การลดข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล ในกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

นายประพจน์ ฤทัยผุดผ่อง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

LOSS OF WRITE/READ AREA DEFECT REDUCTION IN HARD DISK DRIVE ASSEMBLY PROCESS

MR. PRAPOD RUTHAIPUTPONG

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลในกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ
โดย	นายประพจน์ ฤทัยผุดผ่อง
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังศุมาลิน เสนจันทร์ฒิไชย)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญวา ธรรมพิทักษ์กุล)

ประพจน์ ฤทัยผุดผ่อง : การลดข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลในกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ. (Loss of Write/Read Area Defect Reduction in Hard disk drive Assembly Process) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ, 254 หน้า.

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อทำการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการในการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ขนาด 2.5 นิ้วโดยลดข้อบกพร่องประเภท การสูญเสียพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลบริเวณแทร็คเริ่มต้น แทร็คสุดท้าย และความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล การทำวิจัยจะประกอบด้วย 5 ขั้นตอนตามแนวคิดของซิกซ์ ซิกมา เริ่มต้นจากการนิยามปัญหาในเบื้องต้น (Define) และศึกษาสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในสายการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ตลอดจนกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการปรับปรุงให้ชัดเจน ต่อมาในระยะของการวัด (Measure) มีการวิเคราะห์ถึงคุณสมบัติความเที่ยงของระบบการวัด และพิจารณาความสามารถของกระบวนการผลิตในปัจจุบัน จากนั้นจึงทำการระดมสมองของคนในทีมเพื่อวิเคราะห์ถึงสาเหตุที่เป็นไปได้ของความผันแปรของค่าแทร็คเริ่มต้น แทร็คสุดท้าย และความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลและจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าโดยใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล เมื่อได้ปัจจัยนำเข้าที่คาดว่าอาจมีผลอย่างมีนัยสำคัญ ในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze) จึงนำปัจจัยนำเข้าเหล่านี้มาออกแบบการทดลองเพื่อพิสูจน์หาปัจจัยที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ยและความผันแปรของค่าตอบสนอง ส่วนในระยะการปรับปรุงกระบวนการ (Improve) จะทำการหาระดับของปัจจัยที่ทำได้ค่าตัวแปรตอบสนองที่ดีที่สุดโดยใช้เทคนิคการหาพื้นผิวตอบสนอง ระยะสุดท้ายของการติดตามและควบคุมกระบวนการผลิต (Control) ได้จัดทำแผนควบคุมเพื่อตรวจติดตามผลลัพธ์และควบคุมปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญ

หลังจากทำการปรับปรุงตามแนวคิดซิกซ์ ซิกมาพบว่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการของค่าตัวแปรตอบสนองทั้งสามมีค่ามากกว่า 1.33 และสามารถลดมูลค่าความสูญเสียรวมได้เท่ากับ 1,259,332 บาท/เดือน

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2555

#5371506621 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : SIX SIGMA / DEFECT REDUCTION/ HARD DISK DRIVE ASSEMBLY PROCESS

PRAPOD RUTHAIPUTPONG: LOSS OF WRITE/READ AREA DEFECT REDUCTION IN HARD DISK DRIVE ASSEMBLY PROCESS. ADVISOR: ASST.PROF.NAPASSAVONG ROJANAROWAN, Ph.D, 254 pp.

This research aims to improve the process capability of the assembly process of hard disks of size 2.5 inches by reducing loss of write/read area on track zero, track maximum and the number of tracks per inch. This research follows the Six Sigma approach, which consists of five phases. Firstly in the define phase the problem, the objectives and the scope of the project were identified. In the measurement phase, the gage repeatability and reproducibility analysis and the process capability analysis of the three responses were performed. Then, the potential causes of variation were brainstormed and prioritized by using the Cause & Effect Matrix. Next in the analysis phase, the design of experiment (DOE) technique was used to determine significant causes to the mean and the standard deviation of the three responses. In the improvement phase, the response surface methodology was applied to define suitable factor levels that offer the mean of the responses closest to target. Finally In control phase, the control plan was set up to monitor responses and control the key process input variables.

After the implementation of the new condition setting, the process capability indices of the three responses were higher than the acceptable standard value of 1.33. In addition, it was expected that the cost could be saved by 1,259,332 baht per month.

Department INDUSTRIAL ENGINEERING Student's Signature .....

Field of Study INDUSTRIAL ENGINEERING Advisor's Signature.....

Academic Year 2012

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดีจากความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้เสียสละเวลาในการให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ระหว่างการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องด้วยความเอาใจใส่เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ที่สุด

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.อังศุมาลิน เสนจันทร์ฒิไชย กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.บุญวา ธรรมพิทักษ์กุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องจึงทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณบริษัทกรณีศึกษาเป็นอย่างสูงที่ให้โอกาสผู้วิจัยได้เข้าไปทำการศึกษาวิจัย ให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลและทำการทดลองเป็นอย่างดี และขอขอบพระคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ คณะทำงานที่ช่วยกันระดมสมอง ให้คำแนะนำ ความรู้ และความช่วยเหลือต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยเป็นอย่างยิ่ง

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จ ให้ความช่วยเหลือสนับสนุน และให้กำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่มิได้กล่าวไว้ใน ณ ที่นี้ด้วยซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้งานวิจัยนี้ประสบผลสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 2

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน..... 3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5

2.1 ต้นทุนคุณภาพ..... 5

2.2 การปรับปรุงคุณภาพตามแนวซิกซ์ ซิกมา..... 7

2.3 ผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ..... 18

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 21

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัยในระยะนิยามปัญหา..... 34

3.1 บทนำ..... 34

3.2 การศึกษากระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ..... 34

3.3 การศึกษาสภาพปัญหาในปัจจุบัน..... 35

3.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 47

3.5 การจัดตั้งคณะทำงาน..... 47

3.6 สรุปผลการดำเนินงานระยะนิยามปัญหา..... 48

หน้า

บทที่ 4 การศึกษาวิจัยเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลบริเวณแทร็คเริ่มต้น 49
4.1 บทนำ..... 49
4.2 การดำเนินการวิจัยในระยะการเก็บข้อมูลและกำหนดสาเหตุเบื้องต้นของปัญหา..... 49
4.3 การดำเนินการวิจัยในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาสำหรับค่าแทร็คเริ่มต้น..... 70
4.4 การดำเนินการวิจัยในระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ..... 90
4.5 การดำเนินการวิจัยในระยะการติดตามควบคุม..... 101

บทที่ 5 การศึกษาวิจัยเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลบริเวณแทร็คสุดท้าย 112
5.1 บทนำ..... 112
5.2 การดำเนินการวิจัยในระยะการเก็บข้อมูลและกำหนดสาเหตุเบื้องต้นของปัญหา..... 112
5.3 การดำเนินการวิจัยในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาสำหรับค่าแทร็คสุดท้าย..... 137
5.4 การดำเนินการวิจัยในระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ..... 155
5.5 การดำเนินการวิจัยในระยะการติดตามควบคุม..... 159

บทที่ 6 การศึกษาวิจัยเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล..... 171
6.1 บทนำ..... 171
6.2 การดำเนินการวิจัยในระยะการเก็บข้อมูลและกำหนดสาเหตุเบื้องต้นของปัญหา..... 171
6.3 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการสำหรับตัวแปรตอบสนองค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล..... 196

หน้า

6.4 การดำเนินการวิจัยในระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ..... 213
6.5 การดำเนินการวิจัยในระยะการติดตามควบคุม..... 217

บทที่ 7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... 228
7.1 บทนำ..... 228
7.2 บทสรุปการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลบริเวณแทร็คเริ่มต้น..... 228
7.3 บทสรุปการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลบริเวณแทร็คสุดท้าย..... 230
7.4 บทสรุปการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล..... 232
7.5 บทสรุปการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลในกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ..... 234
7.6 ข้อจำกัดในงานวิจัย..... 234
7.7 ปัญหาและอุปสรรคในการทำวิจัย..... 235
7.8 ข้อเสนอแนะ..... 235

รายการอ้างอิง..... 236
ภาคผนวก..... 240
ภาคผนวก ก..... 241
ภาคผนวก ข..... 251
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 254

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การศึกษางานวิจัยในอดีตและแนวทางประยุกต์ใช้.....	26
2.2	เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคการออกแบบการทดลอง Box- Behnken Design (BBD), Central Composite Design (CCD) และ Doehlert Design (DM).....	32
2.3	เปรียบเทียบ fitted degree ของแบบการทดลองCCD.....	33
3.1	ค่าใช้จ่ายที่เกิดของเสียในกระบวนการทดสอบคุณลักษณะทางกลของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แยกตามประเภทของข้อบกพร่องต่างๆ.....	39
3.2	คณะทำงานโครงการโครงการปรับปรุงคุณภาพเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล.....	47
3.3	Project Charter สำหรับโครงการปรับปรุงคุณภาพเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล.....	48
4.1	การกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างสำหรับข้อมูลเชิงปริมาณ.....	51
4.2	ตารางเก็บข้อมูลเพื่อประเมินคุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัดข้อมูลแทร็คเริ่มต้น.....	52
4.3	ผลการวิเคราะห์ผลทางสถิติของระบบการวัดข้อมูลแทร็คเริ่มต้นโดยวิธีการวิเคราะห์ควาแปรปรวน.....	53
4.4	การคำนวณหาขนาดตัวอย่างของในการประเมินความสามารถของกระบวนการสำหรับแทร็คเริ่มต้น.....	56
4.5	ผลการให้คะแนนเพื่อวิเคราะห์สาเหตุที่เป็นไปได้ของการเกิดความผันแปรของค่าแทร็คเริ่มต้น.....	61
4.6	การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าแทร็คเริ่มต้น.....	65
4.7	สรุปผลปัจจัยที่จะนำมาทดสอบความมีนัยสำคัญสำหรับความผันแปรของค่าแทร็คเริ่มต้น.....	69

ตารางที่ **หน้า**

4.8	การกำหนดสัญลักษณ์และระดับของปัจจัยนำเข้าสำหรับตัวแปรตอบสนองแทร็คเริ่มต้น……..	72
4.9	ผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแทร็คเริ่มต้น ……..……	74
4.10	การเปรียบเทียบแบบการทดลองสำหรับการหาพื้นผิวตอบสนองของแทร็คเริ่มต้น……..……..	91
4.11	การเปรียบเทียบแบบการทดลองสำหรับการหาพื้นผิวตอบสนองของแทร็คเริ่มต้น……	92
4.12	ผลการทดลองหาค่าผลตอบของแทร็คเริ่มต้นโดยใช้แผนการทดลองแบบบอกซ์-เบห์นเคน……	93
4.13	ระดับการปรับตั้งปัจจัยที่เหมาะสมต่อผลตอบสนองแทร็คเริ่มต้น……	100
4.14	วิธีการปรับตั้งระดับปัจจัยสำหรับการยืนยันผลค่าแทร็คเริ่มต้น (เฉพาะปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ)……	102
4.15	แผนการควบคุม (Control Plan) สำหรับปัจจัยนำเข้าที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าแทร็คเริ่มต้น……...	104
4.16	เปรียบผลของดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุงของตัวแปรตอบสนองค่าแทร็คเริ่มต้น……..	110
5.1	ตารางเก็บข้อมูลเพื่อประเมินคุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัดข้อมูลแทร็คสุดท้าย……	115
5.2	ผลการวิเคราะห์ผลทางสถิติของระบบการวัดข้อมูลแทร็คสุดท้ายโดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน……	116
5.3	การคำนวณหาขนาดตัวอย่างของในการประเมินความสามารถของกระบวนการของค่าแทร็คสุดท้าย……...	119
5.4	ผลการให้คะแนนเพื่อวิเคราะห์สาเหตุที่เป็นไปได้ของการเกิดความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้าย……...	124
5.5	การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้าย……	129

