ระบบแจ้งเตือนล่วงหน้าสำหรับการบำรุงรักษาเครื่องจักรด้วยวิธีการทางสถิติ

EARLY WARNING SYSTEM FOR MACHINE MAINTENANCE USING STATISTICAL METHOD

นางสาวศรวณีย์ อ่อนน้อม

MS. SARAWANEE ONNORM

นายสหรัฐ สาแก้ว

MR. SAHARAT SAKAEW

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

EARLY WARNING SYSTEM FOR MACHINE MAINTENANCE USING STATISTICAL METHOD

MS. SARAWANEE ONNORM

MR. SAHARAT SAKAEW

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ ระบบแจ้งเตือนล่วงหน้าสำหรับการบำรุงรักษาเครื่องจักรด้วยวิธีการทางสถิติ

EARLY WARNING SYSTEM FOR MACHINE MAINTENANCE USING STATISTICAL METHOD

นักศึกษา นางสาวศรวณีย์ อ่อนน้อม รหัสประจำตัว 60010953

นายสหรัฐ สาแก้ว รหัสประจำตัว 60011046

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

อุดม

(ผศ.ดร.อุดม จันทร์จรัสสุข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ระบบแจ้งเตือนล่วงหน้าสำหรับการบำรุงรักษาเครื่องจักรด้วยวิธีการทางสถิติ
นักศึกษา	นางสาวศรวณีย์ อ่อนน้อม นายสหรัฐ สาแก้ว
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2563
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ผศ.ดร.อุดม จันทร์จรัสสุข

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างระบบแจ้งเตือนล่วงหน้าสำหรับการบำรุงรักษาเครื่องจักรด้วยวิธีการทางสถิติโดยการใช้เซ็นเซอร์วัดความเร่ง (Acceleration Sensor) ในการตรวจจับการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร โดยใช้การเขียนโปรแกรม Arduino ในการเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์เพื่อให้ได้ข้อมูลค่าความเร่ง จากนั้นแปลงเป็นสเปกตรัมโดยใช้วิธี Fast Fourier Transform และจัดเก็บข้อมูลที่ได้ใน Firebase จากนั้นจึงเขียนโปรแกรม Python ดึงข้อมูลสเปกตรัมจาก Firebase มาสร้างเกณฑ์มาตรฐานของการทำงานปกติของเครื่องจักรโดยใช้ MS Excel และนำข้อมูลที่เก็บได้ใหม่ในปัจจุบันไปวิเคราะห์โดยใช้วิธีการทางสถิติและทำการเฉลี่ยแบบ Exponential Smoothing เพื่อเปรียบเทียบความเหมือนหรือต่างกันของข้อมูลกับเกณฑ์มาตรฐานที่สร้างขึ้น จากนั้นจึงทำการสร้างจอแสดงผลการเปรียบเทียบค่าปัจจุบันกับค่ามาตรฐานและติดตั้งบริเวณโรงงาน และสร้าง Mobile Application และการแจ้งเตือนผ่านทาง Line Notification สำหรับพนักงานในการแจ้งเตือนเมื่อเครื่องจักรเริ่มมีอาการผิดปกติ ผลการคำนวณและวิเคราะห์ค่ามาตรฐานจากข้อมูลที่ได้ทำการเก็บมาทั้งหมด 1,000 ชุด ของแกนทั้ง 3 แกน ได้แก่ แกน x y และ z แล้วนำมาหาค่ามาตรฐานและสัดส่วนของแต่ละแกน จากนั้นทำการเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักสำหรับค่ามาตรฐานในแต่ละแกน เพื่อให้ได้ค่ามาตรฐานออกมาเพียงค่าเดียวของแต่ละระดับความเชื่อมั่น โดยค่ามาตรฐานที่ระดับความเชื่อมั่น 80% 85% 90% และ 95% คือ 4.0973 4.3763 4.7301 และ 5.4175 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Thesis Title	Early Warning System for Machine Maintenance using Statistical Method
Student	Ms. Sarawanee Onnorm
	Mr. Saharat Sakaew
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2020
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Udom Janjarassuk

ABSTRACT

This thesis aims to create an early warning system for machine maintenance by using statistical methods with acceleration sensor to detect mechanical vibration. By using an Arduino board connected to an acceleration sensor to obtain vibration data and convert them to spectrum by using Fast Fourier Transform, and then store the result in Firebase. A python program is used to extract spectral data from Firebase to standardize the normal operation of the machine by using MS Excel and to analyze the currently collected data by using statistical methods. The currently collected data are compared with the created standard. The result is displayed on screen to show the comparison of the currently collected data with the standard values. The prototype is installed in the factory and a mobile application is created to notify the operators when the machine starts to work abnormally. Standardized analysis results are computed from 1,000 collected data sets of all x, y, and z axes. The final standard value is obtained from the weighted value of the proportion from each axis at different confidence level. The standard values at 80%, 85%, 90%, and 95% confidence levels are 4.0973, 4.3763, 4.7301, and 5.4175 respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ เรื่อง ระบบแจ้งเตือนล่วงหน้าสำหรับการบำรุงรักษาเครื่องจักรด้วยวิธีการทางสถิติ สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้อง ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนคำปรึกษาในทุก ๆ ด้าน ส่งผลให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ไปได้ด้วยดี ได้แก่

หจก.โรงน้ำแข็งทิพธารา กลุ่มผู้วิจัยขอขอบคุณที่ให้ความอนุเคราะห์ในการศึกษาและดำเนินงานวิจัยทุกขั้นตอนและขอบคุณพนักงานทุกท่านที่ช่วยให้ความร่วมมือในการดำเนินงาน จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คุณมณฑร วิรัชศิลป์ ตำแหน่ง CEO หจก.โรงน้ำแข็งทิพธารา กลุ่มผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูงที่ให้ความรู้และข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับเครื่องจักรในโรงงาน ตลอดจนช่วยเหลือและในคำแนะนำจนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผศ.ดร.อุดม จันทร์จรัสสุข อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ ข้อคิดเห็น ตลอดจนตรวจสอบ แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ และเอาใจใส่ในทุก ๆ ด้าน ตลอดจนกระทั่งปริญญานิพนธ์สามารถสำเร็จลุล่วงด้วยดี

อาจารย์และเจ้าหน้าที่ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับการให้ความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือและความเอาใจใส่ในทุก ๆ ด้าน ตลอดการศึกษาระดับปริญญาตรี ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

และสุดท้ายขอขอบคุณเพื่อนและครอบครัวของกลุ่มผู้วิจัย สำหรับความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ กำลังใจที่ดีและสนับสนุนให้การทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นางสาวศรวณีย์ อ่อนน้อม
นายสหรัฐ สาแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ช

สารบัญรูป ..... ซ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 สมมติฐาน 2

1.4 ขอบเขตการศึกษางานวิจัย 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทดสอบไคสแควร์ 7

2.1.1 ข้อมูลที่อยู่ในรูปความถี่ 7

2.1.2 หลักการของการทดสอบไคสแควร์ 8

2.1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น 9

2.1.4 ประเภทของการทดสอบไคสแควร์ 9

2.2 การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว 13

2.3 การบำรุงรักษา 14

2.3.1 จุดมุ่งหมายของการบำรุงรักษา 15

2.3.2 วัตถุประสงค์ของระบบบำรุงรักษาในงานอุตสาหกรรม 15

2.3.3 ประเภทของการบำรุงรักษา 16

2.4 การสั่นสะเทือน 19

2.4.1 ประเภทของการสั่นสะเทือน 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

หน้า

2.4.2 รูปแบบของการสั่นสะเทือน 19
2.4.3 สาเหตุที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือน 19
2.4.4 หน่วยการวัดการสั่นสะเทือน 20
2.4.5 เทคนิคการตรวจสอบการสั่นสะเทือน 20
2.4.6 การติดตั้งเครื่องวัดการสั่นสะเทือน 21
2.4.7 ข้อดีของการตรวจวัดการสั่นสะเทือน 21
2.5 เซ็นเซอร์วัดความเร่ง 21
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 22

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

3.1 อุปกรณ์แจ้งเตือน 28
3.1.1 อุปกรณ์ติดตั้งบนเครื่องจักร 28
3.1.2 อุปกรณ์ติดตั้งบริเวณโรงงานพร้อมจอแสดงผล 29
3.2 Arduino Code 30
3.2.1 การเขียนโปรแกรม Arduino เชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ความเร่ง 30
3.2.2 การเขียนโปรแกรม Arduino เชื่อมต่อกับจอ TFT LCD ILI9488 และ Line Notification 32
3.3 Python Code 34
3.4 การทดลองอุปกรณ์และสร้างมาตรฐานกับเครื่องจักรที่ภาควิชา 35
3.4.1 การวางเซ็นเซอร์ในแนวแกนปกติและการวางเซ็นเซอร์เอียง 5 องศา 36
3.5 การติดตั้ง รับค่าและสร้างมาตรฐานการทำงานของเครื่องจักรจริงที่โรงงาน 37
3.6 การสร้าง Mobile Application 38
3.6.1 โปรแกรม MIT App Inventor 40
3.6.2 โปรแกรม Thunkable 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

หน้า

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

4.1 Mobile Application 49
4.2 Line Notification 50
4.3 การทดลองอุปกรณ์และสร้างมาตรฐานกับเครื่องจักรที่ภาควิชา 51
4.3.1 การทำงานแบบเบาและการทำงานแบบแรง 51
4.3.2 การวางแนวเซ็นเซอร์แบบปกติและการวางแนวเอียง 5 องศา 56
4.4 การติดตั้ง รับค่าและสร้างมาตรฐานการทำงานของเครื่องจักรจริงที่โรงงาน 57

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 61
5.1.1 สรุปผลการทดลองการติดตั้งอุปกรณ์บนเครื่องจักร 61
5.1.2 สรุปผลการดำเนินงานการสร้างระบบตรวจสอบและแจ้งเตือน 62
5.1.3 สรุปผลการทดลองอุปกรณ์และสร้างมาตรฐานกับเครื่องจักรที่ภาควิชา 62
5.2 ข้อจำกัดของงานวิจัย 62
5.2 ข้อเสนอแนะ 63

เอกสารอ้างอิง 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานของภาคเรียนที่ 1 5
ตารางที่ 1.2 ขั้นตอนการดำเนินงานของภาคเรียนที่ 2 6
ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูล k กลุ่ม ตัวอย่างจำนวน n 8
ตารางที่ 2.2 ข้อมูลจำแนก 2 ทาง 11
ตารางที่ 3.1 การเชื่อมต่อ Arduino Board และ Acceleration Sensor 29
ตารางที่ 3.2 การเชื่อมต่อ Arduino Board และ จอ TFT LCD ILI9488 ขนาด 3.5 นิ้ว 30
ตารางที่ 4.1 ค่ามาตรฐานของการทำงานแบบเบาและแรงของทั้ง 3 แกน 51
ตารางที่ 4.2 การเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของการทำงานแบบเบา 52
ตารางที่ 4.3 การเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของการทำงานแบบแรง 52
ตารางที่ 4.4 ค่ามาตรฐานของการทำงานแบบเบาที่ระดับความเชื่อมั่นต่าง ๆ 53
ตารางที่ 4.5 ค่ามาตรฐานของการทำงานแบบแรงที่ระดับความเชื่อมั่นต่าง ๆ 55
ตารางที่ 4.6 ข้อมูลการวางแนวเซ็นเซอร์แบบปกติและการวางแนวเอียง 5 องศา 57
ตารางที่ 4.7 ค่ามาตรฐานการทำงานของเครื่องจักรในโรงงานทั้ง 3 แกน 57
ตารางที่ 4.8 การเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักที่ระดับความเชื่อมั่นต่าง ๆ ของเครื่องจักรในโรงงาน 58
ตารางที่ 4.9 ค่ามาตรฐานของการทำงานที่ระดับความเชื่อมั่นต่าง ๆ ของเครื่องจักรในโรงงาน 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ภาพรวมของการทดสอบไคสแควร์ 13
รูปที่ 2.2 ตำแหน่งในการติดตั้งเครื่องวัดการสั่นสะเทือน 21
รูปที่ 3.1 กรอบการดำเนินการวิจัย 27
รูปที่ 3.2 การเชื่อมต่อวงจรตรวจวัดความเร่ง 28
รูปที่ 3.3 กล่องอุปกรณ์ตรวจวัดความเร่ง 28
รูปที่ 3.4 การเชื่อมต่อวงจรแสดงผล 29
รูปที่ 3.5 การทำงานของโปรแกรม Arduino ในส่วนของอุปกรณ์วัดความเร่ง 31
รูปที่ 3.6 การทำงานของโปรแกรม Arduino ในส่วนของหน้าจอแสดงผล (1) 33
รูปที่ 3.7 การทำงานของโปรแกรม Arduino ในส่วนของหน้าจอแสดงผล (2) 34
รูปที่ 3.8 เครื่องเลื่อย 36
รูปที่ 3.9 การวางแนวเซ็นเซอร์ปกติ 36
รูปที่ 3.10 การวางแนวเอียง 5 องศา 37
รูปที่ 3.11 การติดตั้งอุปกรณ์ที่เครื่องจักร 37
รูปที่ 3.12 การทำงานของ Mobile Application (1) 39
รูปที่ 3.13 การทำงานของ Mobile Application (2) 40
รูปที่ 3.14 การทำงานของ MIT App Inventor ในส่วนการใส่รหัสผ่าน 40
รูปที่ 3.15 การทำงานของ MIT App Inventor ในส่วนของการรับค่าเริ่มต้น 41
รูปที่ 3.16 การทำงานของ MIT App Inventor ในส่วนของการเลือกระดับความเชื่อมั่น 41
รูปที่ 3.17 การทำงานของ MIT App Inventor ในส่วนของการรับค่ามาตรฐาน
และค่าปัจจุบันจาก Firebase และเปรียบเทียบเพื่อแจ้งเตือน 42
รูปที่ 3.18 การทำงานของ MIT App Inventor ในส่วนของการรับค่าปัจจุบัน
และการหยุดการแจ้งเตือน 42
รูปที่ 3.19 การทำงานของ MIT App Inventor ในส่วนการจบการทำงาน 43
รูปที่ 3.20 การทำงานของ Thunkable ในส่วนการใส่รหัสผ่าน 43
รูปที่ 3.21 การทำงานของ Thunkable ในส่วนของการรับค่าเริ่มต้น
ค่าปัจจุบันและค่ามาตรฐาน 44
รูปที่ 3.22 การทำงานของ Thunkable ในส่วนของการดึง
ค่ามาตรฐานที่ 80% จาก Firebase 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 3.23 การทำงานของ Thunkable ในส่วนของการดึง
ค่ามาตรฐานที่ 85% จาก Firebase 45
รูปที่ 3.24 การทำงานของ Thunkable ในส่วนของการดึง
ค่ามาตรฐานที่ 90% จาก Firebase 45
รูปที่ 3.25 การทำงานของ Thunkable ในส่วนของการดึง
ค่ามาตรฐานที่ 95% จาก Firebase 46
รูปที่ 3.26 การทำงานของ Thunkable ในส่วนของการหยุดการแจ้งเตือน 46
รูปที่ 3.27 การทำงานของ Thunkable ในส่วนของการรับค่าปัจจุบัน 47
รูปที่ 3.28 การทำงานของ Thunkable ในส่วนการจบการทำงาน 47
รูปที่ 4.1 Mobile Application จากโปรแกรม MIT App Inventor 49
รูปที่ 4.2 Mobile Application จากโปรแกรม Thunkable 50
รูปที่ 4.3 การแจ้งเตือนผ่านทาง Line Notification 50
รูปที่ 4.4 กราฟการกระจายตัวของข้อมูลการสั่นแบบเบาในแนวแกน x 53
รูปที่ 4.5 กราฟการกระจายตัวของข้อมูลการสั่นแบบเบาในแนวแกน y 54
รูปที่ 4.6 กราฟการกระจายตัวของข้อมูลการสั่นแบบเบาในแนวแกน z 54
รูปที่ 4.7 กราฟการกระจายตัวของข้อมูลการสั่นแบบแรงในแนวแกน x 55
รูปที่ 4.8 กราฟการกระจายตัวของข้อมูลการสั่นแบบแรงในแนวแกน y 56
รูปที่ 4.9 กราฟการกระจายตัวของข้อมูลการสั่นแบบแรงในแนวแกน z 56
รูปที่ 4.10 กราฟการกระจายตัวของค่าไคสแควร์ของแกน x 59
รูปที่ 4.11 กราฟการกระจายตัวของค่าไคสแควร์ของแกน y 59
รูปที่ 4.12 กราฟการกระจายตัวของค่าไคสแควร์ของแกน z 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1
บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียด ความเป็นมาและความสำคัญ วัตถุประสงค์ สมมติฐาน ขอบเขต ประโยชน์ ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย เรื่องการสร้างระบบแจ้งเตือนล่วงหน้าสำหรับการบำรุงรักษาเครื่องจักรด้วยวิธีการทางสถิติ ดังแสดงในหัวข้อต่อไปนี้

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.3 สมมติฐาน

1.4 ขอบเขตการศึกษางานวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เครื่องจักรในโรงงานทั่วไปมักไม่มีระบบแจ้งเตือนล่วงหน้าสำหรับแจ้งให้พนักงานทราบก่อนที่เครื่องจักรจะเกิดการชำรุด ในบางโรงงานอาจใช้คนงานในการสังเกตการทำงานของเครื่องจักรหรือในกรณีที่เครื่องจักรมีลักษณะเฉพาะอาจทำให้จำเป็นต้องมีการใช้ผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบ ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการดูแลสูงและถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะมีเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักรให้เลือกเป็นจำนวนมาก แต่ก็มีราคาสูงและยังคงต้องใช้ผู้ที่มีความรู้ในการวิเคราะห์ผลที่ได้

โรงน้ำแข็งทิพธารา จังหวัดชลบุรี ใช้เครื่องทำความเย็นแอมโมเนียคอมเพรสเซอร์ในการทำน้ำแข็ง โดยจะใช้คนงานในการสังเกตการทำงานของเครื่องจักรเพื่อตรวจสอบว่ามีการทำงานผิดปกติหรือไม่ ซึ่งในบางครั้งเมื่อเครื่องจักรเริ่มมีการสั่นผิดปกติจากชิ้นส่วนบางชิ้นเสียหาย ขณะที่ไม่มีคนงานอยู่ในบริเวณนั้นหรือคนงานอาจไม่ทราบถึงความผิดปกติของการทำงานของเครื่องจักร ส่งผลให้เครื่องจักรชำรุดและส่งผลกระทบต่อผลผลิตของโรงงานและเกิดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงจำนวนมาก จึงทำให้เหมาะกับระบบการบำรุงรักษาโดยการคาดคะเน (Predictive Maintenance) เพราะเป็นการใช้การประมวลผลข้อมูลเพื่อการพยากรณ์ มีการวัดค่าตัวเลขและมีการเปรียบเทียบข้อมูลตัวเลข เพื่อประมาณกำหนดการและส่วนของการชำรุดที่อาจเกิดขึ้น เพื่อให้สามารถจัดเตรียมล่วงหน้าได้อย่างแม่นยำ สำหรับแรงงาน ชิ้นส่วน อะไหล่และแผนการผลิตที่อาจมีผลกระทบ [1][2] ซึ่งหากโรงงานมีระบบแจ้งเตือนอาการผิดปกติของเครื่องจักรจะสามารถทำให้พนักงานสามารถปิดการทำงานของเครื่องจักรและดำเนินการซ่อมบำรุงได้ทัน ก่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เครื่องจักรจะเกิดการชำรุด ซึ่งจะช่วยในการลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการซ่อมบำรุงและส่งผลกระทบต่อผลผลิตน้อยลง ซึ่งสามารถตรวจจับอาการผิดปกติได้จากการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรโดยใช้เซ็นเซอร์วัดความเร่ง เซ็นเซอร์วัดความเร่งนั้นจะให้ผลลัพธ์ของค่าความเร่งจากการสั่นสะเทือนทั้งหมด 3 แกน และสามารถตรวจจับการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรได้โดยไม่มีปัจจัยภายนอกมารบกวนที่อาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้การวัดเกิดความผิดพลาด [3]

คณะผู้จัดทำจึงมีความประสงค์ที่จะสร้างระบบแจ้งเตือนล่วงหน้าสำหรับการบำรุงรักษาเครื่องจักรด้วยวิธีการทางสถิติโดยการใช้เซ็นเซอร์วัดความเร่ง (Acceleration Sensor) ในการตรวจจับการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร โดยใช้การเขียนโปรแกรม Arduino ในการเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์เพื่อให้ได้ข้อมูลค่าความเร่ง จากนั้นแปลงเป็นสเปกตรัมโดยใช้วิธี Fast Fourier Transform และจัดเก็บข้อมูลที่ได้ใน Firebase จากนั้นจึงเขียนโปรแกรม Python ดึงข้อมูลสเปกตรัมจาก Firebase มาสร้างเกณฑ์มาตรฐานของการทำงานปกติของเครื่องจักรโดยใช้ MS Excel และนำข้อมูลที่เก็บได้ใหม่ในปัจจุบันไปวิเคราะห์โดยใช้วิธีการทางสถิติและทำการเฉลี่ยแบบ Exponential Smoothing จากนั้นจึงเปรียบเทียบความเหมือนหรือต่างกันของข้อมูลกับเกณฑ์มาตรฐานที่สร้างขึ้น สร้างจอแสดงผลการเปรียบเทียบค่าปัจจุบันกับค่ามาตรฐานและติดตั้งบริเวณโรงงาน และสร้าง Mobile Application และการแจ้งเตือนผ่านทาง Line Notification สำหรับพนักงานในการแจ้งเตือนเมื่อเครื่องจักรเริ่มมีอาการผิดปกติ เป็นการใช้ระบบการบำรุงรักษาโดยการคาดคะเน ซึ่งช่วยในการลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ลดเวลาการชำรุดของเครื่องจักรและอุปกรณ์ ทำให้การหยุดชะงักในการผลิตน้อยลงและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. สร้างเกณฑ์มาตรฐานการทำงานแบบปกติของเครื่องจักร เพื่อใช้ในการตรวจสอบอาการผิดปกติของการทำงานของเครื่องจักร
2. สร้างระบบตรวจสอบและแจ้งเตือน

1.3 สมมติฐาน

ถ้าเครื่องจักรมีการทำงานปกติ ตัวเลขที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ เมื่อแปลงเป็นกราฟสเปกตรัม แล้วทำการเปรียบเทียบโดยการใช้วิธีการทางสถิติจะได้ผลลัพธ์ว่าสเปกตรัมมีค่าไม่ต่างกับเกณฑ์มาตรฐานในเชิงสถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.4 ขอบเขตการศึกษางานวิจัย

1. เครื่องจักรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ เครื่องทำความเย็นแอมโมเนียคอมเพรสเซอร์

2. เนื้อหาที่ทำการศึกษา ได้แก่ การใช้ Arduino ในการเขียนโปรแกรมเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ความเร่งเพื่อเก็บข้อมูลตัวเลขค่าการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรใน 3 แกน คือ แกน x y และ z แล้วแปลงเป็นสเปกตรัมโดยใช้วิธี Fast Fourier Transform นำข้อมูลสเปกตรัมที่ได้ไปเก็บไว้ใน Firebase จากนั้นเขียนโปรแกรม Python เพื่อส่งข้อมูลสเปกตรัมทั้งหมดจาก Firebase ไปไว้ใน MS Excel เพื่อสร้างเกณฑ์มาตรฐานการทำงานปกติของเครื่องจักรของทั้ง 3 แกน แล้วนำค่าที่เก็บได้ในปัจจุบันมาวิเคราะห์โดยใช้วิธีการทางสถิติและทำการเฉลี่ยแบบ Exponential Smoothing จากนั้นจึงเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน หลังจากนั้นสร้างจอแสดงผลการเปรียบเทียบค่าปัจจุบันกับค่ามาตรฐานและติดตั้งบริเวณโรงงาน และสร้าง Mobile Application และการแจ้งเตือนผ่านทาง Line Notification เพื่อแจ้งเตือนเมื่อเครื่องจักรมีการทำงานผิดปกติ

3. ข้อมูลที่ต้องการศึกษา ได้แก่ ค่าตัวเลขการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรของทั้ง 3 แกน คือ แกน x y และ z

4. สถานที่ ได้แก่ หจก.โรงน้ำแข็งทิพธารา จังหวัดชลบุรี

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดค่าใช้จ่ายการบำรุงรักษา
2. ลดเวลาการชำรุดของเครื่องจักรและอุปกรณ์
3. ทำให้การหยุดชะงักในการผลิตน้อยลง
4. เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต
5. ลดการใช้พนักงานในการเฝ้าสังเกตการทำงานของเครื่องจักร

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาปัญหา โปรแกรมและอุปกรณ์ที่ใช้

2. เขียนโปรแกรม Arduino เชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ความเร่งและทดลองโปรแกรมกับเครื่องจักรที่ภาควิชา

3. นำเซ็นเซอร์ไปติดตั้งบนเครื่องจักรที่โรงงานเพื่อทำการเก็บข้อมูลไว้ใน Firebase

4. เขียนโปรแกรม Python เพื่อส่งข้อมูลสเปกตรัมทั้งหมดจาก Firebase ไปไว้ใน MS Excel เพื่อสร้างเกณฑ์มาตรฐานของการทำงานปกติของเครื่องจักรสำหรับทั้ง 3 แกน

5. ลำดับความสำคัญของการสั่นทั้ง 3 แกน โดยการดูผลลัพธ์ค่ามาตรฐานที่ระดับความเชื่อมั่น 90% แล้วทำการเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก จะได้ค่ามาตรฐานออกมาเป็นค่าเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

