสดงในรูปที่ 2.4 เพื่อให้่ง่ายในการอธิบายความหมาย ซึ่งการเคลื่อนที่เป็นคาบนี้เมื่อนำสมการมาใช้ในการแยกสัญญาณที่ความถี่ต่าง ๆ ออกจากกัน โดยกำหนดให้ $f(t)$ เป็นการเคลื่อนที่แบบเป็นคาบแล้วจะทำให้สามารถเขียนสมการของฟูรีเยร์ (Fourier Transform) ได้ดังนี้

$$f(t) = A_0 + \sum_{k=0}^{\infty} a_k \cos(\omega_k t) + \sum_{k=1}^{\infty} b_k \sin(\omega_k t) \quad (2.1)$$



รูปที่ 2.4 รูปแบบการเคลื่อนที่ลักษณะเป็นคาบ

และค่าสัมประสิทธิ์ หาได้จาก

$$A_0 = \frac{1}{T_0} + \int_0^{T_0} f(t) dt \quad (2.2)$$

$$a_k = \frac{2}{T_0} + \int_0^{T_0} f(t) \cos(k \omega_0 t) dt \quad (2.3)$$

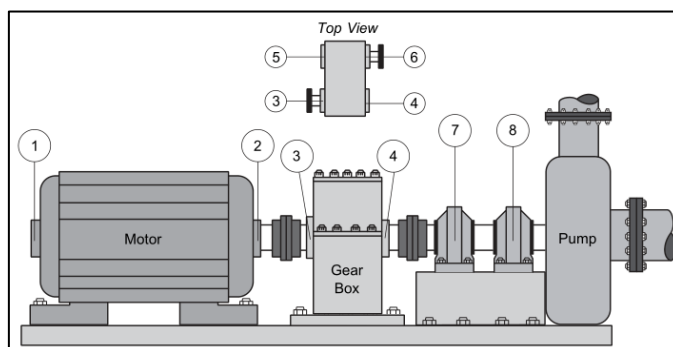
$$b_k = \frac{2}{T_0} + \int_0^{T_0} f(t) \sin(k \omega_0 t) dt \quad (2.4)$$

$$\omega_k = \frac{2\pi k}{r} \quad (2.5)$$

เมื่อ r คือ คาบของการเคลื่อนที่และ k เท่ากับ 1, 2, 3, k

2.3.5 เทคนิคการวัดและมาตรฐานการสันสะท้อน

การวางตำแหน่งของหัววัดสัญญาณการสันสะท้อนโดยทั่วไปจะนิยมติดตั้งหัววัดในทิศทางที่มีการเคลื่อนที่ได้ง่ายที่สุดซึ่งตำแหน่งที่เหมาะสมจะเป็นตำแหน่งที่มีการส่งผ่านแรงจากชุดเพลลาออกมาคือตำแหน่งของเกือแบริงหรือถ้าไม่สามารถวัดในดังกล่าวก็ควรเลือกตำแหน่งที่ใกล้มากที่สุดซึ่งเครื่องจักรที่ทำการติดตั้งแนวนอนหรือระดับ (Horizontal) เมื่อทำการวัดการสันสะท้อนที่ตำแหน่ง แบริงแต่ละแบริง จะมีทิศทางการวัด 3 ทิศทาง แนวรัศมี 2 แนว คือ แนวระดับ (Horizontal) และแนวตั้ง (Vertical) แนวแกน 1 ทิศทาง (Axial) โดยลักษณะการติดตั้งเครื่องจักรลักษณะนี้โดยทั่วไปแล้วการกำหนดตำแหน่งการวัดการสันสะท้อนจะนิยมนับจากด้านเครื่องจักรที่เป็นตัวขับ (Driver) ไปสู่ตัวตาม (Driven) และ แต่ละตำแหน่งก็จะมีทิศทางเป็น A = Axial, H = Horizontal, V = Vertical (A, H, V) เช่น 1A, 1H, 1V หมายความว่า 1A เป็นตำแหน่งที่แบริง 1 ทิศทางแนวแกน 1H เป็นตำแหน่งที่แบริง 1 ทิศทางแนวระดับ และ 1V เป็นตำแหน่งที่แบริง 1 ทิศทาง แนวตั้ง เป็นต้น โดยตัวอย่างการกำหนดตำแหน่งการวัดการสันสะท้อนของเครื่องจักรแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการกำหนดตำแหน่งการวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

1. มาตรฐานการสั่นสะเทือนตามมาตรฐานสากล (ISO Standards)

ISO 10816 Monarch Instrument (2002) มาตรฐานสำหรับการเปรียบเทียบค่าการสั่นสะเทือนที่วัดได้ จะทำการใช้มาตรฐานการสั่นสะเทือนของตัวเรือน (Casing Vibration) ซึ่งใช้เกณฑ์มาตรฐานของ ISO 10816-3 เพื่อให้สอดคล้องกับสภาวะการใช้งานในปัจจุบัน โดยแสดงดังรูปที่ 2.6

DIN ISO 10816-3	Group 1		Group 2	
	Large machines 300 kW < P < 50 MW		Medium sized machines 15 kW < P < 300 kW	
Machine type	Motor H > 315 mm		Motor 160 mm < H < 315 mm	
Foundation	flexible	rigid	flexible	rigid
Velocity v_{eff} mm/s rms	11,0		D	
	7,1		C	
10 – 1000 Hz $r > 600 \text{ rpm}$	4,5			
	3,5		B	
2 – 1000 Hz $120 \leq r < 600 \text{ rpm}$	2,8			
	2,3			
	1,4		A	
				OPRUTECHNIK AG
	A Newly commissioned machines	B Unrestricted long term operation	C Restricted long term operation	D Vibration causing damage

รูปที่ 2.6 ตาราง ISO 10816-3

โดยจากรูปที่ 2.6 ได้มีการแบ่งระดับการสั่นสะเทือนออกเป็น 4 ระดับ ดังนี้

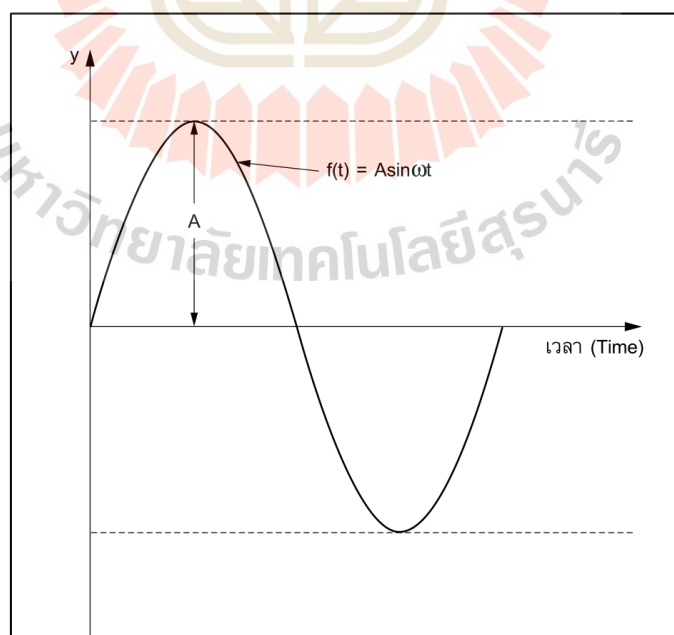
- ระดับ A เครื่องจักรใหม่เพิ่งใช้งาน มีค่าความเร็วอยู่ในช่วง 0 - 3.50 mm/s
- ระดับ B เครื่องจักรเริ่มมีการสั่นสะเทือนจะส่งผลเสียในระยะยาวมีค่าความเร็ว

อยู่ในช่วง 3.50 - 7.10 mm/s

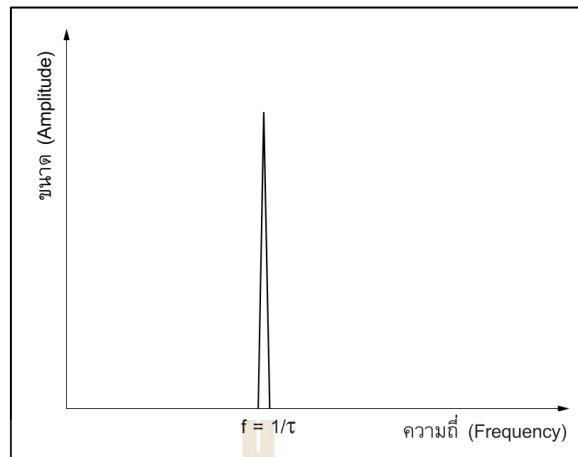
- ระดับ C เครื่องจักรมีการสั่นสะเทือนรุนแรง ถ้าปล่อยไว้จะมีผลเสียกับเครื่องจักรในระยะเวลาอันสั้น มีค่าความเร็วอยู่ในช่วง 7.10 - 11.00 mm/s
- ระดับ D เครื่องจักรมีการสั่นสะเทือนรุนแรงมาก อาจทำให้เครื่องจักรเสียหายแบบฉุกเฉิน มีค่าความเร็วมากกว่า 11.00 mm/s ขึ้นไป

2.3.6 การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนบนแกนความถี่

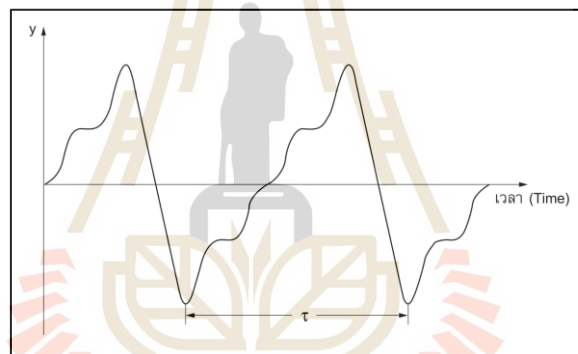
การแสดงผลสุดท้ายสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาการสั่นสะเทือนในเครื่องจักร โดยส่วนมากจะแสดงในรูปแบบกราฟสเปกตรัม (Spectrum) หรือที่เรียกว่ากราฟโดเมนความถี่ (Frequency Domain) ซึ่งกราฟสเปกตรัมนี้จะเป็นกราฟที่แปลงสัญญาณจากสัญญาณในรูปของกราฟโดเมนเวลา ถ้ามีสัญญาณเพียงความถี่เดียวก็จะได้กราฟเป็นรูปไซน์ (Sine Wave) ดังในรูป 2.7 ถ้าแปลงสัญญาณนี้แบบ FFT แสดงในรูปของกราฟสเปกตรัม ก็จะได้กราฟในดังรูปที่ 2.8 และเมื่อมีสัญญาณการสั่นสะเทือนหลาย ๆ ความถี่เข้ามาความถี่เหล่านั้นก็จะมีการรวมตัวเป็นลักษณะสัญญาณแบบคาบในรูปแบบกราฟบนโดเมนเวลา เช่น ความถี่เข้ามารวมกัน 3 ความถี่ ก็จะได้กราฟบนโดเมนเวลาดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งเมื่อดูผลจากกราฟก็จะเป็นการยากในการวิเคราะห์ผลเลขจำเป็นต้องวิธีแปลงสัญญาณแบบฟูเรียร์มาใช้ในการแยกความถี่ออกจากกัน เพื่อที่จะให้แสดงผลออกมาในรูปแบบของกราฟโดเมนความถี่หรือกราฟสเปกตรัม จากรูปที่ 2.9 เมื่อนำมาแยกความถี่ทั้ง 3 ความถี่ก็จะได้เป็น f_0 , $2f_0$ และ $3f_0$ ดังแสดงในรูปที่ 2.10



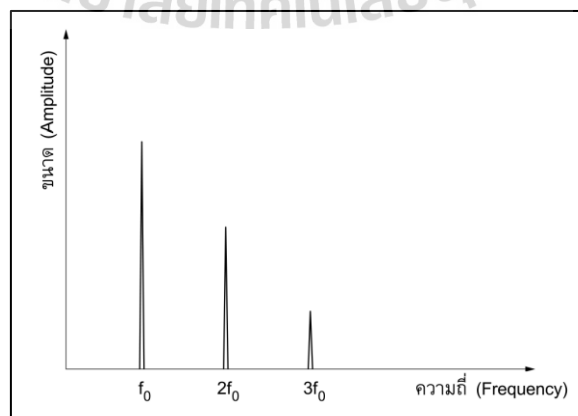
รูปที่ 2.7 สัญญาณการสั่นสะเทือนในรูปแบบกราฟโดเมนเวลา



รูปที่ 2.8 สัญญาณการสั้นสะเทือนในรูปกราฟโดเมนความถี่



รูปที่ 2.9 สัญญาณการสั้นสะเทือนในรูปกราฟโดเมนเวลาลักษณะเป็นคาบ



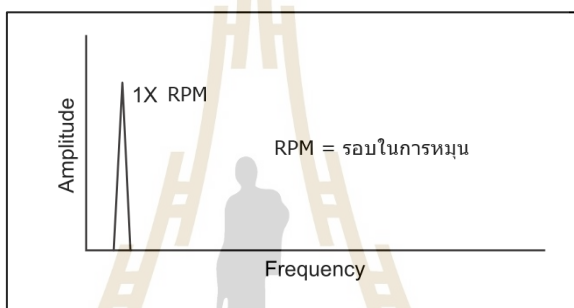
รูปที่ 2.10 สัญญาณการสั้นสะเทือนในรูปกราฟโดเมนความถี่

2.3.7 สัญญาณการสั่นสะเทือนบนแกนความถี่จากสาเหตุต่าง ๆ

โดยทั่วไปแล้วการสั่นสะเทือนในเครื่องจักรเป็นตัวบ่งบอกถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในเครื่องจักรซึ่งจะมีรูปแบบและลักษณะที่แตกต่างกันออกไป

1. ลักษณะสัญญาณการสั่นสะเทือนจากกรณีไม่สมดุล (Unbalance)

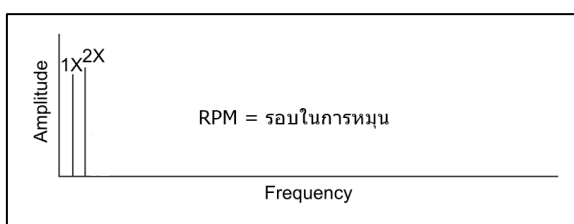
การไม่สมดุล (Unbalance) ของเครื่องจักรเกิดจากการที่มีมวลใดมวลหนึ่งที่ยาวกว่าส่วนอื่นบนชิ้นส่วนหมุนที่สามารถทำให้เกิดแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) ทำให้เครื่องจักรหมุนนั้นเกิดการหมุนที่ไม่สมดุลขึ้น ในส่วนของสัญญาณที่วัดได้จากกรณีไม่สมดุลจะมีสัญญาณเด่นชัดที่ความถี่เท่ากับรอบการหมุนของเพลานในแวนร์สกี ดังรูป 2.11



รูปที่ 2.11 สัญญาณการสั่นสะเทือนบนแกนความถี่ในกรณีไม่สมดุล

2. ลักษณะสัญญาณการสั่นสะเทือนจากกรณีเอียงแนวแกนเพลลา (Misalignment)

การเอียงแนวแกนเพลลา (Misalignment) ของเครื่องจักรเกิดจากการเอียงของแกนเพลลาแบบทั้งทำมุมต่อกัน และ เอียงแนวแบบขนานกัน ในส่วนของสัญญาณที่วัดได้จากกรณีไม่เอียงแนวแกนเพลลาจะมีสัญญาณเด่นชัดความถี่ 1 เท่ากับรอบการหมุน และที่ 2 เท่าของความถี่รอบของการหมุน และอาจมีที่ 3 เท่าของความถี่รอบของการหมุนในแวนร์สกี ดังรูป 2.12



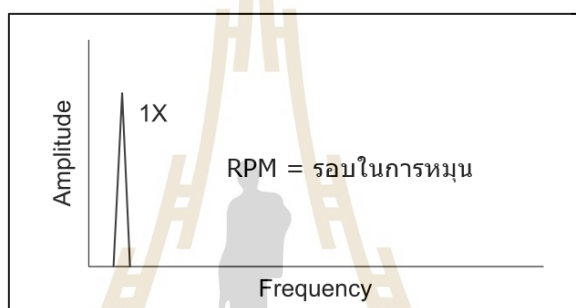
รูปที่ 2.12 สัญญาณการสั่นสะเทือนบนแกนความถี่ในกรณี เอียงแนวแกนเพลลา

3. ลักษณะสัญญาณการสั่นสะเทือนจากกรณีหลวมคลอนทางกล

การหลวมคลอนทางกล (Mechanical Looseness) ของเครื่องจักรเกิดจากการยึดชิ้นส่วนต่าง ๆ ภายในเครื่องจักรไม่แน่นพอ หรือเกิดจากการคลายตัวของสกรูเมื่องานไปสักระยะหนึ่ง การหลวมคลอนแบ่งออกเป็น 3 ประเภทด้วยกัน คือ

1) การหลวมคลอนของโครงสร้างหรือความอ่อนแอของฐานเครื่องจักร

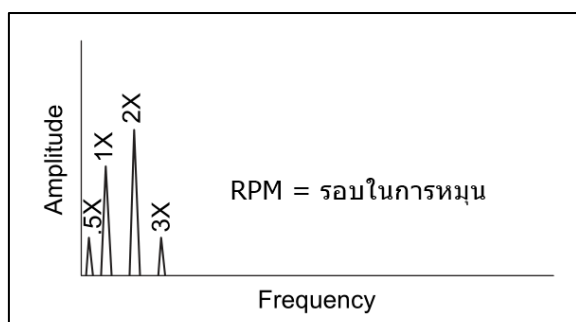
การวิเคราะห์เชิงมุม โดยการวัดในแนวตั้งของฐาน(Foundation) กับฐานที่ขาตั้งของตัวเครื่องจักรจะมีมุมเฟสต่างกัน 180 องศา (Out of Phase) และกราฟสเปกตรัมจะแสดงที่ความถี่ 1X ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 สัญญาณการสั่นสะเทือนบนแกนความถี่ในกรณี หลวมคลอนของโครงสร้าง

2) การหลวมเนื่องจากโบลต์ยึดขาตั้งเครื่องจักร

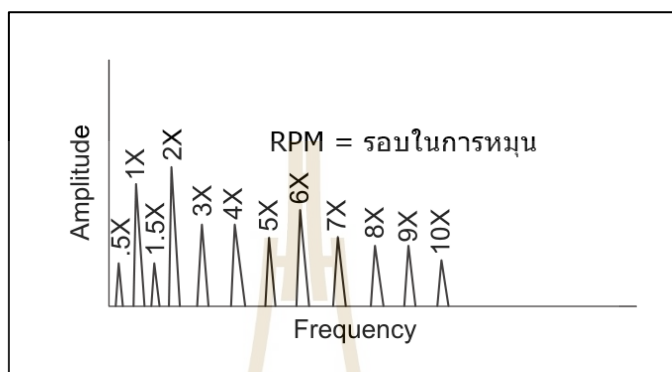
รูปแบบกราฟสเปกตรัมจะเป็นอนุกรมของความถี่ (Harmonic) ในช่วงความถี่ 1X, 2X และ 3X โดยมีขนาดแอมพลิจูดเด่นชัดที่ 2X ลักษณะคล้ายกับการเยื้องศูนย์เฟลา (Misalignment) แต่มุมเฟสของการหลวมคลอนจะไม่แน่นอน ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 สัญญาณการสั่นสะเทือนบนแกนความถี่ในกรณี หลวมเนื่องจากโบลต์ยึดขาตั้งเครื่องจักร

3) การหลวมคลอนเนื่องจางานสวม

การหลวมลักษณะนี้มุมเฟสของการสั่นสะเทือนมีค่าไม่แน่นอนและไม่อยู่กับที่ ลักษณะของกราฟสเปกตรัมจะมีอนุกรมของความถี่ (Harmonic) พร้อมด้วยซับ-อนุกรมของความถี่ (Sub - harmonic) คือ 0.5X, 1X , 1.5X, 2X, 2.5X, 3X, 3.5X ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 สัญญาณการสั่นสะเทือนบนแกนความถี่ในกรณี หลวมคลอนเนื่องจางานสวม

2.3.8 กรณีศึกษาลักษณะสัญญาณการสั่นสะเทือน

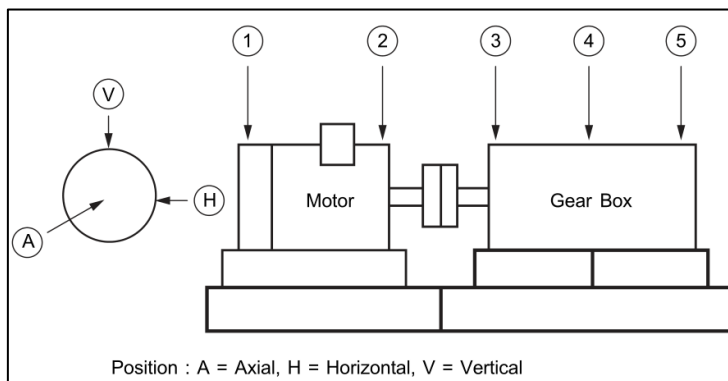
1. กรณีไม่สมดุล (Unbalance)

อุปกรณ์ : ชุดขับเคลื่อนสายพานลำเลียง (Conveyor Drive)

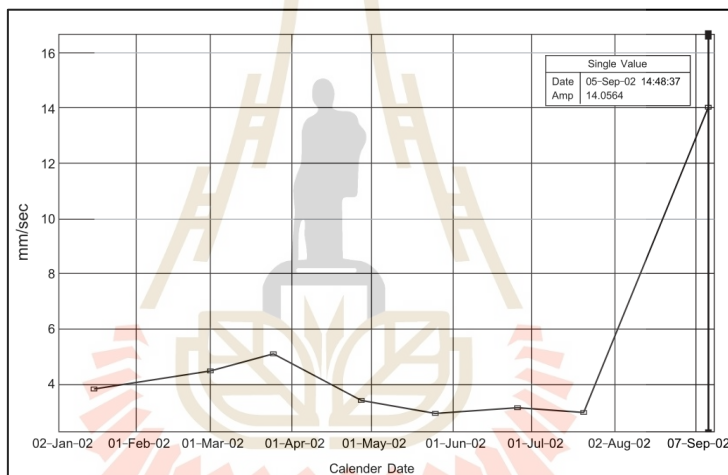
ข้อมูลทางเทคนิค

- Motor Output: 161 kW
- Speed Motor: 1,480 rpm
- Gear Box: 3 Stage (1st Stage = Spiral Bevel, 2nd & 3rd = Single Helical)

ปัญหาที่พบกับอุปกรณ์นี้ ส่วนมากจะเป็นปัญหาจากการไม่สมดุลของพัลลมระบายความร้อนของมอเตอร์และชุดเกียร์ เกิดการไม่สมดุลของก็จะเกิดปัญหาการไม่สมดุลของชุดพัลลมดังกล่าว และทำให้ค่าการสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ดังกราฟการสั่นสะเทือนที่ทำการวัดเก็บข้อมูลในแต่ละช่วงของการวัดการสั่นสะเทือนดังรูปที่ 2.17

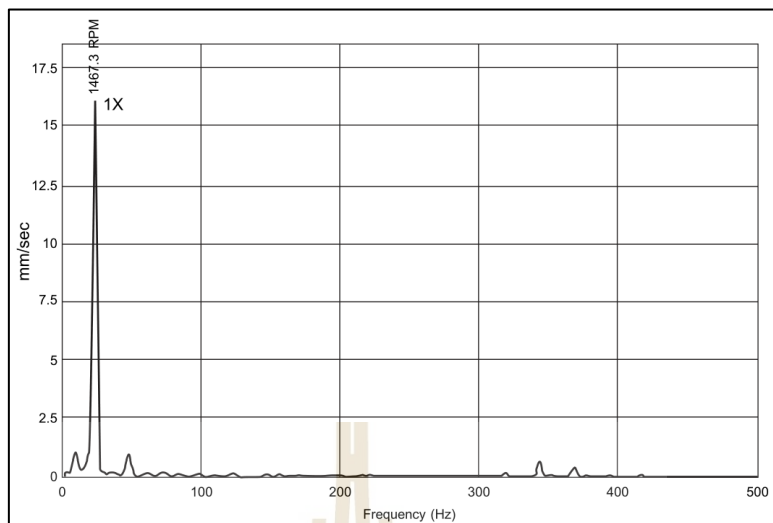


รูปที่ 2.16 ภาพประกอบชุดขับเคลื่อนสายพานลำเลียงและตำแหน่งการวัดค่าการสั่นสะเทือน



รูปที่ 2.17 ค่าการสั่นสะเทือนที่วัดในแต่ละช่วงเวลาของชุดขับเคลื่อนสายพาน

รายละเอียดจากกราฟประมวลผลโดยสเปกตรัม จะพบค่าความถี่ที่เด่นชัดเท่ากับรอบการหมุนของมอเตอร์ (1X) ในแนวรัศมีที่ตำแหน่ง 1H, 2H และ 3H ตามหลักในการวิเคราะห์ปัญหาการสั่นสะเทือนในเครื่องจักร ทำให้ระบุได้ว่าปัญหาที่เกิดขึ้นน่าจะเกิดจากการไม่สมดุลของชุดอุปกรณ์ดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 2.18



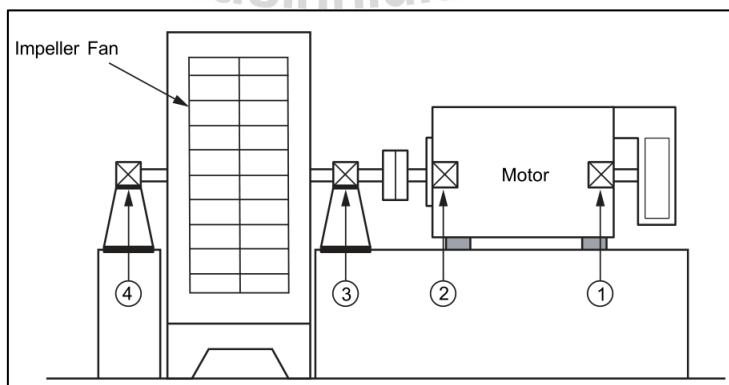
รูปที่ 2.18 สเปกตรัมที่ตำแหน่ง 1H เด่นชัดที่ 1X RPM

2. กรณีเชิงแนวแกนเพลลา (Misalignment)

อุปกรณ์ : ชุดพัดลมแบบเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Fan)

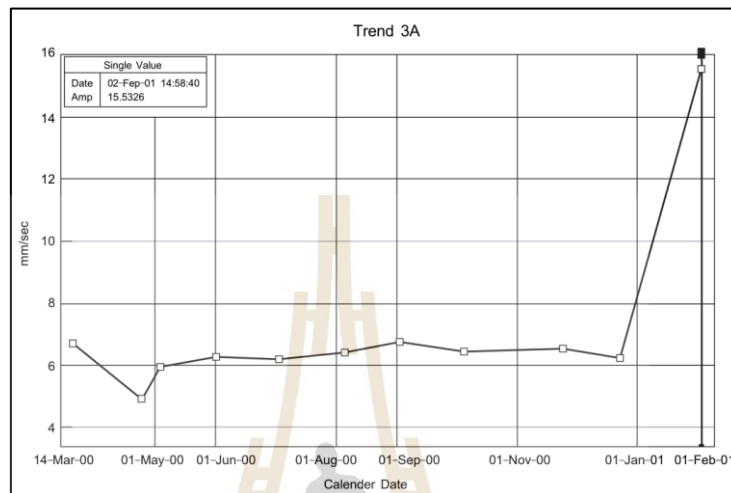
ข้อมูลทางเทคนิค

- Motor Output: 850 kW
- Speed Motor & Fan: 1,485 rpm
- No. Blade: 17
- Bearing Motor: NDE = NU226C3, DE = 7230AMDB + KL30
- Bearing Fan: Sleeve Bearing

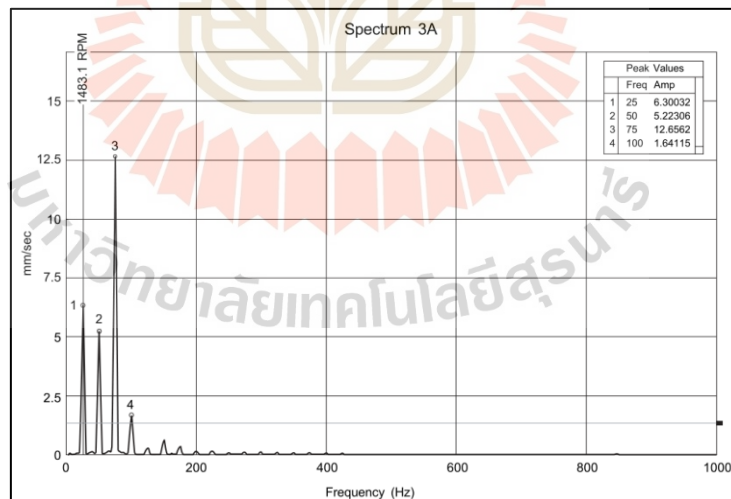


รูปที่ 2.19 ภาพประกอบชุดพัดลมแบบเหวี่ยงหนีศูนย์กลางและตำแหน่งการวัดค่าการสั่นสะเทือน

จากการตรวจสอบเก็บค่าการสั่นสะเทือนของอุปกรณ์ประจำนั้นพบว่า ค่าการสั่นสะเทือนของอุปกรณ์ดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้นมากจนเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ เมื่อดูค่าการสั่นสะเทือนในแนวแกนที่ตำแหน่งที่ 3 (3A) ดังกราฟแนวโน้มในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 กราฟแนวโน้มการสั่นสะเทือนในแนวแกนที่ตำแหน่งที่ 3 (3A)



