



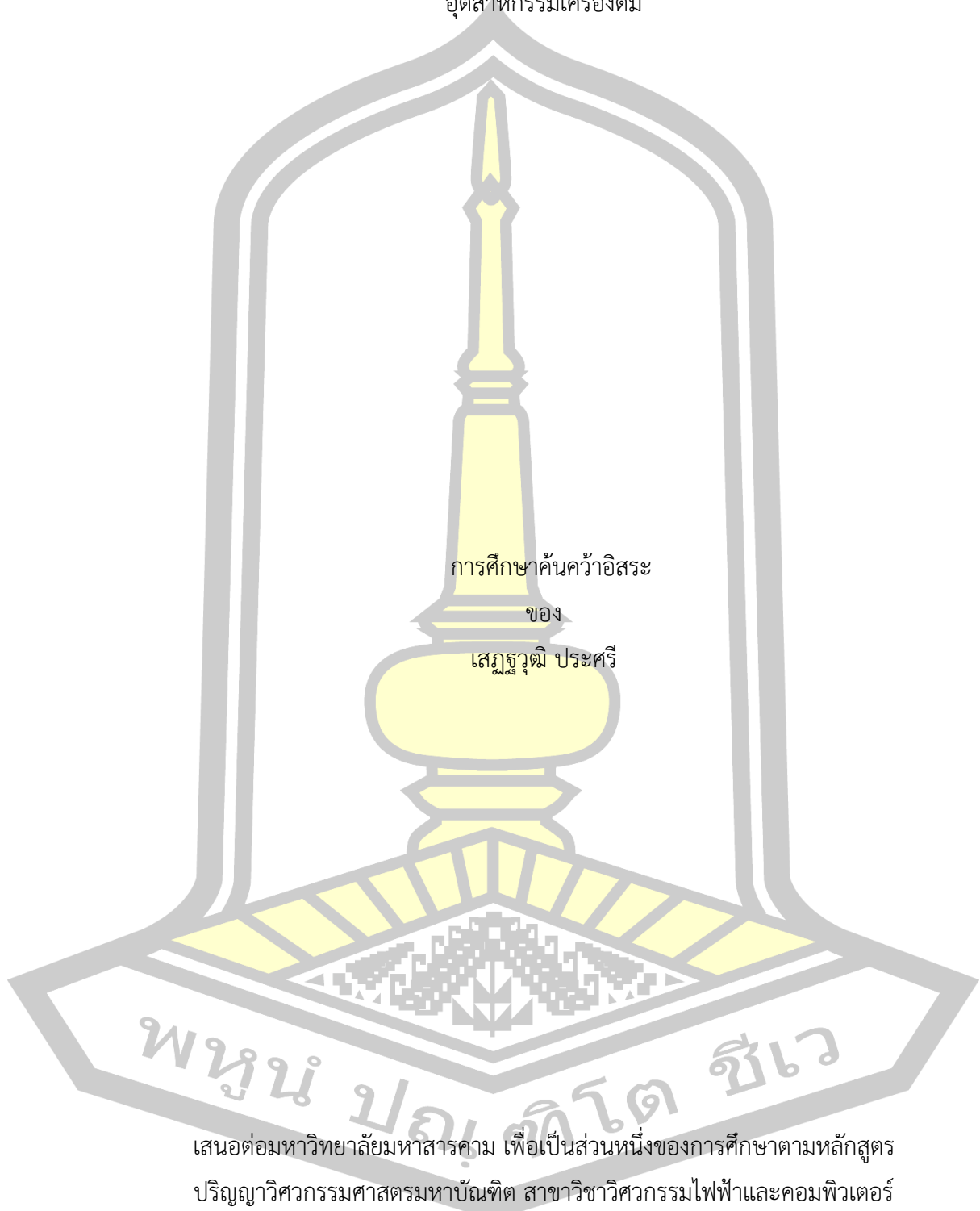
การพัฒนาแบบจำลองพยากรณ์การสั้นของเครื่องแยกสารด้วยอัลกอริทึมป่าสุ่ม กรณีศึกษาโรงงาน
อุตสาหกรรมเครื่องดื่ม

การศึกษาค้นคว้าอิสระ
ของ
เสกฐวุฒิ ประเสริฐ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
พฤษภาคม 2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การพัฒนาแบบจำลองพยากรณ์การสั้นของเครื่องแยกสารด้วยอัลกอริทึมป่าสุ่ม กรณีศึกษาโรงงาน
อุตสาหกรรมเครื่องดื่ม

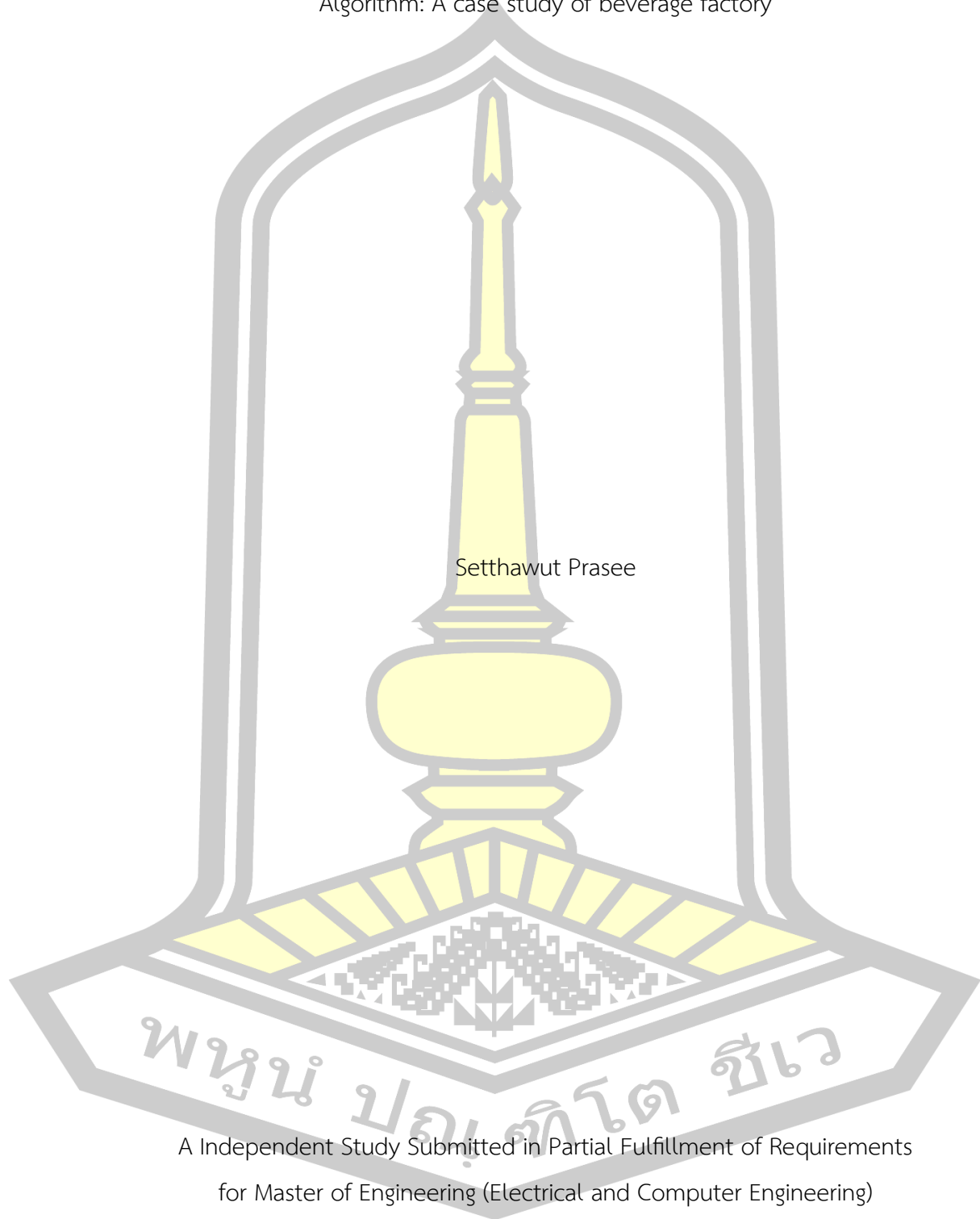


เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

พฤษภาคม 2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Development of a vibration model for a particle separator using Random Forest
Algorithm: A case study of beverage factory



Setthawut Prasee

A Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Engineering (Electrical and Computer Engineering)

May 2024

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบการศึกษาค้นคว้าอิสระ ได้พิจารณาการศึกษาค้นคว้าอิสระของนาย
เสกฐวุฒิ ประศรี แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรม
ศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(อ. ดร. จักรพันธ์ ออบมา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ศ. ดร. วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล)

.....กรรมการ

(อ. ดร. ทวีศักดิ์ ทองแสน)

.....กรรมการ

(อ. ดร. ณรงค์กรณ์ อุทาพิทย์)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัย
มหาสารคาม

.....
(รศ. ดร. จักรมาส เลหาวิช)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....
(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การพัฒนาแบบจำลองพยากรณ์การสั่นของเครื่องแยกสสารด้วยอัลกอริทึมป่าสุ่ม กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องตี๋ม		
ผู้วิจัย	เสกฐวุฒิ ประศรี		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร. วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล		
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2567

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้นำเสนอการพัฒนาแบบจำลองพยากรณ์การสั่นของเครื่องแยกสสาร โดยใช้อัลกอริทึมป่าสุ่ม เพื่อประยุกต์ใช้กับเครื่องแยกสสาร โดยมีการจัดข้อมูลสำหรับการฝึกฝนแบบจำลอง 16 ชุด และทดสอบแบบจำลอง 4 ชุด ที่ประกอบด้วยตัวแปรต้น 4 ตัวแปรที่แตกต่างกัน ดังนี้ 1) รอบหมุนเครื่องแยกสสารก่อนจบกระบวนการผลิต 2) การสั่นของเครื่องแยกสสารก่อนจบกระบวนการผลิต 3) กระบวนการทำความสะอาดภายในเครื่องแยกสสาร 4) รอบหมุนเครื่องแยกสสารช่วงเริ่มสตาร์ทใหม่ ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของแบบจำลองการพยากรณ์การสั่นของเครื่องแยกสสารช่วงเริ่มสตาร์ทใหม่ จากการทดลองสร้างแบบจำลองทำให้ได้ผลที่ดีที่สุด คือแบบจำลองที่ใช้ตัวแปรต้นทั้งหมด 4 ตัวแปรต้น และการสุ่มตัวอย่างข้อมูลของอัลกอริทึมป่าสุ่มที่ 150 ข้อมูล โดยมีประสิทธิภาพของแบบจำลอง $RMSE = 0.2531$, $MSE = 0.0662$ และ $MAE = 0.1731$

คำสำคัญ : อัลกอริทึมป่าสุ่ม, เครื่องแยกสสาร, แบบจำลองพยากรณ์

พูน ปณ จิต ชีเว

TITLE	Development of a vibration model for a particle separator using Random Forest Algorithm: A case study of beverage factory		
AUTHOR	Setthawut Prasee		
ADVISORS	Professor Worawat Sa-Ngiamvibool , Ph.D.		
DEGREE	Master of Engineering	MAJOR	Electrical and Computer Engineering
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2024

ABSTRACT

This thesis presents the development of a vibration prediction model for a separator machine using a random forest algorithm. The model is intended to be applied to separator machines in the manufacturing process. For training the model, 16 datasets were prepared and 4 datasets were used for testing. The model incorporates four input variables 1.Separator revolutions before the end of the production process 2.Separator vibration before the end of the production process 3.Internal cleaning process of the separator 4.Separator revolutions during the initial start-up. These variables affect the performance of the vibration prediction model during the initial start-up of the separator. The experimental results showed that the best model was the one that used all four input variables and a random forest algorithm with 150 data samples. This model achieved the following performance metrics RMSE = 0.2531, MSE = 0.0662 and MAE = 0.1731

Keyword : Random Forest Algorithm, Separator Machine, Prediction Model

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ได้สำเร็จลุล่วงด้วยความกรุณาที่ได้รับจาก ศาสตราจารย์ ดร.วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล ที่ได้รับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทุกด้าน และให้คำแนะนำในการ แก้ไขปัญหาต่าง ๆ อีกทั้งยังถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์ที่มีค่ามอบให้ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลา การศึกษาอยู่ที่นี่ ข้าพเจ้าขอกราบพระคุณอย่างสูง

ขอบคุณอีกครั้งถึง อาจารย์ ดร.จักรพันธ์ ออบมา ซึ่งรับผิดชอบในฐานะประธานกรรมการ ศาสตราจารย์ ดร.วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล อาจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ ทองแสน และอาจารย์ ดร.ณรงค์กรณ์ อุทา ทิพย์ รับผิดชอบในฐานะกรรมการ ที่ได้สละเวลาอันมีค่าเพื่อเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ของ ข้าพเจ้า

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ได้มีส่วนร่วมในการถ่ายทอดความรู้และให้ความ อนุเคราะห์ทั้งในด้านการสอนและการให้เอกสารที่เกี่ยวข้อง

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่าน และเพื่อน ๆ พี่ ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ระดับ บัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่มีความกรุณาให้ความช่วยเหลือทั้งในด้านเอกสารและ ในการให้กำลังใจอย่างสม่ำเสมอ

ขอขอบคุณถึงอุตสาหกรรมตัวอย่าง ผู้บริหาร บุคลากรทุกท่านที่มีส่วนในการให้ความ ช่วยเหลือและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดลองในครั้งนี้

สุดท้าย ข้าพเจ้าขอขอบคุณบิดา มารดา และพี่น้องทุกท่าน ที่มีบทบาทในการสนับสนุนและ ช่วยเหลือข้าพเจ้าทุกด้าน รวมถึงเป็นกำลังใจที่สำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอส่งมอบความขอบคุณและของที่น่าสรรเสริญทั้งหลายนี้ให้แก่บิดา มารดา คณาจารย์ และผู้มี อุปการะคุณทุกท่าน

พูน ปณ จิต ชีวะ

เสฏฐวุฒิ ประศรี

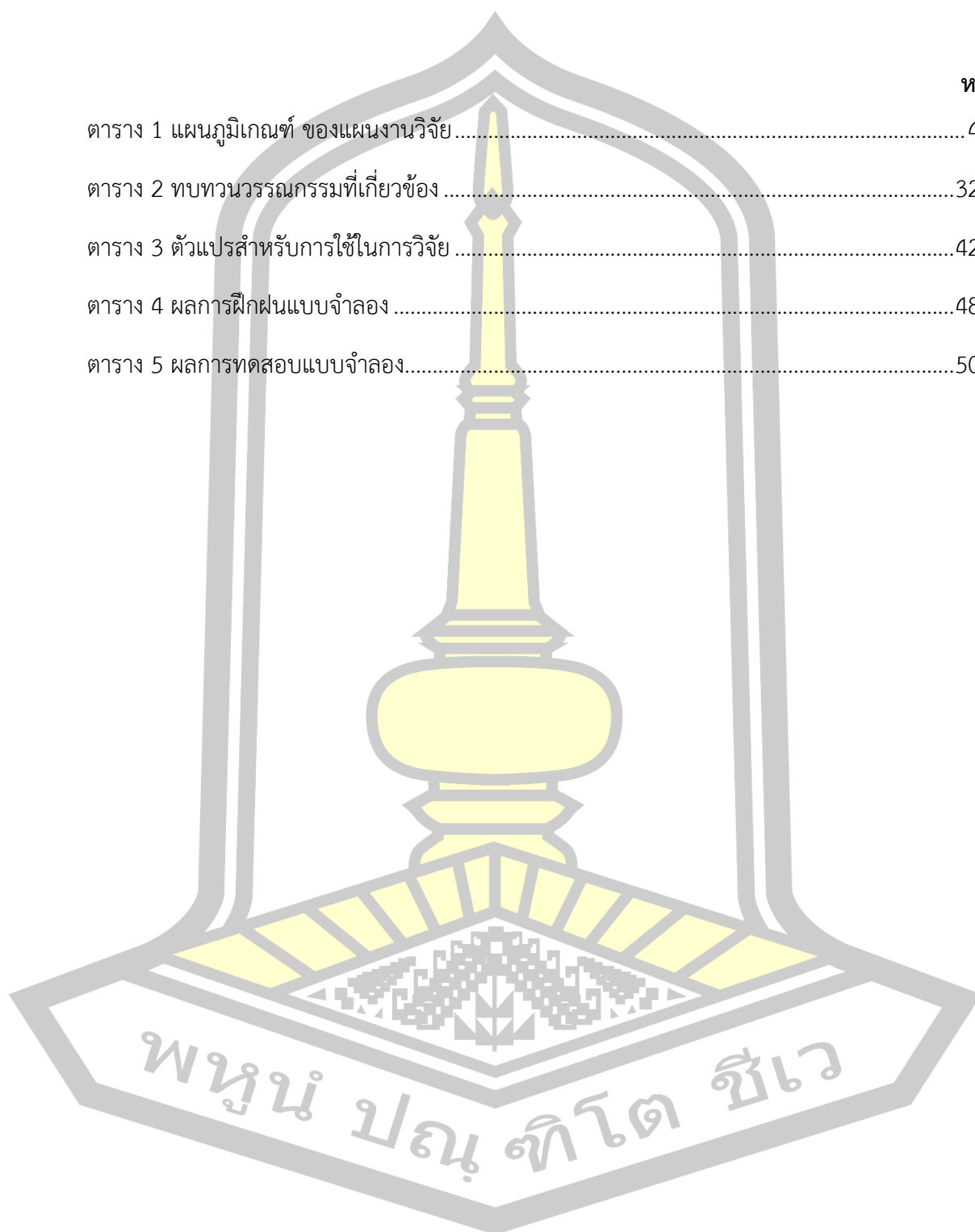
สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพประกอบ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 กรอบแนวคิดของงานวิจัย.....	3
1.7 แผนของงานวิจัย.....	4
บทที่ 2 ปรัชญาเอกสารข้อมูล.....	5
2.1 อุตสาหกรรมเครื่องพิมพ์ประเทศไทย.....	5
2.2 เครื่องแยกสาร.....	7
2.3 ทฤษฎีการสั่น.....	14
2.4 การพยากรณ์การซ่อมบำรุง.....	15
2.4.1 ลักษณะการซ่อมบำรุงรักษาภายในโรงงานอุตสาหกรรมแบ่งออก ดังนี้.....	15
2.4.2 การตรวจวัดสภาพเครื่องจักร.....	17
2.4.3 แนวทางการซ่อมบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์.....	18

2.4.4 การสำรวจเครื่องสำหรับ (Predictive Maintenance).....	18
2.4.5 ความพร้อมสมบูรณ์และการเสื่อมสภาพของเครื่องจักร	20
2.4.6 วิธีการซ่อมบำรุงเชิงพยากรณ์.....	21
2.4.7 ปัจจัยสำคัญของระบบซ่อมบำรุงเชิงพยากรณ์	21
2.4.8 องค์ประกอบสำคัญของระบบบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์.....	22
2.5 Machine Learning	23
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	30
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	39
3.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องแยกสสาร	39
3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	41
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปราย.....	45
4.1 การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการสัน.....	45
4.2 การทดลองแบบจำลอง.....	47
4.3 วิเคราะห์การสร้างแบบจำลอง	48
4.4 การเปรียบเทียบแบบจำลอง	49
4.5 ทดลองแบบจำลองการพยากรณ์การสัน	50
บทที่ 5 บทสรุป.....	51
5.1 สรุปผล	51
5.2 อภิปรายผล	51
5.3 ข้อเสนอแนะ	52
บรรณานุกรม	53
ภาคผนวก	55
ประวัติผู้เขียน.....	59

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 แผนภูมิเกณฑ์ ของแผนงานวิจัย.....	4
ตาราง 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	32
ตาราง 3 ตัวแปรสำหรับการใช้ในการวิจัย.....	42
ตาราง 4 ผลการฝึกฝนแบบจำลอง.....	48
ตาราง 5 ผลการทดสอบแบบจำลอง.....	50



สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบ 1 กรอบงานวิจัย.....	3
ภาพประกอบ 2 สัดส่วนอุตสาหกรรมเครื่องดื่มไทย	6
ภาพประกอบ 3 สัดส่วนตลาดเครื่องดื่มไม่มีแอลกอฮอล์และเครื่องดื่มแอลกอฮอล์	6
ภาพประกอบ 4 สัดส่วนเชิงปริมาณการบริโภค (2020)	6
ภาพประกอบ 5 สัดส่วนเชิงมูลค่า (2020).....	7
ภาพประกอบ 6 เครื่องหมุนเหวี่ยงแยกสารแบบแกนนอน	8
ภาพประกอบ 7 เครื่องแยกสารหมุนเหวี่ยงแบบจาน	8
ภาพประกอบ 8 ตัวกรองด้วยเยื่อ	9
ภาพประกอบ 9 ช่วงการใช้งานแต่ละเทคโนโลยี	9
ภาพประกอบ 10 แรงเหวี่ยงด้วยแรงโน้มถ่วง	10
ภาพประกอบ 11 กองงานขามภายในโถ.....	11
ภาพประกอบ 12 ลักษณะกลไกของเครื่องแยกสารหมุนเหวี่ยงแบบกองซ้อน	12
ภาพประกอบ 13 เครื่องแบบกรอง(Purifier)	13
ภาพประกอบ 14 เครื่องแยกสาร (Clarifier).....	13
ภาพประกอบ 15 เครื่องแยกสารแบบกลั่น (Concentrator).....	14
ภาพประกอบ 16 ลักษณะการติดตั้งเพลลา.....	19
ภาพประกอบ 17 กราฟความพร้อมสมบูรณ์ และการเสื่อมสภาพของเครื่องจักร.....	21
ภาพประกอบ 18 มาตรฐานการสั้น ISO 10816-3	22
ภาพประกอบ 19 ข้อมูลหมาและแมว	23
ภาพประกอบ 20 ตัวอย่างการเรียนรู้แบบ Classification ด้วย Linear Classifier	24
ภาพประกอบ 21 ข้อมูลสำหรับ Regression ทายส่วนสูงจากน้ำหนักและเพศ	25