6. นำค่าที่เก็บได้ในปัจจุบันมาคำนวณโดยใช้สมการไคสแควร์ โดยค่า O_i แทนความถี่ที่ได้จากการเก็บข้อมูลในปัจจุบัน และ E_i คือ ค่าเฉลี่ยของแต่ละสเปกตรัมที่ได้จากขั้นตอนการสร้างมาตรฐาน นำผลลัพธ์ของแต่ละแกนมาเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักและทำการเฉลี่ยแบบ Exponential Smoothing จากนั้นเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานที่ระดับความเชื่อมั่น 80% 85% 90% หรือ 95% ว่าเกินค่ามาตรฐานหรือไม่

7. สร้างหน้าจอแสดงผลการเปรียบเทียบค่าปัจจุบันที่ได้ผ่านการเฉลี่ยแบบ Exponential Smoothing มาแล้วกับค่ามาตรฐานและติดตั้งบริเวณโรงงานและมีการส่งข้อความแจ้งเตือนผ่านทาง Line Notification

8. สร้าง Mobile Application สำหรับแจ้งเตือนการทำงานผิดปกติของเครื่องจักรและทดลองการใช้งานจริง

จากขั้นตอนการดำเนินงานทั้ง 8 ขั้นตอนที่ได้กล่าวไปแล้วข้นต้น สามารถกำหนดระยะเวลาในการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนดังตารางที่ 1.1 และ 1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานของภาคเรียนที่ 1

ระยะเวลาดำเนินงาน / ขั้นตอนการดำเนินงาน	สิงหาคม 2563				กันยายน 2563				ตุลาคม 2563				พฤศจิกายน 2563				ธันวาคม 2563			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1. ศึกษาปัญหาโปรแกรมและอุปกรณ์ที่ใช้	←	—	—	—	→															
2. เขียนโปรแกรม Arduino และทดลองโปรแกรมกับเครื่องจักร						←	—	—	—	→										
3. เก็บข้อมูลจริงที่โรงงานจากนั้นเก็บข้อมูลที่ได้ไว้ใน Firebase										←	—	—	—	→						
4. เขียนโปรแกรม Python ส่งข้อมูลสเปกตรัมทั้งหมดจาก Firebase ไปไว้ใน MS Excel เพื่อสร้างเกณฑ์มาตรฐาน														←	—	—	—	—	—	→

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 1.2 ขั้นตอนการดำเนินงานของภาคเรียนที่ 2

ระยะเวลาดำเนินงาน / ขั้นตอนการดำเนินงาน	มกราคม 2564				กุมภาพันธ์ 2564				มีนาคม 2564				เมษายน 2564			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
5. สร้างจอแสดงผลการเปรียบเทียบค่าปัจจุบันกับค่ามาตรฐานและติดตั้งบริเวณโรงงาน และสร้างการแจ้งเตือนผ่านทาง Line Notification	←	—	—	—	—	→										
6. สร้าง Mobile Application สำหรับแจ้งเตือนการทำงานผิดปกติของเครื่องจักรและทดลองการใช้งานจริง					←	—	—	—	—	→						
7. จัดทำรูปเล่มโปรเจค										←	—	—	—	—	—	
8. นำเสนอโปรเจค																↔

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเรื่องการสร้างระบบแจ้งเตือนล่วงหน้าสำหรับการบำรุงรักษาเครื่องจักรด้วยวิธีการทางสถิติ ดังแสดงในหัวข้อต่อไปนี้

2.1 การทดสอบไคสแควร์ (Chi-Square Test)

2.2 การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform: FFT)

2.3 การบำรุงรักษา (Maintenance)

2.4 การสั่นสะเทือน (Vibration)

2.5 เซ็นเซอร์วัดความเร่ง (Acceleration Sensor)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทดสอบไคสแควร์ (Chi-Square Test)

เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลที่ใช้กับข้อมูลเชิงคุณภาพ หรือข้อมูลเชิงปริมาณที่แบ่งเป็นช่วง และข้อมูลไม่จำเป็นต้องมีการแจกแจงแบบปกติ ตัวเลขที่นำมาวิเคราะห์ในการทดสอบไคสแควร์เป็นความถี่ของแต่ละระดับของตัวแปรที่ต้องการศึกษา ใช้สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาจากการนับ (Counts) เช่น ข้อมูลเพศ จัดเป็นข้อมูลกลุ่มหรือข้อมูลจำแนกประเภท (Categorical Data) แบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่มเพศชาย (Male) และกลุ่มเพศหญิง (Female) หรือ ข้อมูลการสูบบุหรี่ของผู้ป่วย แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ เช่น กลุ่มที่สูบบุหรี่ (Smokers) และกลุ่มที่ไม่สูบบุหรี่ (Nonsmokers) จำนวนสมาชิกในแต่ละกลุ่มบอกได้ด้วยการนับแล้วสรุปเป็นค่าความถี่ (Frequency) หรือค่าสัดส่วนของจำนวนสมาชิกในกลุ่มเทียบกับจำนวนสมาชิกทั้งหมด เรียกเป็นค่าความถี่สัมพัทธ์ (Relative Frequency) หรือสรุปเป็นค่าร้อยละ (Percentages) ของสมาชิกในกลุ่มเมื่อเทียบกับจำนวนสมาชิกทั้งหมด [4]

2.1.1 ข้อมูลที่อยู่ในรูปความถี่

ข้อมูลที่อยู่ในรูปของความถี่แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

1. ข้อมูลจำแนกทางเดียว (One - Way Frequency Table) ข้อมูลจำแนกทางเดียวหรือตารางแจกแจงความถี่แบบทางเดียวเป็นข้อมูลที่จำแนกตามลักษณะใดลักษณะหนึ่งเท่านั้น

2. ข้อมูลจำแนกสองทาง (Two - Way Frequency Table) ข้อมูลจำแนกสองทางหรือตารางแจกแจงความถี่จำแนก 2 ทาง หรือตารางการณ์จร (Contingency Table) หรือตารางไขว้ (Cross Tabulation Table) เป็นข้อมูลเรื่องใดเรื่องหนึ่งซึ่งถูกจำแนกโดย 2 ลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.2 หลักการของการทดสอบไคสแควร์

หลักการของการทดสอบไคสแควร์ คือเปรียบเทียบความถี่ที่ได้จากตัวอย่างหรือเรียกว่าความถี่ที่สังเกตได้ (Observed Frequency) แทนด้วยสัญลักษณ์ O_i กับความถี่ตามทฤษฎีหรือเรียกว่าความถี่คาดหวัง (Expected Frequency) แทนด้วยสัญลักษณ์ E_i ว่ามีความแตกต่างกันมากเกินไปหรือไม่ สมมติว่าข้อมูลที่ศึกษามี k กลุ่ม เลือกตัวอย่างมาจำนวน n จะได้ความถี่ที่สังเกตได้ O_i และ ความถี่คาดหวัง E_i ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูล k กลุ่ม ตัวอย่างจำนวน n

ตัวแปร	1	2	3	...	k	รวม
ความถี่ที่สังเกตได้	O_1	O_2	O_3	...	O_k	n
ความถี่คาดหวัง	E_1	E_2	E_3	...	E_k	n

หมายเหตุ

1. การหาความถี่คาดหวัง E_i ต้องทราบสัดส่วนที่ตั้งไว้ในสมมติฐานแล้วคูณกับผลรวมความถี่ทั้งหมด คือ $E_i = np_i$ หรือ $E_i = np_{io}$
2. $\sum_{i=1}^{k} O_i = \sum_{i=1}^{k} E_i = n$

ตัวสถิติทดสอบ

$$X^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \qquad (2.1)$$

โดยที่ χ^2 แทนตัวสถิติทดสอบไคสแควร์ที่องศาแห่งความเป็นอิสระ k - 1

k แทนจำนวนกลุ่มข้อมูล

ค่าวิกฤต χ^2 ที่องศาแห่งความเป็นอิสระ k – 1

หมายเหตุ

1. ถ้าความถี่ที่ได้จากการสังเกตใกล้เคียงกับความที่คาดหวัง χ^2 จะมีค่าน้อย
2. ถ้าความถี่ที่ได้จากการสังเกตแตกต่างกับความที่คาดหวังมาก χ^2 จะมีค่ามาก
3. การทดสอบ χ^2 จะมีประสิทธิภาพ n ควรมีขนาดมากพอที่ทำให้ค่าคาดหวังในแต่ละช่องมีค่าไม่ต่ำกว่า 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

ในการทดสอบไคสแควร์มีข้อตกลงเบื้องต้น ดังนี้

1. ตัวอย่างแต่ละชุดเป็นตัวอย่างที่ได้จากการสุ่ม

2. ผลที่เกิด (Outcomes) ของตัวอย่างเป็นอิสระต่อกัน (Mutually Independence)

3. ค่าสังเกตแต่ละค่าต้องถูกจัดให้อยู่ในชั้นใดชั้นหนึ่งเท่านั้น

2.1.4 ประเภทของการทดสอบไคสแควร์

การทดสอบไคสแควร์มีจุดประสงค์ของการทดสอบตามลักษณะของข้อมูลจำแนกทางเดียวและข้อมูลจำแนกสองทาง [5]

2.1.4.1 <u>การทดสอบไคสแควร์กับข้อมูลจำแนกทางเดียว</u>

การทดสอบไคสแควร์กับข้อมูลจำแนกทางเดียวเรียกว่าการทดสอบภาวะสารูปสนิทดี (Goodness Of Fit Test) แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

1. การทดสอบสัดส่วนของประชากร k กลุ่ม จุดประสงค์คือ ต้องการทดสอบสัดส่วนของความถี่ในแต่ละกลุ่มว่าเท่ากันหรือไม่ หรือทดสอบสัดส่วนของความถี่ในแต่ละกลุ่มว่าเท่ากับค่าคงที่หรือไม่ เช่น สัดส่วนของนักเรียนที่ขาดเรียนในแต่ละวันเท่ากันหรือไม่ สัดส่วนของนักเรียนที่ชอบเรียนในแต่ละรายวิชาเท่ากันหรือไม่ สัดส่วนของลูกค้าที่ใช้โทรศัพท์ยี่ห้อ Samsung : I-phone : Nokia เท่ากับ 0.6 : 0.3 : 0.2 หรือไม่ ซึ่งถ้าจะทดสอบความเท่ากันของสัดส่วนของประชากร 2 กลุ่มใช้ตัวสถิติทดสอบ Z แต่การทดสอบความเท่ากันของสัดส่วนของประชากรมากกว่า 2 กลุ่ม ใช้ตัวสถิติทดสอบ χ^2 ในการทดสอบ

กำหนด p_i แทนสัดส่วนของประชากรกลุ่มที่ i เมื่อ i = 1,2,3, ... , k

สมมติฐานเชิงสถิติ

H_0: $p_1 = p_2 = p_3 = \ldots = p_k = \frac{1}{k}$

H_1: $p_i = p_j$ อย่าง 1 คู่ เมื่อ $i \neq j$

หรือถ้ามีค่าสัดส่วนที่คาดไว้ (p_0) สมมติฐานเชิงสถิติเป็นดังนี้

H_0: $p_1 = p_{10}$, $p_2 = p_{20}$, $p_3 = p_{30}$,..., $p_k = p_{k0}$ หรือ H_0: $p_1 : p_2 : p_3 : \ldots p_k = p_{10} : p_{20} : p_{30} :\ldots p_{k0}$

H_1: $p_i \neq p_{i0}$ อย่างน้อย 1 คู่ เมื่อ i = 1, 2,..., k

ตัวสถิติทดสอบ

$$X^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \qquad (2.2)$$

โดย O_i แทนความถี่ที่ได้จากการสังเกต

E_i แทนความถี่คาดหวังหรือตามทฤษฎีและ $E_i = np_i$

k แทนจำนวนกลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

n แทนจำนวนตัวอย่าง

ค่าวิกฤติ $\chi^2_{1-\alpha,k-1}$

2. การทดสอบการแจกแจงของประชากร การทดสอบสมมติฐาน ตัวสถิติทดสอบที่ใช้ขึ้นอยู่กับการแจกแจงของข้อมูลหากทราบว่าข้อมูลมีการแจกแจงลักษณะใด จะทำให้สามารถเลือกใช้ตัวสถิติทดสอบได้ถูกต้องตามข้อจำกัดของวิธีการทดสอบนั้น ๆ ซึ่งการทดสอบ χ^2 เป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยทำให้ทราบว่าข้อมูลชุดนั้นมีการแจกแจงแบบใด

สมมติฐานเชิงสถิติ

H_O: ข้อมูลมีการแจกแจงแบบที่ต้องการ

H_1: ข้อมูลไม่มีการแจกแจงแบบที่ต้องการ

ตัวสถิติทดสอบ

$$X^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \tag{2.3}$$

โดย O_i แทนความถี่ที่ได้จากการสังเกต

E_i แทนความถี่คาดหวังหรือตามทฤษฎีและ $E_i = np_i$

k แทนจำนวนกลุ่ม

ค่าวิกฤติ $\chi^2_{1-\alpha,k-1-m}$ เมื่อ m แทนจำนวนพารามิเตอร์ที่ประมาณ (จาก H_0)

หมายเหตุ

- ในกรณีที่มีความถี่คาดหวัง E_i บางค่าต่ำกว่า 5 อาจจะรวมความถี่ของกลุ่มที่มีค่า E_i น้อยเข้ากับความถี่ของกลุ่มที่อยู่ติดกันหรือรวมกลุ่มที่มีลักษณะใกล้เคียงกันเป็นกลุ่มเดียวกัน เพื่อให้ E_i มีค่ามากกว่า 5 ซึ่งจะทำให้จำนวนกลุ่มลดลง (k ลดลง) จึงมีผลทำให้ df ลดลงด้วย

- ในกรณีที่ระดับของข้อมูลมี 2 ระดับ (k = 2) องศาความเป็นอิสระของการทดสอบจะเหลือเพียง 1 จะมีผลทำให้ค่า χ^2 มีจำนวนสูงกว่าที่ควรจะเป็น Frank Yate เสนอให้ปรับค่า χ^2 เป็นดังนี้

$$X^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{(|O_i - E_i| - 0.05)^2}{E_i} \tag{2.4}$$

แต่ถ้าขนาดตัวอย่าง $n \geq 50$ ก็ไม่จำเป็นต้องปรับค่า χ^2

2.1.4.2 <u>การทดสอบไคสแควร์กับข้อมูลจำแนกสองทาง</u>

การทดสอบไคสแควร์กับข้อมูลจำแนกสองทางเรียกว่าการทดสอบความเป็นอิสระ (Testing Of Independence) เป็นวิธีการที่ใช้ทดสอบสมมติฐานการวิจัยที่เกี่ยวกับความเป็นอิสระของตัวแปรสองตัว หรือความสัมพันธ์ของตัวแปรสองตัวว่าเกี่ยวข้องกันหรือไม่ เช่น สนใจศึกษาความสัมพันธ์ของรายได้กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

อายุ ความสัมพันธ์ของประเภทสินค้าที่ขายได้กับรายรับ ความเป็นอิสระของน้ำหนักเด็กแรกเกิดกับปริมาณการสูบบุหรี่ของแม่ขณะตั้งครรภ์ หรือความสัมพันธ์ของยี่ห้อรถยนต์ที่ใช้กับอาชีพ เป็นต้น ในกรณีที่ข้อมูลเรื่องใดเรื่องหนึ่งถูกจำแนกโดยตัวแปร 2 ตัวแปร ซึ่งโดยทั่วไปข้อมูลที่นำมาทดสอบจะเป็นข้อมูลจำแนก 2 ทาง โดยตัวแปรที่ 1 จะแบ่งเป็น r กลุ่ม (Row) และ ตัวแปรที่ 2 จะแบ่งเป็น c กลุ่ม (Column) เราจะเรียกตารางนี้ว่าตารางการณ์จรขนาด r * c (r * c Contingency Table) โดยข้อมูลที่วิเคราะห์อยู่ในรูปแบบตารางที่ 2.2 ดังนี้

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลจำแนก 2 ทาง

ตัวแปรที่ 1	ตัวแปรที่ 2					
	1	2	3	...	c	รวม
1	O_{11}	O_{12}	O_{13}	...	O_{1c}	r_1
2	O_{21}	O_{22}	O_{23}	...	O_{2c}	r_2
...	...	...	...	...	...	...
r	O_{r1}	O_{r2}	O_{r3}	...	O_{rc}	r_r
รวม	c_1	c_2	c_3	...	c_c	$\sum r_i = \sum c_j = n$

เมื่อ O_{ij} แทนความถี่ของตัวแปรที่ 1 กลุ่ม i และตัวแปรที่ 2 กลุ่ม j ; i = 1,...,r, j = 1,...,c

r_i แทนความถี่รวมของตัวแปรที่ 1 กลุ่ม i ; I = 1,...,r

c_j แทนความถี่รวมของตัวแปรที่ 2 กลุ่ม j ; j = 1,...c

และ ความถี่รวมทั้งหมด = $n = \sum r_i = \sum c_j = \sum\sum O_{ij}$

หมายเหตุ ถ้าตัวแปรที่ 1 มี 2 กลุ่ม และตัวแปรที่ 2 มี 2 กลุ่ม เรียกตารางการณ์จรขนาด 2 * 2

สมมติฐานเชิงสถิติ

H_0: ตัวแปรที่ 1 เป็นอิสระกับตัวแปรที่ 2

H_1: ตัวแปรที่ 1 ไม่เป็นอิสระกับตัวแปรที่ 2

หรือ

H_0: ตัวแปรที่ 1 ไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ 2

H_1: ตัวแปรที่ 1 มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ 2

หรือ

H_0: ตัวแปรที่ 1 ไม่มีผลต่อตัวแปรที่ 2

H_1: ตัวแปรที่ 1 มีผลต่อตัวแปรที่ 2

หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

H_0: ตัวแปรที่ 1 ไม่ขึ้นกับตัวแปรที่ 2

H_1: ตัวแปรที่ 1 ขึ้นกับตัวแปรที่ 2

ตัวสถิติทดสอบ

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{c} \frac{(O_{ji} - E_{ji})^2}{E_{ji}} \qquad (2.5)$$

โดย χ^2 คือไคสแควร์ที่องศาแห่งความเป็นอิสระ (r-1)(c-1)

O_{ij} แทนความถี่ที่ได้จากการสังเกตในcell (i,j)

E_{ij} แทนความถี่คาดหวังในcell (i,j)

หมายเหตุ

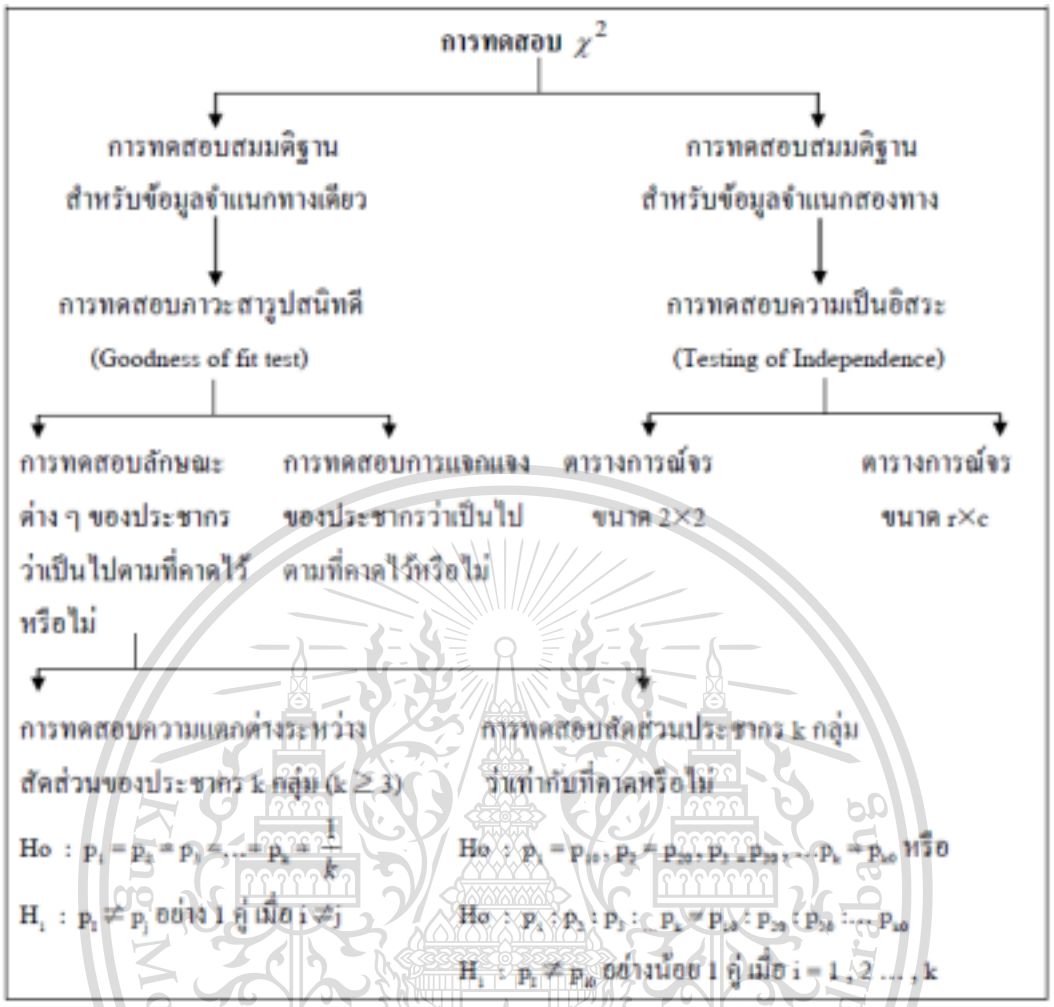
- การหา E_{ij} ต้องหาค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ในแต่ละแถวในสดมภ์ที่ j คือถ้า H_O เป็นจริงแล้วจะมีค่าเท่ากับ $\frac{c_i}{n}$ และ จำนวนความถี่ที่ได้จากการสังเกตใน cell (i,j) ควรจะมีค่าใกล้เคียงกับขนาดของตัวอย่างชุดที่ i (r_i) คูณกับ $\frac{c_i}{n}$ ดังนั้น $E_{ij} = \frac{r_i c_i}{n}$

เมื่อ r_i แทนความถี่รวมของตัวแปรที่ 1 กลุ่ม i ; i = 1,...,r

c_j แทนความถี่รวมของตัวแปรที่ 2 กลุ่ม j ; j = 1,...c

ค่าวิกฤติ $\chi^2_{1-\alpha,(r-1)(c-1)}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.1 ภาพรวมของการทดสอบไคสแควร์

2.2 การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform: FFT)

การวัดสัญญาณต่าง ๆ ในงานทางวิศวกรรม ส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณตามเวลาที่เปลี่ยนไป แต่ในบางครั้งเมื่อต้องการทราบสัญญาณเดียวกันนี้ที่พิจารณาในแกนอ้างอิงเทียบทางความถี่ ซึ่งในทางงานเครื่องจักรกลถือเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ในการวินิจฉัยความเสียหายในเครื่องจักร และจากความก้าวหน้าทางเทคนิคในการประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing) ทำให้ปัจจุบันสามารถตรวจพบความเสียหายที่ก่อตัวในเครื่องจักรแต่เนิ่น ๆ ได้ โดยอาศัยการวิเคราะห์สัญญาณความสั่นสะเทือนจากเครื่องจักร อีกทั้งสามารถระบุชัดลงไปได้ว่าเกิดความเสียหายที่ชิ้นส่วนใดในเครื่องจักร

ในปี ค.ศ.1763- 1830 J.B.I Fourier ได้เสนอวิธีการเพื่อช่วยแก้ปัญหาคณิตศาสตร์โดยอาศัยการแปลงฟังก์ชันจากโดเมนเวลา (Time Domain) มาเป็นโดเมนความถี่ (Frequency Domain) เมื่อหาคำตอบในโดเมนความถี่ได้สามารถแปลงกับมาเป็นโดเมนเวลาได้ Fourier ได้เสนอว่าฟังก์ชันใด ๆ ที่เป็นรายคาบในช่วงเวลาหนึ่งสามารถเขียนแทนด้วยผลรวมของคลื่นรูปไซน์ความถี่มูลฐานและคลื่นรูปไซน์ที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ความถี่สูงขึ้นโดยมีค่าความถี่เป็นจำนวนเท่าที่เป็นเลขจำนวนเต็มของความถี่มูลฐาน คลื่นรูปไซน์ที่มีความถี่สูงขึ้นนี้เรียกสั้น ๆ ว่าฮาร์มอนิก การแปลงดังกล่าวเรียกว่า Fourier Transform

การแปลงสัญญาณแบบฟูเรียร์เป็นกระบวนการทางคณิตศาสตร์ ที่ทำการแปลงจากโดเมนของเวลา หรือ Waveform มาอยู่ในรูปของโดเมนความถี่ หรือ Spectrum ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญอย่างมาก สำหรับงานวิเคราะห์การสั่นสะเทือนในปัจจุบันทำให้เกิดเครื่องมือวิเคราะห์การสั่นสะเทือนแบบ FFT ซึ่งเป็นเครื่องมือวิเคราะห์การสั่นสะเทือน ที่สามารถวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดกับเครื่องจักรได้อย่างแม่นยำมากขึ้น [6]

2.3 การบำรุงรักษา (Maintenance)