ตารางที่ **หน้า**

5.6	สรุปผลปัจจัยที่จะนำมาทดสอบความมีนัยสำคัญสำหรับความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้าย……	136
5.7	การกำหนดสัญลักษณ์และระดับของปัจจัยนำเข้าสำหรับตัวแปรตอบสนอง “แทร็คสุดท้าย”……..	139
5.8	ผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแทร็คสุดท้าย……..	140
5.9	ปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าแทร็คสุดท้าย……	155
5.10	ระดับการปรับตั้งปัจจัยที่เหมาะสมต่อผลตอบสนองแทร็คสุดท้าย……..	157
5.11	วิธีการปรับตั้งระดับปัจจัยสำหรับการยืนยันผลค่าแทร็คสุดท้าย (เฉพาะปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ)……	160
5.12	แผนการควบคุม (Control Plan) สำหรับปัจจัยนำเข้าที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าแทร็คสุดท้าย……	162
5.13	เปรียบผลของดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุงของตัวแปรตอบสนองค่าแทร็คสุดท้าย……	169
6.1	ตารางเก็บข้อมูลเพื่อประเมินคุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัดข้อมูลความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล……..	173
6.2	ผลการวิเคราะห์ผลทางสถิติของระบบการวัดความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลโดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน……	175
6.3	การคำนวณหาขนาดตัวอย่างของในการประเมินความสามารถของกระบวนการของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล……	178
6.4	ผลการให้คะแนนเพื่อวิเคราะห์สาเหตุที่เป็นไปได้ของการเกิดความผันแปรของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล……	183
6.5	การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล……	188
6.6	สรุปผลปัจจัยที่จะนำมาทดสอบความมีนัยสำคัญสำหรับความผันแปรของความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล……..	195

ตารางที่ **หน้า**

6.7 การกำหนดสัญลักษณ์และระดับของปัจจัยนำเข้าสำหรับตัวแปรตอบสนอง “ความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล”..... 198

6.8 ผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล..... 200

6.9 ปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล..... 213

6.10 ระดับการปรับตั้งปัจจัยที่เหมาะสมต่อผลตอบสนองความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล..... 215

6.11 วิธีการปรับตั้งระดับปัจจัยสำหรับการยืนยันผลค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล (เฉพาะปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ)..... 218

6.12 แผนการควบคุม (Control Plan) สำหรับปัจจัยนำเข้าที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล..... 220

6.13 เปรียบผลของดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุงของตัวแปรตอบสนองค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล..... 226

สารบัญภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	การทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่ไม่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย……..	16
รูปที่ 2.2	การออกแบบบอกซ์ – เบห์นเคน สำหรับสามตัวแปร……..	17
รูปที่ 2.3	ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ……...	18
รูปที่ 2.4	พื้นที่การเขียนอ่านบนแผ่นจานบันทึกข้อมูล……...	20
รูปที่ 2.5	แนวโน้มของการศึกษาวิจัยทางด้านอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ……	21
รูปที่ 2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของแทร็คและความหนาแน่นเชิงเส้นที่ความกว้างแทร็ค 0.3 และ 0.5 ไมครอน……	23
รูปที่ 2.7	ลักษณะการบิดตัวของแผ่นจานบันทึกข้อมูลอันเนื่องมาจากแรงกดทับ….	24
รูปที่ 2.8	ค่าเฉลี่ยของแบบจำลองการวันและจำนวนการทดลองซ้ำ……..	32
รูปที่ 3.1	แผนภาพการไหลของชิ้นงานในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์……..	35
รูปที่ 3.2	สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการทดสอบทางกลแยกตามข้อบกพร่อง……	36
รูปที่ 3.3	พาเรโตสัดส่วนข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการทดสอบคุณลักษณะทางกลของผลิตภัณฑ์……...	38
รูปที่ 3.4	พาเรโตแสดงต้นทุนความสูญเสียโดยรวมแยกตามประเภทของข้อบกพร่อง……	40
รูปที่ 3.5	พาเรโตแสดงจำนวนของเสียหน่วยในล้านชิ้น แยกตามประเภทข้อบกพร่องในการเขียนอ่านข้อมูล……...	41
รูปที่ 3.6	ขอบเขตพื้นที่ในกระบวนการเขียนอ่านข้อมูลบนแผ่นจานบันทึกข้อมูล…..	42
รูปที่ 3.7	ความสามารถของกระบวนการในการอ่านค่าตำแหน่งแทร็คเริ่มต้น……..	43
รูปที่ 3.8	ความสามารถของกระบวนการในการอ่านค่าตำแหน่งแทร็คสุดท้าย……..	44
รูปที่ 3.9	พื้นที่ความหนาแน่นในการเก็บข้อมูลบนแผ่นจานบันทึกข้อมูล……...	45
รูปที่ 3.10	ความสามารถของกระบวนการในการอ่านค่าความหนาแน่นของแทร็ค….	46
รูปที่ 4.1	การประมวลผลคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัดข้อมูลแทร็คเริ่มต้นด้วยโปรแกรม Minitab16 ……	52

หน้า

รูปที่ 4.2	การทดสอบสมมติฐานการกระจายตัวแบบปกติ (Normality Test) ของแทร็คเริ่มต้น……..	57
รูปที่ 4.3	ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในการวัดค่าแทร็คเริ่มต้นโดยใช้โปรแกรม Minitab…….	58
รูปที่ 4.4	แผนผังสาเหตุและผลของความผันแปรของค่าแทร็คเริ่มต้น……	60
รูปที่ 4.5	ผลการให้คะแนนเพื่อวิเคราะห์สาเหตุที่เป็นไปได้ของการเกิดความผันแปรของค่าแทร็คเริ่มต้น……...	61
รูปที่ 4.6	พาเรโตลำดับความสำคัญปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อการเกิดความผันแปรของค่าแทร็คเริ่มต้น…….	64
รูปที่ 4.7	กำลังและจำนวนซ้ำ (Replication) สำหรับตัวแปรตอบสนอง “แทร็คเริ่มต้น” …….	72
รูปที่ 4.8	ผลการทดสอบสมมติฐานการแจกแจงแบบปกติของส่วนตกค้างแทร็คเริ่มต้น……..	76
รูปที่ 4.9	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างของค่าแทร็คเริ่มต้นตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล…….	77
รูปที่ 4.10	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตของค่าแทร็คเริ่มต้น……...	78
รูปที่ 4.11	กราฟ Normal Plot ผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คเริ่มต้น…….	79
รูปที่ 4.12	แผนภาพพาเรโตแสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คเริ่มต้น…….	79
รูปที่ 4.13	ปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญ……..	80
รูปที่ 4.14	อันตรกิริยา (Interaction) ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญ……	80
รูปที่ 4.15	ผลการวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของค่าแทร็คเริ่มต้น……...	81

หน้า

รูปที่ 4.16	ผลของปัจจัย A จำนวนรอบของการคลาย Ramp Screw ต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คเริ่มต้น……..	82
รูปที่ 4.17	ผลของปัจจัย B ระยะความสูงของ rotate pin ต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คเริ่มต้น……	84
รูปที่ 4.18	ผลของปัจจัย C แรงดันของกระบอกสูบต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คเริ่มต้น …….	84
รูปที่ 4.19	กราฟ Normal Plot ผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแทร็คเริ่มต้น……	85
รูปที่ 4.20	แผนภาพพาเรโตแสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแทร็คเริ่มต้น……	85
รูปที่ 4.21	ปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีผลต่อส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแทร็คเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญ……	86
รูปที่ 4.22	อันตรกิริยา (Interaction) ที่มีผลต่อส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแทร็คเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญ……	86
รูปที่ 4.23	ผลการวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแทร็คเริ่มต้น……	87
รูปที่ 4.24	ผลของปัจจัยหลัก D ระยะหดตัวของสปริงที่มีผลต่อค่า ln s ของค่าแทร็คเริ่มต้น ……..	88
รูปที่ 4.25	ผลของปัจจัยหลัก E ค่า Torque ของ Ramp Screw ที่มีผลต่อค่า ln s ของแทร็คเริ่มต้น……...	88
รูปที่ 4.26	ผลการทดสอบสมมติฐานการแจกแจงแบบปกติของส่วนตกค้างของผลตอบสนอง……	94
รูปที่ 4.27	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างของผลตอบสนองตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล……	95
รูปที่ 4.28	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตของผลตอบสนอง..	95
รูปที่ 4.29	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบการทดลองบอกซ์-เบห์นเคน…..	96

หน้า

รูปที่ 4.30	พื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่าแทร็คเริ่มต้น.....	97
รูปที่ 4.31	กราฟโครงร่างแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่าแทร็คเริ่มต้น.....	98
รูปที่ 4.32	ความสัมพันธ์ระหว่างการปรับค่าแต่ละระดับปัจจัยและค่าแทร็คเริ่มต้นจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab	99
รูปที่ 4.33	ความสัมพันธ์ระหว่างการปรับค่าแต่ละระดับปัจจัยและค่าแทร็คเริ่มต้นในทางปฏิบัติ	100
รูปที่ 4.34	แผนภูมิ I-MR แสดงผลการตรวจสอบจำนวนรอบของการหมุนสกรูของ Ramp	105
รูปที่ 4.35	แผนภูมิ I-MR แสดงผลการตรวจสอบระยะความสูงของ Rotate Pin	106
รูปที่ 4.36	แผนภูมิ I-MR แสดงผลการตรวจสอบแรงดันของกระบอกสูบ	106
รูปที่ 4.37	แผนภูมิ I-MR แสดงผลการตรวจสอบระยะหดตัวของสปริง	107
รูปที่ 4.38	แผนภูมิ I-MR แสดงผลการตรวจสอบค่าทอร์กของ Ramp Screw	108
รูปที่ 4.39	แผนภูมิ $\bar{X} - S$ แสดงผลการตรวจสอบค่าผลตอบสนองค่าแทร็คเริ่มต้น	108
รูปที่ 4.40	การทดสอบสมมติฐานการกระจายตัวแบบปกติ ของตัวแปรตอบสนองแทร็คเริ่มต้น	110
รูปที่ 4.41	ผลการวิเคราะห์ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุงของค่าแทร็คเริ่มต้น	111
รูปที่ 5.1	การประมวลผลคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัดข้อมูลแทร็คสุดท้ายด้วยโปรแกรม Minitab16	115
รูปที่ 5.2	การทดสอบสมมติฐานการกระจายตัวแบบปกติ (Normality Test) ของแทร็คสุดท้าย	120
รูปที่ 5.3	ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในการวัดค่าแทร็คสุดท้ายโดยใช้โปรแกรม Minitab	121
รูปที่ 5.4	แผนผังสาเหตุและผลของความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้าย	123