ภาพประกอบ 22 ข้อมูลสำหรับ Regression.....	25
ภาพประกอบ 23 การรวมกลุ่มกันของโครงสร้างต้นไม้ตัดสินใจ.....	26
ภาพประกอบ 24 อัลกอริทึมป่าสุ่ม.....	27
ภาพประกอบ 25 วงจรไฟฟ้าของตัววัดการสั่น.....	40
ภาพประกอบ 26 เปรียบเทียบระหว่างกระแสกับการสั่น	41
ภาพประกอบ 27 ข้อมูลที่มีการเก็บไว้ใน Data – Based	42
ภาพประกอบ 28 โครงสร้าง Random Forest Regression Machin learning	43
ภาพประกอบ 29 รอบการหมุนเครื่องแยกสสาร ก่อนจบกระบวนการผลิต.....	45
ภาพประกอบ 30 การสั่นของเครื่องแยกสสาร ก่อนจบกระบวนการผลิต	46
ภาพประกอบ 31 กระบวนการทำความสะอาดภายในเครื่องแยกสสาร.....	46
ภาพประกอบ 32 รอบการหมุนเครื่องแยกสสาร ช่วงเริ่มสตาร์ทใหม่.....	47
ภาพประกอบ 33 แผนผังการทดลอง	47
ภาพประกอบ 34 ข้อมูลที่พยากรณ์เปรียบเทียบกับข้อมูลทดสอบ 2 ชุดข้อมูล.....	49
ภาพประกอบ 35 ค่าการพยากรณ์เปรียบเทียบกับค่าจริง.....	50



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ภาคโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องตี มีความต้องการที่จะดูแลป้องกันเครื่องจักรให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพและการเข้าซ่อมบำรุงรักษาให้น้อยลง ซึ่งเครื่องจักรเป็นเครื่องมือสำคัญของวงการอุตสาหกรรม การเข้าซ่อมบำรุงเครื่องจักรโดยส่วนใหญ่จะทำเมื่อเครื่องจักรชำรุดเสียหาย หรือการซ่อมบำรุงรักษาเชิงแก้ไข (Reactive Maintenance) ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายให้กับเครื่องจักรและทำให้สายการผลิตต้องหยุดชะงัก การทำงานของเครื่องจักรภายใต้วิธีการนี้อาจก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองในเรื่องงบประมาณแรงงานและค่าใช้จ่ายที่เป็นจำนวนมาก อีกทั้งกระทบต่อเวลาการผลิต ส่งผลต่อต้นทุนการผลิตที่มากขึ้นอีกด้วย และวิธีการเข้าซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) เป็นการเข้าซ่อมบำรุงเครื่องจักร ตามแผนการเข้าซ่อมบำรุงรักษา โดยจะเป็นการอิงข้อมูลได้จากคู่มือของเครื่องจักรจากผู้ผลิต แต่การทำงานของเครื่องจักรภายใต้วิธีนี้มีโอกาสที่การเข้าซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักร โดยที่เครื่องจักร ณ ตอนนั้นยังสามารถเดินเครื่องได้ปกติ แต่ต้องเข้าซ่อมตามแผนการเข้าซ่อมบำรุงรักษา หรือเครื่องจักรอาจจะเสียหายก่อนที่จะถึงกำหนดเวลาการเข้าซ่อมบำรุงตามแผนการเข้าซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน

แนวคิดในการนำวิธีการเข้าซ่อมบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance) เข้ามาพัฒนาการเข้าซ่อมบำรุงรักษาเครื่องแยกสารภายในโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องตีนี้ เพื่อลดปัญหาเครื่องแยกสารเกิดความเสียหาย และลดต้นทุนจากการเข้าซ่อมบำรุงที่มีความเหมาะสมกับเครื่องจักร

ปัจจุบันเครื่องแยกสารที่ทำการศึกษาขึ้นนี้มีปัญหาหลักที่เกิดขึ้นคือเมื่อเครื่องแยกสารเริ่มสตาร์ทจะเกิดการสั่นที่มาก และแจ้งเตือนหน้าจอแสดงผลคือ Fault Vibration Stage 2 ซึ่งเซนเซอร์วัดการสั่นของเครื่องจักรมีไว้สำหรับป้องกันการสั่นของเครื่องจักรที่เกินมาตรฐาน แต่ไม่มีการส่งสัญญาณออกมาเพื่อแสดงค่าการสั่น มีเพียงการแจ้งเตือนบนจอแสดงผลของเครื่องจักรเพียงเท่านั้น

ด้วยเหตุนี้ทางผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการสั่นของเครื่องแยกสาร โดยการนำค่าพารามิเตอร์ของเซนเซอร์วัดการสั่น แปลงสัญญาณเพื่อแสดงค่าการสั่น และทำการวิเคราะห์สำหรับพยากรณ์การสั่นของเครื่องแยกสารในช่วงการเริ่มการทำงานของเครื่องแยกสาร การสร้างแบบจำลองการสั่นของเครื่องในการสตาร์ทครั้งแรกไป และในอนาคตเป็นแนวทางการตัดสินใจทำ

กระบวนการทำความสะอาดภายในเครื่องจักร เพื่อลดการเกิด Fault Vibration Stage 2 สำหรับเครื่องแยกสารเมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องจักร

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างแบบจำลองการพยากรณ์การสั่นของเครื่องแยกสาร
2. เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองสำหรับการพยากรณ์การสั่นของเครื่องแยกสาร

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเครื่องแยกสาร โดยมีพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการสั่นของเครื่องแยกสารเมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่อง ดังนี้ 1.รอบการหมุนของเครื่องแยกสารก่อนจบกระบวนการผลิต 2.ค่าการสั่นของเครื่องแยกสารก่อนจบกระบวนการผลิต 3.กระบวนการทำความสะอาดภายในเครื่องแยกสาร 4.รอบการหมุนของเครื่องแยกสารช่วงเริ่มสตาร์ทเครื่อง เพื่อนำมาวิเคราะห์ด้วย Random Forest Regression สำหรับการพยากรณ์การสั่นของเครื่องแยกสาร

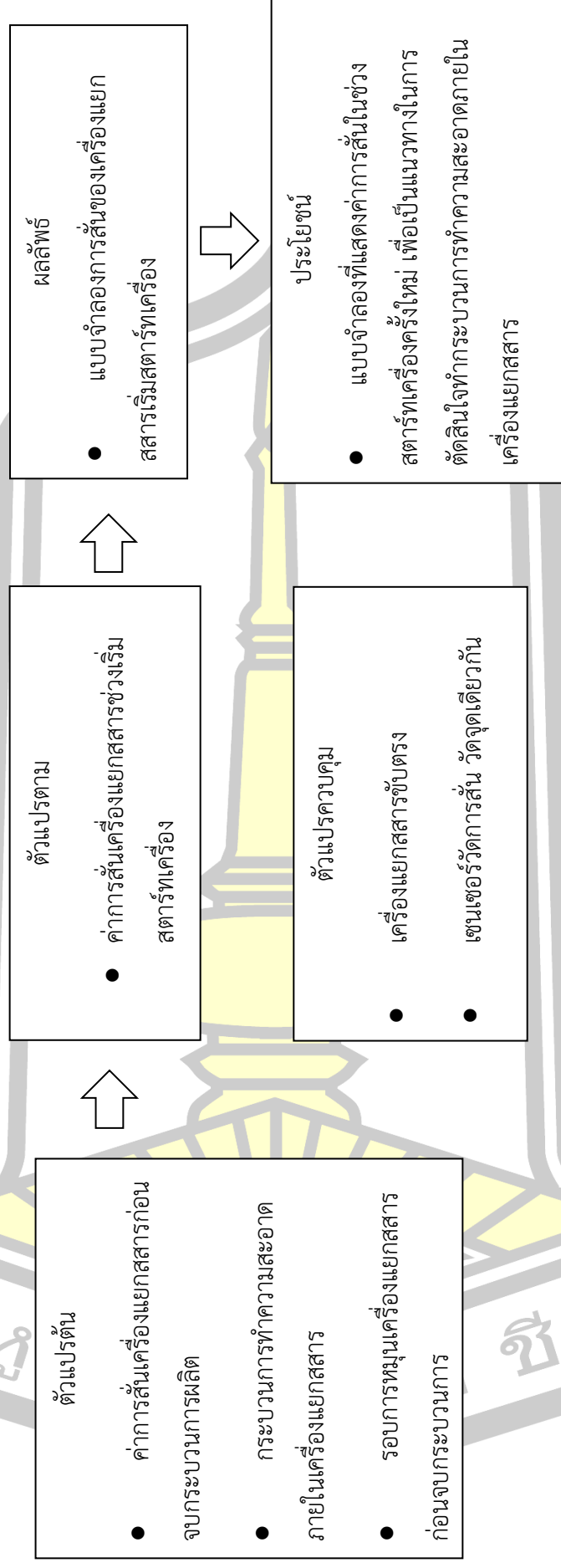
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.แบบจำลองการสั่นของเครื่องแยกสารภายในโรงงานอุตสาหกรรม
- 2.แบบจำลองการสั่นเพื่อเป็นแนวทางการตัดสินใจในการวางแผนการทำความสะอาดเครื่องแยกสารเพื่อบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์เครื่องจักรภายในโรงงานอุตสาหกรรม

พูน ปณ จิต ชีเว

1.5 กรอบแนวคิดของงานวิจัย

กรอบแนวคิดการวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาหาการสนันที่ส่งผลกระทบต่อเครื่องจักร



ภาพประกอบ 1 กรอบงานวิจัย

1.7 แผนของงานวิจัย

ตาราง 1 แผนภูมิเกณฑ์ของแผนงานวิจัย

กิจกรรม	ระยะเวลาดำเนินการศึกษา										
	1/2566						2/2566				
	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย
1. กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตงานวิจัย	↔										
2. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยรวบรวมข้อมูลจากเอกสาร หนังสือ	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔
3. ศึกษา การเก็บข้อมูล และวิธีการวิเคราะห์สาเหตุของแต่ละปัญหา		↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔
4. ศึกษาเทคนิคของโมเดลในการพยากรณ์เครื่องจักร				↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔
5. สอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ เขียนโครงวิทยานิพนธ์ร่างบทที่ 1-3					↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔
6. ดำเนินการวิจัย											
1. ตั้งค่าสัญญาณจากเซนเซอร์วัดการสั่น											
2. เก็บรวบรวมข้อมูล											
3. สร้างแบบจำลองพยากรณ์การสั่นของเครื่องแยกสาร											
4. สรุปผลการวิจัย											
7. สอบวิทยานิพนธ์											↔

บทที่ 2

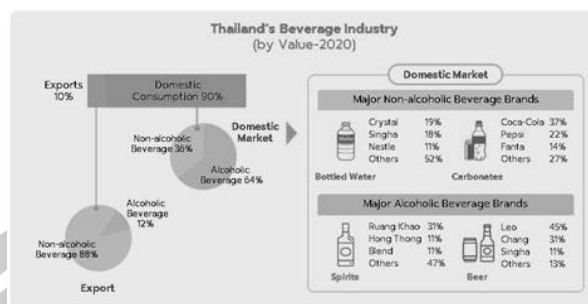
ปรีทัศน์เอกสารข้อมูล

ในการศึกษาเรื่อง การพัฒนาระบบติดตามการสิ้นของเครื่องแยกสสารเพื่อพยากรณ์การซ่อมบำรุง กรณีศึกษาอุตสาหกรรมเครื่องต้ม ในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา ดังนี้

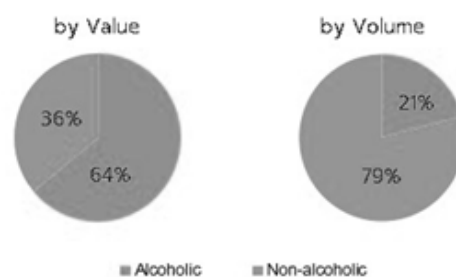
- 2.1 อุตสาหกรรมเครื่องต้มประเทศไทย
- 2.2 เครื่องแยกสสาร
- 2.3 ทฤษฎีการสิ้น
- 2.4 การพยากรณ์การซ่อมบำรุง
- 2.5 ระบบติดตามการสิ้น
- 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อุตสาหกรรมเครื่องต้มประเทศไทย

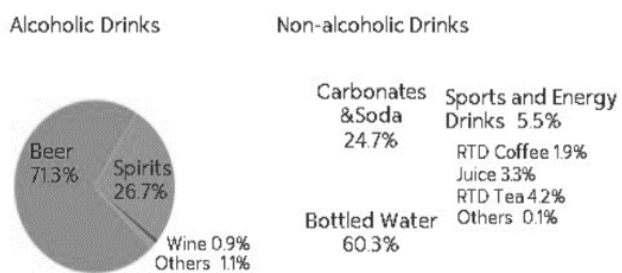
สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องต้มไทยถือว่าเป็นอุตสาหกรรมที่มีขนาดใหญ่โดยสามารถผลิตเครื่องต้มนานาชนิดสนองความต้องการผู้บริโภคในประเทศ สัดส่วน 90 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณผลผลิตทั้งหมด ได้เพียงพอ นอกจากนี้ไทยยังสามารถส่งออกโดยคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณผลผลิตทั้งหมด ดังภาพประกอบ 1 ในปี พ.ศ. 2563 มีปริมาณการบริโภครวม 1.3 หมื่นล้านลิตร คิดเป็นมูลค่าประมาณ 7.2 แสนล้านบาท ซึ่งแบ่งเป็น ตลาดเครื่องต้มไม่มีแอลกอฮอล์และเครื่องต้มแอลกอฮอล์ คิดเป็นสัดส่วน 79 : 21 ในเชิงปริมาณการบริโภค และ 36 : 64 ในเชิงมูลค่า ดังภาพประกอบ 2 และเมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นได้ว่าในส่วนของเครื่องต้มแอลกอฮอล์ เติบโต มีสัดส่วนที่น้อยกว่าไม่มีแอลกอฮอล์ ซึ่งมีสัดส่วนที่ 21 แต่ในเชิงมูลค่านั้น เครื่องต้มแอลกอฮอล์กลับมีสัดส่วนที่มากกว่าเครื่องต้มไม่มีแอลกอฮอล์ ด้วยสัดส่วนที่ 64 และเครื่องต้มแอลกอฮอล์นั้น มีสัดส่วนเปอร์เซ็นต์เชิงปริมาณการบริโภคกับเชิงมูลค่ามากที่สุดคือ เบียร์ที่ 71.3 เปอร์เซ็นต์และ 54.3 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพประกอบ 3-4 [1]



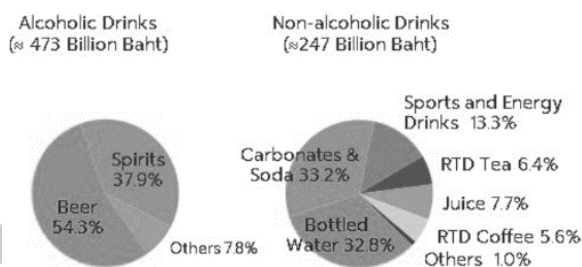
ภาพประกอบ 2 สัดส่วนอุตสาหกรรมเครื่องดื่มไทย [1]



ภาพประกอบ 3 สัดส่วนตลาดเครื่องดื่มไม่มีแอลกอฮอล์และเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ [1]



ภาพประกอบ 4 สัดส่วนเชิงปริมาณการบริโภค (2020) [1]



ภาพประกอบ 5 สัดส่วนเชิงมูลค่า (2020) [1]

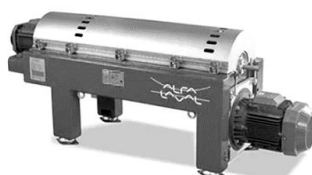
2.2 เครื่องแยกสาร

เทคโนโลยีการแยกส่วนมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมหลากหลายประเภท ตั้งแต่อาหาร เครื่องดื่ม และยาไปจนถึงการเดินเรือและพลังงานไปจนถึงการบำบัดน้ำและของเสีย เทคโนโลยีต่าง ๆ ใช้ในการแยกของเหลวออกจากของเหลวและของแข็งออกจากของเหลวโดยมีจุดประสงค์เพื่อเปลี่ยนให้เป็นสารที่สะอาดขึ้น สามารถนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์ และปริมาณของสิ่งที่ไม่ต้องการน้อยลง เช่น สำหรับอุตสาหกรรมอาหารน้ำมันมะกอกถูกแยกออกจากเนื้อมะกอก สำหรับยาจะใช้เครื่องแยกสารสำหรับการแยกเก็บเกี่ยวเซลล์ สำหรับอุตสาหกรรมทางทะเลการบำบัดเชื้อเพลิงและการทำความสะอาดเชื้อเพลิงจะจัดสิ่งสกปรกออกจากน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อปกป้องเครื่องยนต์ของเรือ เพื่อให้มั่นใจว่าเครื่องยนต์จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น สำหรับอุตสาหกรรมพลังงานสามารถสกัดไบโอดีเซลและเชื้อเพลิงชีวภาพจากแหล่งที่มาจากพืชหมุนเวียน ในบทความนี้ จะได้เรียนรู้เกี่ยวกับเครื่องแยกสารหมุนเหวี่ยงประเภทต่าง ๆ ทำงานอย่างไรและเทคโนโลยีใดบ้างที่ใช้ในการแยกของเหลวออกจากของเหลวและการแยกของแข็งออกจากของเหลว

การแยกของเหลวออกจากของเหลวและการแยกของแข็งออกจากของเหลวมีหลายวิธี เทคโนโลยีที่นิยมมากที่สุดของ มีสองสองเทคโนโลยีคือ การแยกหมุนเหวี่ยงและการกรอง โดยเครื่องแยกสาร มีทั้งเครื่องแยกแบบแกนนอนและเครื่องแยกสารแบบจาน โดยทุกเครื่องต่างถูกนำมาใช้ในกระบวนการที่แตกต่างกันหรือแม้กระทั่งใช้อย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้ผลการแยกสารตามที่ต้องการ ดังนี้

1. เครื่องแยกสารแบบแกนนอน

จะกำจัดอนุภาคขนาดใหญ่ออกจากสารละลายหรือของเหลวที่มีความเข้มข้นของของแข็งสูงรวมทั้งแยกของเหลวออกจากของเหลวที่มีความหนาแน่นแตกต่างกันโดยใช้แรงเหวี่ยง



ภาพประกอบ 6 เครื่องหมุนเหวี่ยงแยกสารแบบแกนนอน [2]

2. เครื่องแยกสารหมุนเหวี่ยงแบบจาน

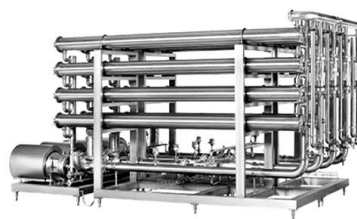
จะใช้แรงเหวี่ยงเพื่อแยกของเหลวที่มีความเข้มข้นของของแข็งต่ำและมีอนุภาคค่อนข้างเล็กออก ซึ่งเหมาะสำหรับการแยกของเหลวออกจากของเหลวและแยกของแข็งที่อนุภาคค่อนข้างเล็กออกจากของเหลว



ภาพประกอบ 7 เครื่องแยกสารหมุนเหวี่ยงแบบจาน [2]

3. ตัวกรองด้วยเยื่อ

โดยทั่วไปจะใช้กับของแข็งที่มีความเข้มข้นต่ำและใช้จับอนุภาคที่เล็กที่สุด โดยทั่วไปตัวกรองด้วยเยื่อจะจำกัดอนุภาคที่มีขนาดไม่เกิน 1 ไมครอนในของเหลวที่มีปริมาณของแข็งไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์



ภาพประกอบ 8 ตัวกรองด้วยเยื่อ [2]

ช่วงการใช้งานของแต่ละเทคโนโลยี มีดังนี้

1. เครื่องแยกสารแบบแกนนอน

ของเหลวที่มีปริมาณของแข็ง 15 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป กับ ขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 10 ไมครอน

2. เครื่องแยกสารหมุนเหวี่ยงแบบจาน

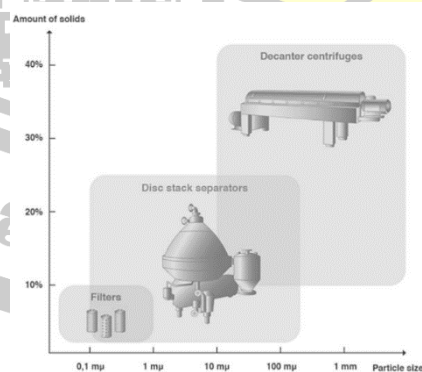
ของเหลวที่มีปริมาณของแข็งไม่เกิน 25 เปอร์เซ็นต์ กับ ขนาดอนุภาคระหว่าง 0.1 ไมครอนไปจนถึง 150 ไมครอน

3. ตัวกรอง

ของเหลวที่มีปริมาณของแข็งไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ กับ ขนาดอนุภาคเล็กกว่า 1 ไมครอน

4. ตัวกรองด้วยเยื่อ

ของเหลวที่มีความเข้มข้นของของแข็งไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ กับ ขนาดอนุภาคสูงสุดไม่เกิน 1 ไมครอน



ภาพประกอบ 9 ช่วงการใช้งานแต่ละเทคโนโลยี [2]

เครื่องหมุนเหวี่ยงแบบกองซ้อนทำงานอย่างไร

ดังที่ทราบ มีเทคโนโลยีการแยกสสารหลายประเภทที่พร้อมใช้งาน เทคโนโลยีการแยกสสารที่เกี่ยวข้องกับตัวแยกแบบกองซ้อน ใช้สำหรับการปั่นแยกเฟสต่าง ๆ ของของแข็งและของเหลวจะถูกแยกออกจากกันตามความแตกต่างของความหนาแน่น

คล้ายกับถังตกตะกอน เครื่องแยกสสารแบบกองซ้อนใช้แรงโน้มถ่วงเพื่อแยกของเหลวที่มีความหนาแน่นเฉพาะออกจากของเหลวและของแข็งอื่นๆ ซึ่งแตกต่างจากถังตกตะกอนซึ่งใช้เวลาที่กักเก็บเป็นพารามิเตอร์หลักสำหรับของเหลวที่มีความหนาแน่นกันเพื่อแบ่งเป็นชั้นและของแข็งเพื่อตกตะกอนไปที่ก้นถัง เครื่องแยกสสารแบบแรงเหวี่ยงใช้แรงทางกลเพื่อแยกของเหลวและของแข็งที่มีความหนาแน่นต่างกันออกจากกัน

โดยพื้นฐานของเครื่องแยกสสารแบบกองซ้อน คือถังตกตะกอนที่มีฐานพันรอบเส้นกึ่งกลางของขบวนการหมุนอย่างรวดเร็วของโถแยกหมายความว่า ผลของแรงโน้มถ่วงถูกแทนที่ด้วยแรงหนีศูนย์กลางที่ควบคุมได้ หรือแรงโน้มถ่วงที่เรียกกันว่าแรงจี (G) ซึ่งอาจมีผลมากกว่าแรงโน้มถ่วงถึง 10,000 เท่า