การบำรุงรักษา หมายถึง กิจกรรมหรืองานทั้งหมดที่กระทำต่อเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อรักษาสภาพหรือป้องกันไม่ให้เกิดการชำรุดเสียหาย โดยทำให้อยู่ในสภาพที่พร้อมจะใช้งานได้ตลอดเวลา รวมทั้งช่วยยืดอายุการใช้งานให้ยาวนานขึ้นและเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด หากเครื่องจักรเกิดการขัดข้องกะทันหันหรือไม่สามารถใช้งานได้จะทำให้มีผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพการผลิตและการบริการ การที่จะได้มาซึ่งเครื่องจักรที่มีคุณภาพ ต้องประกอบด้วย

1. มีการออกแบบที่ดีและตรงตามความประสงค์ต่อการใช้งาน มีความเที่ยงตรงแม่นยำ รวมทั้งสามารถทำงานได้เต็มกำลังความสามารถที่ออกแบบไว้
2. มีการผลิต (หรือสร้าง) ที่ให้ความแข็งแรงทนทาน สามารถทำงานได้นานที่สุดและตลอดเวลา
3. มีการติดตั้งในสถานที่ที่เหมาะสมและสะดวกต่อการใช้งาน
4. มีการใช้งานเป็นไปตามคุณสมบัติและสมรรถนะของเครื่อง
5. มีระบบการบำรุงรักษาที่ดีเนื่องจากเครื่องมือเครื่องใช้เมื่อถูกใช้งานไปนาน ๆ จะมีการเสื่อมสภาพ ชำรุด สึกหรอ เสียหายขัดข้อง ดังนั้นเพื่อให้อายุการใช้งานเครื่องมือเครื่องใช้ยืนยาว สามารถใช้งานได้ตามความต้องการของผู้ใช้ ไม่ชำรุดหรือเสียบ่อย ๆ ต้องมีการบำรุงรักษาเครื่องจักรเครื่องมือเครื่องใช้ ในระบบการดำเนินงานจึงจะสามารถควบคุมการทำงานของเครื่องมือได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ การบำรุงรักษา อาจหมายถึง การทำ การดำเนินการ การจัดการกับเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานผลิตหรืองานบริการให้สามารถมีสภาพที่พร้อมจะใช้งานอยู่ตลอดเวลาและทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ โดยความหมายของคำว่า เต็มประสิทธิภาพ หมายถึง ให้เครื่องจักรมีอายุการใช้งานยาวนาน เครื่องจักรมีสมรรถนะสูงตลอดอายุการใช้งานเครื่องจักร พร้อมที่จะใช้งานได้ทุกเวลา มีความคงทน ความปลอดภัยในการใช้งานสูง ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องจักรต่ำ เหตุขัดข้องของเครื่องจักรเป็นศูนย์ Down Time เป็นศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.1 จุดมุ่งหมายของการบำรุงรักษา

1. เพื่อให้เครื่องมือใช้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิผล (Effectiveness) คือ สามารถใช้เครื่องมือเครื่องใช้ได้เต็มความสามารถและตรงกับวัตถุประสงค์ที่จัดหามามากที่สุด

2. เพื่อให้เครื่องมือเครื่องใช้มีสมรรถนะการทำงานสูง (Performance) และช่วยให้เครื่องมือเครื่องใช้มีอายุการใช้งานยาวนาน เพราะเมื่อเครื่องมือได้ใช้งานไประยะเวลาหนึ่งจะเกิดการสึกหรอ ซึ่งถ้าหากไม่มีการปรับแต่งหรือซ่อมแซมเครื่องมืออาจเกิดการขัดข้อง ชำรุดเสียหายหรือทำงานผิดพลาด

3. เพื่อให้เครื่องมือเครื่องใช้มีความเที่ยงตรงน่าเชื่อถือ (Reliability) คือ การทำให้เครื่องมือเครื่องใช้มีมาตรฐาน ไม่มีความคลาดเคลื่อนใด ๆ เกิดขึ้น

4. เพื่อความปลอดภัย (Safety) ซึ่งเป็นจุดมุ่งหมายที่สำคัญ เครื่องมือเครื่องใช้จะต้องมีความปลอดภัยเพียงพอต่อผู้ใช้งาน ถ้าเครื่องมือเครื่องใช้ทำงานผิดพลาด ชำรุดเสียหาย ไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ อาจจะก่อให้เกิดอุบัติเหตุและการบาดเจ็บต่อผู้ใช้งานได้ การบำรุงรักษาที่ดีจะช่วยควบคุมการผิดพลาด

5. เพื่อลดมลภาวะของสิ่งแวดล้อม เพราะเครื่องมือเครื่องใช้ที่ชำรุดเสียหาย เก่าแก่ ขาดการบำรุงรักษาจะทำให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม เช่น มีฝุ่นละอองหรือไอของสารเคมีออกมา มีเสียงดัง เป็นต้น ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานและผู้ที่เกี่ยวข้อง

6. เพื่อประหยัดพลังงาน เพราะเครื่องมือเครื่องใช้ส่วนมากจะทำงานได้ต้องอาศัยพลังงาน เช่น ไฟฟ้า น้ำมันเชื้อเพลิง ถ้าหากเครื่องมือเครื่องใช้ได้รับการดูแลให้อยู่ในสภาพดี เดินราบเรียบไม่มีการรั่วไหลของน้ำมัน การเผาไหม้สมบูรณ์ จะสิ้นเปลืองพลังงานน้อยลง ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายลงได้

2.3.2 วัตถุประสงค์ของระบบบำรุงรักษาในงานอุตสาหกรรม

1. เพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ หรือเป็นการป้องกันไม่ให้คุณภาพลดต่ำลง ซึ่งมีผลต่อความเชื่อมั่นของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกไปจากโรงงาน โดยการบำรุงรักษาจะช่วยให้เครื่องจักรมีความเที่ยงตรงและแม่นยำ

2. ควบคุมต้นทุนของผลิตภัณฑ์ไม่ให้เพิ่มขึ้นหรือหาหนทางในการลดต้นทุน ซึ่งการเดินเครื่องจักรย่อมมีการลงทุนค่าดำเนินการและค่าซ่อมแซมต่าง ๆ

3. ควบคุม กำหนดการส่งมอบสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ถึงลูกค้าได้ตรงตามเวลาที่เร็วที่สุด เพื่อให้ลูกค้ามีความเชื่อมั่นการทำงานของโรงงาน ถ้ามีการส่งมอบช้า จะหมายถึงต้นทุนต้องเพิ่มขึ้นและอาจจะเสียค่าชดเชยหรือค่าปรับ

4. ป้องกันความสูญเสีย อันเนื่องมาจากสาเหตุต่าง ๆ เช่น การขัดข้องทำให้เครื่องจักดำเนินการได้ไม่เต็มกำลัง หรือเครื่องจักรชำรุดเสียหาย เป็นต้น

5. ป้องกันการเกิดอุบัติเหตุและการบาดเจ็บ อันเนื่องมาจากเครื่องจักรชำรุดเสียหาย หรือดำเนินการผิดพลาดซึ่งหากเกิดอุบัติเหตุเกิดขึ้น และทำให้ผู้ปฏิบัติงานบาดเจ็บก็จะต้องเสียค่าใช้จ่ายต่าง ๆ เช่น เงินชดเชย ค่าประกัน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

6. ประหยัดพลังงาน เครื่องจักรจะทำงานได้ต้องอาศัยพลังงาน เช่น ไฟฟ้า น้ำในเชื้อเพลิง ถ้าหากเครื่องจักรได้รับการดูแลให้อยู่ในสภาพที่ดี ก็จะสิ้นเปลืองพลังงาน หรือกำลังน้อยลง ส่งผลให้ประหยัดค่าใช้จ่าย [7]

2.3.3 ประเภทของการบำรุงรักษา

การบำรุงรักษาสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่

- Breakdown Maintenance (การบำรุงรักษาโดยการซ่อมแซมส่วนที่เสีย)
- Planned/Preventive Maintenance (การบำรุงรักษาตามแผน)
- Predictive Maintenance (การบำรุงรักษาโดยการคาดคะเน)
- Proactive Maintenance (เป็นแนวคิดใหม่โดยการแก้ที่สาเหตุที่แท้จริงของปัญหา)

2.3.3.1 Breakdown Maintenance (การซ่อมบำรุงโดยการซ่อมแซมส่วนที่เสีย)

การบำรุงรักษาวิธีนี้เป็นแนวคิดในงานการบำรุงรักษาที่เก่าแก่ที่สุด ในตำราบางเล่มให้นิยามวิธีการบำรุงรักษาแบบนี้ว่า ดำเนินการโดยไร้การบำรุงรักษา เพราะในความเป็นจริงฝ่ายซ่อมบำรุงจะไม่ต้องปฏิบัติงานใด ๆ จนกว่าจะมีรายงานว่าเครื่องจักรชำรุดใช้งานต่อไปไม่ได้ อย่างไรก็ตามการบำรุงรักษาประเภทนี้มีใช้ในบางสถานการณ์ เช่น ในอาคารที่ไม่สลับซับซ้อนหรือมีอุปกรณ์อะไหล่ทดแทนพร้อมอยู่เสมอหรือสามารถสั่งซื้อได้อย่างทันทีทันใด โดยที่ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการบำรุงรักษาประเภทนี้ ควรน้อยกว่าการประยุกต์ใช้วิธีการบำรุงรักษาแบบอื่น เช่น การบำรุงรักษาหลอดไฟฟ้าที่ปล่อยทิ้งไว้จนหลอดขาดหรือก๊อกน้ำประปาชำรุด ข้อเสียของการบำรุงรักษาประเภทนี้ได้แก่

- ไม่มีสัญญาณใด ๆ บอกเป็นการเตือนล่วงหน้าเมื่อเครื่องจักรเริ่มชำรุด
- ไม่สามารถยอมรับได้ ในระบบที่ต้องการความเชื่อมั่นสูง เช่น ระบบลิฟต์
- ต้องเก็บชิ้นส่วนอะไหล่ไว้เป็นจำนวนมาก หมายความว่ามีค่าใช้จ่ายในการเก็บอะไหล่คงคลังสูง
- ไม่สามารถบรรลุเป้าหมายในการปฏิบัติตามแผนการผลิตได้ตามประสงค์
- ไม่สามารถวางแผนงานในการบำรุงรักษาได้

2.3.3.2 Planned/Preventive Maintenance (การบำรุงรักษาตามแผน)

เพื่อเป็นการแก้ไขข้อบกพร่องในการบำรุงรักษาเมื่อชำรุด ได้มีการพัฒนางานทางด้านการบำรุงรักษาตามแผนขึ้น คือการบำรุงรักษาอาคารและอุปกรณ์ตามระยะเวลาที่กำหนดขึ้นโดยอาจได้มาจากประสบการณ์หรือจากคู่มือการใช้งานของระบบและอุปกรณ์นั้น ๆ อย่างไรก็ตามการชำรุดของอาคารและอุปกรณ์โดยไม่คาดฝันก็ไม่สามาถกำจัดออกไปได้ เพราะว่าในทางสถิติการชำรุดของอาคารและอุปกรณ์ไม่ได้เป็นการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอหรือมีรูปแบบที่แน่นอน ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะเลือกช่วงการบำรุงรักษาตามแผนที่เหมาะสม และในบางกรณีถึงแม้ว่าได้ปฏิบัติการบำรุงรักษาตามแผนแล้ว ก็ยังคงมีโอกาสที่จะเกิดการชำรุดของเครื่องจักร และอุปกรณ์โดยไม่คาดคิดอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ สรุปได้ว่าการบำรุงรักษาแบบนี้จะทำให้เป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการผลิตทั้งทางตรงและทางอ้อม ตัวอย่างการบำรุงรักษาแบบนี้ ได้แก่ การตรวจเช็คระดับน้ำมันลิฟต์โดยสารที่บริเวณช่องตรวจระดับน้ำมัน การเปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ถ่ายน้ำมันตามระยะเวลาการถอดเปลี่ยนชิ้นส่วนที่สำคัญบางชิ้นตามระยะเวลา ปัญหาที่พบเสมอในการทำการบำรุงรักษาตามระยะเวลาคือ การทำการเปลี่ยนชิ้นส่วนบางชิ้นโดยไม่จำเป็น และในบางกรณีอาจจะเป็นการรบกวนชิ้นส่วนอื่นในระบบโดยไม่จำเป็น รวมถึงอาจจะมีการประกอบกลับชิ้นส่วนไม่ถูกต้อง ซึ่งเป็นผลเสียมากว่าผลดี ในช่วงศตวรรษที่ผ่านมาจึงมีวิธีการบำรุงรักษาแบบใหม่เรียกว่า Reliability Centered Maintenance (RCM) โดยมีการดำเนินการ ดังนี้

- ตรวจวิเคราะห์หาอุปกรณ์วิกฤต
- ตรวจสอบอุปกรณ์วิกฤตตามระยะเวลาที่กำหนด
- ถอดอุปกรณ์ออกเพื่อปรับสภาพ
- ถอดเปลี่ยนอุปกรณ์วิกฤต
- ในกรณีของอุปกรณ์ที่ไม่วิกฤต ก็ให้ใช้ต่อไปจนชำรุด
- ในบางกรณีที่จำเป็นให้ทำการออกแบบอุปกรณ์บางชิ้นใหม่

2.3.3.3 Predictive Maintenance (การบำรุงรักษาโดยการคาดคะเน)

เครื่องจักรสมัยใหม่มีกลไกที่ละเอียดและซับซ้อนกว่าเครื่องจักรในสมัยก่อน ๆ รวมทั้งเป็นการยากที่จะทำการถอดเปลี่ยนหรือทำการตรวจเช็คตามจุดที่สำคัญของงานบำรุงรักษาตามแผน (PM) วิธีการในการบำรุงรักษาโดยการคาดคะเนเป็นปรัชญาใหม่ในศาสตร์ของการบำรุงรักษาเครื่องจักร คือการใช้วิธีการหรือเทคนิคใหม่ ๆ ของเครื่องมือวัดชนิดต่าง ๆ เช่น อุปกรณ์ในการวัดแรงสั่นสะเทือน กล้องอินฟาเรดเทอร์โมกราฟฟี เป็นต้น โดยจัดแบ่งการบำรุงรักษาแบบนี้ออกเป็นวิธีย่อย ๆ คือ Vibration Analysis Oil/Wear Particle Analysis Performance Monitoring Temperature Monitoring สามารถทำได้โดย

- การใช้ประสาทสัมผัสของมนุษย์ เช่น ใช้มือสัมผัสความร้อน ใช้ตาตรวจดูการรั่วซึม ใช้หูฟังเสียง ใช้จมูกดมกลิ่น
- เครื่องมือวัดที่มีอยู่ในสินทรัพย์ เช่น เกจวัดความความดัน ทรานสมิเตอร์วัดอุณหภูมิ เครื่องบันทึกอัตราการไหล
- การใช้เทคนิคการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย เช่น การวัดความหนาของท่อหรือถัง การตรวจสอบรอยแยกหรือรอยแตก
- การใช้เครื่องมือพิเศษในการตรวจสอบสภาพ เช่น เครื่องวัดการสั่นสะเทือน กล้องถ่ายภาพความร้อน การวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น

การศึกษาติดตามสภาพเครื่องจักร (Condition Monitoring) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าการติดตามสุขภาพเครื่องจักร (Machine Health Monitoring) จัดว่าเป็นส่วนหนึ่งของการบำรุงรักษาแบบคาดคะเน การทำ CM (Condition Monitoring) หรือ MHM (Machine Health Monitoring) ไม่ใช่สิ่งใหม่ เพราะโดยทั่วไปแล้ววิศวกรหรือผู้ควบคุมเครื่อง ใช้สามัญสำนึกในการบำรุงรักษาเครื่องจักรอยู่แล้ว เช่น การใช้สายตาตรวจดูลักษณะทั่วไป การใช้จมูกดมกลิ่นไหม้ การใช้หูฟังเสียงที่ผิดปกติ และการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

นิ้วสัมผัส (ความร้อน) เป็นต้น อย่างไรก็ตามวิธีการตรวจสอบดังกล่าวเป็นลักษณะการประเมินสภาพเครื่องจักรที่ไม่มีข้อยุติที่แน่นอน ทั้งนี้เนื่องจากความไม่เที่ยงตรงของประสาทสัมผัสของคนแต่ละคน ดังนั้นการใช้เครื่องมือวัดเชิงปริมาณสำหรับการบำรุงรักษาแบบคาดคะเนจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพราะทำให้ได้ข้อสรุปที่ไม่มีการผิดพลาดได้ในการประเมินสภาพของเครื่องจักร ดังนั้นความหมายของ Predictive Maintenance สรุปได้ว่าเมื่อสามารถทราบถึงลักษณะของการชำรุด จึงจะสามารถจัดเตรียมการล่วงหน้าสำหรับแรงงาน ชิ้นส่วนอะไหล่ และกำหนดช่วงเวลาการทำงานที่ไม่ขัดกับแผนการผลิตหลักได้ ในกรณีที่มีการประยุกต์ใช้ Predictive Maintenance ที่เหมาะสมแล้วประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับคือ

- ลดค่าใช้จ่ายการบำรุงรักษา
- ลดสถิติการชำรุดของเครื่องจักรและอุปกรณ์
- ลดเวลาการชำรุดของเครื่องจักรและอุปกรณ์
- ลดปริมาณอะไหล่คงคลังในการบำรุงรักษา
- เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต
- วางแผนการบำรุงรักษาได้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น
- ทำให้การหยุดชะงักในการผลิตน้อยลง

2.3.3.4 Proactive Maintenance (การบำรุงรักษาแบบป้องกันล่วงหน้า)

เป็นวิธีบำรุงรักษาอาคารและเครื่องจักรที่ค่อนข้างใหม่ เพราะแนวคิดดังกล่าวถูกตีพิมพ์ครั้งแรกเมื่อประมาณ ค.ศ. 1985 งานบำรุงรักษาแบบนี้จะมุ่งพิจารณารากของปัญหา (Root Cause of Failure) โดยที่ Root Cause สามารถแบ่งย่อยออกเป็น 6 อย่างคือ

- Chemical Stability
- Physical Stability
- Temperature Stability
- Wear Stability
- Leakage Stability
- Mechanical Stability

เมื่อใดที่มีการไม่สมดุลในระบบของเครื่อง (อาจจะเกิดความไม่มี Stability หนึ่งใน Root Cause ที่กล่าวมาหรืออาจจะมีความไม่สมดุลในระบบมากกว่าหนึ่งสาเหตุก็ได้) ตัวอย่างที่เห็นได้ในระบบไฮดรอลิคคือการที่มีสิ่งสกปรก (Contaminants) หลุดลอดเข้าไปในระบบ ซึ่งอาจเกิดจากการเติมน้ำมันที่สกปรกเข้าไปในระบบ การเสื่อมสภาพของไส้กรองอากาศ การชำรุดเสียหายของซีล และสิ่งสกปรกดังกล่าวก็เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ระบบขาดความสมดุลไป เมื่อวิศวกรหรือผู้ชำนาญได้ทราบถึงสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา (Root Cause) ก็จะทำการแก้ไขให้ระบบกลับคืนสู่สมดุล เช่น ใช้ไส้กรองที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เปลี่ยนซีลที่ขาด หรือทำการกรองน้ำมันที่สงสัยว่ามีสิ่งสกปรกผสมอยู่ เป็นต้น [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4 การสั่นสะเทือน (Vibration)

การสั่นสะเทือน (Vibration) คือ การแกว่งหรือการสั่นของวัตถุรอบ ๆ จุดสมดุล เช่น การแกว่งของลูกตุ้ม การสั่นสะเทือนของปั๊มน้ำ หรือการสั่นสะเทือนของลำโพง เป็นต้น เครื่องจักรหรือมอเตอร์ในอุตสาหกรรมทุกชนิด จะมีการสั่นที่บ่งบอกถึงสภาพของเครื่องจักร ถ้าค่าการสั่นที่วัดได้มีค่าสูง อาจมีสาเหตุมาจากเครื่องจักรเกิดความไม่สมดุลหรือมีชิ้นส่วนใดเคลื่อนหรือหลุดไปจากตำแหน่งปกติ ซึ่งจำเป็นต้องทำการบำรุงรักษา หากปล่อยให้เกิดการสั่นสะเทือนอย่างต่อเนื่องหรือรุนแรงอาจทำให้เครื่องจักรเกิดความเสียหายได้

2.4.1 ประเภทของการสั่นสะเทือน

2.4.1.1 <u>การสั่นสะเทือนแบบอิสระ (Free Vibration)</u>

การสั่นสะเทือนแบบอิสระ คือ ปรากฏการณ์ทางกลที่วัตถุหนึ่งได้รับพลังงาน (พลังงานจลน์ พลังงานศักย์) จากนั้นจึงเกิดการสั่นสะเทือนอย่างอิสระ ตัวอย่างเช่น การดึงเก้าอี้ชิงช้าแล้วปล่อยให้แกว่งอย่างอิสระ การตีระฆังให้มีเสียงดังและสั่น

2.4.1.2 <u>การสั่นสะเทือนแบบบังคับ (Forced Vibration)</u>

การสั่นที่มีแรงกระทำจากภายนอกอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ความถี่ของการสั่นจะเท่ากับความถี่ของแรงกระทำในระบบ แรงกระทำนี้เป็นได้ทั้งแรงเสียดทานหรือหน่วง (Damp) และแรงเสริม (Force) เช่น ผู้ไกวชิงช้าค่อย ๆ ออกแรงสวนทิศทางการแกว่งซึ่งจะทำให้ชิงช้าค่อย ๆ ช้าลง เป็นต้น แต่ถ้าผู้ไกวจะออกแรงเสริมในจังหวะที่พอดีกับการแกว่งของชิงช้า จะทำให้ชิงช้าแกว่งแรงขึ้นและสูงขึ้นเรื่อย ๆ (คาบการให้แรงพอดีกับคาบการสั่นแบบอิสระ) ลักษณะเช่นนี้คือ เรโซแนนซ์

2.4.2 รูปแบบของการสั่นสะเทือน

2.4.2.1 <u>การสั่นสะเทือนโดยอิสระ (Free Body Vibration)</u>

การสั่นสะเทือนที่ทิศทางของการสั่นสะเทือนเป็นไปได้โดยอิสระ ตามทิศทางของแรงที่เกิดขึ้นจากการสั่นสะเทือน โดยไม่มีส่วนที่เป็นวัตถุแข็งแกร่งมาขัดขวางทิศทางของชิ้นส่วนที่สั่นสะเทือนนั้น ๆ

2.4.2.2 <u>การสั่นสะเทือนแบบขบกันหรือเคลื่อนที่ผ่าน (Meshing Or Passing Vibration)</u>

การสั่นสะเทือนของชิ้นส่วนของเครื่องจักรที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อเปรียบเทียบกับจุดอ้างอิงจุดใดจุดหนึ่งที่ชิ้นส่วนที่ทำการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนหมุนหรือเคลื่อนที่ผ่าน

2.4.2.3 <u>การสั่นสะเทือนจากแรงเสียดทาน (Frictional Vibration)</u>

การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากแรงเสียดทานในการหมุนหรือเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักร

2.4.3 สาเหตุที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือน

- ชิ้นส่วนหมุน ไม่สมดุล
- การติดตั้งแบริงรองรับเพลาหมุน บิดงอ
- เฟือง แบริงสึกหรอ ชำรุด เสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- การเยื้องศูนย์กลาง
- การหล่อลื่นไม่เพียงพอ
- การยึดแน่น หลวมคลาย สึกหรอ
- การบิดตัวของชิ้นส่วน
- ฐานแท่นรองบิดเอียง ไม่เรียบ

2.4.4 หน่วยการวัดการสั่นสะเทือน

2.4.4.1 <u>การวัดระยะทางของการสั่นสะเทือน (Displacement)</u>

วัดว่าในการสั่นแต่ละรอบมีระยะเคลื่อนที่ไปจากจุดอ้างอิงเท่า โดยวัดแบบเต็มคลื่น (Peak To Peak) นิยมวัดเป็นมิลลิเมตร (mm) หรือนิ้ว (Inch) มักใช้กับเครื่องจักรที่มีรอบต่ำ ๆ ไม่เกิน 1,200 รอบ/นาที หรือการสั่นสะเทือนที่มีความถี่ไม่เกิน 20 Hz

2.4.4.2 <u>การวัดความเร็ว (Velocity)</u>

วัดว่าในการสั่นแต่ละรอบมีความเร็วเท่าไหร่ โดยวัดแบบ RMS นิยมวัดเป็นมิลลิเมตรต่อวินาที (mm/s) ใช้กับเครื่องจักรที่มีความเร็วรอบมากกว่า 1,200 รอบ/นาที หรือการสั่นสะเทือนที่มีความถี่ระหว่าง 20 Hz - 1,000 Hz

2.4.4.3 <u>การวัดอัตราเร่ง (Acceleration)</u>

วัดการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของความเร็วในการเคลื่อนที่ต่อหน่วยเวลาของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ นิยมวัดเป็นมิลลิเมตรต่อวินาทีกำลังสอง (mm/s^2) มักใช้วัดกับการสั่นสะเทือนที่มีความถี่สูงตั้งแต่ 10 kHz ขึ้นไป [9]

2.4.5 เทคนิคการตรวจสอบการสั่นสะเทือน

2.4.5.1 <u>Proximity Monitoring</u>

- วัด 1 จุด หรือมากกว่าในระบบ
- ติดตั้งตัววัดในแต่ละแบริงเพื่อวัดระยะห่างระหว่างแกนหมุนกับแบริง
- ตรวจสอบค่าสั่นสะเทือนรวมตลอดเวลาว่าปลอดภัยหรือไม่
- วัดเฟสได้
- ทราบว่ามวลกระจายที่ทำให้ไม่สมดุลอยู่ตำแหน่งใด
- เหมาะกับเครื่องจักรขนาดใหญ่และความสำคัญสูง