หน้า

รูปที่ 5.5	พาเรโตลำดับความสำคัญปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อการเกิดความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้าย	127
รูปที่ 5.6	กำลังและจำนวนซ้ำ (Replication) สำหรับตัวแปรตอบสนอง “แทร็คสุดท้าย”	138
รูปที่ 5.7	ผลการทดสอบสมมติฐานการแจกแจงแบบปกติของส่วนตกค้างแทร็คสุดท้าย	142
รูปที่ 5.8	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างของค่าแทร็คเริ่มต้นตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล.....	143
รูปที่ 5.9	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตของค่าแทร็คสุดท้าย.....	144
รูปที่ 5.10	กราฟ Normal Plot ผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คสุดท้าย.....	145
รูปที่ 5.11	แผนภาพพาเรโตแสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คสุดท้าย.....	145
รูปที่ 5.12	ปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คสุดท้ายอย่างมีนัยสำคัญ	146
รูปที่ 5.13	อันตรกิริยา (Interaction) ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คสุดท้ายอย่างมีนัยสำคัญ	146
รูปที่ 5.14	ผลการวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของค่าแทร็คสุดท้าย	147
รูปที่ 5.15	ปัจจัย A ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ IDCS ซึ่งมีผลต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คสุดท้าย	148
รูปที่ 5.16	ปัจจัย B ค่า Pressure hold ซึ่งส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คสุดท้าย	149
รูปที่ 5.17	ปัจจัย F ระยะในการปล่อย LVCM ซึ่งมีผลต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คสุดท้าย ..	150
รูปที่ 5.18	กราฟ Normal Plot ผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแทร็คสุดท้าย	150

หน้า

รูปที่ 5.19 แผนภาพพาเรโตแสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแทร็คสุดท้าย..... 151

รูปที่ 5.20 ปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีผลต่อส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแทร็คสุดท้ายอย่างมีนัยสำคัญ..... 151

รูปที่ 5.21 อันตรกิริยา (Interaction) ที่มีผลต่อส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแทร็คสุดท้ายอย่างมีนัยสำคัญ..... 152

รูปที่ 5.22 ผลการวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแทร็คสุดท้าย..... 152

รูปที่ 5.23 ลักษณะความผันแปรของแทร็คสุดท้ายที่เกิดจากปัจจัย B ระดับค่า Pressure hold 154

รูปที่ 5.24 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อพยากรณ์ผลตอบสนองค่าแทร็คสุดท้าย..... 156

รูปที่ 5.25 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาระดับการปรับตั้งปัจจัยที่เหมาะสมต่อผลตอบสนองแทร็คสุดท้าย..... 158

รูปที่ 5.26 กราฟ Optimization Plot เพื่อปรับตั้งปัจจัยที่เหมาะสมต่อผลตอบสนองแทร็คสุดท้าย..... 158

รูปที่ 5.27 แผนภูมิ I-MR แสดงผลการตรวจสอบค่า ทอร์กสำหรับการไขสกรูฝาครอบ 163

รูปที่ 5.28 แผนภูมิ I-MR แสดงผลการตรวจสอบค่า Pressure Hold 164

รูปที่ 5.29 แผนภูมิ I-MR แสดงผลการตรวจสอบระยะในการปล่อย LVCM 164

รูปที่ 5.30 แผนภูมิ $\bar{X} - S$ แสดงผลการตรวจสอบขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ IDCS 165

รูปที่ 5.31 แผนภูมิ $\bar{X} - S$ แสดงผลการตรวจสอบความยืดหยุ่นของยาง IDCS 166

รูปที่ 5.32 แผนภูมิ $\bar{X} - S$ แสดงผลการตรวจสอบค่าผลตอบสนองค่าแทร็คสุดท้าย 167

หน้า

รูปที่ 5.33	การทดสอบสมมติฐานการกระจายตัวแบบปกติ ของตัวแปรตอบสนองแทร็คสุดท้าย	168
รูปที่ 5.34	ผลการวิเคราะห์ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุงของค่าแทร็คสุดท้าย.....	169
รูปที่ 6.1	การประมวลผลคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัดความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลด้วยโปรแกรม Minitab16	174
รูปที่ 6.2	การทดสอบสมมติฐานการกระจายตัวแบบปกติ (Normality Test) ของข้อมูลความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล	179
รูปที่ 6.3	ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในการวัดค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Minitab	180
รูปที่ 6.4	แผนผังสาเหตุและผลของความผันแปรของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล.....	182
รูปที่ 6.5	พาเรโตลำดับความสำคัญปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อการเกิดความผันแปรของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล.....	186
รูปที่ 6.6	กำลังและจำนวนซ้ำ (Replication) สำหรับตัวแปรตอบสนอง “ความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล”.....	197
รูปที่ 6.7	ผลการทดสอบสมมติฐานการแจกแจงแบบปกติของส่วนตกค้างความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล.....	201
รูปที่ 6.8	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างของความหนาแน่นของพื้นที่ในการอ่านเขียนข้อมูลตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล.....	202
รูปที่ 6.9	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล.....	203
รูปที่ 6.10	กราฟ Normal Plot ผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล.....	204
รูปที่ 6.11	แผนภาพพาเรโตแสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ยของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล.....	204

หน้า

รูปที่ 6.12	ปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญ.....	205
รูปที่ 6.13	อันตรกิริยา (Interaction) ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของค่า ความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญ.....	205
รูปที่ 6.14	ผลการวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล.....	206
รูปที่ 6.15	ลักษณะการ Bias แผ่นจานบันทึกข้อมูล ซึ่งส่งผลต่อค่า TPI อย่างมีนัยสำคัญ.....	207
รูปที่ 6.16	ปัจจัย D ค่าความดันของ Ejector Pin ส่งผลต่อค่า TPI อย่างมีนัยสำคัญ..	207
รูปที่ 6.17	ปัจจัย A ค่าทอร์กของ Clamp screw ส่งผลต่อค่า TPI อย่างมีนัยสำคัญ...	208
รูปที่ 6.18	กราฟ Normal Plot ผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล.....	209
รูปที่ 6.19	แผนภาพพาเรโตแสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล.	210
รูปที่ 6.20	ปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีผลต่อส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล.....	210
รูปที่ 6.21	อันตรกิริยา (Interaction) ที่มีผลต่อส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญ.....	210
รูปที่ 6.22	ผลการวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล.....	211
รูปที่ 6.23	ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อพยากรณ์ผลตอบสนองค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล.....	214
รูปที่ 6.24	ผลการวิเคราะห์เพื่อหาระดับการปรับตั้งปัจจัยที่เหมาะสมต่อผลตอบสนองของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล.....	216
รูปที่ 6.25	กราฟ Optimization Plot เพื่อปรับตั้งปัจจัยที่เหมาะสมต่อผลตอบสนองค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล.....	216

หน้า

รูปที่ 6.26	แผนภูมิ I-MR แสดงผลการตรวจสอบค่าทอร์กของ Clamp Screw	221
รูปที่ 6.27	แผนภูมิ I-MR แสดงผลการตรวจสอบระยะเวลาในการ Bias แผ่นจาน บันทึกข้อมูล (Bias Time).....	รูปที่ 6.27
รูปที่ 6.28	แผนภูมิ I-MR แสดงผลการตรวจสอบค่าความดันของ Ejector Pin	222
รูปที่ 6.29	แผนภูมิ $\bar{X} - S$ แสดงผลการตรวจสอบค่าผลตอบสนองค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล.....	223
รูปที่ 6.30	การทดสอบสมมติฐานการกระจายตัวแบบปกติ ของตัวแปรตอบสนองความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล.....	225
รูปที่ 6.31	ผลการวิเคราะห์ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุงของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล.....	226

บทที่ 1
บทนำ

อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในประเทศไทย เป็นฐานการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขนาดใหญ่ มีส่วนแบ่งตลาดรวมร้อยละ 42 ของตลาดโลก ซึ่งถือเป็นอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพสูงในด้านการสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ประเทศและความสามารถในการแข่งขันในเวทีระดับนานาชาติ แต่จากสภาพอุตสาหกรรมในยุคปัจจุบัน ที่มีการแข่งขันสูงทั้งทางด้านราคาและคุณภาพ ประกอบกับต้นทุนต่างๆ ทั้งค่าขนส่ง ค่าสาธารณูปโภคและค่าแรงงานก็มีการปรับตัวสูงขึ้น ส่งผลกระทบให้ต้นทุนการดำเนินธุรกิจสูงขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง ทำให้องค์กรต้องมองหาหนทางในการลดต้นทุนการผลิต เพื่อเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันกับคู่แข่ง ดังนั้นการระมัดระวังเพื่อไม่ให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิต หรือควบคุมให้มีปริมาณน้อยที่สุด จึงเป็นการลดต้นทุนความสูญเสียที่ไม่จำเป็น เพราะการเกิดของเสียทำให้เกิดการสูญเสียทั้งเวลา วัตถุดิบ แรงงานและเครื่องจักรในการนำกลับมาผ่านกระบวนการใหม่ (Rework) ดังนั้นการให้ความสำคัญกับแนวคิดเรื่อง คุณภาพ โดยการควบคุมกระบวนการผลิตให้เกิดของเสียน้อยที่สุด จึงถือเป็นกลยุทธ์อย่างหนึ่งที่สร้างความได้เปรียบในการแข่งขันกับองค์กรอื่นๆ รวมทั้งยังสร้างกำไรอันสูงสุดแก่องค์กรอีกด้วย

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเอนเทอร์ไพรซ์ A เป็นผลิตภัณฑ์หลักที่ผลิตขึ้นในโรงงานกรณีศึกษา โดยส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์นี้จะถูกใช้ในระบบการจัดเก็บฐานข้อมูลขององค์กรหรือระบบเซิร์ฟเวอร์ที่ต้องเปิดทำงานอยู่ตลอด 24 ชั่วโมง ดังนั้นผลิตภัณฑ์นี้จึงได้รับความนิยมสูงและกำลังเป็นที่ต้องการของลูกค้า อันเนื่องมาจากคุณสมบัติพิเศษของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเอนเทอร์ไพรซ์ A ที่มีความคงทนอยู่ในระดับสูง สามารถทนต่อแรงกระทบกระเทือนภายนอกและมีพื้นที่การจัดเก็บข้อมูลที่มากเพียงพอต่อการรองรับ ฐานข้อมูลภายในองค์กรของลูกค้า มีความจุสูงถึง 1,000 กิกะไบต์

สำหรับกระบวนการในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเอนเทอร์ไพรซ์ A จะเริ่มตั้งแต่การรับวัตถุดิบต้นน้ำสำหรับการประกอบชิ้นส่วนย่อย (Elements Assembly) เช่น แท่งยาง หัวอ่าน-เขียน คอยล์แม่เหล็ก ชุดวงจร ไฟฟ้า เป็นต้นมาประกอบกันจนเป็นชิ้นส่วนหลัก จากนั้นจึงนำชิ้นส่วนหลักเหล่านี้มาประกอบเข้าด้วยกันเป็นผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในกระบวนการประกอบขั้นสุดท้าย (Final Assembly) และผ่านกระบวนการทดสอบคุณลักษณะทางกล (Mechanical Testing) และ

กระบวนการทดสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้า (Electrical Testing) ก่อนเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ (Specifications) จากข้อมูลในช่วงเดือนมิถุนายน – พฤศจิกายน 2555 พบว่าเกิดข้อบกพร่องประเภทกระบวนการเขียนอ่านข้อมูลในขณะทำการทดสอบคุณลักษณะทางกลของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยแบ่งเป็นข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในส่วนของแทร็คเริ่มต้น 33,050 DDPM , ข้อบกพร่องที่เกิดจากแทร็คสุดท้าย 37,003 DPPM และ ข้อบกพร่องที่เกิดจากค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล 18,190 DPPM ทำให้เกิดมูลค่าความเสียหายเฉลี่ย 3,226,977 บาทต่อเดือน

นอกจากนั้นยังได้ทำการประเมินความสามารถของกระบวนการในระยะสั้นของค่าแทร็คเริ่มต้น แทร็คสุดท้าย และ ค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลมีค่าเท่ากับ 0.77, 0.60 และ 0.75 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบกับเกณฑ์การยอมรับมาตรฐานที่ 1.33 ถือว่ามีค่าต่ำมาก หรืออาจกล่าวได้ว่ากระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ มีความผันแปรของกระบวนการค่อนข้างสูง และมีค่าเบี่ยงเบนไปจากค่าเป้าหมาย ดังนั้นจากสภาพปัญหาปัจจุบันที่เกิดขึ้นในกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจึงนำมาสู่วิธีการประยุกต์ใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา เพื่อนำมาปรับปรุงกระบวนการให้มีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อลดข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลในกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. งานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะสายการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเอนเทอร์ไพรซ์ A ขนาด 2.5 นิ้วความจุ 1,000 กิกะไบต์ ข้อบกพร่องประเภทแทร็คเริ่มต้น แทร็คสุดท้ายและความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลไม่ตรงตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์
2. ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดของเสีย ทั้งที่เกิดจากพนักงาน เครื่องจักร วัตถุดิบ กระบวนการทำงานเครื่องมือวัด และ สภาพแวดล้อมการทำงาน (5M 1E) ในสายการผลิต L201

3. การปรับปรุงกระบวนการหรือเครื่องจักรใดๆ จะต้องได้รับการอนุมัติจากผู้บริหารของโรงงานกรณีศึกษา

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน

ในงานวิจัยนี้ดำเนินการตามแนวทาง ซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. **ระยะการศึกษาข้อมูลและนิยามปัญหา** (Define Phase)
   1) ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัย เกี่ยวกับการลดของเสียในอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ตามวิธีซิกซ์ ซิกม่า
   2) สำรวจสภาพปัญหาในปัจจุบัน เก็บข้อมูล จัดลำดับความสำคัญของปัญหา เพื่อ ระบุปัญหา เป้าหมาย และขอบเขตที่ชัดเจน ในการดำเนินการวิจัย
   3) จัดตั้งคณะทำงาน โดยเลือกจากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในองค์กร เช่น ฝ่ายผลิต ฝ่ายคุณภาพการเงิน บัญชี ฝ่ายซ่อมบำรุง ฯลฯ เพื่อเข้าร่วมทีมปรับปรุงคุณภาพ
2. **ระยะการเก็บข้อมูลและกำหนดสาเหตุเบื้องต้นของปัญหา** (Measure Phase)
   1) วิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัดของเครื่องทดสอบพื้นที่เขียนอ่านข้อมูลฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ
   2) วิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการการอ่านค่าแทร็คเริ่มต้น แทร็คสุดท้ายและ ความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลโดยใช้ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการระยะสั้น Cpk
   3) ระดมความคิดเพื่อ วิเคราะห์หาสาเหตุที่เป็นไปได้ของความผันแปรของจำนวนแทร็คเริ่มต้น แทร็คสุดท้าย และ ความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล โดยใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)

4) จัดลำดับความสำคัญของสาเหตุของปัญหาและเลือกปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อแทร็คเริ่มต้น แทร็คสุดท้ายและ และ ความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล เพื่อนำไปทดสอบความมีนัยสำคัญในระยะวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

3. **ระยะการวิเคราะห์สาเหตุปัญหา** (Analysis Phase)
   1) นำปัจจัยนำเข้าที่เลือกมา ออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบทางสถิติว่ามีผลอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ต่อจำนวนแทร็คเริ่มต้น แทร็คสุดท้ายและ ความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล โดยเทคนิคการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลด้วยวิธีออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล

4. **ระยะปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ** (Improve Phase)
   1) ออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบเพื่อกำหนดค่าปรับตั้งพารามิเตอร์ให้เหมาะสมเพื่อทำให้ จำนวนแทร็คเริ่มต้น แทร็คสุดท้ายและ และ ความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลมีค่าใกล้เคียงเป้าหมายมากที่สุดและมีความผันแปรน้อยที่สุด
   2) วิเคราะห์และสรุปผลระดับพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
   3) สำหรับปัจจัยที่ไม่จำเป็นต้องทำการทดลอง ทำการกำหนดทางเลือกและปรับปรุง
5. **ระยะการติดตามและปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง** (Control Phase)
   1) เก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงเพื่อยืนยันผลการทดลอง
   2) ประเมินตัวชี้วัดความสามารถของกระบวนการ Cpk และวิเคราะห์ต้นทุนความสูญเสียและต้นทุนที่ประหยัดได้ หลังจากปรับปรุงแล้ว
   3) จัดทำแผนควบคุมคุณภาพที่เหมาะสม
6. **สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ**
7. **จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์**

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาเป็นแนวคิดในการออกแบบการวิจัย ทั้งการปรับปรุงกระบวนการโดยแนวคิดซิกซ์ ซิกมา รวมถึงวิธีการ เทคนิคต่างๆ ที่จะใช้ประกอบการดำเนินการวิจัยต่อไป

2.1 ต้นทุนคุณภาพ

การบริหารจัดการด้านต้นทุนคุณภาพถือเป็นกลยุทธ์หนึ่งที่ทางบริษัทกรณีศึกษาให้ความสำคัญเนื่องจากพบว่าต้นทุนทางคุณภาพที่เกิดขึ้นสูงถึง 5-25% ของรายได้ทั้งหมดขององค์กร ซึ่งเป็นต้นทุนที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆที่เกี่ยวกับระบบคุณภาพเช่น การตรวจสอบคุณภาพ การผลิตแล้วไม่เป็นไปตามมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ ทำให้ต้องมีการจัดการของเสีย เป็นต้น ดังนั้นเพื่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจและสามารถวางแผนบริหารจัดการกับต้นทุนคุณภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงควรที่จะศึกษารายละเอียดของต้นทุนคุณภาพดังต่อไปนี้

2.1.1 คำจำกัดความต้นทุนคุณภาพ

ต้นทุนคุณภาพเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการบริหารจัดการคุณภาพ โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

1. ต้นทุนในการป้องกัน (Prevention Cost)

เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดข้อบกพร่องหรือของเสียจากกระบวนการผลิตซึ่งประกอบไปด้วยการฝึกอบรมในด้านของคุณภาพ การศึกษาความสามารถของกระบวนการ การสำรวจผู้ขายสินค้า การวางแผนเกี่ยวกับคุณภาพและการออกแบบ นอกจากนี้ยังอาจมีค่าใช้จ่ายอื่นๆ เพื่อการป้องกันอีกด้วย

2. ต้นทุนการวัด ตรวจสอบและประเมินคุณภาพ (Appraisal Cost)

เป็นค่าใช้จ่ายที่ต้องจ่ายไปกับกิจกรรมการตรวจสอบบัญชีคุณภาพ การทดสอบและตรวจสอบให้เป็นไปตามระดับคุณภาพขององค์กรโดยการตรวจติดตามคุณภาพและตรวจทบทวนมีประเมินผลอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังมีค่าใช้จ่ายในส่วนของอุปกรณ์การทดสอบ

3. ต้นทุนความล้มเหลว (Failure Cost)

ต้นทุนความล้มเหลวสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทย่อยๆ คือ

- ต้นทุนความล้มเหลวภายใน (Internal Failure Cost) เช่น การแก้ไขงานที่บกพร่องหรืองานที่ถูกคัดทิ้ง การแก้ไขการเปลี่ยนแปลงการออกแบบผลิตภัณฑ์ ค่าใช้จ่ายจากการเก็บสินค้าคงคลังมากเกินไป ค่าใช้จ่ายจากการจัดซื้อจัดหาวัสดุ และค่าใช้จ่ายจากความล้มเหลวภายในอื่นๆ
- ต้นทุนความล้มเหลวภายนอก (External Failure Cost) เช่น ค่าใช้จ่ายจากการบริการหลังการขายและการรับประกันสินค้า การไปพบลูกค้าเนื่องจากถูกบ่นร้องเรียน ค่าใช้จ่ายเมื่อสินค้าถูกส่งกลับหรือเรียกกลับคืน ต้นทุนจากคดีความเพื่อเรียกร้องความรับผิดชอบต่อสินค้า นอกจากนี้ยังมีค่าใช้จ่ายของความล้มเหลวภายนอกอื่นๆ

2.1.2 **สัดส่วนของต้นทุนคุณภาพ** (Proportion of Quality Costs)

องค์กรจำเป็นต้องมีการระบุต้นทุนคุณภาพของฝ่ายการผลิต หรือพื้นที่งานตามสายกระบวนการผลิตที่สำคัญออกเป็นประเภทต่างๆเพื่อให้สามารถจัดลำดับความสำคัญในการควบคุมคุณภาพได้อย่างชัดเจน หากแต่ละฝ่ายสามารถกำหนดให้มีต้นทุนความล้มเหลวภายนอก ต้นทุนความล้มเหลวภายใย ต้นทุนการวัด ต้นทุนการตรวจสอบและประเมินค่าและต้นทุนในการป้องกัน ในสัดส่วนที่เท่ากันก็จะทำให้สามารถลดต้นทุนคุณภาพได้

เมื่อมีการกำหนดสัดส่วนให้มากขึ้นในการป้องกันการวัด การตรวจสอบและประเมินค่า จะสามารถใช้เป็นค่าใช้จ่ายในการลดต้นทุนที่เกิดจากความล้มเหลวได้ ซึ่งในที่สุดมีการใช้กลยุทธ์นี้เป็นตัวช่วยในการลดต้นทุนคุณภาพโดยรวมได้ ทั้งนี้สัดส่วนต้นทุนคุณภาพที่เหมาะสมที่สุดขึ้นอยู่กับประเภทของธุรกิจ แต่จากการศึกษาพบว่าต้นทุนคุณภาพสามารถปรับลดได้มากถึง 10% ของมูลค่าการขายรวมได้

2.1.3 **ต้นทุนของคุณภาพที่เลว** (Cost Of Poor Quality : COPQ)

เป็นต้นทุนที่เกิดจากต้นทุนคุณภาพที่สูงและการบริหารการจัดการที่ไม่ดี หากองค์กรสามารถกำจัดต้นทุนประเภทนี้ได้ก็จะทำให้เป็นผู้นำในอนาคตได้ ทั้งนี้องค์กรส่วนใหญ่จะต้องสูญเสียความพยายามโดยรวม (total effort) ทั้งในส่วนที่เป็นแรงงาน และเครื่องจักรประมาณ 40% แต่หากสามารถกำจัดความสูญเสียหรือลดส่วนที่พบปัญหามากที่สุดได้แล้ว ก็จะทำให้ราคาต่อหน่วยของสินค้าและบริการลดลงด้วย ทำให้สามารถกำหนดราคาสินค้าแข่งกับคู่แข่งได้ ดังนั้นจึงมีการนำซิกซ์ ซิกมา มาใช้เพื่อช่วยลดต้นทุนคุณภาพที่เลว และเพื่อปรับปรุงให้ได้ประโยชน์และความพึงพอใจต่อลูกค้า