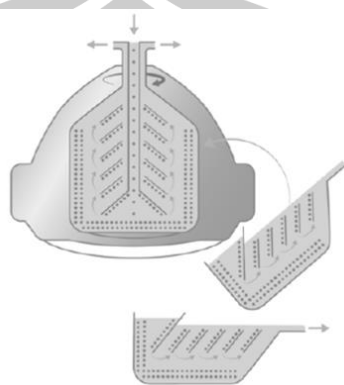


ภาพประกอบ 10 แรงเหวี่ยงด้วยแรงโน้มถ่วง [2]

จากนั้นใช้แรงจี (G) เพื่อแยกสสารของเหลวออกจากของเหลวและของแข็งอื่นๆ อย่างมีประสิทธิภาพด้วยความแม่นยำและความเร็วที่เหมาะสมและคงที่ และในลักษณะที่ควบคุมได้ง่าย กองแผ่นดิสก์ภายในช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกสสารให้สูงขึ้นโดยการเพิ่มพื้นที่การแยกสสารในขามแยกสสารให้มากขึ้น ซึ่งหมายความว่างานคัดแยกสสารโดยใช้เครื่องแยกสสารแบบเหวี่ยงไม่เพียงแต่จะเกิดขึ้นเร็วขึ้นเท่านั้น แต่ยังส่งผลให้มีคุณภาพและผลผลิตที่สูงขึ้นอีกด้วย

ของแข็งที่เกาะอยู่ที่ขอบด้านนอกของขามจะถูกกำจัดออกแบบต่อเนื่อง เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมหรือแบบตามที่ต้องการ ขึ้นอยู่กับปริมาณของของแข็งที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานเฉพาะ

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแยกสาร จานทรงกรวยวางซ้อนกันซ้อนกันภายในโถ เพื่อให้มีพื้นที่ผิวแยกมากขึ้น กองเหล่านี้เรียกว่ากองจานขาม แรงการตกตะกอนของของแข็งออกจากของเหลวอย่างมาก



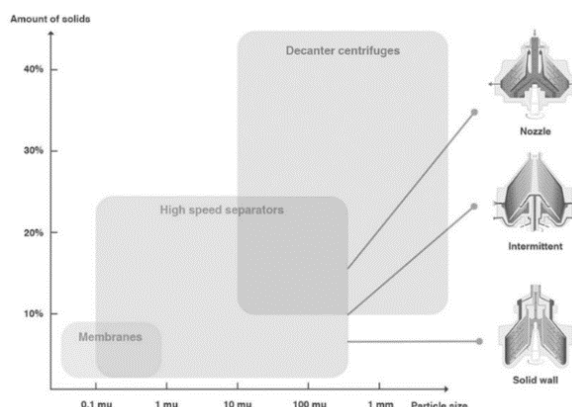
ภาพประกอบ 11 กองจานขามภายในโถ [2]

การออกแบบตัวแยกสารสำหรับการจัดการของแข็ง

เครื่องแยกสารหมุนเหวี่ยงแบบกองซ้อนทำงานในการแยกของแข็งและของเหลวหนึ่งหรือสองเฟสออกจากกันโดยใช้แรงเหวี่ยงที่สูงมาก แรงสู่ศูนย์กลางที่เกิดจากขามหมุนจะผลักของแข็งไปที่ขอบของขาม ในขณะที่เฟสของเหลวที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าจะก่ตัวเป็นชั้น กระบวนการแยกสารสามารถเป็นได้ทั้งแบบไม่ต่อเนื่องหรือต่อเนื่อง ขึ้นอยู่กับปริมาณของของแข็งที่แยกออกจากกัน

เครื่องแยกสารหมุนเหวี่ยงแบบกองซ้อนมีกลไกประเภทต่าง ๆ ในการจัดการกับของแข็ง ขึ้นอยู่กับหน้าที่ในการคัดแยก การออกแบบตัวแยกสารมีสามประเภทขึ้นอยู่กับประเภทจัดการของของแข็ง ดังนี้

1. เครื่องแยกสารแบบการทำงานจะต้องมีการหยุดลงเพื่อเปิดโถออก เพื่อให้สามารถเอาของแข็งที่เก็บรวบรวมออกได้ด้วยตัวเอง
2. เครื่องแยกสารแบบใช้แรงดันน้ำช่วยผลักหรือดันที่ขอบขามจะเปิดโดยอัตโนมัติตามช่วงเวลาเพื่อกำจัดของแข็งที่รวบรวมไว้ออกจากโถ
3. เครื่องแยกสารของแข็งและของเหลวออกจากเครื่องแยกอย่างต่อเนื่อง โดยหัวฉีดที่รอบนอกของโถช่วยให้ของแข็งและของเหลวออกจากเครื่องแยกสารระหว่างการทำงานอย่างต่อเนื่อง



ภาพประกอบ 12 ลักษณะกลไกของเครื่องแยกสารหมุนเหวี่ยงแบบกองซ้อน [2]

ประเภทการแยกสาร

โดยทั่วไปแล้วเครื่องแยกสารแบบตัวแยกกองซ้อนจะใช้สำหรับงานแยกสารเชิงพาณิชย์ และอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการแยกของเหลวกับของเหลว และการแยกของแข็งกับของเหลว

การแยกของเหลวกับของเหลว เกี่ยวข้องกับของเหลวสองชนิดที่ผสมกันไม่ได้ ซึ่งมีความหนาแน่นที่แตกต่างกัน

การแยกของแข็งกับของเหลว มีหลากหลายประเภท ดังนี้

- 1.1. การแยกของแข็งออกจากของเหลวเพื่อนำผลพลอยได้ที่มีค่ากลับมาใช้ใหม่ และปล่อยของเหลวเพื่อไปบำบัดเป็นน้ำทิ้ง
- 1.2. การแยกของเหลวที่มีค่าออกจากของแข็ง และของแข็งที่ปล่อยออกมาเพื่อนำไปเป็นของเสีย
- 1.3. การแยกของเหลวและของแข็ง ออกจากกัน เพื่อนำทั้งสองประเภทกลับมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีค่า
- 1.4. การแยกของแข็งออกจากของเหลว เพื่อนำของเหลวมาแยกอีกครั้งเพื่อป้องกันการปนเปื้อนภายในของเหลว ก่อนจะนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์

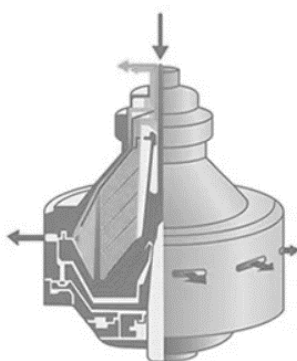
พูน ปณ จิตโต ชีเว

การออกแบบสำหรับการแยกหน้าที่ต่างกัน

โดยทั่วไป มีเครื่องแยกสารอยู่ 3 ประเภทขึ้นอยู่กับประเภทของหน้าที่ในการแยก ดังนี้

1. เครื่องแบบกรอง (Purifier)

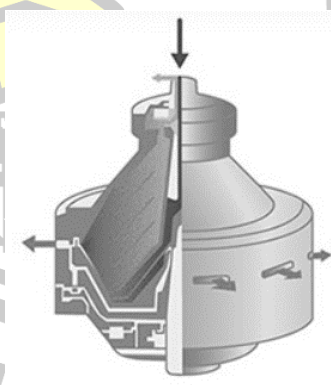
เป็นเครื่องกรองสารด้วยแรงเหวี่ยงสำหรับการแยกของเหลวกับของเหลวและของแข็ง ซึ่งจะแยกของเหลวสองชนิดที่มีความหนาแน่นที่แตกต่างกัน และของแข็ง เช่น น้ำมัน จาก น้ำที่ปนเปื้อน และทำการแยกน้ำมันออกจากเศษปนเปื้อนของแข็งอีกที เพื่อความสะอาดของน้ำมัน



ภาพประกอบ 13 เครื่องแบบกรอง(Purifier) [2]

2. เครื่องแยกสาร (Clarifier)

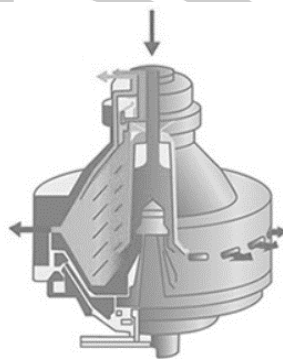
เป็นเครื่องแยกสารด้วยแรงเหวี่ยงสำหรับการแยกของแข็งและของเหลว ซึ่งจะขจัดของแข็ง เช่น อนุภาคตะกอน น้ำมัน สารอินทรีย์ธรรมชาติ เป็นต้น



ภาพประกอบ 14 เครื่องแยกสาร (Clarifier) [2]

3. เครื่องแยกสารแบบกลั่น (Concentrator)

เป็นเครื่องแยกสารแบบแรงเหวี่ยงที่ออกแบบมาเพื่อแยกเฟสที่แตกต่างกันทั้งสามเฟส โดยเฟสแรกที่แยกคือของแข็งกับของเหลว ออกจากกัน และแยกของเหลวกับของเหลวออกจากกัน จากความหนาแน่นที่แตกต่างกัน [2]



ภาพประกอบ 15 เครื่องแยกสารแบบกลั่น (Concentrator) [2]

2.3 ทฤษฎีการสั่น

การสั่น คือการเคลื่อนที่ของมวลทุกทิศทุกทางในตำแหน่งอยู่กับที่ ซึ่งเกิดจากแรงที่มากระทำทั้งภายในและภายนอก จึงทำให้มวลเกิดการสั่นสะเทือนในรูปแบบลักษณะต่าง ๆ สำหรับเครื่องจักรกลภายในโรงงานอุตสาหกรรม เมื่อมีการทำงานของเครื่องจักรก็จะทำให้เกิดการสั่น ซึ่งถ้าหากเกิดการสั่นที่มากจำเป็นที่จะต้องหาสาเหตุของการสั่น เพื่อหาวิธีแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยลดการสั่นให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนดหรือยอมรับได้ เพื่อให้เครื่องจักรสามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพ มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น ลดค่าใช้จ่ายเมื่อต้องเข้าไปซ่อมบำรุงเครื่องจักร ซึ่งนำไปสู่การลดต้นทุนในการผลิตของผลิตภัณฑ์ได้

สาเหตุที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือน การทำงานของเครื่องจักรชิ้นส่วน อุปกรณ์ จะทำให้เกิดแรงและการเคลื่อนที่ โดยเฉพาะชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ไม่สมดุล และมีการหมุนเคลื่อนที่ สิ่งที่เกี่ยวข้องไม่ได้คือ การสั่น ซึ่งเกิดจากชิ้นส่วนตั้งแต่สองชิ้นขึ้นไปเคลื่อนที่เสียดสีกันทำให้เกิดการสั่นได้เช่นกัน อาจจะมีสาเหตุมาจากการขาดสารหล่อลื่น การหล่อลื่นไม่เพียงพอ การหล่อลื่นผิดวิธีของชิ้นส่วนที่มีลักษณะผิวที่ไม่เรียบหรือขรุขระของชิ้นส่วนเมื่อสัมผัสกันโดยตรง การสึกหรอ การหลวมคลาย ก็เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการสั่นได้

ผลเสียจากการสั่น ในกรณีที่การสั่นเป็นสิ่งที่เราคาดไม่ถึงและไม่ต้องการ จะส่งผลกระทบต่อเครื่องจักรให้ เครื่องจักรมี ประสิทธิภาพ สมรรถนะการทำงาน of เครื่องจักรลดลง เกิดการเสียหาย

เร็วกว่ากำหนด ทำให้สายการผลิตต้องหยุดชะงักส่งผลต่อค่าใช้จ่ายที่มากขึ้นรวมไปถึงต้นทุนการผลิตที่มากขึ้น ฉะนั้นในการแก้ไขปัญา และการควบคุมการสั่น จึงจะต้องมีความรู้ความเข้าใจลักษณะ และความหมายของการสั่น เพื่อทราบสาเหตุที่ถูกต้อง สามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงแก้ไขให้เครื่องจักรมีการสั่นที่ลดลงและอยู่ในระดับเกณฑ์ที่ยอมรับได้

สาเหตุที่ทำให้เกิดการสั่นของเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมนั้นมาจาก หลายสาเหตุ ดังนี้

1. ความไม่สมดุลในการหมุน (Unbalance) จะเกิดขึ้นเมื่อจุดศูนย์กลางของการหมุนและจุด ศูนย์กลางของมวลนั้นไม่อยู่ในตำแหน่งเดียวกัน เช่น การไม่สมดุลของเพลลาที่บิด คด งอ หรือชำรุด
2. ความไม่ได้ศูนย์ (Misalignment) ระหว่างเพลลาของปั้มและมอเตอร์ต้นกำลัง
3. การหลวมคลายของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องจักร
4. การที่แบริ่งหรือบูช เกิดการชำรุดสึกหรอหรือเกิดจากสารหล่อลื่นไม่เพียงพอ
5. ฐานเครื่องหรือจุดจับยึดของเครื่องจักรหลวมคลาย
6. การประกอบติดตั้งเครื่องจักร ไม่ถูกวิธี หรือไม่ครบถ้วนตามคู่มือที่กำหนดไว้

2.4 การพยากรณ์การซ่อมบำรุง

2.4.1 ลักษณะการซ่อมบำรุงรักษาภายในโรงงานอุตสาหกรรมแบ่งออก ดังนี้

1. การซ่อมบำรุงรักษาเมื่อเครื่องจักรเสีย

การซ่อมบำรุงรักษาเมื่อเครื่องจักรเสีย (Breakdown Maintenance) เป็นการเดินเครื่องจักรโดยไม่มีการเข้าซ่อม เข้าตรวจสอบ จนกระทั่งเครื่องจักรเสียหาย ไม่สามารถใช้งานได้ จึงมีการเข้าซ่อมแซม แก้ไขหรือเปลี่ยนใหม่ ทำให้มีข้อเสียคือ

1.1 อาจมีค่าใช้จ่ายมาก ในบางกรณีที่เกิดกับอุปกรณ์ หรือชิ้นส่วนของเครื่องจักรที่เสียหายหนักไม่สามารถซ่อมได้ ต้องเปลี่ยนใหม่ทำให้ต้องมีการสั่งซื้อชิ้นส่วนนั้น และใช้เวลาการซ่อมจนกระทั่งกลับมาใช้งานได้ เป็นเวลานานมากขึ้น

1.2 สูญเสียผลผลิตในช่วงระหว่างรอซ่อมเครื่องจักร

2. การซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน หรือตามแผนการซ่อมที่กำหนดไว้ (Preventive Maintenance) เป็นระบบที่ ต้องการให้เครื่องจักรทำได้ตามปกติ เดินเครื่องจักรมีประสิทธิภาพสม่ำเสมอ และเป็นมาตรฐานเดียวกันตลอด โดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด จึงพยายามวางแผนการซ่อมบำรุงต่าง ๆ ตามความเหมาะสมกับเครื่องจักรภายในโรงงานอุตสาหกรรม โดยมีเป้าหมาย หลัก ดังต่อไปนี้

2.1 ลดการเกิดขัดข้องของเครื่องจักรหรือขจัดปัญหาการทำงานของเครื่องจักรให้หมดไป โดยเพิ่มความมั่นใจให้กับการทำงานของเครื่องจักรให้สูงขึ้น

2.2 ถ้าหลีกเลี่ยงการหยุดเครื่องจักรเมื่อเกิดการเสีย หรือหยุดเดินเครื่องจักรไม่ได้ ก็ต้องพยายามลดเวลาหยุดเครื่องจักรให้หยุดน้อยที่สุด ด้วยการวางแผนการเข้าซ่อมบำรุง กำลังพลเข้าซ่อม และอะไหล่ของเครื่องจักรให้ครบอย่างมีประสิทธิภาพ

เพื่อให้บรรลุเป้าหมายดังกล่าว ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมส่วนมากเลือกใช้การซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) คือการวางแผนลงไปยังปฏิทินเพื่อทำการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรล่วงหน้าก่อน เพื่อลดเครื่องจักรเกิดการชำรุด ขัดข้องอย่างกะทันหันในระหว่างกระบวนการผลิต โดยออกแบบวางแผนทั้งทางด้านการทำความสะอาด น้ำมันหล่อลื่น การตรวจสอบสภาพเครื่องจักรการซ่อมเครื่องจักร เปลี่ยนอย่างสม่ำเสมอ เช่น ทุกวัน รายสัปดาห์ รายเดือน รายปี เป็นต้น

การกำหนดเวลาเข้าซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน ในการวางแผนซ่อมบำรุงเครื่องจักร การกำหนดเวลาเข้าซ่อมบำรุงจะมีความถี่หรือเวลาที่ห่างมากน้อยเพียงใด ถือว่าเป็นเรื่องที่สำคัญมาก ถ้ากำหนดช่วงเวลากการซ่อมที่ถี่หรือ เร็วเกินไป ก็จะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองงบประมาณมาก ผลผลิตลดลง ในทางตรงข้ามถ้ากำหนดช่วงเวลากการเข้าซ่อมบำรุงห่างเกินไป เครื่องจักรอาจจะเกิดการขัดข้อง หรือเสียหายมาก ก่อนที่จะถึงกำหนดเข้าซ่อมบำรุงหรือ เปลี่ยนชิ้นส่วนอะไหล่เครื่องจักร

ฉะนั้นความเหมาะสม หรือความพอดีในการกำหนดช่วงความถี่ในการเข้าตรวจและการเข้าซ่อมบำรุง ควรพิจารณาได้จากองค์ประกอบหลายๆอย่างรวมกัน เช่น จากคำแนะนำของผู้ผลิตเครื่องจักร สภาพแวดล้อมโดยรวมของเครื่องจักร เวลาการทำงานเครื่องจักร ความถี่ที่เกิดการขัดข้องของเครื่องจักรจากประวัติที่ผ่านมา และการเข้าซ่อมบำรุงตามการเสื่อมสภาพของเครื่องจักร เป็นต้น

การกำหนดเวลาเข้าซ่อมบำรุงเครื่องจักร เป็นการซ่อมบำรุงโดยใช้จำนวนเวลาการทำงาน ของเครื่องจักรเป็น ความถี่ หรือห่างของการเข้าซ่อมบำรุงเครื่องจักร เช่น การเปลี่ยนชิ้นส่วนอะไหล่เครื่องจักร การทำความสะอาดเครื่องจักร เป็นการเข้าตรวจสอบเครื่องจักร และการเข้าซ่อมบำรุงแก้ปัญหาเล็กๆ ก่อนที่จะเกิดการขัดข้องหรือเสียหายขนาดใหญ่ รวมถึงการถ่ายเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นตามเวลากำหนดไว้ ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียดังนี้

ข้อดี

1. เนื่องด้วยมีการเข้าตรวจสอบสภาพเครื่องจักรอยู่เสมอ และมีการเข้าซ่อมบำรุงรักษาล่วงหน้า ทำให้ทราบถึงสภาพเครื่องจักร และตัดสินใจได้ว่าจะใช้งานต่อไปหรือต้องเปลี่ยนใหม่ เพื่อวางแผนการเข้าซ่อมบำรุง เตรียมความพร้อมในเรื่องของชิ้นส่วนอะไหล่เครื่องจักร และกำลังพลในการเข้าซ่อมเครื่องจักร ทำให้เวลาการเข้าซ่อมบำรุงลดลงและประหยัดค่าใช้จ่าย

2. การขัดข้องแบบฉุกเฉินของเครื่องจักรลดลง

3. สามารถวางแผนการเข้าซ่อมบำรุง ให้สอดคล้องกับแผนในการผลิตเพิ่มขึ้น

ข้อเสีย

1. ถ้าการเข้าซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) ล่วงหน้ากำหนดให้มีการเปลี่ยนอะไหล่ตามเวลาการใช้งาน ซึ่งอะไหล่ บางอย่างอาจยังมีสภาพที่ดี และยังสามารถใช้งานต่อไปได้อีก อาจทำให้เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็น หรือหากต้องเปลี่ยนใหม่เร็วเกินไป

2. การตรวจสอบสภาพภายในเครื่องจักรขนาดใหญ่ เช่น แบริ่งตลับลูกปืน อาจจะต้องใช้วิธีถอดชิ้นส่วนและเปิดและปิดฝาครอบ ทำให้ใช้กำลังพลในการเข้าเปลี่ยนมาก สูญเสียเวลาในกระบวนการผลิต และอาจทำให้ชิ้นส่วนเครื่องจักรเกิดการชำรุด เสียหายได้

3. การซ่อมบำรุงเชิงพยากรณ์

การซ่อมบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance) เป็นการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพเครื่องจักร ซึ่งเป็นวิธีการกำหนดเวลาซ่อมบำรุงที่ดีที่สุด และสามารถใช้ประโยชน์ของเครื่องจักรและอุปกรณ์ได้สูงสุด นั่นคือ การทำงานจนกระทั่งเครื่องจักรเสื่อมสภาพลง จึงเข้าดำเนินการซ่อมบำรุง หรือปรับปรุงเครื่องจักรให้กลับคืนสู่สภาพเดิมหรือดีมากขึ้น

การกำหนดความถี่การเข้าซ่อมบำรุงตามสภาพ เหมาะสำหรับเครื่องจักรที่สามารถตรวจวัดสภาพได้ เช่น การวิเคราะห์สภาพภายในเครื่องจักรจากน้ำมันหล่อลื่น การตรวจวัดความร้อน เสียง การสั่น การหาค่าการสั่นหรือของแบริ่ง เป็นต้น

2.4.2 การตรวจวัดสภาพเครื่องจักร

แนวทางการตรวจวัดสภาพเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ แบ่งออกเป็นสองลักษณะ คือ

1. ตรวจวัดจากความรู้สึก เป็นวิธีการวัดพื้นฐานแบบง่าย ที่พนักงานหรือช่างซ่อมบำรุง ควรฝึกฝน ซึ่งถือว่าเป็นทักษะเบื้องต้น เพื่อสร้างโสตสัมผัสของการเป็นช่างซ่อมบำรุง ด้วยการสร้างและสะสมประสบการณ์จากการสังเกต ความรู้สึกที่คลุกคลีอยู่กับเครื่องจักรทั้งการตรวจสอบและเข้าซ่อมมาเป็นเวลานาน

การตรวจวัดสภาพเครื่องจักรด้วยวิธีนี้มีโอกาสที่เกิดการผิดพลาดจากพนักงานหรือช่างซ่อมบำรุงนั้นมีมาก เนื่องจากโสตสัมผัสของแต่ละบุคคลนั้นมีความแตกต่างกัน และไม่สามารถบันทึกเป็นข้อมูลได้ จึงเป็นวิธีเหมาะสมสำหรับการเข้าตรวจสอบสภาพเครื่องจักรในระยะเริ่มแรก เพื่อนำกลับไปทำแผนเข้าซ่อมซึ่งได้ข้อมูลที่น่าเชื่อถือได้