2.4.5.2 <u>Seismic Monitoring</u>

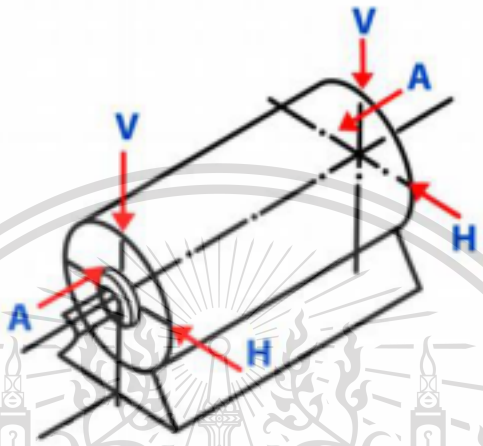
- ติดตั้งเซนเซอร์ที่ผิวด้านนอกของแบริงส่วนที่อยู่กับที่
- วัด Absolute Vibration
- ใช้ในทางปฏิบัติมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4.6 การติดตั้งเครื่องวัดการสั่นสะเทือน

ตำแหน่งในการติดตั้งเครื่องวัดคการสั่นสะเทือนมี 3 ตำแหน่ง ได้แก่

1. จุดวัดในแนวแกน (Axial: A) หรือแนวเดียวกับแกนเพลา
2. จุดวัดในแนวนอน (Horizontal: H) หรือแนวขนานกับพื้น
3. จุดวัดในแนวตั้ง (Vertical: V) หรือแนวตั้งฉากกับพื้น



รูปที่ 2.2 ตำแหน่งในการติดตั้งเครื่องวัดการสั่นสะเทือน

2.4.7 ข้อดีของการตรวจวัดการสั่นสะเทือน

1. ตรวจเช็คการสั่นสะเทือนว่าอยู่ในช่วงที่กำหนดหรือไม่
2. ตรวจเช็คเพื่อบำรุงรักษาก่อนเกิดความเสียหาย
3. ลดความเสียหายของระบบผลิต ที่อาจเกิดจากเครื่องจักรเสียหาย
4. ลดเวลาในการเปลี่ยนเครื่องจักรหรือส่งเครื่องซ่อมเมื่อเครื่องเกิดความเสียหาย [10]

2.5 เซ็นเซอร์วัดความเร่ง (Acceleration Sensor)

เซ็นเซอร์วัดความเร่งเชิงเส้น คืออุปกรณ์ที่ใช้วัดความเร่งหรือการสั่นนสะเทือน ใช้วัดความเร่งในระบบควบคุมตัวทำงานแบบเชิงเส้น เป็นเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว เมื่อเอียงเครื่องไปทางซ้าย ขวา ข้าง หน้า หลัง หรือกลับหัว ก็จะกลับเป็นการแสดงผลหน้าจอให้ตรงกับแนวแกนที่ถืออยู่ นอกจากนี้จะใช้ตัววัดความเร่งเชิงเส้นยังเป็นตัวชี้ว่าอยู่ในสถานะ Static (นิ่งเฉย) หรือ Dynamic (เคลื่อนไหวทันทีทันใดหรือหยุดทันทีทันใด) นั่นทำให้ Acceleration Sensor เป็นเซ็นเซอร์สำหรับบอกสถานะการเอียงได้เป็นอย่างดี (Tilt Sensor) ในทั้ง 3 ทิศ สำหรับแกน X Y และ Z บนอุปกรณ์แอนดรอยด์ใด ๆ [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิเคราะห์การชำรุดของเครื่องจักรนั้นมีนักวิจัยหลายท่านได้นำเสนอรูปแบบวิธีการวิเคราะห์โดยการวัดการสั่นสะเทือนและการวัดเสียง ดังปรากฏในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

ระบบการบำรุงรักษาโดยการคาดคะเน (Predictive Maintenance) เป็นการใช้การประมวลผลข้อมูลเพื่อการพยากรณ์ มีการวัดค่าตัวเลขและมีการเปรียบเทียบข้อมูลตัวเลข เพื่อประมาณกำหนดการและส่วนของการชำรุดที่อาจเกิดขึ้น เพื่อให้สามารถจัดเตรียมล่วงหน้าได้อย่างแม่นยำ สำหรับแรงงาน ชิ้นส่วน อะไหล่และแผนการผลิตที่อาจมีผลกระทบ [1][2] ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) เป็นการบำรุงรักษาเครื่องจักรตามระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งอาจจะได้มาจากประสบการณ์หรือจากคู่มือการใช้งานของระบบและอุปกรณ์นั้น ๆ อย่างไรก็ตามการชำรุดของเครื่องจักรและอุปกรณ์โดยไม่คาดคิดนั้นไม่สามารถกำจัดให้หมดไปได้ เพราะในทางสถิติการชำรุดของเครื่องจักรและอุปกรณ์ไม่ได้มีการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอหรือมีรูปแบบการกระจายตัวที่แน่นอน ดังนั้นจึงยากในการวางแผนช่วงการบำรุงรักษาที่เหมาะสม และในบางกรณีแม้จะทำการบำรุงรักษาตามแผนแล้วก็มีโอกาสเกิดการชำรุดของเครื่องจักรและอุปกรณ์โดยไม่คาดคิดอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นการบำรุงรักษาแบบนี้จึงเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการผลิตทั้งทางตรงและทางอ้อม ปัญหาที่พบในการทำการบำรุงรักษาเชิงป้องกันคือ มีการเปลี่ยนชิ้นส่วนบางชิ้นโดยไม่จำเป็น และในบางกรณีอาจเป็นการรบกวนชิ้นส่วนอื่น ๆ ในระบบ รวมถึงอาจมีการประกอบกลับชิ้นส่วนไม่ถูกต้อง ซึ่งนับว่าเป็นผลเสียมากกว่าผลดี [12] และเมื่อเปรียบเทียบกับระบบการบำรุงรักษาแบบเดิมคือการซ่อมบำรุงโดยการซ่อมแซมส่วนที่เสีย (Breakdown Maintenance) ซึ่งการบำรุงรักษารูปแบบนี้เหมาะสำหรับเครื่องจักรที่มีขนาดเล็ก เมื่อเสียหายแล้วไม่มีผลกระทบต่อกระบวนการผลิต และค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงไม่สูงหรือซื้อเครื่องจักรใหม่คุ้มค่ามากกว่าการซ่อมบำรุง [13]

การตรวจจับความผิดปกติของการทำงานของเครื่องจักรโดยการตรวจจับการสั่นสะเทือนเมื่อเปรียบเทียบกับการตรวจจับด้วยเสียงแล้ว จะมีความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้มากกว่า เนื่องจากเซ็นเซอร์ตรวจจับการสั่นสะเทือนจะติดตั้งอยู่ที่ตัวเครื่องจักรโดยตรง สามารถตรวจจับการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรได้โดยไม่มีปัจจัยภายนอกมารบกวนซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ผลจากการวัดเกิดความผิดพลาด [5] และเซ็นเซอร์วัดการสั่นจะให้ผลลัพธ์ของค่าการสั่นสะเทือนทั้งหมด 3 แกน ซึ่งถ้าหากใช้เซ็นเซอร์วัดเสียงอาจมีปัจจัยภายนอกรบกวนค่าที่วัดได้จากเครื่องจักร เช่น เสียงการทำงานของคนงาน เสียงของรถยนต์และเสียงจากอุบัติเหตุ เป็นต้น ทำให้ผลที่วัดได้มีความผิดพลาดเกิดขึ้น [14][15] ซึ่งโดยทั่วไปเครื่องมือสำหรับการตรวจจับการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรแบบสำเร็จรูปมีราคาแพง การที่จะนำมาใช้กับเครื่องจักรในโรงงานจึงมีค่าใช้จ่ายในการซื้อและติดตั้งเครื่องมือสูง ทางคณะผู้จัดทำจึงคิดนำเซ็นเซอร์วัดความเร่ง (Acceleration Sensor) มาใช้ในการตรวจวัดการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร ซึ่งมีราคาต่ำกว่า สามารถติดตั้งในโรงงานได้ด้วยตนเองและสามารถติดตั้งได้หลายเครื่องจักร [16][17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรชนิดหมุนโดยใช้เซ็นเซอร์ ทำให้คาดการณ์ในการซ่อมบำรุงเครื่องจักรก่อนที่เครื่องจักรจะพังได้ ซึ่งเป็นการบำรุงรักษาเชิงคาดคะเน อุปกรณ์ที่จะทำการตรวจสอบการสั่นสะเทือน ได้รับการพัฒนาโดยมีโหมดต่าง ๆ ของความผิดพลาดของเครื่องจักร ในลักษณะที่เกิดความผิดพลาดของเครื่องจักรโดยทั่วไป หลังการทดสอบพบว่าสัญญาณของการสั่นแบบพื้นฐานอยู่ในช่วงที่ปลอดภัยตามแผนภูมิความรุนแรงของการสั่นสะเทือน จากนั้นตามการออกแบบการทดลองความผิดพลาดต่าง ๆ จะถูกกระตุ้นในอุปกรณ์ทดสอบตามลำดับสัญญาณการสั่นสะเทือนจะถูกดึงออกมา จากลักษณะการโค้งของสเปกตรัมทั้งหมดพบว่า ค่าความเร็วของสเปกตรัมจะเพิ่มขึ้นหลังจากถึงความเร็ว 800 รอบต่อนาที ในการเปรียบเทียบสเปกตรัมการสั่นของความผิดปกติของเครื่องจักรทั้งหมดความไม่สมดุลทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่สูงขึ้นในทุกสภาวะ สำหรับค่าของสเปกตรัมที่ความเร็ว 1,000 รอบต่อนาทีนั้นสูงกว่าสภาวะที่ผิดปกติ เมื่อทำการเปรียบเทียบกับสภาพที่ปกติพบว่าค่าความเร็วจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อการจัดแนวเพิ่มขึ้นจาก 0 มม. เป็น 2 มม. [18]

การศึกษาความผิดปกติที่ไม่สมดุลของเครื่องจักรชนิดหมุนโดยใช้เครื่องมือราคาประหยัดในการวินิจฉัยนั้นก็คือเครื่องวัดความเร่ง MEMS (Microelectromechanical Systems) แบบสามแกน อุปกรณ์ MEMS นั้นสามารถวัดและช่วยในการวินิจฉัยความผิดปกติประเภทนี้ในเครื่องจักรชนิดหมุนได้ โดยทำการวินิจฉัยจากความถี่และแอมพลิจูดของการสั่นของเครื่องจักรเมื่อเกิดความผิดปกติจากแต่ละสาเหตุ ยกตัวอย่างเช่น แบริง แหล่งพลังงาน การสะสมมวล และอื่น ๆ ซึ่งความผิดปกติจากชิ้นส่วนแต่ละชิ้นนั้นจะมีลักษณะการสั่นที่เป็นแบบเฉพาะของแต่ละชิ้นเอง ทำให้สามารถวินิจฉัยได้ว่าการสั่นของเครื่องจักรที่ผิดปกตินั่นเกิดจากอะไร การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนส่วนใหญ่มักจะดำเนินการในโดเมนของความถี่โดยใช้อัลกอริทึม FFT (Fast Fourier Transform) การวิเคราะห์สเปกตรัมจะเปรียบเทียบระหว่างสเปกตรัมของปัจจุบันกับสเปกตรัมที่ถูกกำหนดเป็นมาตรฐานหรือสเปกตรัมที่เป็นแบบอ้างอิง เครื่องจักรชนิดหมุนขนาดของความผิดปกติถูกวัดโดยมีความผิดพลาดเฉลี่ย 11.1% และมีความผิดพลาดสูงสุดอยู่ที่ 18.1% ความผิดพลาดระหว่างค่าที่วัดได้และค่าจากการคำนวณเกิดจากความไม่ตรงแนวเล็กน้อยของชิ้นส่วนในชุดประกอบ [19]

การวินิจฉัยความผิดปกติของมอเตอร์คอมมิวเตเตอร์ (CM) โดยได้ทำการพิจารณา 5 สถานะของมอเตอร์คอมมิวเตเตอร์ ได้แก่ มอเตอร์คอมมิวเตเตอร์ที่สภาพดี มอเตอร์คอมมิวเตเตอร์ที่มีขดลวดโรเตอร์หัก มอเตอร์คอมมิวเตเตอร์ที่มีขดลวดสเตเตอร์ที่ลัดวงจร มอเตอร์คอมมิวเตเตอร์ที่มีฟันเฟืองหัก และมอเตอร์คอมมิวเตเตอร์ที่มีระบบเฟืองเสียหาย มีการอธิบายและใช้วิธีการแยกคุณลักษณะการเลือกแอมพลิจูดของความถี่แบบขยาย 8 กลุ่ม (MSAF-15-MULTIEXPANDED-8-GROUPS) มีวิธีการจำแนก ได้แก่ Nearest Neighbor (NN) Nearest Mean (NM) Self-Organizing Map (SOM) และ Backpropagation Neural Network (BNN) วิธีเหล่านี้ได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์อะคูสติกของมอเตอร์คอมมิวเตเตอร์ งานวิจัยแสดงผลการวิเคราะห์เสียงของมอเตอร์คอมมิวเตเตอร์ โดยผลลัพธ์มีอัตราการรับรู้ที่ดี คือมีผลการวิเคราะห์อะคูสติกอยู่ในช่วง 88.4–94.6% ซึ่งแบบ Nearest Mean (NM) และ MSAF-15-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

MULTIEXPANDED-8-GROUPS ให้ผล TE_{CRM} = 94.6% การดำเนินการตามเทคนิคการวินิจฉัยข้อบกพร่องที่เสนอมีต้นทุนต่ำ มอเตอร์ไฟฟ้าหมุนประเภทอื่น ๆ เช่น มอเตอร์กระแสตรง มอเตอร์ซิงโครนัส และมอเตอร์เหนี่ยวนำ สามารถวินิจฉัยโดยใช้การวิเคราะห์อะคูสติกได้ ข้อได้เปรียบของการวินิจฉัยความผิดปกติแบบอะคูสติก คือ เป็นการวัดแบบไม่ต้องเข้าไปถึงตัวเครื่องจักร เช่น สามารถวัดสัญญาณอะคูสติกได้ห่าง 2 เมตรจากเครื่อง แต่เทคนิคการวินิจฉัยความผิดปกติแบบอะคูสติกที่นำเสนอมีข้อจำกัด คือ หากมอเตอร์ทำงานเงียบเกินไปทำให้ยากที่จะใช้เทคนิคและไมโครโฟนตามที่เสนอ อย่างไรก็ตามเทคนิคการวินิจฉัยข้อบกพร่องที่ใช้เสียงอะคูสติกที่นำเสนอนั้นเหมาะสมกับสัญญาณอะคูสติกของมอเตอร์หมุนและสัญญาณอะคูสติกประเภทอื่น ๆ เช่น สัญญาณอะคูสติกของเครื่องยนต์ ซึ่งเทคนิคการวินิจฉัยข้อบกพร่องที่ใช้เสียงอะคูสติกสามารถนำมาขยายเพื่อตรวจจับข้อบกพร่องที่ซับซ้อนมากขึ้นได้ การวินิจฉัยความผิดปกติจากการสั่นสะเทือนจะคล้ายกันแต่ต้องวางอุปกรณ์วัดไว้ใกล้กับเครื่อง โดยสัญญาณสั่นสะเทือนมีการรบกวนน้อยกว่าสัญญาณอะคูสติก [20]

การตรวจสอบสภาพอัตโนมัติของเครื่องจักรชนิดหมุน มักใช้สัญญาณการสั่นสะเทือนสำหรับการตรวจจับข้อบกพร่อง การวินิจฉัย และการคาดคะเนอายุการใช้งานที่เหลือ ในงานวิจัยนี้ใช้สัญญาณเสียงอะคูสติก (<25 kHz) ที่ได้มาจากเซ็นเซอร์ไมโครโฟนแบบไม่สัมผัส เพื่อทำนายอายุการใช้งานที่เหลืออยู่ (RUL) โดยการวิเคราะห์ Modulation Spectral (MS) ของสัญญาณอะคูสติกมีศักยภาพในการให้ข้อมูลระยะยาวเพิ่มเติมมากกว่าส่วนประกอบสเปกตรัมสัญญาณระยะสั้นทั่วไป อย่างไรก็ตามคุณลักษณะ MS มีข้อจำกัดในการใช้ในงานวิจัย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีการเสนอแนวทางใหม่ซึ่งใช้วิธีการทางทฤษฎีข้อมูลเพื่อนำเสนอคุณลักษณะย่อยของการวิเคราะห์ Modulation Spectral (MS) โดยวิธีนี้ไม่ต้องการข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งสเปกตรัมของความถี่ที่มีข้อบกพร่อง เพื่อให้ทราบหรือประมาณไว้ล่วงหน้าและใช้ประโยชน์จากข้อมูลเกี่ยวกับลำดับเวลาของตัวอย่างข้อมูลสำหรับการลดมิติ ซึ่งผลจากการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงที่สำคัญสำหรับแนวทางที่นำเสนอเมื่อเทียบกับแนวทางอื่น ๆ ที่ใช้สเปกตรัมทั่วไปในการทำนาย RUL มากกว่าถึง 19% และการปรับปรุงเพิ่มเติมอีก 16% ทำได้โดยใช้วิธีการที่เข้มงวดมากขึ้นในการแยกชุดตัวอย่างอะคูสติกที่ได้มาตลอดอายุการใช้งานของเครื่องจักร โดยใช้วิธีการแยกชุดข้อมูลแบบระดับความยาวคงที่ (Fixed Length Class Labeling) รายละเอียดของการวิเคราะห์การจำแนกประเภทที่ไม่ถูกต้อง มีไว้เพื่อตีความต้นทุนสัมพัทธ์ของข้อผิดพลาดของระบบสำหรับการทำนายอายุการใช้งานคงเหลือของเครื่องจักรหมุนที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม แม้ว่าการตรวจจับและวินิจฉัยข้อบกพร่องจะมีประโยชน์ในงานอุตสาหกรรมบางประเภท แต่ความสามารถในการทำนาย RUL สามารถบ่งชี้ให้ผู้ปฏิบัติงานทราบเมื่อการชำรุดใกล้เข้ามา ความรู้ดังกล่าวสามารถช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถเปลี่ยนชิ้นส่วนเวลาให้ตรงกับการบำรุงรักษาตามกำหนดเวลาได้อย่างสม่ำเสมอและลดต้นทุนการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับการชำรุดของเครื่องจักร ในการกำหนด RUL ของเครื่องให้ประสบความสำเร็จเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือและลดเวลาหยุดทำงานของเครื่องจำเป็นต้องใช้เทคนิคที่ซับซ้อน เช่น การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนและสัญญาณรบกวนอะคูสติก การใช้การวัดสัญญาณรบกวนอะคูสติกตรงข้ามกับสัญญาณการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สั่นสะเทือนที่ใช้กันทั่วไปมีประโยชน์อย่างยิ่งเนื่องจากช่วยให้สามารถตรวจสอบเครื่องจากระยะไกลได้โดยไม่ต้องสัมผัส โดยผลการศึกษาที่อธิบายไว้ในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่ามีข้อมูลเพียงพอในสัญญาณเสียงอะคูสติกที่จะทำนาย RUL ของเครื่องจักรชนิดหมุนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ชุดข้อมูลที่ใช้ในการศึกษานี้ประกอบด้วยตัวอย่างข้อมูลอะคูสติกที่ได้มาเป็นประจำ ซึ่งรวบรวมจากเครื่องจักรชนิดหมุนหลายเครื่องในรุ่นเดียวกันตลอดอายุการใช้งาน โดยคุณลักษณะของ MS ถูกนำมาใช้อย่างประสบความสำเร็จในแอปพลิเคชันที่ทราบช่วงความถี่ที่สนใจหรือสามารถประมาณล่วงหน้าได้ เนื่องจากชุดคุณลักษณะนี้ให้ข้อมูลทั้งระยะสั้นและระยะยาวเกี่ยวกับสัญญาณที่กำลังวิเคราะห์ อย่างไรก็ตามข้อมูลสำคัญสำหรับการทำนาย RUL มีอยู่หลายที่ในสเปกตรัมทั้งหมด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีการเสนอแนวทางใหม่ที่ใช้คุณสมบัติ MS ที่มีมิติสูงโดยการดำเนินการ MI-FSS ที่อิงตามทฤษฎีข้อมูล วิธีนี้จะลบองค์ประกอบสเปกตรัมที่ไม่เกี่ยวข้องและมีเสียงดัง โดยไม่จำเป็นต้องทราบตำแหน่งสเปกตรัมของความถี่ที่บกพร่องหรือประมาณไว้ล่วงหน้า เพิ่มความแตกต่างระหว่างประเภทที่น่าสนใจ ลดความซ้ำซ้อนของเวกเตอร์คุณลักษณะ และช่วยให้สามารถลดขนาดของคุณสมบัติของชุดข้อมูลที่มิติสูงมากได้ เช่น คุณสมบัติ MS โดยไม่จำเป็นต้องใช้ชุดข้อมูลการฝึกที่มีขนาดใหญ่มาก เวลาในการฝึกหรือค่าโสหุ้ยในการคำนวณสูง [21]

การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนเป็นหนึ่งในเครื่องมือที่พบบ่อยที่สุดในการตรวจสอบสภาพและตรวจจับความผิดปกติในเครื่องจักรไฟฟ้า มีมาตรฐานหลายประการในการตรวจสอบสภาพเครื่องจักร และมองเห็นสถานการณ์ที่ผิดปกติในเครื่องจักรไฟฟ้าด้วยเทคนิคนี้ มาตรฐานปัจจุบันที่ใช้สำหรับการวินิจฉัยความผิดปกติในเครื่องจักรไฟฟ้าโดยการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของแอมพลิจูดการสั่นสะเทือนโดยรวมในสภาวะที่ผิดพลาด งานวิจัยนี้ใช้มอเตอร์แบบอะซิงโครนัสเป็นตัวอย่างและดำเนินการทดสอบจำนวนหลายครั้ง ในขณะที่ศึกษาสถานการณ์ของการสั่นสะเทือนที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมอเตอร์ทำงานในสถานะปกติและสภาวะความผิดปกติของขดลวดสเตเตอร์ เป้าหมายหลัก คือการวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนของเฟรมของมอเตอร์สเตเตอร์ และบรรลุชุดของการวิเคราะห์โดเมนเวลาและการวิเคราะห์โดเมนความถี่ จากการวิเคราะห์ส่วนประกอบ 2f และแถบด้านข้าง (Sidebands) พบว่ามีการเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในสัญญาณการสั่นของมอเตอร์ หลังจากเกิดข้อผิดพลาดในขดลวดสเตเตอร์ ค่าของส่วนประกอบ 2f และค่าเฉลี่ยของแถบด้านข้าง (Sidebands) มีความสัมพันธ์กับสัญญาณการสั่นของมอเตอร์ที่ผิดปกติ แม้ว่าค่าโดยรวมตามมาตรฐาน ISO 10816 จะอยู่ในสภาพดี (โซน A) แน่นอนว่าความเกี่ยวข้องของความสัมพันธ์ระหว่างขดลวดของมอเตอร์ที่ผิดปกติและความถี่ของการสั่นสะเทือนยังคงต้องการการวิจัยเพิ่มเติมเช่นความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ในการสั่นสะเทือนและพารามิเตอร์ของมอเตอร์ [22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสร้างระบบแจ้งเตือนล่วงหน้าสำหรับการบำรุงรักษาเครื่องจักรด้วยวิธีการทางสถิติโดยการใช้เซ็นเซอร์วัดความเร่ง (Acceleration Sensor) ในการตรวจจับการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร โดยใช้การเขียนโปรแกรม Arduino ในการเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์เพื่อให้ได้ข้อมูลค่าความเร่ง จากนั้นแปลงเป็นสเปกตรัมโดยใช้วิธี Fast Fourier Transform และจัดเก็บข้อมูลที่ได้ใน Firebase จากนั้นจึงเขียนโปรแกรม Python ดึงข้อมูลสเปกตรัมจาก Firebase มาสร้างเกณฑ์มาตรฐานของการทำงานปกติของเครื่องจักรโดยใช้ MS Excel และนำข้อมูลที่เก็บได้ใหม่ในปัจจุบันที่ผ่านการวิเคราะห์โดยใช้วิธีการทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบความเหมือนหรือต่างกันของข้อมูลกับเกณฑ์มาตรฐานที่สร้างขึ้น จากนั้นจึงทำการสร้างจอแสดงผลการเปรียบเทียบค่าปัจจุบันกับค่ามาตรฐานและติดตั้งบริเวณโรงงาน และสร้าง Mobile Application และสร้างการแจ้งเตือนผ่าน Line Notification สำหรับพนักงานในการแจ้งเตือนเมื่อเครื่องจักรเริ่มมีอาการผิดปกติ ทางผู้วิจัยจึงสรุปกรอบการดำเนินงานวิจัยไว้ดังรูปที่ 3.1 และได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินการวิจัยออกเป็นหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