รูปที่ 2.21 กราฟสเปกตรัมแสดงความถี่ในแนวแกนที่ตำแหน่งที่ 3 (3A)

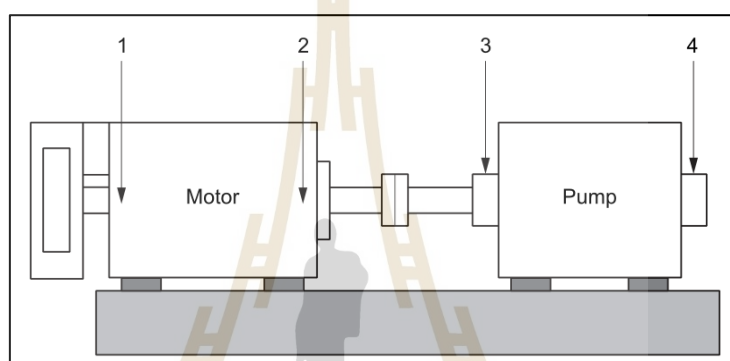
เมื่อพิจารณากราฟสเปกตรัมที่ตำแหน่ง 3A ดังแสดงในรูปที่ 2.21 จะพบว่าความถี่ที่เด่นชัดอยู่ที่ 1X, 2X และ 3X ทำให้สามารถระบุได้ว่าปัญหาที่จะมาจากการเอียงแนวของเพลลา

3. กรณีหลวมคลอนทางกล (Mechanical Looseness)

อุปกรณ์ : เครื่องสูบน้ำชนิดเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Pump)

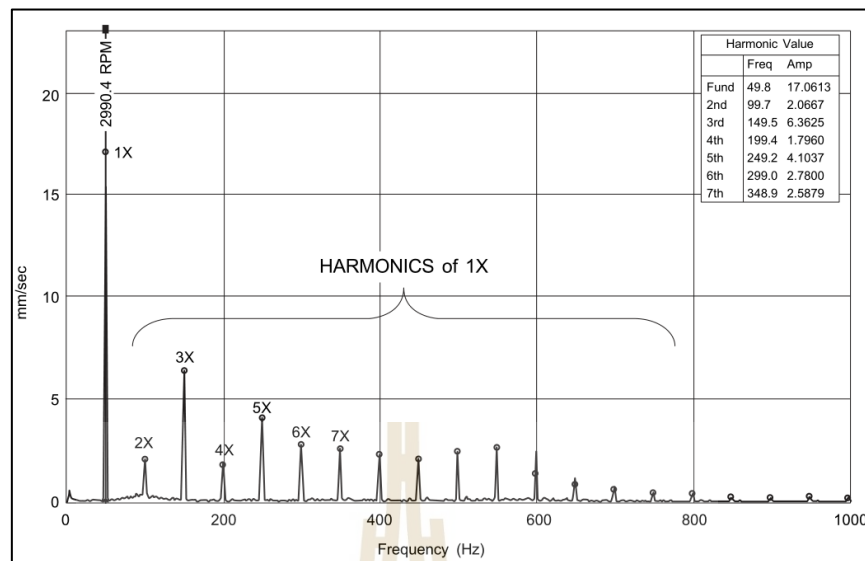
ข้อมูลทางเทคนิค

- Motor Output: 1,100 kW
- Speed Motor & Pump: 2,980 rpm
- Bearing Motor: NDE = NU218E, DE = 6218
- Bearing Fan: Sleeve Bearing



รูปที่ 2.22 ภาพประกอบชุดอุปกรณ์เครื่องสูบน้ำชนิดเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

จากการตรวจสอบเก็บค่าการสั่นสะเทือนของอุปกรณ์แต่ละช่วงเวลาพบว่า ค่าการสั่นสะเทือนของอุปกรณ์ดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้นมากจนเกินเกณฑ์มาตรฐาน เมื่อดูค่าการสั่นสะเทือนในแนวรัศมีที่ตำแหน่งที่ 1 (1H) เมื่อพิจารณารูปสเปกตรัม ดังแสดงในรูปที่ 2.23 จะพบอนุกรมของความถี่ (Harmonic) 1X, 2X, 3X, ทำให้สามารถระบุได้ว่าปัญหาน่าจะมาจากการหลวมคลอนทางกล



รูปที่ 2.23 สเปกตรัมความถี่ที่ตำแหน่ง 1H ของเครื่องสูบน้ำชนิดเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

2.3.9 เว็บแอปพลิเคชัน

ในทางวิศวกรรมซอฟต์แวร์ โปรแกรมประยุกต์บนเว็บเรียกอีกอย่างว่า “เว็บแอปพลิเคชัน (Web Application)” คือ โปรแกรมประยุกต์ที่เข้าถึงด้วยโปรแกรมค้นดูเว็บผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์อย่างอินเทอร์เน็ต เว็บแอปพลิเคชันเป็นที่นิยมเนื่องจากความสามารถในการอัปเดตและดูแลโดยไม่ต้องแจกจ่ายและติดตั้งซอฟต์แวร์บนเครื่องผู้ใช้งานตัวอย่างเว็บแอปพลิเคชัน ได้แก่ การประมูลออนไลน์ กระดานสนทนา วิกีพีเดีย ซอฟต์แวร์บริษัทต่าง ๆ เป็นต้น การพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวกับเว็บแอปพลิเคชัน คือ การที่ย้ายแอปพลิเคชันจากที่ต้องทำการติดตั้งบนเครื่องลูกข่ายทุกเครื่องเปลี่ยนเป็นการย้ายตัวแอปพลิเคชันไปไว้บนเครื่องข่ายนั่นเอง และในปัจจุบันยังสามารถประยุกต์เพิ่มเติมได้ไปถึงการตั้ง Web Server ใช้ภายในหน่วยงานและยังสามารถให้บุคคลภายนอกเรียกใช้งานเว็บแอปพลิเคชันผ่านทาง Internet ได้อีกด้วย ทำให้ไม่ว่าจะเรียกใช้งานจากช่องทางไหนข้อมูลที่นำเสนอจะมีที่มาจากที่เดียวกัน ทำให้มีการอัปเดตข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว



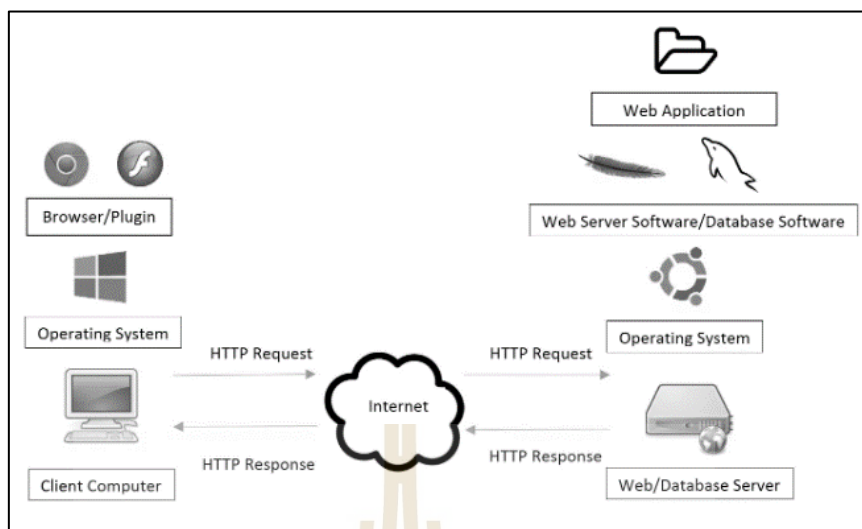
รูป 2.24 หลักการทำงานของ เว็บแอปพลิเคชัน (Web Application)

การใช้งานคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ติดตั้ง Microsoft Office ที่ประกอบด้วย Word ที่ไว้สำหรับการพิมพ์เอกสาร Excel สำหรับการสร้างการคำนวณต่าง ๆ ซอฟต์แวร์ประเภทนี้เรียกว่า Desktop Application ซึ่งจะติดตั้งบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเครื่องใดเครื่องนั้นหรือซอฟต์แวร์บางประเภทที่เป็นลักษณะ Client-Server Application โดยมีการเก็บฐานข้อมูลไว้ที่เซิร์ฟเวอร์ (Server) และติดตั้งตัวโปรแกรมไว้บนเครื่องใช้งาน (Client) ซึ่งตอบสนองความต้องการเพิ่มขึ้นในด้าน Multi-User หรือใช้งานพร้อม ๆ กันได้หลาย ๆ คน โดยใช้ฐานข้อมูลเดียวกันเทคโนโลยี Desktop Application ไม่สามารถตอบสนองความต้องการการบริหารจัดการได้ โดยเฉพาะในธุรกิจที่ต้องมีการปรับเปลี่ยนตลอดเวลาข้อมูลมีการเคลื่อนไหวตลอดเวลาหรือข้อมูลต้องการอัปเดตตลอดเวลาส่วนในระบบ Client - Server Application ตัวโปรแกรมมีความซับซ้อนการแก้ไขการอัปเดตทำได้ยุ่งยากหากต้องการที่จะอัปเดตหรือแก้ไขการทำงานให้กับแอปพลิเคชันที่ตัวเซิร์ฟเวอร์ต้องทำการหยุดระบบทั้งหมดและเมื่ออัปเดตที่เซิร์ฟเวอร์แล้วก็จำเป็นต้องอัปเดตที่ไคลเอนต์ด้วยหากระบบมีผู้ใช้งานจำนวนมากจะยิ่งเพิ่มความยุ่งยากมากขึ้น อีกทั้งยังรวมไปถึงปัญหาความหลากหลายของระบบปฏิบัติการในเครื่องไคลเอนต์หรือหากมีการอัปเดตแล้วมีความต้องการในการใช้ทรัพยากรในเครื่องที่สูงขึ้นก็ต้องมีการอัปเดตเครื่องตามไปด้วย จากปัญหาที่กล่าวไปข้างต้นจึงมีการพัฒนาและถูกจัดการด้วยเทคโนโลยีเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) เพราะสามารถตอบสนองต่อปัญหาข้างต้นได้เป็นอย่างดี และสามารถแทนที่ Desktop Application ที่เป็น Client-Server Application ได้เป็นอย่างดี

ซอฟต์แวร์ของ Web Application จะถูกติดตั้งไว้ที่เครื่องเซิร์ฟเวอร์โดยสามารถใช้โปรแกรมประเภทเบราว์เซอร์ในการเรียกใช้งาน Web Application เช่น Google Chrome เป็นต้น ซึ่งสะดวกต่อการใช้งานของผู้ใช้งานเนื่องจากในเครื่องมีโปรแกรมประเภทนี้อยู่แล้วจึงไม่จำเป็นต้องทำการติดตั้งโปรแกรมใด ๆ เพิ่มเติมและในการ อัปเดต หรือแก้ไขการทำงานก็ทำการแก้ไขได้ในจุดเดียวกันคือที่ตัวเครื่องเซิร์ฟเวอร์นั่นเองจุดเด่นอีกประการของ Web Application นั่นคือ มีการส่งข้อมูลระหว่างไคลเอนต์กับเซิร์ฟเวอร์มีปริมาณที่น้อยทำให้เราสามารถย้ายตัวเซิร์ฟเวอร์ไปอยู่บนเครื่องข่ายอินเทอร์เน็ตได้และสามารถใช้งานผ่าน Internet Connection ที่มีความเร็วต่ำได้ จึงสามารถเรียกใช้แอปพลิเคชันได้จากแหล่งใดก็ได้

ลักษณะการทำงานของ Web Application นั้น โปรแกรมส่วนหนึ่งจะวางตัวอยู่บน Rendering Engine ซึ่งตัว Rendering Engine จะทำหน้าที่หลัก ๆ คือ นำเอาชุดคำสั่งหรือรูปแบบโครงสร้างข้อมูลที่ใช้ในการแสดงผลนำมาแสดงผลบนพื้นที่ส่วนหนึ่งในจอภาพโปรแกรมส่วนที่วางตัวอยู่บน Rendering Engine จะทำหน้าที่หลัก ๆ คือ การเปลี่ยนแปลงแก้ไขสิ่งที่แสดงผลจัดการตรวจสอบข้อมูลที่รับเข้ามาเบื้องต้นและการประมวลบางส่วนแต่ส่วนการทำงานหลัก ๆ จะวางตัวอยู่ในลักษณะ Web Application ฟังก์ชัน Server จะประกอบไปด้วยเว็บเซิร์ฟเวอร์ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมต่อกับไคลเอนต์ตามโปรโตคอล HTTP/HTTPS โดยนอกจากเว็บเซิร์ฟเวอร์จะทำหน้าที่ส่งไฟล์ที่เกี่ยวข้องกับการแสดงผลตามมาตรฐาน HTTP ตามปกติทั่วไปแล้วเว็บเซิร์ฟเวอร์จะมีส่วนประมวลผลซึ่งอาจจะเป็นตัวแปลภาษา เช่น Script Engine ของภาษา PHP หรืออาจจะมีการติดตั้ง .NET Framework ซึ่งมีตัวแปลภาษา CLR (Common Language Runtime) ที่ใช้แปลภาษา intermediate จากโค้ดที่เขียนด้วย VB.NET หรือ C#.NET หรืออาจจะเป็น J2EE ที่มีตัวแปลไบต์โค้ดของคลาสที่ได้จากโปรแกรมภาษาจาวา เป็นต้น

ส่วนประกอบของเว็บแอปพลิเคชันในปัจจุบันประกอบไปด้วยการทำงานของเทคโนโลยีต่าง ๆ มากมาย ไม่ว่าจะเป็นตัวโปรแกรมเว็บแอปพลิเคชัน (Web application) เว็บเซิร์ฟเวอร์ (Web server) เว็บเซิร์ฟเวอร์ซอฟต์แวร์ (Web server software) ฐานข้อมูล (Database) เว็บเบราว์เซอร์ (Web browser) และอื่น ๆ ซึ่งแต่ละส่วนก็จะมีหน้าที่และการทำงานที่แตกต่างกันออกไป เราสามารถแยกส่วนประกอบของการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันออกเป็นสองส่วนหลัก ๆ คือ เทคโนโลยีฝั่งผู้ใช้งาน (Client - side technology) และ เทคโนโลยีฝั่งเซิร์ฟเวอร์ (Server-side technology)



รูป 2.25 ส่วนประกอบของเว็บแอปพลิเคชัน

ผู้ใช้งาน (Client - side Technology) จากรูปที่ 2.25 เทคโนโลยีฝั่งผู้ใช้งานประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก คือ

เว็บเบราว์เซอร์ (Web Browser) เป็นซอฟต์แวร์ที่ผู้ใช้งานใช้ในการเข้าถึงเว็บแอปพลิเคชัน โดยที่เมื่อเริ่มต้นผู้ใช้งานทำการใส่ URL หรือว่าชื่อของเว็บไซต์ที่ต้องการเข้าใช้งาน เช่น <https://www.google.com> เมื่อเบราว์เซอร์ได้รับชื่อของเว็บไซต์ก็จะทำการแปลงจากชื่อของเว็บไซต์เป็น IP address ผ่านทาง DNS หลังจากนั้นเว็บเบราว์เซอร์จะทำการสร้าง HTTP request เพื่อส่งคำร้องไปยังเว็บเซิร์ฟเวอร์ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเมื่อได้รับ HTTP response จากเว็บเซิร์ฟเวอร์ เว็บเบราว์เซอร์จะทำหน้าที่ในการอ่าน และแปลง HTTP response ให้เป็นข้อมูลที่ใช้ในการแสดงผลให้กับผู้ใช้งาน

ส่วนต่อความสามารถเว็บและเบราว์เซอร์ (Web Plugin และ Browser Add-on/Extension) Web Plugin (ส่วนต่อความสามารถเว็บ) คือ โปรแกรมที่ถูกเขียนให้ทำงานร่วมกับเว็บเบราว์เซอร์ Web Plugin ที่เป็นที่รู้จักกันดีเช่น Adobe Flash, PDF reader, Silverlight, Java Applet, และอื่น ๆ ซึ่ง Web Plugin เหล่านี้จะถูกเบราว์เซอร์เรียกใช้ก็ต่อเมื่อเว็บไซต์ที่เข้าใช้งานมีเนื้อหาที่ต้องแสดงผลโดย Plugin เช่น Adobe Flash Plugin จะถูกเรียกใช้โดยเบราว์เซอร์ก็ต่อเมื่อเจอเนื้อหาที่ต้องใช้ Flash Player ในการแสดงผล Browser Add - one/Extension (ส่วนเพิ่มความสามารถเบราว์เซอร์) เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการเพิ่มความสามารถให้กับเบราว์เซอร์ เช่น ส่วนเพิ่มความสามารถที่ช่วยในการจัดการไฟล์ดาวโหลด ส่วนเพิ่มความสามารถที่ช่วยในการดาวโหลดไฟล์วีดิโอ เป็นต้น

ซึ่งส่วนเพิ่มความสามารถเบราว์เซอร์เหล่านี้จะเน้นเพิ่มความสามารถให้กับเบราว์เซอร์ มากกว่าการประมวลผลเนื้อหาเว็บไซต์

ระบบปฏิบัติการ (Operating System) ระบบปฏิบัติการทำหน้าที่ในการจัดการกับทรัพยากรของเครื่องคอมพิวเตอร์ ทำหน้าที่ในการรับ HTTP request จากเบราว์เซอร์และส่งต่อไปให้กับอินเทอร์เน็ต DNS ในระบบปฏิบัติการทำหน้าที่ในการแปลง URL ให้เป็น IP Address เพื่อค้นหาเครื่องเว็บเซิร์ฟเวอร์ สร้างการเชื่อมต่อ (TCP connection) ระหว่างเครื่องผู้ใช้งานและเครื่องเซิร์ฟเวอร์ ดังนั้นการทำงานของระบบปฏิบัติการจะเป็นสิ่งที่ผู้ใช้งานมองไม่เห็นแต่ก็มีความสำคัญมาก

เซิร์ฟเวอร์ (Server - side Technology) เว็บเซิร์ฟเวอร์ที่ทำหน้าที่เป็นผู้ให้บริการแก่ผู้ใช้งานเว็บไซต์ประกอบไปด้วยเทคโนโลยีและซอฟต์แวร์หลายส่วนทำงานร่วมกัน โดยซอฟต์แวร์หลักที่ใช้ในการให้บริการของเว็บเซิร์ฟเวอร์ประกอบไปด้วย 4 ส่วนประกอบหลัก

เว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) ถือว่าเป็นหัวใจหลักของเว็บไซต์ เนื่องจากทำหน้าที่ติดต่อกับผู้ใช้งานรับและแสดงข้อมูลประมวลผลข้อมูลจัดการข้อมูลในฐานข้อมูลและอื่น ๆ เรียกว่าเว็บแอปพลิเคชันเป็นซอฟต์แวร์ที่ให้บริการผู้ใช้งานทั่วโลกผ่านอินเทอร์เน็ต หากนักพัฒนาได้เขียนเว็บแอปพลิเคชันตาม Model - View - Controller (MVC) แล้วก็จะสามารถ

แบ่งเว็บแอปพลิเคชันออกได้เป็นสามส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้งานเพื่อรับข้อมูลและแสดงผล (View) ส่วนที่ประมวลผลการทำงาน (Controller) ส่วนที่ใช้ในการติดต่อและจัดการกับข้อมูลและฐานข้อมูล (Model)

นักพัฒนาสามารถพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันได้ด้วยภาษาคอมพิวเตอร์ที่หลากหลาย เราสามารถแบ่งภาษาที่ใช้ในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันออกเป็นสองส่วนคือ Front - End Technology ใช้สำหรับพัฒนา View (ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน) และ Back - End Technology ใช้สำหรับพัฒนา Model และ Controller (ส่วนประมวลผลและจัดการข้อมูล)

Front - End Web Technology จะหมายถึงส่วนของเทคโนโลยีที่ใช้ในการสร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน ในการสร้างเว็บแอปพลิเคชัน Front - End Technology ที่เป็นที่แพร่หลายได้แก่ HTML, CSS, และ JavaScript ซึ่งภาษาคอมพิวเตอร์เหล่านี้ถูกใช้อย่างแพร่หลายในการสร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานของเว็บแอปพลิเคชัน ความหลากหลายของ Front - End Web Technology ถูกจำกัดด้วยมาตรฐานกลางที่ออกโดยองค์กรที่ไม่แสดงหาผลกำไรอย่าง World Wide Web Consortium (W3C) ซึ่งเป็นผู้กำหนดมาตรฐาน HTML, CSS, และ JavaScript เพื่อให้ผู้พัฒนาเบราว์เซอร์ให้แสดงผลข้อมูลในรูปแบบเดียวกัน เพื่อความสะดวกแก่ผู้ใช้งานและนักพัฒนา ซึ่งเบราว์เซอร์ในปัจจุบันต่างรองรับการประมวลผลของ HTML, CSS และ JavaScript โดยสมบูรณ์ แม้ว่าจะมีความแตกต่างในการแสดงผลไปบ้าง (เล็กน้อย) ในบางเบราว์เซอร์

Back - End Web Technology จะหมายถึงส่วนของเทคโนโลยีที่เป็นส่วนประมวลผลตรรกะและการทำงานของเว็บแอปพลิเคชัน ไม่ว่าจะเป็นการตรวจสอบสิทธิ์การเข้าใช้ การเรียกดู และจัดเก็บข้อมูล การทำงานของเว็บแอปพลิเคชันในส่วนของ Back - End จะเริ่มหลังจากเว็บแอปพลิเคชันได้รับ HTTP request มาจากผู้ใช้งาน ทำการประมวลผล และส่งข้อมูลกลับไปให้กับผู้ใช้งาน เทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนา Back - End ของเว็บแอปพลิเคชันจะมีความหลากหลายกว่า Front - End เนื่องจากไม่มีข้อจำกัดด้านมาตรฐานกลางดัง Front - End technology ที่ต้องรองรับมาตรฐานที่กำหนดโดย W3C เพื่อให้ทำงานกับเว็บเบราว์เซอร์ได้อย่างไม่มีปัญหา

เว็บเซิร์ฟเวอร์ซอฟต์แวร์ (Web Server Software) เป็น โปรแกรมที่ทำงานอยู่บน Web server ซึ่งหน้าที่หลักของ Web server software คือการประมวลผล HTTP request ที่ได้รับมาและตอบกลับด้วย HTTP response ให้กับผู้ใช้งาน ปัจจุบันมี Web server software หลายตัวที่ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายเช่น Apache HTTP server, Internet Information Service (IIS) และ Nginx ยังมี Web server software ตัวอื่นอีกมากในท้องตลาดที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ อย่างไรก็ตาม Web server software ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายมากที่สุดในปัจจุบันคือ Apache HTTP server และผู้ใช้งานมักจะใช้คู่กับ PHP (ตัวแปลภาษา PHP) และ MySQL (ฐานข้อมูล) Apache HTTP server เป็น Web server software ที่ได้รับความนิยมสูงสุด (ข้อมูล ณ วันที่ 21 ตุลาคม 2558) เนื่องจากความสามารถที่หลากหลาย และเป็น Freeware ที่อนุญาตให้นำไปใช้งานได้ฟรีทางการค้า Apache HTTP server ปัจจุบันออกเวอร์ชัน 2.4 ซึ่งมีโครงสร้างการทำงานเป็นแบบ Module นั่นคือผู้ใช้งานสามารถเพิ่มความมารดของ Web server Software ได้โดยการติดตั้ง Module เพิ่มเติม ตัวอย่างเช่น หากต้องการให้ Apache HTTP server รองรับภาษา PHP ก็สามารถติดตั้ง Module ที่สามารถช่วยให้ Apache ประมวลผล Web application ที่เขียนด้วยภาษา PHP ได้

ระบบปฏิบัติการ (Operating System) ระบบปฏิบัติการบนฝั่งของเซิร์ฟเวอร์มีหน้าที่ในการจัดการกับทรัพยากรของเครื่องเซิร์ฟเวอร์ เช่น CPU memory และ Bandwidth เป็นต้น เนื่องจาก Web Application เป็นบริการที่เปิดให้ผู้ใช้งานเข้าถึงได้ตลอดเวลา ดังนั้น ระบบปฏิบัติการบนเซิร์ฟเวอร์จึงต้องมีความเสถียรและสามารถจัดการกับทรัพยากรของเครื่องได้อย่างมีประสิทธิภาพ

- ข้อดีของ Web Application
 - เหมาะกับองค์กรขนาดเล็กเพราะมีค่าใช้จ่ายต่ำ
 - การใช้งานทำได้ง่ายเพียงแค่มียูเอสบราวเซอร์ ซึ่งเป็นสิ่งพื้นฐานในคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องก็ใช้งานได้
 - ข้อมูลจัดเก็บที่เดียว ง่ายต่อการจัดการ และไม่เกิดความซ้ำซ้อน

- ไม่ต้องการเครื่องคอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูงซึ่งมีราคาแพง
- อยู่ที่ไหนก็ทำงานได้เพราะสามารถลือกอินเข้าใช้งานได้เลยไม่ต้องติดตั้ง

โปรแกรม

- ไม่ต้องมีบุคลากรด้านเทคนิคเป็นของตัวเอง เพราะมีผู้ให้บริการดูแล

เซิร์ฟเวอร์และการบำรุงรักษา

- ใช้ได้หลากหลายแพลตฟอร์มทั้ง Windows, Linux และ Mac
- ข้อเสียของ Web Application
 - รูปร่างหน้าตาและการใช้งานมีได้จำกัดอาจไม่เหมาะกับงานบางประเภทที่ต้องการรูปแบบโปรแกรมที่แตกต่างจากโปรแกรมทั่วไปเช่น โปรแกรมตกแต่งรูป โปรแกรมตัดต่อวิดีโอ
 - เว็บแอปหลาย ๆ ตัวต้องการอินเทอร์เน็ตในการใช้งานเสมอ

2.4 สรุป

บทนี้ได้นำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทฤษฎี และหลักการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ได้แก่ การบำรุงรักษาแบบพยากรณ์ตามสภาพ การสั่นสะเทือน สัญญาณของการสั่นสะเทือน เครื่องวิเคราะห์แบบ FFT เทคนิคการวัดและมาตรฐานการสั่นสะเทือน การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน บนแกนความถี่ สัญญาณการสั่นสะเทือนบนแกนความถี่จากสาเหตุต่าง ๆ กรณีศึกษาลักษณะ สัญญาณการสั่นสะเทือน และ เว็บแอปพลิเคชัน โดยได้กล่าวเฉพาะส่วนที่จะนำมาใช้หรือส่วนที่จะถูกกล่าวอ้างถึงในบทต่อ ๆ ไปทั้งนี้เพื่อเป็นประโยชน์และเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้แก่ผู้ดำเนินงานวิจัย

บทที่ 3

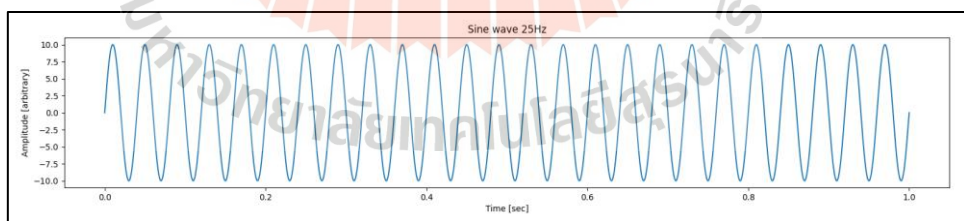
วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 บทนำ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอวิธีการพัฒนาระบบวิเคราะห์การสั่นสะเทือนโดยการนำสัญญาณการสั่นสะเทือนในโดเมนเวลา (Time Domain) มาแปลงให้อยู่ในรูปของโดเมนความถี่ (Frequency Domain) เพื่อวิเคราะห์สัญญาณที่เกิดขึ้น ซึ่งจะสามารถบอกได้ว่าสัญญาณความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเครื่องจักรนั้นมีความรุนแรงในการสั่นสะเทือนมากน้อยเพียงใด เพื่อช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถทำการบำรุงรักษาได้อย่างทันท่วงที มีความสะดวกในการใช้งาน ซึ่งขั้นตอนการทำงานสามารถแสดงได้ดังนี้

3.2 การพัฒนาระบบการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน

การพัฒนาระบบการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนสร้างขึ้นด้วยโปรแกรมภาษา Python ขั้นตอนที่ 1 จะทำการสร้างสัญญาณ Sine Wave ตามสมการ $\text{Amplitude} \times \sin(\text{Frequency} \times 2 \times \pi)$ โดยกำหนดให้ Amplitude มีค่าเท่ากับ 10 และ Frequency มีค่าเท่ากับ 25 Hz โดยได้สัญญาณดังรูปที่ 3.1

