



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความห่างของสกรูในการยึดสปอยเลอร์ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

โดยวิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณ:

กรณีศึกษา บริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด

Factors Affecting The Screwdriver Encoder of Spoilers in

Hard Disk Drives Using Multiple Regression Analysis:

Case study of Western Digital (Thailand) Co., Ltd.

นางสาวฮนุพ ไวยรูป

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการสหกิจศึกษา

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความห่างของสกรูในการยึดสไปลเลอร์ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยวิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณ: กรณีศึกษา บริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด
Factors Affecting The Screwdriver Encoder of Spoilers in Hard Disk Drives Using Multiple Regression Analysis: Case study of Western Digital (Thailand) Co., Ltd.

นักศึกษา นางสาวฮนุพ ไวรู๊ป รหัสนักศึกษา 59011596

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์นิเทศ


(ผศ.ดร.กิตติวัฒน์ สิริโกษมสุข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา	ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความห่างของสกรูในการยึดสปอยเลอร์ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยวิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณ: กรณีศึกษา บริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด
ชื่อ-สกุล นักศึกษา	นางสาวฮนุพ ไวยรูป
คณะ วิศวกรรมศาสตร์	ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ
ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ	ผศ.ดร.กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข
ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน	นายภาณุวัตร รอดโฉม
สถานประกอบการ	บริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด

บทคัดย่อ

โครงการสหกิจศึกษาเรื่องปัจจัยที่มีผลต่อค่าความห่างของสกรูในการยึดสปอยเลอร์ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยวิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณ: กรณีศึกษา บริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความห่างของสกรูเนื่องจากเครื่องจักรสปอยเลอร์ชั้นสกรูเพื่อยืดชิ้นส่วนสปอยเลอร์ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่แน่น ซึ่งสามารถวัดได้โดยการใช้ค่าความห่างของสกรู จากการรวบรวมข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความห่างของสกรู พบว่ามี 4 ปัจจัยที่เป็นไปได้ว่าจะมีผลกระทบ ได้แก่ ค่าแรงบิด ค่ามุม เวลา และค่าสัญญาณภาค เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณจะได้สมการรูปแบบที่ 7 สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_4^2 เป็นสมการที่ดีที่สุด และจากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า เวลา มีผลต่อค่าความห่างของสกรูมากที่สุด เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญ ($P\text{-Value} < 0.05$) และมีค่า $F\text{-Value}$ มากที่สุด และผลจากการวิเคราะห์หาระดับปัจจัยที่เหมาะสม คือ ค่ามุม (X_2) ที่ใช้ในการหมุนของหัวบิทที่เหมาะสมเท่ากับ 3922.6 รอบ, เวลา (X_3) ที่ใช้ในการขันสกรูที่เหมาะสมเท่ากับ 2928 มิลลิวินาทีและค่าสัญญาณภาค (X_4) ที่ใช้ในการหยิบสกรูจากรางสกรูที่เหมาะสมเท่ากับ 9.21889 เมกะปาสคาล

Cooperative Title	Factors Affecting The Screwdriver Encoder of Spoilers in Hard Disk Drives Using Multiple Regression Analysis: Case study of Western Digital (Thailand) Co., Ltd.
Student Intern Name	Ms. Hanoof Waiyaroop
Faculty Engineering	Department Industrial Engineering
Advisor Name	Asst.Prof. Dr. Kittiwat Sirikasemsuk
Mentor Name	Mr. Panuwat Rodchom
Company	Western Digital (Thailand) Co., Ltd.

ABSTRACT

This project gives the study on the factors affecting the screwdriver encoder of spoilers in hard disk drives using multiple regression analysis: case study of Western Digital (Thailand) Co., Ltd. is given. This project aims to analyze the factors affecting the screwdriver encoder, as the spoiler is tightened too loosely in the hard disk drive by the spoiler installation machine, measured using the screwdriver encoder. From the data collected, it is found that 4 factors plausibly affect the screwdriver encoder: torque, angle, time, and vacuum. Using multiple regression analysis gives a linear regression consisting of X_4^2 as the best result. From the ANOVA table, it is found that time has the biggest effect on the screwdriver encoder because it has a significant relationship with the dependent variable ($P\text{-Value} < 0.05$) and has the most F-Value. The results from finding suitable factors are: an angle of 3922.6 revolution (X_2) for the bit head rotation, a time of 2928 milliseconds (X_3) for tightening screw, and a vacuum value of 9.21889 MPa (X_4) for picking up screw from the screw trough.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการสหกิจศึกษาฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ เรื่องปัจจัยที่มีผลต่อค่าความห่างของสกรูในการยึดสปอยเลอร์ใน ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยวิธีการวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณ: กรณีศึกษา บริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด ซึ่งสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษาและบุคลากรหลายท่าน ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการสหกิจ ผู้ซึ่งชี้แนะแนวทาง ให้คำปรึกษา ดิชมและแก้ไขปัญหาระหว่างการปฏิบัติงานจนโครงการสหกิจศึกษาสามารถสำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณ นายภาณุวัตร รอดโณม ผู้จัดการฝ่ายออกแบบและพัฒนาการผลิตขั้นสูง ผู้ซึ่งให้ความรู้เกี่ยวกับการปฏิบัติงานจริงในบริษัท ให้ความรู้เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต และชี้แนะแนวทางในการปฏิบัติงาน

ขอขอบพระคุณพี่พนักงานทุกท่านในแผนกออกแบบและพัฒนาการผลิตขั้นสูง (Advanced Manufacturing Engineering: AME) และบริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้โอกาสในการเข้าไปศึกษาและเรียนรู้ ร่วมทำกิจกรรม และอำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาในการทำงาน

ท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การอบรม สั่งสอนและส่งเสริมการศึกษา และเพื่อนทุกคน ตลอดจนผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ ที่คอยช่วยเหลือสนับสนุนให้กำลังใจตลอดการทำโครงการสหกิจศึกษา และขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้วิชาความรู้แก่ผู้วิจัย ซึ่งมีส่วนช่วยให้โครงการสหกิจศึกษาฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นางสาวฮนุพ ไวยรูป

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VI
สารบัญตาราง.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.5 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC TOOLS).....	7
2.2 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis).....	9
2.2.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis).....	9
2.2.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis).....	10
2.3 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R^2)	11
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	12
2.4.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	12
2.4.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์การถดถอย.....	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การศึกษาสภาพปัจจุบัน.....	15
3.1 ศึกษาประวัติของบริษัทกรณีศึกษาโดยสังเขป.....	15
3.2 ศึกษาสภาพปัจจุบันและการทำงาน.....	16
3.3 กำหนดปัญหาของงานวิจัย.....	18
3.4 กำหนดปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder).....	19
3.5 รวบรวมข้อมูลและกรองข้อมูล.....	20
3.5.1 เริ่มต้นด้วยการแปลงไฟล์จาก Log File และ JSON File.....	20
3.5.2 การเก็บข้อมูลและกรองข้อมูล.....	21
บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสมการถดถอย.....	28
4.1 การกรองปัจจัยเบื้องต้น (One Factor at a Time).....	28
4.2 แนวคิดการออกแบบการทดสอบรูปแบบของสมการถดถอยพหุคูณและผลลัพธ์.....	30
4.3 ส่วนขยายของการกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสม เมื่อพิจารณาถึงค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation: MAD).....	43
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	47
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	47
5.2 ข้อจำกัดการดำเนินงาน.....	48
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	48
รายการอ้างอิง.....	49
ภาคผนวก.....	51

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แผนภูมิพาเรโตแสดงจำนวนครั้งที่เครื่องจักรเกิดการทำงานผิดพลาดของ วันที่ 5 สิงหาคม 2562 ถึงวันที่ 18 สิงหาคม 2562.....	2
รูปที่ 1.2 ผังงาน (Flowchart) ของแผนการดำเนินงานวิจัย.....	5
รูปที่ 2.1 กรอบแนวคิดในการวิเคราะห์การถดถอย.....	9
รูปที่ 3.1 สายการผลิตแบบอัตโนมัติที่ใช้ประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟของผลิตภัณฑ์ V.....	16
รูปที่ 3.2 ลักษณะและตำแหน่งของสปอยเลอร์ (Spoiler).....	17
รูปที่ 3.3 ลักษณะชิ้นงานกรณีการขันสกรูล้มเหลว (Screwdriving Fail) และสกรูสูงกวาระดับที่ กำหนด (Screw Too High).....	18
รูปที่ 3.4 ลักษณะชิ้นงานกรณีการขันสกรูล้มเหลว (Screwdriving Fail) และอุปกรณ์ขันสกรูพบ สิ่งกีดขวาง (Screwdriver Obstruction).....	18
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างหน้าต่างโปรแกรมเอกซ์เซล (Excel) ที่แปลงไฟล์มาจาก Log File.....	20
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างหน้าต่างโปรแกรมเอกซ์เซล (Excel) ที่แปลงไฟล์มาจาก JSON File.....	20
รูปที่ 3.7 แผนภูมิแท่ง (Histogram) ของค่าแรงบิด (Torque).....	26
รูปที่ 3.8 แผนภูมิแท่ง (Histogram) แสดงข้อมูลของค่ามุม (Angle).....	26
รูปที่ 3.9 แผนภูมิแท่ง (Histogram) แสดงข้อมูลของเวลา (Time).....	26
รูปที่ 3.10 แผนภูมิแท่ง (Histogram) แสดงข้อมูลของค่าสุญญากาศ (Vacuum).....	27
รูปที่ 3.11 แผนภูมิแท่ง (Histogram) แสดงข้อมูลของค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder).....	27
รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม.....	28
รูปที่ 4.2 รูปแบบที่ 1 สมการเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression).....	30
รูปที่ 4.3 รูปแบบที่ 2 สมการเชิงเส้นประกอบด้วยสองอันตรกิริยา (Linear Regression with two factor Interactions).....	31
รูปที่ 4.4 รูปแบบที่ 3 สมการเชิงเส้นประกอบด้วยสองและสามอันตรกิริยา (Linear Regression with two-and-three-factor Interactions).....	32
รูปที่ 4.5 รูปแบบที่ 4 สมการถดถอยพหุนามกำลังสอง (Quadratic Regression).....	33
รูปที่ 4.6 รูปแบบที่ 5 สมการถดถอยพหุนามกำลังสาม (Cubic Regression).....	34

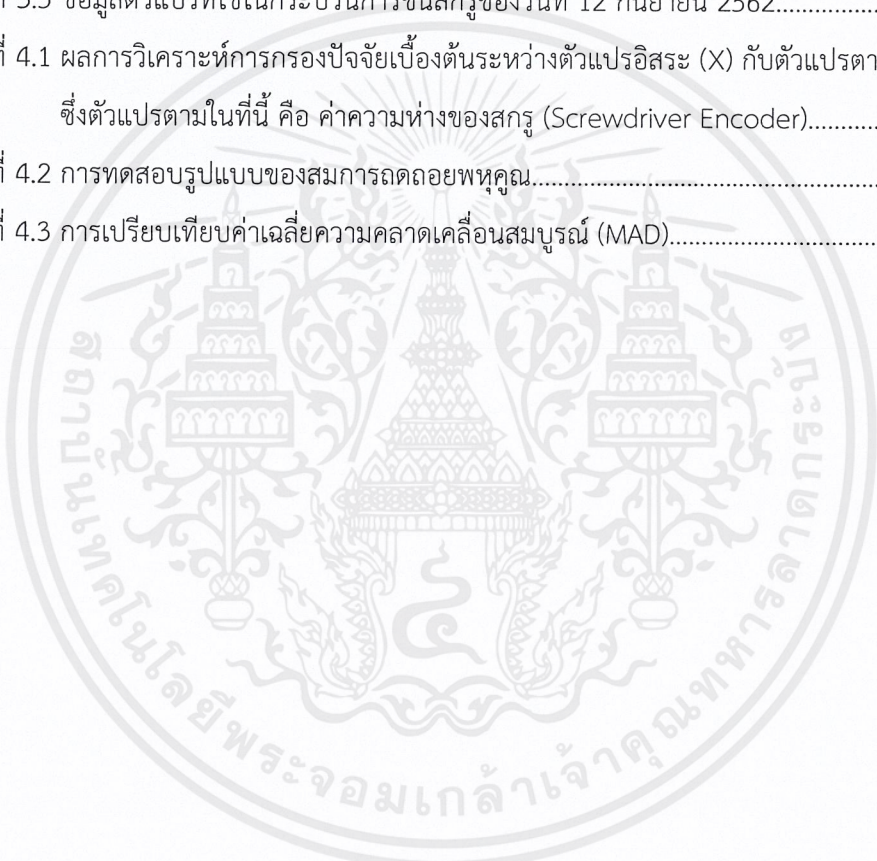
สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.7 รูปแบบที่ 6 สมการเชิงเส้นประกอบด้วยอันตรกิริยา X_2X_3 (Linear Regression with X_2X_3 Interaction).....	35
รูปที่ 4.8 รูปแบบที่ 7 สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_4^2 (Linear Regression with X_4^2).....	36
รูปที่ 4.9 รูปแบบที่ 8 สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_3^2 (Linear Regression with X_3^2).....	37
รูปที่ 4.10 รูปแบบที่ 9 สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_3^2 และ X_4^2 (Linear Regression with X_3^2 and X_4^2).....	38
รูปที่ 4.11 รูปแบบที่ 10 สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_3^2 and X_4^2 แต่ไม่มี X_3 (Linear Regression with X_3^2 and X_4^2 and without X_3).....	39
รูปที่ 4.12 การวิเคราะห์หาระดับปัจจัยที่เหมาะสม.....	45
รูปที่ ผ1 ค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder) ของวันที่ 8 กันยายน 2562.....	52
รูปที่ ผ2 ค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder) ของวันที่ 9 กันยายน 2562.....	53
รูปที่ ผ3 ค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder) ของวันที่ 10 กันยายน 2562.....	54
รูปที่ ผ4 ค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder) ของวันที่ 11 กันยายน 2562.....	55
รูปที่ ผ5 ค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder) ของวันที่ 12 กันยายน 2562.....	56
รูปที่ ผ6 สมการเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression).....	57
รูปที่ ผ7 สมการเชิงเส้นประกอบด้วยสองอันตรกิริยา (Linear Regression with two-factor Interactions).....	58
รูปที่ ผ8 สมการเชิงเส้นประกอบด้วยสองและสามอันตรกิริยา (Linear Regression with two-and-three-factor Interactions).....	59

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	6
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการขึ้นสกรูของวันที่ 8 กันยายน 2562.....	21
ตารางที่ 3.2 ข้อมูลตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการขึ้นสกรูของวันที่ 9 กันยายน 2562.....	22
ตารางที่ 3.3 ข้อมูลตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการขึ้นสกรูของวันที่ 10 กันยายน 2562.....	23
ตารางที่ 3.4 ข้อมูลตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการขึ้นสกรูของวันที่ 11 กันยายน 2562.....	24
ตารางที่ 3.5 ข้อมูลตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการขึ้นสกรูของวันที่ 12 กันยายน 2562.....	25
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์การกรองปัจจัยเบื้องต้นระหว่างตัวแปรอิสระ (X) กับตัวแปรตาม (Y) ซึ่งตัวแปรตามในที่นี้ คือ ค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder).....	29
ตารางที่ 4.2 การทดสอบรูปแบบของสมการถดถอยพหุคูณ.....	40
ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAD).....	44



บทที่ 1

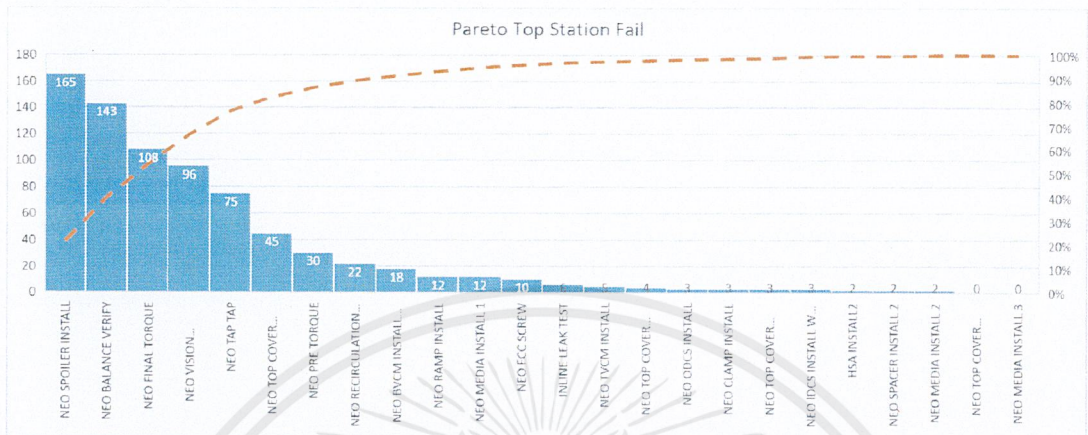
บทนำ

อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในประเทศ เป็นฐานการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขนาดใหญ่ ซึ่งถือเป็นอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพสูงในด้านการสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ประเทศและความสามารถในการแข่งขันในระดับนานาชาติ แต่จากสภาพอุตสาหกรรมในยุคปัจจุบัน ที่มีการแข่งขันสูงทั้งทางด้านราคาและคุณภาพ ประกอบกับต้นทุนต่างๆ ทั้งค่าขนส่ง ค่าสาธารณูปโภคและค่าแรงงานก็มีการปรับตัวสูงขึ้น ส่งผลกระทบให้ต้นทุนการดำเนินธุรกิจสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้องค์กรต้องมองหาหนทางในการลดต้นทุนการผลิต เพื่อเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันกับคู่แข่ง ดังนั้นการระมัดระวังเพื่อไม่ให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิต หรือควบคุมให้มีปริมาณน้อยที่สุด เพราะการเกิดของเสียทำให้เกิดการสูญเสียทั้งเวลา วัตถุดิบ แรงงานและเครื่องจักรในการนำกลับมาผ่านกระบวนการผลิตใหม่ (Rework) ดังนั้นการให้ความสำคัญกับแนวคิดเรื่องคุณภาพ โดยการควบคุมกระบวนการผลิตให้เกิดของเสียน้อยที่สุด จึงถือเป็นกลยุทธ์อย่างหนึ่งที่สามารถได้เปรียบในการแข่งขันกับองค์กรอื่นๆ รวมทั้งยังสร้างกำไรอันสูงสุดแก่องค์กรอีกด้วย

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

บริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด เป็นโรงงานอุตสาหกรรมผลิตอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลประเภทฮาร์ดดิสก์ มีส่วนประกอบหลัก คือ หัวสำหรับอ่านเขียนบันทึกข้อมูล (Slider Fabrication) ชุดหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Head Gimbal Assembly) ชุดประกอบหัวอ่านและเขียนสำเร็จรูป (Head Stack Assembly) และฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard Disk Drive) ปัจจุบันบริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด ได้พัฒนาสายการผลิตให้อยู่ในรูปแบบกระบวนการผลิตแบบประกอบอัตโนมัติเพื่อเพิ่มความสามารถในการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า ในด้านต้นทุน คุณภาพ และความรวดเร็วในการส่งมอบได้ทันตามความต้องการ จากปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการผลิต เช่น การออกแบบเครื่องจักร ประสิทธิภาพของวัตถุดิบที่นำมาใช้ การตั้งค่าตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการทำงานของเครื่องจักร อาจทำให้ชิ้นงานบางส่วนเกิดข้อบกพร่องจนไม่สามารถใช้งานได้ หรือส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลง จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นและหาสาเหตุหลักของปัญหาที่ส่งผลให้ชิ้นงานเกิดข้อบกพร่อง เพื่อไม่ให้ผลิตภัณฑ์ที่อาจมีปัญหาลงมือไปถึงลูกค้า

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเครื่องจักรในสายการผลิตแบบประกอบอัตโนมัติของผลิตภัณฑ์ V ตั้งแต่วันที่ 5 สิงหาคม 2562 ถึงวันที่ 18 สิงหาคม 2562 ทั้งหมด 14 วัน พบจำนวนครั้งที่เครื่องจักรเกิดการดำเนินงานที่ผิดพลาด ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แผนภูมิพาเรโตแสดงจำนวนครั้งที่เครื่องจักรเกิดการดำเนินงานผิดพลาด
ของวันที่ 5 สิงหาคม 2562 ถึงวันที่ 18 สิงหาคม 2562

หมายเหตุ เครื่องจักรทำงานผิดพลาด หมายถึง ของเสียเกิดขึ้น ซึ่งไม่สอดคล้องกับข้อกำหนด

จากรูปที่ 1.1 แผนภูมิพาเรโตแสดงจำนวนครั้งที่เครื่องจักรของสายการผลิตแบบประกอบอัตโนมัติเกิดการดำเนินงานผิดพลาด ซึ่งแกนแนวนอนแสดงชื่อเครื่องจักร แกนแนวตั้งแสดงจำนวนของเสียที่เกิดขึ้น จะเห็นได้ว่า เครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler Install) เกิดการดำเนินงานผิดพลาดมากที่สุด

เครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler Install) มีหน้าที่วางชิ้นส่วนสปอยเลอร์ (Spoiler) และขันสกรูเพื่อยึดชิ้นส่วนสปอยเลอร์ (Spoiler) ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ชิ้นส่วนสปอยเลอร์ (Spoiler) เป็นองค์ประกอบหนึ่งในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ของผลิตภัณฑ์ V มีหน้าที่ช่วยควบคุมกระแสลม โดยการลดความเร็วลมภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งปัญหาที่พบจากการดำเนินงานผิดพลาดของเครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler Install) มีทั้งหมด 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การวางชิ้นส่วนสปอยเลอร์ (Spoiler) ที่ผิดพลาด และส่วนที่ 2 การขันสกรูไม่แน่น บริษัทจึงมีความต้องการที่จะทราบสาเหตุหลักของปัญหาที่ทำให้เครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler Install) เกิดการดำเนินงานผิดพลาด หนึ่งปัญหาในส่วนที่ 1 คือ การวางชิ้นส่วนสปอยเลอร์ (Spoiler) มีทีมวิศวกรของบริษัทรับผิดชอบพัฒนาและปรับปรุงแก้ไขอยู่แล้ว ดังนั้น ทางบริษัทจึงได้มอบหมายให้ผู้วิจัยหาสาเหตุหลักของปัญหาในส่วนที่ 2 ที่ทำให้เครื่องจักรเกิดการดำเนินงานผิดพลาดในกระบวนการขันสกรู