3.1 อุปกรณ์แจ้งเตือน

3.2 Arduino Code

3.3 Python Code

3.4 การทดลองอุปกรณ์และสร้างมาตรฐานกับเครื่องจักรที่ภาควิชา

3.5 การติดตั้ง รับค่าและสร้างมาตรฐานการทำงานของเครื่องจักรจริงที่โรงงาน

3.6 การสร้าง Mobile Application

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.1 กรอบการดำเนินการวิจัย

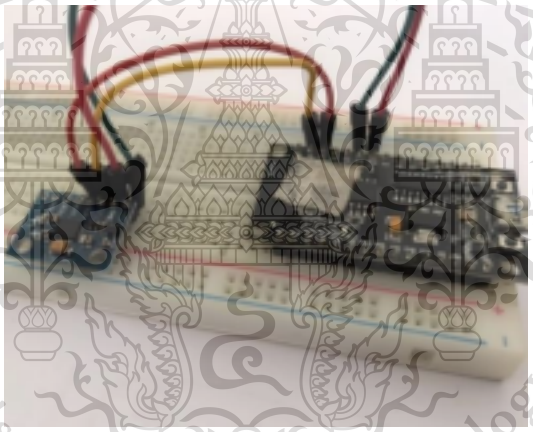
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1 อุปกรณ์แจ้งเตือน

งานวิจัยเรื่องระบบแจ้งเตือนล่วงหน้าสำหรับการบำรุงรักษาเครื่องจักรด้วยวิธีการทางสถิตินี้ ทางผู้วิจัยได้ทำการสร้างอุปกรณ์สำหรับแจ้งเตือนการทำงานผิดปกติของเครื่องทำความเย็นแอมโมเนียคอมเพรสเซอร์ โดยอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วย เซ็นเซอร์วัดความเร่ง (Acceleration Sensor) และ Arduino Board ชนิด ESP8266 ซึ่งอุปกรณ์แจ้งเตือนจะมี 2 ชิ้น คือชิ้นที่ติดตั้งบนเครื่องจักรเพื่อรับค่าความเร่งและชิ้นที่ติดตั้งบริเวณโรงงานคือหน้าจอแสดงผลการเปรียบเทียบค่าในปัจจุบันและค่ามาตรฐานการทำงานปกติของเครื่องจักร ซึ่งทั้ง 2 ชิ้นมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.1 อุปกรณ์ติดตั้งบนเครื่องจักร

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ติดตั้งบนเครื่องจักร ซึ่งประกอบไปด้วย เซ็นเซอร์วัดความเร่ง (Acceleration Sensor) และ Arduino Board ชนิด ESP8266 โดยอุปกรณ์ชิ้นนี้จะทำหน้าที่ในการเก็บค่าความเร่งเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหามาตรฐานของเครื่องจักรต่อไป ซึ่งอุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 3.2 และ 3.3 และมีการเชื่อมต่อวงจรดังแสดงในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.2 การเชื่อมต่อวงจรตรวจวัดความเร่ง

รูปที่ 3.3 กล่องอุปกรณ์ตรวจวัดความเร่ง

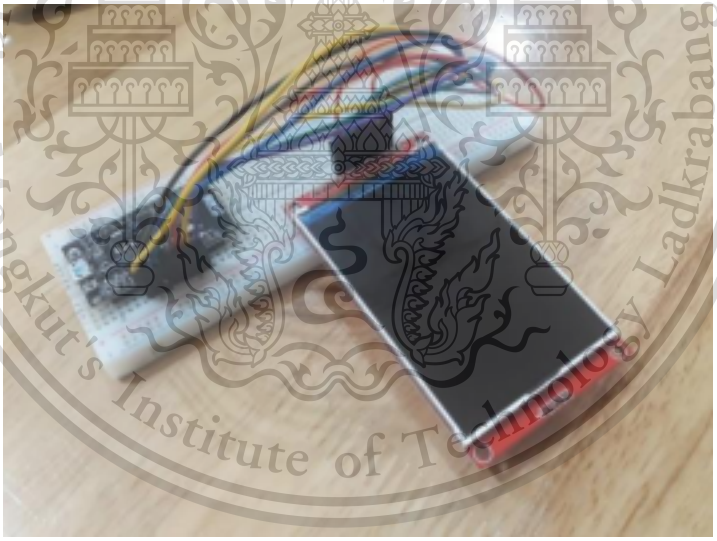
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3.1 การเชื่อมต่อ Arduino Board และ Acceleration Sensor

Arduino Board (ESP8266)	Acceleration Sensor
3V3	VCC
GND	GND
D1	SCL
D2	SDA

3.1.2 อุปกรณ์ติดตั้งบริเวณโรงงานพร้อมจอแสดงผล

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ติดตั้งบริเวณโรงงาน ซึ่งประกอบไปด้วย Arduino Board ชนิด ESP8266 และหน้าจอแสดงผล TFT LCD ชนิด ILI9488 โดยอุปกรณ์ชิ้นนี้จะทำหน้าที่ในการเปรียบเทียบค่าปัจจุบันและค่ามาตรฐาน และทำการแจ้งเตือนแก่พนักงานเมื่อค่าปัจจุบันมากกว่าค่ามาตรฐานในระดับความเชื่อมั่นที่เลือกไว้ ซึ่งอุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 3.4 และมีการต่อวงจรดังแสดงในตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.4 การเชื่อมต่อวงจรแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3.2 การเชื่อมต่อ Arduino Board และ จอ TFT LCD ILI9488 ขนาด 3.5 นิ้ว

Arduino Board (ESP8266)	TFT LCD ILI9488
D8	CS
D7	SDI (MISO)
D6	SDO (MISO)
D5	SCK
GND	GND
3V3	VCC
D4	RESET
D3	DC/RS
-	LED ต่อกับ VCC

3.2 Arduino Code

การเขียนโปรแกรม Arduino จะประกอบไปด้วย 2 ส่วน ส่วนแรกคือ การเขียนโปรแกรม Arduino เชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ความเร่ง ส่วนที่สอง คือ การเขียนโปรแกรม Arduino เชื่อมต่อกับจอ TFT LCD ILI9488 และเชื่อมต่อกับ Line Notification ซึ่งมีรายละเอียดของโปรแกรมดังต่อไปนี้

3.2.1 การเขียนโปรแกรม Arduino เชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ความเร่ง

การเขียนโปรแกรม Arduino เชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ความเร่งโดยสามารถอธิบายการทำงานทั้งหมดได้ดังรูปที่ 3.5 ในโปรแกรมจะประกอบไปด้วยการทำงานดังต่อไปนี้

1. การเก็บค่าความเร่งของเครื่องจักรในแกน x y และ z จำนวนแกนละ 64 ค่า

2. การแปลงค่าความเร่งจาก 64 ค่าเป็นสเปกตรัมจำนวน 32 ค่า โดยใช้ Fast Fourier Transform

3. คำนวณค่าปัจจุบันโดยใช้สมการ Chi-Square

$$X^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \qquad (3.1)$$

โดย χ^2 แทนตัวสถิติทดสอบไคสแควร์

O_i แทนความถี่ที่ได้จากการเก็บข้อมูล

E_i แทนค่าเฉลี่ยของแต่ละสเปกตรัม

k แทนจำนวนสเปกตรัม คือ 32 ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4. คำนวณ Exponential smoothing ของค่าปัจจุบันโดยใช้สูตร

$$F_t = F_{(t-1)} + \alpha(A_{t-1} + F_{(t-1)}) \quad (3.2)$$

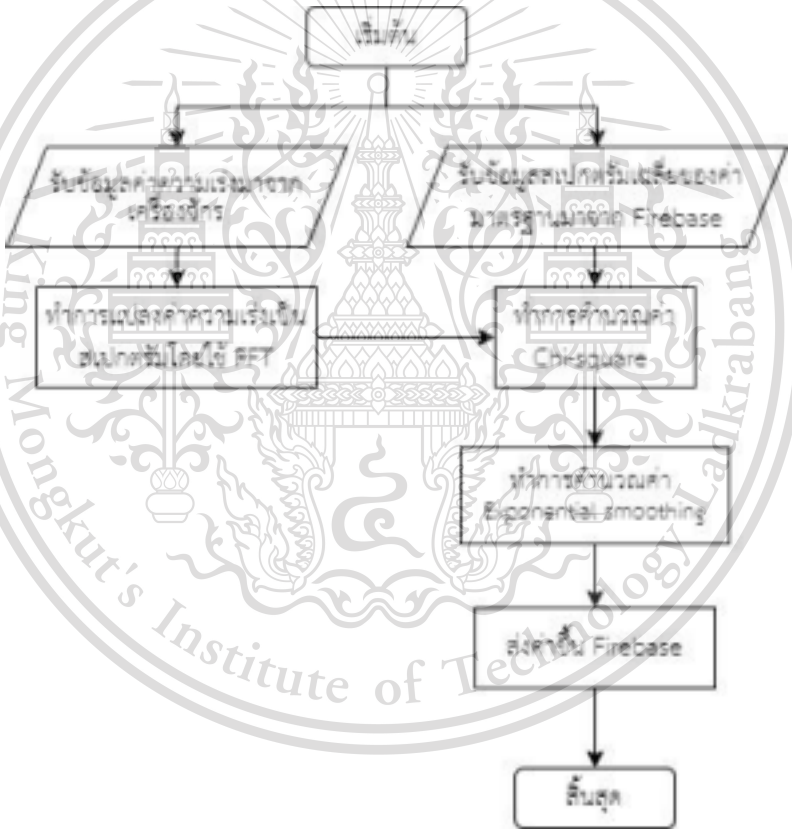
โดย F_t คือ ค่าพยากรณ์ใหม่

$F_{(t-1)}$ คือ ค่าพยากรณ์ก่อนหน้า

α คือ ค่าคงที่ของการปรับให้เรียบ มีค่าระหว่าง 0 - 1

A_{t-1} คือ ค่าจริงก่อนหน้า

5. การส่งข้อมูลไปเก็บไว้ใน Firebase



รูปที่ 3.5 การทำงานของโปรแกรม Arduino ในส่วนของอุปกรณ์วัดความเร่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.2 การเขียนโปรแกรม Arduino เชื่อมต่อกับจอ TFT LCD ILI9488 และ Line Notification

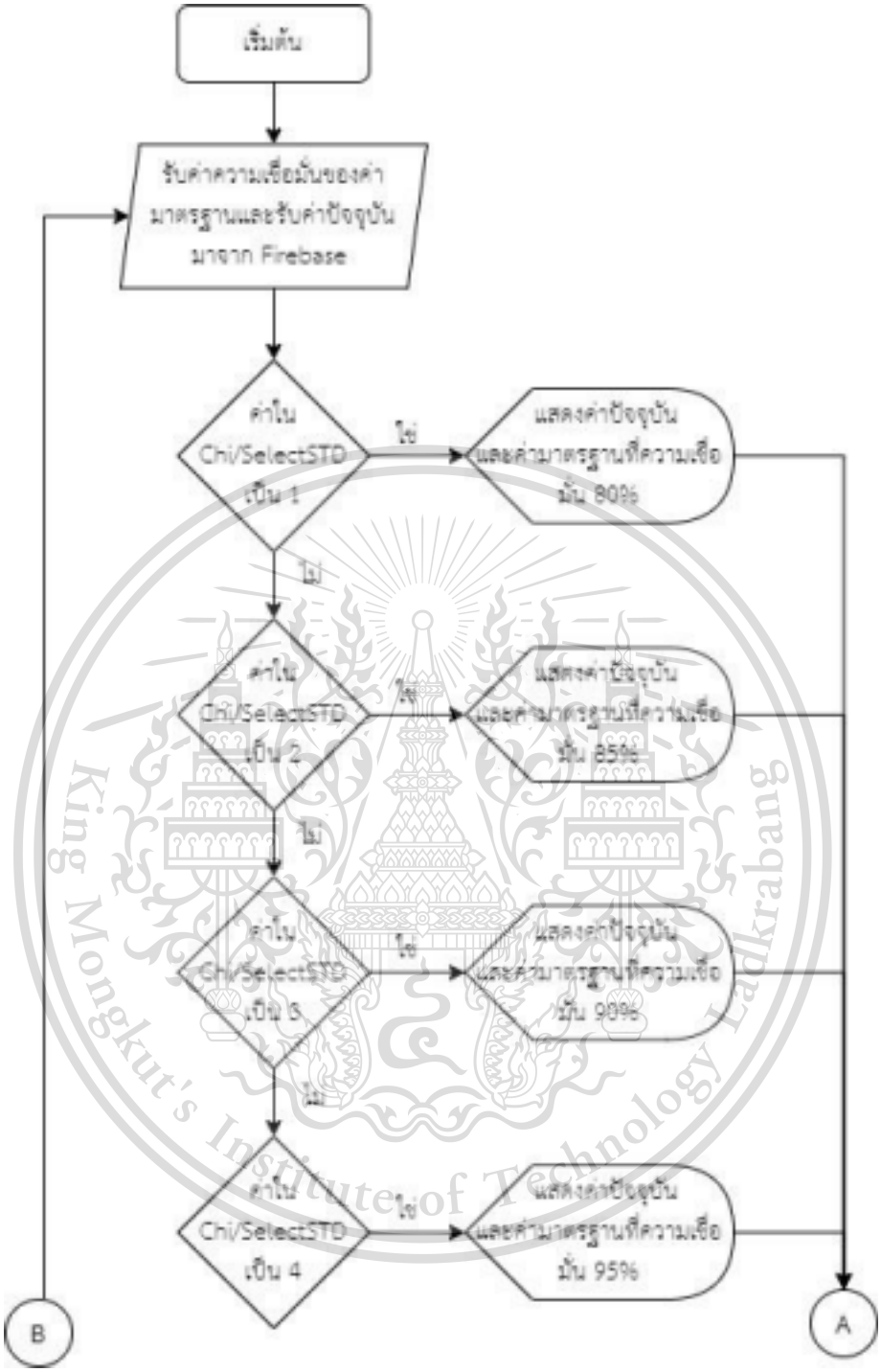
การทำงานทั้งหมดสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.6 และ 3.7 โดยในโปรแกรมจะประกอบไปด้วยการทำงานดังต่อไปนี้

1. ดึงข้อมูลค่าปัจจุบันที่ผ่านการ Exponential Smoothing แล้ว และค่าเฉลี่ย 32 ค่า ของทั้ง 3 แกน จาก Firebase

2. การแจ้งเตือนผ่านจอแสดงผลและ Line Application เมื่อค่าจากการคำนวณ Exponential Smoothing เกินค่ามาตรฐาน

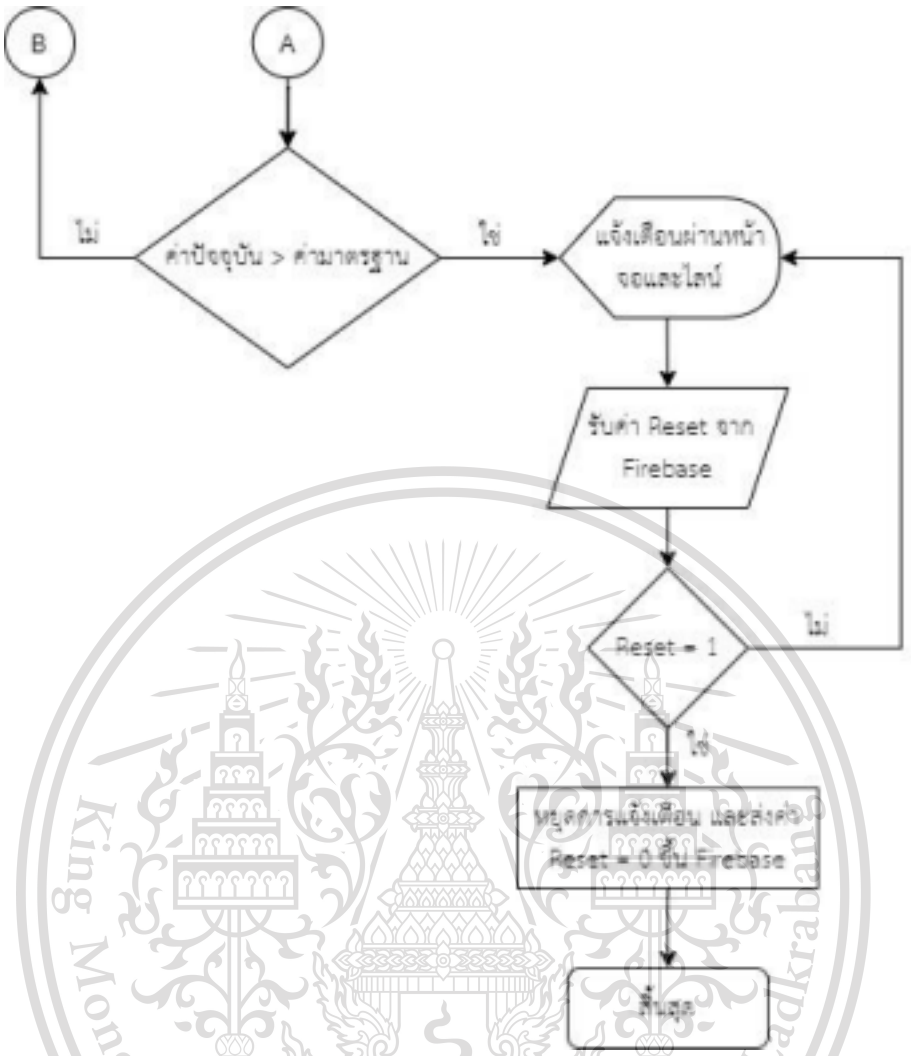
3. ส่งค่า Exponential Smoothing ที่คำนวณได้แสดงผลบนหน้าจอเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานและส่งข้อมูลขึ้น Firebase

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.6 การทำงานของโปรแกรม Arduino ในส่วนของหน้าจอแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.7 การทำงานของโปรแกรม Arduino ในส่วนของหน้าจอแสดงผล (ต่อ)

3.3 Python Code

เขียนโปรแกรม Python เพื่อส่งข้อมูลสเปกตรัมทั้งหมดจาก Firebase ไปเปิดใน MS Excel เพื่อสร้างเกณฑ์มาตรฐานของการทำงานปกติของเครื่องจักรสำหรับทั้ง 3 แกน สามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

1. เขียนโปรแกรม Python เพื่อรับข้อมูลเวลาและค่าสเปกตรัมแกน x y และ z ทั้งหมด 1,000 ชุด จาก Firebase

2. ทำการรันโปรแกรมใน Anaconda Prompt ซึ่งจะได้ข้อมูลมาในนามสกุล .cvs

3. เปิด File ในโปรแกรม MS Excel เพื่อทำการสร้างมาตรฐานของเครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สามารถแสดงการทำงานของ Anaconda Prompt ได้ดังนี้

```
(base) C:\Users\ADMIN>D:
(base) D:\>cd project4
(base) D:\project4>python datatest.py>total.cvs
```

และสามารถแสดงโปรแกรมการทำงานของไฟล์ datatest.py ที่ใช้ในการดึงข้อมูลได้ดังนี้

```
from firebase import firebase
firebase = firebase.FirebaseApplication('https://trial-test-d5ae4.firebaseio.com/', None)
for i in range(0,1000):
    result = firebase.get(str(i)+'/T',None)
    result1 = firebase.get(str(i)+'/X',None)
    result2 = firebase.get(str(i)+'/Y',None)
    result3 = firebase.get(str(i)+'/Z',None)
    print(result+','+result1+'\n'+result+','+ result2 +'\n'+result+','+ result3)
```

3.4 การทดลองอุปกรณ์และสร้างมาตรฐานกับเครื่องจักรที่ภาควิชา

เมื่อทำการเขียนโปรแกรมและสร้างอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว จากนั้นจึงทำการทดลองอุปกรณ์กับเครื่องเลื่อยที่ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ เนื่องจากรูปร่างของเครื่องเลื่อยมีโต๊ะในแนวระนาบที่เหมาะสำหรับการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักร และเครื่องเลื่อยสามารถปรับการทำงานได้ 2 รูปแบบ คือแบบยังไม่เลื่อย (สั่นเบา) และแบบเลื่อย (สั่นแรง) ทำให้สามารถทดสอบอุปกรณ์ได้ว่าการเก็บข้อมูลและคำนวณค่ามาตรฐานของการทำงานใน 2 รูปแบบนั้นควรมีค่าออกมาต่างกัน และหากอุปกรณ์มีการทำงานผิดพลาดก็จะสามารถแก้ไขได้ก่อนที่จะนำไปติดตั้งจริงที่โรงงาน

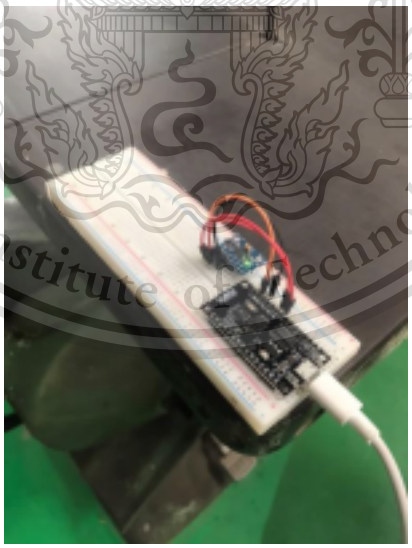
การทดสอบอุปกรณ์และการทำงานของโปรแกรมกับเครื่องเลื่อยในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการดังรูปที่ 3.8 ซึ่งจะแยกประเภทได้ 2 ประเภท คือการสั่นเบาและการสั่นแรง เพื่อทดสอบความสามารถในการจำแนกประเภทการสั่นของอุปกรณ์ จากนั้นจึงทดลองนำค่าที่เก็บได้มาสร้างค่ามาตรฐาน เพื่อทดสอบว่าถ้าการสั่นไม่เป็นไปตามปกติ อุปกรณ์จะรับค่าและแสดงผลที่ต่างจากค่ามาตรฐานที่ได้สร้างไว้ และการทำงานที่ต่างประเภทกันจะให้ค่ามาตรฐานที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.8 เครื่องเลื่อย

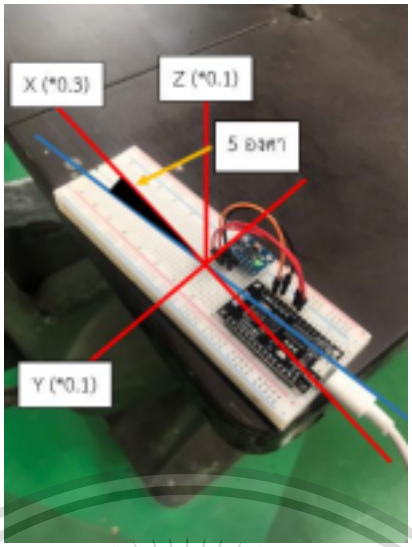
3.4.1 การวางเซ็นเซอร์ในแนวแกนปกติและการวางเซ็นเซอร์เอียง 5 องศา

การทดลองวัดค่ามาตรฐานของการวางในแนวปกติและการวางเอียง 5 องศา เพื่อทดสอบว่าการวางในแนวเอียงไปจากเดิม 5 องศานั้น มีผลต่อค่ามาตรฐานหรือไม่ การวางแนวเซ็นเซอร์แสดงดังรูปที่ 3.9 และ 3.10



รูปที่ 3.9 การวางแนวเซ็นเซอร์ปกติ

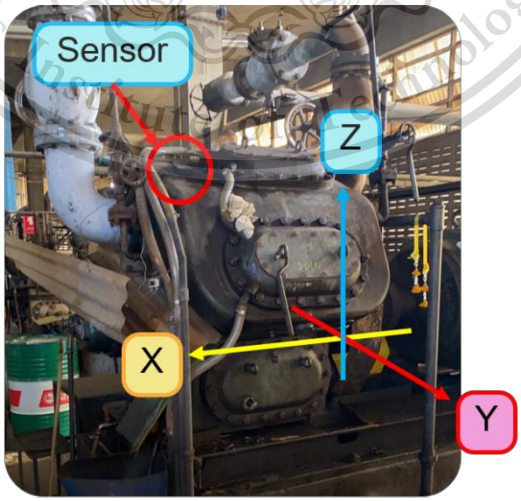
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.10 การวางแนวเอียง 5 องศา

3.5 การติดตั้ง รับค่าและสร้างมาตรฐานการทำงานของเครื่องจักรจริงที่โรงงาน

เมื่อทดลองอุปกรณ์กับเครื่องจักรที่ภาควิชาอุตสาหการได้ผลแล้ว จากนั้นจึงนำอุปกรณ์ไปติดตั้งที่เครื่องจักรจริงในโรงงาน โดยเครื่องจักรที่ติดตั้งอุปกรณ์ คือ เครื่องทำความเย็นแอมโมเนียคอมเพรสเซอร์ ซึ่งมีการติดตั้งอุปกรณ์ด้านบนของเครื่องจักรเพื่อให้สามารถวัดการสั่นได้อย่างถูกต้อง เนื่องจากตัวเครื่องจักรมีการยึดติดกับพื้นทำให้ด้านล่างมีการสั่นที่น้อยกว่าส่วนอื่น ๆ โดยด้านบนของเครื่องจักรจะมีลักษณะการสั่นที่ชัดเจนกว่าส่วนอื่นและทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์การกระจายตัวของแรงในแต่ละแกน ซึ่งมีการวางแนวแกน x y และ z ของเซ็นเซอร์วัดความเร่งแสดงดังรูปที่ 3.11 ดังนี้