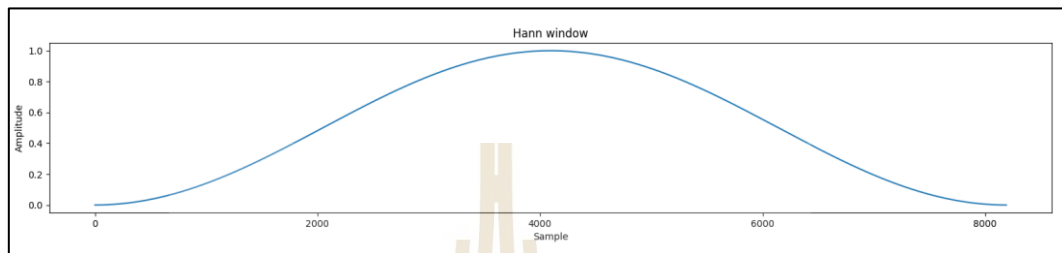


รูปที่ 3.1 สัญญาณ Sine Wave 25 Hz

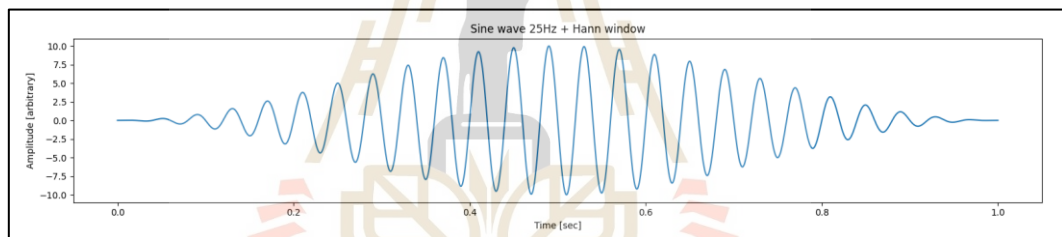
ขั้นตอนที่ 2 จากนั้นนำสัญญาณที่ได้ข้างต้นไปทำการปรับปรุงสัญญาณแบบวินโดว์ โดยเลือกใช้ แฮนนิงวินโดว์ (Hanning Window) ตามสมการที่ 3.1 และหลักการของการปรับปรุงสัญญาณคือการกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของสัญญาณนั้นให้มีค่าเท่ากับศูนย์ โดยสัญญาณ Hanning Window สามารถแสดงดังรูปที่ 3.2 และเมื่อนำสัญญาณ Sine Wave 25 Hz มาปรับปรุง

สัญญาณแบบ Hanning Window จะได้สัญญาณดังรูปที่ 3.3

$$W(n) = 0.5 - 0.5 \left(\frac{2\pi n}{M-1} \right) \quad (3.1)$$

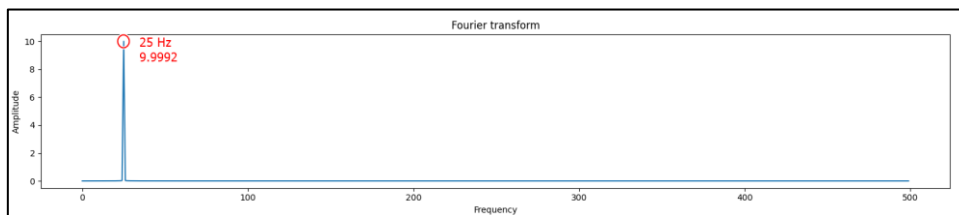


รูปที่ 3.2 สัญญาณ Hanning Window

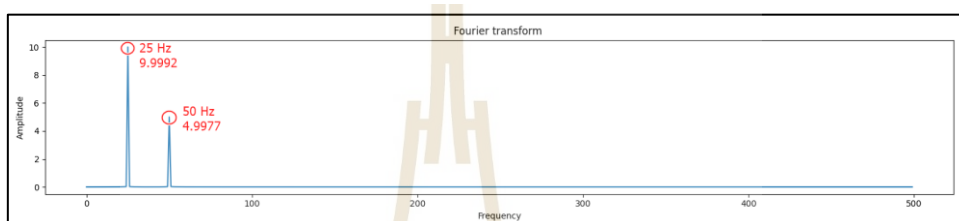


รูปที่ 3.3 สัญญาณ 25 Hz + Hanning Window

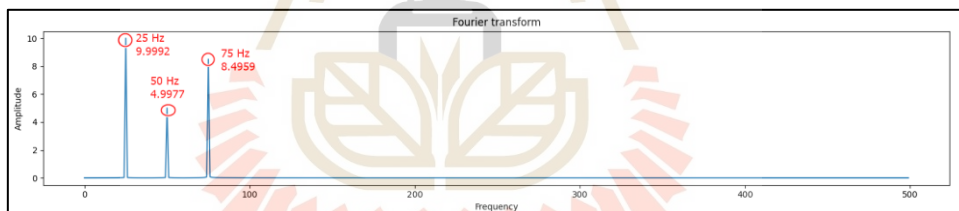
ขั้นตอนที่ 3 จากนั้นทำการเปลี่ยนสัญญาณในรูปแบบกราฟโดเมนเวลา (Time Domain) ที่ผ่านการปรับรูปร่างสัญญาณแบบวินโดว์ (Windowing) ไปเป็นกราฟโดเมนความถี่ (Frequency Domain) โดยใช้วิธีการแปลงสัญญาณแบบฟูรีเยร์ (Fourier Transform) จากการใช้ไลบรารีของโปรแกรมภาษา Python และดูการทำงานของไลบรารีว่ามีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด โดยการสร้างสัญญาณความถี่ 1, 2 และ 3 ความถี่ ตามลำดับ รูปที่ 3.4 แสดงสัญญาณแบบ 1 ความถี่ ที่ 25 Hz รูปที่ 3.5 แสดงสัญญาณแบบ 2 ความถี่ ที่ 25 และ 50 Hz และรูปที่ 3.6 แสดงสัญญาณแบบ 3 ความถี่ ที่ 25, 50 และ 75 Hz



รูปที่ 3.4 กราฟโดเมนความถี่ 25 Hz



รูปที่ 3.5 กราฟโดเมนความถี่ 25 และ 50 Hz



รูปที่ 3.6 กราฟโดเมนความถี่ 25, 50 และ 75 Hz

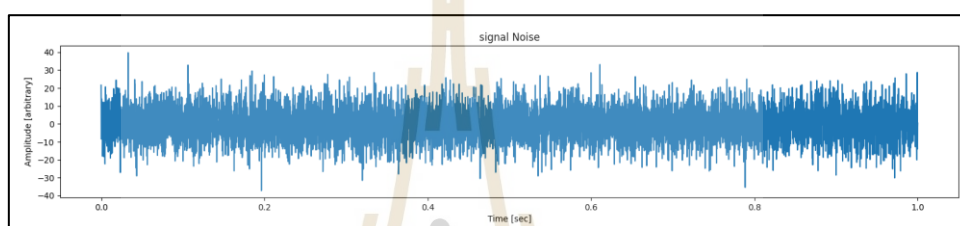
จากผลการจำลองรูปที่ 3.4 - 3.6 สามารถแสดงค่า Amplitude ที่ทำการป้อน และค่า Amplitude ที่อ่านได้ พร้อมทั้งคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของค่า Amplitude ที่อ่านได้ โดยผลการคำนวณสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าความคลาดเคลื่อนของค่า Amplitude ที่อ่านได้

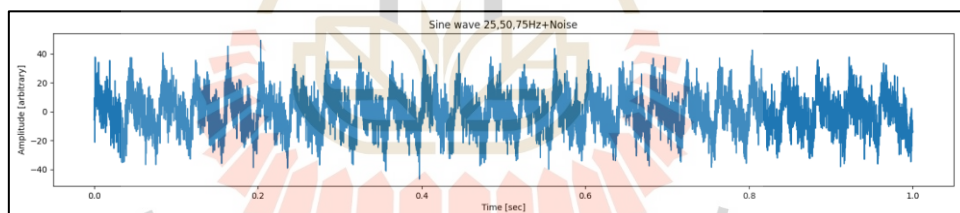
ความถี่	ค่าที่ทำการป้อน	ค่าที่อ่านได้	% Error
25	10	9.9992	0.008%
50	5	4.9977	0.046%
75	8.5	8.4959	0.048%

จากตารางที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการป้อนค่าแอมพลิจูดเท่ากับ 10, 5 และ 8.5 ที่ความถี่ 25, 50 และ 75 Hz และนำค่าที่อ่านได้มาคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนจะได้อัตรา 0.008%, 0.046% และ 0.048% ตามลำดับ จะพบว่าค่าที่อ่านได้ที่ความถี่ 25 Hz มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด

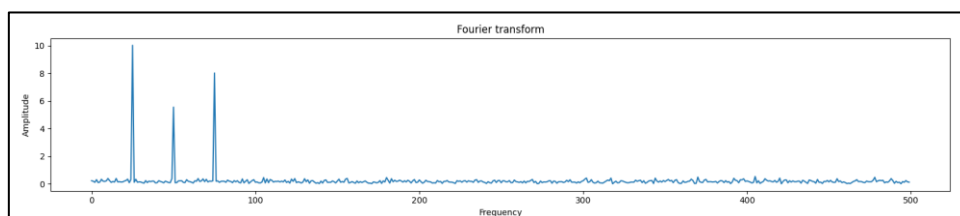
ขั้นตอนที่ 4 หลังจากทดสอบการทำงานของไลบรารีโปรแกรมภาษา Python จะทำการทดสอบระบบโดยการสร้างสัญญาณรบกวน (Noise) แบบสุ่ม ดังรูปที่ 3.7 และเพิ่มสัญญาณรบกวนให้กับสัญญาณ Sine wave ดังรูปที่ 3.8 ทำให้สัญญาณความถี่มีลักษณะดังรูปที่ 3.9 โดยจะทำทดลองซ้ำ 10 ครั้ง เพื่อทดสอบการทำงานของระบบว่ายังมีความถูกต้องหรือไม่



รูปที่ 3.7 สัญญาณ Noise



รูปที่ 3.8 สัญญาณ Sine Wave + Noise



รูปที่ 3.9 กราฟโดเมนความถี่ 25, 50 และ 75 Hz

จากผลการทดลองสามารถแสดงค่า Amplitude ที่ทำการป้อน และค่า Amplitude ที่อ่านได้ พร้อมทั้งคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของค่า Amplitude ที่อ่านได้ ครั้งที่ 1 - 10 ได้ดังตารางที่ 3.2 - 3.11 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.2 ค่าความคลาดเคลื่อนของค่า Amplitude ที่อ่านได้ ครั้งที่ 1

ความถี่	ค่าที่ทำการป้อน	ค่าที่อ่านได้	% Error
25	10	9.9779	1%
50	5.6	5.6159	1%
75	7.8	7.8639	1%

ตารางที่ 3.3 ค่าความคลาดเคลื่อนของค่า Amplitude ที่อ่านได้ ครั้งที่ 2

ความถี่	ค่าที่ทำการป้อน	ค่าที่อ่านได้	% Error
25	10	10.0997	1%
50	5.6	5.7166	2%
75	7.8	7.9022	1%

ตารางที่ 3.4 ค่าความคลาดเคลื่อนของค่า Amplitude ที่อ่านได้ ครั้งที่ 3

ความถี่	ค่าที่ทำการป้อน	ค่าที่อ่านได้	% Error
25	10	10.1129	1%
50	5.6	5.6019	0%
75	7.8	7.6334	2%

ตารางที่ 3.5 ค่าความคลาดเคลื่อนของค่า Amplitude ที่อ่านได้ ครั้งที่ 4

ความถี่	ค่าที่ทำการป้อน	ค่าที่อ่านได้	% Error
25	10	10.0915	1%
50	5.6	5.5453	1%
75	7.8	7.8849	1%

ตารางที่ 3.6 ค่าความคลาดเคลื่อนของค่า Amplitude ที่อ่านได้ ครั้งที่ 5

ความถี่	ค่าที่ทำการป้อน	ค่าที่อ่านได้	% Error
25	10	9.8596	1%
50	5.6	5.4979	2%
75	7.8	7.8376	0%

ตารางที่ 3.7 ค่าความคลาดเคลื่อนของค่า Amplitude ที่อ่านได้ ครั้งที่ 6

ความถี่	ค่าที่ทำการป้อน	ค่าที่อ่านได้	% Error
25	10	9.8522	1%
50	5.6	5.7217	2%
75	7.8	7.7523	1%

ตารางที่ 3.8 ค่าความคลาดเคลื่อนของค่า Amplitude ที่อ่านได้ ครั้งที่ 7

ความถี่	ค่าที่ทำการป้อน	ค่าที่อ่านได้	% Error
25	10	10.1926	2%
50	5.6	5.5339	1%
75	7.8	7.7006	1%

ตารางที่ 3.9 ค่าความคลาดเคลื่อนของค่า Amplitude ที่อ่านได้ ครั้งที่ 8

ความถี่	ค่าที่ทำการป้อน	ค่าที่อ่านได้	% Error
25	10	10.1055	1%
50	5.6	5.5369	1%
75	7.8	7.6871	1%

ตารางที่ 3.10 ค่าความคลาดเคลื่อนของค่า Amplitude ที่อ่านได้ ครั้งที่ 9

ความถี่	ค่าที่ทำการป้อน	ค่าที่อ่านได้	% Error
25	10	10.1356	1%
50	5.6	5.5224	1%
75	7.8	7.7552	1%

ตารางที่ 3.11 ค่าความคลาดเคลื่อนของค่า Amplitude ที่อ่านได้ ครั้งที่ 10

ความถี่	ค่าที่ทำการป้อน	ค่าที่อ่านได้	% Error
25	10	9.962	0%
50	5.6	5.6279	0%
75	7.8	7.854	1%

จากการทดลองทั้ง 10 ครั้ง จะเห็นได้ว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 2% ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้

ขั้นตอนที่ 5 เมื่อทดสอบการทำงานของระบบที่มีสัญญาณที่มีการรบกวน (Noise) จะทำการทดสอบ Sample rate โดยกำหนด Sample rate อยู่ในช่วง 100 - 1000 Sample โดยป้อนสัญญาณดังนี้ 25 Hz Amplitude = 7.8, 50 Hz Amplitude = 4.6, 75 Hz Amplitude = 8.2 ได้ผลแสดงดังตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3.12 ค่า Sample rate ที่ความถี่ 25, 50 และ 75 Hz

Sampling rate	25 Hz	50 Hz	75 Hz
102.4	4.1018	อ่านค่าไม่ได้	อ่านค่าไม่ได้
128	6.5033	1.8285	อ่านค่าไม่ได้
153.6	6.9205	2.7160	4.1994
179.2	7.3081	3.6801	5.4278
204.8	7.5019	3.9472	6.0661
230.4	7.5918	4.1238	6.6035
256	7.6892	4.2314	6.9180
384	7.7745	4.5093	7.6962
512	7.7950	4.5643	7.9281
640	7.8023	4.5858	8.0321
768	7.8052	4.5958	8.0874
896	7.8065	4.6010	8.1200
1024	7.8069	4.6038	8.1408
1152	7.8070	4.6054	8.1548
1280	7.8069	4.6063	8.1647
1408	7.8067	4.6067	8.1718

ตารางที่ 3.12 ค่า Sample rate ที่ความถี่ 25, 50 และ 75 Hz (ต่อ)

Sampling rate	25 Hz	50 Hz	75 Hz
1536	7.8065	4.6070	8.1772
1664	7.8063	4.6071	8.1813
1792	7.8060	4.6070	8.1845
1920	7.8058	4.6070	8.1870
2048	7.8056	4.6068	8.1891
2176	7.8053	4.6067	8.1908
2304	7.8051	4.6066	8.1921
2432	7.8049	4.6064	8.1933
2560	7.8048	4.6062	8.1942
3072	7.8041	4.6056	8.1968
3584	7.8037	4.6051	8.1983
4096	7.8033	4.6046	8.1991
4608	7.8029	4.6042	8.1997
5120	7.8027	4.6038	8.2000
5632	7.8025	4.6036	8.2003
6144	7.8023	4.6033	8.2004
6656	7.8021	4.6031	8.2005
7168	7.8020	4.6029	8.2006
7680	7.8018	4.6027	8.2006
8192	7.8017	4.6026	8.2007
8704	7.8016	4.6024	8.2007
9216	7.8015	4.6023	8.2007
9728	7.8015	4.6022	8.2007
10240	7.8014	4.6021	8.2007

และสามารถคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนของค่า Amplitude ที่ทำการป้อน และค่า Amplitude ที่อ่านค่าได้ ที่ความถี่ 25, 50 และ 75 Hz ดังตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.13 ค่าความคลาดเคลื่อนค่า Amplitude ที่ทำการป้อน และค่า Amplitude ที่อ่านค่าได้ของ Sample rate ที่ความถี่ 25, 50 และ 75 Hz

Sampling rate	25 Hz	50 Hz	75 Hz
102.4	47%	อ่านค่าไม่ได้	อ่านค่าไม่ได้
128	17%	60%	อ่านค่าไม่ได้
153.6	11%	41%	49%
179.2	6%	20%	34%
204.8	4%	14%	26%
230.4	3%	10%	19%
256	1%	8%	16%
384	0%	2%	6%
512	0%	1%	3%
640	0%	0%	2%
768	0%	0%	1%
896	0%	0%	1%
1024	0%	0%	1%
1152	0%	0%	1%
1280	0%	0%	0%
1408	0%	0%	0%
1536	0%	0%	0%
1664	0%	0%	0%
1792	0%	0%	0%
1920	0%	0%	0%
2048	0%	0%	0%
2176	0%	0%	0%
2304	0%	0%	0%
2432	0%	0%	0%
2560	0%	0%	0%
3072	0%	0%	0%
3584	0%	0%	0%

ตารางที่ 3.13 ค่าความคลาดเคลื่อนค่า Amplitude ที่ทำการป้อน และค่า Amplitude ที่อ่านค่าได้ของ Sample rate ที่ความถี่ 25, 50 และ 75 Hz (ต่อ)

Sampling rate	25 Hz	50 Hz	75 Hz
4096	0%	0%	0%
4608	0%	0%	0%
5120	0%	0%	0%
5632	0%	0%	0%
6144	0%	0%	0%
6656	0%	0%	0%
7168	0%	0%	0%
7680	0%	0%	0%
8192	0%	0%	0%
8704	0%	0%	0%
9216	0%	0%	0%
9728	0%	0%	0%
10240	0%	0%	0%

ขั้นตอนที่ 6 ทำการทดสอบค่าความถี่ 10 – 1,000 Hz โดยกำหนดให้ sample rate มีค่าเท่ากับ 8192 และ Amplitude มีค่าเท่ากับ 7.8 จะสามารถแสดงค่าที่อ่านได้ที่ความถี่ต่าง ๆ และคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนที่ความถี่ต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 3.14

ตารางที่ 3.14 ทดสอบค่าความถี่ 10 - 1000 Hz

Frequencies (Hz)	ค่าที่อ่านได้	% Error
10	7.7995	0%
20	7.7994	0%
30	7.7993	0%
40	7.7992	0%
50	7.7990	0%
60	7.7988	0%
70	7.7985	0%

ตารางที่ 3.14 ทดสอบค่าความถี่ 10 - 1000 Hz (ต่อ)

Frequencies (Hz)	ค่าที่อ่านได้	% Error
80	7.7982	0%
90	7.7979	0%
100	7.7976	0%
110	7.7972	0%
120	7.7967	0%
130	7.7962	0%
140	7.7957	0%
150	7.7952	0%
160	7.7946	0%
170	7.7939	0%
180	7.7933	0%
190	7.7926	0%
200	7.7918	0%
210	7.7910	0%
220	7.7902	0%
230	7.7894	0%
240	7.7885	0%
250	7.7875	0%
260	7.7866	0%
270	7.7855	0%
280	7.7845	0%
290	7.7834	0%
300	7.7823	0%
310	7.7811	0%
320	7.7799	0%
330	7.7787	0%
340	7.7774	0%
350	7.7761	0%

ตารางที่ 3.14 ทดสอบค่าความถี่ 10 - 1000 Hz (ต่อ)

Frequencies (Hz)	ค่าที่อ่านได้	% Error
360	7.7747	0%
370	7.7733	0%
380	7.7719	0%
390	7.7704	0%
400	7.7689	0%
410	7.7674	0%
420	7.7658	0%
430	7.7642	0%
440	7.7625	0%
450	7.7608	1%
460	7.7591	1%
470	7.7573	1%
480	7.7555	1%
490	7.7536	1%
500	7.7517	1%
520	7.7479	1%
530	7.7459	1%
540	7.7438	1%
550	7.7417	1%
560	7.7396	1%
570	7.7375	1%
580	7.7353	1%
590	7.7331	1%
600	7.7308	1%
610	7.7285	1%
620	7.7262	1%
630	7.7238	1%
640	7.7214	1%

ตารางที่ 3.14 ทดสอบค่าความถี่ 10 - 1000 Hz (ต่อ)

Frequencies (Hz)	ค่าที่อ่านได้	% Error
650	7.7189	1%
660	7.7164	1%
670	7.7139	1%
680	7.7113	1%
690	7.7087	1%
700	7.7061	1%
710	7.7034	1%
720	7.7007	1%
730	7.6979	1%
740	7.6952	1%
750	7.6923	1%
760	7.6895	1%
770	7.6866	1%
780	7.6836	1%
790	7.6806	2%
800	7.6776	2%
810	7.6746	2%
820	7.6715	2%
830	7.6684	2%
840	7.6652	2%
850	7.6620	2%
860	7.6588	2%
870	7.6555	2%
880	7.6522	2%
890	7.6488	2%
900	7.6455	2%
910	7.6420	2%
920	7.6386	2%

ตารางที่ 3.14 ทดสอบค่าความถี่ 10 - 1000 Hz (ต่อ)

Frequencies (Hz)	ค่าที่อ่านได้	% Error
930	7.6351	2%
940	7.6316	2%
950	7.6280	2%
960	7.6244	2%
970	7.6207	2%
980	7.6171	2%
990	7.6134	2%
1000	7.6096	2%

จากการทดสอบ Frequency 10 - 1,000 Hz จะเห็นได้ว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ความถี่ 10 - 440 Hz และที่ความถี่ 790 - 1,000 Hz มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 2% จะเห็นได้ว่าโปรแกรมสามารถอ่านค่าแอมพลิจูดที่ความถี่ 10 - 1,000 Hz ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.3 การสร้างชุดอุปกรณ์เก็บและประมวลผลสัญญาณการสั่นสะเทือน

อุปกรณ์เก็บและประมวลผลสัญญาณการสั่นสะเทือนถูกสร้างขึ้นมาเพื่อตรวจสอบสัญญาณการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นภายในเครื่องจักร หลักการทำงานของอุปกรณ์จะเริ่มจากการอ่านค่าสัญญาณการสั่นสะเทือนจากเซนเซอร์วัดการสั่น จากนั้นจะนำค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์วัดการสั่นเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน และทำการส่งค่าที่ได้จากการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนไปยังฐานข้อมูลออนไลน์ โดยมี Microcontroller คือ Raspberry Pi เป็นตัวควบคุมและช่วยในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการชุดอุปกรณ์ดังนี้

3.3.1 Raspberry Pi 4 (4GB)

Raspberry Pi เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ที่มีความสามารถเหมือนเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ทุกประการ ทั้งต่อจอ Monitor Lan หรือ การประมวลผลข้อมูล เพียงแต่ประสิทธิภาพการประมวลผลเท่านั้นที่ไม่เทียบเท่ากับเครื่องคอมพิวเตอร์และยังมี GPIO (general purpose input/output) ทำให้สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมและรับค่าจากอุปกรณ์ภายนอกได้



รูปที่ 3.10 Raspberry Pi 4 (4GB)

สำหรับ Raspberry Pi 4 จะมีคุณสมบัติดังนี้

- **CPU:** Broadcom BCM2711B0 quad-core A72 (ARMv8-A) 64-bit @ 1.5GHz
- **GPU:** Broadcom VideoCore VI
- **Networking:** 2.4 GHz and 5 GHz 802.11b/g/n/ac wireless LAN
- **RAM:** 4GB LPDDR4 SDRAM
- **Bluetooth:** Bluetooth 5.0, Bluetooth Low Energy (BLE)
- **GPIO:** 40-pin GPIO header, populated
- **Storage:** microSD
- **Ports:** 2 × micro-HDMI 2.0, 3.5 mm analogue audio-video jack, 2 × USB 2.0, 2 × USB 3.0, Gigabit Ethernet, Camera Serial Interface (CSI), Display Serial Interface (DSI)
- **Dimensions:** 88 mm × 58 mm × 19.5 mm, 46 g

3.3.2 โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์

โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์ (Photoelectric Sensor) เป็นเซนเซอร์ที่ตรวจจับวัตถุโดยอาศัยหลักการสะท้อนของคลื่นอินฟราเรด ซึ่งมีการตอบสนองตอบอย่างรวดเร็ว ระยะเวลาตรวจจับไกล และที่สำคัญไม่ว่าวัตถุใด ๆ โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์ก็จะสามารถทำการตรวจจับได้เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการความเร็วในการตรวจจับและไม่มีการสัมผัสกับตัววัตถุมีความทนทาน การตรวจจับมีเสถียรภาพ เวลาการตอบสนองรวดเร็วถึง 1 ms. ใช้งานง่ายและติดตั้งง่าย โฟโตอิเล็กทริกเซนเซอร์สามารถปรับระยะเวลาตรวจจับได้โดยปรับเกลิยวามุนที่ตัวโฟโตสวิทช์



รูปที่ 3.11 Photoelectric Sensor

สำหรับ Photoelectric Sensor จะมีคุณสมบัติดังนี้

- แรงดันไฟฟ้า: 6-36 VDC
- กระแสไฟ: 300mA
- ระยะการตรวจจับ: 5-30cm
- ประเภทขอกออก: NPN 3 สาย
- สายไฟ: น้ำตาล-แหล่งจ่ายไฟ+ /สีน้ำเงิน-แหล่งจ่ายไฟ/ดำ-ระดับสัญญาณ

3.3.3 Acceleration Meter

Acceleration Meter หรือมิเตอร์ความเร่ง คือ เซนเซอร์ที่ใช้วัดความเร่งที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง (ในหน่วย m/s^2) ความเร่งของแรงโน้มถ่วงหรือ ค่า G มีค่าเท่ากับ $9.8 m/s^2$ โดยหลักการทำงานจะมีกล่องสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ ที่ทุกด้านของกล่องจะมีสปริงติดอยู่ เมื่อมีแรงมากระทำกับตัวกล่องทำให้ตัวกล่องเกิดความเอียงไปด้านใดด้านหนึ่ง สปริงก็จะยุบไปด้านนั้น ๆ โดยกำหนดว่าแรงดันของสปริงมีน้อยกว่าแรงโน้มถ่วงของโลก และใช้วงจรไฟฟ้าในการดึง Output Analog ออกมาใช้งานในหน่วยของแรงดันไฟฟ้า เราจะใช้ Accelerometer สำหรับเป็นตัวชี้ว่าอยู่ในสถานะ Static (นิ่งเฉย) หรือ Dynamic (เคลื่อนไหวทันทีทันใด หรือหยุดทันทีทันใด)



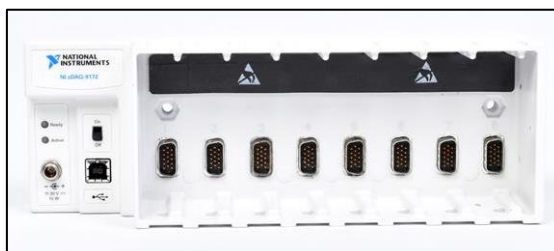
รูปที่ 3.12 Accelerometers

สำหรับ Acceleration Meter KISTLER(8763B100) จะมีคุณสมบัติดังนี้

- **Acceleration range(g):** ± 100
- **Sensitivity(mV/g):** $50 \pm 15\%$
- **Resonant frequency:** 35
- **Supply (VDC):** 22-30 (**mA):** 2-18
- **Output (VDC):** ± 5 (**mA):** 2

3.3.4 Compact DAQ Chassis และ Analog Input Device

Compact DAQ Chassis และ Analog Input Device ภายใต้เครื่องหมายการค้า NI ซึ่งรุ่น NI 9233 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เก็บสัญญาณ Analog มี Input ด้วยกันทั้งหมด 4 ช่องสัญญาณ มีความละเอียดของสัญญาณถึง 24 bits ส่วนการใช้งานอุปกรณ์จำเป็นต้องมีการต่อตัวอุปกรณ์เข้ากับตัวอุปกรณ์ DAQ โดยเลือกใช้รุ่น NI cDAQ - 9172 เป็นตัวส่งผ่านข้อมูลผ่านทางสาย USB ไปยังคอมพิวเตอร์ หรือคอลโทรลเลอร์ชนิดต่าง ๆ โดยสามารถเลือกใช้งานกับซอฟต์แวร์ของทางผู้ให้บริการเอง เช่น Ni - Max, LabVIEW เป็นต้น



รูปที่ 3.13 Compact DAQ Chassis



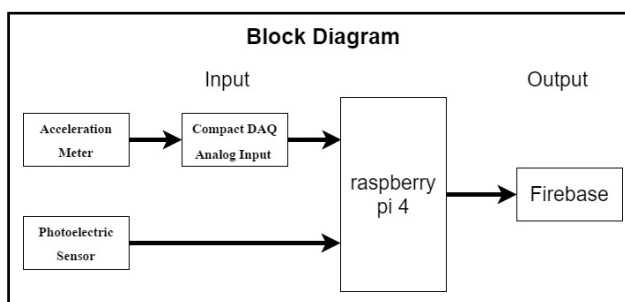
รูปที่ 3.14 Analog Input Device

สำหรับ Analog Input Device (NI 9233) จะมีคุณสมบัติดังนี้

- **Number of channels:** 4 analog input channels
- **ADC resolution:** 24 bits
- **Input range:** ± 5 V