ต้นทุนที่เกี่ยวกับคุณภาพจะมีประมาณ 20-40% ของยอดขายรวม และต้นทุนเหล่านี้เป็นต้นทุนที่ถูก ซ่อนหรือแฝง ไว้ในงบบัญชีรายได้หรือบัญชีงบดุล เช่น ต้นทุนที่สูญเสียไปกับการบริหารเวลา ต้นทุนที่เกิดจากการสูญเสียทางธุรกิจ ต้นทุนที่เกิดจากการสูญเสียความน่าเชื่อถือ

ต้นทุนเสียโอกาส ต้นทุนจากการซ่อมบำรุง เป็นต้น ดังนั้นจึงผู้บริหารจึงควรมีการจัดการในด้านคุณภาพโดยระบุขอบเขตที่ชัดเจนและมุ่งให้ความสนใจกับต้นทุนคุณภาพแฝงเหล่านี้ เพื่อที่จะสร้างผลกำไรให้เกิดขึ้นในองค์กร

2.2 การปรับปรุงคุณภาพตามแนวคิดแบบ ซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma)

ซิกซ์ ซิกมามีการนำมาใช้และพัฒนาขึ้นมาในช่วงทศวรรษที่ 1980 โดยมีการนำแนวคิดนี้มาใช้เป็นแผนกลยุทธ์ของกิจการและสร้างความสำเร็จต่อ หลังจากนั้นซิกซ์ ซิกมาก็ถูกเผยแพร่ไปยังบริษัทต่างๆ โดยได้เข้าไปมีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงวัฒนธรรมองค์กร และพัฒนาแนวคิดของการบริหารคุณภาพขึ้นใหม่จากระดับล่างสู่ระดับบนทั่วทั้งองค์กร แนวคิดที่สำคัญของซิกซ์ ซิกมา คือ เป็นการปรับปรุงการปฏิบัติการขององค์กรในมุมมองทางด้านการเงินโดยผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพและขจัดความสูญเสียจากการปฏิบัติการ (Sleep,Andrew D. 2006) เน้นที่การปรับปรุงความเที่ยงและคุณภาพของผลผลิต ลดเวลาในกระบวนการผลิตและค่าใช้จ่ายที่ต้องสูญเสียไปกับการทดสอบและการซ่อมแซม (Rework)

ดังนั้นเป้าหมายที่สำคัญของแนวคิดการปรับปรุงคุณภาพแบบ ซิกซ์ ซิกมา คือ การปรับปรุงการปฏิบัติงานโดยมุ่งเน้นไปสู่คุณภาพของผลิตภัณฑ์และการบริการที่ดียิ่งขึ้น ก่อให้เกิดการสร้างความพึงพอใจแก่ลูกค้าและขจัดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากความสูญเสียในกิจกรรมการตรวจสอบ นอกจากนี้การประยุกต์ใช้ซิกซ์ ซิกมาภายในองค์กรยังช่วยให้บริษัทสามารถตรวจสอบปัญหาภายในบริษัทด้วย ข้อมูลที่แม่นยำและเชื่อถือได้ (Data-Driven Business) แล้วทำการวิเคราะห์ปัญหาโดยหลักสถิติ (Statistical analysis Process) เพื่อการปรับปรุงและควบคุมไม่ให้ปัญหานั้นๆ เกิดขึ้นซ้ำอีก เนื่องจากในการแก้ไขปรับปรุงใดๆ นั้นต้องอาศัยข้อมูลที่ถูกต้องเพียงพอและแม่นยำเป็นปัจจัยหลักในการตัดสินใจ และแก้ไขสิ่งบกพร่อง

การปรับปรุงคุณภาพตามหลักแนวคิด ซิกซ์ ซิกมาจะประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 5 ขั้นตอน คือ

1. ขั้นตอนการระบุหัวข้อปัญหา (Define Phase)
2. ขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุเบื้องต้นของปัญหา (Measure Phase)
3. ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)
4. ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)
5. ขั้นตอนการติดตามและควบคุมกระบวนการ (Control Phase)

2.2.1 **ขั้นตอนการระบุหัวข้อปัญหา** (Define Phase)

จุดประสงค์หลักของขั้นตอนนี้คือ การกำหนดปัญหาและเป้าหมายให้ตรงตามความต้องการของลูกค้าและปัญหาที่จะพัฒนาปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยมีการกำหนดปัญหาและขอบเขตไว้ในเอกสารรายละเอียดโครงการ (Project Charter)(Tan et al.,2009) ซึ่งเครื่องมือที่จะนำมาช่วยในการวิเคราะห์ถึงปัญหามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. **การระดมสมอง** (Brainstorming)

เป็นกระบวนการรวบรวมความคิดเห็นโดยทุกคนสามารถแสดงความเห็นได้อย่างอิสระ เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดแนวคิดสร้างสรรค์ใหม่ๆ และถูกนำมาใช้ในขั้นตอนแรกของการปรับปรุงคุณภาพตามแนวคิดซิกซ์ ซิกมาเพื่อให้คนในทีมเข้าใจถึงปัญหาที่เกิดขึ้น (Shannon, 2012) สมาชิกในทีมสามารถแสดงความคิดเห็นได้โดยไม่มีการจำกัดความคิดด้วยวิธีการใดๆ และทำให้เกิดการมีส่วนร่วมของทีม มีทางออกใหม่ๆ ในการแก้ปัญหา สำหรับเทคนิคที่ใช้ในการระดมสมองเช่น การใช้คำถาม Why -Why ไป 3-4 รอบเพื่อให้ได้รากเหง้าของสาเหตุของปัญหา การคิดที่ไร้กรอบ จะทำให้คนอิสระที่คิด ความคิดจะมีความหลากหลาย นอกจากนี้ผู้นำของทีมต้องทำเรื่องให้ยุติที่ทุกคนยอมรับได้ มิฉะนั้นจะมีเรื่องคาใจอยู่ตลอดเวลา เพราะพื้นฐานต่างๆ ของคนแตกต่างกัน เป็นต้น

หลังจากมีการระดมความคิดเพื่อให้รู้ถึงปัญหาและเป้าหมายที่ทีมต้องการจะทำการปรับปรุง ซึ่งหลังจากการระดมสมองแล้ว อาจจะทำให้เกิดหลากหลายความคิด จึงควรนำข้อมูลทั้งหมดมาจัดกลุ่มความคิดให้เป็นหมวดหมู่ ซึ่งในขั้นนี้ต้องทำการประเมินตรวจความซ้ำซ้อน หรือความเห็นที่ไม่ตรงประเด็น อาจใช้เกณฑ์กรอง (filter)เพื่อตัดความเห็นโดยอาจจะพิจารณาถึงเกณฑ์ต่างเช่น เช่น ต้นทุนความสูญเสียโดยรวมทั้งทางด้านเวลา เงิน ทรัพยากร ปริมาณยอดการผลิตโดยรวม เป็นต้น

2. **แผนภาพกระบวนการผลิต** (Process Map)

เป็นแผนภาพที่แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนกระบวนการผลิตทั้งหมด เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ ทำความเข้าใจในปัญหาที่เกิดขึ้น โดยแผนภาพกระบวนการผลิตจะแสดงการไหลของกระบวนการผลิตตั้งแต่ปัจจัยนำเข้า (Input) จนกระทั่งผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นหลังกระบวนการผลิต ซึ่งแผนภาพนี้มีประโยชน์คือ ทำให้ทราบถึงตำแหน่งที่ก่อให้เกิดปัญหาและการสูญเสียที่เกิดขึ้นจนนำไปสู่การปรับปรุงกระบวนการ การวิเคราะห์ถึงสาเหตุที่แท้จริงของความบกพร่องในสายการผลิต ทำให้สามารถวิเคราะห์ปัญหาโดยการตั้งสมมติฐานและเก็บรวบรวมข้อมูลได้อย่าง

ถูกต้อง สุดท้ายทำให้ได้วิธีการปฏิบัติงานที่จะก่อให้เกิดประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นอันนำไปสู่การลดต้นทุนความสูญที่เกิดขึ้นได้

3. **แผนภูมิพาเรโต** (Pareto Diagram)

แผนภูมิพาเรโตเป็นเครื่องมือที่ถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบปัญหาต่างๆ เพื่อสังเกตดูและจัดลำดับความสำคัญของปัญหาว่า ปัญหาใดควรจะมีการนำมาพิจารณาเป็นอันดับแรกโดยแสดงผลด้วยกราฟแท่งและค่าสะสมกราฟเส้นที่เรียงจากมากไปหาน้อย การนำพาเรโตมาใช้เริ่มขึ้นในปี ค.ศ. 1897 โดยนักเศรษฐศาสตร์ชาวอิตาเลียนที่ชื่อว่า วี พาเรโต และต่อมาได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมคุณภาพเพื่อแสดงให้เห็นว่า สาเหตุความบกพร่องเพียงไม่กี่สาเหตุแต่ก่อให้เกิดความสูญเสียอย่างมาก ในขณะที่สาเหตุความสูญเสียเล็กน้อยที่เหลืออยู่กลับมาจากสาเหตุจำนวนมาก ซึ่งเรียกว่ากฎ 80/20 โดยเรียกวิธีการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุของความบกพร่องกับความสูญเสียที่เกิดขึ้นนี้ว่า การวิเคราะห์แบบพาเรโต (Pareto Analysis) และเรียกแผนภูมิที่แสดงความสัมพันธ์นี้ว่า แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram)

4. **การกำหนดรายละเอียดเอกสารโครงการ** (Project Charter)

หลังจากที่ได้ทำการระดมความคิดและจัดลำดับความสำคัญของปัญหาเรียบร้อยแล้ว จึงต้องมีการจัดทำเอกสารเพื่อแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพดังรายละเอียดต่อไปนี้

- กรณีทางธุรกิจสำหรับการคัดเลือกโครงการ (Business Case for the Project Selection) เพื่อเป็นการระบุถึงลำดับความเป็นมาและความสำคัญของโครงการปรับปรุงคุณภาพ
- ปัญหาที่พบเบื้องต้น (Problem Statement) ทำการระบุปัญหาที่ต้องการทำการศึกษาและแก้ไขปรับปรุงกระบวนการ โดยต้องมีความสัมพันธ์กับกรณีธุรกิจและสามารถวัดผลได้
- กำหนดขอบเขตของโครงการ (Project Scope) โดบระบุถึงขอบเขตการทำการปรับปรุง เช่น ชนิดของผลิตภัณฑ์ ประเภทของข้อบกพร่อง เป็นต้นกำหนดเป้าหมายและระยะเวลาตามเป้าหมาย เพื่อใช้เป็นตัวติดตามและประเมินผลความคืบหน้าของโครงการ