ข้อความแห่งปัญหาของงานวิจัย คือ เครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler Install) ชั้นสกรูเพื่อยึดชิ้นส่วนสปอยเลอร์ (Spoiler) ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่แน่น ซึ่งสามารถวัดได้โดยการใช้ค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder) หรือค่าอุปกรณ์ป้อนกลับที่ใช้ตรวจจบบรรยากาศหรือตำแหน่งของสกรู

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาการทำงานของเครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler Install)
2. เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder)
3. เพื่อสร้างสมการถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression) ในการระบุความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยต่อค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder) และกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสม

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาประวัติ สภาพปัจจุบันและการทำงานของบริษัทกรณีศึกษา
2. ศึกษากระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ของผลิตภัณฑ์ V
3. ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler Install)
4. รวบรวมข้อมูลช่วงวันที่ 8 กันยายน 2562 ถึงวันที่ 12 กันยายน 2562 ซึ่งใน 1 วันมีจำนวนชิ้นงาน 1,000 กว่าชิ้น โดยผู้วิจัยสุ่มค่าวันละ 100 ชิ้น เป็นระยะเวลา 5 วัน รวมข้อมูลที่น่าไปวิเคราะห์ทั้งหมด 500 ข้อมูล
5. ปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการชั้นสกรูของเครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler Install) ได้แก่ ค่าแรงบิด (Torque), ค่ามุม (Angle), เวลา (Time), สูญญากาศ (Vacuum), ค่าตำแหน่งแกน Z (Screwdriver Z), ค่าระยะการเคลื่อนที่ของตัวเตะสปอยเลอร์ (Kicker Encoder) และค่าตำแหน่งแกน X (X axis) ซึ่งปัจจัยที่ผู้วิจัยสนใจ ได้แก่ ค่าแรงบิด (Torque), ค่ามุม (Angle), เวลา (Time) และค่าสูญญากาศ (Vacuum) เนื่องจากค่าตำแหน่งแกน Z (Screwdriver Z), ค่าระยะการเคลื่อนที่ของตัวเตะสปอยเลอร์ (Kicker Encoder) และค่าตำแหน่งแกน X (X axis) มีค่าของข้อมูลเป็นค่าคงที่
6. ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ใช้เกณฑ์ในการตัดสินใจที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\alpha = 0.05$)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

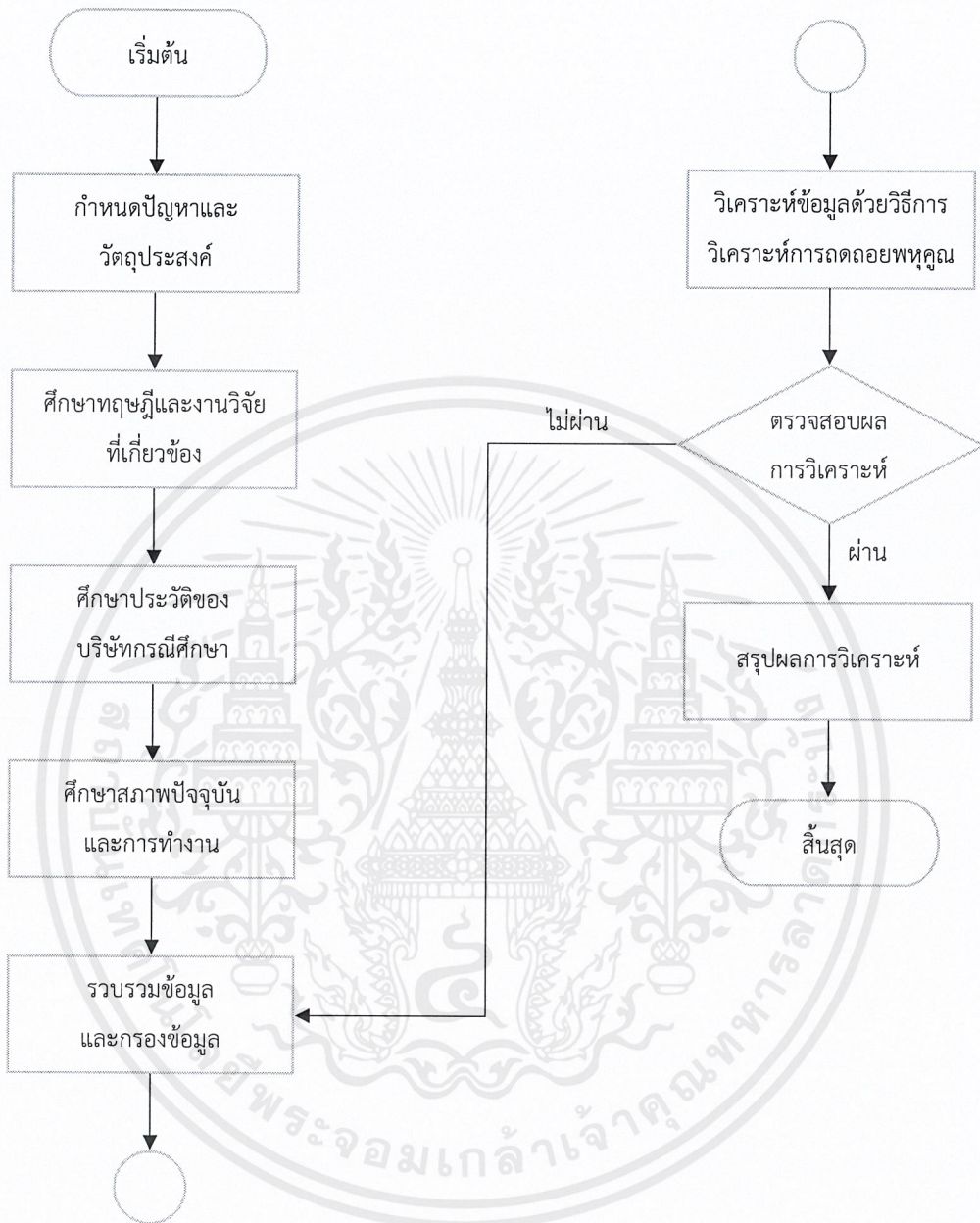
1. บริษัทกรณีศึกษาทราบปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder) ทราบความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยต่อค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder) และทราบระดับปัจจัยที่เหมาะสม
2. ผู้วิจัยได้รับประสบการณ์วิชาชีพตามสาขาวิชาที่เรียนเพิ่มเติมนอกเหนือไปจากการเรียนในห้องเรียน เกิดการเรียนรู้และพัฒนาตนเอง ฝึกการทำงานร่วมกับบุคลากรในระดับต่างๆ มีความรับผิดชอบและความมั่นใจในตนเองมากขึ้น ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่พึงประสงค์ของสถานประกอบการ
3. อุตสาหกรรมที่มีกระบวนการผลิตใช้เครื่องจักรในการขันสกรู สามารถนำข้อมูลของวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตได้

1.5 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย มีดังนี้

1. กำหนดปัญหาและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย
2. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
3. ศึกษาประวัติของบริษัทกรณีศึกษาโดยสังเขป
4. ศึกษาสภาพปัจจุบันและการทำงาน
5. รวบรวมข้อมูลและกรองข้อมูล
6. วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสมการถดถอยพหุคูณ
7. ผลการดำเนินงาน
8. สรุปผลการวิจัย

แผนการดำเนินงานวิจัย ดูได้จากรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 ผังงาน (Flowchart) ของแผนการดำเนินงานวิจัย

แผนการดำเนินงานสามารถดูได้ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

รายละเอียด	ปีที่	มิถุนายน				กรกฎาคม				สิงหาคม				กันยายน				ตุลาคม				พฤศจิกายน					
		สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 7	สัปดาห์ที่ 8	สัปดาห์ที่ 9	สัปดาห์ที่ 10	สัปดาห์ที่ 11	สัปดาห์ที่ 12	สัปดาห์ที่ 13	สัปดาห์ที่ 14	สัปดาห์ที่ 15	สัปดาห์ที่ 16	สัปดาห์ที่ 17	สัปดาห์ที่ 18	สัปดาห์ที่ 19	สัปดาห์ที่ 20	สัปดาห์ที่ 21	สัปดาห์ที่ 22	สัปดาห์ที่ 23	สัปดาห์ที่ 24		
กำหนดปัญหาและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1																										
ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2																										
ศึกษาประวัติของบริษัทรถจักรยานยนต์ไทย	3																										
ศึกษาสภาพปัจจุบันและการทำงาน	3																										
รวบรวมข้อมูลและกรองข้อมูล	3																										
วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสมการถดถอยพหุคูณ	4																										
ผลการดำเนินงาน	4																										
สรุปผลการวิจัย	5																										

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาสาเหตุหลักของปัญหาที่ทำให้เครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler Install) เกิดการทำงานผิดพลาดในกระบวนการขึ้นสกรู โดยการหาสาเหตุหลักของปัญหา มีทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC TOOLS)

2.2 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

2.3 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R^2)

2.1 เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC TOOLS)

เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด หรือ 7 QC TOOLS มีที่มาจากองค์กร Union of Japanese Scientists and Engineers ในประเทศญี่ปุ่นและกลุ่ม Quality Control Research Group เพื่อค้นคว้าและทำการศึกษาตลอดจนเผยแพร่ความรู้ความเข้าใจในเรื่องระบบการควบคุมคุณภาพให้กับอุตสาหกรรมภายในประเทศของญี่ปุ่น ในปี ค.ศ. 1950 และยังสามารถเปิดสัมมนาทางวิชาการด้านการควบคุมคุณภาพ โดยมีผู้เชี่ยวชาญระดับโลกอย่าง Dr. W.E. Deming เป็นผู้นำในโครงการ ซึ่งต่อมาก็ได้มีการตั้งรางวัล Deming Prize เพื่อมอบให้กับองค์กรอุตสาหกรรมหรือโรงงานที่มีการพัฒนาด้านคุณภาพดีเด่นของญี่ปุ่น ต่อมาในปี ค.ศ. 1954 ทางญี่ปุ่นได้เชิญ Dr. J.M. Juran มาทำการฝึกอบรมเกี่ยวกับหลักการควบคุมคุณภาพ ถือเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนา 7 QC TOOLS มาใช้อย่างแพร่หลาย 7 QC TOOLS เป็นการประยุกต์ใช้เครื่องมือกับศาสตร์ความรู้ในหลายๆด้านมาจัดการกับปัญหาแต่ละชนิด เพื่อช่วยในการศึกษาสภาพทั่วไป การค้นหา และวิเคราะห์สาเหตุที่แท้จริงของปัญหา เพื่อการแก้ไขได้ถูกต้อง (วันเฉลิม วรรณสถิตย์, 2559) มีดังนี้

1. แผ่นตรวจสอบ (Check Sheet) เป็นการบันทึกข้อมูลลงในแบบฟอร์มที่ออกแบบให้มีความเฉพาะเจาะจงต่องานนั้นๆ ไว้เรียบร้อยแล้ว เพื่อให้ง่ายต่อการกรอกข้อมูล และสะดวกในการอ่านค่าหรือใช้วิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป ใช้สำหรับการบันทึกหรือตรวจสอบเป็นส่วนใหญ่
2. ผังพาเรโต (Pareto Diagram) เป็นแผนภูมิแบบหนึ่งที่น่าสนใจเมื่อต้องการกำหนดสาเหตุที่สำคัญ (Critical Factor) และเพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัญหา ชื่อแผนภูมิมิที่มาจากชื่อของนักเศรษฐศาสตร์ชาวอิตาลีชื่อ Vilfredo Federico Damaso Pareto ซึ่งเป็นผู้คิดค้นหลักการนี้ แผนภูมิพาเรโตสามารถบอกได้ว่าสาเหตุใดมีปัญหามากที่สุด และสามารถมองเห็นอัตราส่วนของแต่ละหัวข้อว่าเป็นเท่าใดเทียบกับอัตราส่วนทั้งหมด
3. กราฟ (Graph) เป็นแผนภาพที่นำเสนอข้อมูลเป็นรูปภาพแทนคำบรรยาย หรือตาราง โดยเป้าหมายใช้สื่อสารให้ผู้ดูกราฟสามารถเข้าใจได้ง่ายและจดจำข้อมูลได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) เป็นแผนผังที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหากับสาเหตุทั้งหมดที่ก่อให้เกิดปัญหานั้น ผังก้างปลาจะใช้เมื่อต้องการทำการศึกษาค้นคว้าทำความเข้าใจสาเหตุของปัญหาอย่างมีระบบ โดยการแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ 1. ส่วนของปัญหา จะแสดงอยู่ที่หัวปลา 2. ส่วนของสาเหตุ จะแสดงอยู่ที่ก้างปลา และสามารถแยกย่อยได้อีกเป็นสาเหตุหลักและสาเหตุย่อย โดยส่วนมากจะใช้หลักการ 4M 1E เป็นสาเหตุหลักเพื่อนำไปสู่การหาสาเหตุย่อย ซึ่ง 4M 1E มาจาก

M Man	หมายถึง สาเหตุที่มาจากบุคลากรฝ่ายต่างๆ ภายในโรงงาน
M Machine	หมายถึง สาเหตุที่มาจากเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง
M Material	หมายถึง สาเหตุที่มาจากวัสดุหรือวัตถุดิบที่เกี่ยวข้อง
M Method	หมายถึง สาเหตุที่มาจากวิธีการหรือกระบวนการในการทำงาน
E Environment	หมายถึง สภาพในการทำงาน

5. ผังการกระจาย (Scatter Diagram) เป็นผังที่แสดงค่าของข้อมูลที่เกิดจากความสัมพันธ์ของตัวแปรสองตัว ว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางใด เพื่อที่จะใช้หาความสัมพันธ์ที่แท้จริงหรือแสดงให้เห็นว่าปัญหาที่เลือกขึ้นมา เกี่ยวข้องกันหรือไม่ หรือเกี่ยวข้องมากน้อยเพียงใด โดยข้อมูลที่นำมาเปรียบเทียบกันจะต้องมาจากแหล่งเดียวกันที่ให้ผลเป็น 2 ชุดข้อมูล เช่น นักเรียนกลุ่มเดียวกันให้ข้อมูลเป็นส่วนสูงกับน้ำหนัก เป็นต้น

6. แผนภูมิควบคุม (Control Chart) เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการควบคุมกระบวนการ ที่สามารถบอกได้ว่ากระบวนการที่ศึกษาอยู่ในความควบคุมหรือไม่ โดยการกำหนดขอบเขตที่ยอมรับได้ คือ ขอบเขตบนและขอบเขตล่าง เพื่อติดตามและตรวจจับข้อมูลที่ออกนอกขอบเขต

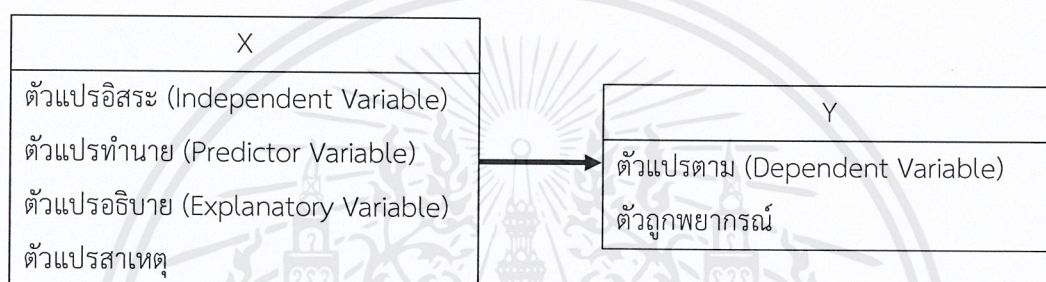
7. ฮิสโตแกรม (Histogram) เป็นแผนภูมิแท่งที่บอกถึงความถี่ที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นความถี่นั้นๆ โดยแต่ละแท่งจะวางเรียงติดกัน แกนนอนจะกำกับด้วยค่าสูงสุดและต่ำสุดของชั้นนั้น ใช้สำหรับดูความแปรปรวนของกระบวนการ เมื่อต้องการตรวจสอบความผิดปกติ ติดตามการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการในระยะยาว เปรียบเทียบข้อมูลกับเกณฑ์ที่กำหนดและหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา

2.2 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) (สุทิน ชนะบุญ, 2560)

การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป โดยแบ่งเป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable, X) และตัวแปรตาม (Dependent Variable, Y) ตัวแปรอิสระ มักเรียกว่า ตัวแปรพยากรณ์หรือตัวแปรทำนาย (Predicted Variable) ส่วนตัวแปรตาม มักเรียกว่า ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) ดังรูปที่ 2.1

วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์การถดถอย

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม
2. เพื่อศึกษาปัจจัย (ตัวแปรอิสระ) ที่ร่วมกันพยากรณ์ตัวแปรตาม



รูปที่ 2.1 กรอบแนวคิดในการวิเคราะห์การถดถอย

2.2.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เป็นต้นเหตุ (ตัวแปรอิสระ) หนึ่งตัวกับตัวแปรที่เป็นผล (ตัวแปรตาม) หนึ่งตัว นอกจากนี้จะทราบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองแล้ว ยังสามารถนำค่าของตัวแปรต้นเหตุไปพยากรณ์ตัวแปรที่เป็นผลได้ พร้อมบอกขนาดของความสามารถในการทำนายหรือความสามารถในการอธิบายตัวแปรผล ว่ามีมากน้อยเพียงใด

โดยเขียนความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการได้ ดังนี้

สมการในรูปของประชากร $Y = \alpha + \beta X + \epsilon$

สมการในรูปขอตัวอย่าง $Y = a + bx + e$

สมการทำนายผล (สมการพยากรณ์) $\hat{y} = a + bx$

สัญลักษณ์ที่ใช้มีความหมาย ดังนี้

Y คือ ค่าของตัวแปรตาม (จะใช้สัญลักษณ์ y สำหรับค่าที่ได้จากตัวอย่าง และใช้ค่า \hat{y} สำหรับค่าประมาณหรือตัวทำนาย)

X คือ ค่าของตัวแปรอิสระ (จะใช้สัญลักษณ์ x สำหรับค่าที่ได้จากตัวอย่าง และสำหรับค่าประมาณ)

α คือ ค่าคงที่ (Constant) ของสมการถดถอย (จะใช้สัญลักษณ์ a สำหรับค่าที่ได้จากตัวอย่าง และสำหรับค่าประมาณหรือตัวทำนาย) โดยที่ α หรือ a จะเป็นจุดตัด (Intercept) แกน y ของสมการ

β คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient) ของตัวแปรอิสระ X (จะใช้สัญลักษณ์ b สำหรับค่าที่ได้จากตัวอย่าง และสำหรับค่าประมาณหรือตัวทำนาย) โดยที่ค่า β หรือ b จะแสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า x ต่อค่า y ดังนี้ คือ ถ้าค่า x เปลี่ยนไป 1 หน่วย จะทำให้ค่า y เปลี่ยนไป b หน่วย

ϵ คือ ค่าความคลาดเคลื่อน (Error or Residual) ระหว่างค่า Y และค่า y hat (จะใช้สัญลักษณ์ e สำหรับค่าที่ได้จากตัวอย่าง)

2.2.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Linear Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหลายตัวกับตัวแปรตามหนึ่งตัว เพื่อศึกษาว่ามีตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่ร่วมกันทำนายหรือพยากรณ์หรืออธิบายการผันแปรของตัวแปรตามได้

โดยเขียนความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการได้ ดังนี้

สมการในรูปของประชากร $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \epsilon$

สมการในรูปของตัวอย่าง $y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k + e$

สมการทำนายผล (สมการพยากรณ์) $\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k$

สัญลักษณ์ที่ใช้มีความหมาย ดังนี้

X_i คือ ค่าของตัวแปรอิสระแต่ละตัว (จะใช้สัญลักษณ์ x_i สำหรับค่าที่ได้จากตัวอย่าง และสำหรับค่าประมาณหรือตัวทำนาย)

Y คือ ค่าของตัวแปรตาม (จะใช้สัญลักษณ์ y สำหรับค่าที่ได้จากตัวอย่าง และใช้ค่า y hat สำหรับค่าประมาณหรือตัวทำนาย)

k คือ จำนวนตัวแปรอิสระในสมการถดถอย

β_0 คือ ค่าคงที่ (Constant) ของสมการถดถอย (จะใช้สัญลักษณ์ b_0 สำหรับค่าที่ได้จากตัวอย่าง และสำหรับค่าประมาณหรือตัวทำนาย) โดยที่ β_0 หรือ b_0 จะเป็นจุดตัด (Intercept) แกน y ของสมการ

β_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient) ของตัวแปรอิสระ X_i แต่ละตัว (จะใช้สัญลักษณ์ b_i สำหรับค่าที่ได้จากตัวอย่าง และสำหรับค่าประมาณหรือตัวทำนาย) โดยที่ค่า β_i หรือ b_i จะแสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า x_i ต่อค่า y ดังนี้ คือ ถ้าค่า x_i เปลี่ยนไป 1 หน่วย จะทำให้ค่า y เปลี่ยนไป b_i หน่วย

ϵ คือ ค่าความคลาดเคลื่อน (Error or Residual) ระหว่างค่า Y และค่า \hat{y} (จะใช้สัญลักษณ์ e สำหรับค่าที่ได้จากตัวอย่าง)

2.3 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R^2) (ปรีโย ไทยแท้, 2554)

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R^2) เป็นค่าที่ใช้ในการอธิบายว่า ตัวแปรอิสระ (X) มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม (Y) มากน้อยเพียงใด หรืออธิบายว่า สมการถดถอยที่ใช้ประมาณค่า มีความสามารถอธิบายความแปรปรวน (Variation) ของตัวแปรตามได้มากน้อยเพียงใด โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจจะมีค่าระหว่าง $0 \leq R^2 \leq 1$

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสามารถหาได้จากสมการ

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} \text{ หรือ } R^2 = \frac{\beta_1^2 \sum_{i=1}^n X_i^2}{\sum_{i=1}^n Y_i^2}$$

เมื่อ

$$\beta_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2}$$

จะได้สมการดังนี้

$$R^2 = \left[\frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n X_i - (\sum_{i=1}^n X_i)]^2 \times [n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2]}} \right]^2$$

โดยที่ $R^2 = 1.00$ หมายความว่า 100% ของความแปรปรวนทั้งหมดของตัวแปรตาม สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระ สมการถดถอยที่ใช้ประมาณค่ามีความสามารถอธิบายความแปรปรวน (Variation) ของตัวแปรตามได้