3.3.5 แผนภาพบล็อกไดอะแกรมของชุดอุปกรณ์

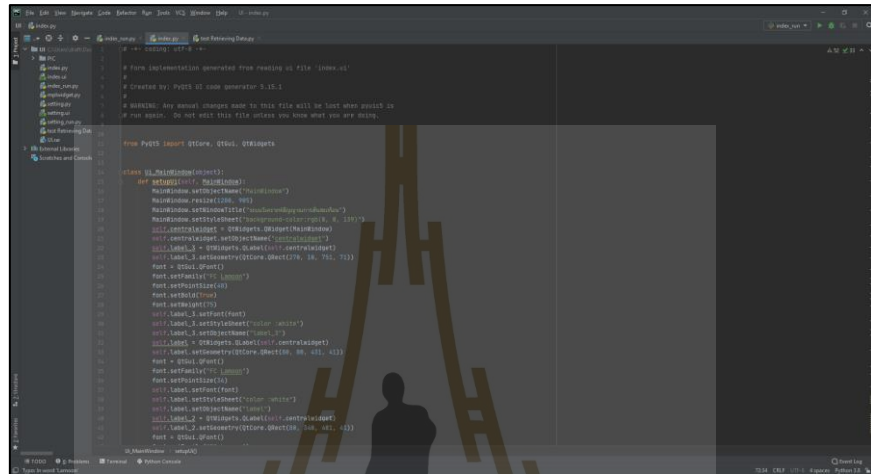
จากอุปกรณ์ที่กล่าวมาข้างต้นนำมาประกอบเพื่อใช้เก็บและประมวลผลสัญญาณการสั่นสะเทือน เริ่มต้นจากการเชื่อมต่อเซนเซอร์ตรวจวัดการสั่นเข้ากับตัวส่งผ่านข้อมูลประเภท DAQ จากนั้นนำข้อมูลความเร็วรอบที่วัดได้จาก Photoelectric sensor และค่าสัญญาณการสั่นที่วัดได้นำไปป้อนเป็น Input ให้กับ Raspberry pi4 จากนั้นนำข้อมูลที่ได้นำไปคำนวณค่าหาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องและทำการแปลงข้อมูลจากโดเมนเวลาความเป็นโดเมนถี่และส่งข้อมูลที่ได้นำจากการคำนวณไปเก็บในฐานข้อมูลออนไลน์ประเภท Firebase ซึ่งแผนภาพของการเชื่อมต่อจะเป็นดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แผนภาพของการเชื่อมต่อของอุปกรณ์

3.4 การพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อแสดงผลสัญญาณการสั่นสะเทือน

การพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อแสดงผลสัญญาณการสั่นสะเทือนสร้างขึ้นด้วยภาษา Python ผ่านโปรแกรม PyCharm Community Edition ดังรูปที่ 3.16 โดยการดึงข้อมูลจาก Firebase ออกมาแสดงผลยังหน้าซอฟต์แวร์แสดงผล ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.16 โปรแกรม PyCharm Community Edition



รูปที่ 3.17 ซอฟต์แวร์แสดงผลสัญญาณการสั่นสะเทือน

ซึ่งซอฟต์แวร์แสดงผลประกอบด้วย 4 ส่วนคือ

1. ส่วนของการแสดงผลกราฟในโดเมนความถี่ของสัญญาณในแนว Vertical
2. ส่วนของการแสดงผลกราฟในโดเมนความถี่ของสัญญาณในแนว Horizontal
3. ส่วนของการแสดงผลกราฟในโดเมนความถี่ของสัญญาณในแนว Axial
4. ส่วนของการแสดงความเร็วรอบของเครื่องจักร

3.4.1 การสอบเทียบสัญญาณการสั่นสะเทือน

การสอบเทียบสัญญาณการสั่นสะเทือนทำโดยการนำเครื่องสอบเทียบที่มีการสร้างสัญญาณการสั่นสะเทือนขนาด 10 mm/s เพื่อเป็นต้นกำเนิดสัญญาณให้กับเซนเซอร์ ดังรูปที่ 3.18 จากนั้นอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นซึ่งอ่านได้จากเซนเซอร์การสั่นสะเทือน ดังแสดงในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.18 เครื่องสอบเทียบสัญญาณการสั่นสะเทือน



รูปที่ 3.19 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากเซนเซอร์

3.4.2 การทดสอบเก็บและดึงข้อมูลจาก Firebase

ขั้นตอนการทดสอบเก็บและดึงข้อมูลจาก Firebase ดำเนินการผ่านโปรแกรมภาษา Python จำลองข้อมูลจำนวน 1,000 ข้อมูล หลังจากนั้นดำเนินการให้ Raspberry PI ทำการส่งข้อมูล

ไปยัง Firebase ดังรูปที่ 3.20 หลังจากนั้นทำการตรวจสอบว่า Firebase ได้รับข้อมูลหรือไม่ ขั้นตอนถัดไปทดสอบการดึงข้อมูลจาก Firebase โดยดำเนินการผ่าน โปรแกรมภาษา Python ดังรูปที่ 3.21

```
import firebase_admin
from firebase_admin import credentials
from firebase_admin import db
import random

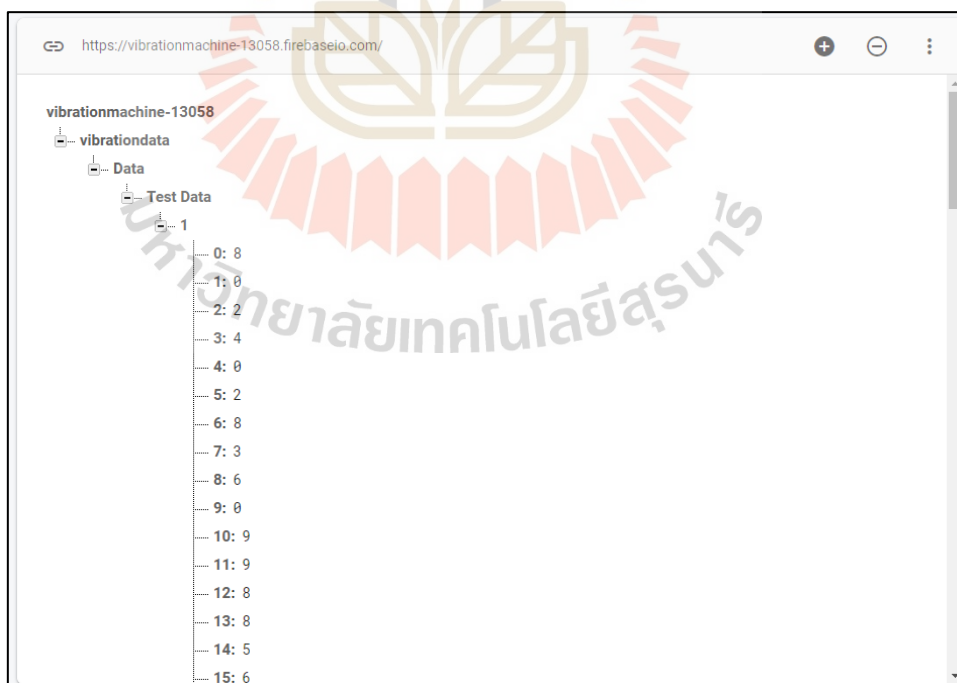
datal = []
random.randint(0, 1)

for i in range(1,1000):
    datal.append(random.randint(0, 9))
# Fetch the service account key JSON file contents
cred = credentials.Certificate('./vibrationmachine-13058-firebase-adminsdk-knc3z-ddel229023.json')

# Initialize the app with a service account, granting admin privileges
firebase_admin.initialize_app(cred, {
    'databaseURL': 'https://vibrationmachine-13058.firebaseio.com/'
})
# Get a database reference to our blog.
ref = db.reference('vibrationdata')

users_ref = ref.child('Data')
users_ref.set({
    'Test Data': {
        1: datal
    }
})
```

รูปที่ 3.20 Code การส่งข้อมูล



รูปที่ 3.21 ตัวอย่างข้อมูลบน Firebase

```
Python 3.8.5 Shell
File Edit Shell Debug Options Window Help
Python 3.8.5 (tags/v3.8.5:580fbb0, Jul 20 2020, 15:43:08) [MSC v.1926 32 bit (Intel)] on win32
Type "help", "copyright", "credits" or "license()" for more information.
>>>
= RESTART:
1000
[7, 9, 6, 7, 7, 2, 9, 8, 6, 5, 5, 6, 9, 7, 4, 3, 4, 6, 3, 5, 7, 4, 2, 7, 9, 9, 7, 8, 4, 1, 9, 0, 9, 9, 7, 9, 2, 6, 7, 1, 7, 1, 1, 4, 4, 8, 2, 2, 4, 9,
4, 8, 7, 8, 7, 1, 2, 0, 2, 7, 8, 5, 5, 3, 1, 6, 0, 4, 5, 5, 7, 2, 3, 0, 8, 6, 5, 9, 8, 8, 7, 3, 0, 3, 2, 6, 3, 5, 3, 8, 7, 9, 6, 4, 5, 7, 3, 4, 4, 9,
3, 0, 1, 3, 4, 7, 8, 4, 0, 3, 8, 7, 8, 9, 3, 7, 2, 2, 9, 9, 3, 0, 2, 9, 2, 0, 6, 7, 8, 5, 0, 9, 0, 2, 1, 6, 0, 1, 1, 0, 5, 8, 3, 6, 3, 4, 6, 3, 2, 6,
5, 5, 6, 0, 5, 9, 6, 0, 5, 7, 9, 5, 3, 1, 4, 3, 0, 5, 3, 5, 6, 0, 1, 8, 2, 8, 8, 2, 6, 8, 2, 5, 1, 7, 7, 2, 1, 4, 6, 8, 0, 6, 8, 4, 2, 4, 8, 1, 9, 2,
7, 9, 3, 1, 0, 0, 5, 4, 9, 7, 3, 1, 0, 7, 0, 8, 8, 9, 4, 6, 9, 3, 9, 1, 3, 1, 9, 1, 2, 0, 1, 4, 5, 2, 4, 1, 7, 4, 2, 0, 8, 3, 4, 2, 5, 2, 9, 7, 9, 1,
6, 4, 1, 0, 6, 5, 7, 3, 4, 7, 6, 7, 5, 7, 0, 1, 1, 1, 5, 5, 6, 3, 7, 5, 9, 6, 1, 9, 4, 4, 4, 6, 6, 5, 3, 0, 2, 5, 8, 0, 3, 0, 8, 9, 4, 2, 4, 4, 2, 2,
8, 0, 2, 1, 8, 9, 6, 0, 1, 5, 0, 6, 0, 9, 6, 5, 5, 5, 8, 7, 3, 4, 3, 1, 2, 2, 9, 1, 8, 3, 6, 2, 5, 7, 7, 4, 9, 9, 8, 2, 7, 4, 5, 8, 3, 9, 2, 7,
1, 5, 5, 4, 1, 1, 1, 2, 4, 2, 2, 5, 8, 7, 0, 9, 3, 5, 1, 6, 4, 2, 8, 6, 7, 5, 3, 8, 2, 9, 7, 2, 4, 8, 5, 7, 8, 0, 7, 5, 9, 5, 5, 0, 8, 0, 2, 9, 6, 1,
4, 2, 1, 9, 0, 3, 8, 2, 4, 9, 2, 2, 8, 6, 4, 5, 9, 0, 9, 7, 5, 4, 6, 3, 5, 9, 5, 7, 2, 9, 5, 1, 9, 9, 3, 4, 9, 2, 7, 0, 8, 6, 1, 1, 9, 3, 1, 4, 5, 2,
1, 2, 5, 7, 0, 9, 7, 6, 4, 2, 1, 4, 7, 1, 0, 1, 7, 7, 9, 0, 2, 6, 1, 4, 0, 4, 4, 7, 4, 5, 8, 7, 1, 4, 7, 5, 3, 2, 7, 3, 1, 8, 8, 5, 5, 9, 0, 5, 3, 5,
7, 0, 0, 1, 2, 1, 5, 7, 8, 2, 8, 5, 1, 8, 7, 1, 1, 9, 5, 1, 1, 0, 7, 3, 1, 9, 1, 5, 4, 0, 5, 2, 7, 9, 2, 2, 5, 8, 9, 0, 7, 0, 2, 1, 9, 5, 8, 9,
2, 8, 3, 0, 4, 7, 7, 8, 3, 1, 3, 4, 3, 4, 0, 0, 5, 1, 1, 8, 0, 5, 3, 6, 8, 1, 6, 6, 0, 1, 3, 8, 5, 3, 0, 2, 8, 1, 8, 5, 5, 6, 0, 3, 2, 3, 3, 6, 6, 9,
9, 5, 0, 4, 9, 2, 1, 3, 0, 3, 1, 6, 0, 7, 7, 5, 6, 7, 9, 7, 5, 2, 9, 0, 1, 5, 2, 4, 9, 1, 2, 9, 5, 0, 5, 8, 8, 5, 1, 5, 1, 6, 2, 8, 6, 8, 3, 7, 5, 9,
5, 0, 7, 7, 8, 0, 9, 3, 6, 8, 9, 2, 7, 1, 6, 3, 7, 6, 1, 9, 5, 3, 5, 0, 4, 1, 8, 4, 3, 8, 7, 3, 7, 4, 1, 9, 5, 6, 7, 5, 7, 0, 4, 9, 6, 1, 0, 6, 1, 1,
3, 0, 1, 4, 0, 1, 6, 6, 5, 2, 6, 4, 6, 4, 0, 1, 1, 0, 5, 9, 1, 5, 6, 7, 8, 2, 2, 7, 6, 4, 5, 0, 6, 3, 8, 3, 5, 1, 8, 7, 3, 3, 5, 6, 9, 3, 5, 7, 0, 6,
7, 8, 9, 3, 6, 0, 0, 3, 0, 9, 1, 5, 8, 6, 2, 6, 8, 1, 1, 3, 8, 0, 3, 5, 2, 8, 7, 6, 4, 3, 0, 5, 2, 7, 0, 0, 8, 2, 7, 9, 3, 4, 9, 1, 1, 7, 5, 0, 9, 0,
4, 1, 4, 0, 1, 7, 0, 0, 3, 7, 0, 5, 7, 8, 5, 6, 4, 0, 7, 8, 5, 3, 5, 4, 3, 4, 7, 6, 3, 2, 5, 4, 3, 7, 2, 7, 4, 3, 6, 0, 9, 2, 6, 1, 8, 3, 7, 0, 2,
8, 3, 1, 4, 8, 0, 6, 8, 3, 1, 8, 1, 4, 5, 0, 7, 2, 7, 8, 0, 5, 2, 9, 0, 1, 9, 2, 6, 9, 2, 9, 0, 4, 1, 6, 3, 7, 5, 9, 8, 4, 8, 1, 8, 9, 1, 0, 9, 4, 0,
0, 5, 3, 0, 9, 7, 3, 0, 0, 9, 6, 9, 7, 7, 9, 7, 3, 4, 7, 0, 6, 2, 3, 5, 1, 3, 7, 8, 7, 2, 1, 9, 3, 1, 9, 5, 4, 4, 9, 4, 8, 4, 2, 7, 2, 0, 6, 7, 9,
9, 3, 2, 2, 6, 8, 7, 8, 3, 2, 6, 6, 4, 0, 6, 8, 3, 5, 0, 3, 5, 1, 2, 5, 1, 4, 8, 1, 0, 4, 7, 3, 6, 6, 9, 8, 7, 8, 2, 5, 7, 1, 0, 9, 5, 0, 5, 0, 6]
```

รูปที่ 3.22 ตัวอย่างข้อมูลที่ดึงจาก Firebase

3.5 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอการพัฒนากระบวนการวิเคราะห์สัญญาณการสั้นสะท้อน รวมถึงการสร้างชุดอุปกรณ์เก็บและประมวลผลสัญญาณการสั้นสะท้อนและการพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อแสดงผลสัญญาณการสั้นสะท้อนที่ผ่านการวิเคราะห์แล้วนั้น ซึ่งในการวิเคราะห์สัญญาณการสั้นสะท้อนจะต้องใช้วิธีการแปลงข้อมูลจากโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่ และในบทนี้จะนำไปสู่การพัฒนาชุดอุปกรณ์เก็บและประมวลผลการสั้นสะท้อนเพื่อใช้เป็น โปรแกรมจำลองผลระบบที่จะได้กล่าวถึงในบทที่ 4 ต่อไป

บทที่ 4

ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะนำเสนอการทำงานของชุดอุปกรณ์การเก็บค่าสัญญาณและซอฟต์แวร์ในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของเครื่องจักร โดยมีการนำข้อมูลในโดเมนเวลาของเครื่องวัดที่ได้มาตรฐานมาวิเคราะห์เป็นโดเมนความถี่เพื่อแสดงค่าความถี่ต่าง ๆ และใช้อุปกรณ์ในการวัดและเก็บค่าการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรชนิดและประเภทต่าง ๆ โดยมีการกำหนดความเร็วรอบของเครื่องจักรคงที่และไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ

การทดสอบทั้งหมดจะมีการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของค่าขนาดของการสั่นสะเทือนที่อ่านได้ โดยการเปรียบเทียบความถูกต้องจะใช้ค่าขนาดของการสั่นสะเทือนที่อ่านได้กับเครื่องมือที่ได้มาตรฐาน 2 ชนิด เป็นค่าอ้างอิงเพื่อให้ทราบถึงค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นกับเครื่องมือที่ได้สร้างขึ้น

4.2 ผลการทดสอบระบบการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน

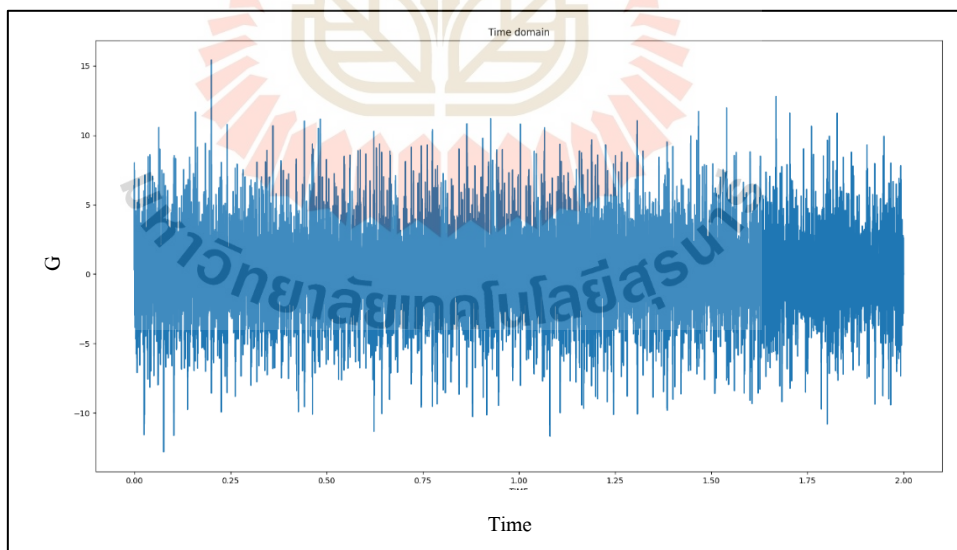
การทดสอบระบบการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนมีขั้นตอนในการทดสอบเริ่มต้นจากการนำข้อมูลโดเมนเวลาที่ได้จากเครื่องวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน ดังรูปที่ 4.1 มาป้อนให้กับระบบการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน โดยมีขั้นตอนการคำนวณสัญญาณคือปรับปรุงสัญญาณด้วยแฮนนิ่งวินโดว์ เพื่อให้สัญญาณมีจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดที่ตำแหน่งศูนย์ จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ผ่านการปรับปรุงสัญญาณไปทำการเปลี่ยนเป็นสัญญาณโดเมนความถี่ โดยใช้วิธีการแปลงสัญญาณแบบฟูเรียร์ เพื่อทำการแปลงจากโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่ แล้วจึงทำการแปลงหน่วยของสัญญาณในหน่วยความเร่งให้กลายเป็นสัญญาณในหน่วยความเร็ว แล้วนำผลที่ได้จากระบบวิเคราะห์มาเปรียบเทียบผลกับเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐานเพื่อเทียบเคียงค่าที่ทำการคำนวณได้



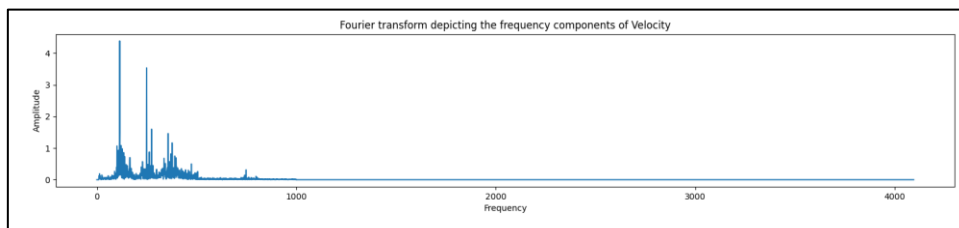
รูปที่ 4.1 เครื่องวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน

4.2.1 ผลการทดสอบระบบการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนของ Blower

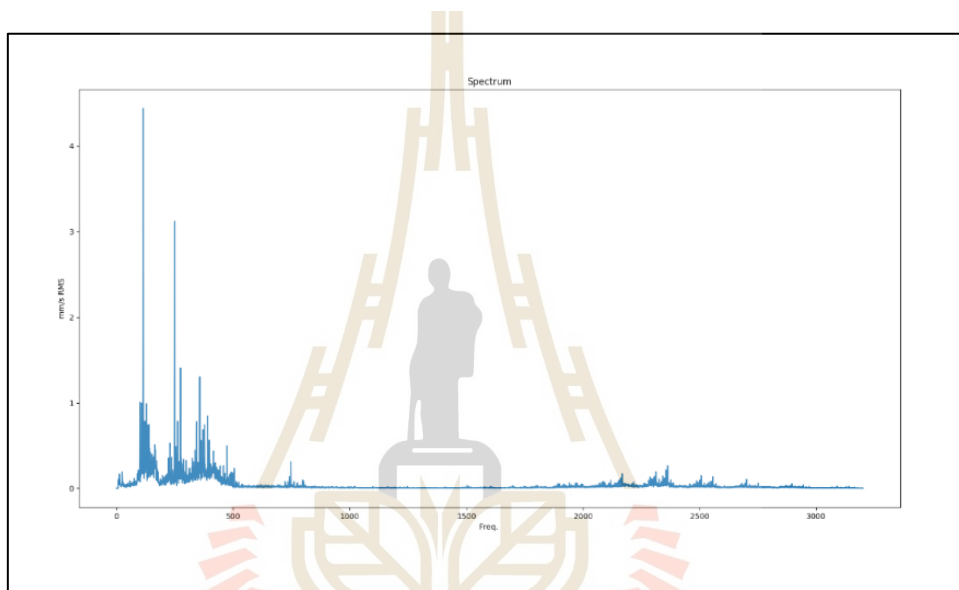
เป็นผลของการนำข้อมูล โดเมนเวลาของ Blower ดังรูปที่ 4.2 มาผ่านระบบการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนได้ผลเป็นดังรูปที่ 4.3 และนำผลโดเมนความถี่ของเครื่องวัดการสั่นสะเทือน ดังรูปที่ 4.4 มาเพื่อเปรียบเทียบค่าดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.2 ข้อมูลโดเมนเวลาของ Blower



รูปที่ 4.3 ผลวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนของ Blower



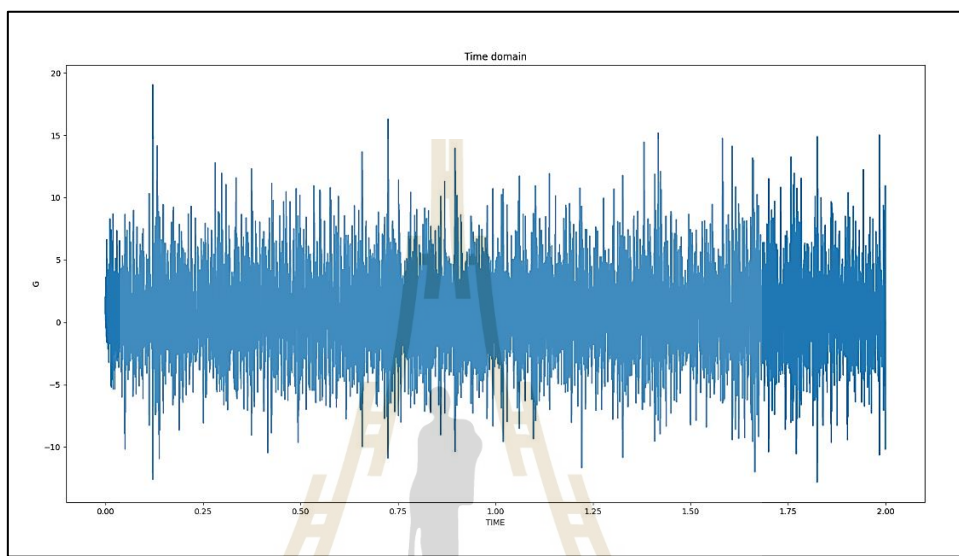
รูปที่ 4.4 ข้อมูล โดเมนความถี่ของ Blower

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าแอมพลิจูดของ Blower

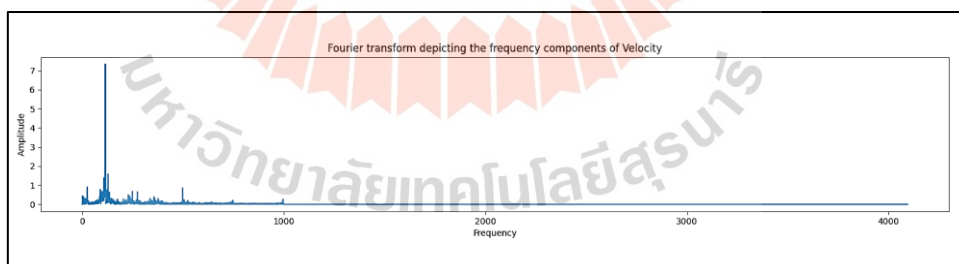
Frequency (Hz)	Vibration Analyzer (mm/s)	Software (mm/s)	% Error
114.0	1.8257940000	1.638871587	11%
114.5	4.4423000000	4.391745102	1%
115.0	2.8334480000	2.600373669	9%
249.0	1.7412470000	1.918428368	9%
249.5	3.1236230000	3.338097642	6%
250.0	1.4190390000	1.554784371	9%

4.2.2 ผลการทดสอบระบบการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนของ Single Plane

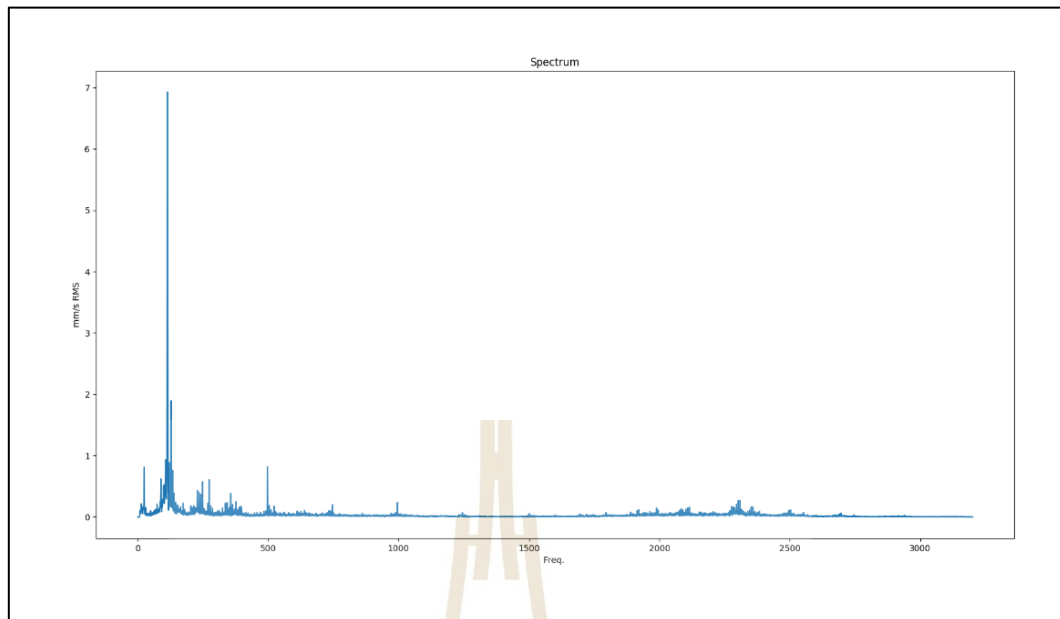
เป็นผลของการนำข้อมูล โดเมนเวลาของ Single Plane ดังรูปที่ 4.5 มาผ่านระบบการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนได้ผลเป็นดังรูปที่ 4.6 และนำผลโดเมนความถี่ของเครื่องวัดการสั่นสะเทือน ดังรูปที่ 4.7 มาเพื่อเปรียบเทียบค่าดังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.5 ข้อมูล โดเมนเวลาของ Single Plane



รูปที่ 4.6 ผลวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนของ Single Plane



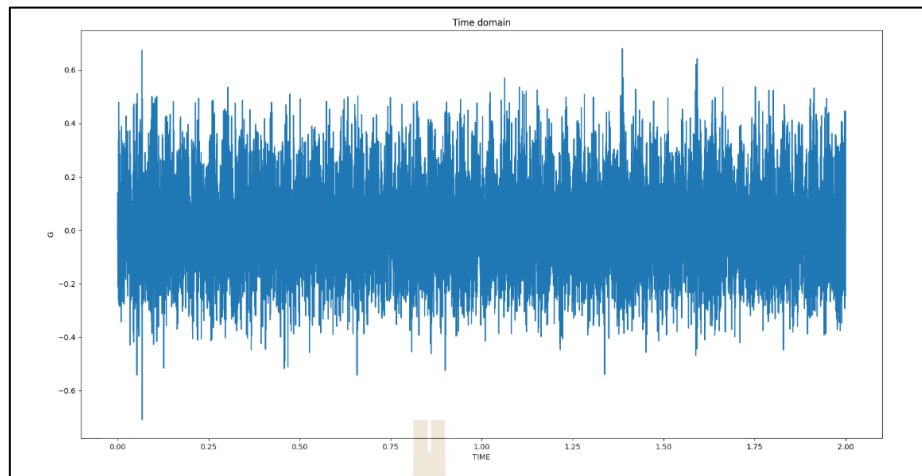
รูปที่ 4.7 ข้อมูลโดเมนความถี่ของ Single Plane