2. ตรวจวัดจากเครื่องมือวัดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักรโดยเฉพาะ เป็นผลมาจากการวิวัฒนาการทางด้านเทคโนโลยีซึ่งได้ข้อมูลอย่างรวดเร็ว ทำให้สามารถเลือกใช้อุปกรณ์ในการตรวจวัดที่เหมาะสมกับเครื่องจักรแทนการใช้วิธีการตรวจวัดด้วยโสตสัมผัสของทางพนักงานหรือช่าง

โดยตรง ทำให้ได้ผลการตรวจวัดถูกต้องตามมาตรฐานเดียวกัน และสามารถนำผลที่ได้ไปพยากรณ์ว่า จะสามารถใช้งานเครื่องจักรต่อไปได้ในเวลานั้น

2.4.3 แนวทางการซ่อมบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์

การซ่อมบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance) คือการซ่อมบำรุงรักษาโดยการตรวจวัดสภาพเครื่องจักรอย่างต่อเนื่องอย่างสม่ำเสมอ เพื่อตรวจสอบแนวโน้มสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้น ในขณะที่เครื่องจักรทำงาน และทำให้ทราบว่าเครื่องจักรทำงานอยู่ในสภาพใด เพื่อคาดการณ์หรือทำนายการซ่อมบำรุงรักษาล่วงหน้า โดยใช้ข้อมูลจากการตรวจสอบและบันทึกเพื่อนำมาวิเคราะห์ แก้ไขปัญหา

เพื่อให้ได้การซ่อมบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์บรรลุเป้าหมายและมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น จำเป็นต้องมีการปรับปรุงระบบของข้อมูลและติดตามเทคโนโลยีของเครื่องมือวัด เพื่อเลือกใช้ให้เหมาะสมและแม่นยำขึ้น ซึ่งปัจจุบันระบบคอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาทอย่างมากในการคำนวณและการประยุกต์ใช้กับเครื่องมือ เพื่อการตอบสนองความต้องการในการพัฒนาการซ่อมบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ และขจัดปัญหาของการเกิดเครื่องจักรหยุดทำงานกะทันหัน

ดังนั้นในการตรวจสอบเครื่องจักร จึงใช้ทั้งการตรวจสอบด้วยสัมผัสสัมผัสกับเครื่องมือวัด ที่จำเป็นต่อเครื่องจักร เช่น การตรวจสอบการสั่นของเครื่องจักร เครื่องมีวัดอุณหภูมิ เครื่องฟังเสียงแบร้งภายในเครื่องจักร เป็นต้น

นอกจากนี้การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ยังหมายถึงการบันทึกข้อมูลต่าง ๆ เพื่อดูแนวโน้มการผิดปกติของเครื่องจักรโดยรวม เช่น อัตราการไหล แรงดันภายในเครื่อง เวลาของการทำงานเป็นต้น

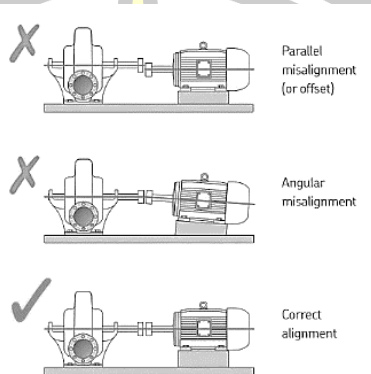
2.4.4 การสำรวจเครื่องสำหรับ (Predictive Maintenance)

เริ่มต้นการทำระบบการซ่อมบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ คือการสำรวจการเสียหายขัดข้องของเครื่องจักรภายในโรงงานอุตสาหกรรม ว่าเกิดมาจากสาเหตุอะไรบ้าง ซึ่งโดยส่วนมากจะเกิดสาเหตุต่าง ๆ ได้ ดังต่อไปนี้

1. การปนเปื้อนในสารหล่อลื่น หมายถึงน้ำมันหล่อลื่นหรือจาระบี มีการปนเปื้อนจากฝุ่นผงสกปรกต่าง ๆ ที่เป็นได้ทั้งโลหะหรืออโลหะ โดยอาจมาจากภายนอกเครื่องจักรและภายในเครื่องจักร หรืออาจจะมาจากภาชนะบรรจุในการเติมสารหล่อลื่นเข้ามาภายในเครื่องจักร หรือความสกปรกจากการทำงาน การสึกหรอภายในเครื่องจักร เป็นต้น

2. การใช้สารหล่อลื่นไม่ถูกต้อง เครื่องจักรแม้ว่าจะเป็นประเภทเดียวกัน แต่เมื่อมีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน หรือคุณลักษณะเครื่องจักร ก็ทำให้ความต้องการสารหล่อลื่นแตกต่างกัน

3. การติดตั้งเครื่องจักรให้ตรงตามศูนย์ (Alignment) ถือว่าเป็นปัญหาอันดับต้นๆ ที่ทำให้เครื่องจักรเกิดการเสื่อมสภาพ และเสียหายได้เร็วผิดปกติ เนื่องจากการขาดความรู้ความเข้าใจในเรื่องของทักษะการติดตั้งเครื่องจักรให้ตรงตามแนวศูนย์ให้อยู่ในพิสัย (Tolerance) ที่ปลอดภัย และ ยอมรับได้ [3]



ภาพประกอบ 16 ลักษณะการติดตั้งเพลลา [4]

4. การไม่สมดุลของชิ้นส่วนจุดหมุน ไม่ว่าจะเป็นแผ่นจานกังหัน (Turbine) เพลลา โรเลอร์ เมื่อหมุนทำงานจะเกิดการสั่นหรือ กัดกร่อนจุดใดจุดหนึ่งทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางไม่สมดุล ทำให้จุดศูนย์ถ่วง (CG) เบี่ยงเบนหนีไปจากจุดเดิม เมื่อชิ้นส่วนเครื่องจักรทำงานก็จะทำให้เกิดแรงกระทำในทิศทางแตกต่างกันไม่สม่ำเสมอ ซึ่งจะมีผลต่อแบร็งที่รองรับและแท่นติดตั้งของเครื่องจักรเนื่องจากการสั่นที่ผิดปกติ ทำให้เกิดชำรุด และเสื่อมสภาพ

5. การประกอบติดตั้งเครื่องจักรที่ไม่ถูกต้อง การขัดข้องของเครื่องจักร สาเหตุมาจากการสวมประกอบ การสวมเพื่อการขยายตัว การข้ามขั้นตอนหรือสลับขั้นตอน การสวมตลับแบร็งลูกปืนด้วยการตอกตีแล้วเกิดการตีพลาดไปถูกชิ้นส่วนอื่นของแบร็งทำให้เกิดชำรุดตั้งแต่ต้น เป็นต้น

6. เครื่องจักรร้อนผิดปกติ เครื่องจักรที่ร้อนผิดปกติจะทำให้อายุการใช้งานของสารหล่อลื่น เสื่อมสภาพ หรือขาดลวดไฟฟ้า หน้าสัมผัสเสียหาย สาเหตุที่เครื่องจักรมีความร้อนสูงผิดปกติอาจมาจากหลายสาเหตุ เช่น ระบบระบายความร้อนของน้ำมันหล่อลื่นไม่เพียงพอ ซึ่งถ้าหากเครื่องจักรเกิดความร้อนสูงผิดปกติจะทำให้ชิ้นส่วนที่เป็นซีล ยาง หรือพลาสติกเกิดการเสื่อมสภาพ และเสียหายได้เร็วกว่าปกติ

7. การสั่นของเครื่องจักรที่สูงผิดปกติจะทำให้เกิดการเสียหายและเสื่อมสภาพทั้งทางกลและทางระบบไฟฟ้า สาเหตุที่ทำให้เกิดการสั่นมาจากหลายสาเหตุ ตั้งแต่การติดตั้งเครื่องจักร การเฟื่อระยะชิดห่าง การสั่นของอะไหล่ การหลวมคลาย การไม่สมดุล แบร็งที่เสียหาย การติดตั้งไม่ตรงแนวศูนย์ เป็นต้น

8. สาเหตุอื่นๆ นอกจากสาเหตุที่กล่าวมาข้างต้น ยังอาจมีสาเหตุอื่นอีก เช่น การรั่ว ความดัน อัตราการไหล การแตกร้าวของอะไหล่เครื่องจักร ทำให้เครื่องจักรและอุปกรณ์เกิดการเสื่อมสภาพได้

จากสาเหตุต่าง ๆ เหล่านี้มีวิธีที่จะวัดและวิเคราะห์สาเหตุที่ผิดปกติ การเสียหายหรือการขัดข้องของเครื่องจักร คือการวิเคราะห์สาเหตุผิดปกติ แก้ไข และขจัดปัญหาก่อนการใช้งานในกระบวนการผลิตที่เรียกว่า การซ่อมบำรุงเชิงรุก ซึ่งจะช่วยให้การเสียหายช่วงเริ่มต้นใช้งานตามอายุการใช้งานเครื่องจักรยาวนานมากขึ้น ผลผลิตเพิ่มขึ้น เวลาหยุดเดินเครื่องจักรน้อยลง

ขณะเดียวกันการเฝ้าวัดติดตามสภาพเครื่องจักรและวิเคราะห์หาสาเหตุผิดปกติจะทำให้ทราบแนวโน้มการเสื่อมสภาพของเครื่องจักร เพื่อทำนายอายุการใช้งานของเครื่องจักรได้ การวางแผนในการเข้าซ่อมบำรุงได้ เพื่อลดการเกิดเครื่องหยุดในช่วงเวลาเดินเครื่องจักร

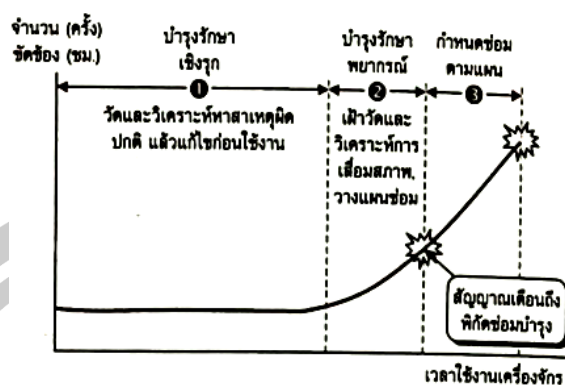
2.4.5 ความพร้อมสมบูรณ์และการเสื่อมสภาพของเครื่องจักร

1. การซ่อมบำรุงรักษาเชิงรุก โดยการวัด-วิเคราะห์ หาสาเหตุที่ผิดปกติแก้ไขปรับสภาพก่อนใช้งานในกระบวนการผลิต ซึ่งจะช่วยให้เกิดการขัดข้องเครื่องจักรเสียหายลดน้อยลง อายุใช้งานยาวนาน โดยสรุปสาเหตุที่ต้องการซ่อมบำรุงรักษาเชิงรุก มีดังนี้

- 1.วิเคราะห์หาสาเหตุการผิดปกติของเครื่องจักรก่อนใช้งานในกระบวนการผลิต
- 2.ลดการขัดข้องของเครื่องจักร เมื่อเริ่มใช้งานของเครื่องจักร
- 3.เครื่องจักรมีอายุการใช้งานที่ยาวนานมากขึ้น ลดการเกิดเครื่องหยุดระหว่างการใช้งาน
- 4.เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต

2. การซ่อมบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ เป็นการเฝ้าติดตามโดยการวัดและวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของเครื่องจักร และหาสาเหตุที่ผิดปกติ เพื่อนำมาพยากรณ์หาอายุการใช้งานของเครื่องจักร และนำมาวางแผนในการทำแผนเข้าซ่อมบำรุงเครื่องจักร และซ่อมให้ตรงสาเหตุที่เกิดได้

พูน ปณ จิต ชีเว



ภาพประกอบ 17 กราฟความพร้อมสมบูรณ์ และการเสื่อมสภาพของเครื่องจักร [3]

2.4.6 วิธีการซ่อมบำรุงเชิงพยากรณ์

ขณะตรวจวัดสภาพของเครื่องจักร เมื่อพบว่าเครื่องจักรมีแนวโน้มผิดปกติ เช่น การสึกหรอของแบริ่งด้วยการวัดจากการสั่น มีค่าการสั่นที่เท่าใด จะสามารถพยากรณ์ว่าใช้งานต่อไปได้อีกเท่าใด เพื่อวางแผนเตรียมการวัสดุ อะไหล่ เครื่องมือไว้ล่วงหน้า

ถ้าเครื่องจักรยังสามารถใช้งานได้อีกช่วงเวลาสั้นๆ หรือพร้อมจะเข้าช่วงเสียหาย จะทำแผนการเข้าซ่อมเฉพาะจุดต่อไป

2.4.7 ปัจจัยสำคัญของระบบซ่อมบำรุงเชิงพยากรณ์

การที่จะได้ระบบการซ่อมบำรุงเป็นแบบใดนั้นระหว่างการเข้าซ่อมบำรุงทั้งเชิงรุกและเชิงพยากรณ์นั้นจะต้องมีการวัดและกำหนดค่าที่มีการตัดสินใจ เช่น การวัดความเสียหายของแบริ่ง การวัดการสั่นของเครื่องจักร

โดยค่าที่วัดได้จะต้องนำมาวิเคราะห์อาการผิดปกติโดยแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

1.ระดับแย่มาก หมายถึง ค่าที่วัดได้ เช่น การสั่นของเครื่องจักรมีแนวโน้มถึงค่าที่กำหนดระดับแย่มาก จากมาตรฐานสากลแต่ละประเภทที่ใช้ เช่น ค่า ISO 10816-3 ที่มีระดับเกณฑ์อันตราย อาจเกิดเครื่องจักรเสีย ควรเข้าติดตาม และตรวจสอบเครื่องจักรเพื่อหาแนวโน้มให้บ่อยขึ้น เพื่อวางแผนเข้าซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักร

2.ระดับต้องแก้ไข หมายถึง ค่าที่วัดได้ เช่น การสั่นของเครื่องจักรมีแนวโน้มถึงค่าที่กำหนด ระดับปานกลางไว้ จากมาตรฐานสากลแต่ละประเภทที่ใช้ เช่น ค่า ISO 10816-3 ที่มีระดับเกณฑ์กลาง อาจเกิดให้เครื่องเกิดเบรกดาวน์ได้ ควรเข้าติดตาม และตรวจสอบเครื่องจักรเพื่อหาแนวโน้มให้บ่อยขึ้น เพื่อวางแผนเข้าซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักร

3.ระดับปกติ หมายถึง ค่าที่วัดได้ เช่น การสั่นของเครื่องจักรมีแนวโน้มถึงค่าที่กำหนดระดับดีไปจนถึงพอใช้ไว้ จากมาตรฐานสากลแต่ละประเภทที่ใช้ เช่น ค่า ISO 10816-3

โดยกลุ่มของเครื่องจักร ได้แบ่งกลุ่มเครื่องจักรเป็น 4กลุ่ม คือ

กลุ่มที่1 เครื่องจักรขนาดใหญ่ ขนาดเครื่องจักรระหว่าง 300 กิโลวัตต์ ถึง 50 เมกกะวัตต์ โดยถ้าเป็นมอเตอร์ขนาดความสูงจากแท่นฐานที่ยึดกับฐานมอเตอร์ถึงแนวจุดศูนย์กลางเพลาชับไม่เกิน 315 มิลลิเมตร และได้แบ่งแท่นฐานเป็นการติดตั้งบนแท่นแข็งแรง และแท่นยืดหยุ่น

กลุ่มที่2 เครื่องจักรขนาดปานกลาง ขนาดเครื่องจักรระหว่าง 15-300 กิโลวัตต์ โดยถ้าเป็นมอเตอร์ขนาดความสูงจากแท่นที่ยึดกับฐานมอเตอร์ถึงแนวจุดศูนย์กลางเพลาชับ อยู่ระหว่าง 160-315 มิลลิเมตร

กลุ่มที่3 ปุ่มตั้งแต่ 15 กิโลวัตต์ ขึ้นไปชนิดหน้าแปลนขับต่อแยกจากภายนอก

กลุ่มที่4 ปุ่มตั้งแต่ 15 กิโลวัตต์ ขึ้นไปชนิดหน้าแปลนขับต่อร่วมกันภายใน [3]

ISO 10816-3 vibration standard		Machine group 4 Integral driver		Machine group 3 External driver		Machine group 2 Motors 160 mm ≤ H ≤ 315 mm Medium sized machines 15 kW < P ≤ 300 kW		Machine group 1 Motors 315 mm ≤ H Large machines 300 kW < P ≤ 50 MW	
Velocity		Pumps > 15 kW Radial, axial, mixed flow							
mm/s rms	in/sec rms								
11	0.44								
7.1	0.28				D				
4.5	0.18				C				
3.5	0.11				B				
2.8	0.07								
2.3	0.04								
1.4	0.03								
0.71	0.02				A				
Foundation		Rigid	Flexible	Rigid	Flexible	Rigid	Flexible	Rigid	Flexible

A	New machine condition	C	Short-term operation allowable
B	Unlimited long-term operation allowable	D	Vibration causes damage

ภาพประกอบ 18 มาตรฐานการสั่น ISO 10816-3 [5]

2.4.8 องค์ประกอบสำคัญของระบบบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์

โดยองค์ประกอบสำคัญของระบบบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ มีดังนี้

1.การสำรวจ ตรวจวัด และควบคุม เป็นการสำรวจรวบรวมข้อมูลของเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่สามารถนำค่ามาวิเคราะห์สภาพเครื่องจักรได้บ้าง เพื่อวางแผนป้องกันการเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับเครื่องจักรภายในโรงงานอุตสาหกรรม

2.การวิเคราะห์สาเหตุ เพื่อได้สาเหตุที่ถูกต้อง เพื่อจะได้สามารถเข้าไปแก้ไขได้ถูกต้องตรงสาเหตุมากขึ้น และค่าใช้จ่ายในการซ่อมที่ตรงจุด

3.การปรับปรุงและแก้ไขปัญหา เมื่อตรวจวัดและวิเคราะห์ที่ถูกต้องแล้ว ก็จะสามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างถูกต้อง ตรงสาเหตุ ลดเวลาการเข้าซ่อมบำรุงรักษาได้

2.5 Machine Learning

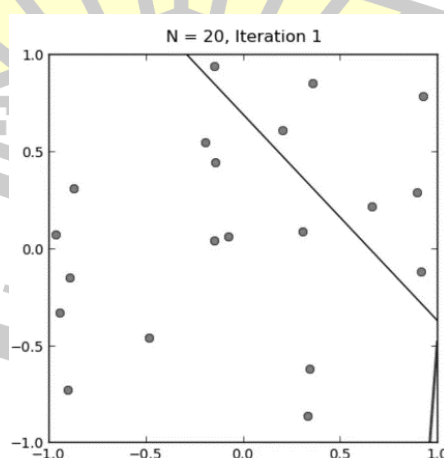
Machine Learning คือการทำให้คอมพิวเตอร์ สามารถเรียนรู้จากสิ่งต่าง ๆ และพัฒนาการทำงานให้ดีขึ้นได้ด้วยตัวเองจากข้อมูล และสภาพแวดล้อมที่ได้รับจากการเรียนรู้ของระบบ โดยไม่ต้องมีมนุษย์คอยกำกับ หรือเขียนโปรแกรมเพิ่มเติม และไม่ว่าในอนาคตมันจะมีข้อมูลรูปแบบใหม่ ที่เกิดขึ้นมา มนุษย์ก็ไม่จำเป็นที่จะต้องไปนั่งเขียนโปรแกรมใหม่ เพราะคอมพิวเตอร์สามารถตีความและตอบสนองได้ด้วยตัวคอมพิวเตอร์เอง

การทำงานของ Machine Learning มี 3 รูปแบบ ดังนี้

1. Supervised Learning หรือการเรียนรู้แบบมีผู้สอน เป็นการทำให้คอมพิวเตอร์สามารถหาคำตอบของปัญหาได้ด้วยตัวเอง หลังจากเรียนรู้จากชุดข้อมูลตัวอย่างไปแล้วระยะหนึ่ง ยกตัวอย่างเวลาเราป้อนข้อมูลให้กับคอมพิวเตอร์ (Input) เช่น รูปปากกา เบื้องต้นคอมพิวเตอร์จะยังไม่รู้ว่าที่เราป้อนเข้าไป คือรูปปากกา เราจึงต้องสอนให้คอมพิวเตอร์รู้จักเพื่อนำไปวิเคราะห์ (Feature Extraction) ว่าปากกาจะมีปลายด้ามเป็นปุ่ม และใช้หมึกในการเขียน เป็นต้น จากนั้นคอมพิวเตอร์ก็นำข้อมูลดังกล่าวไปประมวล/จัดหมวดหมู่ (Classification) เพื่อให้หลังจากนี้มันสามารถแยกออกได้ว่าอะไรคือปากกา อะไรไม่ใช่ปากกา [6]

Supervised Learning แบ่งเป็น 2 Model ดังนี้

1. Classification คือการทำนายผลที่เป็นกลุ่ม เช่นการทำนายหมา/แมว, สบต/สอบผ่าน

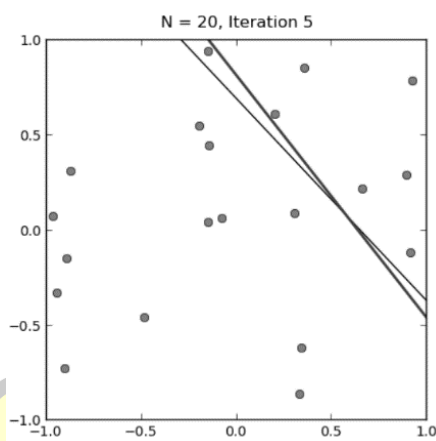


ภาพประกอบ 19 ข้อมูลหมาและแมว [6]

จากรูปสมมติให้เป็นข้อมูลหมาแมวคล้ายตารางข้างบนให้มองว่า แกน x, y คือน้ำหนักกับความยาวขน ส่วนสีน้ำเงินกับแดง แทน label บอกว่า จุดคือ แมว หรือ หมา

จะเห็นว่าการที่แบ่งกลุ่มหมา-แมวได้ จะต้องรู้ “เส้นแบ่ง (Classifier)” ที่ชัดเจนซึ่งคือเส้นสีดำในรูปนั้นจะเรียกว่าเส้น “โมเดล (Model)”

จากกรณีนี้การให้ข้อมูล เพียง 1 ครั้งอาจจะยังไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจน เพราะในการเทรนแต่ละครั้ง Machine จะค่อยๆ เรียนรู้จากความผิดพลาดทีละนิด และนำมาปรับปรุงในการเทรนรอบถัดๆ ไป แต่รอบจะเรียกว่า “Iteration”



ภาพประกอบ 20 ตัวอย่างการเรียนรู้แบบ Classification ด้วย Linear Classifier [7]

จากรูป “Iteration” หมายถึง จำนวนครั้ง/เทรนโมเดล จะเห็นว่ารอบแรก เส้นเขียวจะเริ่มจากการทายที่ผิดๆ หลักจากนั้นรอบถัดไป จะมีการเรียนรู้จากความผิดพลาด แล้วขยับเข้าใกล้จุดเส้นแบ่งขึ้นเรื่อยๆ จนสามารถหาจุดที่แบ่ง หมา-แมว ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งจุดนี้เรียกว่า “Converge” คือจุดที่ได้เส้นแบ่งข้อมูลได้ดีที่สุด และเส้นนั้นเรียกว่า “โมเดล (Model)”

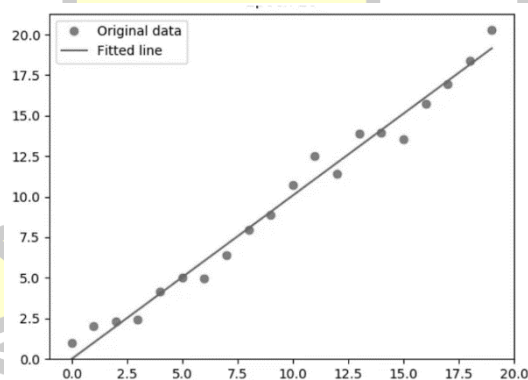
2. Regression คือการทำนายผลเป็นตัวเลขต่อเนื่อง เช่นการทำนายราคาหุ้นจากสภาพตลาด หรือทำนายน้ำหนักจากส่วนสูง และเพศ ดังภาพประกอบ 21

สูง	เพศ	น้ำหนัก
175	ช	70
160	ช	55
160	ญ	40
..	..	..