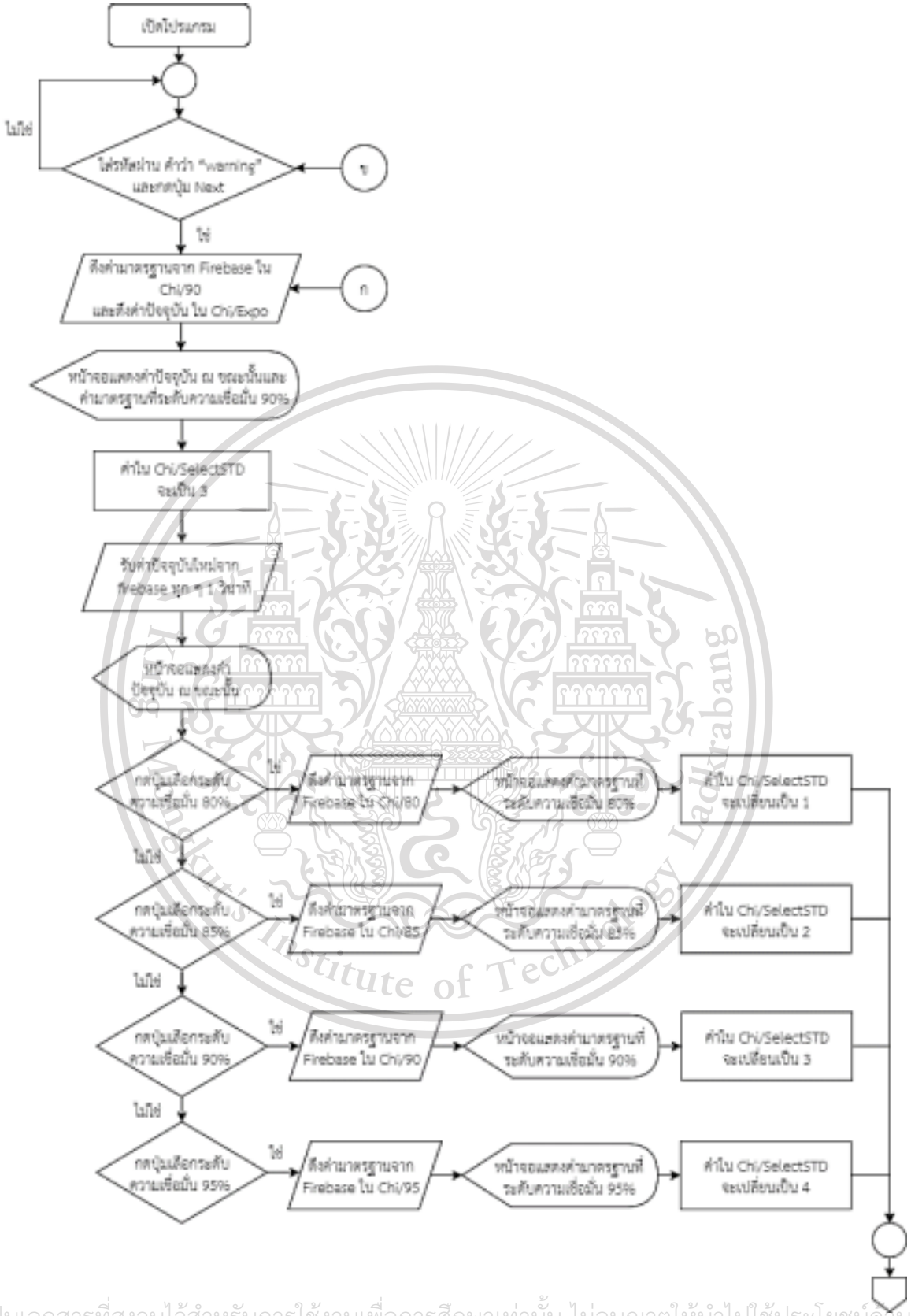
รูปที่ 3.11 การติดตั้งอุปกรณ์ที่เครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.6 การสร้าง Mobile Application

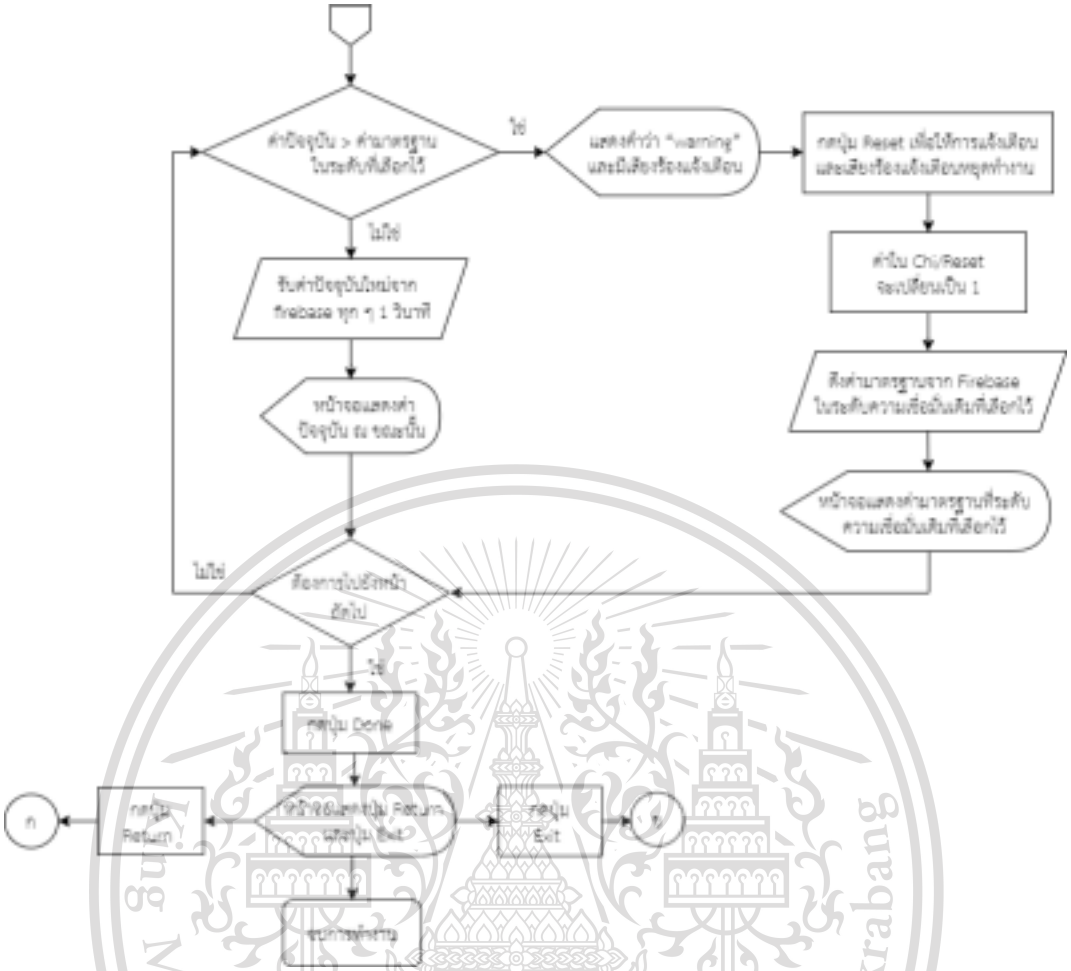
การสร้างแอปพลิเคชันสำหรับการแจ้งเตือนเมื่อเครื่องจักรมีการทำงานผิดปกติและใช้สำหรับควบคุมการทำงานของหน้าจอแสดงผลภายในโรงงาน จะแบ่งออกเป็น 2 โปรแกรม ซึ่งจะมีการทำงานเหมือนกัน คือใช้แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าปัจจุบันที่ได้ผ่านการเฉลี่ยแบบ Exponential Smoothing มาแล้วกับค่ามาตรฐานในรูปแบบของตัวเลข ซึ่งจะทำการเปลี่ยนค่าใหม่ในทุก ๆ วินาที โดยในกรณีที่มีการสั่นผิดปกติจะมีข้อความแจ้งเตือนแสดงขึ้น และ Mobile Application ยังสามารถใช้ควบคุมหรือสั่งการทำงานของจอแสดงผลได้ โดยสามารถเลือกเปลี่ยนระดับความเชื่อมั่นต่าง ๆ ที่จะแสดงบนหน้าจอ รวมถึงสามารถสั่งหยุดการแจ้งเตือนของจอแสดงผล และ Line Notification ได้ แต่ทั้ง 2 โปรแกรมจะแตกต่างกันที่การใช้งานสำหรับระบบ Android และ Ios ซึ่งโปรแกรมที่ใช้สำหรับสร้างแอปพลิเคชัน ได้แก่ MIT App Inventor สามารถใช้งานได้กับเฉพาะระบบ Android และ Thunkable สามารถใช้งานได้ทั้งกับระบบ Android และ Ios โดยทั้ง 2 โปรแกรมมีการทำงานดังแสดงในรูปที่ 3.12 และ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.12 การทำงานของ Mobile Application

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

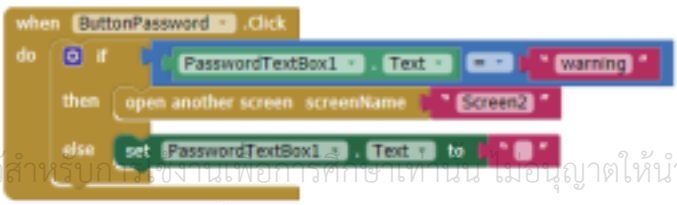


รูปที่ 3.13 การทำงานของ Mobile Application (ต่อ)

3.6.1 โปรแกรม MIT App Inventor

การสร้างแอปพลิเคชันแจ้งเตือนโดยใช้โปรแกรม MIT App Inventor จะแบ่งหน้าต่างการทำงานออกเป็น 3 หน้าต่างซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

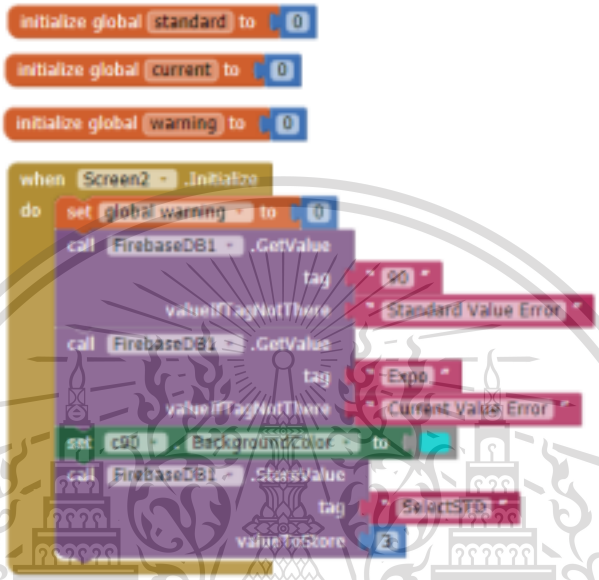
- หน้าต่างที่ 1 เป็นหน้าต่างใส่รหัสผ่านเพื่อเข้าสู่ระบบ โดยรหัสผ่านคือคำว่า warning หากใส่รหัสผ่านถูกต้อง จะไปต่อยังหน้าต่างถัดไป แต่ถ้าใส่รหัสผ่านไม่ถูกต้องช่องรหัสผ่านจะกลับมาเป็นช่องว่างให้ใส่รหัสผ่านใหม่อีกครั้ง การทำงานแสดงดังรูปที่ 3.14



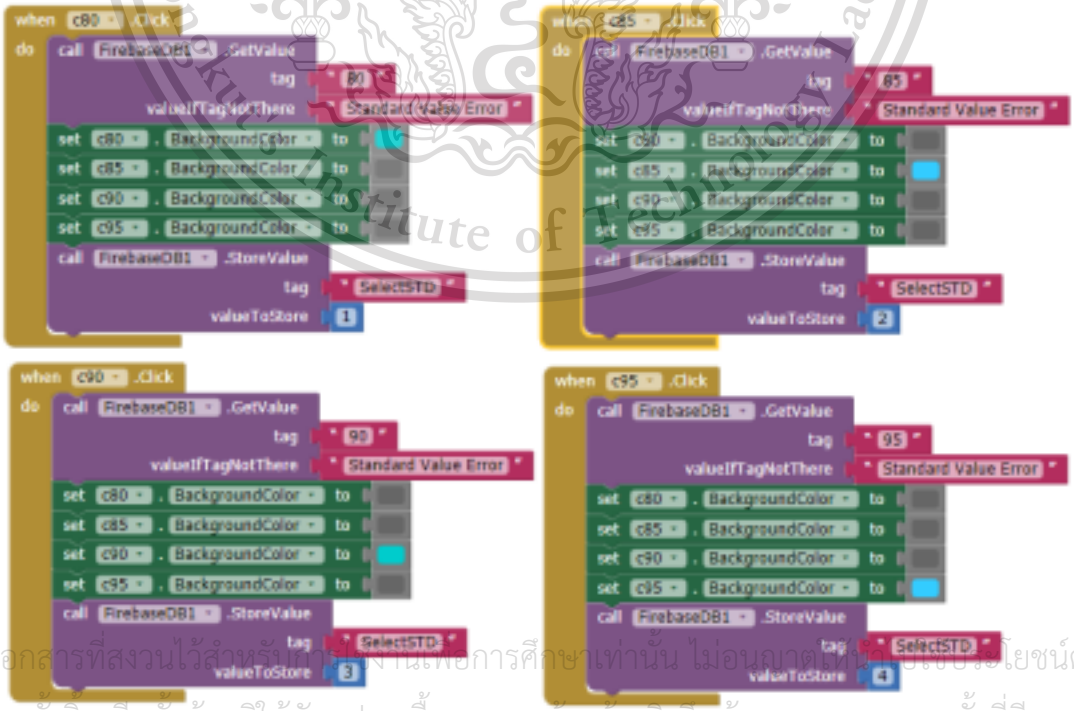
รูปที่ 3.14 การทำงานของ MIT App Inventor ในส่วนการใส่รหัสผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- หน้าต่างที่ 2 เป็นหน้าต่างแสดงค่ามาตรฐาน ค่าปัจจุบันและเปรียบเทียบค่าปัจจุบันกับค่ามาตรฐานและทำการแจ้งเตือนเมื่อค่าปัจจุบันมากกว่าค่ามาตรฐาน อีกทั้งสามารถใช้ในการควบคุมการทำงานของหน้าจอแสดงผลบริเวณโรงงาน โดยใช้ในการเลือกค่าระดับความเชื่อมั่น และการกดปุ่มเพื่อหยุดการแจ้งเตือนของหน้าจอแสดงผล การทำงานสามารถแสดงดังรูปที่ 3.15 ถึงรูปที่ 3.18 ดังนี้



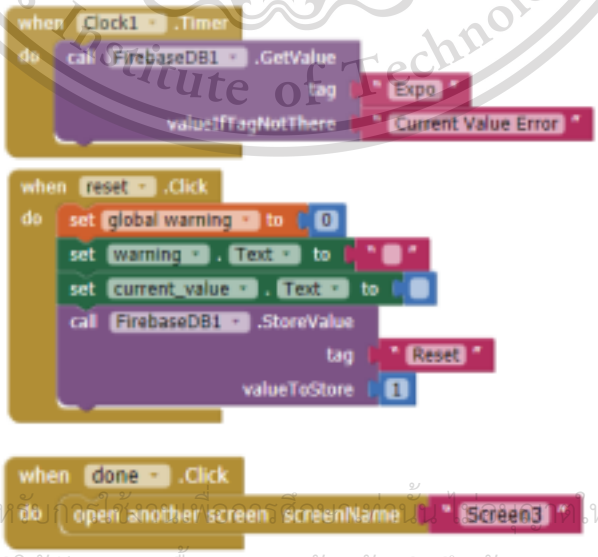
รูปที่ 3.15 การทำงานของ MIT App Inventor ในส่วนของการรับค่าเริ่มต้น



รูปที่ 3.16 การทำงานของ MIT App Inventor ในส่วนของการเลือกระดับความเชื่อมั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

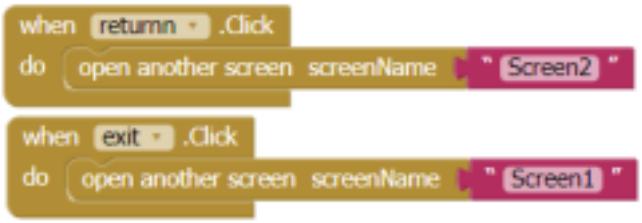
รูปที่ 3.17 การทำงานของ MIT App Inventor ในส่วนของการรับค่ามาตรฐานและค่าปัจจุบันจาก Firebase และเปรียบเทียบเพื่อแจ้งเตือน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.18 การทำงานของ MIT App Inventor ในส่วนของการรับค่าปัจจุบันและการหยุดการแจ้งเตือน

- หน้าต่างที่ 3 เป็นหน้าต่างจบการทำงาน โดยสามารถกดเลือกเพื่อไปกลับยังหน้าต่างใส่รหัสผ่านหรือไปยังหน้าต่างแสดงการเปรียบเทียบได้ การทำงานแสดงดังรูปที่ 3.19

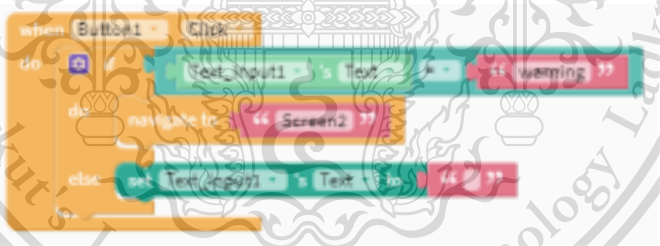


รูปที่ 3.19 การทำงานของ MIT App Inventor ในส่วนการจบการทำงาน

3.6.2 โปรแกรม Thunkable

การสร้างแอปพลิเคชันแจ้งเตือนโดยใช้โปรแกรม Thunkable จะแบ่งหน้าต่างการทำงานออกเป็น 3 หน้าต่างซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

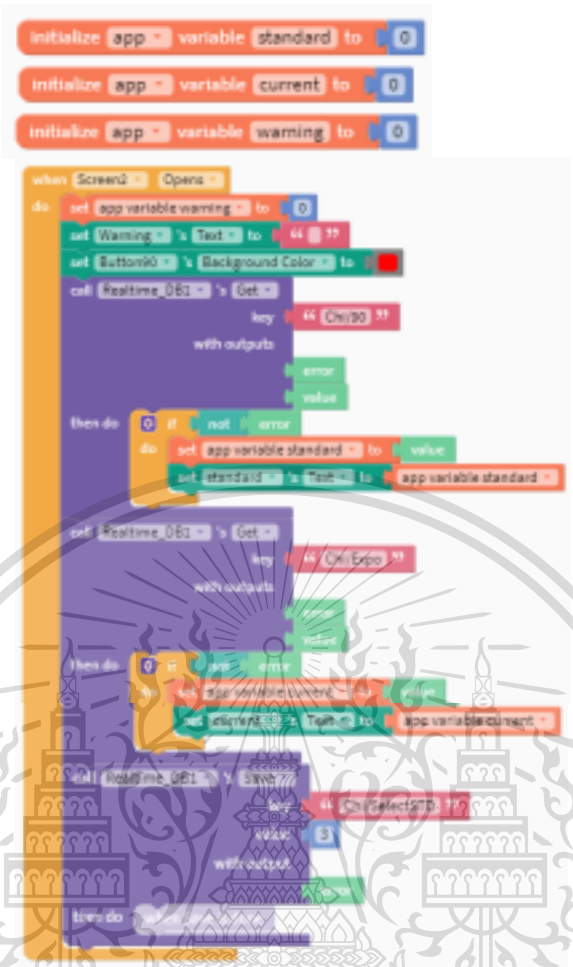
- หน้าต่างที่ 1 เป็นหน้าต่างใส่รหัสผ่านเพื่อเข้าสู่ระบบ โดยรหัสผ่านคือคำว่า warning หากใส่รหัสผ่านถูกต้อง จะไปต่อยังหน้าต่างถัดไป แต่ถ้าใส่รหัสผ่านไม่ถูกต้องช่องรหัสผ่านจะกลับมาเป็นช่องว่างให้ใส่รหัสผ่านใหม่อีกครั้ง การทำงานแสดงดังรูปที่ 3.20



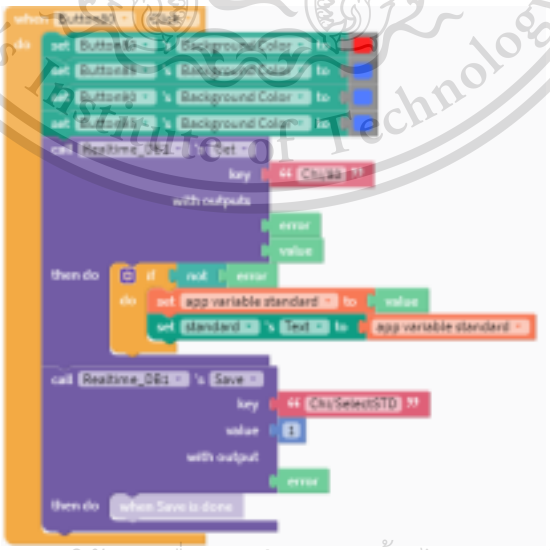
รูปที่ 3.20 การทำงานของ Thunkable ในส่วนการใส่รหัสผ่าน

- หน้าต่างที่ 2 เป็นหน้าต่างแสดงค่ามาตรฐาน ค่าปัจจุบันและเปรียบเทียบค่าปัจจุบันกับค่ามาตรฐานและทำการแจ้งเตือนเมื่อค่าปัจจุบันมากกว่าค่ามาตรฐาน อีกทั้งสามารถใช้ในการควบคุมการทำงานของหน้าจอแสดงผลบริเวณโรงงาน โดยใช้ในการเลือกค่าระดับความเชื่อมั่น และการกดปุ่มเพื่อหยุดการแจ้งเตือนของหน้าจอแสดงผล การทำงานสามารถแสดงดังรูปที่ 3.21 ถึงรูปที่ 3.27 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

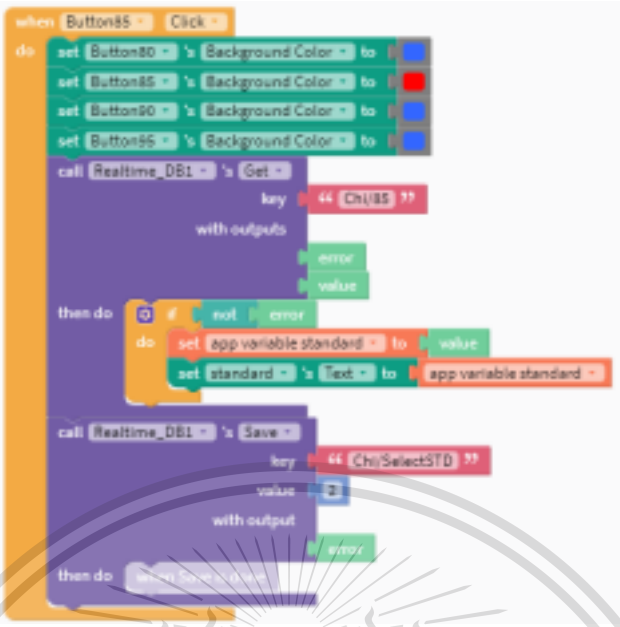


รูปที่ 3.21 การทำงานของ Thunkable ในส่วนของการรับค่าเริ่มต้น ค่าปัจจุบันและค่ามาตรฐาน