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบค่าแอมพลิจูดของ Single Plane

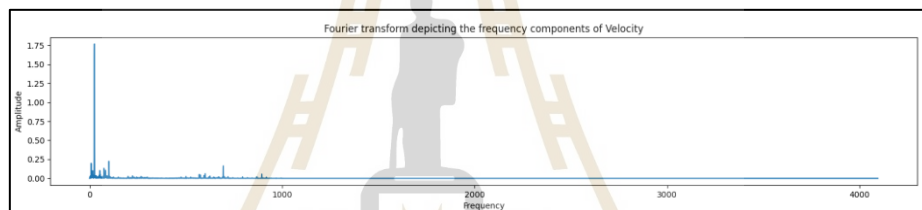
Frequency (Hz)	Vibration Analyzer (mm/s)	Software (mm/s)	% Error
114	5.25172300	5.117357145	3%
114.5	6.92664000	7.336404532	6%
115	3.90940600	3.607532687	8%

4.2.3 ผลการทดสอบระบบการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนของ Motor Pump

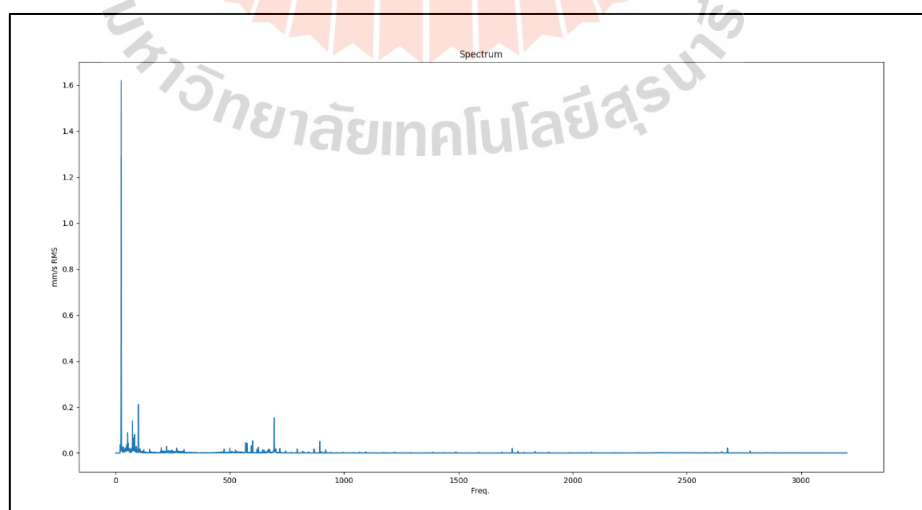
เป็นผลของการนำข้อมูลโดเมนเวลาของ Motor Pump ดังรูปที่ 4.8 มาผ่านระบบการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน ได้ผลเป็นดังรูปที่ 4.9 และนำผลโดเมนความถี่ของเครื่องวัดการสั่นสะเทือน ดังรูปที่ 4.10 มาเพื่อเปรียบเทียบค่าดังตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.8 ข้อมูล โดเมนเวลาของ Motor Pump



รูปที่ 4.9 ผลวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนของ Motor Pump



รูปที่ 4.10 ข้อมูล โดเมนความถี่ของ Motor Pump

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าแอมพลิจูดของ Motor Pump

Frequency (Hz)	Vibration Analyzer (mm/s)	Software (mm/s)	% Error
24.5	1.45932300	1.608469312	9%
25	1.61988800	1.766302465	8%
25.5	0.39018320	0.399817169	2%

จากตารางที่ 4.1 ถึงตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการนำข้อมูลไปวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนแล้วนำค่าที่คำนวณได้มาคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนกับข้อมูลของเครื่องวัดจะได้ค่าต่ำสุดที่ 1% และ สูงสุดอยู่ที่ 11% แต่จะพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่สนใจนั้นมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้

4.3 ผลการทดสอบชุดอุปกรณ์เก็บและประมวลผลสัญญาณการสั่นสะเทือน

การทดสอบชุดอุปกรณ์เก็บและประมวลผลสัญญาณการสั่นสะเทือนมีขั้นตอนในการทดสอบคือ อ่านค่าสัญญาณจากเซ็นเซอร์ในหน่วยความเร่ง โดยผ่านชุดเก็บข้อมูลและสัญญาณให้กับระบบการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน โดยมีขั้นตอนการคำนวณสัญญาณคือปรับปรุงสัญญาณด้วยแฮนนิ่งวินโดว์เพื่อให้สัญญาณมีจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดที่ตำแหน่งศูนย์หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลที่ผ่านปรับปรุงสัญญาณไปทำการเปลี่ยนสัญญาณ โดยใช้วิธีการแปลงสัญญาณแบบฟูเรียร์ เพื่อทำการแปลงจากโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่หลังจากนั้นจึงทำการแปลงหน่วยของสัญญาณในหน่วยความเร่งให้กลายเป็นสัญญาณในหน่วยความเร็วจากนั้นนำผลที่ได้จากระบบวิเคราะห์ส่งผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อนำไปเก็บยังฐานข้อมูลออนไลน์ แล้วดึงข้อมูลออกมาแสดงคั่นหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยทดสอบความถูกต้องของสัญญาณด้วยอุปกรณ์ที่ได้มาตรฐานจากอุปกรณ์ 2 ชนิด ดังแสดงรูปที่ 4.11 คือ เครื่องวัดสัญญาณการสั่นสะเทือน และรูปที่ 4.12 คือ เครื่องวัดสัญญาณการสั่นสะเทือน



รูปที่ 4.11 เครื่องวัดสัญญาณการสั่นสะเทือน (a)

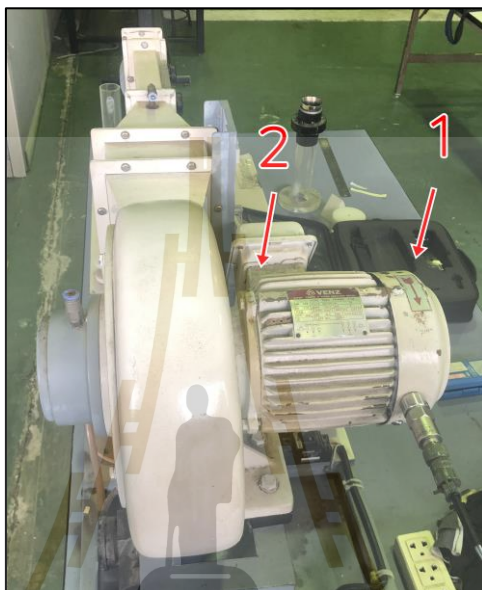


รูปที่ 4.12 เครื่องวัดสัญญาณการสั่นสะเทือน (b)

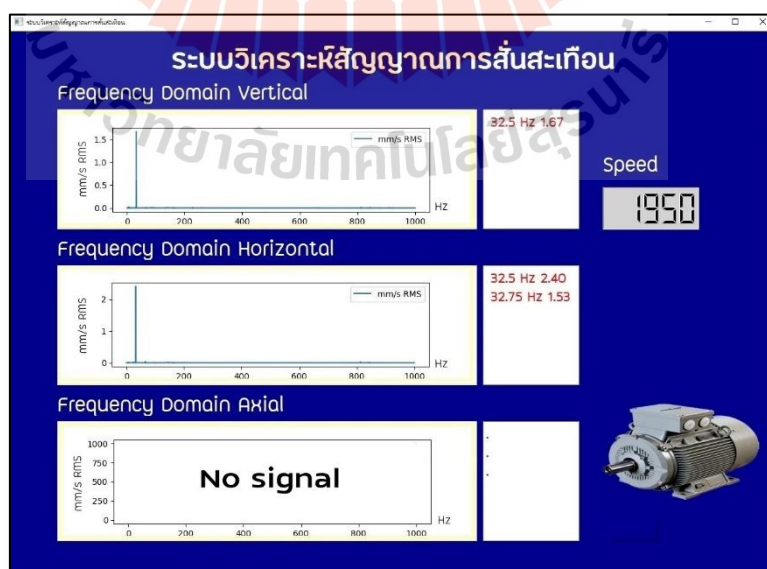
4.3.1 ผลการทดสอบชุดอุปกรณ์เก็บและประมวลผลสัญญาณการสั่นสะเทือน Blower

เป็นผลของการนำชุดอุปกรณ์เก็บและประมวลผลสัญญาณการสั่นสะเทือนไปติดตั้งยังเครื่องจักรและกำหนดจุดวัดการสั่นสะเทือนไว้สองจุด ดังรูปที่ 4.13 โดยจุดที่ 1 ทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนทั้งหมด 2 แกน คือ Vertical และ Horizontal ทำการนำค่าที่ทำกรวัดได้ผ่านระบบการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนได้ผลเป็นดังรูปที่ 4.14 โดยในรูปจะแสดงค่าการสั่นสะเทือนในรูปแบบโดเมนความถี่และได้แสดงค่าความถี่และแอมพลิจูดที่มีแนวโน้มที่สูงและจุดที่ 2 ทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนทั้งหมด 3 แกน คือ Vertical, Horizontal และ Axial ทำการนำค่าที่ทำกรวัดได้ผ่านระบบการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนได้ผลเป็นดังรูปที่ 4.15 โดยในรูปจะแสดงค่าการสั่นสะเทือนในรูปแบบเมนความถี่และได้แสดงค่าความถี่

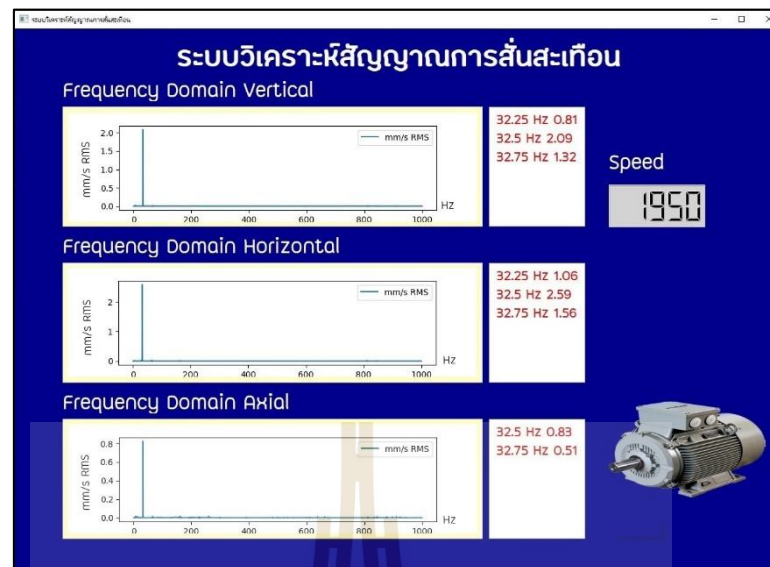
และแอมพลิจูดที่มีแนวโน้มที่สูง หลังจากนั้นผลที่ทำการวัดด้วยเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a) จุดที่ 1 ดังรูปที่ 4.16 - 4.17 และจุดที่ 2 ดังรูปที่ 4.20 - 4.22 และเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (b) จุดที่ 1 ดังรูปที่ 4.18 - 4.19 และจุดที่ 2 ดังรูปที่ 4.23 - 4.25 มาเพื่อเปรียบเทียบค่าจุดที่ 1 ดังตารางที่ 4.4 และจุดที่ 2 ดังตารางที่ 4.5



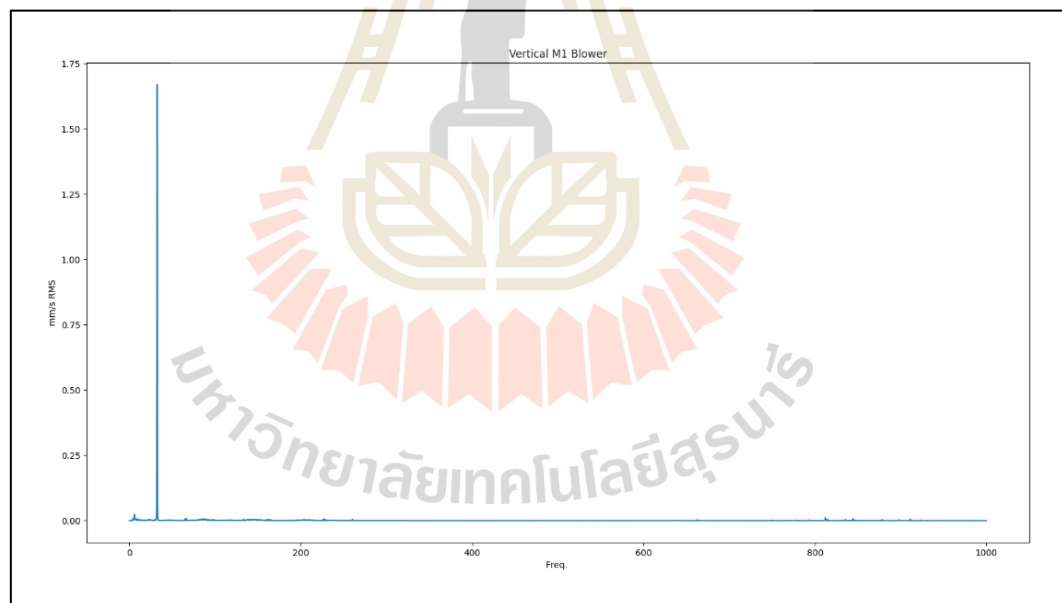
รูปที่ 4.13 กำหนดจุดวัดการสั่นสะเทือนของ Blower



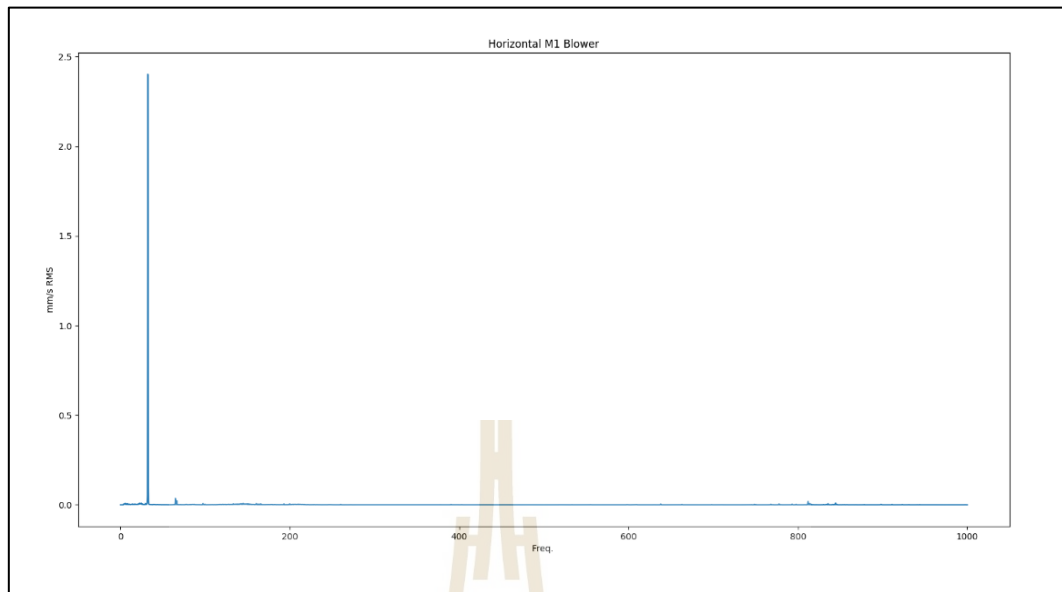
รูปที่ 4.14 ค่าการสั่นสะเทือนของ Blower จุดที่ 1



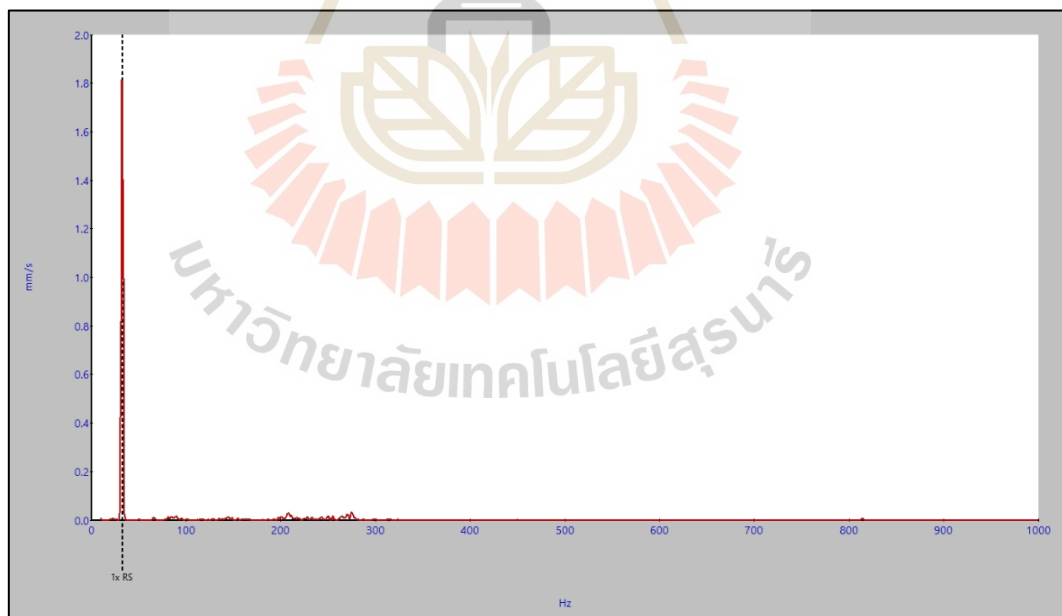
รูปที่ 4.15 ค่าการสั่นสะเทือนของ Blower จุดที่ 2



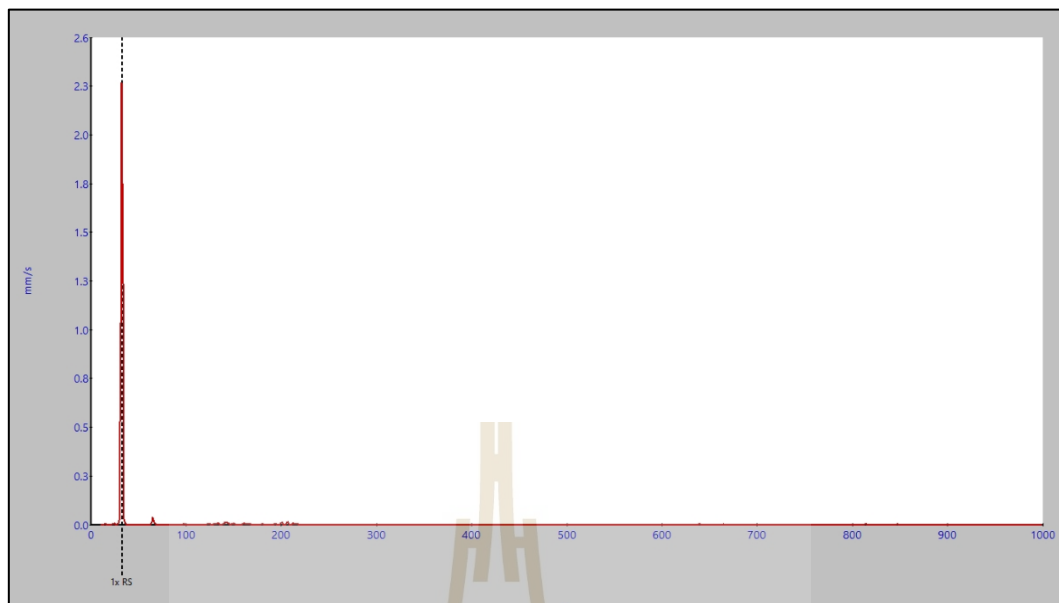
รูปที่ 4.16 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 1 แกน Vertical ของ Blower จากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a)



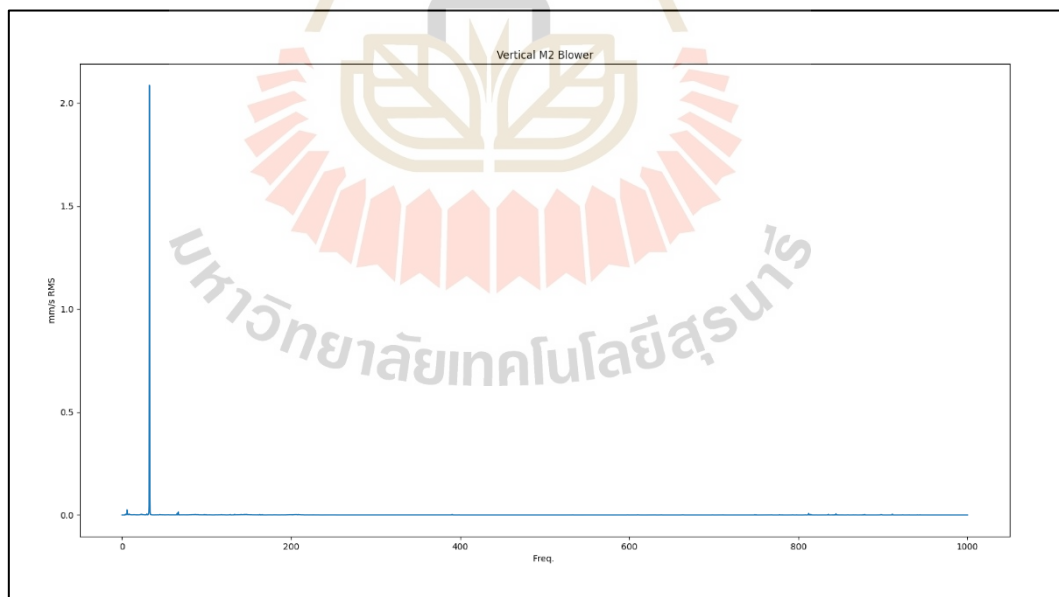
รูปที่ 4.17 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 1 แกน Horizontal ของ Blower จากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a)



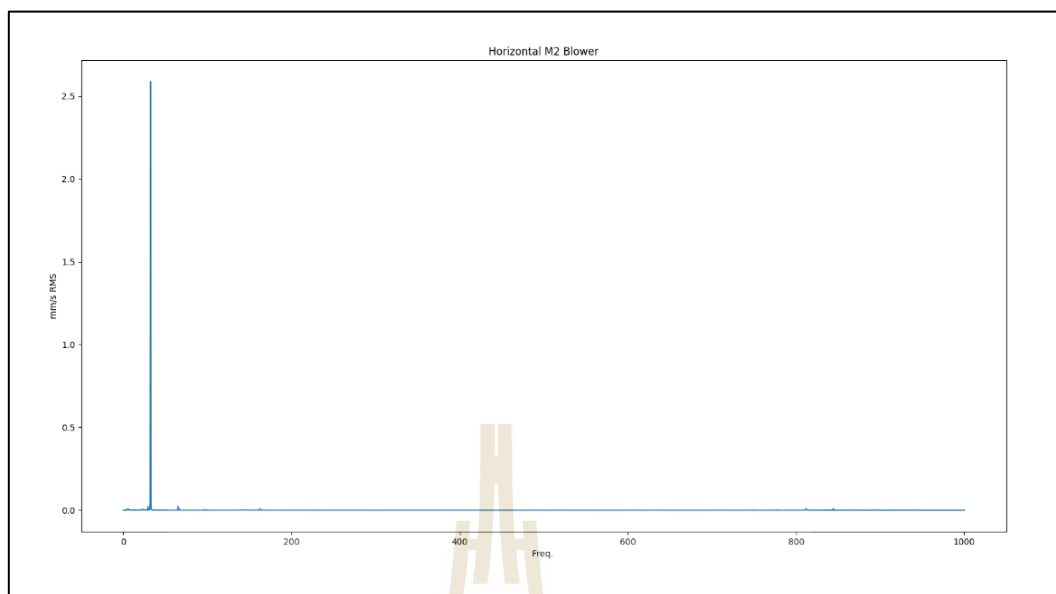
รูปที่ 4.18 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 1 แกน Vertical ของ Blower จากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (b)



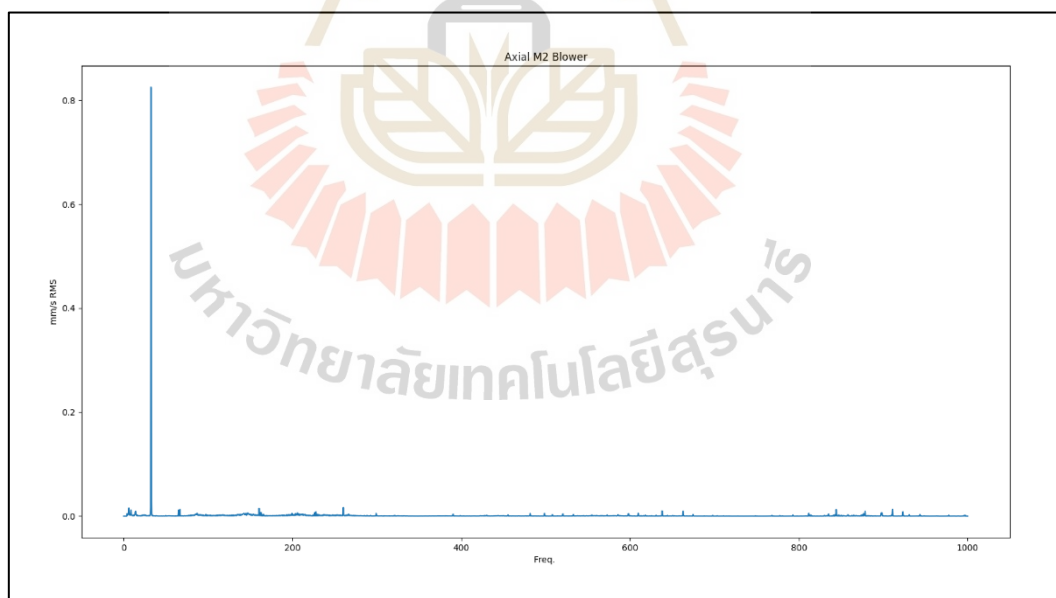
รูปที่ 4.19 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 1 แกน Horizontal ของ Blower จากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (b)



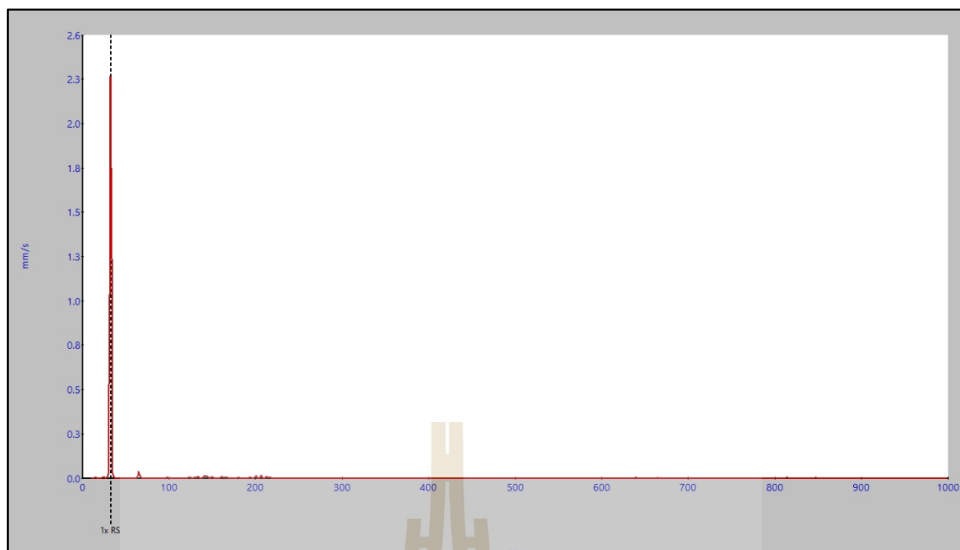
รูปที่ 4.20 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 2 แกน Vertical ของ Blower จากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a)



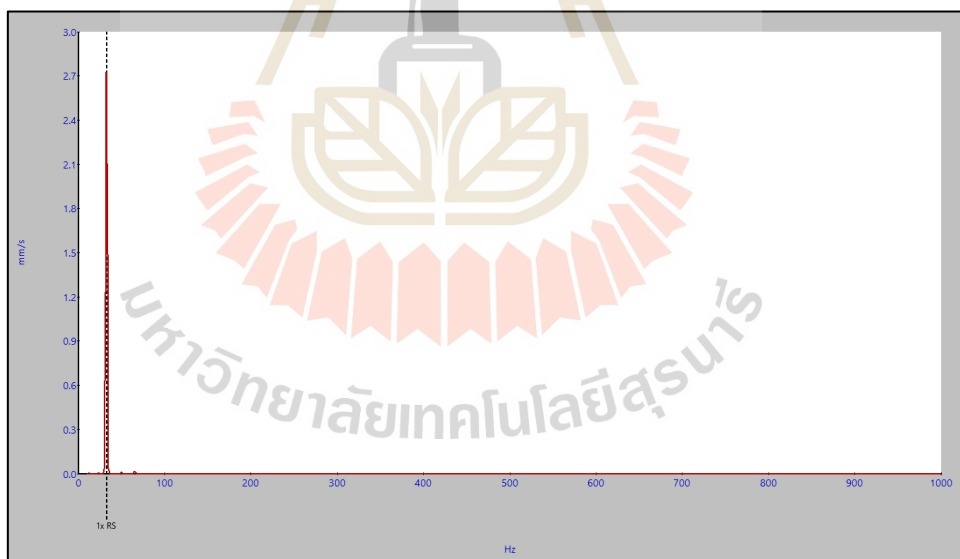
รูปที่ 4.21 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 2 แกน Horizontal ของ Blower จากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a)