$R^2 = 0.00$ หมายความว่า ความแปรปรวนทั้งหมดของตัวแปรตามไม่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระ สมการถดถอยที่ใช้ประมาณค่าไม่มีความสามารถอธิบายความแปรปรวน (Variation) ของตัวแปรตามได้

$R^2 = 0.90$ หมายความว่า ความแปรปรวนทั้งหมดของตัวแปรตาม สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแปรอิสระ 90% ส่วนที่เหลืออีก 10% มาจากความคลาดเคลื่อน (Error)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

สุพิชชา ฤทธิไพโร และทีมงาน (2560) ติดตั้งอุปกรณ์ลดความเร็วที่ปะทะบริเวณหัวอ่านเขียน (Head Gimbals Assembly) ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard Disk Drive) ที่เรียกว่า สปอยเลอร์ (Spoiler) โดยการเติมก๊าซฮีเลียมเข้าไปในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เพื่อลดแรงปะทะระหว่างอุปกรณ์ภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ผลการจำลองสปอยเลอร์ที่มีความกว้าง 25 มิลลิเมตรและมีความยาว 30 มิลลิเมตร สามารถลดการกระจายความเร็วของก๊าซฮีเลียมบริเวณหลังสปอยเลอร์ได้ดีที่สุด และเมื่อลดการไหลที่ปะทะบริเวณแขนหัวอ่านเขียนได้ ส่งผลให้การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นที่หัวอ่านเขียนลดลง

พริมพ์ธีรา พิมพานนท์ (2557) นำเสนอการบูรณาการหลักการวิศวกรรมคุณค่า (Value Engineering) และซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma) ในการลดต้นทุนของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการติดตั้งหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ภายใต้กรอบแนวคิด แผนงานวิศวกรรมคุณค่าและหลักการ DMAIC โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนในการผลิต ผลจากการศึกษาคาดว่าในปี พ.ศ 2558 จะสามารถลดต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อมของหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้คิดเป็นมูลค่าคิดเป็นมูลค่า 615,490 เหรียญสหรัฐ หรือคิดเป็นร้อยละ 53

จารุพล สุริยวนากุลและเกียรติฟ้า ตั้งใจจิต (2556) ศึกษาผลกระทบของความเร็วลมจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสปอยเลอร์ที่มีขนาดต่างกัน โดยใช้วิธีทางพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ และโมเดลความปั่นป่วนแบบ k-ε พบว่าเมื่อความหนาของสปอยเลอร์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ช่วยลดความเร็วลมเฉลี่ยที่บริเวณด้านนอกและเมื่อความกว้างในแนวรัศมีของสปอยเลอร์เพิ่มขึ้น จะทำให้ความเร็วลมเฉลี่ยในบริเวณที่สปอยเลอร์ยื่นเข้าไปลดต่ำลง แต่ในส่วนของบริเวณด้านใน พบว่าการเพิ่มความหนาและความกว้างทำให้เป็นการเบี่ยงเบนลมเข้าสู่ด้านในของแกนหมุนแผ่นดิสก์ ทำให้ความเร็วลมเฉลี่ยบริเวณดังกล่าวเพิ่มสูงขึ้น โดยสปอยเลอร์ที่มีความกว้าง 21.5 มิลลิเมตร และความหนา 1 มิลลิเมตร สามารถลดความเร็วลมเฉลี่ยภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้ถึง 59.39%

กันตา สุวรรณฤทธิ์ (2553) ประยุกต์ใช้แนวทางลีน ซิกซ์ ซิกมา ในการพัฒนาวิธีการปรับปรุงคุณภาพเพื่อลดของเสียและได้ประยุกต์ใช้ระบบคัมบังและแนวคิด ECRS เพื่อลดกิจกรรมที่ส่งผลให้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อยู่ในกระบวนการผลิตนาน ผลที่ได้จากการปรับปรุงของเสียในกระบวนการเขียนสัญญาณ พบว่า สามารถลดจำนวนของเสียลงได้ 39,346 DPPM และส่งผลให้ DPPM ของของเสียรวมบนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ลดลง 45,420 DPPM

อัครวัฒน์ ไคนุ่นสิงห์ (2551) เพิ่มอัตราผลผลิตของสายการประกอบชุดหัวอ่านเขียน สำเร็จ ในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยใช้แผนผังแห่งคุณค่า (Current Value Stream map) แสดงภาพรวม ของกระบวนการผลิตและทำการเปรียบเทียบขั้นตอนการทำงานในสายการผลิตว่าเป็นความสูญเปล่า ประเภทใด ได้แก่ การผลิตมากเกินไป การรอคอย การผลิตของเสีย การเคลื่อนไหว การขนส่ง กระบวนการส่วนเกินและสินค้าคงคลัง พร้อมทั้งหาขั้นตอนและใช้แนวคิดการผลิตแบบลีน เครื่องมือ คุณภาพ เป็นเครื่องมือช่วยในการลดความสูญเปล่าที่พบในสายการผลิต จากการดำเนินการปรับปรุง พบว่า อัตราผลผลิตด้านแรงงานเพิ่มขึ้น จาก 12.7 เป็น 14.7 ขึ้นต่อชั่วโมงแรงงาน คิดเป็นร้อยละ 18.23 ของก่อนการปรับปรุง

2.4.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์การถดถอย

อมร กลัดคร้าม (2560) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณความเสียหายของมิเตอร์ไฟฟ้า เพื่อนำไปใช้ปรับปรุงวิธีการดำเนินการแก้ไขปัญหา ในการวิเคราะห์ข้อมูลผู้วิจัยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติเชิงอนุมาน ใช้การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณความเสียหายของ มิเตอร์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นที่สุด คือ ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ และปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณความเสียหายของ มิเตอร์ไฟฟ้าลดลงที่สุด คือ อุณหภูมิอากาศ

สุชญา ชูพูล (2560) ศึกษาความแตกต่างของผลการดำเนินงานและความเสี่ยงของกิจการ ในช่วงเหตุการณ์ทางการเมืองปีพ.ศ. 2556 – 2557 ทำการศึกษาโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน และการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ จากการศึกษาพบว่า เหตุการณ์ทางการเมืองที่เกิดขึ้นในช่วงพ.ศ. 2556 – 2557 ทำให้ผลการดำเนินงานของกิจการลดลง แต่ก็ทำให้ความเสี่ยงของกิจการลดลงเช่นกัน

ธารรัตน์ ชาญสูงเนิน (2557) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความตรงของชิ้นงานกับอัตราส่วน แรงตัดที่เกิดขึ้นในกระบวนการกลึงซีเอ็นซี การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณถูกนำมาใช้ในการ คำนวณหาสัมประสิทธิ์การถดถอยพหุคูณของแบบจำลองที่ใช้ในการพยากรณ์ความตรงของชิ้นงาน ในขณะตัด ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของ แบบจำลองโดยการยืนยันผลการทดลองที่เงื่อนไขการตัดใหม่ พบว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถ พยากรณ์ค่าความตรงได้อย่างแม่นยำภายใน $\pm 10\%$ ของค่าความตรงที่วัดได้ โดยค่าความแม่นยำของ การทำนายความตรงของชิ้นงานเท่ากับ 91.85 %

กรณีการ จะกอ (2554) ศึกษาปัจจัยทางเศรษฐกิจที่มีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงปริมาณเงินฝากของธนาคารพาณิชย์ที่จดทะเบียนในตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย และเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางเศรษฐกิจกับปริมาณเงินฝาก สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการถดถอยเชิงซ้อนเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายใน ผลการศึกษาพบว่า ดัชนีราคาผู้บริโภค อัตราดอกเบี้ย อัตราเงินเฟ้อและค่าเงินบาทมีความสัมพันธ์กับปริมาณเงินฝากของธนาคารอย่างมีนัยสำคัญ

พงศ์ศักดิ์ คงทรัพย์ (2552) ได้ศึกษาและเปรียบเทียบข้อมูลพื้นฐานทั่วไปกับการเลือกผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต ADSL และเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ การถดถอยพหุคูณ รวมทั้งการวิเคราะห์เส้นทางของตัวแปรที่ส่งผลต่อกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่าตัวแปรที่มีผลกระทบทางตรงสูงสุด ได้แก่ ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์และการให้บริการและตัวแปรที่มีผลกระทบทางอ้อมสูงสุด ได้แก่ ปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์และการให้บริการ



บทที่ 3

การศึกษาสภาพปัจจุบัน

การหาสาเหตุหลักของปัญหาที่ทำให้เครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler Install) เกิดการทำงานผิดพลาดในกระบวนการขึ้นสกรู กรณีศึกษา บริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด มีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

- 3.1 ศึกษาประวัติของบริษัทกรณีศึกษาโดยสังเขป
- 3.2 ศึกษาสภาพปัจจุบันและการทำงาน
- 3.3 กำหนดปัญหาของงานวิจัย
- 3.4 กำหนดปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder)
- 3.5 รวบรวมข้อมูลและกรองข้อมูล

วิธีการดำเนินงานวิจัยเริ่มจากการศึกษากระบวนการทำงานของเครื่องจักรและประเมินสภาพปัญหาในปัจจุบัน รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการขึ้นสกรูเพื่อนำมาวิเคราะห์หาสาเหตุหลักของปัญหา

3.1 ศึกษาประวัติของบริษัทกรณีศึกษาโดยสังเขป

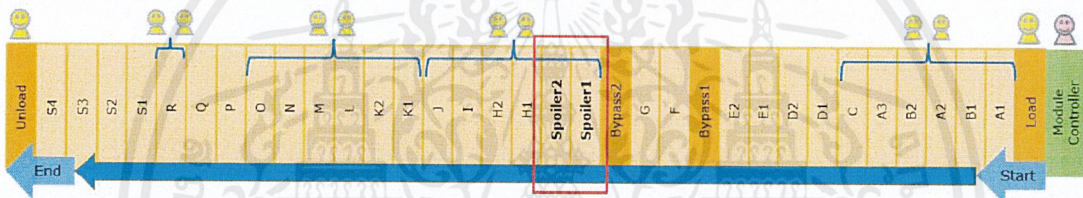
ผู้วิจัยได้เข้าไปศึกษาที่บริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด นิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยศึกษาเครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler Install) (ชิ้นส่วนสปอยเลอร์ (Spoiler) เป็นองค์ประกอบหนึ่งในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ของผลิตภัณฑ์ V มีหน้าที่ช่วยควบคุมกระแสลม โดยการลดความเร็วลมภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์) โดยศึกษาเฉพาะปัญหาที่ทำให้เครื่องจักรเกิดการทำงานผิดพลาดในกระบวนการขึ้นสกรู โดยเครื่องจักรนี้ เป็น 1 ใน 3 อันดับ ของเครื่องจักรที่เป็นสาเหตุให้ผลผลิตของผลิตภัณฑ์ V ลดลง

บริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด เป็นหนึ่งในผู้ผลิต ผู้นำการออกแบบ และจำหน่ายฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีประสิทธิภาพที่ดีอีกทั้งยังมีคุณภาพสูง ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เก็บบันทึกข้อมูลระบบดิจิทัล บริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล คอร์ปอเรชั่น ในปี 2524 ได้เริ่มทำธุรกิจเกี่ยวกับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยการออกแบบและผลิตรวมจวบจนการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จากนั้นได้เข้าสู่การออกแบบและผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อย่างต่อเนื่องเมื่อปี 2531 บริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล ในประเทศไทยได้เริ่มเปิดดำเนินการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เมื่อปี 2545 ที่นิคมอุตสาหกรรมนวนคร จังหวัดปทุมธานี และเมื่อกลางปี 2546 ได้เปิดโรงงานขึ้นที่นิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ปัจจุบันฐานการผลิตที่นิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน เป็นฐานการผลิตหัวอ่านเขียนที่ใหญ่ที่สุดของ เวสเทิร์น ดิจิตอล โดยมีสำนักงานใหญ่อยู่ที่รัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีฐานการผลิตหลักอยู่ที่ประเทศไทย โดยมีโรงงานสำหรับผลิตชิ้นส่วนและประกอบ การผลิตเน้นใช้ระบบคอมพิวเตอร์ในการควบคุมเป็นแบบอัตโนมัติควบคุมในการผลิต ผลิตภัณฑ์ของฐานการผลิตที่นิคมอุตสาหกรรม

บางปะอิน คือ ชิ้นส่วนหัวอ่าน - เขียน (Slider Fabrication – SF), หัวสำหรับอัดหัวอ่าน (Head Gimble Assembly – HGA), ชุดประกอบหัวอ่าน - เขียนสำเร็จ (Head Stack Assembly – HSA) และฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard Disk Drive – HDD)

3.2 ศึกษาสภาพปัจจุบันและการทำงาน

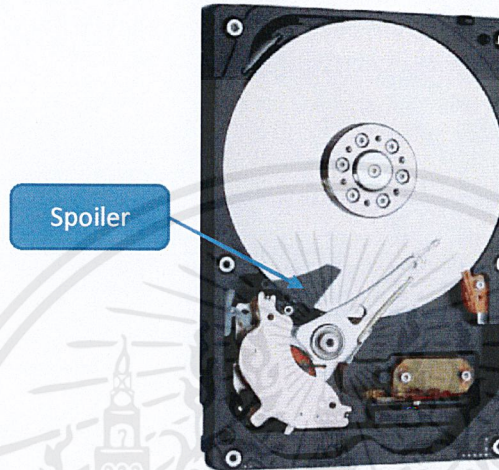
บริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด นิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน ได้สร้างสายการผลิตแบบอัตโนมัติที่ใช้ประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ของผลิตภัณฑ์ V โดยมีสถานีงานทั้งหมด 32 สถานีงาน แบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การประกอบแผ่นดิสก์พร้อมทั้งทดสอบการทำงานของแผ่นดิสก์ ส่วนที่ 2 การประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ซึ่งเครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler Install) ที่ผู้วิจัยสนใจอยู่ในส่วนนี้ และส่วนที่ 3 การประกอบฝาปิดฮาร์ดดิสก์ อีกทั้งยังมีพนักงานทำหน้าที่ป้อนชิ้นส่วนที่ใช้ในการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จำนวน 11 คน ดังรูปแสดงสายการผลิตแบบอัตโนมัติที่ใช้ประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ของผลิตภัณฑ์ V ในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 สายการผลิตแบบอัตโนมัติที่ใช้ประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ของผลิตภัณฑ์ V

แผนกที่เข้ามาทำการศึกษา คือ แผนกออกแบบและพัฒนาการผลิตขั้นสูง (Advanced Manufacturing Engineering: AME) เป็นแผนกที่ทำหน้าที่ในการดูแลและพัฒนาเครื่องจักรภายในสายผลิตทั้งหมดเพื่อให้ตรงตามเป้าหมายของผลิตภัณฑ์ในสายการผลิตปัจจุบันและพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอนาคตให้ตรงตามเป้าหมายได้ เช่น เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนหัวอ่าน - เขียน (Slider Fabrication - SF), ชุดประกอบหัวอ่าน - เขียนสำเร็จ (Head Stack Assembly - HSA) และเครื่องจักรในสายการผลิตแบบอัตโนมัติที่ใช้ประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard Disk Drive - HDD)

ผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ของบริษัทกรณีสึกขามี 2 ขนาด คือ 2.5 นิ้วและ 3.5 นิ้ว ซึ่งฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ของผลิตภัณฑ์ V มีขนาด 3.5 นิ้ว โดยงานวิจัยนี้สนใจส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ V คือ สปอยเลอร์ (Spoiler) มีหน้าที่ช่วยควบคุมกระแสลม โดยการลดความเร็วลมภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ แสดงดังรูปที่ 3.2 เหตุผลที่สนใจสปอยเลอร์ (Spoiler) เนื่องจากเครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler Install) มีปัญหาที่ทำให้เครื่องจักรเกิดการดำเนินงานผิดพลาดในกระบวนการขันสกรู



รูปที่ 3.2 ลักษณะและตำแหน่งของสปอยเลอร์ (Spoiler)

เครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler Install) มีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

1. แขนหุ่นยนต์ (End Effector (1)) หยิบสปอยเลอร์ (Spoiler) จากถาด (Tray) และนำสปอยเลอร์ (Spoiler) ไปวางที่ตัวส่ง (Presenter)
2. ตัวส่ง (Presenter) เคลื่อนที่ในแนวแกน y เพื่อนำสปอยเลอร์ (Spoiler) ไปตำแหน่งที่แขนหุ่นยนต์ (End Effector (2)) จะมาหยิบสปอยเลอร์ (Spoiler)
3. แขนหุ่นยนต์ (End Effector (2)) หยิบสปอยเลอร์ (Spoiler) จากตัวส่ง (Presenter) และนำสปอยเลอร์ (Spoiler) ไปวางในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
4. แขนหุ่นยนต์ (Screwdriver End Effector (3)) หยิบสกรูจากรางสกรูและทำการขันสกรูเพื่อให้สปอยเลอร์ (Spoiler) ยึดกับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

3.3 กำหนดปัญหาของงานวิจัย

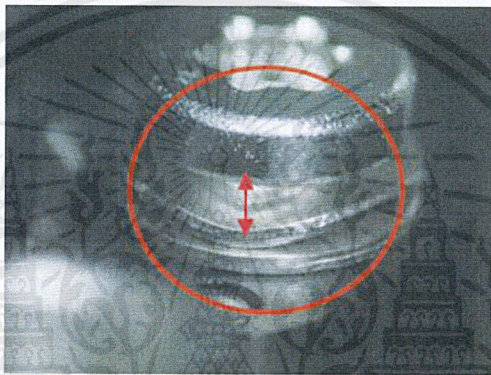
จากการศึกษากระบวนการผลิตของสายการผลิตแบบอัตโนมัติที่ใช้ประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ผู้วิจัยพบว่าเครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler Install) มีปัญหาที่ทำให้เครื่องจักรเกิดการทำงานผิดพลาดในกระบวนการขันสกรู

ลักษณะของชิ้นงานที่เกิดจากการทำงานผิดพลาดในกระบวนการขันสกรู มีดังนี้

1. การขันสกรูล้มเหลว (Screwdriving Fail)

และสกรูสูงกว่าระดับที่กำหนด (Screw Too High)

เกิดจากเครื่องจักรในส่วนของแขนหุ่นยนต์ที่ใช้ในการขันสกรู (Screwdriver End Effector) ขันสกรูไม่แน่น



รูปที่ 3.3 ลักษณะชิ้นงานกรณีการขันสกรูล้มเหลว (Screwdriving Fail) และสกรูสูงกว่าระดับที่กำหนด (Screw Too High)

2. การขันสกรูล้มเหลว (Screwdriving Fail)

และอุปกรณ์ขันสกรูพบสิ่งกีดขวาง (Screwdriver Obstruction)

เกิดจากเครื่องจักรในส่วนของแขนหุ่นยนต์ที่ใช้ในการขันสกรู (Screwdriver End Effector) ขันสกรูไม่ได้เนื่องจากพบสิ่งกีดขวางหรือหนีบสกรูจากรางสกรูไม่ได้ จึงทำให้เครื่องจักรขันสกรูไม่ได้



รูปที่ 3.4 ลักษณะชิ้นงานกรณีการขันสกรูล้มเหลว (Screwdriving Fail) และอุปกรณ์ขันสกรูพบสิ่งกีดขวาง (Screwdriver Obstruction)

ข้อความแห่งปัญหาของงานวิจัย คือ เครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler Install) ขึ้นสกรูเพื่อยึดชิ้นส่วนสปอยเลอร์ (Spoiler) ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่แน่น ซึ่งสามารถวัดได้โดยการใช้ค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder) หรือค่าอุปกรณ์ป้อนกลับที่ใช้ตรวจจับระยะหรือตำแหน่งของสกรู

3.4 กำหนดปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder)

ตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการขึ้นสกรูของเครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler Install) มีดังนี้

ตัวแปรตาม

ค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder) ค่าอุปกรณ์ป้อนกลับที่ใช้ตรวจจับระยะหรือตำแหน่งของสกรู โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1 ± 0.50 มิลลิเมตร (mm)

ตัวแปรอิสระ

1. ค่าแรงบิด (Torque) ค่าแรงบิดที่ใช้ขันสกรู โดยมีค่าอยู่ในช่วง ≤ 1.50 ปอนด์ (lbs)
2. ค่ามุม (Angle) ค่ามุมที่หมุนไปของหัวบิท (Bit) ที่ใช้ขันสกรู โดยไม่มีช่วงของค่าที่กำหนด
3. เวลา (Time) เวลาที่ใช้ในกระบวนการขึ้นสกรู โดยเริ่มจับเวลาตั้งแต่หัวบิท (Bit) หมุนจนกระทั่งหัวบิท (Bit) ขึ้นสกรูสำเร็จ โดยมีค่าอยู่ในช่วง $\leq 4,000$ มิลลิวินาที (ms)
4. ค่าสุญญากาศ (Vacuum) ค่าสุญญากาศที่ใช้หีบสกรูจากรางสกรู โดยมีค่าอยู่ในช่วง 8.4 ถึง 9.7 เมกะปาสคาล (MPa)
5. ค่าตำแหน่งแกน Z (Screwdriver Z) ค่าตำแหน่งแกน Z ของแขนหุ่นยนต์ที่ใช้ในการขึ้นสกรู (Screwdriver End Effector) โดยมีค่าเท่ากับ 240.93 มิลลิเมตร (mm)
6. ค่าระยะการเคลื่อนที่ของตัวเตะสปอยเลอร์ (Kicker Encoder) ค่าอุปกรณ์ป้อนกลับที่วัดระยะการเคลื่อนที่ของตัวเตะที่ใช้เตะชิ้นส่วนสปอยเลอร์ (Spoiler) ให้อยู่ในตำแหน่งที่กำหนดก่อนการขึ้นสกรู โดยมีค่าเท่ากับ 214748.359 มิลลิเมตร (mm)
7. ค่าตำแหน่งแกน X (X axis) ค่าตำแหน่งแกน X ของแขนหุ่นยนต์ที่ใช้ในการขึ้นสกรู (Screwdriver End Effector) โดยมีค่าเท่ากับ 65.89 มิลลิเมตร (mm)