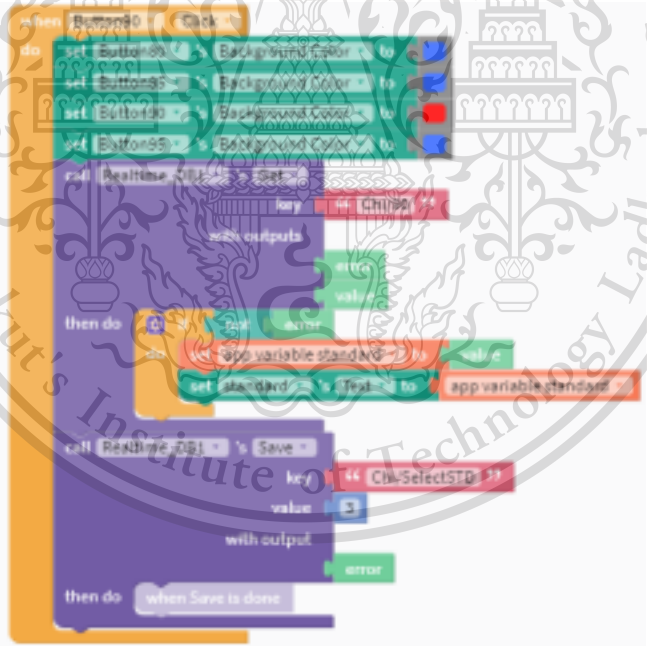


รูปที่ 3.22 การทำงานของ Thunkable ในส่วนของการดึงค่ามาตรฐานที่ 80% จาก Firebase

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

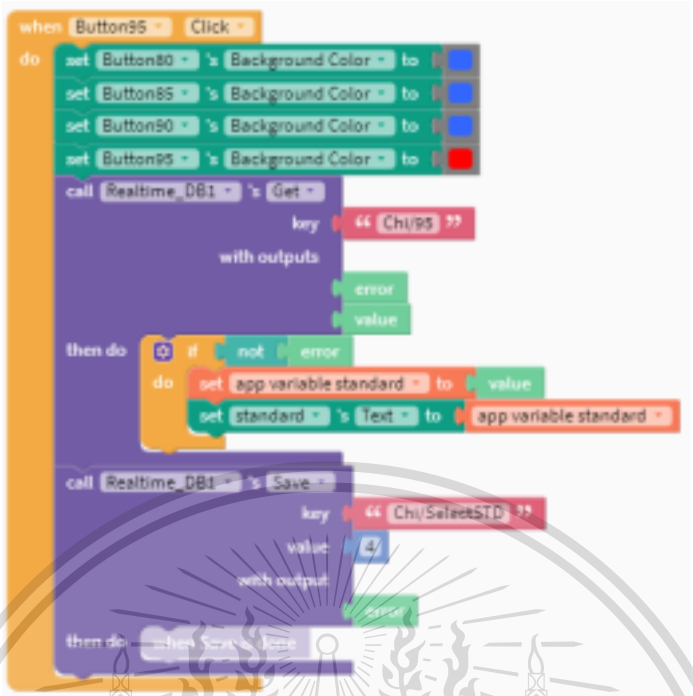


รูปที่ 3.23 การทำงานของ Thunkable ในส่วนของการดึงค่ามาตรฐานที่ 85% จาก Firebase

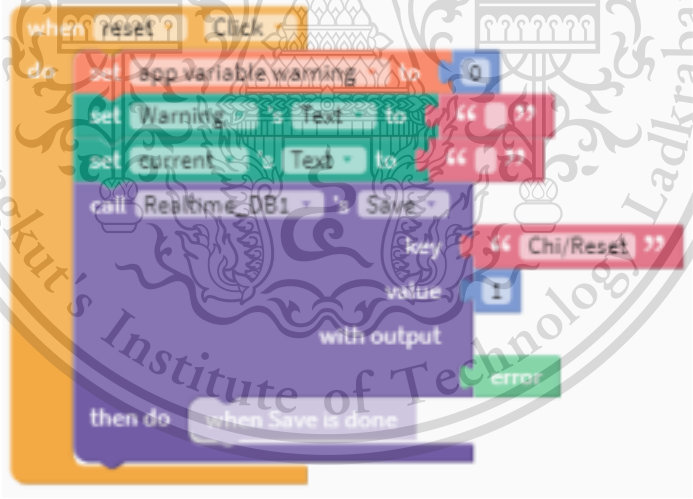


รูปที่ 3.24 การทำงานของ Thunkable ในส่วนของการดึงค่ามาตรฐานที่ 90% จาก Firebase

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

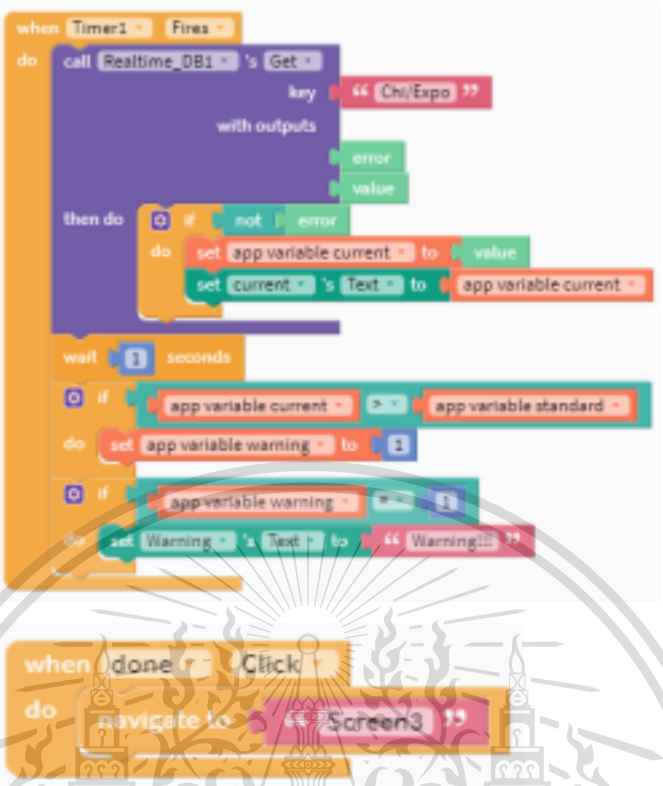


รูปที่ 3.25 การทำงานของ Thunkable ในส่วนของการดึงค่ามาตรฐานที่ 95% จาก Firebase



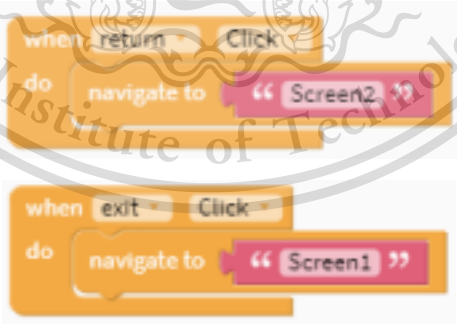
รูปที่ 3.26 การทำงานของ Thunkable ในส่วนของการหยุดการแจ้งเตือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.27 การทำงานของ Thunkable ในส่วนของการรับค่าปัจจุบัน

- หน้าต่างที่ 3 เป็นหน้าต่างจบการทำงาน โดยสามารถกดเลือกเพื่อไปกลับยังหน้าต่างใส่รหัสผ่าน หรือไปยังหน้าต่างแสดงการเปรียบเทียบได้ การทำงานแสดงดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 การทำงานของ Thunkable ในส่วนการจบการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4
ผลการวิจัย

ในบทนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการสร้างระบบแจ้งเตือนล่วงหน้าสำหรับการบำรุงรักษาเครื่องจักรด้วยวิธีการทางสถิติ ดังแสดงในหัวข้อต่อไปนี้

4.1 Mobile Application

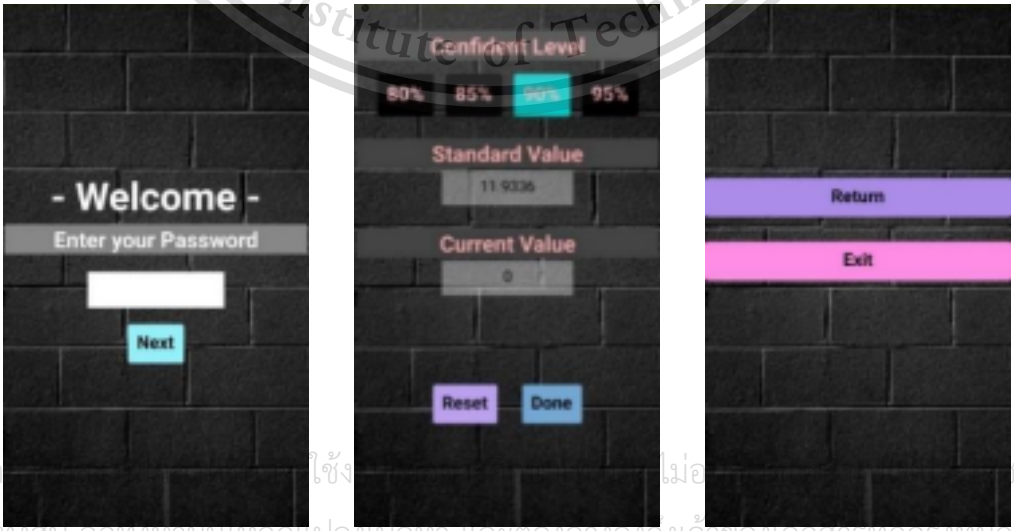
4.2 Line Notification

4.3 การทดลองอุปกรณ์และสร้างมาตรฐานกับเครื่องจักรที่ภาควิชา

4.4 การติดตั้ง รับค่าและสร้างมาตรฐานการทำงานของเครื่องจักรจริงที่โรงงาน

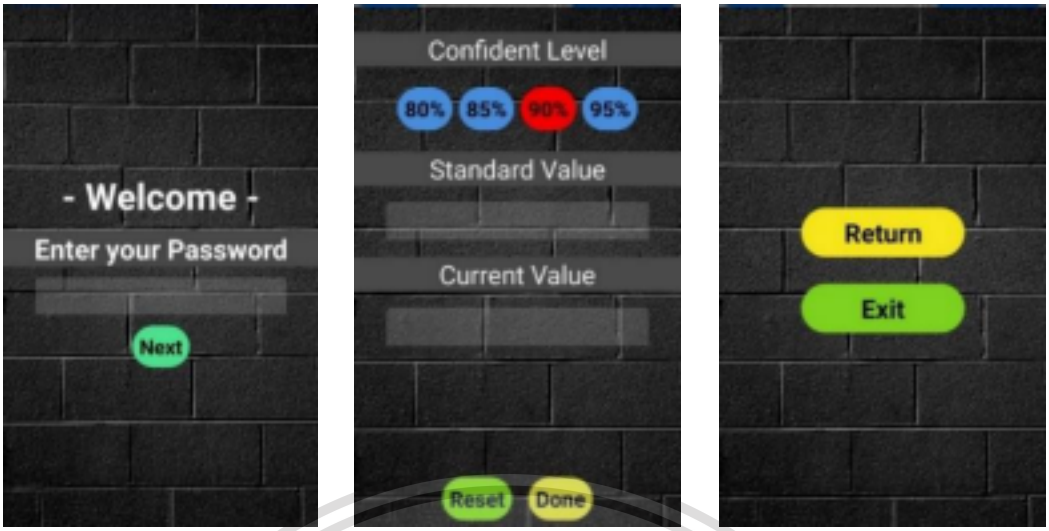
4.1 Mobile Application

จากการสร้าง Mobile Application ด้วยโปรแกรม MIT App Inventor และ Thunkable การทำงานจะประกอบไปด้วย 3 หน้าต่าง ได้แก่ หน้าต่างการใส่รหัสผ่าน หน้าต่างใช้เลือกระดับความเชื่อมั่น เปรียบเทียบค่าปัจจุบันและค่ามาตรฐานตามระดับความเชื่อมั่นที่เลือก และทำการแจ้งเตือนเมื่อค่าปัจจุบันมากกว่าค่ามาตรฐานตามระดับความเชื่อมั่นที่เลือกไว้ อีกทั้งมีปุ่มไว้สำหรับหยุดการแจ้งเตือนเมื่อทำการแก้ไขเครื่องจักรเรียบร้อยแล้ว และหน้าต่างสุดท้ายคือ หน้าต่างจบการทำงาน ซึ่งสามารถเลือกได้ว่าจะกลับไปยังหน้าต่างการใส่รหัสผ่านหรือหน้าต่างแสดงการเปรียบเทียบ โดยรูปแบบของหน้าต่างการใช้งานแสดงดังรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 Mobile Application จากโปรแกรม MIT App Inventor

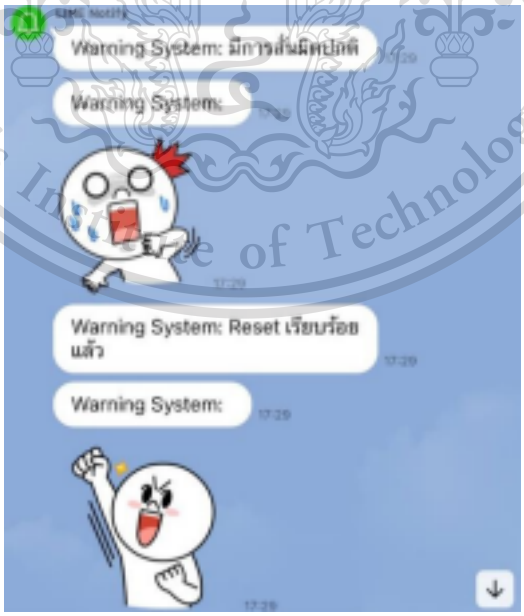
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.2 Mobile Application จากโปรแกรม Thunkable

4.2 Line Notification

เมื่อเครื่องจักรมีการสั่นผิดปกติ จะมีการแจ้งเตือนผ่านทาง Line Notification ด้วยข้อความว่า มีการสั่นผิดปกติ โดยจะแจ้งเตือนทุก ๆ 1 นาที และจะหยุดแจ้งเตือนเมื่อมีการกดปุ่ม Reset ผ่านทาง Mobile Application ที่สร้างขึ้น โดยเมื่อมีการกดปุ่ม Reset จะมีข้อความแจ้งเตือนด้วยว่า Reset เรียบร้อยแล้ว โดยมีรูปแบบการแจ้งเตือนดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การแจ้งเตือนผ่านทาง Line Notification

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3 การทดลองอุปกรณ์และสร้างมาตรฐานกับเครื่องจักรที่ภาควิชา

จากการทดลองเก็บข้อมูลกับเครื่องจักรที่ภาควิชา แบ่งเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ การทำงานแบบเบาและการทำงานแบบแรง และการวางแนวเซ็นเซอร์แบบปกติและการวางแนวเอียง 5 องศา ของการทำงานแบบเบา จากนั้นทำการสร้างมาตรฐานที่ระดับความเชื่อมั่น 80% 85% 90% และ 95% แสดงรายละเอียดดังนี้

4.3.1 การทำงานแบบเบาและการทำงานแบบแรง

การทดลองเก็บข้อมูลกับเครื่องจักรที่ภาควิชา โดยเก็บข้อมูลการทำงานแบบเบาและการทำงานแบบแรง ทั้ง 3 แกน อย่างละ 1,000 ชุด จากนั้นทำการคำนวณค่าไคสแควร์และดูการกระจายตัวของข้อมูล ทำให้ได้ค่ามาตรฐานของแกน x y และ z ที่ระดับความเชื่อมั่นต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่ามาตรฐานของการทำงานแบบเบาและแรงของทั้ง 3 แกน

แกน	การทำงานแบบเบา				การทำงานแบบแรง			
	80%	85%	90%	95%	80%	85%	90%	95%
x	6.0713	6.9980	8.6324	13.1650	12.6317	13.9813	15.6036	18.5466
y	1.9094	2.2246	2.7221	3.8897	4.4058	4.9350	5.7262	6.7668
z	10.3090	12.0396	15.1195	22.8975	22.5063	24.8501	27.8124	31.8886

จากนั้นจึงทำการหาค่าสัดส่วนของแต่ละแกนเพื่อนำมาเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก โดยการรวมค่ามาตรฐานของแกน x y และ z ที่ระดับความเชื่อมั่นเดียวกัน จากนั้นนำค่าของแต่ละแกนหารด้วยผลรวมของทั้ง 3 แกน จะได้ค่าสัดส่วนของแต่ละแกนที่ระดับความเชื่อมั่นต่าง ๆ จากนั้นจึงทำการหาค่าเฉลี่ยของสัดส่วนของแต่ละแกน จะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.2 และ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.2 การเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของการทำงานแบบเบา

แกน	การทำงานแบบเบา				
	80%	85%	90%	95%	ค่าเฉลี่ย
x	6.0713	6.9980	8.6324	13.1650	-
y	1.9094	2.2246	2.7221	3.8897	-
z	10.3090	12.0396	15.1195	22.8975	-
ผลรวม	18.2897	21.2622	26.4741	39.9522	-
สัดส่วนแกน x	0.3320	0.3291	0.3261	0.3295	0.3292
สัดส่วนแกน y	0.1044	0.1046	0.1028	0.0974	0.1023
สัดส่วนแกน z	0.5636	0.5662	0.5711	0.5731	0.5685

ตารางที่ 4.3 การเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของการทำงานแบบแรง

แกน	การทำงานแบบแรง				
	80%	85%	90%	95%	ค่าเฉลี่ย
x	12.6317	13.9813	15.6036	18.5466	-
y	4.4058	4.9350	5.7262	6.7668	-
z	22.5063	24.8501	27.8124	31.8886	-
ผลรวม	39.5438	43.7663	49.1423	57.2020	-
สัดส่วนแกน x	0.3194	0.3195	0.3175	0.3242	0.3202
สัดส่วนแกน y	0.1114	0.1128	0.1165	0.1183	0.1147
สัดส่วนแกน z	0.5691	0.5678	0.5660	0.5575	0.5651

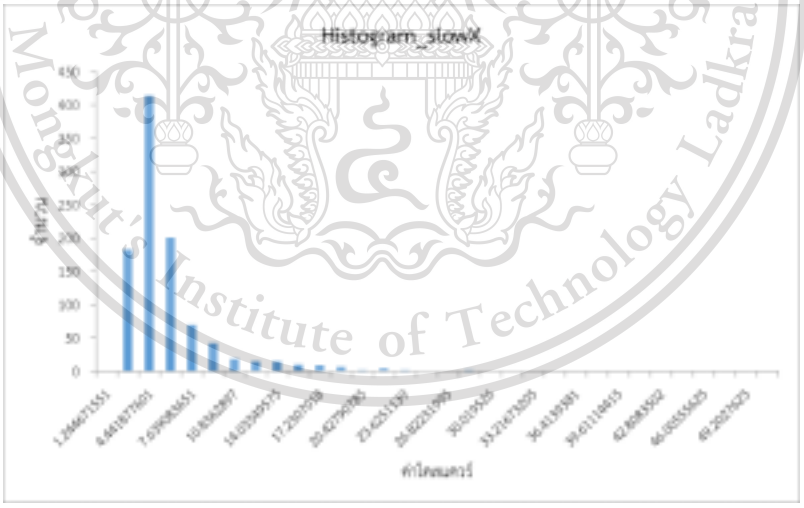
จากตารางที่ 4.2 และ 4.3 จะได้ว่าค่าเฉลี่ยสัดส่วนของแกน x y และ z ของการทำงานแบบเบาและแบบแรงเท่ากัน คือ 0.3 0.1 และ 0.6 ตามลำดับ โดยทำการเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักเพื่อให้ได้ค่ามาตรฐานของแต่ละระดับความเชื่อมั่นออกมาเพียงค่าเดียว ทำให้ได้ค่ามาตรฐานของการทำงานแบบเบาและแบบแรงที่ระดับความเชื่อมั่นต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.4 และ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.4 ค่ามาตรฐานของการทำงานแบบเบาที่ระดับความเชื่อมั่นต่าง ๆ

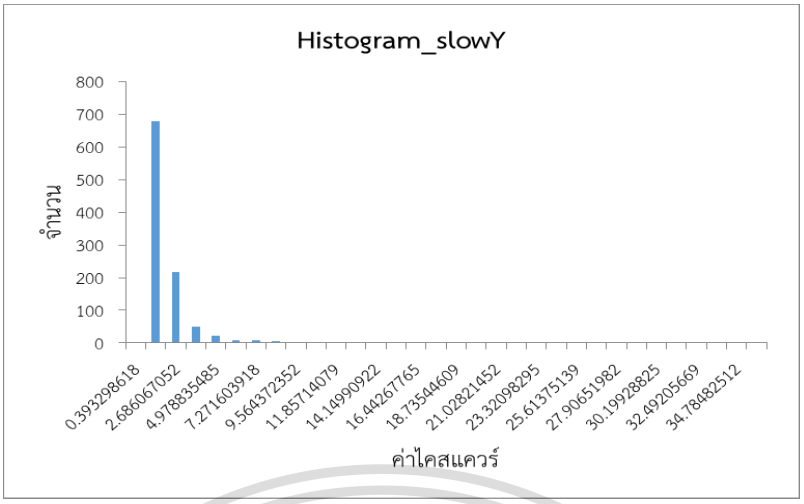
แกน	การทำงานแบบเบา				
	80%	85%	90%	95%	สัดส่วน
x	6.0713	6.9980	8.6324	13.1650	0.3
y	1.9094	2.2246	2.7221	3.8897	0.1
z	10.3090	12.0396	15.1195	22.8975	0.6
x*0.3	1.8214	2.0994	2.5897	3.9495	-
y*0.1	0.1909	0.2225	0.2722	0.3890	-
z*0.6	6.1854	7.2237	9.0717	13.7385	-
ผลรวม	8.1977	9.5456	11.9336	18.0770	-

จากตารางที่ 4.4 จะได้ค่ามาตรฐานของการทำงานแบบเบาที่ระดับความเชื่อมั่น 80% 85% 90% และ 95% คือ 8.1977 9.5456 11.9336 และ 18.0770 ตามลำดับ ซึ่งกราฟการกระจายตัวของค่าไคสแควร์ของทั้ง 3 แกน แสดงดังรูปที่ 4.4 4.5 และ 4.6

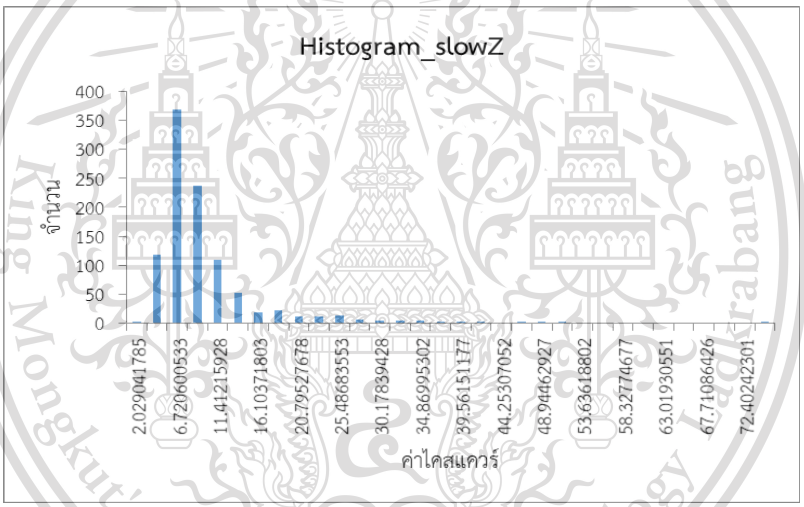


รูปที่ 4.4 กราฟการกระจายตัวของข้อมูลการสั่นแบบเบาในแนวแกน x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.5 กราฟการกระจายตัวของข้อมูลการสั่นแบบเบาในแนวแกน y



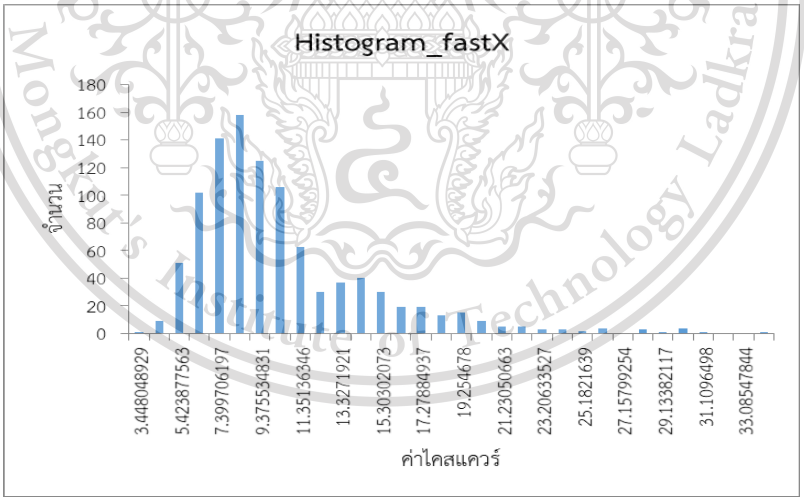
รูปที่ 4.6 กราฟการกระจายตัวของข้อมูลการสั่นแบบเบาในแนวแกน z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.5 ค่ามาตรฐานของการทำงานแบบแรงที่ระดับความเชื่อมั่นต่าง ๆ

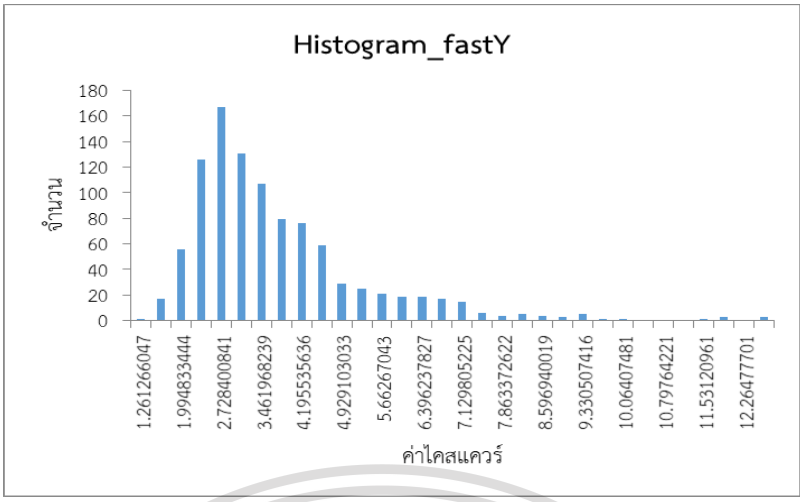
แกน	การทำงานแบบแรง				
	80%	85%	90%	95%	สัดส่วน
x	12.6317	13.9813	15.6036	18.5466	0.3
y	4.4058	4.9350	5.7262	6.7668	0.1
z	22.5063	24.8501	27.8124	31.8886	0.6
x*0.3	3.7895	4.1944	4.6811	5.5640	-
y*0.1	0.4406	0.4935	0.5726	0.6767	-
z*0.6	13.5038	14.9100	16.6875	19.1331	-
ผลรวม	17.7339	19.5979	21.9412	25.3738	-

จากตารางที่ 4.5 และมาตรฐานของการทำงานแบบแรงที่ระดับความเชื่อมั่น 80% 85% 90% และ 95% คือ 17.7339 19.5979 21.9412 และ 25.3738 ตามลำดับ ซึ่งกราฟการกระจายตัวของค่าไคสแควร์ของทั้ง 3 แกน แสดงดังรูปที่ 4.7 4.8 และ 4.9

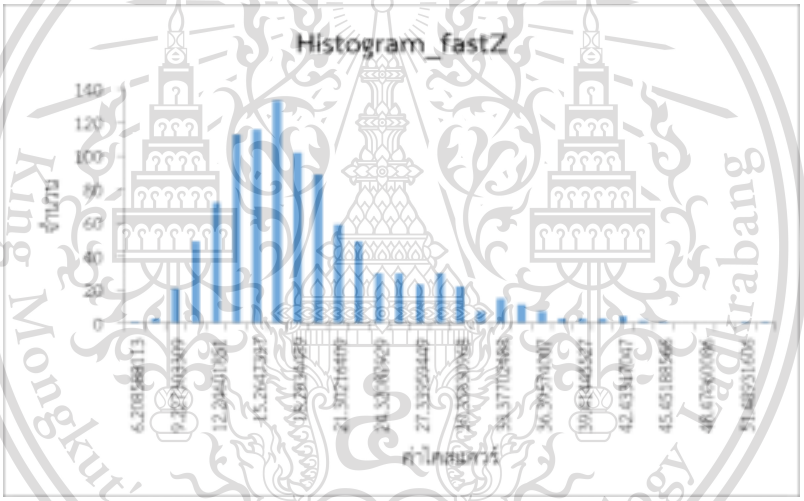


รูปที่ 4.7 กราฟการกระจายตัวของข้อมูลการสั่นแบบแรงในแนวแกน x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.8 กราฟการกระจายตัวของข้อมูลการสั่นแบบแรงในแนวแกน y