ภาพประกอบ 21 ข้อมูลสำหรับ Regression ทายส่วนสูงจากน้ำหนักและเพศ [7]

จะเห็นว่าข้อมูลที่ต้องการทำนาย คือความสูงเป็น “ตัวเลขต่อเนื่อง (Continuous value)” ด้วยเหตุนี้ทำให้ โมเดล (Model) สำหรับปัญหาแบบ Regression มีเป้าหมายต่างกับ Classification คือไม่ต้องจำแนกข้อมูล แต่ต้องการโมเดล (Model) ที่ทายตัวเลขให้ใกล้เคียงกับผลลัพธ์จริงมากที่สุด

โดยยกตัวอย่าง เช่นร้านอาหาร อยากทำนายยอดขายเดือนหน้า เพื่อวางแผนกักตุนวัตถุดิบได้อย่างแม่นยำ หมายความว่ายิ่งวางแผนได้ยิ่งจะดีขึ้น



ภาพประกอบ 22 ข้อมูลสำหรับ Regression [7]

จากรูปมองแกน x คือส่วนสูง แกน y คือน้ำหนัก ถ้าต้องการเส้นเทรน (Trend line) จะต้องทำการหาเส้นที่ผลต่างระหว่างค่าจริงกับค่าทำนาย (Error) น้อยที่สุด เรียกว่า “Regression Goal” เมื่อได้เส้นเทรนที่ใกล้เคียงข้อมูลมากที่สุด นั้นเรียกว่า “โมเดล (Model)” โดยมีสมการหาได้ คือ

$$y = mx + c \quad \text{สมการที่ (1)}$$

โดย

m = ความชัน (Slope)

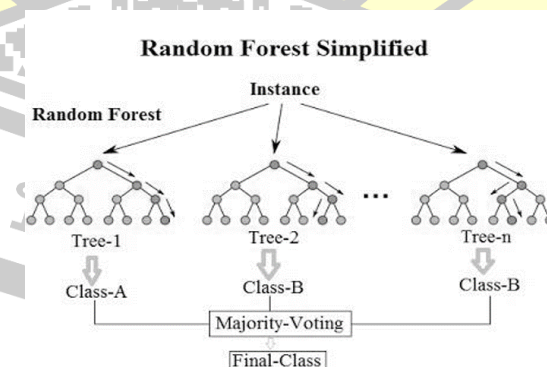
และ c = จุดตัดกราฟ (Intercept)

โดยการเทรนของ Regression model นั้นจะคล้ายกับ Classification model คือค่อยๆ เรียนรู้จากความผิดพลาด (Error) เมื่อมีการเทรนหลายๆรอบ (Iteration) ก็จะสามารถได้โมเดล (Model) ที่ดีที่สุด คือเส้นที่นำจุดได้ดีที่สุด มีค่าผิดพลาด (Error) ที่น้อย

นอกจากโมเดลที่กล่าวมาข้างต้นนั้น ยังมีโมเดลขั้นสูงให้เลือกใช้อีกมากมาย เช่น Polynomial regression, Neural network, Decision tree, Random Forest เป็นต้น[7]

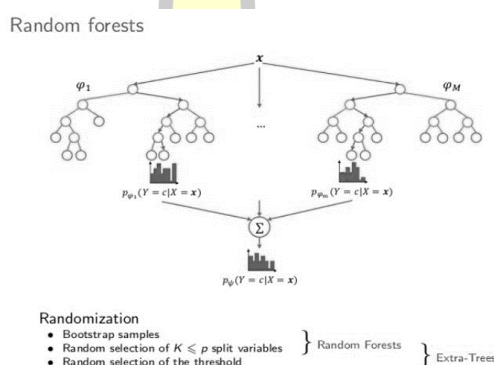
2.1 Random Forest

เกิดจากการรวมกลุ่มกันของโครงสร้างต้นไม้ ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนโดยรวมของป่าไม้จะถูกเปลี่ยนให้เป็นค่าลิมิต ทำให้จำนวนต้นไม้ในป่าเพิ่มขึ้น ค่าความคลาดเคลื่อนโดยรวมจะขึ้นกับความมั่นคง (Strength) ของต้นไม้แต่ละต้น รวมถึงความสัมพันธ์กันระหว่างต้นไม้เหล่านั้น โดยจะใช้วิธีการสุ่มเลือกคุณสมบัติเพื่อการแบ่งแยกโหนดทำให้ค่าความผิดพลาดลดลง ขั้นตอนวิธีนี้ จะมีประสิทธิภาพมากเมื่อนำไปใช้วิเคราะห์เกี่ยวกับการประมาณการขนาดใหญ่ เราสามารถสร้างแบบจำลองที่ใช้ต้นไม้หลาย ๆ ต้นในการตัดสินใจเพื่อนำมาประมวณผล ซึ่งมีความแม่นยำสูง สามารถจัดการข้อมูลได้มาก และเหมาะสมสำหรับข้อมูลที่มีความสำคัญ ดังภาพประกอบ 23



ภาพประกอบ 23 การรวมกลุ่มกันของโครงสร้างต้นไม้ตัดสินใจ

ในขั้นตอนการทำงานของแรนดอมฟอเรส จะทำการจำแนกต้นไม้หลาย ๆ ต้นซึ่งในต้นไม้แต่ละต้นมีการแบ่งเป็นคลาส โดยที่ต้นไม้แต่ละต้นจะถูกสร้างขึ้นจากกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกัน จากกระบวนการของต้นไม้ตัดสินใจ (Tree Classification Algorithm) ถูกสร้างขึ้นจนกลายเป็นป่า (Forest) จนกระทั่งวิเคราะห์การตัดสินใจจากต้นไม้แต่ละต้นที่อยู่ในป่า ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า อัลกอริทึมแรนดอมฟอเรส เป็นอัลกอริทึมประเภทหนึ่งของอัลกอริทึมต้นไม้ตัดสินใจที่มีลักษณะแบบไม่ตัดแต่งกิ่ง (Unpruned) หรือต้นไม้ถดถอย (Regression Trees) ซึ่งถูกสร้างจากการนำข้อมูลฝึกสอนไปสุ่มเลือกตัวอย่างข้อมูล และคุณลักษณะข้อมูลแล้วนำมาสร้างเป็นต้นไม้ตัดสินใจซึ่งมีตัวอย่างส่วนหนึ่งที่ไม่ถูกเลือกจะถูกนำมาใช้ในการทดสอบต้นไม้ตัดสินใจ เรียกข้อมูลส่วนนี้ว่า Out-of-Bag (OOB) ซึ่งวิธีการนี้เรียกว่า Bagging ผลลัพธ์ที่ได้จะอิสระจากต้นไม้ตัดสินใจแต่ละต้นถูกนำมาคิดเป็นผลการโหวตมากที่สุด อัลกอริทึมแรนดอมฟอเรส [8] ดังภาพประกอบ 24



ภาพประกอบ 24 อัลกอริทึมป่าสุ่ม

2.2 การวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง

ในเทคนิคของการทำ Machine Learning มี Metrics ที่ใช้วัดความถูกต้องของแบบจำลองหลายตัวสำหรับ Metrics ที่ใช้ในแบบจำลอง Regression ดังนี้

1. Mean Squared Error (MSE) หรือ ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง

เป็นการวัดค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง โดยค่าที่ได้ยิ่งน้อยจะยิ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่ได้มีความแม่นยำมาก โดยค่า MSE คำนวณได้จากการนำค่าความคลาดเคลื่อนยกกำลัง แล้วนำไปหาค่าเฉลี่ย ดังสมการ

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2 \quad \text{สมการที่ (2)}$$

โดยที่

n คือ จำนวนข้อมูลที่ใช้
 y_t คือ ค่าจริงที่ t ใดๆ
 $\hat{y}_t$ คือ ค่าที่ได้จากการทำนายที่ t ใดๆ

2. Root Mean Square Error (RSME) หรือค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย

เป็นวิธีการวัดค่าความคลาดเคลื่อนแบบมาตรฐาน ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยค่าที่ได้ ยิ่งน้อยจะแสดงว่าแบบจำลองที่ได้มีความแม่นยำมาก วิธีการคำนวณคือจะเป็นการนำค่า MSE ที่คำนวณได้มาหารากที่สอง ดังสมการ

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2} \quad \text{สมการที่ (3)}$$

3. Coefficient of determination หรือค่า R-square (R^2) เป็นค่าที่ใช้พิสูจน์ว่าแบบจำลองที่ได้นั้นเหมาะสมหรือไม่ โดยมีค่า 0-1 ซึ่งยิ่งเข้าใกล้ 1 ยิ่งดี โดยทั่วไปควรมีค่ามากกว่า 0.6 จะถือว่าแบบจำลองที่ได้เป็นแบบจำลองที่ดี [9]

4. วิธีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาด (Mean Error: ME)

เป็นวิธีวัดความแม่นยำ โดยเปรียบเทียบค่าที่เกิดขึ้นจริงกับค่าพยากรณ์ แล้วหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดต่อจุด มีสูตรคำนวณ ดังนี้ [10]

$$ME = \frac{\sum (y_t - \hat{y}_t)}{n} \quad \text{สมการที่ (4)}$$

โดยที่

n คือ จำนวนข้อมูลที่ใช้
 y_t คือ ค่าจริงที่ t ใดๆ
 $\hat{y}_t$ คือ ค่าที่ได้จากการทำนายที่ t ใดๆ

พจนานุกรมศัพท์ชีว

5. วิธีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation: MAD)

เป็นวิธีการวัดความแม่นยำ โดยแก้ปัญหาค่าเฉลี่ยของความผิดพลาด (Mean Error: ME) จะพิจารณาความแตกต่างค่าจริงกับค่าพยากรณ์ มีสูตรคำนวณ ดังนี้

$$MAD = \frac{\sum |y_t - \hat{y}_t|}{n} \quad \text{สมการที่ (5)}$$

โดยที่

n

คือ จำนวนข้อมูลที่ใช้

y_t

คือ ค่าจริงที่ t ใดๆ

$\hat{y}_t$

คือ ค่าที่ได้จากการทำนายที่ t ใดๆ

6. วิธีรากที่สองของค่าเฉลี่ยของกำลังสองของความผิดพลาด (Root Mean Squared Error: RMSE)

$$MAE = \sqrt{\frac{\sum (y_t - \hat{y}_t)^2}{n}} \quad \text{สมการที่ (6)}$$

7. วิธีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (Mean Percentage Error: MPE)

เป็นวิธีวัดความแม่นยำ โดยวัดความผิดพลาดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ มีสูตรคำนวณ ดังนี้ [11]

$$MPE = \frac{\sum [(y_t - \hat{y}_t) / y_t]}{n} \times 100 \text{เปอร์เซ็นต์} \quad \text{สมการที่ (7)}$$

2. Unsupervised Learning หรือ การเรียนรู้โดยไม่มีผู้สอน

เป็นการเรียนรู้ที่ให้เครื่องจักรนั้นสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง โดยไม่ต้องมีค่าเป้าหมายของแต่ละข้อมูล ซึ่งวิธีการคือมนุษย์จะเป็นผู้ใส่ข้อมูลต่าง ๆ และกำหนดสิ่งที่ต้องการจากข้อมูลเหล่านั้น ทำให้เครื่องจักรวิเคราะห์จากการจำแนกและสร้างแบบแผนจากข้อมูลที่ได้รับมา เรียกได้ว่าตรงกันข้ามกับรูปแบบแรกเลย ตัวอย่างเช่น การที่เราป้อนข้อมูล (Input) รูปปากกาเข้าไป แต่ไม่ได้บอกว่ารูปที่ป้อนเข้าไปเป็นรูปปากกา เมื่อคอมพิวเตอร์นำไปวิเคราะห์ (Feature Extraction) ก็ยังสามารถวิเคราะห์ได้ว่ารูปที่ใส่เข้าไปมีลักษณะยังไง แต่คราวนี้มันไม่สามารถเอาไปประมวล/จัดหมวดหมู่ (Classification) ได้แล้ว มันจะใช้วิธีการแบ่งกลุ่มแทน (Clustering) ซึ่งคอมพิวเตอร์ก็อาจเอารูปปากกาไปจัดกลุ่มกับปากกาไฮไลท์ หรือเครื่องเขียนอื่นๆ ที่มี ปลายด้ามเป็นปุ่ม และใช้หมึกในการเขียน เหมือนกัน เป็นต้น

3. Reinforcement Learning หรือ การเรียนรู้แบบเสริมกำลัง

เป็นวิธีการเรียนรู้แบบหนึ่งที่ใช้การเรียนรู้เกิดมาจากการปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างผู้เรียนรู้ (agent) กับสิ่งแวดล้อม (environment) ที่มีการเรียนรู้สิ่งต่าง ๆ จาก Agent ภายใต้การเลือกกระทำสิ่งต่าง ๆ ให้ได้ผลลัพธ์ที่มากที่สุด ผ่านการลองผิดลองถูกภายใต้สถานการณ์หรือระบบจำลอง ที่พัฒนาระบบการตัดสินใจให้ดีขึ้นเรื่อย ๆ หรือพูดให้ง่ายขึ้น มันคือการที่เรากำหนดเงื่อนไขบางอย่างให้กับคอมพิวเตอร์ แล้วทำให้คอมพิวเตอร์บรรลุหรือทำตามเงื่อนไขนั้นให้ได้ ผ่านการลองผิดลองถูก โดยผู้พัฒนาอาจตั้งเป้าหมาย Feedback Loop และเงื่อนไขในการได้รับรางวัล ยกตัวอย่างเช่น Alpha Go เงื่อนไขของการเล่นเกมหมากล้อมให้ชนะคือ ใช้หมากของตนล้อมพื้นที่บนกระดาน ให้ครอบคลุมดินแดนมากกว่าคู่ต่อสู้ ที่นี้ Alpha Go ก็จะเรียนรู้ว่าหากคู่ต่อสู้เดินหมากนี้ ตัวมันเองจะเดินหมากไหนเพื่อให้บรรลุเงื่อนไขที่กำหนดไว้ให้ นั่นคือการยึดพื้นที่บนกระดานให้ได้มากที่สุด [6]

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ido Amihai [12] ได้ทำการศึกษาการใช้ Machine learning มาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมจากการรวบรวมการสั่นสะเทือนของปั๊มในอุตสาหกรรม 30 เครื่องในระยะ 2.5 ปี และใช้วิธี Random Forest เพื่อทำนายข้อมูลจากการสั่นได้ล่วงหน้าถึง 7 วัน ในรูปแบบแนวโน้มที่มีความน่าเชื่อถือ RMSE (Root Mean Square Error)

Dazhong Wu [13] ได้ทำการศึกษาการพยากรณ์การสึกหรอของเครื่องมือ โดยใช้วิธีการทำนายแบบ Random Forests มาเทียบประสิทธิภาพความแม่นยำของอัลกอริทึมทั้งสามแบบ FFBP (Feed-forward back propagation) ANNs (Artificial neural networks) และ SVR (Support vector regression) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้แบบ Random Forest นั้นมีประสิทธิภาพมากที่สุด เพื่อหาอายุการใช้งานที่เหลืออยู่ (RUL) ของระบบ

นางสาวกัญญาภรณ์ สารธิเสน, นางสาวจินดารัตน์ บัวแดง และนายอิสระ สมินาง [14] ได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของปั๊ม โดยการแสดงค่าการสั่นสะเทือนในรูปแบบเวลา และการสั่นสะเทือนในรูปแบบความถี่ เพื่อแยกลักษณะการสั่นสะเทือนของปั๊ม

นายเกียรติคุณ พลแสน [15] ได้ทำการศึกษาการตรวจติดตามสถานะแบบเวลาจริง เครื่องจักรกลไฟฟ้าเพื่อใช้ข้อมูลดังกล่าววางแผนการซ่อมบำรุงเชิงคาดการณ์ โดยใช้วิธีพยากรณ์ แนวโน้มอนุกรมเวลาแบบวิธีกึ่งเฉลี่ย และแบบวิธีกำลังสองน้อยที่สุด จากนั้นเทียบกับมาตรฐานการ สันสะเทือน ISO 10816-3 พบว่าการพยากรณ์ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดมีความแม่นยำกว่าวิธีกึ่ง เฉลี่ย เปรียบเทียบจาก MAD และ MSE ซึ่งค่าการพยากรณ์ที่ได้ในแต่ละรอบไม่สามารถรองรับได้ว่าเป็นค่าที่ดีที่สุด แต่สามารถใช้เป็นการตรวจติดตามสถานะของเครื่องจักรและใช้ประกอบการตัดสินใจ ซ่อมบำรุงได้

O.S. Abd El-Kawi [16] ได้ทำการพัฒนาเครื่องตรวจวัดการสั่น ด้วยแพลตฟอร์ม Arduino ที่ใช้ควบคู่กับเซนเซอร์ MPU-9250 ในการวัดการสั่น และสามารถคำนวณค่าการกระจัด ความเร็ว และความเร่ง ของการสั่นได้เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับตารางมาตรฐาน ISO-10816-1

Shu-Tzu Chang [17] ได้ทำการศึกษาการทำนายสัญญาณการสั่นที่เกิดจากการสึกหรอ ของแบริ่ง ด้วยอัลกอริทึมการถดถอย เพื่อคาดการณ์การสั่น และวัดประสิทธิภาพแบบจำลองด้วย (CMA) และ(MSE)

Jakra A.Husain [18] ได้ทำการศึกษาการพัฒนาแบบจำลองบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ สำหรับมอเตอร์ AC เฟสเดียว โดยมีอัลกอริทึมใช้การจำแนกการถดถอย (SLR) และ(MLR) เพื่อหา อายุการใช้งานที่เหลืออยู่ของมอเตอร์

Vimala Mathew [19] ได้ทำการศึกษาข้อมูลในอดีตเพื่อนำมาวิเคราะห์หาอายุที่เหลืออยู่ (RUL) ของเครื่องเทอร์โบแฟน โดยใช้อัลกอริทึม RF, SVR, GBM ในการทำนายโดยใช้ภาษา R ในการ เขียนให้ประมวลผลข้อมูล

Apakrita Tayade [20] ได้ทำการศึกษาสัญญาณการสั่นสะเทือนที่เกิดจากตลับลูกปืนที่ เสื่อมสภาพ และใช้การเรียนรู้เพื่อหาอายุที่เหลือ(RUL) ของตลับลูกปืน โดยใช้อัลกอริทึม SVR, RF, ในการทำนาย RUL ของลูกปืนจาก PHM Data Challenge 2012

พูน ปรณ จิตโต ชีเว

ตาราง 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

Authors (ชื่อผู้แต่ง)	Objective (วัตถุประสงค์)	Scope of study (ขอบเขตงานวิจัย)	Methodology (วิธีการวิจัย)	Major results (ผลลัพธ์)
Ido Amihai, Ralf Gitzel, Arzam Muzaffar Kotriwala, Diego Pareschi, Subanatarjan Subbish, Guruprasad Sosale [12]	เพื่อการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศ โดยใช้อัลกอริทึมการสั่น และเทียบประสิทธิภาพของโมเดลการเรียนรู้ของเครื่อง โดยเฉพาะอัลกอริทึม Random Forest กับเทคนิคแบบมาตรฐาน	ใช้ข้อมูลการสั่นที่รวบรวมจากปั๊มอุตสาหกรรม 30 เครื่องในโรงงานเคมีแห่งหนึ่งในระยะเวลา 2.5 ปี เพื่อตรวจสอบและคาดการณ์จากการเรียนรู้เชิงลึก มาประยุกต์ใช้โดยมีโมเดลอัลกอริทึม Random Forest ที่เทียบกับเทคนิคแบบมาตรฐาน	การรวบรวมข้อมูลการสั่นจากเซนเซอร์ มาทำให้ค่าการสั่นอยู่ในรูปแบบ FFT เพื่อแบ่งซึ่งเงื่อนไขการสั่น และนำมาประมวลผล โดยใช้ภาษา R และ Python ในการเขียนการจำลอง การคาดการณ์ ด้วยโมเดล Random Forest	อัลกอริทึม Random Forest ใช้เพื่อทำนายหน่วยเมตรริกที่ได้มาจากข้อมูลการสั่น สามารถทำนายได้ล่วงหน้า 7 วันและประสิทธิภาพจะถูกเปรียบเทียบกับเทคนิคมาตรฐาน และมีความน่าเชื่อถือ
Dazhong Wu, Connor Jennings, Janis Terpeny, Sounder Kumara [13]	เพื่อพัฒนาแนวทางใหม่สำหรับการพยากรณ์เครื่องจักร CNC โดยใช้อัลกอริทึมในการเรียนรู้ Random Forest	การเรียนรู้เครื่องมือเครื่องจักร Random Forest การตรวจสอบแบบเรียลไทม์และการบำรุงเชิงคาดการณ์ในสภาพแวดล้อมอุตสาหกรรม	การรับข้อมูลทดลองจากเซนเซอร์ ประเภทต่าง ๆ จากเครื่องจักร CNC เพื่อนำมาใช้กับอัลกอริทึม Parallel Random Forest เพื่อคาดการณ์การสึกหรอของเครื่องจักร	การประยุกต์ใช้อัลกอริทึม Parallel Random Forest บนคลาวด์สำหรับการทำนายการสึกหรอของเครื่อง CNC โดยแสดงให้เห็นว่า การทำนายแบบ Random Forest