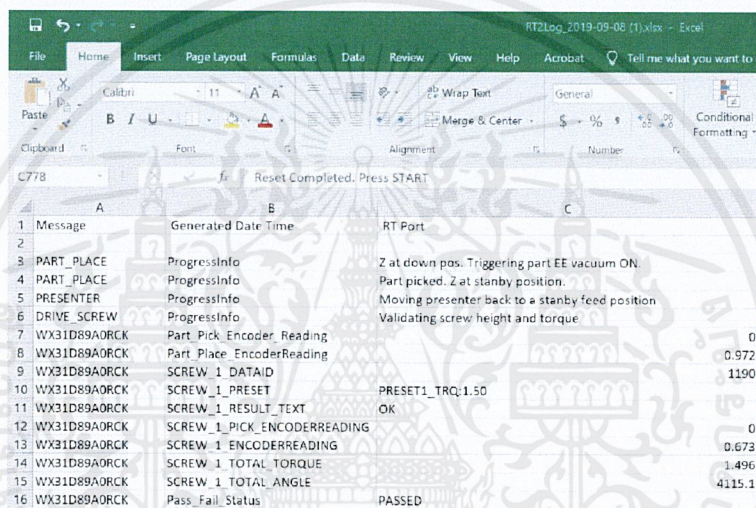
ซึ่งวิจัยนี้ผู้วิจัยสนใจตัวแปรที่ 1 ถึงตัวแปรที่ 4 ได้แก่ ค่าแรงบิด (Torque), ค่ามุม (Angle), เวลา (Time) และค่าสุญญากาศ (Vacuum) เนื่องจากตัวแปรที่ 5 ถึงตัวแปรที่ 7 มีค่าของข้อมูลเป็นค่าคงที่ จึงไม่นำปัจจัยดังกล่าวมาศึกษา

3.5 รวบรวมข้อมูลและกรองข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและกรองข้อมูล โดยมีขั้นตอน ดังนี้

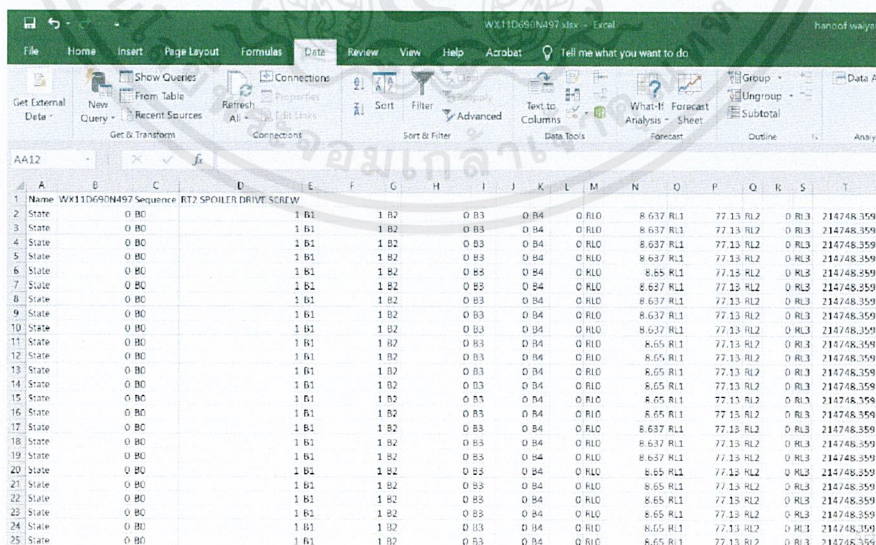
3.5.1 เริ่มต้นด้วยการแปลงไฟล์จาก Log File และ JSON File

ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปรของเครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler Install) ที่ใช้ในกระบวนการขึ้นสกรูจาก Log File และ JSON File โดยแปลงไฟล์ดังกล่าวมาเป็นไฟล์เอกซ์เซล (Excel) เพื่อทำการวิเคราะห์หาสาเหตุหลักของปัญหาที่ทำให้เครื่องจักรเกิดการทำงานผิดพลาดในกระบวนการขึ้นสกรู ตัวอย่างหน้าต่างโปรแกรมเอกซ์เซล (Excel) ที่แปลงไฟล์มาจาก Log File ดังแสดงในรูปที่ 3.6 และตัวอย่างหน้าต่างโปรแกรมเอกซ์เซล (Excel) ที่แปลงไฟล์จาก JSON File ดังแสดงในรูปที่ 3.7



Message	Generated Date Time	RT Port
PART_PLACE	ProgressInfo	Z at down pos. Triggering part EE vacuum ON
PART_PLACE	ProgressInfo	Part picked. Z at standby position.
PRESENTER	ProgressInfo	Moving presenter back to a standby feed position
DRIVE_SCREW	ProgressInfo	Validating screw height and torque
WX31D89AORCK	Part_Pick_Encoder_Reading	
WX31D89AORCK	Part_Place_EncoderReading	0
WX31D89AORCK	SCREW_1_DATAID	0.972
WX31D89AORCK	SCREW_1_PRESET	1190
WX31D89AORCK	SCREW_1_RESULT_TEXT	PRESET1_TRQ:1.50 OK
WX31D89AORCK	SCREW_1_PICK_ENCODERREADING	
WX31D89AORCK	SCREW_1_ENCODERREADING	0
WX31D89AORCK	SCREW_1_TOTAL TORQUE	0.673
WX31D89AORCK	SCREW_1_TOTAL ANGLE	1.496
WX31D89AORCK	Pass_Fail_Status	4115.1 PASSED

รูปที่ 3.5 ตัวอย่างหน้าต่างโปรแกรมเอกซ์เซล (Excel) ที่แปลงไฟล์มาจาก Log File



Name	State	Value 1	Value 2	Value 3	Value 4	Value 5	Value 6	Value 7	Value 8	Value 9	Value 10	Value 11	Value 12	Value 13	Value 14	Value 15	Value 16	Value 17	Value 18	Value 19	Value 20	Value 21	Value 22	Value 23	Value 24	Value 25
WX31D69N497 Sequence RT2 SPOILER DRIVE SCREW	0 B0	1 B1	1 B2	0 B3	0 B4	0 B0	8.637 R11	77.13 R12	0 R13	214748.359																
State	0 B0	1 B1	1 B2	0 B3	0 B4	0 R0	8.637 R11	77.13 R12	0 R13	214748.359																
State	0 B0	1 B1	1 B2	0 B3	0 B4	0 R0	8.637 R11	77.13 R12	0 R13	214748.359																
State	0 B0	1 B1	1 B2	0 B3	0 B4	0 R0	8.637 R11	77.13 R12	0 R13	214748.359																
State	0 B0	1 B1	1 B2	0 B3	0 B4	0 R0	8.65 R11	77.15 R12	0 R13	214748.359																
State	0 B0	1 B1	1 B2	0 B3	0 B4	0 R0	8.637 R11	77.13 R12	0 R13	214748.359																
State	0 B0	1 B1	1 B2	0 B3	0 B4	0 R0	8.637 R11	77.13 R12	0 R13	214748.359																
State	0 B0	1 B1	1 B2	0 B3	0 B4	0 R0	8.637 R11	77.13 R12	0 R13	214748.359																
State	0 B0	1 B1	1 B2	0 B3	0 B4	0 R0	8.65 R11	77.15 R12	0 R13	214748.359																
State	0 B0	1 B1	1 B2	0 B3	0 B4	0 R0	8.65 R11	77.15 R12	0 R13	214748.359																
State	0 B0	1 B1	1 B2	0 B3	0 B4	0 R0	8.637 R11	77.13 R12	0 R13	214748.359																
State	0 B0	1 B1	1 B2	0 B3	0 B4	0 R0	8.637 R11	77.13 R12	0 R13	214748.359																
State	0 B0	1 B1	1 B2	0 B3	0 B4	0 R0	8.637 R11	77.13 R12	0 R13	214748.359																
State	0 B0	1 B1	1 B2	0 B3	0 B4	0 R0	8.65 R11	77.15 R12	0 R13	214748.359																
State	0 B0	1 B1	1 B2	0 B3	0 B4	0 R0	8.65 R11	77.15 R12	0 R13	214748.359																
State	0 B0	1 B1	1 B2	0 B3	0 B4	0 R0	8.65 R11	77.15 R12	0 R13	214748.359																
State	0 B0	1 B1	1 B2	0 B3	0 B4	0 R0	8.65 R11	77.15 R12	0 R13	214748.359																
State	0 B0	1 B1	1 B2	0 B3	0 B4	0 R0	8.65 R11	77.15 R12	0 R13	214748.359																

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างหน้าต่างโปรแกรมเอกซ์เซล (Excel) ที่แปลงไฟล์มาจาก JSON File

3.5.2 การเก็บข้อมูลและกรองข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลตัวแปรอิสระและตัวแปรตามของเครื่องจักรสไปอยเลอร์ (Spoiler Install) ที่ใช้ในกระบวนการขึ้นสกรู ตารางที่ 3.1 ข้อมูลตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการขึ้นสกรูของวันที่ 8 กันยายน 2562

Product Code	Torque	Angle	Time	Vacuum	Screwdriver Encoder
WX11D690N497	1.49	4004.3	2954	8.688	0.615
WX31D89A0DAF	1.493	4132.2	2976	9.3	0.986
WX31D89A0EKC	1.496	4029.6	2954	9.188	0.924
WX31D89A00TS	1.492	4218.7	2991	9.263	1.029
WX31D89A0CLT	1.495	4015.8	2955	9.137	0.913
WX31D89A0C27	1.498	4161.4	2990	9.237	1.004
WX31D89A0AF7	1.496	4255.2	3017	9.212	1.042
WX31D89A0DAY	1.493	4148.1	2995	9.175	0.997
WX31D89A0DXA	1.491	4326.4	3037	9.212	1.071
WX31D89A0EJD	1.493	4068.4	2971	9.137	0.95
WX31D89A0AUR	1.495	4106.3	2982	9.7	0.965
WX31D89A00Z2N	1.491	4293.5	3026	9.212	1.05
WX31D89A0CY6	1.491	4094	2965	9.2	0.932
WX31D89A0CLC	1.498	4176.7	2993	9.15	0.995
WX31D89A0E25	1.491	3995.3	2950	9.2	0.901
WX31D89A0ACP	1.493	4132.6	2982	9.237	0.971
WX31D89A0A5D	1.493	4197.9	2997	9.188	1.01
WX31D89A0C11	1.488	4114	2979	9.15	0.954
WX31D89A0ATL	1.496	4018.8	2961	9.2	0.92
WX31D89A0C75	1.494	3982.3	3230	9.15	1.126
WX31D89A0CJH	1.495	4107.7	2983	8.962	0.76
WX31D89A0A95	1.493	3968.2	2942	8.875	0.692
WX31D89A0D9D	1.492	4037.9	2961	9.137	0.725
WX31D89A0F4J	1.493	3996.4	2950	9.05	0.701
WX31D89A0E48	1.499	4084.6	2978	9	0.763
WX31D89A0F7C	1.495	4282.4	3022	9.075	0.869
WX21D690LU7C	1.496	4283.3	3027	8.988	0.858
WX31D89A0V82	1.495	4220.8	3001	9.125	0.794
WX21D690L8CU	1.496	4256.5	3019	9.125	0.831
WX21D690L4HZ	1.494	4228.1	3000	8.787	0.829
WX31D89A0AV7	1.493	4176.6	2988	8.787	0.768
WX21D690LF80	1.493	4021.5	2949	8.838	0.701
WX31D89A0F2Z	1.496	4067.1	2972	9.025	0.736
WX31D89A0F09	1.496	4240.3	3176	8.85	1.041
WX31D89A0E4Z	1.493	4216.3	2993	9.188	0.808
WX31D89A0D54	1.495	4023.5	2961	9.525	0.717
WX21D690LDSA	1.494	3969.8	2947	9.175	0.696
WX21D690L2L4	1.493	4198.5	2998	8.988	0.776
WX31D89A0ALF	1.493	4064.8	2975	9.062	0.743
WX31D89A00TU	1.493	4263.3	3022	9.212	0.85
WX31D89A00A4	1.495	4235.7	3013	9.038	0.819
WX31D89A0E5C	1.495	4154.7	2988	9.175	0.784
WX31D89A0C2C	1.496	4224.4	3009	9.025	0.829
WX31D89A0E7R	1.491	3922.6	3186	9.225	1.131
WX31D89A0EY3	1.496	4363.6	3041	8.938	0.878
WX31D89A0ASA	1.488	4311.6	3043	9.462	0.886
WX31D89A0A9R	1.491	4137.2	2990	9.188	0.782
WX31D89A0DTF	1.496	4252.5	3016	9.275	0.827
WX31D89A0FDN	1.496	4074.4	2967	9.175	0.735
WX31D89A0F58	1.495	4233.3	3008	9.388	0.823

Product Code	Torque	Angle	Time	Vacuum	Screwdriver Encoder
WX31D89A00T3	1.489	4263.5	3021	9.462	0.862
WX31D89A00AC	1.493	4193.5	2993	9.188	0.81
WX31D89A0EH1	1.493	4328.6	3040	9.475	0.881
WX21D690LPVS	1.498	4058.7	2970	9.188	0.747
WX31D89A0A4U	1.498	4078	2964	9.125	0.715
WX31D89A0E5E	1.494	4096.9	2972	8.975	0.75
WX31D89A0DAU	1.494	4183.6	2998	9.413	0.803
WX31D89A00KR	1.493	4056.4	2954	9	0.725
WX31D89A0E0C	1.493	4153.9	2987	8.913	0.791
WX31D89A0ETS	1.498	4244.7	2999	9.087	0.812
WX31D89A0EPU	1.495	4152.4	2988	9.038	0.778
WX31D89A0F3T	1.495	4114.2	2982	9.125	0.769
WX31D89A0E13	1.492	4211.7	3002	9.062	0.827
WX31D89A0DT0	1.492	4246.3	3013	8.913	0.849
WX31D89A0CX3	1.493	4095.5	2985	9.05	0.774
WX31D89A0CTN	1.495	4189.6	2997	9.075	0.783
WX31D89A0E92	1.494	4259.9	3011	9.125	0.83
WX31D89A0EHD	1.491	4032.7	2959	9.112	0.706
WX31D89A0F5F	1.493	4385	3055	8.887	0.9
WX31D89A0F8Y	1.489	4283.6	3029	9.225	0.861
WX31D89A0EP1	1.492	4127.4	2975	8.913	0.76
WX31D89A00JZ	1.492	4285.2	3014	9.038	0.829
WX31D89A0EX3	1.495	4217	3017	9.137	0.818
WX31D89A0D9A	1.493	4061.8	2978	9.012	0.743
WX31D89A0FDZ	1.493	4333.6	3042	9.038	0.918
WX31D89A0D2V	1.495	4087	2973	8.688	0.748
WX31D89A0CFJ	1.493	3976	2941	9.15	0.687
WX31D89A0FC3	1.496	4318.2	3207	9.1	1.109
WX31D89A0DNZ	1.495	4261.3	3020	8.875	0.849
WX31D89A0AU2	1.498	3993.5	2953	8.988	0.715
WX31D89A0AYZ	1.492	4225.1	3021	9.175	0.807
WX31D89A0AHX	1.49	4204.1	2992	8.95	0.773
WX31D89A0DRH	1.49	4313.4	3041	8.913	0.859
WX31D89A0C73	1.493	4161.6	2991	8.863	0.761
WX31D89A0DNX	1.493	4032.1	2955	8.787	0.675
WX31D89A0D5	1.492	4181.8	2991	8.838	0.758
WX31D89A0ENZ	1.493	4088.9	2973	8.863	0.716
WX31D89A0F0U	1.495	4130.9	2978	9	0.716
WX31D89A0CZU	1.491	4170.9	3004	9.075	0.789
WX31D89A0E98	1.494	3992	2948	8.988	0.669
WX31D89A0FDC	1.494	4094.6	2972	9	0.694
WX31D89A0D44	1.493	4252.6	3011	8.7	0.819
WX31D89A0D2F	1.495	4311.5	3018	8.662	0.828
WX31D89A0CTC	1.496	4138.7	2993	8.813	0.75
WX31D89A00FH	1.493	4074.6	2958	8.725	0.704
WX31D89A0EHN	1.492	4062.9	2980	8.738	0.731
WX31D89A0F9X	1.493	3957	2938	8.662	0.656
WX31D89A0DOU	1.494	4298.6	3026	8.725	0.842
WX31D89A0C6X	1.496	3995.5	2957	8.838	0.674
WX31D89A0A7A	1.493	4182.3	3004	8.738	0.801

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการขึ้นสกรูของวันที่ 9 กันยายน 2562

Product Code	Torque	Angle	Time	Vacuum	Screwdriver Encoder	Product Code	Torque	Angle	Time	Vacuum	Screwdriver Encoder
WX21D690L3SU	1.498	4127.4	2985	8.588	0.678	WX31D890S0C5	1.496	4314.6	3020	9.112	0.793
WX21D690L64D	1.491	4271.8	3020	8.762	0.749	WX31D890S8JD	1.495	4134.2	2972	9.15	0.705
WX21D690LTRJ	1.493	4086.2	2966	8.537	0.663	WX31D890S6UH	1.494	4377.8	3049	9.137	0.835
WX21D690LTUJ	1.494	4278	3015	8.55	0.768	WX31D890S5K5	1.49	4043.2	3271	9.2	1.196
WX21D690LC88	1.498	4106.6	2965	8.575	0.674	WX31D890S0AS	1.493	4242.3	3014	9.212	0.748
WX21D690L9CD	1.495	4260.4	3027	8.613	0.775	WX31D890S3AL	1.493	4279.1	3022	9.125	0.772
WX21D690LKUS	1.493	4275.2	3018	8.75	0.758	WX31D890S8EN	1.492	4267.5	3016	9.15	0.752
WX21D690LSY3	1.498	4208	3000	8.512	0.746	WX31D890S1PD	1.498	4056.5	2972	9.15	0.667
WX21D690LHTY	1.493	4153.1	2980	8.7	0.689	WX21D690L4ZD	1.493	4043.2	2967	9.137	0.675
WX21D690LXUL	1.491	4256.8	3011	8.925	0.756	WX21D690L6JK	1.493	4073.3	2965	9.2	0.672
WX31D890S3FS	1.498	4183.3	3000	8.562	0.735	WX21D690L1HK	1.495	4220.2	3005	9.125	0.758
WX21D690L06X	1.493	4052	2960	8.463	0.641	WX21D690L115	1.495	4184	2994	9.175	0.715
WX31D890S9DU	1.495	4164.6	2992	8.863	0.692	WX31D890S2CK	1.493	3984.4	2946	9.112	0.639
WX31D890S5ZD	1.492	4185.2	3004	8.975	0.75	WX21D690L091	1.495	3994.7	2953	9.062	0.638
WX31D890S3J5	1.499	4202.1	2994	8.675	0.752	WX21D690L5AP	1.495	4207.6	2996	9.212	0.741
WX31D890S3T5	1.494	4015	2961	8.688	0.645	WX21D690LD3Z	1.492	4079.1	2958	9.125	0.669
WX31D890S0X6	1.498	4002.3	2948	8.688	0.631	WX31D890S8CC	1.498	4146.1	2989	9.125	0.699
WX31D890S0J7	1.499	4245.3	3013	8.725	0.765	WX31D890S0J3	1.493	4330.3	3048	9.137	0.841
WX31D890S3N2	1.493	4101.3	2979	8.762	0.686	WX31D890S2DX	1.492	4201.1	3004	9.137	0.758
WX21D690LZL1	1.493	4047.7	2967	8.787	0.694	WX31D890S4U3	1.495	4181.8	2998	9.175	0.737
WX31D890S1XN	1.493	4199.1	3011	9.025	0.743	WX31D890S0CL	1.492	4043.7	2970	9.1	0.677
WX31D890S8KT	1.499	4337.3	3038	9.137	0.808	WX31D890S8JZ	1.492	4111.9	2978	9.15	0.694
WX31D890S6D2	1.495	4110.5	2980	9.087	0.682	WX31D890S3TK	1.493	4148.3	2992	9.237	0.729
WX31D890S8D2	1.491	4345.5	3031	9.062	0.829	WX21D690L316	1.495	4262.4	3017	9.125	0.756
WX21D690LVFH	1.499	4215	2995	8.713	0.757	WX31D890S5Z7	1.491	4142.5	2998	9.137	0.716
WX21D690L3P6	1.498	4250.3	3016	8.725	0.761	WX21D690LH8D	1.493	4060.6	2964	9.137	0.646
WX21D690L69N	1.495	4033.9	2968	8.725	0.646	WX21D690L87Z	1.491	4071.9	2967	9.1	0.683
WX21D690LSHS	1.492	4124.1	2989	8.688	0.694	WX31D890S3T0	1.498	4272.8	3014	9.175	0.774
WX21D690LZRJ	1.493	4267.4	3027	8.613	0.791	WX31D890S2UV	1.495	4132.6	2989	9.137	0.691
WX21D690L8P0	1.499	4134.2	2982	8.5	0.717	WX31D890S8PR	1.494	4117.5	2985	9.163	0.694
WX31D890S0YZ	1.495	4000.5	2960	8.6	0.65	WX31D890S6PY	1.495	4201.4	2990	9.163	0.737
WX21D690L6NA	1.495	4246	3010	8.875	0.75	WX21D690LU0J	1.495	4155.3	2991	9.062	0.715
WX21D690L1N3	1.491	4217.8	3001	8.688	0.754	WX21D690LH3S	1.495	4112.9	2976	9.087	0.693
WX31D890S06L	1.491	4109.2	2984	8.7	0.706	WX21D690L13D	1.5	4086	2963	9.025	0.666
WX31D890S2LF	1.496	4071.1	2970	8.725	0.664	WX21D690LJZD	1.493	4297	3015	9.175	0.771
WX31D890S7SX	1.496	4126.8	2975	8.613	0.694	WX21D690L2X5	1.495	4368.7	3032	9.137	0.821
WX31D890S3X5	1.493	4145.9	2983	8.738	0.696	WX21D690LJF6	1.494	4161.2	2991	9.175	0.72
WX31D890S0PR	1.496	4245.3	3019	9.175	0.75	WX21D690LK47	1.495	4090.2	2972	9.062	0.681
WX31D890S8H9	1.493	4019.1	2955	8.725	0.65	WX21D690LH1N	1.493	4119.7	2977	9.125	0.692
WX31D890S2V6	1.493	4137.3	2989	8.713	0.731	WX21D690LYJA	1.491	4352.9	3049	9.1	0.823
WX31D890S9DH	1.494	4267.9	3009	8.725	0.76	WX21D690LSN5	1.493	4278.4	3029	9.062	0.786
WX31D890S8YA	1.496	4092.7	2972	9.5	0.679	WX21D690L5JX	1.495	4086.7	2976	9.038	0.666
WX31D890S3HA	1.498	4324	3013	9.012	0.803	WX31D890S3LH	1.49	4377.1	3049	8.863	0.803
WX31D890S0YF	1.498	4158.1	2975	9.087	0.719	WX31D890S5YJ	1.495	3964.2	2937	8.7	0.607
WX31D890S0Y9	1.493	4109.6	2964	8.975	0.68	WX31D890S1V6	1.496	4046.1	2955	9.275	0.645
WX31D890S0SL	1.496	4284.4	3005	9.012	0.782	WX31D890S2RT	1.495	4343.7	3046	8.85	0.799
WX31D890S8ZR	1.498	4336.4	3401	9.137	1.414	WX31D890S2ST	1.49	4141.4	2997	8.625	0.698
WX31D890S7V5	1.496	4023.6	2935	8.913	0.646	WX21D690LV9X	1.492	4117.7	2986	8.55	0.703
WX31D890S0RE	1.495	4339	3027	9.112	0.822	WX31D890S8YR	1.498	4125.5	2976	8.55	0.687
WX31D890S6K5	1.491	4061.7	2949	9.012	0.663	WX21D690LE0F	1.495	4139.6	2994	8.562	0.689