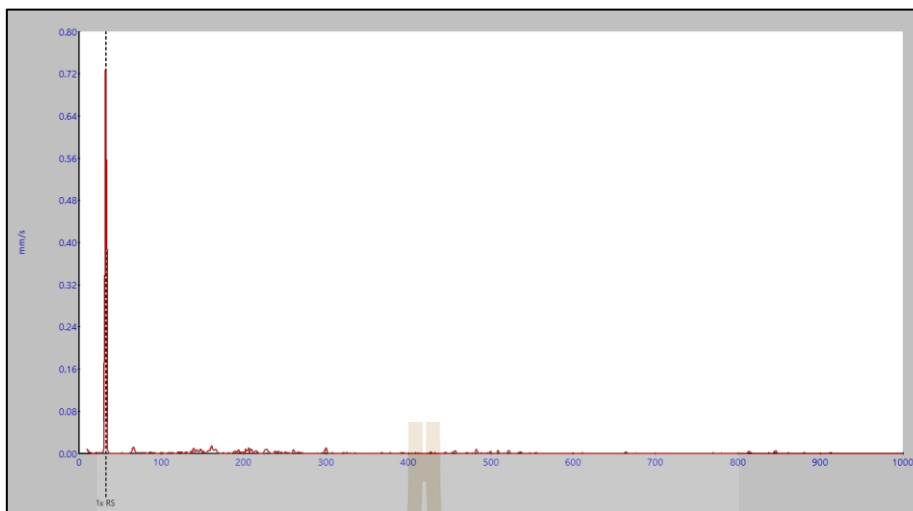
รูปที่ 4.22 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 2 แกน Axial ของ Blower จากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a)



รูปที่ 4.23 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 2 แกน Vertical ของ Blower จากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (b)



รูปที่ 4.24 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 2 แกน Horizontal ของ Blower จากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (b)



รูปที่ 4.25 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 2 แกน Axial ของ Blower จากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (b)

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าจุดวัดที่ 1 ของ Blower

Position	Frequency (Hz)	Software (mm/s)	FFT Analyzer (mm/s)	TPI 9080 (mm/s)	% Error
Vertical	32.5	1.672789	1.669461	1.784612	4%
Horizontal	32.5	2.403258	2.482648	2.354795	1%
	32.75	1.5384	1.5263	1.5089	1%

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าจุดวัดที่ 2 ของ Blower

Position	Frequency (Hz)	Software (mm/s)	FFT Analyzer (mm/s)	TPI 9080 (mm/s)	%Error
Vertical	32.25	0.812564	0.835678	0.908526	7%
	32.5	2.095458	2.086006	2.155264	5%
	32.75	1.325985	1.319533	1.358495	1%
Horizontal	32.25	1.068549	1.160452	1.145478	7%
	32.5	2.594587	2.581479	2.651587	2%
	32.75	1.567852	1.623578	1.652546	4%
Axial	32.5	0.831254	0.902545	0.724564	1%
	32.75	0.514587	0.562565	0.571254	9%

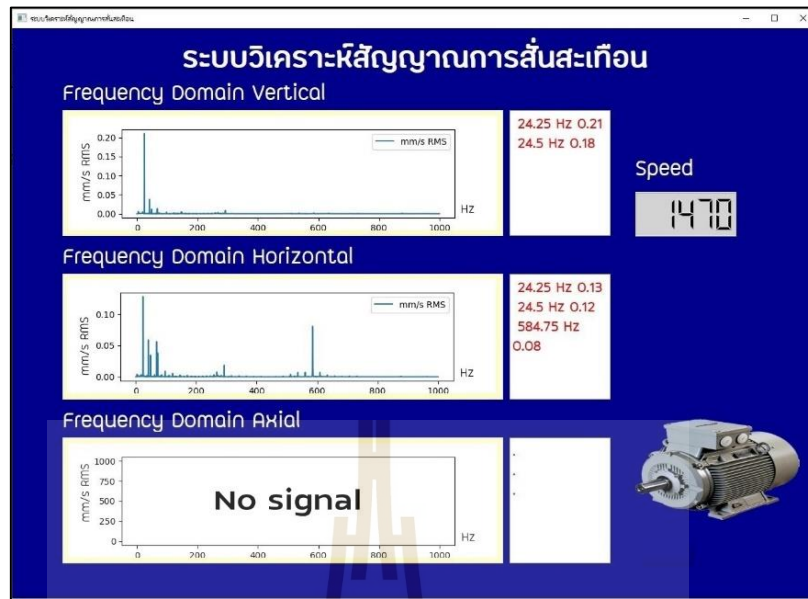
จากตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าเมื่อนำอุปกรณ์ไปทำการวัดเครื่องจักรชนิด Blower และนำข้อมูลไปวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนแล้วนำค่าที่คำนวณได้มาคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนกับข้อมูลของเครื่องวัดจะได้ค่าต่ำสุดที่ 1% และสูงสุดอยู่ที่ 9% แต่จะพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่สนใจนั้น มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำ อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้

4.3.2 ผลการทดสอบชุดอุปกรณ์เก็บและประมวลผลสัญญาณการสั่นสะเทือน Single Plane

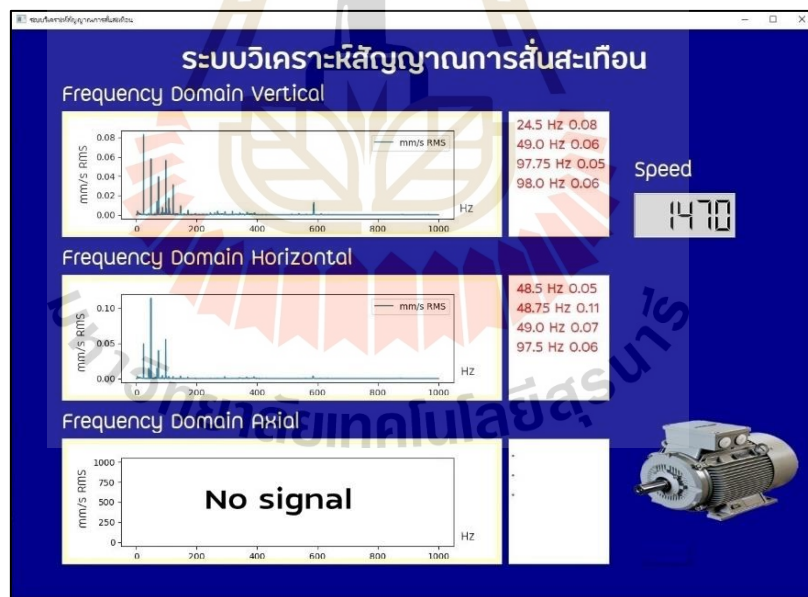
เป็นผลของการนำชุดอุปกรณ์เก็บและประมวลผลสัญญาณการสั่นสะเทือนไปติดตั้งยังเครื่องจักรและกำหนดจุดวัดการสั่นสะเทือนไว้ 2 จุด ดังรูปที่ 4.26 โดยจุดที่ 1 ทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนทั้งหมด 2 แกน คือ Vertical และ Horizontal ทำการนำค่าที่ทำกรวัดได้ผ่านระบบการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนได้ผลเป็นดังรูปที่ 4.27 โดยในรูปจะแสดงค่าการสั่นสะเทือนในรูปแบบเมมความถี่และได้แสดงค่าความถี่และแอมพลิจูดที่มีแนวโน้มที่สูง และจุดที่ 2 ทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนทั้งหมด 2 แกน คือ Vertical และ Horizontal ทำการนำค่าที่ทำกรวัดได้ผ่านระบบการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนได้ผลเป็นดังรูปที่ 4.28 โดยในรูปจะแสดงค่าการสั่นสะเทือนในรูปแบบเมมความถี่และได้แสดงค่าความถี่และแอมพลิจูดที่มีแนวโน้มที่สูง หลังจากนั้นผลที่ทำกรวัดด้วยเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a) จุดที่ 1 ดังรูปที่ 4.29 - 4.30 และจุดที่ 2 ดังรูปที่ 4.33 - 4.34 และเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (b) จุดที่ 1 ดังรูปที่ 4.31 - 4.32 และจุดที่ 2 ดังรูปที่ 4.35 - 4.36 มาเพื่อเปรียบเทียบค่าจุดที่ 1 ดังตารางที่ 4.6 และจุดที่ 2 ดังตารางที่ 4.7



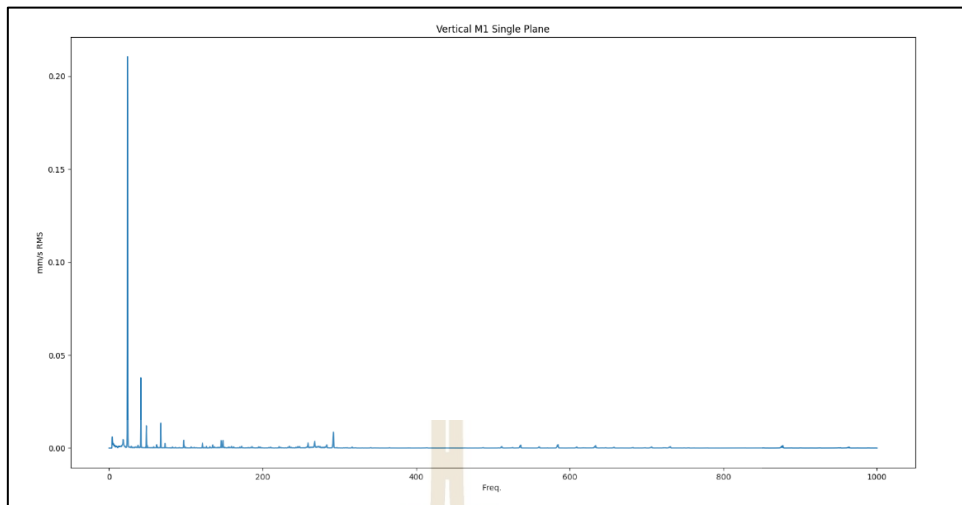
รูปที่ 4.26 กำหนดจุดวัดการสั่นสะเทือนของ Single Plane



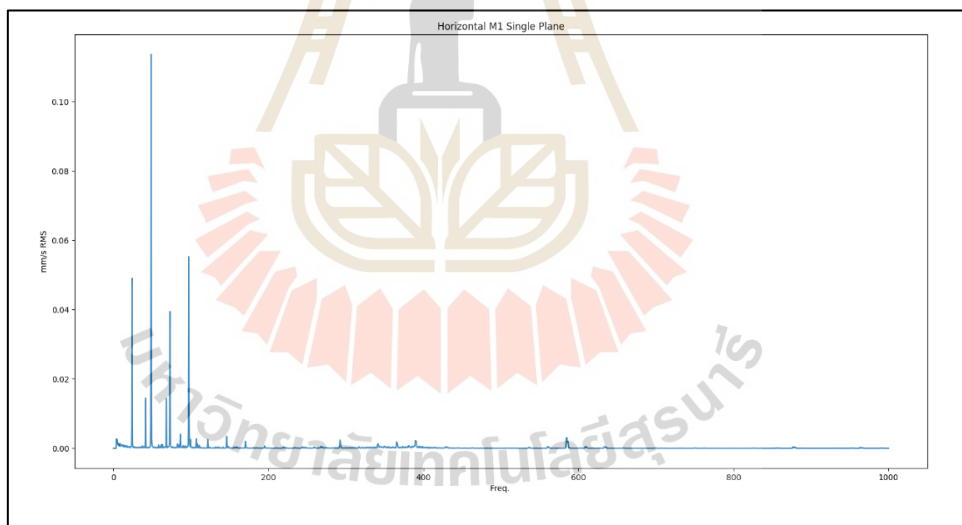
รูปที่ 4.27 ค่าการสั่นสะเทือนของ Single Plane จุดที่ 1



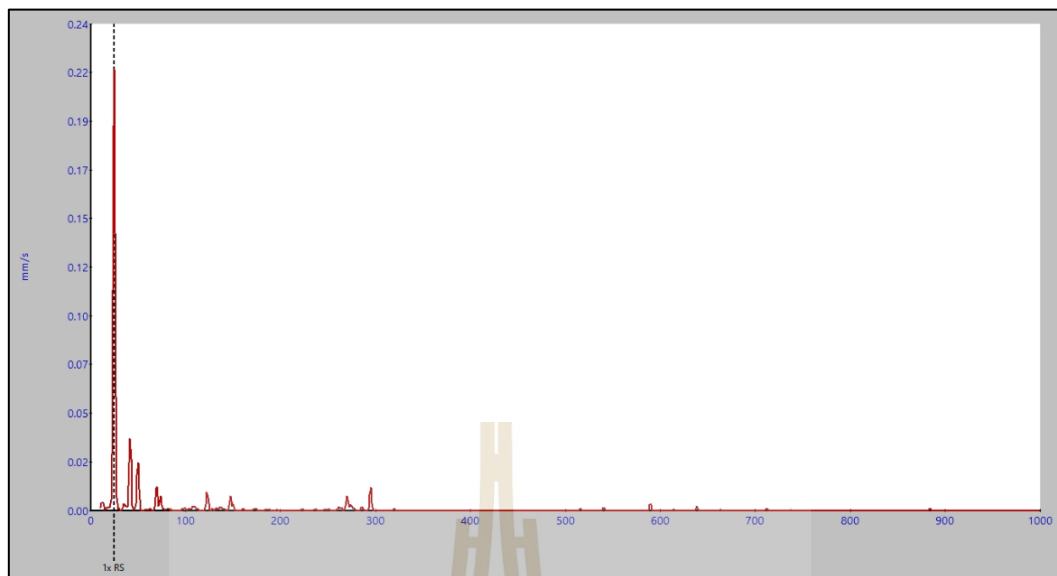
รูปที่ 4.28 ค่าการสั่นสะเทือนของ Single Plane จุดที่ 2



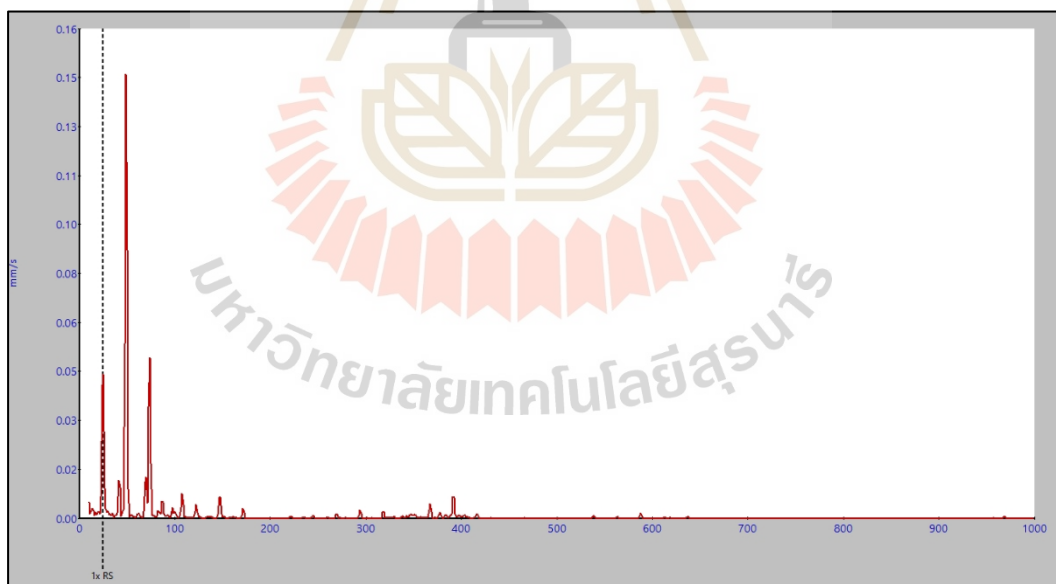
รูปที่ 4.29 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 1 แกน Vertical ของ Single Plane จากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a)



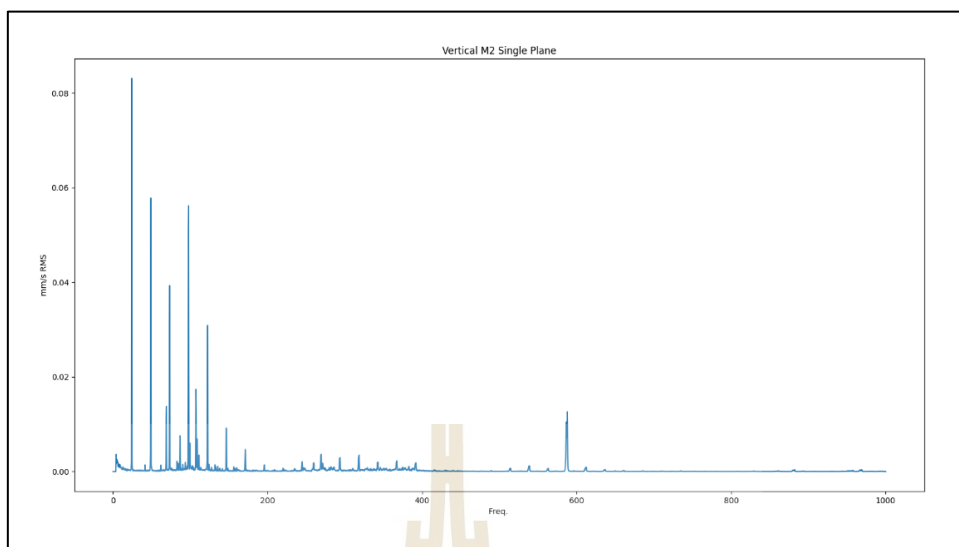
รูปที่ 4.30 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 1 แกน Horizontal ของ Single Plane จากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a)



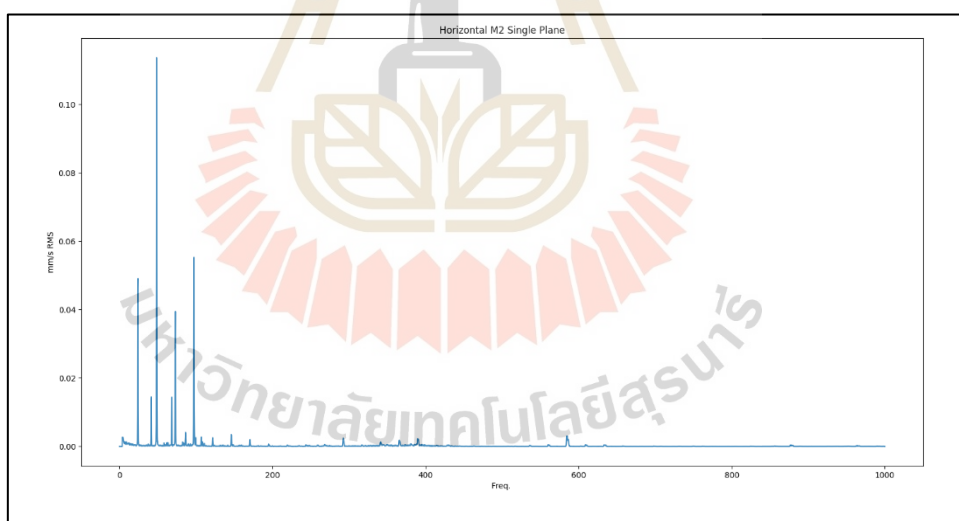
รูปที่ 4.31 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 1 แกน Vertical ของ Single Plane จากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (b)



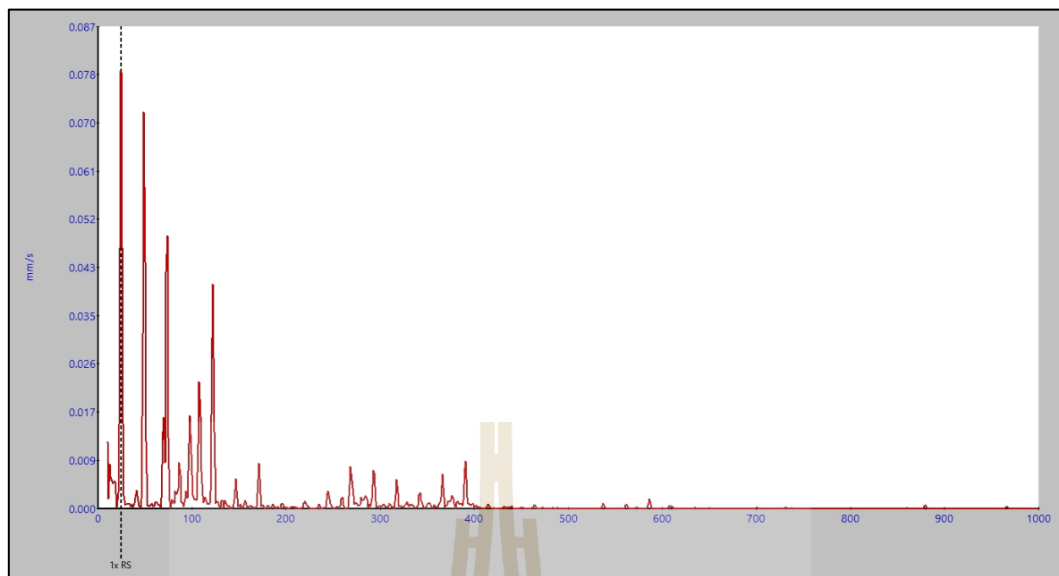
รูปที่ 4.32 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 1 แกน Horizontal ของ Single Plane จากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (b)



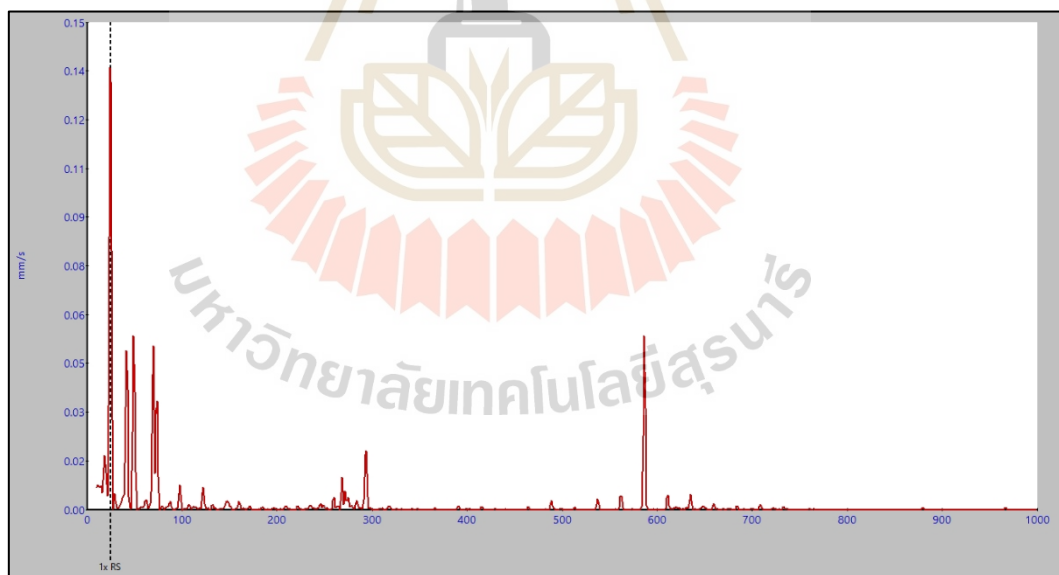
รูปที่ 4.33 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 2 แกน Vertical ของ Single Plane จากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a)



รูปที่ 4.34 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 2 แกน Horizontal ของ Single Plane จากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a)



รูปที่ 4.35 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 2 แกน Vertical ของ Single Plane จากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (b)



รูปที่ 4.36 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 2 แกน Horizontal ของ Single Plane จากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (b)

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าจุดวัดที่ 1 ของ Single Plane

Position	Frequency (Hz)	Software (mm/s)	FFT Analyzer (mm/s)	TPI 9080 (mm/s)	% Error
Vertical	24.25	0.212565	0.235489	0.224567	8%
	24.5	0.185465	0.198546	0.201454	7%
Horizontal	24.25	0.132545	0.142587	0.151231	10%
	24.5	0.125488	0.132546	0.141241	8%

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าจุดวัดที่ 2 ของ Single Plane

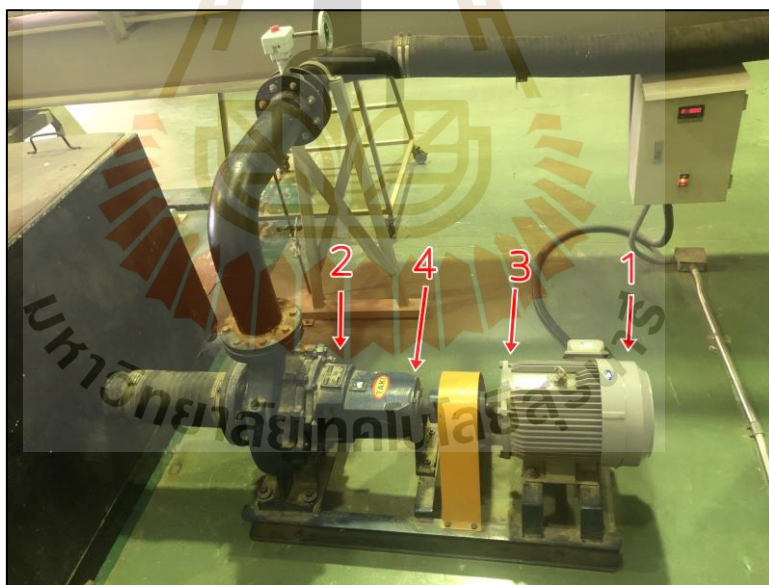
Position	Frequency (Hz)	Software (mm/s)	FFT Analyzer (mm/s)	TPI 9080 (mm/s)	% Error
Vertical	24.5	0.085485	0.089123	0.078125	7%
	49	0.068545	0.077546	0.065123	5%
	97.75	0.054584	0.065123	0.058259	1%
	98	0.065458	0.058123	0.062243	7%
Horizontal	48.5	0.054845	0.061235	0.065251	2%
	48.75	0.112654	0.131254	0.123546	4%
	49	0.075451	0.084652	0.085123	1%
	97.5	0.065458	0.075456	0.072325	9%

จากตารางที่ 4.6 และตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าเมื่อนำอุปกรณ์ไปทำการวัดเครื่องจักรชนิด Single Plane และนำข้อมูลไปวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนแล้วนำค่าที่คำนวณได้มาคำนวณหาความคลาดเคลื่อนกับข้อมูลของเครื่องวัดจะได้ค่าต่ำสุดที่ 1% และ สูงสุดอยู่ที่ 10% แต่จะพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่สนใจนั้น มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำ อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้

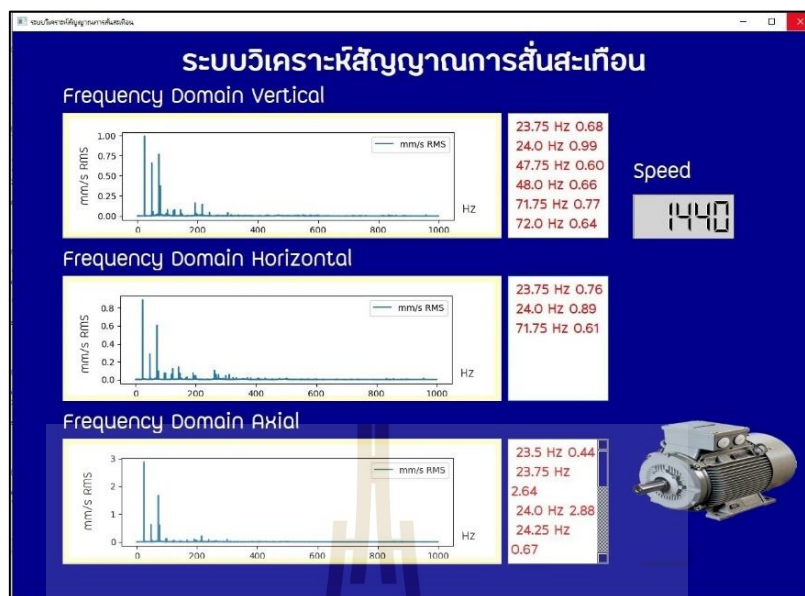
4.3.3 ผลการทดสอบชุดอุปกรณ์เก็บและประมวลผลสัญญาณการสั่นสะเทือน Motor Pump

เป็นผลของการนำชุดอุปกรณ์เก็บและประมวลผลสัญญาณการสั่นสะเทือนไปติดตั้งยังเครื่องจักรและกำหนดจุดวัดการสั่นสะเทือนไว้สี่จุด ดังรูปที่ 4.37 โดยจุดที่ 1 ทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนทั้งหมด 3 แกนคือ Vertical ,Horizontal และ Axial ทำการนำค่าที่ทำการวัดได้ผ่านระบบการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนได้ผลเป็นดังรูปที่ 4.38 โดยในรูปจะแสดงค่าการสั่นสะเทือนในรูปแบบเมนความถี่และได้แสดงค่าความถี่และแอมพลิจูดที่มีแนวโน้มที่สูง