ตาราง 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ต่อ

Authors (ชื่อผู้แต่ง)	Objective (วัตถุประสงค์)	Scope of study (ขอบเขตงานวิจัย)	Methodology (วิธีการวิจัย)	Major results (ผลลัพธ์)
นางสาวกัญญา ภรณ์ สาธิเสน, นางสาวจินดารัตน์ บัวแดง, นายอิสระ สมีนาง [14]	เพื่อวิเคราะห์ความเสียหายของ ปั๊มด้วยการวัดการสั่น เพื่อศึกษาพฤติกรรมการสั่นเพื่อนำไป ใช้ในงานบำรุงรักษา	ศึกษาเครื่องมือวัดการสั่น ทำการทดสอบโดยการวัดการสั่น ของปั๊มและมอเตอร์ปรับอากาศ ของตึก วิเคราะห์ผลที่ได้จากการสั่น	รวบรวมข้อมูลการสั่นของปั๊มและมอเตอร์ นำมา วิเคราะห์ที่ได้จากการสั่น ด้วยการแปลงค่าการ สั่นจากรูปแบบ Time domain เป็น การสั่นใน รูปแบบ Frequency domain เพื่อหาสาเหตุแต่ ละลักษณะการสั่น	ได้ค่าการสั่นจากการตรวจสอบ เพื่อนำไปบำรุงรักษา และพยากรณ์ ของตัวอุปกรณ์เพื่อลดค่าใช้จ่ายใน การเปลี่ยนอุปกรณ์ที่ไม่จำเป็น
นายเกียรติคุณ พล แสน [15]	เพื่อประยุกต์ใช้อุปกรณ์ อินเทอร์เนต ในการตรวจสอบ สถานะของเครื่องจักร เพื่อศึกษาการสร้างแบบจำลอง สำหรับการติดตามสถานะ เครื่องจักร เพื่อพยากรณ์ค่าการสั่นสำหรับ การบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์	พัฒนาอุปกรณ์การตรวจสอบความ สั่นสำหรับเครื่องจักร ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบสถานะ เครื่องจักรและส่งค่าความสั่นไปยัง ฐานข้อมูล สร้างแบบจำลองสถานการณ์และ พยากรณ์การสั่นสำหรับการซ่อม บำรุงรักษา	ออกแบบการทำงานของอุปกรณ์การตรวจวัดการ สั่น เพื่อนำมาตรวจสอบสภาพเครื่องจักรจากค่า การสั่น โดยแบ่งเป็นการจำลองการสั่น 5 กรณี คือ การเพิ่มสกรูน้อย เพื่อหาว่าวิกฤตของการสั่น และ มีการใช้ค่า MAD MSE เป็นเกณฑ์ในการ เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการพยากรณ์	การวัดค่าจากเครื่องจำลองการสั่น ทั้ง 5 กรณี และนำข้อมูลค่าการสั่น มาคำนวณแนวโน้มการสั่นใน ระยะเวลาทำงาน เพื่อคาดการณ์ เข้าซ่อมบำรุงเครื่องจักรก่อนเกิดจุด วิกฤต

ตาราง 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ต่อ

Authors (ชื่อผู้แต่ง)	Objective (วัตถุประสงค์)	Scope of study (ขอบเขตงานวิจัย)	Methodology (วิธีการวิจัย)	Major results (ผลลัพธ์)
O.S. Abd El-Kawi, Fares Alariqi [16]	วัตถุประสงค์ของบทความนี้คือเพื่อเสนอเทคนิคการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์สำหรับการหมุนเครื่องจักรโดยใช้แพลตฟอร์ม Arduino และเซเชอร์เทคนิคนี้มุ่งหมายเพื่อให้ความแม่นยำที่นำพอใจ การวิเคราะห์ข้อมูลอย่างง่าย และต้นทุนเริ่มต้นต่ำ	ขอบเขตของการศึกษานี้คือการใช้เทคนิคการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์โดยใช้แพลตฟอร์ม Arduino และเซเชอร์กับเครื่องจักรที่กำลังหมุน การศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องจักรต่าง ๆ ตามแผนภูมิมาตรฐาน ISO 10816-1 เครื่องจักรที่พิจารณาในการศึกษานี้	-บทความนี้ใช้แพลตฟอร์ม Arduino และเซเชอร์สำหรับการบำรุงรักษาเครื่องจักรแบบคาดการณ์ล่วงหน้า -การศึกษารวบรวมข้อมูลจากเซเชอร์โดยใช้บอร์ด Arduino Uno และหน่วยประมวลผลการเคลื่อนไหว MPU-9250 - ข้อมูลที่รวบรวมได้รับการวิเคราะห์โดยใช้ Excel และกราฟโดยใช้ซอฟต์แวร์ Graphed -ความแรงจากการสั่นจะเปลี่ยนเป็นความเร็วและระยะทางเมื่อเวลาผ่านไป ค่ารากกำลังสองเฉลี่ย (rms) ของความเร็วถูกกำหนดโดยใช้ความสัมพันธ์โดยประมาณ - ประสิทธิภาพของเครื่องจักรที่แตกต่างกันได้รับการคาดการณ์ตามแผนภูมิมาตรฐาน ISO 10816-1 -การศึกษาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์กับค่ารากกำลังสองเฉลี่ยเพื่อประเมินความแม่นยำ	การศึกษานี้บรรลุการคาดการณ์ที่แม่นยำ ตามที่ระบุโดยค่ารากกำลังสองเฉลี่ยที่อยู่ในช่วงที่น่าพอใจสำหรับคลาส 1 ใน ISO 10816-1 บอร์ด Arduino Uno และหน่วยประมวลผลการเคลื่อนไหว MPU-9250 ถูกนำมาใช้อย่างประสบความสำเร็จในการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อช่วยในด้านการบำรุงรักษาโดยให้แนวทางปฏิบัติในการติดตามและประเมินสภาพของเครื่องจักร ช่วยป้องกันความล้มเหลวและปรับกลยุทธ์การบำรุงรักษาให้เหมาะสม

ตาราง 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ต่อ

Authors (ชื่อผู้แต่ง)	Objective (วัตถุประสงค์)	Scope of study (ขอบเขตงานวิจัย)	Methodology (วิธีการวิจัย)	Major results (ผลลัพธ์)
Jakra A.Husain, Ashish Manusmare [18]	-พัฒนาแบบจำลองการ บำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ สำหรับมอเตอร์ AC เฟสเดียว โดยใช้ข้อมูลเซนเซอร์ IoT และอัลกอริทึมการเรียนรู้ของ เครื่อง	-ขอบเขตของการศึกษาคือ การพัฒนาและการ แบบจำลองที่พร้อมสำหรับการ การผลิตสำหรับการ บำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ ของมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสสลับเฟสเดียวโดย ใช้ข้อมูลเซนเซอร์ IoT และอัลกอริทึมการเรียนรู้ ของเครื่อง	-บทความนี้ใช้ข้อมูลเซนเซอร์ IoT และอัลกอริทึม การเรียนรู้ของเครื่อง โดยเฉพาะการถดถอยเชิงเส้น อย่างง่าย (SLR) และการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (MLR) สำหรับการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ของ มอเตอร์ AC เฟสเดียว -วิธีการนี้เกี่ยวข้องกับการกำหนดการทำงานที่ เหมาะสม ข้อมูลจำเพาะ และอายุการใช้งานที่ เหลืออยู่ของมอเตอร์ก่อนที่จะเกิดความล้มเหลว ซึ่ง สามารถทำได้โดยการใช้อัตราดาวน์เฉพาะสำหรับ มอเตอร์และเลือกอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องที่ เหมาะสม	ข้อมูลแบบเรียลไทม์ที่รวบรวมไว้ รวมถึง แรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า ใช้ในการ ฝึกโมเดล การศึกษาใช้อัลกอริทึมการถดถอยเชิงเส้น อย่างง่าย (SLR) และการถดถอยเชิงเส้น พหุคูณ (MLR) สำหรับการบำรุงรักษาเชิง คาดการณ์ สามารถคาดการณ์เวลาการ บำรุงรักษาและความล้มเหลวของมอเตอร์ AC ได้อย่างแม่นยำ โดยอิงตามข้อมูลที่ รวบรวมและจำลองที่ผ่านการฝึกเทรน ข้อมูล

ตาราง 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ต่อ

Authors (ชื่อผู้แต่ง)	Objective (วัตถุประสงค์)	Scope of study (ขอบเขตงานวิจัย)	Methodology (วิธีการวิจัย)	Major results (ผลลัพธ์)
Vimala Mathew, Tom Toby, Vikram Singh, B Maheswara Rao, M Goutham Kumar [19]	วัตถุประสงค์ของบทความ นี้คือการวิเคราะห์ข้อมูล ในอดีตและประเมินแนว ทางการเรียนรู้ของเครื่อง ต่าง ๆ เพื่อคาดการณ์อายุ การใช้งานที่เหลืออยู่ (RUL) ของเครื่องยนต์ เทอร์โบแฟนได้อย่าง แม่นยำ	เป้าหมายคือการผลิตข้อผิดพลาดใน การทำนายให้เหลือน้อยที่สุดโดย การเลือกอัลกอริทึมที่ดีที่สุดโดยมี ค่า Root Mean Square Error (RMSE) ต่ำที่สุด การศึกษามุ่งเน้นไปที่การ เปรียบเทียบประสิทธิภาพของ อัลกอริทึมที่แตกต่างกัน 10 แบบ และเลือกอัลกอริทึมที่มีข้อผิดพลาด น้อยที่สุด	-บทความนี้ใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้ของ เครื่อง รวมถึง Random Forest, Support Vector Machine (SVM), Gradient Boosting Method (GBM) และ AdaBoost เพื่อทำนาย RUL ของ เครื่องยนต์ turbofan -อัลกอริทึมถูกนำไปใช้โดยใช้สภาพแวดล้อม การเขียนโปรแกรม R ซึ่งช่วยให้การ ประมวลผลข้อมูล การแสดงภาพ และการ วิเคราะห์ผลลัพธ์เป็นเรื่องง่าย	-บทความนี้ประกอบด้วยกราฟที่แสดง ความสัมพันธ์ระหว่าง RUL ที่คาดการณ์ไว้ และ RUL จริงสำหรับชุดข้อมูลแต่ละชุด ตลอดจนแผนภาพเส้นการถดถอยที่ เปรียบเทียบความแม่นยำของ RUL จริงจาก ค่าที่คาดการณ์ไว้ -ค่า Root Mean Square Error (RMSE) ระหว่าง RUL จริงและ RUL ที่คาดการณ์ไว้ ถูกพล็อต และพบว่าอัลกอริทึมเอนSEMBLE ให้ ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

ตาราง 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ต่อ

Authors (ชื่อผู้แต่ง)	Objective (วัตถุประสงค์)	Scope of study (ขอบเขตงานวิจัย)	Methodology (วิธีการวิจัย)	Major results (ผลลัพธ์)
Apakrita Tayade, Sangram Patil, Vikas Phalle, Faruk Kazi, Satvasheel Powar [20]	วัตถุประสงค์ของ บทความนี้คือเพื่อ ศึกษาสัญญาณการ สั่นสะเทือนที่เกิด จากตลับลูกปืนที่ เสื่อมสภาพ และใช้ วิธีการเรียนรู้ของ เครื่องจักรเพื่อ กำหนดอายุการใช้ งานที่เหลืออยู่ (RUL) ของตลับลูกปืน	บทความนี้ยังกล่าวถึงการใช้ แบบจำลองการถดถอย Support Vector Regressor (SVR) และ Random Forest (RF) สำหรับการทำนาย RUL ของตลับลูกปืน โดยจะ เปรียบเทียบประสิทธิภาพของ รุ่นเหล่านี้โดยใช้ชุด คุณลักษณะที่แตกต่างกัน และแสดงให้เห็นว่ารุ่น RF ได้รับการประเมินคะแนน สูงสุด	-ชุดข้อมูลที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ที่ได้มา จากชุดข้อมูลตลับลูกปืน FEMTO ของ IEEE PHM Data Challenge 2012 -การศึกษานี้ใช้การสร้างแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์และแบบจำลองทาง กายภาพในระดับวัสดุและระบบเพื่อ ประมาณค่า RUL ของตลับลูกปืน -เปรียบเทียบประสิทธิภาพของ แบบจำลองการถดถอย SVR และ RF โดยใช้ชุดคุณลักษณะที่แตกต่างกัน โดย ที่ RF มีประสิทธิภาพเหนือกว่า SVR ใน แง่ของการประมาณคะแนน	การศึกษานี้ใช้แบบจำลองการถดถอย Support Vector Regressor (SVR) และ Random Forest (RF) เพื่อทำนาย อายุการใช้งานที่เหลือ (RUL) ของตลับลูกปืนที่เสื่อมสภาพ ฟังก์ชันการให้คะแนนที่ใช้ในการศึกษาแสดงให้เห็นว่า แบบจำลอง RF มีประสิทธิภาพเหนือกว่าแบบจำลอง SVR โดยได้คะแนนประมาณค่าสูงสุดที่ 0.547452 การศึกษานี้เปรียบเทียบ RUL จริงและ RUL ที่คำนวณโดย ใช้แบบจำลองการถดถอย ซึ่งแสดงการตรวจสอบเชิง สัมพันธ์ระหว่างแบบจำลองทั้งสองโดยใช้ชุดข้อมูล คุณลักษณะ 12 ชุด คะแนนสูงสุดที่ 0.547452 มาจากชุดฟีเจอร์ที่ 12 และรุ่น RF

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาเครื่องแยกสสาร เพื่อนำมาวิเคราะห์ พยากรณ์การสั่นของเครื่องแยกสสารช่วงเริ่มสตาร์ทเครื่อง ด้วยค่าพารามิเตอร์ของเครื่องแยกสสารและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ในบทที่ 3 นี้จึงเป็นการนำเสนอเนื้อหาในส่วนของวิธีการดำเนินการวิจัย

โดยมีหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย เพื่อบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ในงานวิจัย แบ่งออกเป็นดังนี้

- 3.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องแยกสสาร
- 3.2 เก็บรวบรวมข้อมูลของเครื่องแยกสสาร
- 3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับเครื่องแยกสสาร

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาเครื่องแยกสสาร และรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ เช่น เอกสาร หนังสือ และข้อมูลในเว็บไซต์อินเทอร์เน็ต เป็นต้น เพื่อให้ได้ซึ่งข้อมูลที่หลากหลาย และมีความถูกต้อง ครอบคลุมงานได้ครบถ้วน เช่น เซนเซอร์การวัดการสั่น หลักการในการสั่น และวิธีบำรุงรักษาเครื่องแยกสสาร เป็นต้น ข้อมูลที่รวบรวมได้มีดังนี้

3.1.1 Fault Vibration Stage 2

จากการศึกษาเงื่อนไข Fault Vibration Stage 2 ของเครื่องแยกสสารนั้น คือ เมื่อเครื่องแยกสสารมีการสั่นเกิน 7 mm/s เป็นเวลา 10 วินาที จะมีการตัดระบบจ่ายไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ และค่อยๆรอให้รอบการหมุนลดลง เพื่อลดการสั่นที่มาก และเกิดความเสียหายต่อเครื่องจักรได้

3.1.2 สาเหตุที่ทำให้เกิด Fault Vibration Stage 2

ซึ่งสาเหตุที่ทำให้เกิด Fault Vibration Stage 2 นั้นคือเมื่อเครื่องแยกสสารมีการทำงานด้วยการแยกสสารเสร็จ หรือจบกระบวนการผลิตนั้นจะมีตะกอนของแข็งภายในเครื่องแยกสสาร เมื่อไม่มีการทำความสะอาดภายในเครื่องจักรหลังจากจบกระบวนการผลิต หรือ ทำกระบวนการทำความสะอาดภายในเครื่องแยกสสาร แล้วแต่ยังคงมีตะกอนตกค้างภายในเครื่องแยกอยู่ เมื่อเริ่มสตาร์ทเครื่องแยกสสารครั้งถัดไป ก็จะทำให้เกิด Fault Vibration Stage 2 ดังกล่าว

3.1.3 วิธีแก้ไขปัญหา Fault Vibration Stage 2

จากการศึกษาจากข้อมูลเครื่องแยกสสาร นั้นจะมีวิธีแก้ไขปัญหาเบื้องต้นในการแก้ไข Fault Vibration Stage 2 คือการทำกระบวนการทำความสะอาดภายในเครื่องแยกสสาร หรือกระบวนการ CIP (Cleaning In Place : CIP) เพื่อลดตะกอนของแข็งภายในเครื่องแยกสสาร

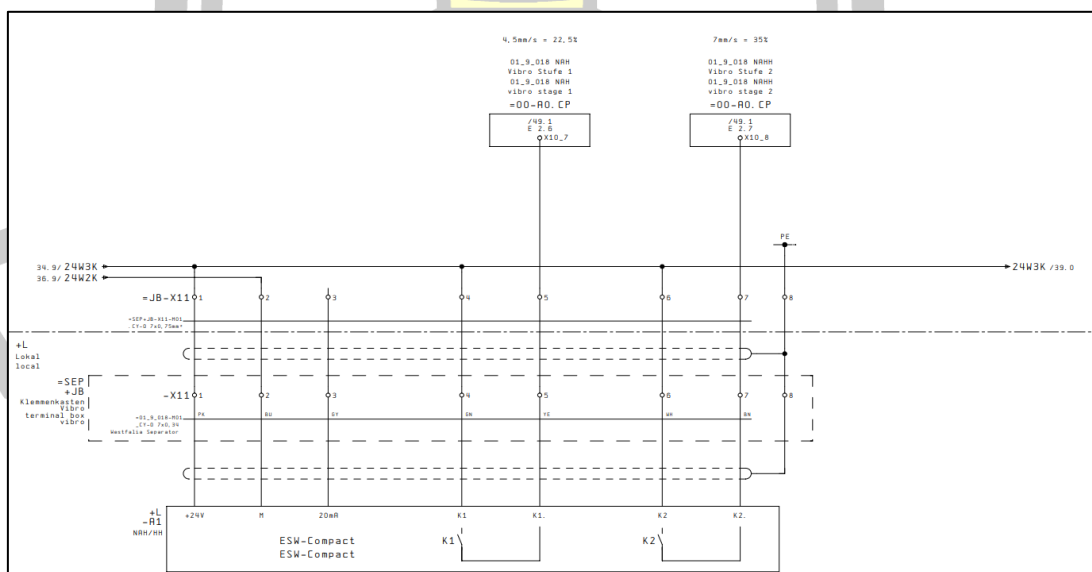
3.2 เก็บรวบรวมข้อมูลของเครื่องแยกสสาร

ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลของเครื่องแยกสสาร จะทำการเข้าเก็บข้อมูลพารามิเตอร์ของเครื่องแยกสสาร ที่มีความเกี่ยวข้องในการส่งผลการสั่นของเครื่องแยกสสาร โดยข้อมูลที่ได้นั้นจะมีการเก็บไว้บนฐานข้อมูล MySQL

ซึ่งมีข้อมูลที่มีการแสดงค่าพารามิเตอร์ มีดังนี้

1. รอบการหมุนของเครื่องแยกสสาร
2. กระบวนการทำความสะอาดภายในเครื่องแยกสสาร หรือกระบวนการ CIP

มีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติม จากการแปลงสัญญาณกระแส 4-20 mA จากเซนเซอร์วัดการสั่นของเครื่องแยกสสาร โดยการคำนวณหา Full-scale จากข้อมูลเครื่องแยกสสาร ระบุค่าการสั่นเมื่อมีค่าการสั่นเท่ากับ 7 mm/s จะมีค่าเท่ากับ 35 เปอร์เซ็นต์จากทั้งหมด 100 เปอร์เซ็นต์ จากภาพประกอบ 25



ภาพประกอบ 25 วงจรไฟฟ้าของตัววัดการสั่น

โดยการคำนวณด้วยการเทียบบัญญัติไตรยางค์ ด้วยสมการดังนี้

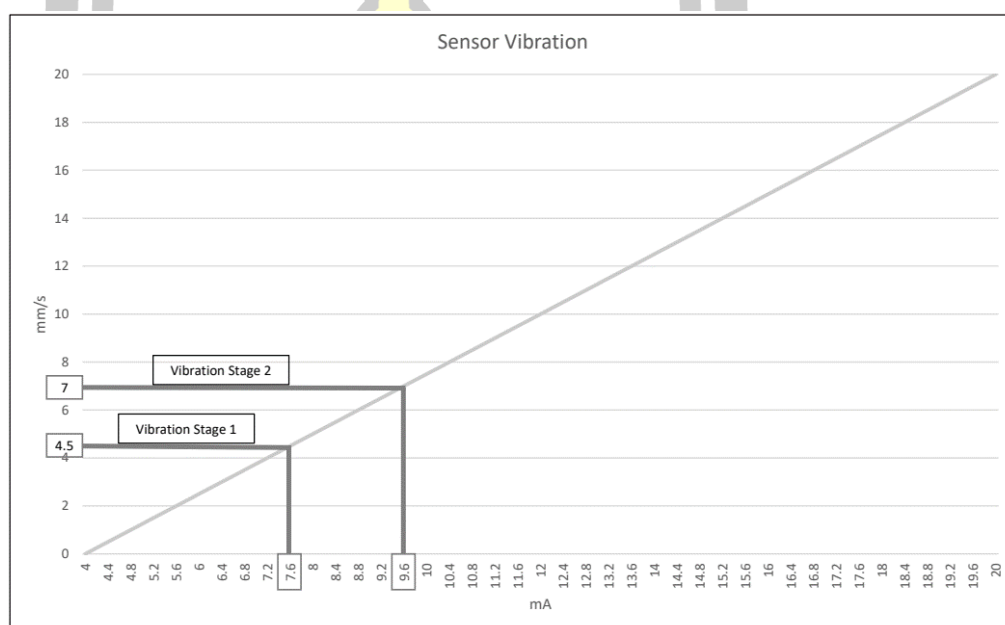
$$X = 100 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