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการขึ้นสกรูของวันที่ 10 กันยายน 2562

Product Code	Torque	Angle	Time	Vacuum	Screwdriver Encoder
WX21D690LH2N	1.496	4078.1	2966	9.212	0.655
WX31D89A00F9	1.493	4179.7	3004	9.2	0.718
WX31D89A00S3	1.494	4399.5	3053	9.225	1.048
WX31D89A0AVY	1.499	4302.3	3045	9.212	1.099
WX31D89A0ADV	1.498	4056.4	2993	9.188	0.71
WX31D89A0C3Z	1.498	4050.7	2963	9.087	0.66
WX31D89A0CF8	1.494	4289.8	3024	9.137	0.795
WX31D89A00C0	1.491	4279.8	3026	9.175	0.782
WX31D89A0A4V	1.498	4005.5	2952	9.125	0.647
WX31D89A0AYA	1.493	4007	2954	9.1	0.651
WX31D89A00SH	1.498	4122.2	2980	9.175	0.717
WX31D89A0A6L	1.493	4096.9	2969	9.1	0.689
WX31D89A0A58	1.498	4157.7	2990	9.2	0.742
WX31D89A0C5N	1.493	4065.1	2962	9.188	0.671
WX31D89A00YH	1.496	4243.2	3014	9.175	0.762
WX31D89A0AE7	1.491	4275.5	3011	9.212	0.783
WX31D89A00L9	1.495	4151.1	2995	9.163	0.715
WX31D89A0CN8	1.493	4235.8	3018	9.175	0.773
WX31D89A00DJ	1.498	4216.1	3016	9.125	0.757
WX31D89A00JA	1.498	4137.7	2989	9.163	0.715
WX31D89A0AEA	1.498	3926.6	2931	9.125	0.608
WX31D89A0CSZ	1.498	4045.7	2972	9.137	0.69
WX31D89A0AJF	1.496	4014.8	2962	9.163	0.647
WX31D89A0A2V	1.493	3999.9	2958	9.15	0.64
WX31D89A0C65	1.493	4310.3	3047	9.175	0.842
WX31D89A0AJ7	1.49	4259.3	2998	9.175	0.756
WX31D89A0A6H	1.494	4089.1	2960	9.1	0.668
WX31D89A00A7	1.493	4345.1	3017	9	0.796
WX31D89A00VH	1.491	4284	2998	9.05	0.783
WX31D89A0CT5	1.493	4101.4	2965	9.012	0.696
WX31D89A00D4	1.495	4105.6	2963	9.038	0.686
WX31D89A0C60	1.495	4344.4	3401	9.137	1.392
WX31D89A00KA	1.494	4144.5	2967	9.012	0.68
WX31D89A00Z9	1.496	4170.2	2977	9	0.699
WX31D89A0CJX	1.495	4046.6	2952	9.012	0.647
WX31D89A00XU	1.491	4067.3	2936	9.075	0.633
WX31D89A0AC7	1.499	4281.9	2995	9.05	0.741
WX31D89A0A1L	1.493	4100.5	2958	9.225	0.678
WX31D89A0A1F	1.495	4024.5	2938	9.1	0.633
WX31D89A0AJT	1.493	4294.3	3020	9.175	0.764
WX31D89A0C7J	1.494	4051.8	2956	9.05	0.659
WX31D89A0AFY	1.494	4057.9	2965	9.012	0.652
WX31D89A0C59	1.493	4050.9	2960	9.05	0.631
WX31D89A0A8T	1.495	4236.8	3011	9.15	0.74
WX31D89A0C3D	1.489	4178.6	2982	9.1	0.69
WX31D89A00SU	1.496	4255.7	3010	9.087	0.762
WX31D89A0AVK	1.498	4018.4	2961	9.137	0.618
WX31D89A0CP7	1.493	4108.5	2988	9.112	0.69
WX31D89A0ARN	1.496	4197.1	3002	9.087	0.725
WX31D89A0A3X	1.494	4018	2954	9.087	0.627

Product Code	Torque	Angle	Time	Vacuum	Screwdriver Encoder
WX31D89A0C84	1.492	4095.8	2975	9.012	0.66
WX21D690LEYA	1.494	4332.5	3028	9.1	0.812
WX21D690LHZP	1.498	4240.9	3013	9.062	0.745
WX31D89A0C10	1.498	4326.5	3035	9.137	0.797
WX31D89A0A68	1.493	4335.8	3037	9.05	0.825
WX31D89A0A4H	1.493	4170.8	2999	9.15	0.727
WX31D89A0ACC	1.491	3998.8	2958	9.1	0.629
WX31D89A00TY	1.493	3973.5	2946	9.05	0.635
WX21D690LS7K	1.493	4031.3	2959	9.1	0.662
WX21D690LNZ6	1.495	4085.5	2972	9.112	0.695
WX31D89A0AZN	1.498	4301	3022	9.125	0.779
WX31D89A00J7	1.493	4243.5	3017	9.1	0.754
WX31D89A00DX	1.493	4306.1	3026	9.062	0.798
WX31D89A0CKF	1.493	4036.8	2949	9.1	0.623
WX21D690L703	1.496	4287	3031	9.137	0.786
WX21D690LH4R	1.495	4194.9	2999	9.125	0.731
WX21D690L85R	1.494	4200.3	3002	9.175	0.726
WX21D690LP6D	1.493	4115.7	2973	9.112	0.7
WX21D690L92L	1.494	4213.9	2998	9.1	0.747
WX31D89A0CN2	1.498	4144.3	2990	9.15	0.708
WX31D89A0CRP	1.492	4279	3016	9.237	0.79
WX21D690LNK5	1.494	4040.8	2950	9.1	0.64
WX21D690LZKX	1.493	4172.1	2999	9.163	0.723
WX31D89A0A2J	1.491	4043.7	2965	9.487	0.657
WX21D690LPK2	1.498	4051.9	2960	9.137	0.661
WX31D89A00N9	1.496	4299.3	3026	9.137	0.793
WX21D690LREF	1.494	4058.3	2968	9.137	0.683
WX21D690LVAV	1.492	4261.5	3019	9.212	0.776
WX21D690LXHE	1.498	4005.2	2955	9.188	0.642
WX21D690LU3F	1.49	4287.1	3011	9.188	0.778
WX31D89A0A17	1.498	4336.8	3425	9.2	1.446
WX31D89A00CL	1.493	4378	3430	9.35	1.452
WX31D89A0C1K	1.495	4266.6	3009	9.137	0.78
WX31D89A00TA	1.498	4111.6	2977	9.137	0.68
WX31D89A0C4C	1.494	4247.5	3015	9.237	0.8
WX31D89A00CZ	1.494	4374.2	3036	9.2	0.93
WX31D89A0AA1	1.491	4122.5	2989	9.125	0.68
WX31D89A0C58	1.494	4026.6	2962	9.112	0.639
WX31D89A0A7X	1.494	4334	3032	9.175	0.798
WX31D89A0CHD	1.493	4156.5	2993	9.2	0.728
WX31D89A0C8F	1.496	3978.6	2953	9.15	0.636
WX31D89A0CH5	1.498	4060	2966	9.137	0.672
WX31D89A0AUN	1.494	4150	2985	9.112	0.714
WX31D89A00E5	1.496	4138.8	2978	9.137	0.668
WX31D89A00L2	1.488	4090.6	2975	9.175	0.702
WX31D89A0C32	1.488	4260.8	3025	9.137	0.786
WX31D89A0C65	1.491	4130.9	2989	9.175	0.683
WX31D89A0CR7	1.498	4090.1	2973	9.137	0.674
WX31D89A0AXZ	1.495	4151.5	2992	9.212	0.723
WX31D89A0CSN	1.496	4216.8	3004	9.188	0.72

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการขึ้นสกรูของวันที่ 11 กันยายน 2562

Product Code	Torque	Angle	Time	Vacuum	Screwdriver Encoder
WX31D89A0CC4	1.493	4148.1	2984	9.225	0.702
WX31D89A0DHS	1.495	4279.4	3230	9.125	1.049
WX31D89A0AXX	1.493	4145.7	2984	9.15	0.691
WX31D89A00C2	1.495	4269.3	3250	9.188	1.112
WX31D89A0A2F	1.492	4305.5	3023	9.112	0.761
WX31D89A0A2N	1.495	4250.2	2998	9.125	0.748
WX31D89A0AH6	1.496	4306.3	3027	9.188	0.773
WX31D89A0DD5	1.493	4192.1	2985	9.038	0.699
WX31D89A0ACV	1.498	4053.6	2956	9.05	0.636
WX31D89A0CA5	1.495	4076.6	2972	9.012	0.629
WX31D89A0AF0	1.498	4082.2	2973	9.125	0.654
WX31D89A0CSR	1.496	4095.9	2974	9.163	0.659
WX31D89A00EK	1.491	4108.4	2976	9.05	0.661
WX31D89A00X6	1.494	4287.3	3017	9.125	0.763
WX31D89A0CXC	1.492	4145.3	2984	9.05	0.689
WX31D89A00HY	1.492	4332.5	3027	9.175	0.768
WX31D89A00RV	1.496	4249.3	3015	9.225	0.751
WX31D89A0A5A	1.49	4038.4	2954	9.15	0.633
WX31D89A0DJ3	1.494	4366.8	3432	9.137	1.442
WX31D89A0CA7	1.491	4107.1	2975	9.225	0.667
WX31D89A00SJ	1.494	4226.8	3000	9.137	0.73
WX31D89A0CN7	1.495	4233	3019	9.15	0.749
WX31D89A0AY1	1.492	4178.1	3000	9.075	0.719
WX31D89A0A4R	1.495	4326.6	3419	9.237	1.402
WX31D89A0AH8	1.494	4271.7	3026	9.362	0.754
WX31D89A0D9Z	1.498	4241.5	3009	9.075	0.749
WX31D89A00AF	1.496	4285.4	3021	9.125	0.759
WX31D89A0C3A	1.496	4193	2992	9.062	0.705
WX31D89A0DBJ	1.49	4375.8	3057	9.087	0.841
WX31D89A0A2L	1.492	4258.7	3030	9.1	0.756
WX31D89A0DKV	1.493	4266.2	3017	9.112	0.783
WX31D89A0D8E	1.495	4168	2993	9.137	0.71
WX31D89A0C0Y	1.492	3977.3	2948	9.087	0.594
WX31D89A0A51	1.496	4327.9	3409	9.312	1.395
WX31D89A0ASH	1.496	4121.9	2967	9.012	0.665
WX31D89A0CVT	1.494	4028.6	2953	9.012	0.614
WX31D89A0D4U	1.492	4244	3197	9.062	0.981
WX31D89A0CTV	1.495	4386.1	3438	9.1	1.442
WX31D89A0AK0	1.496	4070.2	2960	8.95	0.648
WX31D89A00T5	1.494	4051	3179	8.988	0.924
WX31D89A0C5L	1.492	4047.7	2952	8.925	0.643
WX31D89A0A27	1.493	4142.6	2984	8.938	0.705
WX31D89A0CE6	1.491	4182.6	2991	9.137	0.71
WX31D89A0AFE	1.491	4318.5	3019	9.15	0.762
WX31D89A0A88	1.495	4274.4	3022	9.25	0.771
WX31D89A00L8	1.495	4172.2	2996	9.075	0.705
WX31D89A00CN	1.494	4190.3	2993	9.137	0.722
WX31D89A0CKY	1.494	4225	2997	9.05	0.739
WX31D89A0AYF	1.496	4113.9	2970	9	0.682
WX31D89A00KE	1.49	4064.1	2960	9.012	0.638

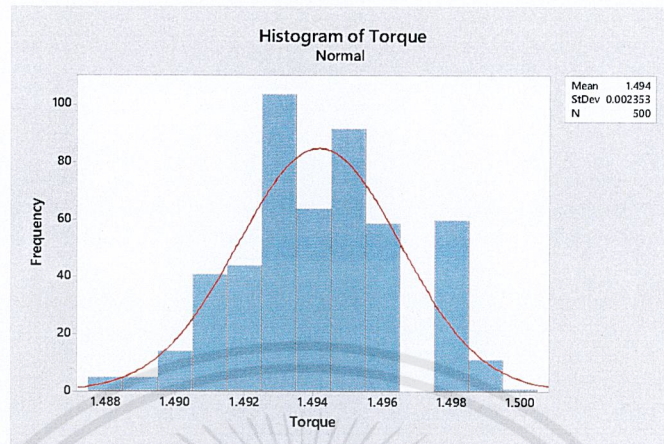
Product Code	Torque	Angle	Time	Vacuum	Screwdriver Encoder
WX31D89A0CCU	1.498	4366.4	3220	9.05	1.082
WX31D89A0DEH	1.495	4366.9	3042	9.15	0.821
WX31D89A0D9K	1.493	4009.5	2942	9.137	0.619
WX31D89A0A95	1.494	4095.3	2970	9.137	0.668
WX31D89A0D2X	1.491	4080.9	2971	9.137	0.674
WX31D89A0AFX	1.496	4272.3	3015	9.038	0.758
WX31D89A0D6T	1.491	4173.1	2997	9.212	0.712
WX31D89A0C5U	1.493	4175.7	2993	9.137	0.704
WX31D89A00J3	1.495	4309.9	3032	9.025	0.779
WX31D89A0CNC	1.494	4172.9	2989	9.112	0.71
WX31D89A0CFY	1.492	4321.9	3032	9.038	0.772
WX31D89A0AF9	1.498	4214.9	3013	9.125	0.726
WX31D89A0DLA	1.491	4300.9	3025	9.125	0.765
WX31D89A0AD3	1.493	4369.1	3433	9.225	1.453
WX31D89A00P2	1.494	4289.1	3022	9.175	0.728
WX31D89A0C2N	1.494	4301.9	3254	9.15	1.098
WX31D89A00VF	1.494	4237.6	3000	9	0.743
WX31D89A00XP	1.496	4127.9	2978	9.112	0.671
WX31D89A0AY4	1.494	4184.4	2989	9.112	0.721
WX31D89A0D7Z	1.492	4045.3	2955	9.1	0.644
WX31D89A0CNS	1.495	4128.2	2993	9.15	0.693
WX31D89A00TE	1.493	4099.2	2966	9.15	0.638
WX31D89A0CRT	1.492	4188.4	3001	9.188	0.723
WX31D89A0COV	1.493	4031	2955	9	0.629
WX31D89A0DDN	1.492	4082.6	2970	9.112	0.653
WX31D89A0DH9	1.492	4102	2988	9.1	0.674
WX31D89A0DA6	1.494	4295.9	3014	9.15	0.756
WX31D89A0AC3	1.492	4312.7	3035	9.2	0.766
WX31D89A0AFK	1.495	4041.4	2967	9.175	0.642
WX31D89A00PC	1.494	4334	3033	9.25	0.799
WX31D89A0D8X	1.491	4114.4	2982	9.188	0.697
WX31D89A0C51	1.491	4044.8	2966	9.175	0.628
WX31D89A0DKH	1.495	4235.9	3014	9.2	0.733
WX31D89A0ACN	1.491	4220.8	3014	9.25	0.715
WX31D89A00UY	1.496	4203.9	2990	9.225	0.72
WX31D89A0D9F	1.49	4090.4	2983	9.137	0.685
WX31D89A0CAX	1.496	4099	2966	9.062	0.664
WX31D89A0C74	1.498	4238.4	3200	9.225	0.967
WX31D89A0DJX	1.496	4080	2965	9.212	0.647
WX31D89A0CJ9	1.491	4096.7	2980	9.212	0.668
WX31D89A0AUU	1.498	4070.7	2964	9.188	0.662
WX31D89A0COT	1.492	4338.2	3417	9.35	1.369
WX31D89A0C3H	1.494	4143.9	2986	9.2	0.676
WX31D89A0AAK	1.493	4029.8	2953	9.312	0.633
WX31D89A0ATE	1.495	4381.1	3038	9.188	0.789
WX31D89A0D14	1.495	4186.5	2997	9.137	0.705
WX31D89A0CFN	1.498	4154	2991	9.112	0.702
WX31D89A0C5F	1.493	4171.6	2998	9.075	0.7
WX31D89A0AKC	1.498	4291.9	3021	9.188	0.748
WX31D89A00RK	1.494	4246.6	3018	9.112	0.748

ตารางที่ 3.5 ข้อมูลตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการขึ้นสกรูของวันที่ 12 กันยายน 2562

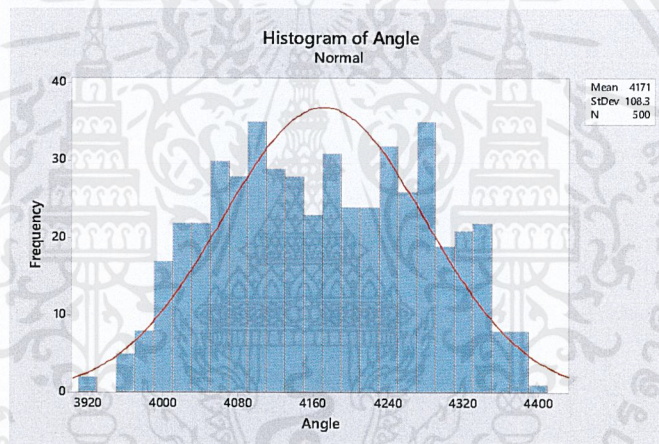
Product Code	Torque	Angle	Time	Vacuum	Screwdriver Encoder
WX31D89A00K7	1.49	4217.6	3013	9.062	0.758
WX31D89A00CTT	1.495	4072.4	2969	9.087	0.655
WX31D89A00C8N	1.495	4174.6	2992	9.112	0.694
WX31D89A00C36	1.493	4201.4	2994	9.062	0.729
WX31D89A00ACD	1.495	4205.1	2990	9.112	0.729
WX31D89A00CST	1.498	4273	3010	9.075	0.749
WX31D89A000KL	1.49	4012.4	3142	9.188	0.866
WX31D89A000V6	1.493	4209.5	3009	9.212	0.727
WX31D89A00CVC	1.498	4018.4	2947	9.075	0.628
WX31D89A00CHF	1.496	4346.1	3436	9.25	1.431
WX31D89A00AR0	1.494	4290.1	3023	9.112	0.79
WX21D690LKJH	1.498	4019.6	2951	9.125	0.628
WX31D89A00A2A	1.498	4100.1	2971	9.087	0.659
WX31D89A00AVA	1.488	4283	3026	9.175	0.754
WX31D89A00CDL	1.494	4028.7	2967	9.275	0.644
WX31D89A00C7Y	1.495	4082.7	2967	9.112	0.66
WX31D89A00AP9	1.493	4347.8	3026	9.137	0.794
WX31D89A00AT2	1.495	4158.1	2991	9.175	0.706
WX31D89A000T	1.499	4099.2	2969	9.3	0.67
WX31D89A00A2K	1.494	4314.4	3406	9.212	1.391
WX31D89A00Z0	1.496	4233.5	3003	9.038	0.746
WX31D89A00AY7	1.498	4024.2	3117	9.137	0.817
WX31D89A00CCH	1.499	4293.5	3026	9.275	0.778
WX31D89A00CN1	1.495	4053.2	2967	9.1	0.654
WX31D89A00CR6	1.496	4112.6	2989	9.125	0.687
WX31D89A00C7V	1.498	4173.9	2985	9.137	0.711
WX31D89A00C0C	1.489	4168.4	2981	9.1	0.691
WX31D89A00ASP	1.493	4095.3	2972	9.2	0.669
WX31D89A00C9Y	1.492	4276.9	3011	9.15	0.761
WX31D89A00ZE	1.495	4193.4	3009	9.125	0.721
WX31D89A00N2	1.498	4289	3016	9.212	0.764
WX31D89A00CCZ	1.489	4198.9	3005	9.275	0.709
WX31D89A00AV1	1.496	4129.9	2978	9.137	0.679
WX31D89A00AY0	1.495	4106.2	2962	9.075	0.673
WX31D89A00CR1	1.495	4327.6	3238	9.275	1.079
WX31D89A00NX	1.498	4200.8	2994	9.112	0.713
WX31D89A00CAR	1.492	4054.2	2962	9.038	0.66
WX31D89A00CU1	1.492	4092.7	2968	9.1	0.681
WX31D89A00C01	1.495	4162.9	2991	9.15	0.695
WX31D89A00A5Z	1.492	4117.1	2976	9.062	0.676
WX31D89A00AT3	1.492	4342.7	3028	9.4	0.801
WX31D89A00CHY	1.492	4219.3	3011	9.25	0.721
WX31D89A00ZJ	1.494	4235.6	3011	9.125	0.734
WX31D89A00CK7	1.498	4322	3032	9.125	0.79
WX31D89A00CL9	1.495	4294.9	3022	9.425	0.758
WX31D89A00AS5	1.492	4147.3	2975	9.188	0.695
WX31D89A00P8	1.496	4006.2	2953	9.075	0.623
WX31D89A00ABR	1.493	4138.4	2985	9.175	0.695
WX31D89A00AKH	1.496	4223.1	2999	9.2	0.716
WX31D89A000HT	1.495	4239.3	2998	9.062	0.76