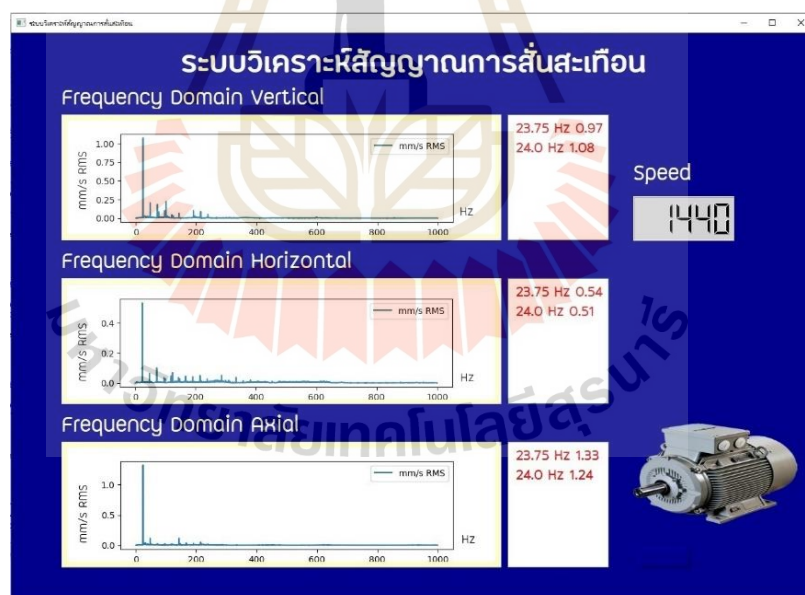
จุดที่ 2 ทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนทั้งหมด 2 แกน คือ Vertical และ Horizontal ทำการนำค่าที่ทำกรวัดได้ผ่านระบบการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนได้ผลเป็นดังรูปที่ 4.39 โดยในรูปจะแสดงค่าการสั่นสะเทือนในรูปแบบเมนความถี่และได้แสดงค่าความถี่และแอมพลิจูดที่มีแนวโน้มที่สูง จุดที่ 3 ทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนทั้งหมด 3 แกน คือ Vertical, Horizontal และ Axial ทำการนำค่าที่ทำกรวัดได้ผ่านระบบการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนได้ผลเป็นดังรูปที่ 4.40 โดยในรูปจะแสดงค่าการสั่นสะเทือนในรูปแบบเมนความถี่และได้แสดงค่าความถี่และแอมพลิจูดที่มีแนวโน้มที่สูง และจุดที่ 4 ทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนทั้งหมด 2 แกน คือ Vertical และ Horizontal ทำการนำค่าที่ทำกรวัดได้ผ่านระบบการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนได้ผลเป็นดังรูปที่ 4.41 โดยในรูปจะแสดงค่าการสั่นสะเทือนในรูปแบบเมนความถี่และได้แสดงค่าความถี่และแอมพลิจูดที่มีแนวโน้มที่สูงหลังจากนั้นผลที่ทำกรวัดด้วยเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a) จุดที่ 1 ดังรูปที่ 4.42 - 4.44, จุดที่ 2 ดังรูปที่ 4.45 - 4.46, จุดที่ 3 ดังรูปที่ 4.47 - 4.49 และจุดที่ 4 ดังรูปที่ 4.50 - 4.51 มาเพื่อเปรียบเทียบค่าจุดที่ 1 ดังตารางที่ 4.8, จุดที่ 2 ดังตารางที่ 4.9, จุดที่ 3 ดังตารางที่ 4.10 และจุดที่ 4 ดังตารางที่ 4.11



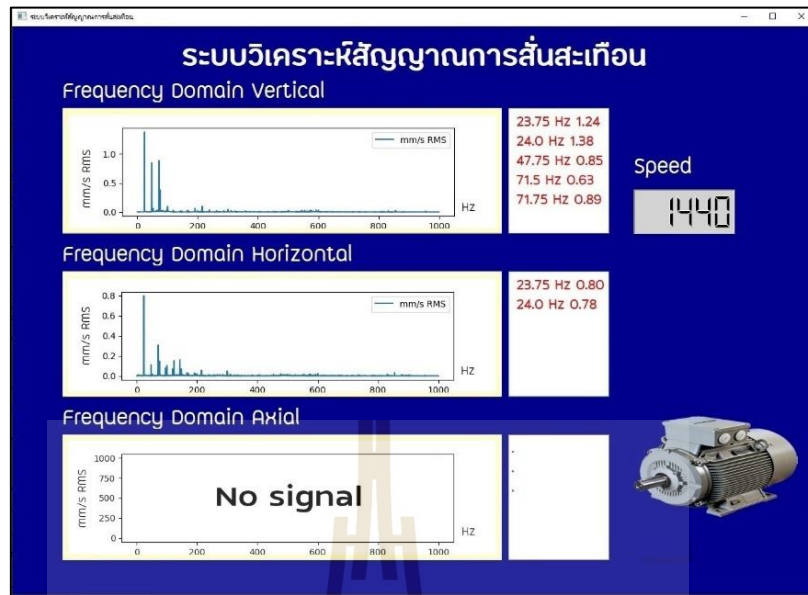
รูปที่ 4.37 กำหนดจุดวัดการสั่นสะเทือนของ Motor Pump



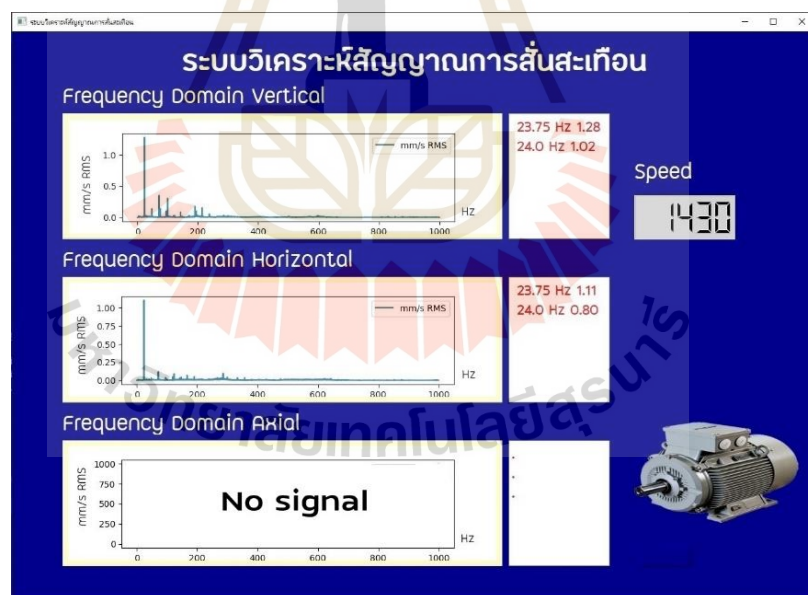
รูปที่ 4.38 ค่าการสั่นสะเทือนของ Motor Pump จุดที่ 1



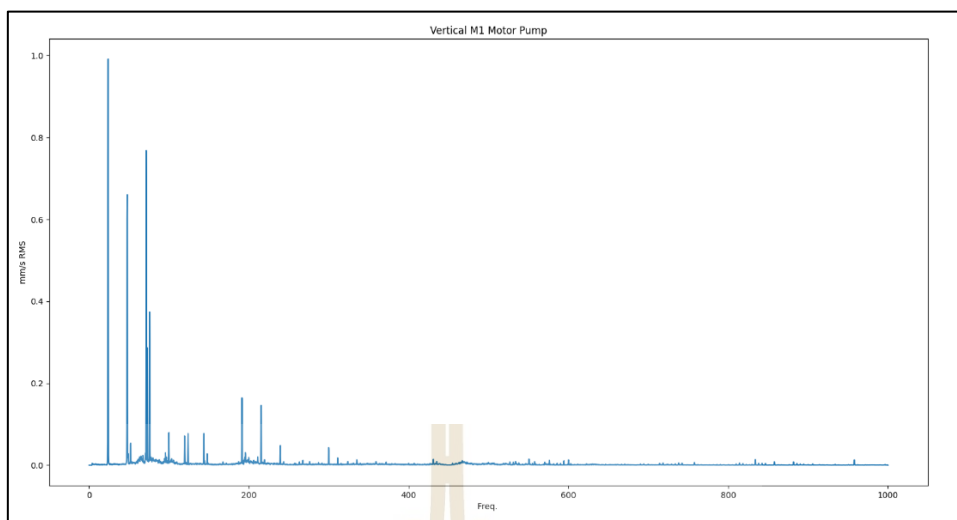
รูปที่ 4.39 ค่าการสั่นสะเทือนของ Motor Pump จุดที่ 2



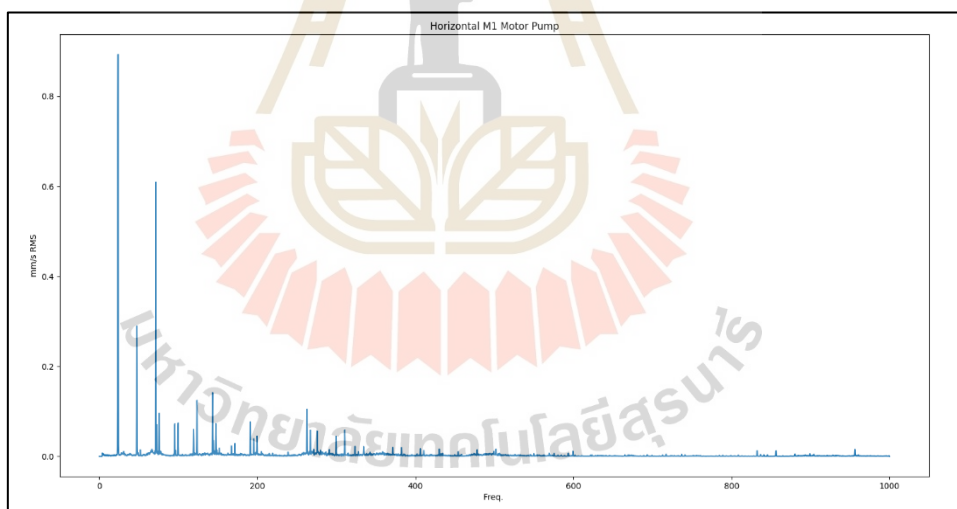
รูปที่ 4.40 ค่าการสั่นสะเทือนของ Motor Pump จุดที่ 3



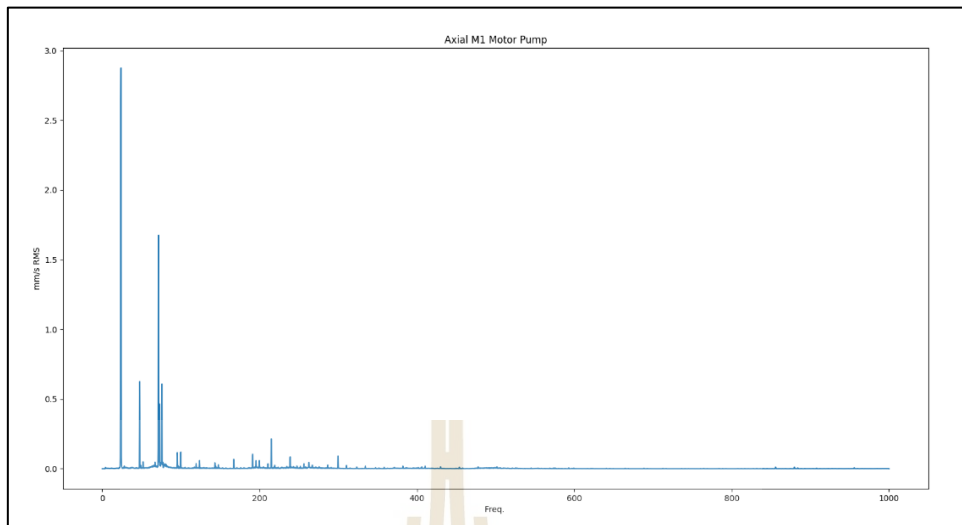
รูปที่ 4.41 ค่าการสั่นสะเทือนของ Motor Pump จุดที่ 4



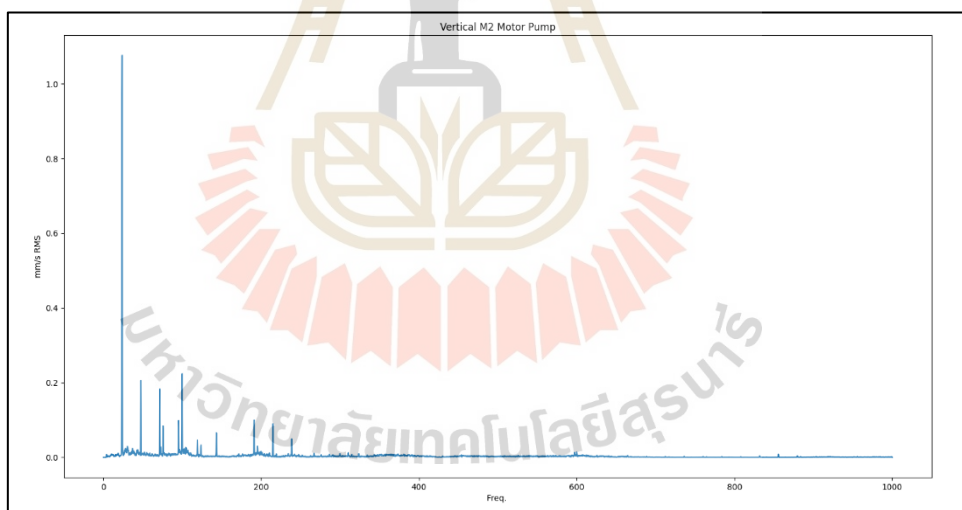
รูปที่ 4.42 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 1 แกน Vertical ของ Motor Pump จากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a)



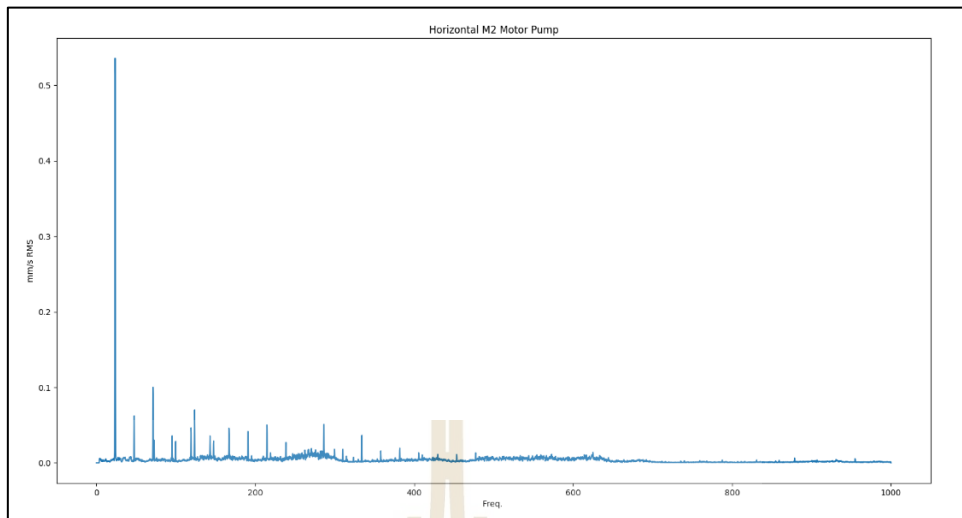
รูปที่ 4.43 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 1 แกน Horizontal ของ Motor Pump จากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a)



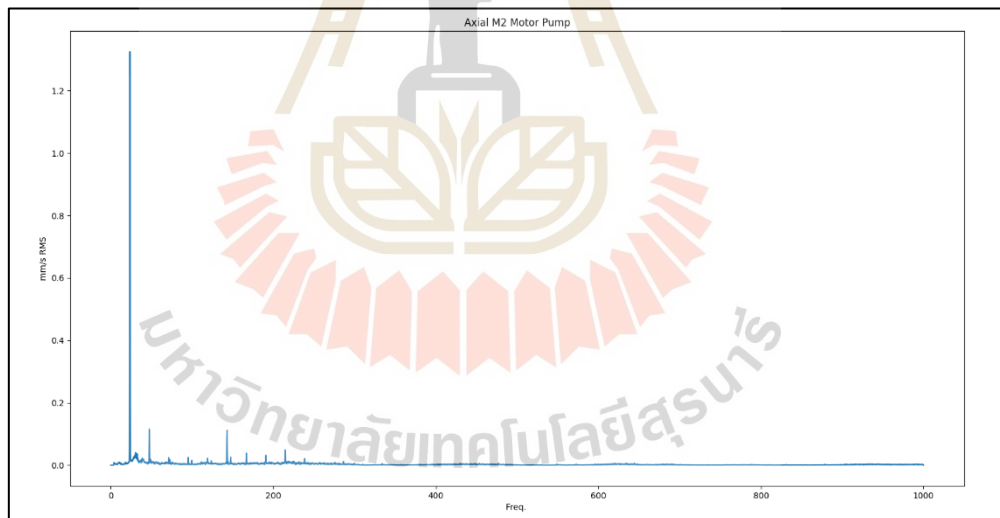
รูปที่ 4.44 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 1 แกน Axial ของ Motor Pump จากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a)



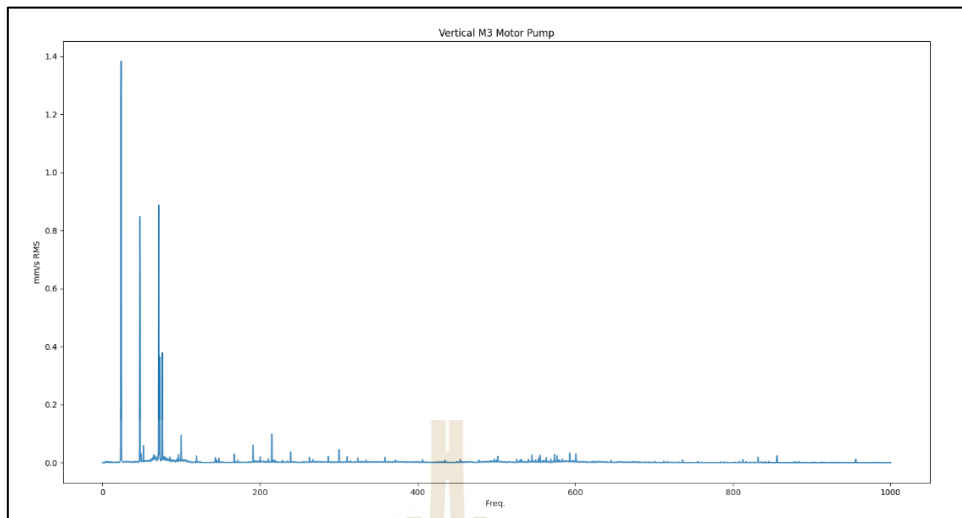
รูปที่ 4.45 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 2 แกน Vertical ของ Motor Pump จากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a)



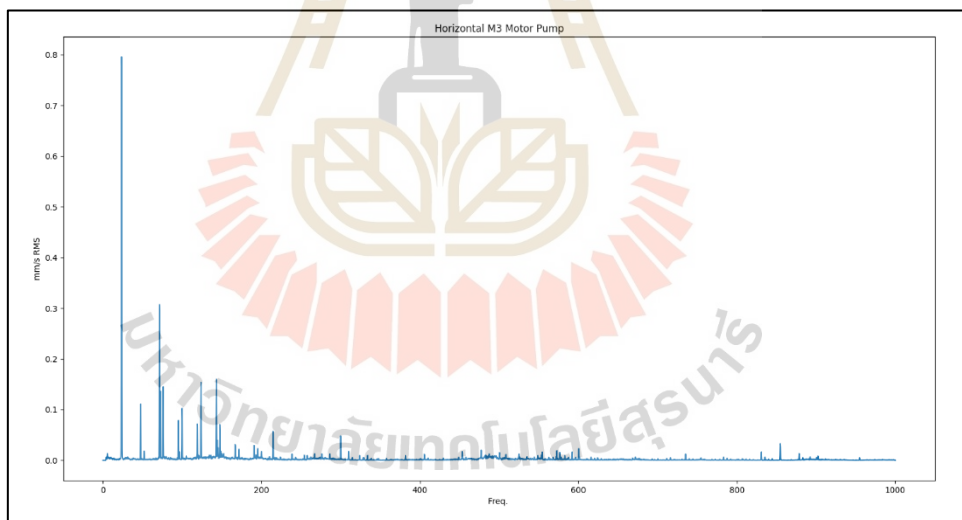
รูปที่ 4.46 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 2 แกน Horizontal ของ Motor Pump จากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a)



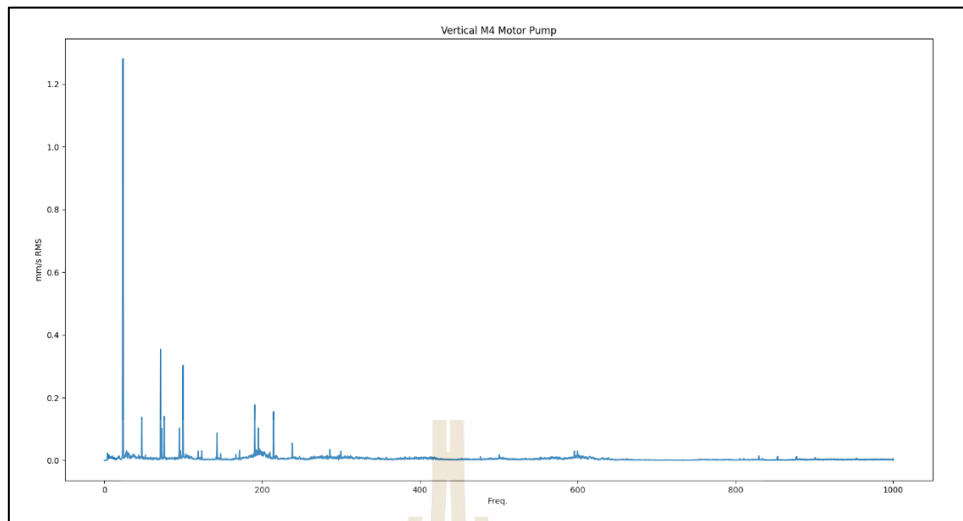
รูปที่ 4.47 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 2 แกน Axial ของ Motor Pump จากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a)



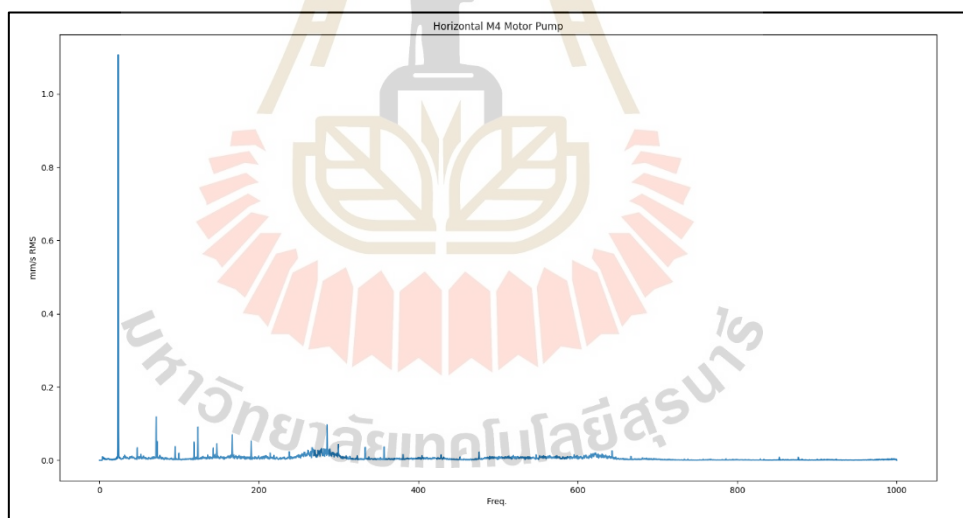
รูปที่ 4.48 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 3 แกน Vertical ของ Motor Pump จากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a)



รูปที่ 4.49 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 3 แกน Horizontal ของ Motor Pump จากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a)



รูปที่ 4.50 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 4 แกน Vertical ของ Motor Pump จากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a)



รูปที่ 4.51 ค่าการสั่นสะเทือนจุดที่ 4 แกน Horizontal ของ Motor Pump จากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนที่ได้มาตรฐาน (a)

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบค่าจุดวัดที่ 1 ของ Motor Pump

Position	Frequency (Hz)	Software (mm/s)	FFT Analyzer (mm/s)	% Error
Vertical	23.75	0.684565	0.752458	9%
	24	0.994587	0.985461	1%
	47.75	0.601254	0.661234	9%
	48	0.668456	0.721254	7%
Horizontal	23.75	0.765421	0.741234	3%
	24	0.894561	0.874561	2%
	71.75	0.612545	0.624567	2%
Axial	23.5	0.445678	0.504789	12%
	23.75	2.645213	2.721234	3%
	24	2.881546	2.851234	1%
	24.25	0.675458	0.632145	7%

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบค่าจุดวัดที่ 2 ของ Motor Pump

Position	Frequency (Hz)	Software (mm/s)	FFT Analyzer (mm/s)	% Error
Vertical	23.75	0.972465	0.991234	2%
	24	1.085274	1.125468	4%
Horizontal	23.75	0.545685	0.562148	3%
	24	0.514586	0.542315	5%
Axial	23.75	1.335868	1.382513	3%
	24	1.245868	1.305478	5%

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบค่าจุดวัดที่ 3 ของ Motor Pump

Position	Frequency (Hz)	Software (mm/s)	FFT Analyzer (mm/s)	% Error
Vertical	23.75	1.242534	1.3512345	8%
	24	1.382513	1.392145	1%
	47.75	0.851235	0.823546	3%
	71.5	0.631258	0.694598	9%
	71.75	0.891235	0.875463	2%
Horizontal	23.75	0.825451	0.794652	4%
	24	0.782356	0.756542	3%

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบค่าจุดวัดที่ 4 ของ Motor Pump

Position	Frequency (Hz)	Software (mm/s)	FFT Analyzer (mm/s)	% Error
Vertical	23.75	1.284521	1.262134	2%
	24	1.021235	1.123654	9%
Horizontal	23.75	1.111235	1.212546	8%
	24	0.812357	0.914584	11%

จากตารางที่ 4.8 และตารางที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าเมื่อนำอุปกรณ์ไปทำการวัดเครื่องจักรชนิด Motor Pump และนำข้อมูลไปวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนแล้วนำค่าที่คำนวณได้มาคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนกับข้อมูลของเครื่องวัดจะได้ค่าต่ำสุดที่ 1% และสูงสุดอยู่ที่ 12% แต่จะพบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนที่สนใจนั้น มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้

4.4 สรุป

ในบทนี้นำเสนอการทดสอบทำงานของชุดอุปกรณ์การเก็บค่าสัญญาณรวมถึงซอฟต์แวร์ในการวิเคราะห์และแสดงผลค่าของการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร ประสิทธิภาพในการทำงานและความถูกต้องในการแสดงผลของชุดอุปกรณ์ โดยกรณีการนำสัญญาณการสั่นสะเทือนของเครื่องวัดมาวิเคราะห์นั้น มีผลการทำงานของซอฟต์แวร์การวิเคราะห์ค่าการสั่นสะเทือนอยู่ในเกณฑ์

ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำ ในส่วนของการนำชุดอุปกรณ์ไปวัดค่าการสั่นสะเทือนในเครื่องจักรทั้ง 3 ชนิด ค่าที่อ่านได้และแสดงผลมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำการแสดงผลได้อย่างถูกต้อง โดยจากการทดสอบเครื่องจักรชนิด Blower จะเห็นได้ว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนจากการเปรียบเทียบค่ากับเครื่องมือวัดสูงสุดอยู่ที่ 9% ในส่วนของ Single Plane ค่าความคลาดเคลื่อนจากการเปรียบเทียบค่ากับเครื่องมือวัดสูงสุดอยู่ที่ 10% และ Motor Pump ค่าความคลาดเคลื่อนจากการเปรียบเทียบค่ากับเครื่องมือวัดสูงสุดอยู่ที่ 12%



บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยวิทยานิพนธ์นี้ ได้นำเสนอการพัฒนากระบวนการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน รวมถึงการสร้างชุดอุปกรณ์เก็บและประมวลผลสัญญาณการสั่นสะเทือนและการพัฒนาซอฟต์แวร์ เพื่อแสดงผลของสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ผ่านการวิเคราะห์แล้วนั้น ซึ่งในการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนจะต้องดำเนินการแปลงข้อมูลจากโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่ เพื่อนำเสนอข้อมูลสัญญาณการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นภายในเครื่องจักร โดยวิธีการดำเนินการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนถูกเขียนด้วยภาษา Python ซึ่งในการทำงานของซอฟต์แวร์จะทำการอ่านค่าจากเซนเซอร์ เพื่อมาทำการคำนวณหาสัญญาณการสั่นสะเทือน หลังจากได้ผลจากการคำนวณแล้วจะทำการส่งไปแสดงผล พร้อมทั้งตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมให้มีความน่าเชื่อถือจากอุปกรณ์ที่ได้มาตรฐาน

การสืบค้นปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 ถือเป็นส่วนที่สำคัญในการดำเนินงานวิจัย เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการประยุกต์และพัฒนาต่อยอดองค์ความรู้ในงานวิจัย การศึกษาทฤษฎีและหลักการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย พร้อมทั้งศึกษาทฤษฎีและหลักการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทั้งเรื่องการรักษาแบบพยากรณ์ตามสภาพการสั่นสะเทือน สัญญาณของการสั่นสะเทือน เครื่องวิเคราะห์แบบ FFT เทคนิคการวัดและมาตรฐานการสั่นสะเทือน การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนบนแกนความถี่ สัญญาณการสั่นสะเทือนบนแกนความถี่จากสาเหตุต่าง ๆ กรณีศึกษาลักษณะสัญญาณการสั่นสะเทือน และ เว็บแอปพลิเคชัน ได้ถูกนำมาใช้เป็นความรู้พื้นฐานและความเข้าใจในการดำเนินงานวิจัย ส่วนการดำเนินงานในบทที่ 3 เป็นขั้นตอนการพัฒนาซอฟต์แวร์ในการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน และอธิบายถึงอุปกรณ์และขั้นตอนต่าง ๆ ในการสร้างและประกอบชุดอุปกรณ์ในการเก็บสัญญาณการสั่นสะเทือน ในบทที่ 4 ได้อธิบายถึงผลการทดสอบการทำงานของซอฟต์แวร์วิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน โดยการนำข้อมูลสัญญาณการสั่นสะเทือนในโดเมนเวลาของเครื่องวัดที่ได้มาตรฐานมาวิเคราะห์เพื่อเทียบผลกับตัวเครื่องวัดที่ได้มาตรฐาน พร้อมทั้งการทดสอบระบบการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน โดยมีการทำงานตั้งแต่การเก็บสัญญาณการสั่นสะเทือนจากเครื่องจักรและนำสัญญาณที่ทำการวัดได้ไปทำการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนและนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์สัญญาณไปแสดงผล หลังจากที่ได้ทดสอบกับเครื่องจักร 3 ชนิด ให้ผลในทางที่ดี

มีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่ต่ำ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ 12% ทั้งนี้ระบบการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนมีแนวโน้มที่จะสามารถใช้กับเครื่องอื่นได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การแสดงผลยังคงต้องใช้คอมพิวเตอร์ แนะนำเขียนแอปพลิเคชันในการแสดงผลเพื่อความสะดวกในการใช้งานอนาคต
2. นำข้อมูลที่ได้ไปแสดงอาการที่เสียหายของเครื่องจักร จำแนกอาการการเสียหายของเครื่องจักร เพื่อเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจของผู้ใช้งาน



รายการอ้างอิง

- จตุโรจน์ เบ็ญจลักษณ์ (2002). การพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลหมุน
วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นฤทธิ เกรียงอรุณ. (2008). การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบซ่อมบำรุงรักษาเครื่องเชื่อมแผงวงจร
รวมโดยใช้การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต,
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธีรสิทธิ์ สุริยา (2015). การวางแผนการซ่อมบำรุงเชิงพยากรณ์ของเกียร์ขับสายพานลำเลียงด้วย
การวิเคราะห์แนวโน้มการสั่นสะเทือน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต,
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ประดิษฐ์ หมูเมืองสอง (2013). การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน (Vibration Analysis). พิมพ์ครั้งที่ 2,
กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- หทัยเทพ วงศ์สุวรรณ. (2009). การตรวจสอบความสั่นสะเทือนเครื่องจักร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ:
ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- หทัยเทพ วงศ์สุวรรณ. (2017). โปรแกรมวิเคราะห์การสั่นสะเทือนตามมาตรฐาน ISO ด้วย
ตรรกศาสตร์คลุมเครือ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- Best, John W. (1997). **Research in Education**. 3rd ed. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Crawford, A. R., & Crawford, S. (1992). **The simplified handbook of vibration analysis: Volume
1. Knoxville, Tenn.** Computational Systems In.c.
- Goldman, S. (1991). **Vibration spectrum analysis : a practical approach / Steve Goldman.** (1st
ed.). Industrial Press Inc.
- Hadjerrouit, S. (2001). **Web-based application development: a software engineering approach.**
SIGCSE Bulletin, 33, 31-34.
- International standard ISO 10816-3 **Mechanical vibration - evaluation of machine vibration by
measurements on non-rotating.**
- Proakis, J. G., & Manolakis, D. G. (1992). **Digital signal processing (2nd ed.): principles,
algorithms, and applications.** Macmillan Publishing Co., Inc.