- จัดตั้งกลุ่มคณะทำงานภายในองค์กรเพื่อรับผิดชอบแต่ละหน้าที่ เช่น ฝ่ายผลิต ฝ่ายคุณภาพ ฝ่ายการเงิน บัญชี ฝ่ายซ่อมบำรุงเป็นต้น

2.2.2 ขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุเบื้องต้นของปัญหา (Measure Phase)

เป็นขั้นตอนที่จำเป็นสำหรับกระบวนการปรับปรุงคุณภาพเนื่องจากเราต้องเข้าใจถึงระบบและสภาพของกระบวนการที่เป็นอยู่ปัจจุบันว่ามีจำนวนข้อบกพร่องอยู่เท่าใด ความสามารถของกระบวนการอยู่ที่ระดับไหนซึ่งจะทำให้เราสามารถเปรียบเทียบผลการทดลองก่อนและหลังได้อย่างชัดเจน โดยเครื่องมือที่จะนำมาใช้ในส่วนของการวัดมีดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

แผนผังสาเหตุและผลเป็นแผนผังที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหา (Problem) กับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่อาจก่อให้เกิดปัญหานั้น (Possible Cause) ซึ่งอาจจะเรียกแผนผังสาเหตุและผล ในชื่อของ "ผังก้างปลา (Fish Bone Diagram)" เนื่องจากหน้าตาแผนภูมิมีลักษณะคล้ายปลาที่เหลือแต่ก้าง หรืออีกชื่อหนึ่งรู้จักในชื่อของแผนผังอิชิกาว่า (Ishikawa Diagram) แผนผังนี้จะใช้เมื่อต้องการค้นหาสาเหตุของปัญหาโดยการระดมสมองของทุกคนในทีมเพื่อช่วยกันวิเคราะห์ ส่วนมากจะใช้หลักของ 5M 1E ในการแยกแยะออกเป็นกลุ่มปัจจัย คือ คน (Man), เครื่องจักร (Machine), วัตถุดิบ (Material), วิธีการทำงาน (Method), เครื่องมือวัด (Measurement) และสภาพแวดล้อม (Environment) โดยแต่ละกลุ่มปัจจัยจะมีการกำหนดสาเหตุต่างๆ ได้อย่างเป็นระบบ และเป็นเหตุเป็นผลกัน

วิธีการสร้างแผนผังสาเหตุและผลหรือผังก้างปลา

สิ่งสำคัญในการสร้างแผนผัง คือ ต้องทำเป็นทีม เป็นกลุ่ม โดยใช้ขั้นตอน 6 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. กำหนดประโยคปัญหาที่หัวปลา
2. กำหนดกลุ่มปัจจัยที่จะทำให้เกิดปัญหานั้นๆ
3. ระดมสมองเพื่อหาสาเหตุในแต่ละปัจจัย
4. หาสาเหตุหลักของปัญหา
5. จัดลำดับความสำคัญของสาเหตุ
6. ใช้แนวทางการปรับปรุงที่จำเป็น

แต่ไม่ได้หมายความว่า การกำหนดก้างปลาจะต้องใช้ 5 M 1E เสมอไป เพราะหากเราไม่ได้อยู่ในกระบวนการผลิตแล้ว ปัจจัยนำเข้า (input) ในกระบวนการก็จะเปลี่ยนไป เช่น ปัจจัย

การนำเข้าเป็น 4P ได้แก่ Place, Procedure, People และ Policy หรือเป็น 4S Surrounding , Supplier, System และ Skill ก็ได้ หรืออาจจะเป็น MILK Management, Information, Leadership, Knowledge ก็ได้ นอกจากนั้น หากกลุ่มที่ใช้ก้างปลามีประสบการณ์ในปัญหาที่เกิดขึ้นอยู่แล้ว ก็สามารถที่จะกำหนดกลุ่ม ปัจจัยใหม่ให้เหมาะสมกับปัญหาตั้งแต่แรกเลยก็ได้ เช่นกัน

การกำหนดหัวข้อปัญหาที่หัวปลาและสาเหตุย่อยที่ก้างปลา

การกำหนดหัวข้อปัญหาควรกำหนดให้ชัดเจนและมีความเป็นไปได้ ซึ่งหากเรากำหนดประโยคปัญหานี้ไม่ชัดเจนตั้งแต่แรกแล้ว จะทำให้เราใช้เวลามากในการค้นหา สาเหตุ และจะใช้เวลานานในการทำผังก้างปลาการกำหนดปัญหาที่หัวปลา เช่น อัตราของเสีย อัตราชั่วโมงการทำงานของคนที่ไม่มีประสิทธิภาพ อัตราการเกิดอุบัติเหตุ หรืออัตราต้นทุนต่อสินค้าหนึ่งชิ้น เป็นต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่า ควรกำหนดหัวข้อปัญหาในเชิงลบ

เทคนิคการระดมความคิดเพื่อจะได้ก้างปลาที่ละเอียดสวยงาม คือ การถาม ทำไม ทำไม ทำไม ในการเขียนแต่ละก้างย่อยๆ สาเหตุของปัญหาจะถูกเขียนไว้ในก้างปลาแต่ละก้าง ก้างย่อยเป็นสาเหตุของก้างรองและก้างรองเป็นสาเหตุของก้างหลัก

หลักการเบื้องต้นของแผนภูมิก้างปลา (fishbonediagram) คือการใส่ชื่อของปัญหาที่ต้องการวิเคราะห์ ลงทางด้านขวาสุดหรือซ้ายสุดของแผนภูมิ โดยมีเส้นหลักตามแนวยาวของกระดูกสันหลัง จากนั้นใส่ชื่อของปัญหาย่อย ซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหาหลัก 3 - 6 หัวข้อ โดยลากเป็นเส้นก้างปลาทำมุมเฉียงจากเส้นหลัก เส้นก้างปลาแต่ละเส้นให้ใส่ชื่อของสิ่งที่ทำให้เกิดปัญหานั้นขึ้นมา ระดับของปัญหาสามารถแบ่งย่อยลงไปได้อีก ถ้าปัญหานั้นยังมีสาเหตุที่เป็นองค์ประกอบย่อยลงไปอีก โดยทั่วไปมักจะมีการแบ่งระดับของสาเหตุย่อยลงไปมากที่สุด 4 – 5 ระดับ เมื่อมีข้อมูลในแผนภูมิที่สมบูรณ์แล้ว จะทำให้มองเห็นภาพขององค์ประกอบทั้งหมด ที่จะเป็นสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น

2. การวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด (MSA)

ระบบการวัดถือเป็นสิ่งที่มีความสำคัญเนื่องจากเป็นกลไกในการควบคุมผลิตภัณฑ์และควบคุมกระบวนการให้อยู่ภายใต้เงื่อนไขของการผลิต นอกจากนี้ยังเป็นการประกันคุณภาพของสินค้าก่อนที่จะส่งไปยังลูกค้า ดังนั้นการวิเคราะห์ระบบการวัดจึงควรพิจารณาถึงความความถูกต้องและความแม่นยำของข้อมูลที่ได้จากการวัด ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นต้องอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2542) ได้ให้คำนิยามของความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัดว่า ความแม่นยำ (Precision) หมายถึง ความสามารถในการวัดที่

ให้ผลใกล้เคียงกันมาก ไม่กระจัดกระจาย และจะให้ความแม่นยำไม่เปลี่ยนค่ามาก ไม่มีการปรับวิธีการหรือปรับเครื่องมือวัด แต่ความเที่ยงตรง (Accuracy) จะหมายถึง ความสามารถในการวัดที่ให้ค่าใกล้ความจริงมาก ผลต่างของค่าจริงและค่าวัดโดยเฉลี่ยน้อยมาก

คุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัดจะแบ่งพิจารณาออกเป็น 2 ประเภทคือ ความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) และความสามารถในการทำเหมือน (Reproducibility) โดยที่ความสามารถในการทำซ้ำของระบบการวัดหมายถึง ค่าความแตกต่างในการวัดอย่างต่อเนื่องกับชิ้นงานเดียวกันด้วยเครื่องมือเดียวกันและด้วยพนักงานคนเดียวกัน โดยปกติจะใช้ค่าความสามารถในการทำซ้ำสำหรับการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดในระยะสั้น (short term measurement) ส่วนความสามารถทางด้านการทำเหมือนจะใช้สำหรับการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดในระยะยาว (long term measurement) ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ความสามารถในการทำซ้ำคือ ความผันแปรภายในเงื่อนไขการวัดเดียวกัน ส่วนความสามารถในการทำเหมือนคือ ความผันแปรระหว่างเงื่อนไขของการวัด โดยเงื่อนไขอาจจะเป็นพนักงานวัด อุปกรณ์ยึดจับชิ้นงาน สภาพแวดล้อม เป็นต้น

การศึกษาความสามารถในการวัดซ้ำและความสามารถในการวัดเหมือนของระบบการวัด

การศึกษาความผันแปรของระบบการวัดในรูปความสามารถในการวัดซ้ำและความสามารถในการวัดเหมือน (Repeatability and Reproducibility) ต้องพิจารณารายละเอียดต่อไปนี้

1) วิธีการและเวลาที่จะมีการสอบเทียบเครื่องมือวัด

เป็นวิธีการที่มีความสำคัญต่อการพิจารณาถึงความคลาดเคลื่อนด้านความถูกต้องในระบบการวัด โดยปกติแล้วต้องมีการสอบเทียบก่อนการศึกษาความสามารถในการวัดซ้ำและการวัดเหมือน ไม่ควรมีการสอบเทียบใหม่ถ้าการศึกษายังไม่สิ้นสุดเพราะจะทำให้เกิดความแปรผันจากการสอบเทียบรวมอยู่ในความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability) และความสามารถในการวัดเหมือน (Reproducibility) ของระบบการวัด

2) จำนวนพนักงานที่ใช้ในการศึกษาความสามารถของระบบการวัด

การกำหนดจำนวนพนักงานวัดที่เหมาะสมสำหรับการศึกษามีความจำเป็นต้องพิจารณาก่อนว่าในระบบการผลิตมีพนักงานวัดจำนวนเท่าใด ถ้าหากเครื่องมือวัดดังกล่าวไม่ใช้พนักงานในการดำเนินการเลย (เครื่องมือวัดอัตโนมัติ) หรือมีการใช้พนักงานวัดเพียงคนเดียว แสดงว่าความผันแปรในระบบการวัดไม่ได้มีผลมาจากสาเหตุด้านพนักงานวัดเลย และในกรณีที่

ระบบการวัดมีจำนวนพนักงานวัดหลายคน ให้ทำการสุ่มพนักงานวัดมาทำการศึกษาอย่างน้อย 2 คน โดยพนักงานวัดทุกคนต้องผ่านการฝึกอบรมมาแล้วอย่างดีและปฏิบัติงานเกี่ยวกับการวัดในอุปกรณ์ที่ทำการศึกษาสำหรับงานประจำ

3) จำนวนชิ้นงาน (สิ่งตัวอย่าง)

จำนวนชิ้นงานตัวอย่างโดยปกติจะใช้ 10 ตัวอย่าง ถ้าหากไม่สามารถดำเนินการได้จะต้องพยายามให้ (จำนวนของสิ่งตัวอย่าง) x (จำนวนพนักงานวัด) มากกว่า 15 ถ้าหากไม่สามารถดำเนินการได้ให้เพิ่มจำนวนการทำซ้ำของการวัดในแต่ละตัวอย่าง และสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการวัดนี้จะต้องมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพของระบบการวัดด้านต่อการตรวจจับความผันแปรของชิ้นงานในกระบวนการ