Product Code	Torque	Angle	Time	Vacuum	Screwdriver Encoder
WX31D89A000DN	1.493	4070.7	2962	9.212	0.645
WX31D89A000RJ	1.496	4230.3	2996	9.137	0.73
WX31D89A00CEF	1.499	4121.8	2971	9.112	0.674
WX31D89A00C9R	1.493	3960.5	3223	9.25	1.018
WX31D89A00C90	1.495	4059.9	2965	9.062	0.652
WX31D89A00CUA	1.495	4323	3019	9.212	0.783
WX31D89A00AU4	1.494	4214.6	3004	9.15	0.692
WX31D89A00CKT	1.494	4128.7	2980	9.112	0.674
WX31D89A00C7U	1.498	4113.2	2985	9.188	0.707
WX31D89A00A29	1.493	4277.2	3024	9.125	0.793
WX31D89A00CJH	1.491	4027.2	2960	9.1	0.624
WX31D89A000EC	1.494	4329.4	3036	9.112	0.8
WX31D89A00APX	1.495	4177.3	2986	9.062	0.709
WX31D89A00CED	1.496	4224.5	3018	9.112	0.732
WX31D89A00AU8	1.494	4231.7	3009	9.1	0.726
WX31D89A000X4	1.495	4269.2	3015	9.112	0.768
WX31D89A00C96	1.493	4223.1	3007	9.137	0.738
WX31D89A00C4J	1.493	4113.7	2978	8.962	0.705
WX31D89A00CN9	1.498	4231.7	2994	9.038	0.725
WX31D89A00AN6	1.496	4330.6	3034	9.05	0.793
WX31D89A00C4S	1.493	4277.7	3023	9.075	0.773
WX31D89A000EN	1.498	4158.8	2995	9.075	0.72
WX31D89A00AJP	1.493	4166.3	2988	9.087	0.713
WX31D89A0000H	1.495	4202.8	3203	9.212	0.993
WX31D89A00CTY	1.494	3977.4	2941	9.1	0.601
WX31D89A00C00	1.495	4315.4	3395	9.25	1.382
WX31D89A000VF	1.493	4236.4	3162	9.025	0.935
WX31D89A00AP1	1.491	4285.7	3010	9.038	0.75
WX31D89A000KK	1.493	4339.5	3039	9.112	0.8
WX31D89A00APP	1.495	4072.3	2969	9	0.638
WX31D89A00ARS	1.495	4059.5	2967	9.125	0.644
WX31D89A00C9C	1.494	4278.6	3027	9.137	0.741
WX31D89A00ATJ	1.492	4002.9	2949	9.1	0.633
WX31D89A000CT	1.495	4069.5	2965	9.062	0.646
WX31D89A00A5U	1.493	4168.4	3000	9.163	0.718
WX31D89A00AAT	1.496	4059.8	2964	9.1	0.649
WX31D89A00CFV	1.491	4291.1	3029	9.2	0.758
WX31D89A00AE3	1.491	4337.8	3403	9.275	1.401
WX31D89A00050	1.492	4105.8	2979	9.087	0.69
WX31D89A00CSA	1.495	4185.4	2991	8.975	0.715
WX31D89A00AJ2	1.494	4038.7	2953	9.012	0.634
WX31D89A00CJP	1.494	3978	2928	9	0.608
WX31D89A000U8	1.494	4234.4	3009	9.112	0.726
WX31D89A00C7F	1.491	4289.3	3387	9.087	1.386
WX31D89A000RN	1.496	4237.8	3007	9.025	0.759
WX31D89A000Y5	1.494	4025.7	2957	9.362	0.665
WX31D89A00AB3	1.495	4263.7	3008	9.112	0.762
WX31D89A000TN	1.496	4356.3	3036	9.087	0.819
WX31D89A00AUC	1.495	4181.3	3197	9.137	0.938
WX31D89A00A90	1.493	4085.9	2968	9	0.669

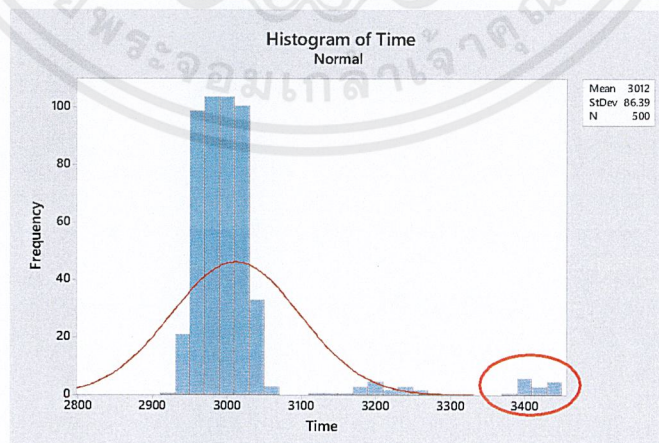
ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้เก็บรวบรวมไปทำการกรองข้อมูล เพื่อตรวจสอบข้อมูลที่ผิดปกติ โดยการนำข้อมูลที่ได้เก็บรวบรวมมาไปสร้างแผนภูมิแท่ง (Histogram) ดังแสดงตามรูปที่ 3.8 – 3.12



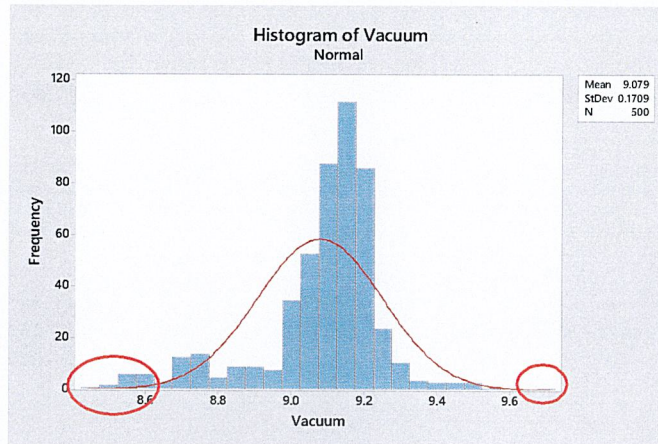
รูปที่ 3.7 แผนภูมิแท่ง (Histogram) ของค่าแรงบิด (Torque)



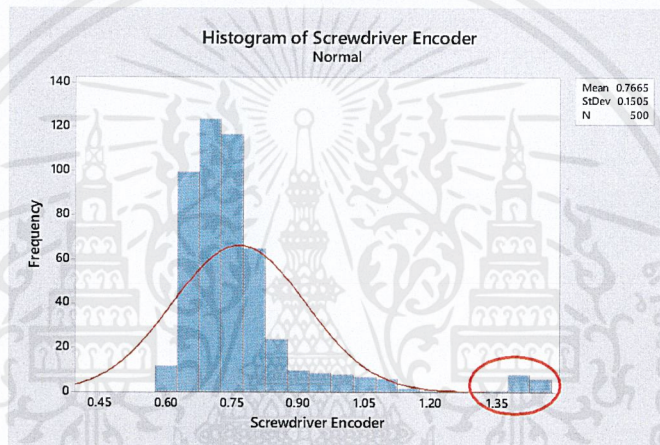
รูปที่ 3.8 แผนภูมิแท่ง (Histogram) แสดงข้อมูลของค่ามุม (Angle)



รูปที่ 3.9 แผนภูมิแท่ง (Histogram) แสดงข้อมูลของเวลา (Time)



รูปที่ 3.10 แผนภูมิแท่ง (Histogram) แสดงข้อมูลของค่าสูญญากาศ (Vacuum)



รูปที่ 3.11 แผนภูมิแท่ง (Histogram) แสดงข้อมูลของค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder)

จากรูปที่ 3.9 รูปที่ 3.10 และรูปที่ 3.11 พบว่ามีข้อมูลที่ผิดปกติเกิดขึ้น สังเกตเห็นได้จากสัญลักษณ์วงกลมสีแดง ข้อมูลผิดปกติเกิดจากการทำงานผิดพลาดของเครื่องจักร ดังนั้นผู้วิจัยได้ทำการตัดค่าของข้อมูลที่ผิดปกติออกเพื่อให้ผลที่ได้จากการวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือ ซึ่งค่าที่ผิดปกติคือ ค่าของข้อมูลที่ออกนอกช่วงของข้อกำหนด

บทที่ 4

การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสมการถดถอย

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม เพื่อหาสาเหตุหลักของปัญหาที่ทำให้เครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler Install) เกิดการทำงานผิดพลาดในกระบวนการขึ้นสกรู โดยมีผลการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

4.1 การกรองปัจจัยเบื้องต้น (One Factor at a Time)

4.2 แนวคิดของการออกแบบการทดสอบรูปแบบของสมการถดถอยพหุคูณและผลลัพธ์

4.3 ส่วนขยายของการกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสม เมื่อพิจารณาถึงค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation: MAD)

4.1 การกรองปัจจัยเบื้องต้น (One Factor at a Time)

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของตัวแปรอิสระทั้ง 4 ตัว เพื่อต้องการทราบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม ได้ผลดังรูปที่ 4.1

Analysis of Variance						Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	0.0033	0.003314	0.14	0.705	Regression	1	3.1550	3.15504	190.45	0.000
Torque	1	0.0033	0.003314	0.14	0.705	Angle	1	3.1550	3.15504	190.45	0.000
Error	486	11.2029	0.023051			Error	486	8.0512	0.01657		
Lack-of-Fit	10	0.0693	0.006929	0.30	0.982	Lack-of-Fit	462	7.7859	0.01685	1.52	0.106
Pure Error	476	11.1336	0.023390			Pure Error	24	0.2653	0.01105		
Total	487	11.2062				Total	487	11.2062			

ก) การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

ของค่าแรงบิด (Torque)

ข) การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

ของค่ามุม (Angle)

Analysis of Variance						Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	9.3314	9.33136	2418.85	0.000	Regression	1	0.5116	0.51157	23.25	0.000
Time	1	9.3314	9.33136	2418.85	0.000	Vacuum	1	0.5116	0.51157	23.25	0.000
Error	486	1.8749	0.00386			Error	486	10.6947	0.02201		
Lack-of-Fit	141	0.5421	0.00384	1.00	0.506	Lack-of-Fit	60	2.1831	0.03638	1.82	0.000
Pure Error	345	1.3328	0.00386			Pure Error	426	8.5116	0.01998		
Total	487	11.2062				Total	487	11.2062			

ค) การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

ของเวลา (Time)

ง) การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

ของค่าสุญญากาศ (Vacuum)

รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์การกรองปัจจัยเบื้องต้นระหว่างตัวแปรอิสระ (X) กับตัวแปรตาม (Y) ซึ่งตัวแปรตามในที่นี้ คือ ค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder)

ตัวแปร	รูปแบบสมการถดถอย	P-Value for Regression	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R ²)
ค่าแรงบิด (Torque: X ₁)	$Y = 2.44 - 1.12 X_1$	0.705	0.03%
ค่ามุม (Angle: X ₂)	$Y = -2.309 + 0.000738 X_2$	0.000	28.15%
เวลา (Time: X ₃)	$Y = -4.0088 + 0.001586 X_3$	0.000	83.27%
ค่าสุญญากาศ (Vacuum: X ₄)	$Y = -1.199 + 0.2163 X_4$	0.000	4.57%

ผลการวิเคราะห์การกรองปัจจัยเบื้องต้นระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ค่าแรงบิด (Torque)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ได้ค่า P-Value = 0.705 (P-Value > 0.05) หมายความว่า ค่าแรงบิด (Torque) ไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม
จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิด (Torque) กับค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder) ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R²) = 0.03%

2. ค่ามุม (Angle)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ได้ค่า P-Value = 0.000 (P-Value < 0.05) หมายความว่า ค่ามุม (Angle) มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญ
จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุม (Angle) กับค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder) ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R²) = 28.15%

3. เวลา (Time)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ได้ค่า P-Value = 0.000 (P-Value < 0.05) หมายความว่า เวลา (Time) มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญ
จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (Time) กับค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder) ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R²) = 83.27%

4. ค่าสุญญากาศ (Vacuum)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ได้ค่า P-Value = 0.000 (P-Value < 0.05) หมายความว่า ค่าสุญญากาศ (Vacuum) มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญ
จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสุญญากาศ (Vacuum) กับค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder) ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R²) = 4.57%

จากการวิเคราะห์การกรองปัจจัยเบื้องต้น จะเห็นว่าค่าแรงบิด (Torque) ไม่มีความสัมพันธ์กับค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder) หมายความว่า สมการถดถอยที่ใช้ประมาณค่าไม่สามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรตามหรือค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder) ได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงตัดข้อมูลของค่าแรงบิด (Torque) ออกจากการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

4.2 แนวคิดการออกแบบการทดสอบรูปแบบของสมการถดถอยพหุคูณและผลลัพธ์

ในสมการถดถอยพหุคูณในงานวิจัยนี้จะแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 กลุ่มที่เป็นมาตรฐานทั่วไป ได้แก่ รูปแบบที่ 1 คือ สมการเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression), รูปแบบที่ 2 คือ สมการเชิงเส้นประกอบด้วยสองอันตรกิริยา (Linear Regression with two-factor Interactions), รูปแบบที่ 3 คือ สมการเชิงเส้นประกอบด้วยสองและสามอันตรกิริยา (Linear Regression with two-and-three-factor Interactions), รูปแบบที่ 4 คือ สมการถดถอยพหุนามกำลังสอง (Quadratic Regression), รูปแบบที่ 5 คือ สมการถดถอยพหุนามกำลังสาม (Cubic Regression) กลุ่มที่ 1 กลุ่มที่เป็นมาตรฐานทั่วไป ได้ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังต่อไปนี้

รูปแบบที่ 1 คือ สมการเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) ได้ผลดังรูปที่ 4.2

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	9.4135	3.13784	847.15	0.000
Angle	1	0.0684	0.06844	18.48	0.000
Time	1	6.0374	6.03736	1629.97	0.000
Vacuum	1	0.0109	0.01087	2.93	0.087
Error	484	1.7927	0.00370		
Total	487	11.2062			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0608603	84.00%	83.90%	83.77%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-4.554	0.188	-24.16	0.000	
Angle	0.000126	0.000029	4.30	0.000	1.35
Time	0.001495	0.000037	40.37	0.000	1.37
Vacuum	0.0322	0.0188	1.71	0.087	1.04

Regression Equation

$$\text{Screwdriver Encoder} = -4.554 + 0.000126 \text{ Angle} + 0.001495 \text{ Time} + 0.0322 \text{ Vacuum}$$

รูปที่ 4.2 รูปแบบที่ 1 สมการเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression)

รูปแบบที่ 2 คือ สมการเชิงเส้นประกอบด้วยสองอันตรกิริยา (Linear Regression with two-factor Interactions) ได้ผลดังรูปที่ 4.3

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	6	9.4176	1.56960	422.10	0.000
Angle	1	0.0000	0.00003	0.01	0.931
Time	1	0.0003	0.00031	0.08	0.775
Vacuum	1	0.0000	0.00000	0.00	0.976
Angle*Time	1	0.0031	0.00309	0.83	0.362
Angle*Vacuum	1	0.0007	0.00074	0.20	0.655
Time*Vacuum	1	0.0005	0.00054	0.14	0.704
Error	481	1.7886	0.00372		
Total	487	11.2062			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0609801	84.04%	83.84%	83.60%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-0.48	8.74	-0.06	0.956	
Angle	0.00018	0.00203	0.09	0.931	6418.99
Time	-0.00106	0.00371	-0.29	0.775	13768.75
Vacuum	-0.030	0.983	-0.03	0.976	2841.86
Angle*Time	0.000000	0.000000	0.91	0.362	4291.60
Angle*Vacuum	-0.000094	0.000211	-0.45	0.655	9062.35
Time*Vacuum	0.000152	0.000400	0.38	0.704	20665.71

Regression Equation

$$\text{Screwdriver Encoder} = -0.48 + 0.00018 \text{ Angle} - 0.00106 \text{ Time} - 0.030 \text{ Vacuum} + 0.000000 \text{ Angle*Time} - 0.000094 \text{ Angle*Vacuum} + 0.000152 \text{ Time*Vacuum}$$

รูปที่ 4.3 รูปแบบที่ 2 สมการเชิงเส้นประกอบด้วยสองอันตรกิริยา (Linear Regression with two-factor Interactions)

รูปแบบที่ 3 คือ สมการเชิงเส้นประกอบด้วยสองและสามอันตรกิริยา (Linear Regression with two-and-three-factor Interactions) ได้ผลดังรูปที่ 4.4

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	7	9.4208	1.34583	361.81	0.000
Angle	1	0.0032	0.00317	0.85	0.356
Time	1	0.0032	0.00324	0.87	0.351
Vacuum	1	0.0032	0.00319	0.86	0.355
Angle*Time	1	0.0033	0.00325	0.87	0.350
Angle*Vacuum	1	0.0031	0.00311	0.84	0.361
Time*Vacuum	1	0.0033	0.00326	0.88	0.349
Angle*Time*Vacuum	1	0.0032	0.00319	0.86	0.355
Error	480	1.7854	0.00372		
Total	487	11.2062			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0609892	84.07%	83.84%	83.57%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	324	351	0.92	0.356	
Angle	-0.0753	0.0816	-0.92	0.356	10379521.25
Time	-0.111	0.119	-0.93	0.351	14024506.21
Vacuum	-35.4	38.3	-0.93	0.355	4302540.99
Angle*Time	0.000026	0.000028	0.94	0.350	36787688.77
Angle*Vacuum	0.00813	0.00889	0.91	0.361	16036702.20
Time*Vacuum	0.0121	0.0129	0.94	0.349	21573045.27
Angle*Time*Vacuum	-0.000003	0.000003	-0.93	0.355	45493883.79

Regression Equation

$$\begin{aligned} \text{Screwdriver Encoder} = & 324 - 0.0753 \text{ Angle} - 0.111 \text{ Time} - 35.4 \text{ Vacuum} + 0.000026 \text{ Angle*Time} \\ & + 0.00813 \text{ Angle*Vacuum} + 0.0121 \text{ Time*Vacuum} \\ & - 0.000003 \text{ Angle*Time*Vacuum} \end{aligned}$$

รูปที่ 4.4 รูปแบบที่ 3 สมการเชิงเส้นประกอบด้วยสองและสามอันตรกิริยา
(Linear Regression with two-and-three-factor Interactions)

รูปแบบที่ 4 คือ สมการถดถอยพหุนามกำลังสอง (Quadratic Regression) ได้ผลดังรูปที่ 4.5

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	6	9.4584	1.57640	433.82	0.000
Angle	1	0.0092	0.00917	2.52	0.113
Angle^2	1	0.0102	0.01016	2.80	0.095
Time	1	0.0039	0.00395	1.09	0.298
Time^2	1	0.0126	0.01258	3.46	0.063
Vacuum	1	0.0178	0.01778	4.89	0.027
Vacuum^2	1	0.0182	0.01820	5.01	0.026
Error	481	1.7478	0.00363		
Total	487	11.2062			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0602805	84.40%	84.21%	83.97%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	20.80	7.44	2.80	0.005	
Angle	-0.00325	0.00204	-1.59	0.113	6668.60
Angle^2	0.000000	0.000000	1.67	0.095	6686.89
Time	-0.00187	0.00179	-1.04	0.298	3279.43
Time^2	0.000001	0.000000	1.86	0.063	3233.30
Vacuum	-2.87	1.30	-2.21	0.027	5055.25
Vacuum^2	0.1609	0.0719	2.24	0.026	5057.61

Regression Equation

$$\text{Screwdriver Encoder} = 20.80 - 0.00325 \text{ Angle} + 0.000000 \text{ Angle}^2 - 0.00187 \text{ Time} + 0.000001 \text{ Time}^2 - 2.87 \text{ Vacuum} + 0.1609 \text{ Vacuum}^2$$

รูปที่ 4.5 รูปแบบที่ 4 สมการถดถอยพหุนามกำลังสอง (Quadratic Regression)

รูปแบบที่ 5 คือ สมการถดถอยพหุนามกำลังสาม (Cubic Regression) ได้ผลดังรูปที่ 4.6

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	9	9.4605	1.05117	287.82	0.000
Angle	1	0.0010	0.00097	0.27	0.606
Angle^2	1	0.0009	0.00091	0.25	0.617
Angle^3	1	0.0008	0.00085	0.23	0.630
Time	1	0.0011	0.00111	0.30	0.581
Time^2	1	0.0011	0.00113	0.31	0.579
Time^3	1	0.0012	0.00121	0.33	0.565
Vacuum	1	0.0000	0.00002	0.01	0.937
Vacuum^2	1	0.0000	0.00001	0.00	0.951
Vacuum^3	1	0.0000	0.00001	0.00	0.966
Error	478	1.7457	0.00365		
Total	487	11.2062			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0604333	84.42%	84.13%	83.78%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	46	283	0.16	0.871	
Angle	-0.054	0.105	-0.52	0.606	17382234.50
Angle^2	0.000013	0.000025	0.50	0.617	69702171.49
Angle^3	-0.000000	0.000000	-0.48	0.630	17476982.94
Time	0.0503	0.0912	0.55	0.581	8457970.07
Time^2	-0.000016	0.000029	-0.56	0.579	33539877.01
Time^3	0.000000	0.000000	0.58	0.565	8327049.49
Vacuum	-6.0	76.0	-0.08	0.937	17284178.01
Vacuum^2	0.51	8.39	0.06	0.951	68548637.59
Vacuum^3	-0.013	0.309	-0.04	0.966	16999967.71

Regression Equation

$$\begin{aligned} \text{Screwdriver Encoder} = & 46 - 0.054 \text{ Angle} + 0.000013 \text{ Angle}^2 - 0.000000 \text{ Angle}^3 + 0.0503 \text{ Time} \\ & - 0.000016 \text{ Time}^2 + 0.000000 \text{ Time}^3 - 6.0 \text{ Vacuum} + 0.51 \text{ Vacuum}^2 \\ & - 0.013 \text{ Vacuum}^3 \end{aligned}$$

รูปที่ 4.6 รูปแบบที่ 5 สมการถดถอยพหุนามกำลังสาม (Cubic Regression)

โดยที่กลุ่มที่ 2 กลุ่มที่เป็นสมการส่วนขยายเพิ่มเติม ซึ่งมาจากผลการวิเคราะห์ของกลุ่มแรก ได้แก่ รูปแบบที่ 6 คือ สมการเชิงเส้นประกอบด้วยอันตรกิริยา X_2X_3 (Linear Regression with X_2X_3 Interaction), รูปแบบที่ 7 คือ สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_4^2 (Linear Regression with X_4^2), รูปแบบที่ 8 คือ สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_3^2 (Linear Regression with X_3^2), รูปแบบที่ 9 คือ สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_3^2 และ X_4^2 (Linear Regression with X_3^2 and X_4^2) และรูปแบบที่ 10 คือ สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_3^2 and X_4^2 แต่ไม่มี X_3 (Linear Regression with X_3^2 and X_4^2 and without X_3) มีผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังต่อไปนี้