เปรียบเทียบกับ

$$7 \text{ mm/s} = 35 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

$$x = \frac{7 \times 100}{35} = 20 \text{ mm / s}$$

จึงได้ค่าการสั่นตามกระแสไฟฟ้า ดังภาพประกอบ 26



ภาพประกอบ 26 เปรียบเทียบระหว่างกระแสกับการสั่น

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

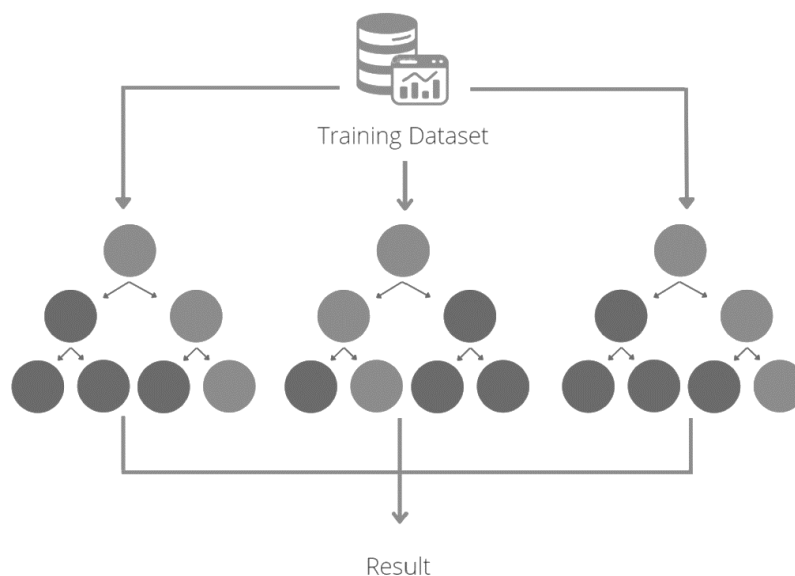
โดยขั้นตอนการดำเนินการวิจัย มีดังนี้

1. การเก็บข้อมูล

มีการเก็บข้อมูลบนฐานข้อมูล MySQL โดยเก็บข้อมูลของเครื่องแยกสสาร ดังภาพประกอบ 27

3. สถาปัตยกรรมโมเดล Regression (Random Forest Regression Machine learning)

การนำเอาอัลกอริทึมป่าสุ่ม ประยุกต์ใช้กับข้อมูลเครื่องแยกสสาร เพื่อการสร้างแบบจำลอง การสั้นของเครื่องแยกสสารช่วงเวลาเริ่มสตาร์ทครั้งแรก



ภาพประกอบ 28 โครงสร้าง Random Forest Regression Machine learning

4. การฝึกอบรมแบบจำลอง

4.1 ฝึกฝนโมเดล Random Forest Regression Machine learning โดยใช้ข้อมูล สำหรับฝึกฝน

4.2 การใช้เครื่องมือ Jupyter

4.3 ภาษาที่ใช้เขียน ภาษา python

4.4 มีการทดลองโดยใช้ข้อมูลสำหรับฝึกฝนที่แตกต่างกัน

5. การประเมินแบบจำลอง

5.1 ประเมินแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลสำหรับทดสอบที่มีการกำหนดไว้

5.2 คำนวณตัวชี้วัด (เช่น RMSE, MSE, MAE) เพื่อประเมินประสิทธิภาพ ดังต่อไปนี้

5.2.1 Root Mean Square Error (RSME) หรือค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย

เป็นวิธีการวัดค่าความคลาดเคลื่อนแบบมาตรฐาน ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยค่าที่ได้ยิ่งน้อยจะแสดงว่าแบบจำลองที่ได้มีความแม่นยำมาก วิธีการคำนวณคือจะเป็นการนำค่า MSE ที่คำนวณได้มาหารากที่สอง ดังสมการ

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2}$$

สมการที่ (1)

5.2.2 Mean Squared Error (MSE) หรือค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง

เป็นการวัดค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง โดยค่าที่ได้ยิ่งน้อยจะยิ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่ได้มีความแม่นยำมาก โดยค่า MSE คำนวณได้จากการนำค่าความคลาดเคลื่อนมา ยกกำลัง แล้วนำไปหาค่าเฉลี่ย ดังสมการ

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2$$

สมการที่ (2)

5.2.3 ค่าเฉลี่ยของผลต่างสัมบูรณ์ ระหว่างผลเฉลี่ยกับค่าที่เกิดจากการทำนายของ Model (Mean Absolute Error : MAE)

$$MAE = \sqrt{\frac{\sum (y_t - \hat{y}_t)^2}{n}}$$

สมการที่ (3)

5.3 เมื่อได้แบบจำลองที่ดีที่สุดก็จะนำไปพยากรณ์ข้อมูลอนาคตเพื่อได้ซึ่งแบบจำลองการสั้นของเครื่องแยกสสารช่วงเริ่มสตาร์ทเครื่อง

บทที่ 4

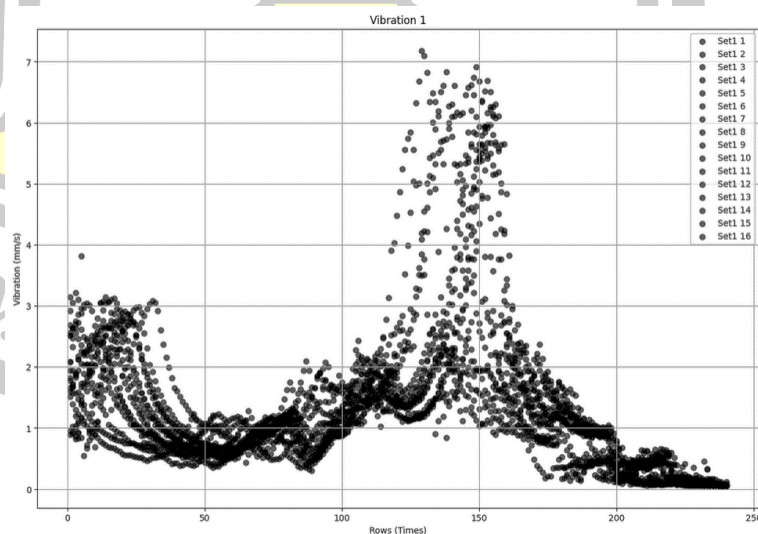
ผลการวิจัยและการอภิปราย

ในงานวิจัยนี้ ได้มีการปรับปรุงและนำเสนอการวิเคราะห์ข้อมูลการสั่นของเครื่องแยกสสาร เพื่อการพยากรณ์การสั่นของเครื่อง โดยใช้โปรแกรม Jupyter เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลของเครื่องแยกสสาร โดยใช้ตัวแปรต้นดังนี้ 1.รอบการหมุนของเครื่องแยกสสารก่อนจบกระบวนการผลิต 2.ค่าการสั่นของเครื่องแยกสสารก่อนจบกระบวนการผลิต 3.กระบวนการทำความสะอาดภายในเครื่องแยกสสาร 4.รอบการหมุนของเครื่องแยกสสารช่วงเริ่มสตาร์ทเครื่อง เพื่อพยากรณ์ตัวแปรตาม คือ การสั่นของเครื่องแยกสสารช่วงเริ่มสตาร์ทเครื่อง โดยอัลกอริทึมป่าสุ่ม โดยแบ่งข้อมูลของเป็น 2 ประเภท คือ ข้อมูลสำหรับการฝึกฝน และข้อมูลสำหรับการทดสอบ และมีการคิดค่าความคลาดเคลื่อนหรือค่าผิดพลาด ด้วยค่า RMSE, MSE และMAE

4.1 การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการสั่น

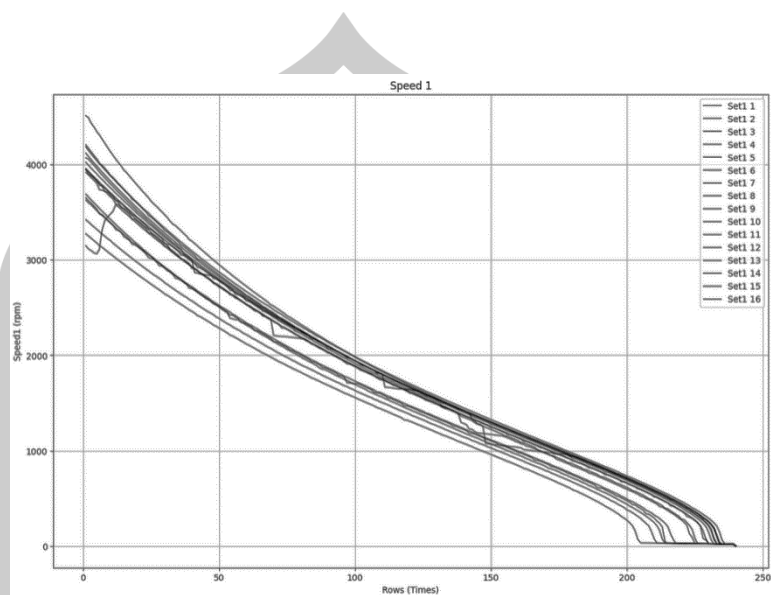
ข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์เพื่อการสร้างแบบจำลองพยากรณ์การสั่นของเครื่องแยกสสาร โดยใช้อัลกอริทึมป่าสุ่ม มีดังต่อไปนี้

ตัวแปรต้นที่ 1 รอบการหมุนเครื่องแยกสสาร ก่อนจบกระบวนการผลิต



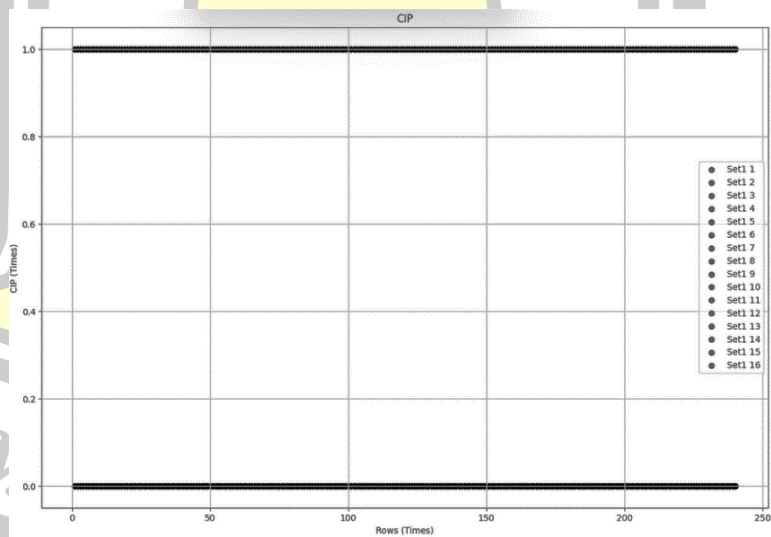
ภาพประกอบ 29 รอบการหมุนเครื่องแยกสสาร ก่อนจบกระบวนการผลิต

ตัวแปรต้นที่ 2 การสั่นของเครื่องแยกสสาร ก่อนจบกระบวนการผลิต



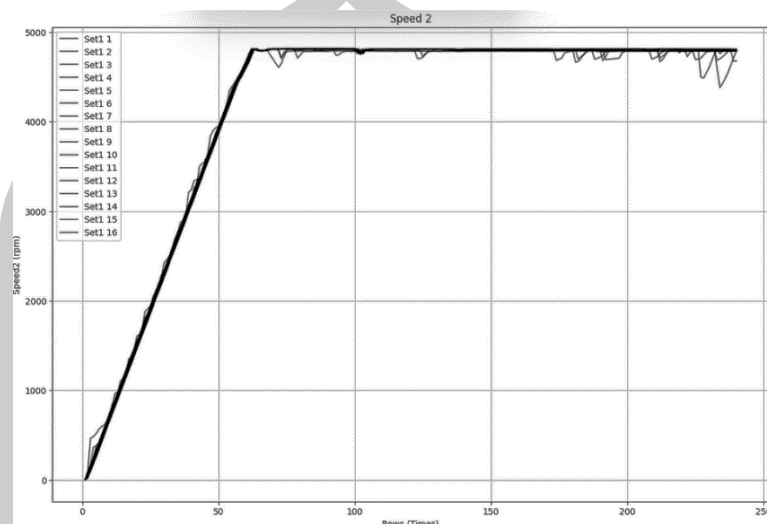
ภาพประกอบ 30 การสั่นของเครื่องแยกสสาร ก่อนจบกระบวนการผลิต

ตัวแปรต้นที่ 3 กระบวนการทำความสะอาดภายในเครื่องแยกสสาร



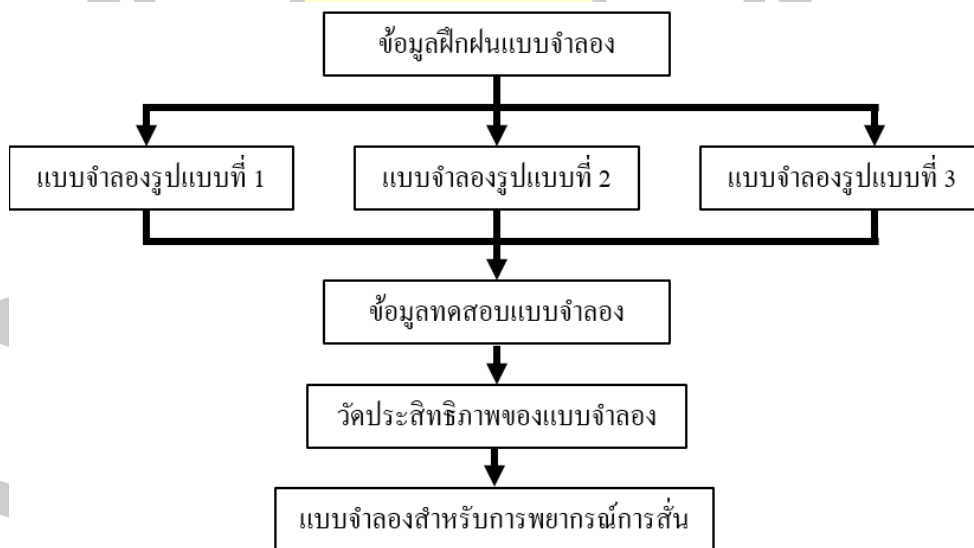
ภาพประกอบ 31 กระบวนการทำความสะอาดภายในเครื่องแยกสสาร

ตัวแปรต้นที่ 4 รอบการหมุนเครื่องแยกสาร ช่วงเริ่มสตาร์ทใหม่



ภาพประกอบ 32 รอบการหมุนเครื่องแยกสาร ช่วงเริ่มสตาร์ทใหม่

4.2 การทดลองแบบจำลอง



ภาพประกอบ 33 แผนผังการทดลอง

จากภาพประกอบ 33 มีการออกแบบการทดลอง โดยใช้ตัวแปรต้นที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบ คือ ซึ่งในแต่ละรูปแบบจะมีการสุ่มตัวอย่างข้อมูล 3 แบบ คือ รูปแบบที่ 1 มีตัวแปรต้นคือ 'Speed 2' รูปแบบที่ 2 มีตัวแปรต้นคือ 'Speed 2', 'CIP' และรูปแบบที่ 3 มีตัวแปรต้นคือ 'Speed 2', 'CIP', 'Speed 1' และ 'Vibration 1' ซึ่งทั้ง 3 รูปแบบจะมีการสุ่มข้อมูลที่แตกต่างกัน 4 แบบคือ การสุ่ม 50 100 150 และ 200 ชุดข้อมูลตัวอย่าง

4.3 วิเคราะห์การสร้างแบบจำลอง

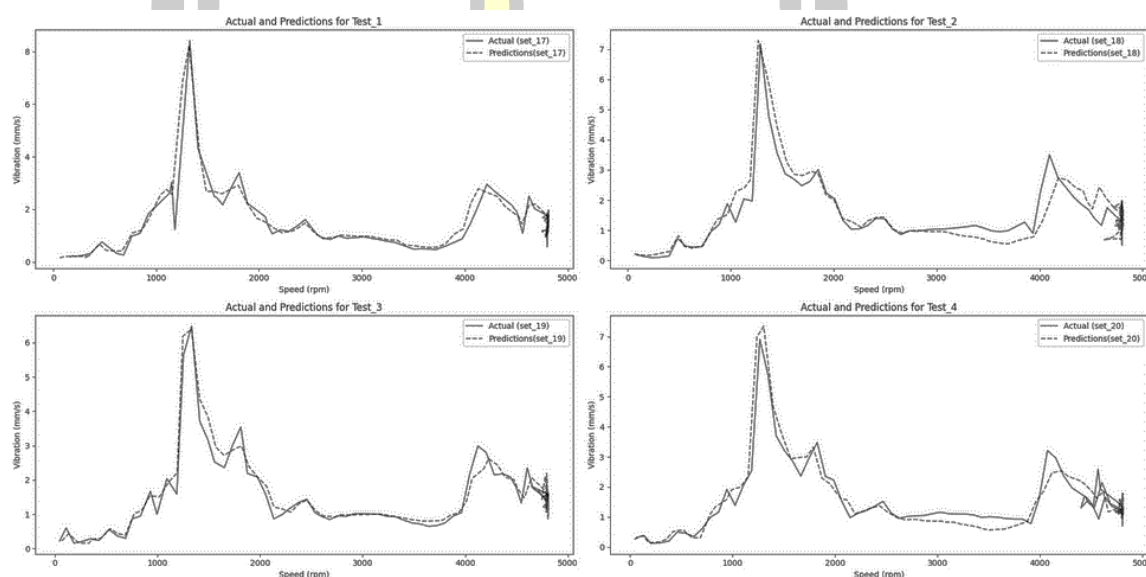
วิเคราะห์การสร้างแบบจำลองด้วยอัลกอริทึมป่าสุ่ม โดยใช้ตัวแปรต้นที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 มีตัวแปรต้นคือ 'Speed 2' รูปแบบที่ 2 มีตัวแปรต้นคือ 'Speed 2', 'CIP' และรูปแบบที่ 3 มีตัวแปรต้นคือ 'Speed 2', 'CIP', 'Speed 1' และ 'Vibration 1' ซึ่งในการทดลองนั้นจะมีการสุ่มตัวอย่างจากข้อมูลฝึกฝนแบบจำลองด้วยอัลกอริทึมป่าสุ่ม 4 แบบ คือ 50 100 150 และ 200 ชุดข้อมูลตัวอย่าง เพื่อสร้างแบบจำลองที่ดีที่สุดจากตัวแปรต้นที่แตกต่างกัน

ตาราง 4 ผลการฝึกฝนแบบจำลอง

Correlation	estimators	RMSE	MSE	MAE
'Speed 2'	50	0.3516	0.1237	0.236
'Speed 2'	100	0.3494	0.1221	0.2352
'Speed 2'	150	0.3475	0.1208	0.2345
'Speed 2'	200	0.3472	0.1206	0.2345
'Speed 2', 'CIP'	50	0.3373	0.1138	0.2271
'Speed 2', 'CIP'	100	0.3338	0.1114	0.2256
'Speed 2', 'CIP'	150	0.3322	0.1104	0.2250
'Speed 2', 'CIP'	200	0.3313	0.1098	0.2248
'Speed 2', 'CIP', 'Speed 1', 'Vibration 1'	50	0.2899	0.0840	0.1499
'Speed 2', 'CIP', 'Speed 1', 'Vibration 1'	100	0.2774	0.0770	0.1474
'Speed 2', 'CIP', 'Speed 1', 'Vibration 1'	150	0.2771	0.0768	0.1468
'Speed 2', 'CIP', 'Speed 1', 'Vibration 1'	200	0.2794	0.0781	0.1475

จากตาราง 4 จะเห็นได้ว่า ตัวแปรต้น 4 ตัวแปร นั้นจะมีค่าตัวชี้วัด ที่เข้าใกล้ 0 จากการเปรียบเทียบ ทั้ง 3 รูปแบบ การทดลอง โดยจะนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลอง เพื่อเปรียบเทียบกับค่าการสั่นจริงต่อไป

4.4 การเปรียบเทียบแบบจำลอง



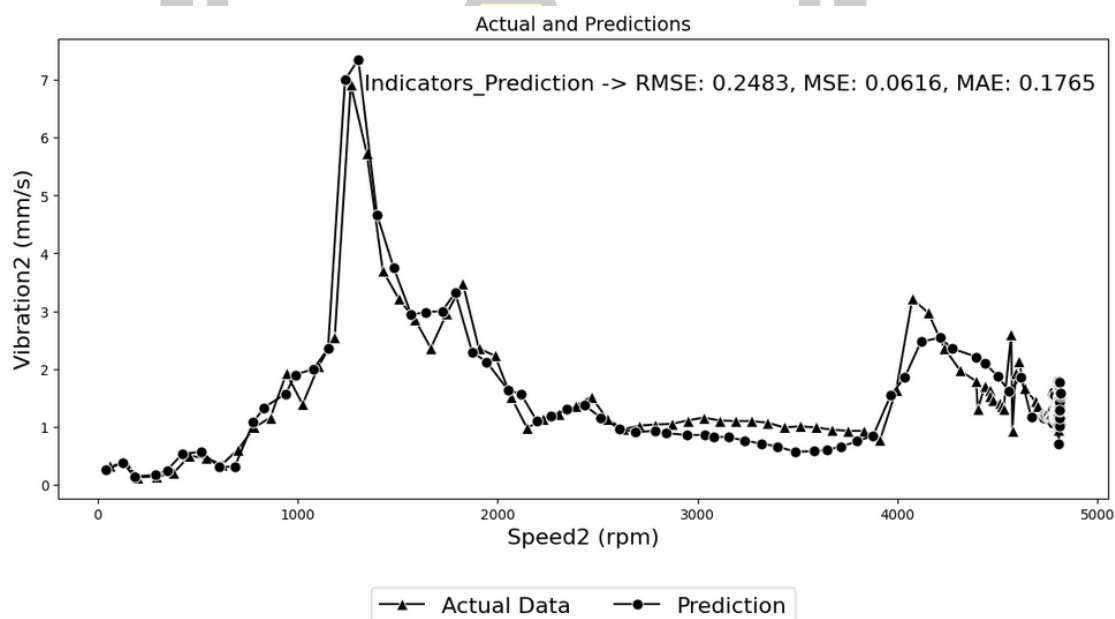
ภาพประกอบ 34 ข้อมูลที่พยากรณ์เปรียบเทียบกับข้อมูลทดสอบ 2 ชุดข้อมูล

โดยภาพประกอบ 34 คือการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองพยากรณ์การสั่นกับชุดแบบทดสอบแบบจำลองการสั่นทั้ง 4 ชุดข้อมูล โดยจะมีตัวชี้วัดแบบจำลองการสั่นของเครื่องแยกสสารเมื่อเริ่มสตาร์ทใหม่ทั้งหมด 3 ตัวคือ RMSE, MSE และ MAE เพื่อให้ได้ซึ่งแบบจำลองการสั่นของเครื่องแยกสสารที่ดีที่สุด จากการเฉลี่ยค่าตัวชี้วัดทั้ง 3 ตัวชี้วัด ทั้ง 4 การทดสอบแบบจำลอง ดังตาราง 5