รูปที่ 4.9 กราฟการกระจายตัวของข้อมูลการสั่นแบบแรงในแนวแกน z

4.3.2 การวางแนวเซ็นเซอร์แบบปกติและการวางแนวเอียง 5 องศา

การทดลองเก็บข้อมูลกับเครื่องเลื่อยที่ภาควิชา โดยทำการเก็บข้อมูลของการวางแนวเซ็นเซอร์แบบปกติและการวางแนวเอียง 5 องศา ของแกน x y และ z อย่างละ 50 ชุด จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ยของทั้ง 50 ค่า จะได้การเปรียบเทียบค่าปัจจุบันแสดงดังตารางที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลการวางแนวเซ็นเซอร์แบบปกติและการวางแนวเอียง 5 องศา

ข้อมูล	การวางแนวเซ็นเซอร์แบบปกติ	การวางแนวเอียง 5 องศา
ค่ามากที่สุด	14.0826	13.3720
ค่าน้อยที่สุด	10.1554	8.7843
ค่าเฉลี่ย	11.7575	11.1706

จากข้อมูลที่เก็บมา จะเห็นได้ว่าค่าจากการวางเอียง 5 องศาจะมีค่าลดลง เพราะเซ็นเซอร์ไม่ได้รับแรงสั่นสะเทือนตรงกับแนวการสั่นของเครื่องจักร เนื่องจากเครื่องจักรมีลักษณะการสั่นมากในแนวแกน x และแกน z แต่เซ็นเซอร์ได้ถูกวางเอียงออกจากแกน x ไปหาแกน y จึงทำให้ค่าที่วัดได้ลดลง

4.4 การติดตั้ง รับค่าและสร้างมาตรฐานการทำงานของเครื่องจักรจริงที่โรงงาน

จากการเก็บข้อมูลกับเครื่องจักรจริงที่โรงงาน คือ เครื่องทำความเย็นแอมโมเนียคอมเพรสเซอร์ โดยเก็บข้อมูลของแกน x y และ z อย่างละ 1,000 ชุด จากนั้นทำการคำนวณค่าไคสแควร์และดูการกระจายตัวของข้อมูล ทำให้ได้ค่ามาตรฐานของแกน x y และ z ที่ระดับความเชื่อมั่นต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่ามาตรฐานการทำงานของเครื่องจักรในโรงงานทั้ง 3 แกน

แกน	ระดับความเชื่อมั่น			
	80%	85%	90%	95%
x	2.5539	2.6889	2.8321	3.1451
y	3.5039	3.7042	4.0441	4.4672
z	5.0708	5.4544	5.9009	6.8966

จากนั้นจึงทำการหาค่าสัดส่วนของแต่ละแกนเพื่อนำมาเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก โดยการรวมค่ามาตรฐานของแกน x y และ z ที่ระดับความเชื่อมั่นเดียวกัน จากนั้นนำค่าของแต่ละแกนหารด้วยผลรวมของทั้ง 3 แกน จะได้ค่าสัดส่วนของแต่ละแกนที่ระดับความเชื่อมั่นต่าง ๆ จากนั้นจึงทำการหาค่าเฉลี่ยของสัดส่วนของแต่ละแกน จะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.8 การเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักที่ระดับความเชื่อมั่นต่าง ๆ ของเครื่องจักรในโรงงาน

แกน	ระดับความเชื่อมั่นต่าง ๆ				
	80%	85%	90%	95%	ค่าเฉลี่ย
x	2.5539	2.6889	2.8321	3.1451	-
y	3.5039	3.7042	4.0441	4.4672	-
z	5.0708	5.4544	5.9009	6.8966	-
ผลรวม	11.1285	11.8476	12.7771	14.5088	-
สัดส่วนแกน x	0.2295	0.2270	0.2217	0.2168	0.2237
สัดส่วนแกน y	0.3149	0.3127	0.3165	0.3079	0.3130
สัดส่วนแกน z	0.4557	0.4604	0.4618	0.4753	0.4633

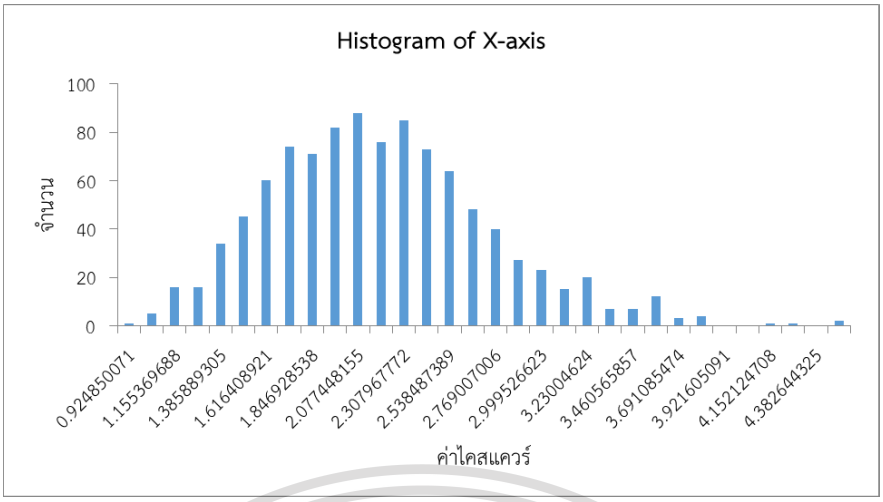
จากตารางที่ 4.8 จะได้ว่าค่าเฉลี่ยสัดส่วนของแกน x y และ z คือ 0.2 0.3 และ 0.5 ตามลำดับ จากนั้นจึงทำการเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักเพื่อให้ได้ค่ามาตรฐานของแต่ละระดับความเชื่อมั่นออกมาเพียงค่าเดียว ทำให้ได้ค่ามาตรฐานของการทำงานที่ระดับความเชื่อมั่นต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่ามาตรฐานของการทำงานที่ระดับความเชื่อมั่นต่าง ๆ ของเครื่องจักรในโรงงาน

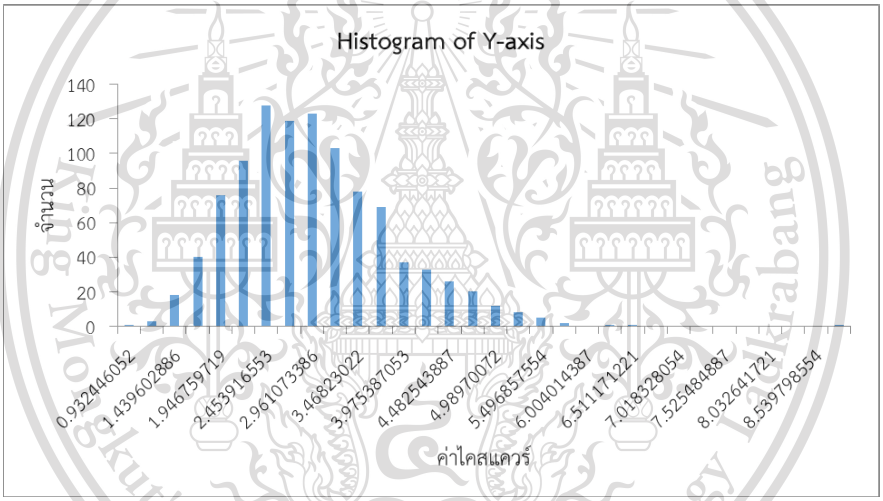
แกน	ค่ามาตรฐานของการทำงานที่ระดับความเชื่อมั่นต่าง ๆ				
	80%	85%	90%	95%	สัดส่วน
x	2.5539	2.6889	2.8321	3.1451	0.2
y	3.5039	3.7042	4.0441	4.4672	0.3
z	5.0708	5.4544	5.9009	6.8966	0.5
x*0.2	0.5108	0.5378	0.5664	0.6290	-
y*0.3	1.0512	1.1113	1.2132	1.3402	-
z*0.5	2.5354	2.7272	2.9504	3.4483	-
ผลรวม	4.0973	4.3763	4.7301	5.4175	-

จากตารางที่ 4.9 จะได้ค่ามาตรฐานของการทำงานของเครื่องจักรในโรงงานที่ระดับความเชื่อมั่น 80% 85% 90% และ 95% คือ 4.0973 4.3763 4.7301 และ 5.4175 ตามลำดับ ซึ่งกราฟการกระจายตัวของค่าไคสแควร์ของทั้ง 3 แกน แสดงดังรูปที่ 4.10 4.11 และ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ แสวงหาประโยชน์ในเชิงการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

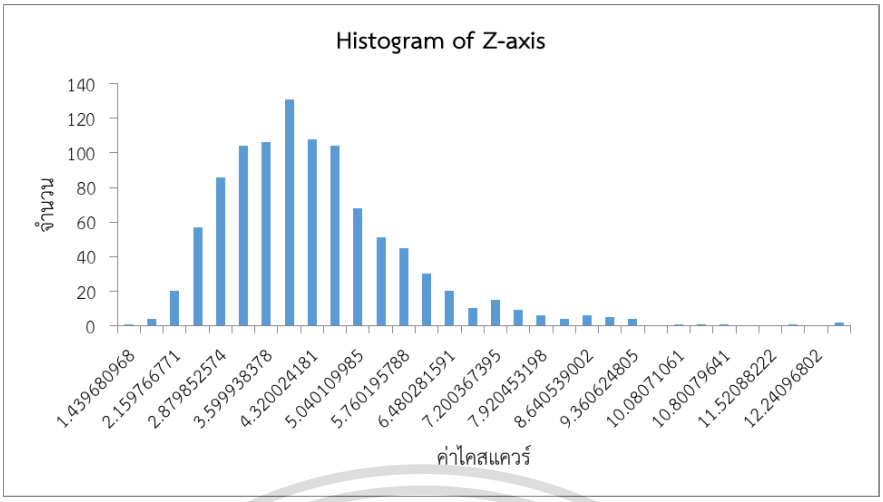


รูปที่ 4.10 กราฟการกระจายตัวของค่าไคสแควร์ของแกน x



รูปที่ 4.11 กราฟการกระจายตัวของค่าไคสแควร์ของแกน y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.12 กราฟการกระจายตัวของค่าไคสแควร์ของแกน z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

ระบบแจ้งเตือนล่วงหน้าสำหรับการบำรุงรักษาเครื่องจักรด้วยวิธีการทางสถิติ มีวัตถุประสงค์คือ สร้างเกณฑ์มาตรฐานการทำงานแบบปกติของเครื่องจักร และสร้างระบบตรวจสอบและแจ้งเตือนเมื่อเครื่องจักรมีการทำงานผิดปกติ โดยเริ่มจากการเขียนโปรแกรม Arduino เชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์วัดความเร่ง (Acceleration Sensor) เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลค่าความเร่ง จากนั้นแปลงค่าความเร่งเป็นสเปกตรัมโดยใช้วิธี Fast Fourier Transform และจัดเก็บข้อมูลสเปกตรัมที่ได้ไว้ใน Firebase จากนั้นจึงเขียนโปรแกรม Python ดึงข้อมูลสเปกตรัมจาก Firebase มาสร้างเกณฑ์มาตรฐานของการทำงานปกติของเครื่องจักรโดยใช้ MS Excel แล้วจึงเขียนโปรแกรม Arduino ในการเชื่อมต่อกับหน้าจอแสดงผล เพื่อแสดงข้อมูลที่เก็บได้ใหม่ในปัจจุบันเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานที่สร้างขึ้น และเมื่อข้อมูลที่เก็บได้ใหม่ในปัจจุบันสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน หน้าจอจะแสดงการกระพริบเพื่อแจ้งเตือน และจะมีการแจ้งเตือนผ่าน Line Notification และสร้าง Mobile Application สำหรับแสดงผลการเปรียบเทียบและควบคุมการทำงานของหน้าจอแสดงผล โดยมีการสรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะของการสร้างระบบแจ้งเตือนล่วงหน้าสำหรับการบำรุงรักษาเครื่องจักรด้วยวิธีการทางสถิติ ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

การดำเนินงานสร้างระบบแจ้งเตือนล่วงหน้าสำหรับการบำรุงรักษาเครื่องจักรด้วยวิธีการทางสถิติสามารภแบ่งเป็นผลการดำเนินงานและผลการทดลอง ดังนี้

5.1.1 สรุปผลการทดลองการติดตั้งอุปกรณ์บนเครื่องจักร

อุปกรณ์ติดตั้งบนเครื่องจักรมีเป้าหมายเพื่อสร้างมาตรฐานการทำงานแบบปกติของเครื่องจักรมาใช้ในการตรวจสอบการทำงานแบบผิดปกติของเครื่องจักร โดยเครื่องจักรที่นำมาสร้างมาตรฐานคือ เครื่องทำความเย็นแอมโมเนียคอมเพรสเซอร์ สถานที่คือ หจก.โรงน้ำแข็งทิพธารา จังหวัดชลบุรี จากการดำเนินการจะได้ค่ามาตรฐานของการทำงานของเครื่องจักรที่ระดับความเชื่อมั่น 80% 85% 90% และ 95% คือ 4.0973 4.3763 4.7301 และ 5.4175 ตามลำดับ และได้ค่าเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของแกน x y และ z คือ 0.2 0.3 และ 0.5 ตามลำดับ หลังจากสร้างค่ามาตรฐานการทำงานของเครื่องจักรแล้ว อุปกรณ์ติดตั้งบนเครื่องจักรยังมีหน้าที่ส่งค่า Chi-Square ที่ได้ผ่านการเฉลี่ยแบบ Exponential Smoothing ขึ้น Firebase เพื่อนำไปใช้ในส่วนของระบบตรวจสอบและแจ้งเตือนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.1.2 สรุปผลการดำเนินงานการสร้างระบบตรวจสอบและแจ้งเตือน

ระบบตรวจสอบและแจ้งเตือนแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน้าจอแสดงผลที่ติดตั้งบริเวณหน้าโรงงานทำงานเชื่อมต่อกับการแจ้งเตือนผ่านทาง Line Notification และ Mobile Application ซึ่งใช้ในการควบคุม ในส่วนของจอแสดงผลจะแสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าปัจจุบันที่ได้ผ่านการเฉลี่ยแบบ Exponential Smoothing มาแล้วและค่ามาตรฐานที่ระดับความเชื่อมั่นต่าง ๆ ทั้งในรูปแบบของกราฟและตัวเลข โดยกราฟจะมีการพล็อตจุดทุก ๆ 4 นาที แต่การแสดงค่าแบบตัวเลขจะรับค่าใหม่ทุก ๆ 1 นาที ในกรณีที่มีการสั่นผิดปกติ คือค่าปัจจุบันมากกว่าค่ามาตรฐาน จะมีการแจ้งเตือนผ่านจอแสดงผลโดยการกระพริบตลอดเวลา รวมทั้งมีข้อความแจ้งเตือนผ่านทาง Line Notification ทุก ๆ 1 นาที ในส่วนของ Mobile Application จะแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าปัจจุบันที่ได้ผ่านการเฉลี่ยแบบ Exponential Smoothing มาแล้วกับค่ามาตรฐานในรูปแบบของตัวเลขเท่านั้น ซึ่งจะทำการเปลี่ยนค่าใหม่ในทุก ๆ วินาที โดยในกรณีที่มีการสั่นผิดปกติจะมีข้อความแจ้งเตือนแสดงขึ้น และ Mobile Application ยังสามารถใช้ควบคุมหรือสั่งการทำงานของจอแสดงผลได้ โดยสามารถเลือกเปลี่ยนระดับความเชื่อมั่นต่าง ๆ ที่จะแสดงบนหน้าจอ รวมถึงสามารถสั่งหยุดการแจ้งเตือนของจอแสดงผล และ Line Notification ได้

5.1.3 สรุปผลการทดลองอุปกรณ์และสร้างมาตรฐานกับเครื่องจักรที่ภาควิชา

เครื่องจักรในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการที่ใช้ในการทดสอบคือเครื่องเลื่อย ซึ่งมีการสั่น 2 ระดับ คือการสั่นแบบเบาและการสั่นแบบแรง จากการดำเนินงานสามารถสร้างเกณฑ์มาตรฐานของการทำงานแบบเบาที่ระดับความเชื่อมั่น 80% 85% 90% และ 95% คือ 8.1977 9.5456 11.9336 และ 18.0770 ตามลำดับ และเกณฑ์มาตรฐานของการทำงานแบบแรงที่ระดับความเชื่อมั่น 80% 85% 90% และ 95% คือ 17.7339 19.5979 21.9412 และ 25.3738 ตามลำดับ และได้ค่าเฉลี่ยสัดส่วนของแกน x y และ z ของการทำงานแบบเบาและแบบแรงเท่ากัน คือ 0.3 0.1 และ 0.6 ตามลำดับ

จากการดำเนินงานการติดตั้งเซ็นเซอร์เอียง 5 องศา ของการสั่นแบบเบา ที่ระดับความเชื่อมั่น 90% โดยมีการเบนออกจากแกน x แล้วเอียงมาเข้าใกล้แกน y มากขึ้น โดยการวางแนวปกติที่ระดับความเชื่อมั่น 90% ค่าเกณฑ์มาตรฐานคือ 11.9336 แต่ผลจากดำเนินงานของการติดตั้งเซ็นเซอร์เอียง 5 องศา คือ 11.1706 ซึ่งเกิดจากเซ็นเซอร์ไม่ได้รับแรงสั่นสะเทือนตรงกับแนวการสั่นของเครื่องจักร เนื่องจากเครื่องจักรมีลักษณะการสั่นมากในแนวแกน x และแกน z แต่เซ็นเซอร์ได้ถูกวางเอียงออกจากแกน x ไปหาแกน y จึงทำให้ค่าที่วัดได้ลดลง

5.2 ข้อจำกัดของงานวิจัย

1. เกณฑ์มาตรฐานการทำงานแบบปกติของเครื่องจักรที่สร้างขึ้นใช้ได้เฉพาะกับเครื่องจักรที่ทำการรวบรวมข้อมูลมาเท่านั้น หากมีการเปลี่ยนเครื่องจักรเป็นเครื่องอื่น จำเป็นต้องทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและสร้างเกณฑ์มาตรฐานขึ้นมาใหม่สำหรับใช้กับเครื่องจักรนั้นโดยเฉพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. อุปกรณ์ติดตั้งบนเครื่องจักรควรติดตั้งที่ด้านบนของเครื่องจักรเพื่อให้สามารถวัดการสั่นได้อย่างถูกต้องและตำแหน่งของเซ็นเซอร์ไม่ควรมีการเปลี่ยนจากการติดตั้งอุปกรณ์ในครั้งแรก เพราะลักษณะการสั่นของแต่ละตำแหน่งบนเครื่องจักรแตกต่างกัน

3. อุปกรณ์ที่ติดตั้งบนเครื่องจักรและจอแสดงผลจำเป็นต้องใช้สัญญาณเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบไร้สาย (Wi-Fi) ในการส่งและรับข้อมูลต่าง ๆ ดังนั้นอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนเครื่องจักรและจอแสดงผลจึงจำเป็นต้องติดตั้งอยู่ในพื้นที่ที่มีสัญญาณเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบไร้สาย (Wi-Fi) ที่เสถียรและครอบคลุม

4. เครื่องจักรที่มีอายุการใช้งานนานแล้วจะมีลักษณะการสั่นที่แตกต่างจากเครื่องจักรที่มีอายุการใช้งานน้อย ดังนั้นควรมีการสร้างมาตรฐานใหม่เมื่อใช้งานไปได้ระยะหนึ่งเพื่อให้มีมาตรฐานที่เหมาะสมต่อการสั่นของเครื่องจักรในปัจจุบัน และหากมีการซ่อมบำรุงหรือเปลี่ยนชิ้นส่วนของเครื่องจักรก็ควรสร้างมาตรฐานใหม่เช่นเดียวกัน

5.3 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากมาตรฐานการทำงานของเครื่องจักรแต่ละเครื่องแตกต่างกัน ทำให้เมื่อต้องการเปลี่ยนการติดตั้งอุปกรณ์บนเครื่องจักรอื่นจึงต้องทำการสร้างมาตรฐานขึ้นมาใหม่ รวมถึงหากมีการซ่อมบำรุงหรือเปลี่ยนชิ้นส่วนของเครื่องจักร การเปลี่ยนตำแหน่งของเซ็นเซอร์ หรือเครื่องจักรมีอายุการใช้งานยาวนาน ก็จำเป็นต้องสร้างมาตรฐานขึ้นมาใหม่เช่นกัน แต่เนื่องจากการสร้างมาตรฐานขึ้นมาใหม่ใช้เวลานาน และมีหลายขั้นตอนทางผู้วิจัยมีความคิดเห็นสำหรับการพัฒนาต่อในอนาคตว่าควรสร้างมาตรฐานที่สามารถใช้กับเครื่องจักรได้ทุกเครื่อง โดยใช้ข้อมูลทางสถิติของเครื่องจักรจำนวนหลายเครื่องมาวิเคราะห์สร้างมาตรฐาน หรืออาจจะใช้วิธี Machine Leaning ในการสร้างมาตรฐานได้ด้วยตัวอุปกรณ์เอง เพื่อให้ง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน รวมถึงลดเวลาในการสร้างมาตรฐานใหม่อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง

[1] Mobley, K. (2002). AN INTRODUCTION TO PREDICTIVE MAINTENANCE. (2nd ed.). United States: Butterworth-Heinemann.

[2] Scheffer, C., & Girdhar, P. (2004). Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance. Burlington: Newnes.

[3] Mortazavizadeh, S. A., Vahedi, A., & Zohouri, A. A. (2012). Detection of Stator Winding Inter-turn Short Circuit In Induction Motor Using Vibration Specified Harmonic Amplitude, 2nd International Conf. on Acoustics & Vibration, Sharif Univ. Of Technology, Tehran, Iran. Dec.

[4] Franke, TM., Ho, T., & Christie, CA. (2012). The chi-square test: Often used and more often misinterpreted. American Journal of Evaluation 33(3): 448-458.

[5] DAVID, S., MOORE, WILLIAM, I., NOTZ, & MICHAEL, A. F. (2013). The Basic Practice of Statistics. (6th ed.). New York: W. H. Freeman and Company.

[6] Prasertsiri Varunchittapongsa. (2011). VIBRATION ANALYSIS OF TEST CHAMBER SLOT IN TEST PROCESS. Degree of Master of Engineering in Mechatronics Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima.

[7] Tarun, D., & Rama, S. V. (2015). Maintenance Strategy Selection and its Impact on Maintenance Function – A Conceptual Framework, International Journal of Operations & Production Management.

[8] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. (1986). MANUAL ON MAINTENANCE OF SYSTEMS AND COMPONENTS IMPORTANT TO SAFETY. Austria: the IAEA.

[9] Ralph, E. B. (n.d.). BASIC VIBRATION THEORY.

[10] GRAHAM, K. (2012). Mechanical Vibrations THEORY AND APPLICATIONS, SI. USA: Cengage Learning.

[11] Asst. Prof. Dr. Manutchanok Jongprasithporn, Pornsak Attavanich. (2015). DEVELOPMENT OF LINEAR ACCELEROMETER APPLICATION FOR MONITORING HUMAN MOVEMENTS ON ANDROID IN THAI.

[12] Ahmad, R., & Kamaruddin, S. (2012). A review of condition-based maintenance decision-making, European J. Industrial Engineering, Vol. 6, No. 5, pp.519–541.

[13] Peter, P., David, Z., & Josef, B. (2019). Historical Overview of Maintenance Management Strategies: Development from Breakdown Maintenance to Predictive

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Maintenance in Accordance with Four Industrial Revolutions. International Conference on Industrial Engineering and Operations Management.

[14] Scanlon, Patricia, Darren, F., Kavanagh, Francis, M., & Boland. (2013). Residual Life Prediction of Rotating Machines Using Acoustic Noise Signals, 1-14.

[15] Adam, G. (2018). Acoustic-Based Fault Diagnosis of Commutator Motor. MDPI Journal, Electronics, 7, 299.

[16] Deepam, G. (2018). Condition Monitoring of Rotating Machines: A Review, World Sientific News, An International Scientific Journal, WSN113, pp.98-108.

[17] Tavner, PJ. (2008). Review of condition monitoring of rotating electrical machines. Electric Power Applications, IET2 (4): 215-247.

[18] Senthilkumar, M., & Sendhilkumar, S. (2012). Condition monitoring of rotating machinery through vibration analysis.

[19] Luciane Agnoletti dos Santos, P., Ricardo Mazza, Z., & Fabiano, F. (2017). Fault diagnostics in rotary machines through spectral vibration analysis using low-cost MEMS devices.

[20] Adam, G. (2018). Acoustic-Based Fault Diagnosis of Commutator Motor.

[21] Patricia, S., Darren, F. K., & Francis, M. B., (2013). Residual Life Prediction of Rotating Machines Using Acoustic Noise Signals.

[22] Abolfazl, V., Alireza, Z., & Seyed, A. M. (2012). Detection of Stator Winding Inter-turn Short Circuit In Induction Motor Using Vibration Specified Harmonic Amplitude..

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.