รูปแบบที่ 6 คือ สมการเชิงเส้นประกอบด้วยอันตรกิริยา X_2X_3 (Linear Regression with X_2X_3 Interaction) มีแนวคิดมาจากรูปแบบที่ 1 เนื่องจาก X_2 และ X_3 มีผลต่อค่า Y ดังนั้นจึงสันนิษฐาน X_2X_3 ก็น่าจะมีผลต่อค่า Y ด้วย จึงได้รูปแบบที่ 6 ออกมา ได้ผลดังรูปที่ 4.7

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	4	9.4168	2.35420	635.43	0.000
Angle	1	0.0023	0.00232	0.63	0.429
Time	1	0.0003	0.00030	0.08	0.775
Vacuum	1	0.0113	0.01134	3.06	0.081
Angle*Time	1	0.0033	0.00327	0.88	0.348
Error	483	1.7895	0.00370		
Total	487	11.2062			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0608677	84.03%	83.90%	83.68%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-1.14	3.64	-0.31	0.756	
Angle	-0.000673	0.000851	-0.79	0.429	1134.86
Time	0.00035	0.00122	0.29	0.775	1492.26
Vacuum	0.0329	0.0188	1.75	0.081	1.04
Angle*Time	0.000000	0.000000	0.94	0.348	3940.18

Regression Equation

$$\text{Screwdriver Encoder} = -1.14 - 0.000673 \text{ Angle} + 0.00035 \text{ Time} + 0.0329 \text{ Vacuum} + 0.000000 \text{ Angle*Time}$$

รูปที่ 4.7 รูปแบบที่ 6 สมการเชิงเส้นประกอบด้วยอันตรกิริยา X_2X_3

(Linear Regression with X_2X_3 Interaction)

รูปแบบที่ 7 คือ สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_4^2 (Linear Regression with X_4^2) มีแนวคิดมาจาก รูปแบบที่ 4 ซึ่งผลการวิเคราะห์ของรูปแบบที่ 4 พจน์ของสมการถดถอยพหุนามกำลังสอง (Quadratic Regression) นี้ X_2^2 และ X_3^2 ไม่มีผลต่อค่า Y จึงตัดของ X_2^2 และ X_3^2 ออก ได้ผลดังรูป ที่ 4.8

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	4	9.4335	2.35837	642.56	0.000
Angle	1	0.0691	0.06908	18.82	0.000
Time	1	5.9367	5.93669	1617.50	0.000
Vacuum	1	0.0195	0.01955	5.33	0.021
Vacuum^2	1	0.0200	0.01997	5.44	0.020
Error	483	1.7727	0.00367		
Total	487	11.2062			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0605829	84.18%	84.05%	83.91%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	9.13	5.87	1.56	0.120	
Angle	0.000127	0.000029	4.34	0.000	1.35
Time	0.001488	0.000037	40.22	0.000	1.38
Vacuum	-3.00	1.30	-2.31	0.021	5042.61
Vacuum^2	0.1684	0.0722	2.33	0.020	5045.14

Regression Equation

$$\text{Screwdriver Encoder} = 9.13 + 0.000127 \text{ Angle} + 0.001488 \text{ Time} - 3.00 \text{ Vacuum} + 0.1684 \text{ Vacuum}^2$$

รูปที่ 4.8 รูปแบบที่ 7 สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_4^2 (Linear Regression with X_4^2)

รูปแบบที่ 8 คือ สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_3^2 (Linear Regression with X_3^2) มีแนวคิดมาจาก รูปแบบที่ 1 ซึ่งผลการวิเคราะห์ของรูปแบบที่ 1 ได้ X_3 มีผลกระทบมากที่สุด ดังนั้นจึงสันนิษฐาน X_3^2 อาจส่งผลต่อค่า Y ได้ผลดังรูปที่ 4.9

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	4	9.4287	2.35717	640.49	0.000
Angle	1	0.0804	0.08037	21.84	0.000
Time	1	0.0053	0.00527	1.43	0.232
Vacuum	1	0.0112	0.01122	3.05	0.081
Time^2	1	0.0152	0.01515	4.12	0.043
Error	483	1.7776	0.00368		
Total	487	11.2062			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0606652	84.14%	84.01%	83.82%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	1.04	2.77	0.38	0.706	
Angle	0.000170	0.000036	4.67	0.000	2.09
Time	-0.00215	0.00180	-1.20	0.232	3257.50
Vacuum	0.0327	0.0187	1.75	0.081	1.04
Time^2	0.000001	0.000000	2.03	0.043	3207.90

Regression Equation

$$\text{Screwdriver Encoder} = 1.04 + 0.000170 \text{ Angle} - 0.00215 \text{ Time} + 0.0327 \text{ Vacuum} + 0.000001 \text{ Time}^2$$

รูปที่ 4.9 รูปแบบที่ 8 สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_3^2 (Linear Regression with X_3^2)

รูปแบบที่ 9 คือ สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_3^2 และ X_4^2 (Linear Regression with X_3^2 and X_4^2) มีแนวคิดมาจากรูปแบบที่ 4 ที่ซึ่งพจน์ของสมการถดถอยพหุนามกำลังสอง (Quadratic Regression) ได้แก่ X_2^2 และ X_3^2 ไม่มีผลต่อค่า Y แต่ลองตัดเทอมของ X_2^2 ออกเพียงเทอมเดียว ดังนั้นจะได้สมการรูปแบบที่ 9 ออกมา ได้ผลดังรูปที่ 4.10

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	9.4483	1.88965	518.10	0.000
Angle	1	0.0804	0.08039	22.04	0.000
Time	1	0.0051	0.00508	1.39	0.239
Vacuum	1	0.0192	0.01916	5.25	0.022
Time^2	1	0.0148	0.01476	4.05	0.045
Vacuum^2	1	0.0196	0.01959	5.37	0.021
Error	482	1.7580	0.00365		
Total	487	11.2062			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0603926	84.31%	84.15%	83.96%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	14.53	6.44	2.26	0.024	
Angle	0.000170	0.000036	4.69	0.000	2.09
Time	-0.00211	0.00179	-1.18	0.239	3257.80
Vacuum	-2.97	1.30	-2.29	0.022	5043.28
Time^2	0.000001	0.000000	2.01	0.045	3208.31
Vacuum^2	0.1667	0.0720	2.32	0.021	5045.78

Regression Equation

$$\text{Screwdriver Encoder} = 14.53 + 0.000170 \text{ Angle} - 0.00211 \text{ Time} - 2.97 \text{ Vacuum} + 0.000001 \text{ Time}^2 + 0.1667 \text{ Vacuum}^2$$

รูปที่ 4.10 รูปแบบที่ 9 สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_3^2 และ X_4^2
(Linear Regression with X_3^2 and X_4^2)

รูปแบบที่ 10 คือ สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_3^2 and X_4^2 แต่ไม่มี X_3 (Linear Regression with X_3^2 and X_4^2 and without X_3) มีแนวคิดมาจากรูปแบบที่ 4 ที่ซึ่งพจน์ของสมการถดถอยพหุนามกำลังสอง (Quadratic Regression) ได้แก่ X_3 และ X_2^2 ไม่มีผลต่อค่า Y อย่างชัดเจนจึงถูกตัดออก และได้สมการรูปแบบที่ 10 ขึ้นมา ได้ผลดังรูปที่ 4.11

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	4	9.4432	2.36079	646.75	0.000
Angle	1	0.0909	0.09095	24.92	0.000
Vacuum	1	0.0194	0.01935	5.30	0.022
Time^2	1	5.9464	5.94638	1629.04	0.000
Vacuum^2	1	0.0198	0.01978	5.42	0.020
Error	483	1.7631	0.00365		
Total	487	11.2062			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0604172	84.27%	84.14%	84.00%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	11.35	5.85	1.94	0.053	
Angle	0.000144	0.000029	4.99	0.000	1.33
Vacuum	-2.99	1.30	-2.30	0.022	5042.79
Time^2	0.000000	0.000000	40.36	0.000	1.36
Vacuum^2	0.1676	0.0720	2.33	0.020	5045.32

Regression Equation

$$\text{Screwdriver Encoder} = 11.35 + 0.000144 \text{ Angle} - 2.99 \text{ Vacuum} + 0.000000 \text{ Time}^2 + 0.1676 \text{ Vacuum}^2$$

รูปที่ 4.11 รูปแบบที่ 10 สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_3^2 and X_4^2 แต่ไม่มี X_3
(Linear Regression with X_3^2 and X_4^2 and without X_3)

จากการออกแบบการทดสอบรูปแบบของสมการถดถอยพหุคูณ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การทดสอบรูปแบบของสมการถดถอยพหุคูณ

รูปแบบที่	ชื่อรูปแบบ	รูปแบบสมการถดถอยพหุคูณ	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R ²)	R ² (adj)	MS _{error}
1	Simple Linear Regression	$Y = -4.554 + 0.000126 X_2 + 0.001495 X_3 + 0.0322 X_4$	84.00%	83.90%	0.00370
2	Linear Regression with two-factor Interactions	$Y = -0.48 + 0.00018 X_2 - 0.00106 X_3 - 0.030 X_4 + 0.000000 X_2 X_3 - 0.000094 X_2 X_4 + 0.000152 X_3 X_4$	84.04%	83.84%	0.00372
3	Linear Regression with two-and-three-factor Interactions	$Y = 324 - 0.0753 X_2 - 0.111 X_3 - 35.4 X_4 + 0.000026 X_2 X_3 + 0.00813 X_2 X_4 + 0.0121 X_3 X_4 - 0.000003 X_2 X_3 X_4$	84.07%	83.84%	0.00372
4	Quadratic Regression	$Y = 20.80 - 0.00325 X_2 + 0.000000 X_2^2 - 0.00187 X_3 + 0.000001 X_3^2 - 2.87 X_4 + 0.1609 X_4^2$	84.40%	84.21%	0.00363
5	Cubic Regression	$Y = 46 - 0.054 X_2 + 0.000013 X_2^2 - 0.000000 X_2^3 + 0.0503 X_3 - 0.000016 X_3^2 + 0.000000 X_3^3 - 6.0 X_4 + 0.51 X_4^2 - 0.013 X_4^3$	84.42%	84.13%	0.00365
6	Linear Regression with X ₂ X ₃ Interaction	$Y = -1.14 - 0.000673 X_2 + 0.00035 X_3 + 0.0329 X_4 + 0.000000 X_2 X_3$	84.03%	83.90%	0.00370
7	Linear Regression with X ₄ ²	$Y = 9.13 + 0.000127 X_2 + 0.001488 X_3 - 3.00 X_4 + 0.1684 X_4^2$	84.18%	84.05%	0.00367
8	Linear Regression with X ₃ ²	$Y = 1.04 + 0.000170 X_2 - 0.00215 X_3 + 0.0327 X_4 + 0.000001 X_3^2$	84.14%	84.01%	0.00368
9	Linear Regression with X ₃ ² and X ₄ ²	$Y = 14.53 + 0.000170 X_2 - 0.00211 X_3 - 2.97 X_4 + 0.000001 X_3^2 + 0.1667 X_4^2$	84.31%	84.15%	0.00365
10	Linear Regression with X ₃ ² and X ₄ ² and without X ₃	$Y = 11.35 + 0.000144 X_2 - 2.99 X_4 + 0.000000 X_3^2 + 0.1676 X_4^2$	84.27%	84.14%	0.00365

เกณฑ์การพิจารณาเลือกรูปแบบของสมการถดถอยพหุคูณ มีดังนี้

1. ดูจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าสูงที่สุด
2. ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และ R^2 (adj) มีค่าใกล้เคียงกัน
3. ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (MS_{error}) จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) มีค่าน้อยที่สุด
4. ดูค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละพจน์ โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละพจน์ไม่ควรถูกวิเคราะห์ว่ามีค่าเท่ากับศูนย์

เมื่อพิจารณาถึงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่มีค่าสูงที่สุด จะได้รูปแบบสมการ 5 อันดับแรกสูงสุด ดังนี้

สูงสุดอันดับที่ 1 คือ รูปแบบที่ 5 สมการถดถอยพหุนามกำลังสาม (Cubic Regression) ด้วยค่า $R^2 = 84.42\%$

สูงสุดอันดับที่ 2 คือ รูปแบบที่ 4 สมการถดถอยพหุนามกำลังสอง (Quadratic Regression) ด้วยค่า $R^2 = 84.40\%$

สูงสุดอันดับที่ 3 คือ รูปแบบที่ 9 สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_3^2 และ X_4^2 (Linear Regression with X_3^2 and X_4^2) ด้วยค่า $R^2 = 84.31\%$

สูงสุดอันดับที่ 4 คือ รูปแบบที่ 10 สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_3^2 and X_4^2 แต่ไม่มี X_3 (Linear Regression with X_3^2 and X_4^2 and without X_3) ด้วยค่า $R^2 = 84.27\%$

สูงสุดอันดับที่ 5 คือ รูปแบบที่ 7 สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_4^2 (Linear Regression with X_4^2) ด้วยค่า $R^2 = 84.18\%$

เมื่อพิจารณาถึงค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (MS_{error}) จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่มีค่าน้อยที่สุด เรียงลำดับจากน้อยที่สุด ดังนี้

น้อยสุดอันดับที่ 1 คือ รูปแบบที่ 4 สมการถดถอยพหุนามกำลังสอง (Quadratic Regression) ด้วยค่า $MS_{error} = 0.00363$

น้อยสุดอันดับที่ 2 คือ รูปแบบที่ 5 สมการถดถอยพหุนามกำลังสาม (Cubic Regression) ด้วยค่า $MS_{error} = 0.00365$

น้อยสุดอันดับที่ 3 คือ รูปแบบที่ 9 สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_3^2 และ X_4^2 (Linear Regression with X_3^2 and X_4^2) ด้วยค่า $MS_{error} = 0.00365$

น้อยสุดอันดับที่ 4 คือ รูปแบบที่ 10 สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_3^2 and X_4^2 แต่ไม่มี X_3 (Linear Regression with X_3^2 and X_4^2 and without X_3) ด้วยค่า $MS_{error} = 0.00365$

น้อยสุดอันดับที่ 5 คือ รูปแบบที่ 7 สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_4^2 (Linear Regression with X_4^2) ด้วยค่า $MS_{error} = 0.00367$

จะเห็นได้ว่าทุกรูปแบบจะผ่านเกณฑ์ในเรื่องของค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และ R^2 (adj) ที่มีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อมาดูเกณฑ์ของค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละพจน์ ที่ไม่ควรถูกวิเคราะห์ให้มีค่าเท่ากับศูนย์ จะเห็นได้ว่ารูปแบบที่ 4 รูปแบบที่ 5 และรูปแบบที่ 10 ไม่ผ่านเกณฑ์ ซึ่งสามารถดูได้จากรูปที่ 4.5, รูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.11 ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และการวิเคราะห์ความแปรปรวน ได้รูปแบบสมการที่ดีที่สุด คือ รูปแบบที่ 9 สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_3^2 และ X_4^2 (Linear Regression with X_3^2 and X_4^2) ที่ $Y = 14.53 + 0.000170 X_2 - 0.00211 X_3 - 2.97 X_4 + 0.000001 X_3^2 + 0.1667 X_4^2$ (ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สูงสุดและค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (MS_{error}) ต่ำสุด) มาเป็นตัวแทนของข้อมูลนี้



4.3 ส่วนขยายของการกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสม เมื่อพิจารณาถึงค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน สมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation: MAD)

ค่าความคลาดเคลื่อน คือ ผลต่างของค่าที่พยากรณ์กับผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งสามารถหาได้จากค่าความคลาดเคลื่อน = ค่าที่เกิดขึ้นจริง - ค่าที่พยากรณ์ ส่วนค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation: MAD) หาได้จาก

$$MAD = \frac{\sum | \text{ค่าที่เกิดขึ้นจริง} - \text{ค่าที่พยากรณ์} |}{n}$$

ในที่นี้ใช้ข้อมูล 1 วัน ซึ่งมีจำนวนข้อมูล 100 ข้อมูล จากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAD) พบว่ารูปแบบที่ 9 สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_3^2 และ X_4^2 (Linear Regression with X_3^2 and X_4^2) ไม่ใช่รูปแบบที่มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAD) ต่ำที่สุด แต่เป็นรูปแบบที่ 7 สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_4^2 (Linear Regression with X_4^2) ที่มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAD) ต่ำที่สุด มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และ R^2 (adj) ใกล้เคียงกัน ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (MS_{error}) มีค่าไม่สูงมาก ค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละพจน์มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกรูปแบบที่ 7 สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_4^2 (Linear Regression with X_4^2) ที่ $Y = 9.13 + 0.000127 X_2 + 0.001488 X_3 - 3.00 X_4 + 0.1684 X_4^2$ ให้เป็นสมการที่ดีที่สุด ซึ่งสามารถดูผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAD) ได้ดังตารางที่ 4.3

จากนั้นผู้วิจัยทำการวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder) ซึ่งสามารถดูได้จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ดังรูปที่ 4.8 ผลที่ได้คือ เวลา (Time) มีผลต่อค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder) เนื่องจากค่า P-Value < 0.05 หมายความว่า เวลา (Time) มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญและมีค่า F-Value มากที่สุด

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAD)

รูปแบบ ที่	ชื่อรูปแบบ	รูปแบบสมการถดถอยพหุคูณ	MAD
1	Simple Linear Regression	$Y = -4.554 + 0.000126 X_2 + 0.001495 X_3 + 0.0322 X_4$	0.083517308
2	Linear Regression with two-factor Interactions	$Y = -0.48 + 0.00018 X_2 - 0.00106 X_3 - 0.030 X_4 + 0.000000 X_2 X_3 - 0.000094 X_2 X_4 + 0.000152 X_3 X_4$	3.416751887
3	Linear Regression with two-and-three-factor Interactions	$Y = 324 - 0.0753 X_2 - 0.111 X_3 - 35.4 X_4 + 0.000026 X_2 X_3 + 0.00813 X_2 X_4 + 0.0121 X_3 X_4 - 0.000003 X_2 X_3 X_4$	23.18521929
4	Quadratic Regression	$Y = 20.80 - 0.00325 X_2 + 0.000000 X_2^2 - 0.00187 X_3 + 0.000001 X_3^2 - 2.87 X_4 + 0.1609 X_4^2$	2.925836672
5	Cubic Regression	$Y = 46 - 0.054 X_2 + 0.000013 X_2^2 - 0.000000 X_2^3 + 0.0503 X_3 - 0.000016 X_3^2 + 0.000000 X_3^3 - 6.0 X_4 + 0.51 X_4^2 - 0.013 X_4^3$	30.03809513
6	Linear Regression with $X_2 X_3$ Interaction	$Y = -1.14 - 0.000673 X_2 + 0.00035 X_3 + 0.0329 X_4 + 0.000000 X_2 X_3$	3.413944826
7	Linear Regression with X_4^2	$Y = 9.13 + 0.000127 X_2 + 0.001488 X_3 - 3.00 X_4 + 0.1684 X_4^2$	0.058474508
8	Linear Regression with X_3^2	$Y = 1.04 + 0.000170 X_2 - 0.00215 X_3 + 0.0327 X_4 + 0.000001 X_3^2$	3.760926193
9	Linear Regression with X_3^2 and X_4^2	$Y = 14.53 + 0.000170 X_2 - 0.00211 X_3 - 2.97 X_4 + 0.000001 X_3^2 + 0.1667 X_4^2$	3.856391518
10	Linear Regression with X_3^2 and X_4^2 and without X_3	$Y = 11.35 + 0.000144 X_2 - 2.99 X_4 + 0.000000 X_3^2 + 0.1676 X_4^2$	2.2043041

เมื่อพิจารณาถึงค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAD) จะได้รูปแบบสมการ 5 อันดับที่มีค่าน้อยสุด ซึ่งเรียงลำดับจากน้อยสุด ดังนี้

น้อยสุดอันดับที่ 1 คือ รูปแบบที่ 7 สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_4^2 (Linear Regression with X_4^2) ด้วยค่า MAD = 0.058474508

น้อยสุดอันดับที่ 2 คือ รูปแบบที่ 1 สมการเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) ด้วยค่า MAD = 0.083517308

น้อยสุดอันดับที่ 3 คือ รูปแบบที่ 10 สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_3^2 and X_4^2 แต่ไม่มี X_3 (Linear Regression with X_3^2 and X_4^2 and without X_3) ด้วยค่า MAD = 2.2043041

น้อยสุดอันดับที่ 4 คือ รูปแบบที่ 4 สมการถดถอยพหุนามกำลังสอง (Quadratic Regression) ด้วยค่า MAD = 2.925836672

น้อยสุดอันดับที่ 5 คือ รูปแบบที่ 6 สมการเชิงเส้นประกอบด้วยอันตรกิริยา X_2X_3 (Linear Regression with X_2X_3 Interaction) ด้วยค่า MAD = 3.413944826

การวิเคราะห์หาระดับปัจจัยที่เหมาะสมด้วยโปรแกรมมินิแท็บ (Minitab) ของรูปแบบที่ 7 สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_4^2 (Linear Regression with X_4^2) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAD) น้อยสุดอันดับที่ 1 ให้ผลแสดงดังรูปที่ 4.12

Response Optimization: Screwdriver Encoder

Parameters

Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
Screwdriver Encoder	Target	0.5	0.55	1.5	1	1

Solution

Solution	Angle	Time	Vacuum	Vacuum ²	Screwdriver	
					Encoder Fit	Composite Desirability
1	3922.6	2928	9.21889	84.5905	0.55	1

Multiple Response Prediction

Variable	Setting
Angle	3922.6
Time	2928
Vacuum	9.21889
Vacuum ²	84.5905

Response	Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
Screwdriver Encoder	0.5500	0.0285	(0.4941, 0.6059)	(0.4185, 0.6815)