ตาราง 5 ผลการทดสอบแบบจำลอง

Pattern	Estimators	AVG_RMSE	AVG_MSE	AVG_MAE
Speed 2, CIP, Speed 1, Vibration 1	50	0.2563	0.0676	0.1752
Speed 2, CIP, Speed 1, Vibration 1	100	0.2553	0.0672	0.1733
Speed 2, CIP, Speed 1, Vibration 1	150	0.2531	0.0662	0.1731
Speed 2, CIP, Speed 1, Vibration 1	200	0.2532	0.0663	0.1737

4.5 ทดลองแบบจำลองการพยากรณ์การสั่น



ภาพประกอบ 35 ค่าการพยากรณ์เปรียบเทียบกับค่าจริง

จากภาพประกอบ 35 เป็นการทดสอบแบบจำลองที่ดีที่สุดจากการทดลอง นำมาใช้แบบจำลองพยากรณ์การสั่นของเครื่องแยกสารช่วงเริ่มสตาร์ทใหม่ ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE) เท่ากับ 0.2483 และตลอดทั้งเส้นมีความใกล้เคียงกับค่าการสั่นจริงเมื่อเครื่องแยกสารสตาร์ทเครื่อง ทำให้ทราบว่าการการแบบจำลองด้วยอัลกอริทึมป่าสุ่ม สามารถพยากรณ์การสั่นของเครื่องแยกสารได้ และในอนาคตสามารถนำไปต่อยอดสำหรับการนำไปสร้างแบบจำลองเพื่อช่วยในการตัดสินใจในการทำกระบวนการทำความสะอาดภายในเครื่องแยกสารต่อไป

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผล

ผลลัพธ์จากการพยากรณ์ความผิดปกติจากการสั้น โดยใช้อัลกอริทึมป่าสุ่ม และตัวแปรต้นที่ใช้สำหรับการทดลองการสร้างแบบจำลองที่ดีที่สุด คือตัวแปรต้น 4 ตัวแปร ได้แก่ 1.รอบการหมุนของเครื่องแยกสสารก่อนจบกระบวนการผลิต 2.ค่าการสั้นของเครื่องแยกสสารก่อนจบกระบวนการผลิต 3.กระบวนการทำความสะอาดภายในเครื่องแยกสสาร 4.รอบการหมุนของเครื่องแยกสสารช่วงเริ่มสตาร์ทเครื่อง โดยการสุ่มข้อมูลตัวอย่าง 150 ชุด มีการทดสอบจากข้อมูลแบบทดสอบแบบจำลอง 4 ชุดแบบทดสอบ ได้ค่าตัวชี้วัดเฉลี่ยทั้งหมด คือ $RMSE = 0.2531$, $MSE = 0.0662$ และ $MAE = 0.1731$ ซึ่งผลตัวชี้วัดทั้ง 3 มีค่าเข้าใกล้ 0 มากที่สุดของการทดลองสร้างแบบจำลองพยากรณ์การสั้น

5.2 อภิปรายผล

จากผลลัพธ์ที่ได้กล่าวมาข้างต้นด้วยการใช้อัลกอริทึมป่าสุ่ม มีการนำมาข้อมูลใช้ทดลองเป็นข้อมูลใหม่จากการตั้งค่าสัญญาณกระแสไฟ 4-20 mA เพื่อแปลงสัญญาณเป็นค่าการสั้นของเครื่องแยกสสาร จากเครื่องวัดการสั้นที่มีเพียงการแจ้งเตือนเพียง Alaem Fault บนจอแสดงผลเท่านั้น ซึ่งมีการเริ่มเก็บข้อมูลในต้นปี 2567 ช่วง มกราคม ถึง กุมภาพันธ์ โดยมีข้อมูลทั้งหมด 20 ชุด แบ่งออกเป็น 2 ข้อมูล คือ 1.ข้อมูลสำหรับฝึกฝนแบบจำลอง 16 ชุด และ 2.ข้อมูลสำหรับทดสอบแบบจำลอง 4 ชุด จากการทดลองสร้างแบบจำลองได้แบบจำลองที่ดีที่สุด คือ การใช้การสุ่มข้อมูลตัวอย่าง 150 ชุด ด้วยการใช้ตัวแปรต้น 4 ตัวแปรต้น คือ 1.รอบการหมุนของเครื่องแยกสสารก่อนจบกระบวนการผลิต 2.ค่าการสั้นของเครื่องแยกสสารก่อนจบกระบวนการผลิต 3.กระบวนการทำความสะอาดภายในเครื่องแยกสสาร 4.รอบการหมุนของเครื่องแยกสสารช่วงเริ่มสตาร์ทเครื่อง มีค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด แสดงให้เห็นว่าเข้าใกล้กับค่าการสั้นของเครื่องแยกสสารเมื่อเริ่มสตาร์ทจริง

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบแบบจำลองจากการทดลองเพื่อหาแบบจำลองที่ดีที่สุด สำหรับพยากรณ์ การสั่นของเครื่องแยกสารช่วงเริ่มสตาร์ทเครื่อง เมื่อเครื่องแยกสารสตาร์ทจริง มีการเปรียบเทียบ เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง ซึ่งสามารถพยากรณ์เข้าใกล้กับค่าการสั่นได้จริง และหาก นำแบบจำลองใช้ในอนาคต ทางผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะจากงานวิจัย เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนา แบบจำลอง ดังต่อไปนี้

1. การเก็บข้อมูลช่วงเครื่องแยกสารช่วงเวลาเกิด Fault Alarm Vibration เพื่อเป็นข้อมูล ในการพยากรณ์การสั่น ไว้สำหรับการตัดสินใจในการทำกระบวนการทำความสะอาดในอนาคต
2. การตัวแปรต้นในอนาคต เพื่อความแม่นยำของแบบจำลอง ในการพยากรณ์ตัวแปรตาม คือค่าการสั่นของเครื่องแยกสาร

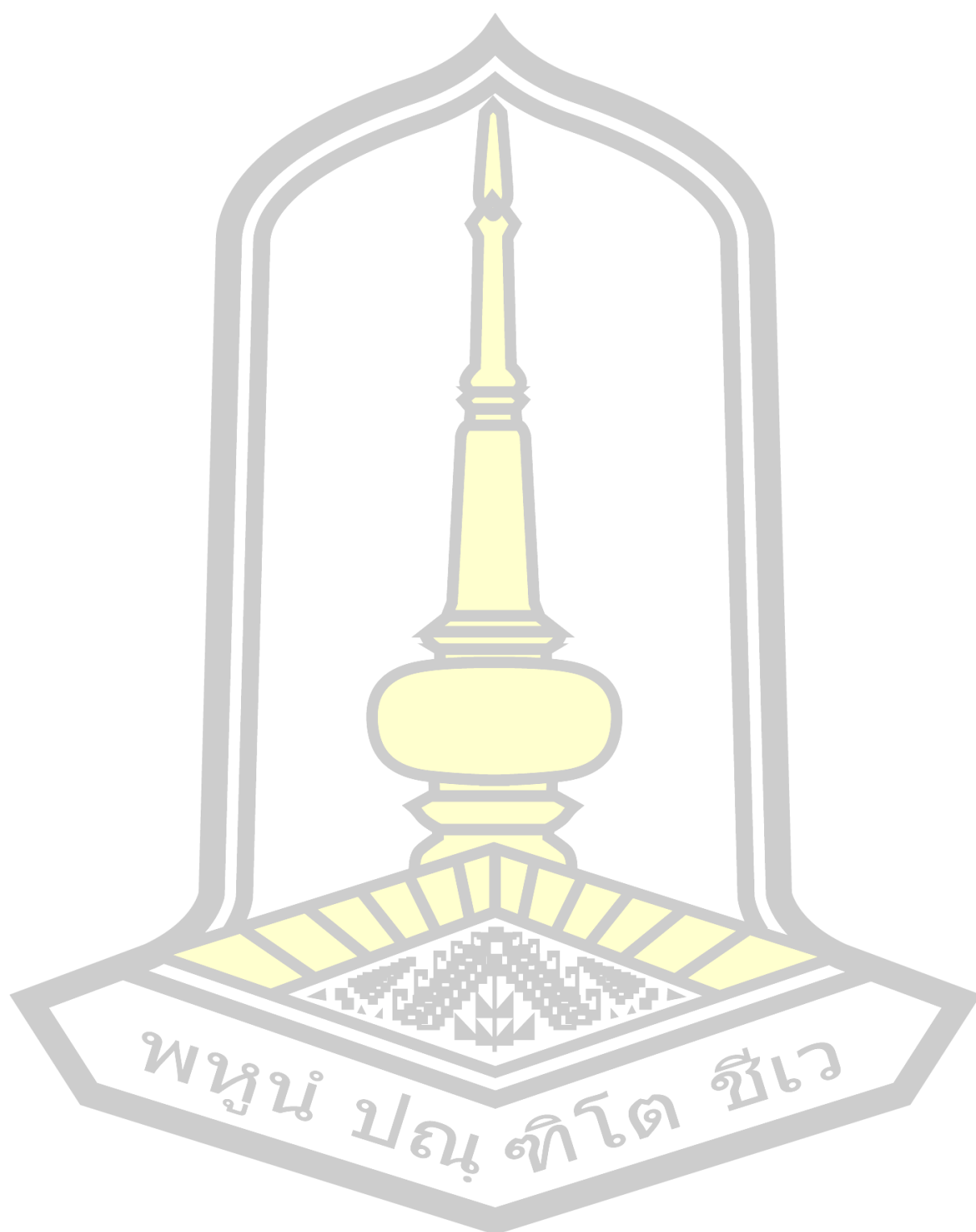


บรรณานุกรม

- [1] ว. ยงพิศาลภพ, "แนวโน้มนวัตกรรม/อุตสาหกรรมปี 2565-2567: อุตสาหกรรมเครื่องต้ม," in วิจัยกรุงศรี, ed: ธนาคารกรุงศรีอยุธยา จำกัด (มหาชน), 2565.
- [2] "การหมุนเหวี่ยงแยกส่วนทำงานอย่างไร," in *alfalaval*, ed: Alfa Laval (Thailand) Ltd., 2565.
- [3] น. เวชวิทยาขลัง, เทคนิคการวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือน เพื่องานบำรุงรักษา. 77/111 อาคารสินสาธิตทาวเวอร์ ชั้น26 ถนนกรุงธนบุรี แขวงคลองตันใต้ เขตคลองสาน กรุงเทพฯ 10600: บริษัท เอ็มแอนด์อี จำกัด, 2552.
- [4] "Shaft Alignment And Belt Alignment," ed: Provider, TPS Shaft Solutions, 2558.
- [5] E. Brannon, "Simplified Vibration Monitoring: ISO 10816-3 Guidelines," ed: CBM CONNECT Powered by Mobius Institute, 2564.
- [6] C. Elite, "Machine Learning เทคโนโลยีประโยชน์ครบจักรวาล," ed: <https://www.cyberelite.co>, 2565.
- [7] A. Thanadon, "Machine Learning คืออะไร? หน้าตาเป็นอย่างไร? ฉบับเข้าใจง่าย," in <https://life.wongnai.com/>, ed, 2565.
- [8] น. จ. ร. ว. ชัย, "Fraud Detection Model in Imbalanced Data Using Dimension Reduction And Machine Learning Algorithms," *Progress in Applied Science and Technology*, vol. 10, no. 1, pp. 215-225, 2020.
- [9] CSIT, บทที่ 4 การวิเคราะห์การถดถอย (*Regression Analysis*).
- [10] ร. ศรีปะโค, "การลดปริมาณการขาดแคลนสินค้าโดยใช้เทคนิคพยากรณ์ กรณีศึกษาบริษัท ไอเซิล (ประเทศไทย) จำกัด," มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต, 2557.
- [11] A. Elbeltagi *et al.*, "Drought indicator analysis and forecasting using data driven models: case study in Jaisalmer, India," *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, vol. 37, no. 1, pp. 113-131, 2023.
- [12] A. Ido, G. Ralf, M. K. Arzam, P. Diego, S. Subanataranjan, and S. Guruprasad, "An Industrial Case Study Using Vibration Data and Machine Learning to Predict Asset Health," *IEEE 20th Conference on Business Informatics*, 2561.

บรรณานุกรม ต่อ

- [13] W. Dazhong, J. Connor, T. Janis, X. G. Robert, and K. Soundar, "A Comparative Study on Machine Learning Algorithms for Smart Manufacturing : Tool Wear Prediction Using Random Forest," *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 2560.
- [14] น. สารธิเสน, น. บัวแดง, and น. สมีนาง. (2554) การวิเคราะห์ความเสียหายของปั๊มด้วยการวัดการสั่นสะเทือน. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [15] น. พลแสน. (2563) การพัฒนาระบบตรวจติดตามสถานะแบบเวลาจริงเครื่องจักรกลไฟฟ้าผ่านโปรแกรมจำลองสถานการณ์เพื่อวางแผนการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [16] O. S. A. El-Kawi, "Predictive Maintenance of Rotating Machines using Arduino Platform," *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)* 2020.
- [17] S.-T. Chang, M.-K. Liu, C.-Y. Lan, and W.-T. Hsu, "Lifetime Prediction for Bearings in Induction Motor," in *2019 IEEE International Conference on Industrial Cyber Physical Systems (ICPS)*, Taipei, Taiwan, 2019.
- [18] A. M. Jakra A. Husain, "PREDICTIVE MAINTENANCE OF SINGLE PHASE AC MOTOR USING IOT SENSOR DATA AND MACHINE LEARNING (SIMPLE LINEAR REGRESSION AND MULTIPLE LINEAR REGRESSION ALGORITHMS)," *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 31 August 2019 2019, doi: 10.33564/ijeast.2019.v04i04.022.
- [19] T. T. Vimala Mathew, Vikram Singh, B Maheswara Rao, M Goutham Kumar, "Prediction of Remaining Useful Lifetime (RUL) of Turbofan Engine using Machine Learning," in *Proceedings of 2017 IEEE International Conference on Circuits and Systems*, 2017.
- [20] S. P. Apakrita Tayade, Vikas Phalle, Faruk Kazi, Satvasheel Powar, "Remaining useful life (RUL) prediction of bearing by using regression model and principal component analysis (PCA) technique," *Vibroengineering Procedia*, 25 April 2019.



ภาคผนวก

โค้ดโปรแกรม Python สำหรับการออกแบบจำลองด้วยอัลกอริทึมป่าสุ่ม

1. นำไฟล์ที่มีการเก็บข้อมูล และทำความสะอาดข้อมูล เพื่อนำมาฝึกฝนและทดสอบแบบจำลอง

```
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import seaborn as sns

# Load data from CSV file
file_path1 = '(11)DATA_Train_113_150.csv'
data_1 = pd.read_csv(file_path1)
```

2. กำหนดข้อมูลฝึกฝนและทดสอบ

```
# Define the sets
data_train_1 = [
    (1, 240),
    (241, 480),
    (481, 720),
    (721, 960),
    (961, 1200),
    (1201, 1440),
    (1441, 1680),
    (1681, 1920),
    (1921, 2160),
    (2161, 2400),
    (2401, 2640),
    (2641, 2880)
]
data_test_1 = [
    (2881, 3120)
]
```

พูน ปณ ทิโต ชีเว

3. ออกแบบจำลองรอบการหมุนครั้งใหม่ของเครื่องแยกสสาร

```

from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.metrics import mean_absolute_error, mean_squared_error

# Define the sets
Train_1 = [
    (1, 240),
    (241, 480),
    (481, 720),
    (721, 960),
    (961, 1200),
    (1201, 1440),
    (1441, 1680),
    (1681, 1920),
    (1921, 2160),
    (2161, 2400),
    (2401, 2640),
    (2641, 2880)
]
Test_1 = [
    (2881, 3120)
]

# Separate the features (X) and target variable (y)
X1 = data_1[['CIP', 'Speed1', 'Vibration1', 'rows']]
y1 = data_1['Speed2']

# Split the data into training and testing sets
train_Model_1 = pd.concat([data_1.loc[start-1:end-1] for start, end in Train_1[:12]])
test_Model_1 = pd.concat([data_1.loc[start-1:end-1] for start, end in Test_1[:1]])

X1_train1, X1_test1, y1_train1, y1_test1 = train_test_split(train_Model_1[['CIP', 'Speed1', 'Vibration1', 'rows']], train_Model_1['Speed2'], random_state=42)

# Create a Random Forest Regressor model
rf_model = RandomForestRegressor(n_estimators=100, random_state=42)

# Train the model
rf_model.fit(X1_train1, y1_train1)

# Make predictions on the test set
y1_pred1 = rf_model.predict(X1_test1)

# Evaluate the model
mse1 = mean_absolute_error(y1_test1, y1_pred1)
mse1 = mean_squared_error(y1_test1, y1_pred1)
rmse1 = np.sqrt(mean_squared_error(y1_test1, y1_pred1))
print(f'Mean Absolute Error on the test set: {mse1}')
print(f'Mean Squared Error on the test set: {mse1}')
print(f'Root Mean Squared Error on the test set: {rmse1}')

# Now you can use the trained model to make predictions on your test /
test_NewModel_Speed_1 = rf_model.predict(test_Model_1[['CIP', 'Speed1', 'Vibration1', 'rows']])

```

4. จัดเก็บข้อมูลแบบจำลองการหมุนครั้งใหม่ เพื่อนำไปเป็นตัวแปรต้นสำหรับพยากรณ์การสั่นของเครื่องแยกสสาร

```

# Assuming 'mydata' is your DataFrame
# X_new contains the features for prediction (Speed and Current in this case)
X_new = data_1[['CIP', 'Speed1', 'Vibration1', 'rows']]

# Define the range where you want to add the New_Model_Speed2 column
start_index = 2881
end_index = 3120

# Slice the DataFrame within the specified range
slice_data = data_1.iloc[start_index:end_index+1].copy()

# Predict Vibration using the trained model for the slice
slice_data['New_Model_Speed2'] = rf_model.predict(X_new.iloc[start_index:end_index+1]).round(2)

# Update the original DataFrame with the predictions
data_1.loc[start_index:end_index, 'New_Model_Speed2'] = slice_data['New_Model_Speed2']

# Add the 'Prediction' column to your CSV file
data_1.to_csv('{11}DATA_Train_113.csv', index=False)

# Display the DataFrame with the new 'Prediction' column
print(data_1)

```

5. นำข้อมูลตัวแปรต้นมาเป็นตัวแปรต้น สำหรับออกแบบพยากรณ์ตัวแปรตาม

```
# Separate the features (X) and target variable (y)
X11 = data_1[['CIP','Speed1','Vibration1','Speed2']]
y11 = data_1['Vibration2']

# Split the data into training and testing sets
train_Vibra_1 = pd.concat([data_1.loc[start:end-1] for start, end in Train_1[:12]])
test_Vibra_1 = pd.concat([data_1.loc[start:end-1] for start, end in Test_1[:1]])

X11_train11, X11_test11, y11_train11, y11_test11 = train_test_split
(train_Vibra_1[['CIP','Speed1','Vibration1','Speed2']], train_Vibra_1['Vibration2'], random_state=42)

# Create a Random Forest Regressor model
rf_model = RandomForestRegressor(n_estimators=100, random_state=42)

# Train the model
rf_model.fit(X11_train11, y11_train11)

# Make predictions on the test set
y11_pred11 = rf_model.predict(X11_test11)

# Evaluate the model
mae11 = mean_absolute_error(y11_test11, y11_pred11)
mse11 = mean_squared_error(y11_test11, y11_pred11)
rmse11 = np.sqrt(mean_squared_error(y11_test11, y11_pred11))
print(f'Mean Absolute Error on the test set: {mae11}')
print(f'Mean Squared Error on the test set: {mse11}')
print(f'Root Mean Squared Error on the test set: {rmse11}')

# Now you can use the trained model to make predictions on your test /
test_NewModel_Speed_1_1 = rf_model.predict(test_Vibra_1[['CIP','Speed1','Vibration1','Speed2']])
```

6. นำข้อมูลมาสร้างกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าพยากรณ์กับค่าจริง

```
# Plotting training data and predictions
plt.figure(figsize=(20, 6))

# Plotting test data set_1 only
plt.subplot(1, 2, 1)

# Filter test data for set_1
test_data_set1_1 = test_Vibra_1[test_Vibra_1.index.isin(range(2881, 3120))]
Actual_data_set1_1 = test_Vibra_1[test_Vibra_1.index.isin(range(2881, 3120))]

# Filter predictions for set_1
test_1_predictions_set1_1 = test_NewModel_Speed_1_1[(2881 - test_Vibra_1.index[0]):(3120 - test_Vibra_1.index[0])]

plt.plot(Actual_data_set1_1['Speed2'], Actual_data_set1_1['Vibration2'], label='Actual (set_1)', color='black', linestyle='-', alpha=0.7)
plt.plot(test_data_set1_1['New_Model_Speed2'], test_1_predictions_set1_1, label='Predictions(set_1)', color='black', linestyle='--', alpha=0.7)
plt.title('Actual and Predictions')
plt.xlabel('Speed (rpm)')
plt.ylabel('Vibration (mm/s)')
plt.legend()
```

7. จัดเก็บข้อมูลแบบจำลองพยากรณ์การสั่น เพื่อนำวิเคราะห์หาค่าความคลาดเคลื่อนต่อไป

```
# Assuming 'mydata' is your DataFrame
# X_new contains the features for prediction (Speed and Current in this case)
X_new = data_1[['CIP', 'Speed1', 'Vibration1', 'Speed2']]

# Define the range where you want to add the New_Model_Speed2 column
start_index = 2881
end_index = 3120

# Slice the DataFrame within the specified range
slice_data = data_1.iloc[start_index:end_index+1].copy()

# Predict Vibration using the trained model for the slice
slice_data['Prediction_Vibration'] = rf_model.predict(X_new.iloc[start_index:end_index+1]).round(2)

# Update the original DataFrame with the predictions
data_1.loc[start_index:end_index, 'Prediction_Vibration'] = slice_data['Prediction_Vibration']

# Add the 'Prediction' column to your CSV file
data_1.to_csv('(11)DATA_Train_113.csv', index=False)

# Display the DataFrame with the new 'Prediction' column
print(data_1)
```



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายเสกฐวุฒิ ประศรี
วันเกิด	14 มีนาคม พ.ศ.2543
สถานที่เกิด	อำเภอเมืองมุกดาหาร จังหวัดมุกดาหาร
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	797/33 หมู่ที่ 1 ตำบลท่าขอนยาง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	นักศึกษา
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2560 โรงเรียนปทุมเทพวิทยาคาร จังหวัดหนองคาย พ.ศ. 2564 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยมหาสารคาม พ.ศ. 2566 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