ภาคผนวก ก

ตัวอย่างโค้ดการทำงานของซอฟต์แวร์

```

n = 5
while n > 0:
    samplingFrequency = 2560
    window = np.hanning(samplingFrequency)
    time1 = []
    x1 = []
    x2 = []
    x3 = []
    xh1 = []
    xh2 = []
    xh3 = []
    FFT1 = []
    FFT2 = []
    FFT3 = []
    velocityx1 = []
    velocityx2 = []
    velocityx3 = []
    errorx1 = []
    errorx2 = []
    errorx3 = []
    frequenciesj = []

    start = time.time()

    filename = '123.lvm'
    lvm = lvm_read.read(filename, read_from_pickle=False)
    lvm.keys()

    u = 0
    while u < samplingFrequency:
        time1.append(lvm[0]['data'][u][0])

```

```

u += 1

i = len(lvm[0]['data'])-samplingFrequency
while i < len(lvm[0]['data']):
    x1.append((lvm[0]['data'][i][1])/0.1)
    x2.append((lvm[0]['data'][i][2])/0.1)
    x3.append((lvm[0]['data'][i][3])/0.1)
    i += 1

for a,b,c,d in zip(window, x1,x2,x3):
    xh1.append(a*b)
    xh2.append(a*c)
    xh3.append(a*d)

frequencies1,FFT1 =FFTdata(xh1)
frequencies2,FFT2 =FFTdata(xh2)
frequencies3,FFT3 =FFTdata(xh3)

velocityx1 = Accelerationtospeed(frequencies1,FFT1)
velocityx2 = Accelerationtospeed(frequencies2,FFT2)
velocityx3 = Accelerationtospeed(frequencies3,FFT3)

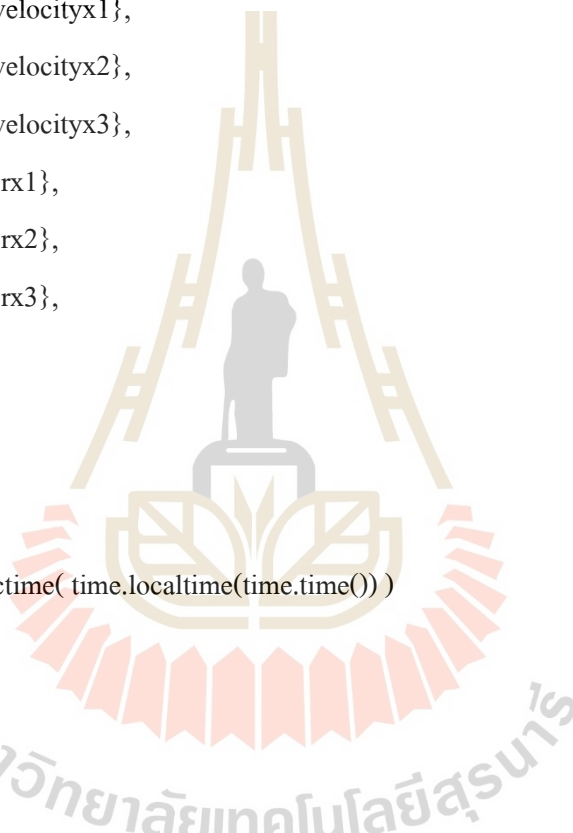
errorx1 = error(frequencies1,velocityx1)
errorx2 = error(frequencies2,velocityx2)
errorx3 = error(frequencies3,velocityx3)

if(len(errorx1)==0):
    errorx1 = "... "
if(len(errorx2)==0):
    errorx2 = "... "
if(len(errorx3)==0):

```



```
errorx3 = "..."  
  
for n in frequencies1:  
    frequenciesj.append(n)  
users_ref = ref.child('Data')  
users_ref.set({  
    'frequencies': {1: frequenciesj},  
    'velocityx1': {1: velocityx1},  
    'velocityx2': {1: velocityx2},  
    'velocityx3': {1: velocityx3},  
    'errorx1': {1: errorx1},  
    'errorx2': {1: errorx2},  
    'errorx3': {1: errorx3},  
    'speed': {1: 555},  
})  
  
end = time.time()  
localtime = time.asctime( time.localtime(time.time()) )  
print(end - start)  
print(localtime)  
time.sleep(5)
```

The image contains a large, semi-transparent watermark of the Suranaree University of Technology logo. The logo features a central figure of a person standing on a pedestal, flanked by two stylized figures. Below this is a circular emblem with a book and a sunburst. The text 'มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี' (Mahavithayalai Technonoiy Suranari) is written in Thai script around the bottom of the emblem.

```

from PyQt5.QtWidgets import *
import index
import sys
import urllib.request, json
from PyQt5 import QtCore

Time = []
timedata = []
velocity = []
velocityerror = []
frequencies =[]

class MyApp(QMainWindow):
    def __init__(self, parent=None):
        QWidget.__init__(self, parent)
        self.ui = index.Ui_MainWindow()
        self.ui.setupUi(self)
        self.ui.Button12.clicked.connect(self.update_graph)

    def update_graph(self):
        try:
            with urllib.request.urlopen(
                "https://us-central1-vibrationmachine-13058.cloudfunctions.net/getcoordinates") as
            url:

                data = json.loads(url.read().decode())

                for i in data.values():
                    try:
                        frequencies = i['frequencies']
                        velocity1 = i['velocityx1']
                        velocity2 = i['velocityx2']
                        velocity3 = i['velocityx3']

```

```

velocityerror1 = i['errorx1']
velocityerror2 = i['errorx2']
velocityerror3 = i['errorx3']
speed = i['speed']
except:
    print("อ่านข้อมูลไม่ได้")

print("Good")
print(speed)
str1 = ""
str2 = ""
str3 = ""
self.ui.MplWidget1.canvas.axes.clear()
self.ui.MplWidget1.canvas.axes.plot(frequencies[1],velocity2[1])
self.ui.MplWidget1.canvas.axes.legend(('mm/s RMS', 'Frequencies'), loc='upper right')
self.ui.MplWidget1.canvas.draw()

self.ui.MplWidget2.canvas.axes.clear()
self.ui.MplWidget2.canvas.axes.plot(frequencies[1], velocity1[1])
self.ui.MplWidget2.canvas.axes.legend(('mm/s RMS', 'Frequencies'), loc='upper right')
self.ui.MplWidget2.canvas.draw()

self.ui.MplWidget2_4.canvas.axes.clear()
self.ui.MplWidget2_4.canvas.axes.plot(frequencies[1], velocity3[1])
self.ui.MplWidget2_4.canvas.axes.legend(('mm/s RMS', 'Frequencies'), loc='upper right')
self.ui.MplWidget2_4.canvas.draw()
self.ui.lcdNumber.setProperty("value", speed[1])

for g in velocityerror1[1]:

```

```

        iot = "<p style=\" margin-top:0px; margin-bottom:0px; margin-left:0px; margin-
right:0px; -qt-block-indent:0; text-indent:0px;\"><span style=\" font-family:'FC Lamoon';font-
size:24pt; color:#ff0004;\">" + str(
            g) + "</span></p>\n"
        str1 = str1 + iot
        _translate = QtCore.QCoreApplication.translate
        self.ui.textBrowser.setHtml(_translate("MainWindow",
            "<!DOCTYPE HTML PUBLIC \"-//W3C//DTD HTML 4.0//EN\"
'http://www.w3.org/TR/REC-html40/strict.dtd\">\n"
            "<html><head><meta name=\"qrichtext\" content=\"1\" /><style
type=\"text/css\">\n"
            "p, li { white-space: pre-wrap; }\n"
            "</style></head><body style=\" font-family:'MS Shell Dlg 2';
font-size:8.25pt; font-weight:400; font-style:normal;\">\n"
            + str1 +
            "</body></html>"))
        for i in velocityerror2[1]:
            iot = "<p style=\" margin-top:0px; margin-bottom:0px; margin-left:0px; margin-
right:0px; -qt-block-indent:0; text-indent:0px;\"><span style=\" font-family:'FC Lamoon';font-
size:24pt; color:#ff0004;\">" + str(
                i) + "</span></p>\n"
            str2 = str2 + iot
            _translate = QtCore.QCoreApplication.translate
            self.ui.textBrowser_2.setHtml(_translate("MainWindow",
                "<!DOCTYPE HTML PUBLIC \"-//W3C//DTD HTML 4.0//EN\"
'http://www.w3.org/TR/REC-html40/strict.dtd\">\n"
                "<html><head><meta name=\"qrichtext\" content=\"1\" /><style type=\"text/css\">\n"
                "p, li { white-space: pre-wrap; }\n"
                "</style></head><body style=\" font-family:'MS Shell Dlg 2';
font-size:8.25pt; font-weight:400; font-style:normal;\">\n"

```

```

+ str2 +
"</body></html>"))

for k in velocityerror3[1]:
    iot = "<p style=\" margin-top:0px; margin-bottom:0px; margin-left:0px; margin-
right:0px; -qt-block-indent:0; text-indent:0px;\"><span style=\" font-family:'FC Lamoon';font-
size:24pt; color:#ff0004;\">" + str(
        k) + "</span></p>\n"
    str3 = str3 + iot
    _translate = QtCore.QCoreApplication.translate
    self.ui.textBrowser_3.setHtml(_translate("MainWindow",
        "<!DOCTYPE HTML PUBLIC \"-//W3C//DTD HTML
4.0//EN\" \"http://www.w3.org/TR/REC-html40/strict.dtd\">\n"
        "<html><head><meta name=\"qrichtext\" content=\"1\" /><style
type=\"text/css\">\n"
        "p, li { white-space: pre-wrap; }\n"
        "</style></head><body style=\" font-family:'MS Shell Dlg 2';
font-size:8.25pt; font-weight:400; font-style:normal;\">\n"
        + str3 +
        "</body></html>"))
except:
    print("ส่งข้อมูลไม่ได้")
    QtCore.QTimer.singleShot(1000, self.update_graph)

if __name__ == '__main__':
    app = QApplication(sys.argv)
    login_app = MyApp()
    login_app.show()
    sys.exit(app.exec_())

```

```

# -*- coding: utf-8 -*-

# Form implementation generated from reading ui file 'index.ui'
#
# Created by: PyQt5 UI code generator 5.15.1
#
# WARNING: Any manual changes made to this file will be lost when pyuic5 is
# run again. Do not edit this file unless you know what you are doing.

from PyQt5 import QtCore, QtGui, QtWidgets

class Ui_MainWindow(object):
    def setupUi(self, MainWindow):
        MainWindow.setObjectName("MainWindow")
        MainWindow.resize(1280, 905)
        MainWindow.setWindowTitle("ระบบวิเคราะห์สัญญาณการสิ้นสะเทือน")
        MainWindow.setStyleSheet("background-color:rgb(0, 0, 139)")
        self.centralwidget = QtWidgets.QWidget(MainWindow)
        self.centralwidget.setObjectName("centralwidget")
        self.label_3 = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
        self.label_3.setGeometry(QtCore.QRect(270, 10, 751, 71))
        font = QtGui.QFont()
        font.setFamily("FC Lamoon")
        font.setPointSize(48)
        font.setBold(True)
        font.setWeight(75)
        self.label_3.setFont(font)
        self.label_3.setStyleSheet("color :white")
        self.label_3.setObjectName("label_3")

```

```
self.label = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
self.label.setGeometry(QtCore.QRect(80, 80, 431, 41))
font = QtGui.QFont()
font.setFamily("FC Lamoon")
font.setPointSize(36)
self.label.setFont(font)
self.label.setStyleSheet("color :white")
self.label.setObjectName("label")
self.label_2 = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
self.label_2.setGeometry(QtCore.QRect(80, 340, 481, 41))
font = QtGui.QFont()
font.setFamily("FC Lamoon")
font.setPointSize(36)
self.label_2.setFont(font)
self.label_2.setStyleSheet("color :white")
self.label_2.setObjectName("label_2")
self.textBrowser = QtWidgets.QTextBrowser(self.centralwidget)
self.textBrowser.setGeometry(QtCore.QRect(790, 130, 411, 200))
font = QtGui.QFont()
font.setFamily("FC Lamoon")
font.setPointSize(24)
self.textBrowser.setFont(font)
self.textBrowser.setStyleSheet("background-color:rgb(255, 255, 255)")
self.textBrowser.setObjectName("textBrowser")
self.lcdNumber = QtWidgets.QLCDNumber(self.centralwidget)
self.lcdNumber.setGeometry(QtCore.QRect(990, 260, 161, 71))
self.lcdNumber.setStyleSheet("background-color:rgb(211, 211, 211)")
self.lcdNumber.setProperty("value", 0.0)
self.lcdNumber.setObjectName("lcdNumber")
self.label_4 = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
self.label_4.setGeometry(QtCore.QRect(990, 200, 101, 41))
```



```
font = QtGui.QFont()
font.setFamily("FC Lamoon")
font.setPointSize(36)
self.label_4.setFont(font)
self.label_4.setStyleSheet("color :white")
self.label_4.setObjectName("label_4")
self.label_11 = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
self.label_11.setGeometry(QtCore.QRect(990, 620, 261, 161))
self.label_11.setText("")
self.label_11.setPixmap(QtGui.QPixmap("PIC/unnamed.png"))
self.label_11.setScaledContents(True)
self.label_11.setObjectName("label_11")
self.groupBox = QtWidgets.QGroupBox(self.centralwidget)
self.groupBox.setGeometry(QtCore.QRect(80, 130, 700, 200))
self.groupBox.setStyleSheet("background-color:rgb(255, 255, 192)")
self.groupBox.setTitle("")
self.groupBox.setObjectName("groupBox")
self.MplWidget1 = MplWidget(self.groupBox)
self.MplWidget1.setGeometry(QtCore.QRect(0, 0, 700, 200))
self.MplWidget1.setObjectName("MplWidget1")
self.groupBox_2 = QtWidgets.QGroupBox(self.centralwidget)
self.groupBox_2.setGeometry(QtCore.QRect(80, 390, 700, 200))
self.groupBox_2.setStyleSheet("background-color:rgb(255, 255, 192)")
self.groupBox_2.setTitle("")
self.groupBox_2.setObjectName("groupBox_2")
self.MplWidget2 = MplWidget(self.groupBox_2)
self.MplWidget2.setGeometry(QtCore.QRect(0, 0, 700, 200))
self.MplWidget2.setObjectName("MplWidget2")
self.Button12 = QtWidgets.QPushButton(self.centralwidget)
self.Button12.setGeometry(QtCore.QRect(1000, 820, 81, 31))
self.Button12.setText("")
```

```
self.Button12.setObjectName("Button12")
self.label_12 = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
self.label_12.setGeometry(QtCore.QRect(80, 600, 391, 41))
font = QtGui.QFont()
font.setFamily("FC Lamoon")
font.setPointSize(36)
self.label_12.setFont(font)
self.label_12.setStyleSheet("color :white")
self.label_12.setObjectName("label_12")
self.groupBox_3 = QtWidgets.QGroupBox(self.centralwidget)
self.groupBox_3.setGeometry(QtCore.QRect(80, 650, 700, 200))
self.groupBox_3.setStyleSheet("background-color:rgb(255, 255, 192)")
self.groupBox_3.setTitle("")
self.groupBox_3.setObjectName("groupBox_3")
self.MplWidget2_4 = MplWidget(self.groupBox_3)
self.MplWidget2_4.setGeometry(QtCore.QRect(0, 0, 700, 200))
self.MplWidget2_4.setObjectName("MplWidget2_4")
self.textBrowser_2 = QtWidgets.QTextBrowser(self.centralwidget)
self.textBrowser_2.setGeometry(QtCore.QRect(790, 390, 161, 200))
font = QtGui.QFont()
font.setFamily("FC Lamoon")
font.setPointSize(24)
self.textBrowser_2.setFont(font)
self.textBrowser_2.setStyleSheet("background-color:rgb(255, 255, 255)")
self.textBrowser_2.setObjectName("textBrowser_2")
self.textBrowser_3 = QtWidgets.QTextBrowser(self.centralwidget)
self.textBrowser_3.setGeometry(QtCore.QRect(790, 650, 161, 200))
font = QtGui.QFont()
font.setFamily("FC Lamoon")
font.setPointSize(24)
self.textBrowser_3.setFont(font)
```

```

self.textBrowser_3.setStyleSheet("background-color:rgb(255, 255, 255)")
self.textBrowser_3.setObjectName("textBrowser_3")
self.textBrowser_4 = QtWidgets.QTextBrowser(self.centralwidget)
self.textBrowser_4.setGeometry(QtCore.QRect(1000, 460, 211, 131))
font = QtGui.QFont()
font.setFamily("FC Lamoon")
font.setPointSize(24)
self.textBrowser_4.setFont(font)
self.textBrowser_4.setStyleSheet("background-color:rgb(255, 255, 255)")
self.textBrowser_4.setObjectName("textBrowser_4")
self.label_5 = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
self.label_5.setGeometry(QtCore.QRect(990, 410, 241, 41))
font = QtGui.QFont()
font.setFamily("FC Lamoon")
font.setPointSize(36)
self.label_5.setFont(font)
self.label_5.setStyleSheet("color :white")
self.label_5.setObjectName("label_5")
MainWindow.setCentralWidget(self.centralwidget)
self.menubar = QtWidgets.QMenuBar(MainWindow)
self.menubar.setGeometry(QtCore.QRect(0, 0, 1280, 21))
self.menubar.setObjectName("menubar")
MainWindow.setMenuBar(self.menubar)
self.statusbar = QtWidgets.QStatusBar(MainWindow)
self.statusbar.setObjectName("statusbar")
MainWindow.setStatusBar(self.statusbar)

self.retranslateUi(MainWindow)

QtCore.QMetaObject.connectSlotsByName(MainWindow)

```

```
def retranslateUi(self, MainWindow):
```

```

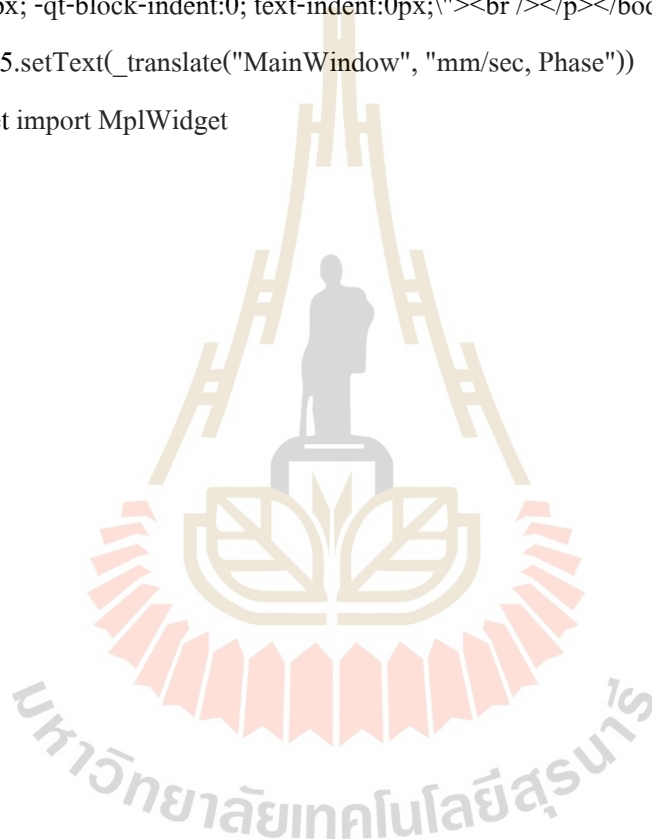
_translate = QtCore.QCoreApplication.translate
self.label_3.setText(_translate("MainWindow", "ระบบวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน"))
self.label.setText(_translate("MainWindow", "Frequency Domain Vertical"))
self.label_2.setText(_translate("MainWindow", "Frequency Domain Horizontal"))
self.textBrowser.setHtml(_translate("MainWindow", "<!DOCTYPE HTML PUBLIC \
//W3C//DTD HTML 4.0//EN\" \"http://www.w3.org/TR/REC-html40/strict.dtd\">\n"
"<html><head><meta name=\"qrichtext\" content=\"1\" /><style type=\"text/css\">\n"
"p, li { white-space: pre-wrap; }\n"
"</style></head><body style=\" font-family:\FC Lamoon!; font-size:24pt; font-weight:400; font-
style:normal;\">\n"
"<p style=\"-qt-paragraph-type:empty; margin-top:0px; margin-bottom:0px; margin-left:0px;
margin-right:0px; -qt-block-indent:0; text-indent:0px;\"><br /></p></body></html>"))
self.label_4.setText(_translate("MainWindow", "Speed"))
self.label_12.setText(_translate("MainWindow", "Frequency Domain Axial"))
self.textBrowser_2.setHtml(_translate("MainWindow", "<!DOCTYPE HTML PUBLIC \
//W3C//DTD HTML 4.0//EN\" \"http://www.w3.org/TR/REC-html40/strict.dtd\">\n"
"<html><head><meta name=\"qrichtext\" content=\"1\" /><style type=\"text/css\">\n"
"p, li { white-space: pre-wrap; }\n"
"</style></head><body style=\" font-family:\FC Lamoon!; font-size:24pt; font-weight:400; font-
style:normal;\">\n"
"<p style=\"-qt-paragraph-type:empty; margin-top:0px; margin-bottom:0px; margin-left:0px;
margin-right:0px; -qt-block-indent:0; text-indent:0px;\"><br /></p></body></html>"))
self.textBrowser_3.setHtml(_translate("MainWindow", "<!DOCTYPE HTML PUBLIC \
//W3C//DTD HTML 4.0//EN\" \"http://www.w3.org/TR/REC-html40/strict.dtd\">\n"
"<html><head><meta name=\"qrichtext\" content=\"1\" /><style type=\"text/css\">\n"
"p, li { white-space: pre-wrap; }\n"
"</style></head><body style=\" font-family:\FC Lamoon!; font-size:24pt; font-weight:400; font-
style:normal;\">\n"
"<p style=\"-qt-paragraph-type:empty; margin-top:0px; margin-bottom:0px; margin-left:0px;
margin-right:0px; -qt-block-indent:0; text-indent:0px;\"><br /></p></body></html>"))

```

```

self.textBrowser_4.setHtml(_translate("MainWindow", "<!DOCTYPE HTML PUBLIC \"-
//W3C//DTD HTML 4.0//EN\" \"http://www.w3.org/TR/REC-html40/strict.dtd\">\n"
"<html><head><meta name=\"qrichtext\" content=\"1\" /><style type=\"text/css\">\n"
"p, li { white-space: pre-wrap; }\n"
"</style></head><body style=\" font-family:\FC Lamoon!\; font-size:24pt; font-weight:400; font-
style:normal;\n"
"<p style=\"-qt-paragraph-type:empty; margin-top:0px; margin-bottom:0px; margin-left:0px;
margin-right:0px; -qt-block-indent:0; text-indent:0px;\n\"><br /></p></body></html>"))
self.label_5.setText(_translate("MainWindow", "mm/sec, Phase"))
from mplwidget import MplWidget

```





ภาคผนวก ข

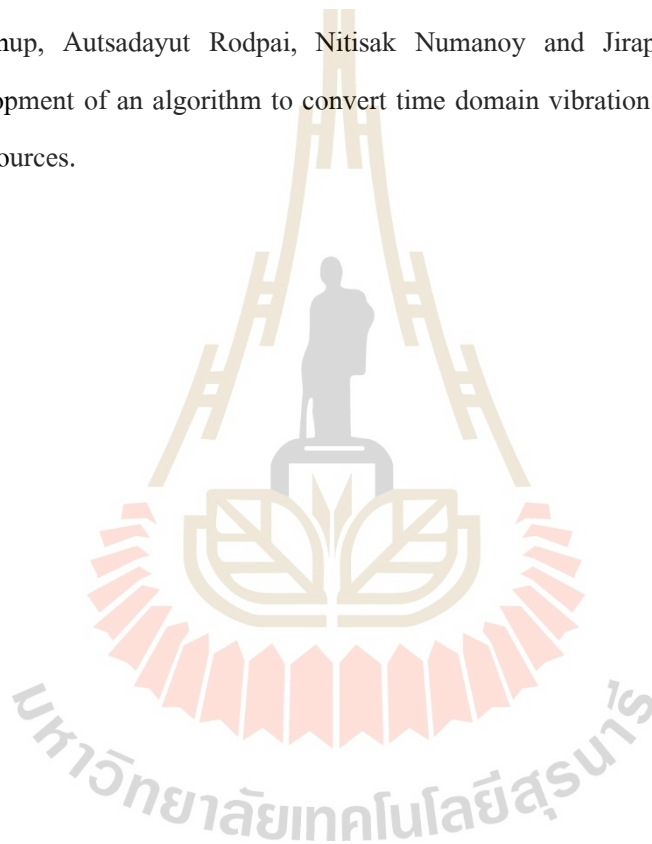
บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

พีรพงษ์ พิมพ์อุบ, อัยญาอุธ รอดพ่าย และ รองศาสตราจารย์ ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล. (2563). การพัฒนาอัลกอริทึมในการเชื่อมต่อและส่งข้อมูลสัญญาณการสั่นสะเทือนแบบเวลาจริง ด้วย IoT บน Open source, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 43, ฉบับที่ 1, หน้า 595-598.

Peerapong Pimup, Autsadayut Rodpai, Nitisak Numanoy and Jiraphon Srisertpol. (2564). Development of an algorithm to convert time domain vibration to frequency domain on open sources.



ประวัติผู้เขียน

นายพิรพงษ์ พิมพ์อุบ เกิดวันที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ. 2537 เกิดที่อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2560 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อ พ.ศ. 2561 โดยขณะกำลังศึกษาระดับปริญญาโทได้เป็นผู้สอนในวิชาปฏิบัติการต่าง ๆ ของ สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ และสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มีผลงานตีพิมพ์ดังปรากฏรายละเอียดในภาคผนวก ก