รูปที่ 4.12 การวิเคราะห์หาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์หาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของรูปแบบที่ 7 สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_4^2 (Linear Regression with X_4^2) ที่มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAD) น้อยสุดอันดับที่ 1 จะได้ค่ามุม (X_2) ที่เหมาะสมเท่ากับ 3922.6 รอบ, เวลา (X_3) ที่ใช้ในการขันสกรูที่เหมาะสมเท่ากับ 2928 มิลลิวินาทีและค่าสูญญากาศ (X_4) ที่ใช้ในการหีบสกรูจากรางสกรูที่เหมาะสมเท่ากับ 9.21889 เมกะปาสคาล เมื่อนำค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยไปแทนในรูปแบบที่ 7 สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_4^2 (Linear Regression with X_4^2) จะได้ค่า Y (Screwdriver Encoder) เท่ากับ 0.6403 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าที่ยังอยู่ในช่วงที่กำหนด และเมื่อนำรูปแบบที่ 1 สมการเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAD) น้อยสุดอันดับที่ 2 ไปวิเคราะห์หาระดับปัจจัยที่เหมาะสม จะได้ค่ามุม (X_2) ที่เหมาะสมเท่ากับ 3922.6 รอบ, เวลา (X_3) ที่ใช้ในการขันสกรูที่เหมาะสมเท่ากับ 2928 มิลลิวินาทีและค่าสูญญากาศ (X_4) ที่ใช้ในการหีบสกรูจากรางสกรูที่เหมาะสมเท่ากับ 8.6 เมกะปาสคาล จะเห็นได้ว่ามีเพียงค่าสูญญากาศที่มีค่าแตกต่างจากรูปแบบที่ 7 เมื่อนำค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยไปแทนในรูปแบบที่ 1 สมการเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) จะได้ค่า Y (Screwdriver Encoder) เท่ากับ 0.5945276 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าที่ยังอยู่ในช่วงที่กำหนดเช่นกัน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสาเหตุหลักของปัญหาที่ทำให้เครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler Install) เกิดการทำงานผิดพลาดในกระบวนการขึ้นสกรู ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม โดยมีสรุปผลการวิจัย ดังนี้

- 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน
- 5.2 ข้อจำกัดการดำเนินงาน
- 5.3 ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากปัญหาเครื่องจักรสปอยเลอร์ (Spoiler Install) ขึ้นสกรูเพื่อยึดชิ้นส่วนสปอยเลอร์ (Spoiler) ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ไม่แน่น โดยผู้วิจัยได้เริ่มทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อกรองปัจจัยเบื้องต้นของตัวแปรอิสระทั้ง 4 ตัว ได้แก่ ค่าแรงบิด (Torque), ค่ามุม (Angle), เวลา (Time) และค่าสูญญากาศ (Vacuum) พบว่าค่าแรงบิด (Torque)) ไม่มีความสัมพันธ์กับค่าค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder) ผู้วิจัยจึงตัดข้อมูลของค่าแรงบิด (Torque) ออกจากการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และการวิเคราะห์ความแปรปรวน ได้รูปแบบสมการที่ดีที่สุด คือ รูปแบบที่ 9 สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_3^2 และ X_4^2 (Linear Regression with X_3^2 and X_4^2) ที่ $Y = 14.53 + 0.000170 X_2 - 0.00211 X_3 - 2.97 X_4 + 0.000001 X_3^2 + 0.1667 X_4^2$ เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สูงสุดและค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (MS_{error}) ต่ำสุด แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAD) พบว่ารูปแบบที่ 9 สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_3^2 และ X_4^2 (Linear Regression with X_3^2 and X_4^2) ไม่ใช่รูปแบบที่มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAD) ต่ำที่สุด แต่เป็นรูปแบบที่ 7 สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_4^2 (Linear Regression with X_4^2) ที่มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (MAD) ต่ำที่สุด มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และ R^2 (adj) ใกล้เคียงกัน ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง (MS_{error}) มีค่าไม่สูงมาก ค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละพจน์มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกรูปแบบที่ 7 สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_4^2 (Linear Regression with X_4^2) ที่ $Y = 9.13 + 0.000127 X_2 + 0.001488 X_3 - 3.00 X_4 + 0.1684 X_4^2$ ให้เป็นสมการที่ดีที่สุด

จากนั้นผู้วิจัยทำการวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder) ซึ่งสามารถดูได้จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ผลที่ได้คือ เวลา (Time) มีผลต่อค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder) เนื่องจากค่า P-Value < 0.05 หมายความว่า เวลา (Time) มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญและมีค่า F-Value มากที่สุด และเมื่อทำการวิเคราะห์หาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของรูปแบบที่ 7 สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_4^2 (Linear Regression with X_4^2) จะได้ค่ามุม (X_2) ที่เหมาะสมเท่ากับ 3922.6 รอบ, เวลา (X_3) ที่ใช้ในการขันสกรูที่เหมาะสมเท่ากับ 2928 มิลลิวินาทีและค่าสูญญากาศ (X_4) ที่ใช้ในการหยิบสกรูจากรางสกรูที่เหมาะสมเท่ากับ 9.21889 เมกะปาสคาล เมื่อนำค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยไปแทนในรูปแบบที่ 7 สมการเชิงเส้นประกอบด้วย X_4^2 (Linear Regression with X_4^2) จะได้ค่า Y (Screwdriver Encoder) เท่ากับ 0.6403 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าที่ยังอยู่ในช่วงที่กำหนด

5.2 ข้อจำกัดการดำเนินงาน

ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ระดับปัจจัยที่เหมาะสมไม่สามารถทำการทดลองกับเครื่องจักรจริงได้ เนื่องจากสายการผลิตที่ทำการศึกษาคือสายการผลิตแบบประกอบอัตโนมัติ จึงไม่สามารถหยุดการทำงานของเครื่องจักรได้ทันที ซึ่งจะทำให้การทดลองได้ก็ต่อเมื่อมีการซ่อมบำรุงสายการผลิตเท่านั้น เพราะสายการผลิตนี้เป็นสายการผลิตแบบทำงานตามลำดับขั้นตอนและทำงานแบบต่อเนื่อง

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากสายการผลิตที่ทำการศึกษาคือสายการผลิตแบบประกอบอัตโนมัติ มีกระบวนการทำงานตามลำดับขั้นตอนและทำงานแบบต่อเนื่อง ซึ่งในอนาคตควรมีเครื่องจักรสำรองเพื่อที่จะสามารถทำการทดลองหรือทดสอบเมื่อเครื่องจักรเกิดปัญหาได้ โดยไม่ต้องหยุดการทำงานของเครื่องจักรทั้งสายการผลิต
2. สามารถนำวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้ ไปประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรตัวอื่นๆ ที่มีกระบวนการขันสกรูได้
3. สามารถนำสมการที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณไปประยุกต์ใช้ในการทำวิธีการเรียนรู้ด้วยตัวเองของคอมพิวเตอร์หรือแมชชีน เลิร์นนิง (Machine Learning) ได้ เพื่อที่จะสามารถทำการตรวจจับความผิดปกติในการทำงานของเครื่องจักรและป้องกันการเกิดของเสีย

รายการอ้างอิง

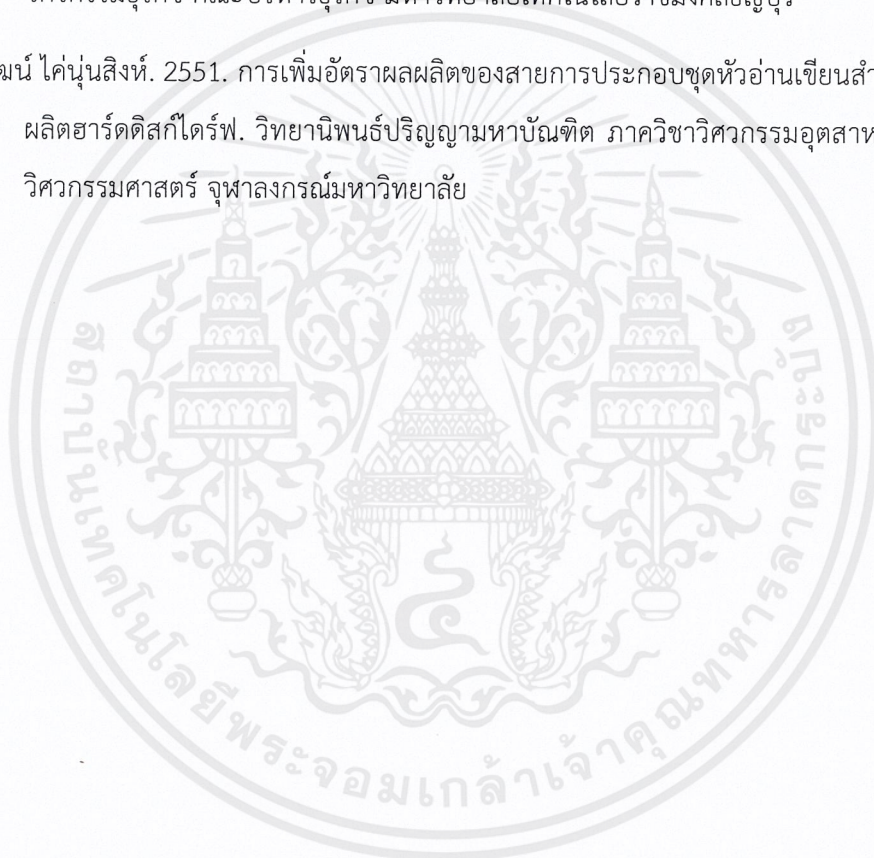
- กรรณิการ์ จะกอ. 2555. ปัจจัยทางเศรษฐกิจที่มีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงปริมาณเงินฝากของ ธนาคารพาณิชย์ที่จดทะเบียนในตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย. วิทยาลัยราชพฤกษ์
- กันตา สุวรรณฤทธิ์. 2553. การลดของเสียในกระบวนการเขียนสัญญาฉบับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยใช้ แนวคิดลีน ชิکش ชิکشมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- จารุพล สุริยวานกุล เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต. 2556. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสปอยเลอร์ ที่มีความยาว 150 องศาตามแนวเส้นรอบวง. วารสารวิจัย มข. ปีที่ 18 ฉบับที่ 5 กันยายน - ตุลาคม 2556 : 844
- ธารรัตน์ ชาญสูงเนิน. 2557. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความตรงของชิ้นงานกับแรงตัดใน กระบวนการกลึง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ปริญ ไทยแท้. 2554. การวัดผลิตภาพแรงงานในกลุ่มอุตสาหกรรมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม สาขาวิชาวิศวกรรม อุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปกร
- พงศ์ศักดิ์ คงทรัพย์. 2552. ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต ADSL ในเขต กรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาการจัดการโทรคมนาคม คณะ วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
- พริมพีธีรา พิมพานนท์. 2557. การประยุกต์วิศวกรรมคุณค่าและชิکشชิกมาในกระบวนการตัดยึด หัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- วันเฉลิม วรรณสถิตย์. 2559. เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools). บริษัท บิซิเนส บลูเท็น เซอร์วิส จำกัด : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- สุชญา ชูพล. 2560. ผลกระทบของเหตุการณ์ทางการเมืองต่อผลการดำเนินงานและความเสี่ยงของ กิจการ กรณีเหตุการณ์ปีพ.ศ. 2556-2557. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาการ บัญชีธุรกิจแบบบูรณาการ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

สุทิน ชนะบุญ. 2560. สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยเบื้องต้น. บทที่ 6 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงอนุมาณ, 148. ขอนแก่น : สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดขอนแก่น

สุพิชชา ถวิลไพร จารุพล สุริยวานากุล เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต. 2560. การลดความเร็วการไหลของก๊าซฮีเลียมในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยใช้สปอยเลอร์. วิศวกรรมลาดกระบัง ปีที่ 34 ฉบับที่ 3 กันยายน 2560 : 35.

อมร กลัดคร้าม. 2560. ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณความเสียหายของมิเตอร์ไฟฟ้า: กรณีศึกษา การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอบางปะอิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรมธุรกิจ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อัศววัฒน์ ไคนุ่นสิงห์. 2551. การเพิ่มอัตราผลผลิตของสายการประกอบชุดหัวอ่านเขียนสำเร็จในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลของค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder) ของวันที่ 8 กันยายน 2562



รูปที่ ๗1 ค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder) ของวันที่ 8 กันยายน 2562

ข้อมูลของค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder) ของวันที่ 9 กันยายน 2562



รูปที่ ๘2 ค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder) ของวันที่ 9 กันยายน 2562

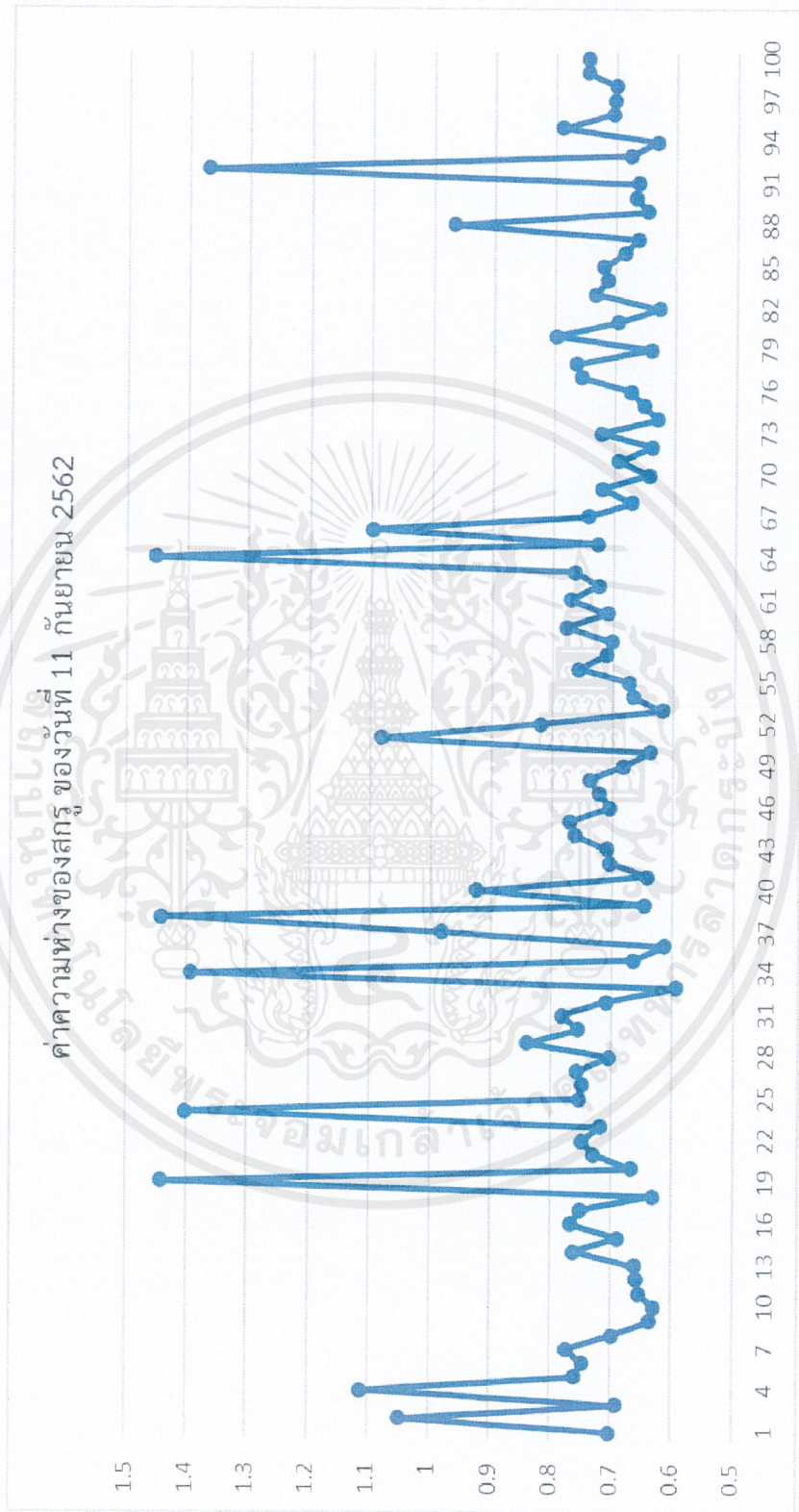
ข้อมูลของค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder) ของวันที่ 10 กันยายน 2562



รูปที่ ๓3 ค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder) ของวันที่ 10 กันยายน 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลของค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder) ของวันที่ 11 กันยายน 2562



รูปที่ ๗4 ค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder) ของวันที่ 11 กันยายน 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลของค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder) ของวันที่ 12 กันยายน 2562



รูปที่ ๗5 ค่าความห่างของสกรู (Screwdriver Encoder) ของวันที่ 12 กันยายน 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของ 4 ปัจจัย

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	4	9.4177	2.35443	635.83	0.000
Torque	1	0.0042	0.00421	1.14	0.287
Angle	1	0.0679	0.06791	18.34	0.000
Time	1	6.0406	6.04057	1631.29	0.000
Vacuum	1	0.0107	0.01069	2.89	0.090
Error	483	1.7885	0.00370		
Total	487	11.2062			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0608517	84.04%	83.91%	83.72%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-2.67	1.78	-1.50	0.134	
Torque	-1.26	1.18	-1.07	0.287	1.00
Angle	0.000126	0.000029	4.28	0.000	1.35
Time	0.001495	0.000037	40.39	0.000	1.37
Vacuum	0.0319	0.0188	1.70	0.090	1.04

Regression Equation

Screwdriver Encoder = -2.67 - 1.26 Torque + 0.000126 Angle + 0.001495 Time + 0.0319 Vacuum

รูปที่ ๗6 สมการเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression)

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	10	9.4299	0.942987	253.22	0.000
Torque	1	0.0011	0.001110	0.30	0.585
Angle	1	0.0036	0.003630	0.97	0.324
Time	1	0.0010	0.000977	0.26	0.609
Vacuum	1	0.0036	0.003603	0.97	0.326
Torque*Angle	1	0.0037	0.003717	1.00	0.318
Torque*Time	1	0.0012	0.001164	0.31	0.576
Torque*Vacuum	1	0.0035	0.003537	0.95	0.330
Angle*Time	1	0.0060	0.005993	1.61	0.205
Angle*Vacuum	1	0.0007	0.000711	0.19	0.662
Time*Vacuum	1	0.0001	0.000132	0.04	0.851
Error	477	1.7764	0.003724		
Total	487	11.2062			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0610248	84.15%	83.82%	83.44%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-69	126	-0.55	0.584	
Torque	45.8	84.0	0.55	0.585	5029.43
Angle	-0.0193	0.0196	-0.99	0.324	596638.33
Time	0.0142	0.0276	0.51	0.609	761049.76
Vacuum	11.7	11.9	0.98	0.326	415765.34
Torque*Angle	0.0128	0.0128	1.00	0.318	570362.72
Torque*Time	-0.0101	0.0181	-0.56	0.576	729133.19
Torque*Vacuum	-7.71	7.91	-0.97	0.330	412587.82
Angle*Time	0.000000	0.000000	1.27	0.205	4877.79
Angle*Vacuum	-0.000093	0.000213	-0.44	0.662	9205.19
Time*Vacuum	0.000077	0.000410	0.19	0.851	21731.76

Regression Equation

$$\begin{aligned} \text{Screwdriver Encoder} = & -69 + 45.8 \text{ Torque} - 0.0193 \text{ Angle} + 0.0142 \text{ Time} + 11.7 \text{ Vacuum} \\ & + 0.0128 \text{ Torque*Angle} - 0.0101 \text{ Torque*Time} - 7.71 \text{ Torque*Vacuum} \\ & + 0.000000 \text{ Angle*Time} - 0.000093 \text{ Angle*Vacuum} + 0.000077 \text{ Time*Vacuum} \end{aligned}$$

รูปที่ ๗7 สมการเชิงเส้นประกอบด้วยสองอันตรกิริยา

(Linear Regression with two-factor Interactions)

The following terms cannot be estimated and were removed:
Torque*Angle*Time, Torque*Time*Vacuum, Torque*Angle*Time*Vacuum

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	11	9.4324	0.857494	230.11	0.000
Torque	1	0.0012	0.001208	0.32	0.569
Angle	1	0.0040	0.004017	1.08	0.300
Time	1	0.0018	0.001780	0.48	0.490
Vacuum	1	0.0009	0.000944	0.25	0.615
Torque*Angle	1	0.0032	0.003226	0.87	0.353
Torque*Time	1	0.0012	0.001177	0.32	0.574
Torque*Vacuum	1	0.0034	0.003370	0.90	0.342
Angle*Time	1	0.0026	0.002647	0.71	0.400
Angle*Vacuum	1	0.0025	0.002492	0.67	0.414
Time*Vacuum	1	0.0026	0.002591	0.70	0.405
Angle*Time*Vacuum	1	0.0026	0.002557	0.69	0.408
Error	476	1.7738	0.003726		
Total	487	11.2062			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0610449	84.17%	83.81%	83.41%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	220	371	0.59	0.554	
Torque	47.9	84.0	0.57	0.569	5033.64
Angle	-0.0860	0.0828	-1.04	0.300	10679926.07
Time	-0.084	0.122	-0.69	0.490	14870166.74
Vacuum	-20.4	40.6	-0.50	0.615	4828121.69
Torque*Angle	0.0119	0.0128	0.93	0.353	573911.95
Torque*Time	-0.0102	0.0181	-0.56	0.574	729143.46
Torque*Vacuum	-7.53	7.92	-0.95	0.342	412903.65
Angle*Time	0.000023	0.000028	0.84	0.400	37112763.56
Angle*Vacuum	0.00731	0.00894	0.82	0.414	16181742.60
Time*Vacuum	0.0108	0.0130	0.83	0.405	21766952.58
Angle*Time*Vacuum	-0.000003	0.000003	-0.83	0.408	45904499.33

Regression Equation

$$\begin{aligned} \text{Screwdriver Encoder} = & 220 + 47.9 \text{ Torque} - 0.0860 \text{ Angle} - 0.084 \text{ Time} - 20.4 \text{ Vacuum} \\ & + 0.0119 \text{ Torque*Angle} - 0.0102 \text{ Torque*Time} - 7.53 \text{ Torque*Vacuum} \\ & + 0.000023 \text{ Angle*Time} + 0.00731 \text{ Angle*Vacuum} + 0.0108 \text{ Time*Vacuum} \\ & - 0.000003 \text{ Angle*Time*Vacuum} \end{aligned}$$

รูปที่ ๘8 สมการเชิงเส้นประกอบด้วยสองและสามอันตรกิริยา
(Linear Regression with two-and-three-factor Interactions)