4) จำนวนครั้งในการวัดซ้ำสำหรับแต่ละสิ่งตัวอย่าง

โดยปกติแล้วจะแนะนำให้ทำการวัดซ้ำที่จำนวนแต่ละสิ่งตัวอย่างด้วยจำนวนซ้ำที่เท่าๆกัน (เรียกการทดลองนี้ว่า Balance design) ซึ่งโดยทั่วไปจะกำหนดให้มีการวัดซ้ำสำหรับพนักงานแต่ละคน 2-3 ครั้งต่อชิ้นงาน

5) การวิเคราะห์ผลความสามารถในการวัดซ้ำและความสามารถในการวัดเหมือน (Gage R&R)

การประเมินผลความสามารถในการวัดซ้ำและความสามารถในการวัดเหมือนสามารถทำได้ 3 วิธี คือ วิธีอาศัยค่าพิสัย (Range Method) วิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and Range method) และวิธีอาศัยความแปรปรวน (ANOVA) แต่ในงานวิจัยเล่มนี้จะนำการวิเคราะห์แบบอาศัยความแปรปรวนมาใช้ในการประเมินระบบการวัด

การวิเคราะห์ตาราง ANOVAของระบบการวัดต้องเริ่มพิจารณาจากอิทธิพลร่วม (Interaction effect) ระหว่างชิ้นงานและพนักงานก่อนเสมอ ซึ่งถ้าพบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดมีนัยสำคัญ แสดงว่าเมื่อเปลี่ยนชิ้นงานให้พนักงานคนเดิมทำการวัดแล้วผลการวัดจะเปลี่ยนไปซึ่งจะพบว่าอิทธิพลร่วมจะมีผลมากและในกรณีที่อิทธิพลร่วมมีนัยสำคัญแล้ว จำเป็นต้องตีความหมายจากอิทธิพลหลัก (Main Effect) ของพนักงานวัดหรือชิ้นงาน เพราะแม้ว่าอิทธิพลหลักของพนักงานวัดจะดูเหมือนมีผลอย่างไม่มีนัยสำคัญแต่แท้จริงแล้วมีอิทธิพลเป็นอย่างมาก

เมื่อมีการประเมินค่าความผันแปรด้าน Repeatability และ Reproducibility แล้วจะต้องมีการประเมินผลเทียบเคียงกับความแปรผันที่ยอมรับได้ ซึ่งอาจเป็นความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะ (Precision-to-Tolerance Ratio หรือ P/T) สำหรับระบบการวัดที่ใช้การวัดเพื่อ

แยกแยะผลิตภัณฑ์ดี เสีย นอกจากนี้อาจเทียบความแปรผันจากกระบวนการ (Precision-to-Total Variation หรือ P/TV) สำหรับกระบวนการวัดที่ใช้ตรวจจับความผันแปรในกระบวนการ โดยที่

P/T = (Gage R&R / USL-LSL) x 100%

และ P/TV = (Gage R&R / Process Variation) x 100%

ค่าที่ยอมรับสำหรับการประเมินระบบการวัด (AIAG,2002) มีเกณฑ์การพิจารณาดังนี้

P/V หรือ P/TV < 10%	สามารถยอมรับความสามารถของระบบการวัดได้
10% ≤ P/V หรือ P/TV < 30%	อาจยอมรับได้ซึ่งขึ้นอยู่กับความสำคัญในสิ่งประยุกต์ใช้ ค่าใช้จ่ายในการวัด ตลอดจนปัจจัยอื่นๆ
P/V หรือ P/TV ≥ 30%	ไม่สามารถยอมรับความสามารถของระบบการวัดได้ มีความจำเป็นต้องระบุถึงความผันแปรแล้วทำการลดหรือกำจัดทิ้ง

2.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยนำปัจจัยนำเข้าที่สำคัญของกระบวนการที่ได้มาจากการขั้นตอนก่อนหน้านี้ มาทำการทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติ (Hypothesis Testing) และการออกแบบการทดลองทางสถิติ (Design of Experiment: DOE) เพื่อกรองปัจจัยนำเข้าทั้งหมดให้เหลือแต่ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอย่างแท้จริง และนำปัจจัยเหล่านี้ไปทำการปรับปรุงต่อไป โดยเครื่องมือทางสถิติที่นำมาประยุกต์ใช้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE)

การออกแบบการทดลองเป็นกระบวนการตรวจสอบว่าปัจจัย (Factor) หรือตัวแปร (Input Variable) ใดๆ มีผลต่อสิ่งที่ให้ความสำคัญหรือความสนใจในผลิตภัณฑ์ที่ออกมา (Output Response) โดยสามารถแบ่งประเภทของปัจจัยได้ 2 แบบคือ

1) ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) คือ ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของตัวแปรนั้นๆ ได้ในกระบวนการผลิต
2) ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) คือ ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของตัวแปรนั้นๆได้ในกระบวนการผลิตอันเนื่องมาจากเทคโนโลยีไม่ทันสมัยพอ ต้นทุน

ในการควบคุมสูงมากหรือไม่สามารถควบคุมเพราะเกิดจากสภาพแวดล้อมในกระบวนการผลิต

ดังนั้นการออกแบบการทดลองจึงต้องมีการกำหนดระดับของปัจจัยอย่างน้อย 2 ระดับ จึงจะสามารถวิเคราะห์ถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญได้

คำจำกัดความสำหรับการออกแบบการทดลอง

- เรพลิเคชั่น (Replication)

เป็นการทำการทดลองซ้ำ โดยเรพลิเคชั่นจะมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการ คือ ประการแรก เรพลิเคชั่นทำให้ผู้ทดลองสามารถประมาณค่าความผิดพลาดในการทดลองได้ ตัวประมาณค่าความผิดพลาดนี้กลายเป็นหน่วยของการวัดขั้นพื้นฐานสำหรับพิจารณาว่า ความแตกต่างสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความแตกต่างเชิงสถิติหรือไม่ ประการที่สอง คือ ถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลอง ดังนั้นเรพลิเคชั่นจะทำให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณค่าผลกระทบ

- แรนดอมไมเซชั่น (Randomization)

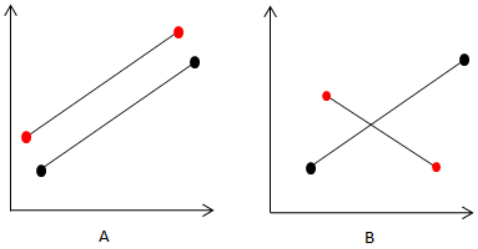
เป็นพื้นฐานหลักสำหรับการใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบการทดลอง โดยความหมายของ แรนดอมไมเซชั่น เป็นการทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำกับการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม วิธีเชิงสถิติได้กำหนดว่า ข้อมูลที่เก็บจะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายตัวแบบอิสระ การที่ออกแบบการทดลองแบบแรนดอมไมเซชั่น จะทำให้สามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะส่งผลกระทบต่อการทดลองได้

การเลือกแผนการทดลอง

การเลือกการออกแบบการทดลอง เกี่ยวข้องกับการพิจารณาขนาดของกลุ่มตัวอย่าง (จำนวนเรพลิเคต) การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่จะใช้ในการเก็บข้อมูลและตัดสินใจว่าควรจะใช้วิธีบล็อคหรือการใช้แรนดอมไมเซชั่น อย่างใดอย่างหนึ่งหรือไม่ ในการเลือกการออกแบบการทดลองจะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล โดยมีรายละเอียดดังนี้

แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design)เป็นการศึกษาผลที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนองในทุกระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (Treatment Combination) ที่มีตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป โดยทุกๆ Treatment Combination ของปัจจัยนำเข้าทุกตัว จะได้รับการศึกษาไปพร้อมๆ กัน ผลกระทบจากปัจจัยนำเข้าจะนิยามด้วยการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร

ตอบสนองที่ศึกษา โดยการเปลี่ยนแปลงระดับปัจจัยนำเข้านี้ เรียกว่า อิทธิพลหลัก (Main Effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) จะหมายถึงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนอง ในระดับของปัจจัยนำเข้าตัวหนึ่งจะมีค่าไม่เท่ากันในระดับต่างของปัจจัยนำเข้าตัวอื่นๆ ซึ่งแสดงได้โดยพิจารณาได้จากรูปความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่ไม่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย (รูป A)
การทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย (รูป B)

จากรูป 2.1 A จะเห็นว่าเส้นกราฟจากปัจจัยทั้งสองไม่ตัดกัน ซึ่งบ่งบอกว่าไม่มีอันตรกิริยาระหว่างสองปัจจัย ส่วนรูป 2.1 B กราฟทั้งสองจะตัดกันแสดงว่าปัจจัยทั้งสองมีอันตรกิริยาต่อกัน นอกจากนี้ยังมีการแบ่งย่อยแผนการทดลองออกเป็นลักษณะเฉพาะตัวดังนี้

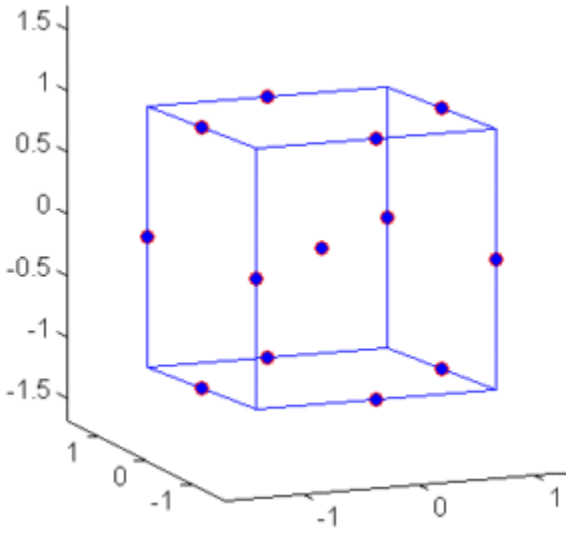
- **การออกแบบทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2 ระดับ** (2^k Factorial Design)
เป็นการทดลองที่มี k ปัจจัย แต่ละปัจจัยจะมีระดับอยู่ 2 ระดับคือ ระดับต่ำใช้สัญลักษณ์ -1 และระดับสูงใช้ 1 การทดลองประเภทนี้เหมาะสำหรับการทดลองที่ปัจจัยมากๆ เป็นการทดลองหาปัจจัยที่มีอิทธิพลเบื้องต้น จะช่วยในการทดลองเจาะลึกถัดไป
- **การออกแบบทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3 ระดับ** (3^k Factorial Design)
เป็นการทดลองที่มี k ปัจจัย แต่ละปัจจัยจะมีระดับอยู่ 3 ระดับคือ ระดับต่ำใช้สัญลักษณ์ -1 ระดับกลางใช้สัญลักษณ์ 0 และระดับสูงใช้ 1การทดลองแบบนี้เหมาะสำหรับการทดลองที่ผู้ทดลองกำลังสนใจตัวแปรตอบสนองที่มีลักษณะเป็นส่วนโค้ง
- **การออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล** (Fractional Factorial Design)
เป็นการทดลองที่ใช้ในกรณีที่การทดลองมีหลายปัจจัย ทำให้ต้องเสียเวลาในการเก็บข้อมูลมาก ดังนั้นจะทำให้ความสัมพันธ์ของทรีทเมนต์ (Treatment Combination) บางตัวถูกตัดออกไปโดยอาศัยหลักการคอนฟาวด์ (Confound) ซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองลดลง

2.2.4 ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

หลังจากการออกแบบการทดลองเพื่อหากลั่นกรองหาปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างแท้จริงแล้ว อาจมีการประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Method) เพื่อหาระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย โดยเทคนิคนี้เกิดจากการรวมเทคนิคทางคณิตศาสตร์และสถิติที่ใช้สร้างตัวแบบและวิเคราะห์ปัญหาซึ่งตัวแปรตอบสนองได้รับอิทธิพลจากตัวแปรหลายๆ ตัวแปร ซึ่งวัตถุประสงค์คือ ต้องการค่าที่เหมาะสมของตัวแปรเหล่านั้นโดยะต้องใช้การทดลองที่มีการออกแบบจำลองอันดับที่สอง แต่เนื่องจากการออกแบบจำลองอันดับที่สองไม่สามารถใช้การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลได้ ดังนั้นจึงต้องมีการเพิ่มจุดของการทดลองให้เพียงพอต่อการหาสมการอันดับสอง ดังแสดงต่อไปนี้

แผนการออกแบบการทดลองแบบบอกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design)

การออกแบบบอกซ์ – เบห์นเคน (Box-Behnken Design) เป็นการออกแบบสามระดับบนพื้นผิวผลตอบ การออกแบบถูกสร้างขึ้นมาจากการรวบรวมเอาการออกแบบแฟกทอเรียล 2^k กับการออกแบบบล็อคไม่สมบูรณ์ ผลของการออกแบบมีประสิทธิภาพมากในด้านจำนวนของการรันที่ต้องการและการออกแบบนี้ยังมีความสามารถในการหมุนหรือเกือบหมุนได้อีกด้วย



รูปที่ 2.2 การออกแบบบอกซ์ – เบห์นเคน สำหรับสามตัวแปร

จากรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงการออกแบบบอกซ์ – เบห์นเคนที่มีตัวแปร 3 ตัวแปร รูปทางเรขาคณิตของการออกแบบจะสังเกตเห็นว่า การออกแบบบอกซ์ – เบห์นเคน เป็นการออกแบบรูปทรงกลมที่ทุกจุดวางอยู่บนรูปทรงกลมรัศมี นอกจากนั้น การออกแบบบอกซ์ – เบห์นเคนไม่ได้รวมเอาจุดใดๆ ที่เป็นจุดยอดของรูปลูกบาศก์ที่สร้างขึ้นจากขีดจำกัดบนและล่างของแต่ละตัวแปร

เอาไว้ การกระทำเช่นนี้เป็นประโยชน์อย่างมากเมื่อจุดที่อยู่บนมุมของลูกบาศก์ คือ การรวมเอาปัจจัยระดับ (Factor Level Combination) ที่แพงมากหรือเป็นไปไม่ได้ที่จะทำการทดลองเนื่องจากข้อจำกัดด้านกายภาพของกระบวนการ

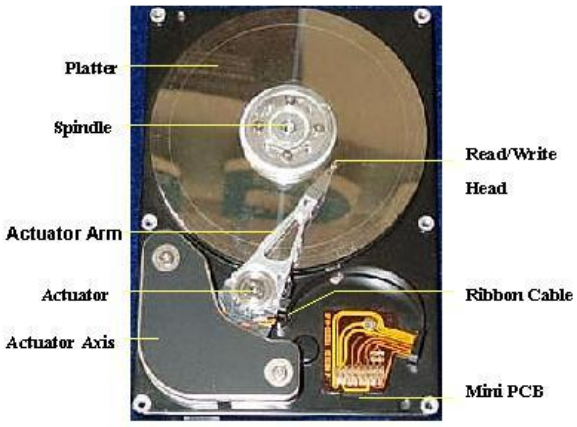
2.2.5 ขั้นตอนการติดตามและควบคุมกระบวนการ (Control Phase)

ขั้นตอนนี้จะเป็นกระบวนการสุดท้ายของการปรับปรุงคุณภาพตามแนวคิดซิกซ์ ซิกมาโดย เมื่อกระบวนการผลิตได้รับการปรับปรุงเรียบร้อยแล้ว จะต้องมีการออกแบบวิธีการควบคุมปัจจัยต่างๆที่ได้กำหนดไว้ เพื่อให้พนักงานสามารถควบคุมได้ด้วยตนเองแล้วทำการประเมินความสามารถของกระบวนการอีกครั้งเพื่อดูผลลัพธ์หลังจากทำการปรับปรุงว่า สำเร็จตามเป้าหมายที่ตั้งไว้หรือไม่ ถ้าหากความสามารถของกระบวนการยังไม่ดีพออาจจะต้องมีการย้อนกลับไปทำตามขั้นตอนก่อนหน้านี้อีกครั้ง นอกจากนี้ยังต้องมีการทำการประเมินผลการดำเนินงานถึงระดับคุณภาพที่เปลี่ยนแปลงไป มีการประเมินความสามารถในการลดต้นทุนหลังการปรับปรุง พิจารณาความพอใจของลูกค้าที่เปลี่ยนไปหลังการปรับปรุงกระบวนการ ดังนั้นสิ่งที่ได้รับหลังจากการดำเนินงานในขั้นตอนนี้คือ แผนการควบคุมกระบวนการ หลักฐานการควบคุมกระบวนการ บทสรุปการดำเนินการและสภาพของกระบวนการที่ดียิ่งขึ้น

2.3 ผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Hard disk drive)

ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้สามารถรองรับกับการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้น โดยส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมีดังนี้

2.3.1 ลักษณะโดยทั่วไปของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

ภายในตัวฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟประกอบด้วยชิ้นส่วนต่างๆ มากมายรวมอยู่ในกล่องบรรจุที่ปิดสนิทด้วยสุญญากาศ แต่ส่วนประกอบที่สำคัญในการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมีดังนี้

1. **แผ่นจานแม่เหล็ก** (Platter)

ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจะประกอบด้วยแผ่นจานแม่เหล็ก (platters) สองแผ่นหรือมากกว่ามาจัด เรียงอยู่บนแกนเดียวกันเรียก Spindle ทำให้แผ่นแม่เหล็กหมุนไปพร้อม ๆ กัน จากการขับเคลื่อน ของมอเตอร์ด้วยความเร็ว 7200 รอบต่อนาที แต่ละหน้าของแผ่นจานจะมีหัวเขียนอ่านประจำเฉพาะ โดย หัวเขียนอ่านทุกตัวจะเชื่อมติดกันคล้ายหวีสามารถเคลื่อนเข้าออกระหว่างแทร็คต่าง ๆ อย่างรวดเร็ว

แผ่นจานแม่เหล็กของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ จะมีความหนาแน่นของการจุข้อมูลบนผิวหน้าได้สูงกว่าแผ่น ดิสก์เกตต์มาก เช่น แผ่นดิสก์เกตต์มาตราฐานขนาด 5.25 นิ้ว ความจุ 360 กิโลไบต์ จะมีจำนวนวงรอบ บันทึกข้อมูลหรือเรียกว่า แทร็ค(track) อยู่ 40 แทร็ค กรณีของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาดเดียวกันจะมีจำนวน วงรอบสูงมากกว่า 1000 แทร็คขึ้นไป ขณะเดียวกันความจุในแต่ละแทร็คของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟก็จะสูงกว่า ซึ่งประมาณได้ถึง 5 เท่าของความจุในแต่ละแทร็คของแผ่นดิสก์เกตต์ เนื่องจากความหนาแน่นของการบันทึกข้อมูลบนผิวแผ่นจานแม่เหล็กของฮาร์ดดิสค์สูงมาก ๆ ทำให้หัวอ่านและเขียนบันทึกมีขนาดเล็ก ตำแหน่งของหัวอ่านและเขียนบันทึกก็ต้องอยู่ในตำแหน่ง ที่ใกล้ชิดกับผิวหน้าจานมาก โอกาสที่ผิวหน้าและหัวเขียนอ่านอาจกระทบกันได้ ดังนั้นแผ่นจานแม่เหล็กจึงควรเป็นแผ่นอะลูมิเนียมแข็ง แล้วฉาบด้วยสารแม่เหล็ก

2. **ชุดแขนหัวเขียนอ่าน** (Actuator)

โดยปกติแล้วจานบันทึกข้อมูล 1 แผ่นจะประกอบไปด้วยชุดแขนหัวเขียนอ่าน 1 ชุดซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่เคลื่อนแขนไปยังตำแหน่งแทร็คและเซ็กเตอร์ที่ต้องการอ่านข้อมูลอย่างแม่นยำโดยถือเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ เป็นตัวบ่งบอกถึงความเร็วในการทำงานและจำนวนบิตที่สามารถบรรจุไว้บนแผ่นจานบันทึกข้อมูล ชุดแขนหัวเขียนอ่านจะต้องเคลื่อนที่ไปในแนวตรงอย่างแม่นยำเพราะว่าจะทำให้เขียนอ่านข้อมูลได้อย่างถูกตำแหน่ง

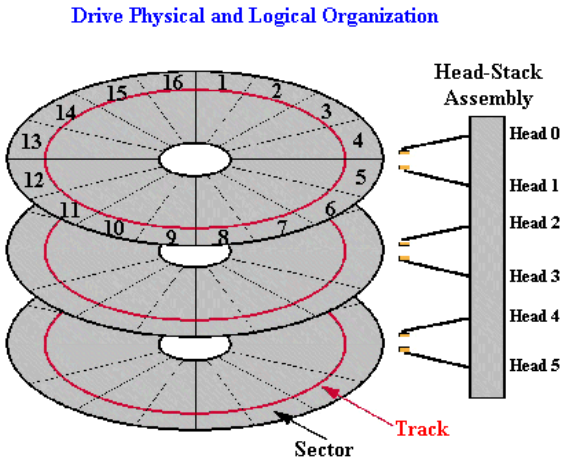
3. **หัวเขียนอ่าน** (Head)

ชิ้นส่วนนี้จะถูกติดไว้ที่ปลายของชุดแขนหัวเขียนอ่านและเคลื่อนที่ไปพร้อมๆ กันโดยทำ

หน้าที่ในการอ่านและเขียนลงบนจานบันทึกข้อมูล หัวเขียนอ่านจะอยู่ทั้งด้านบนและด้านล่างของจานบันทึกข้อมูล เมื่อฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเริ่มทำงาน สปินเดิลมอเตอร์จะหมุนทำให้จานบันทึกข้อมูลซึ่งถูกยึดติดกับสปินเดิลมอเตอร์หมุนด้วยความเร็วรอบ 7200 รอบต่อนาทีจนเกิดการไหลเวียนของอากาศภายในที่เรียกว่า Air flow และเกิดแรงยกตัวของจานบันทึกข้อมูล ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างแผ่นจานบันทึกข้อมูล และหัวอ่านประมาณ 2 ไมครอน ส่วนนี้เป็นจุดที่สำคัญสำหรับการเขียนอ่านของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเนื่องจากถ้าแผ่นจานบันทึกข้อมูล ไม่ถูกยกตัวขึ้น ก็จะทำให้หัวเขียนอ่านอยู่แนบชิดกับแผ่นจานบันทึกข้อมูล จนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเกิดความเสียหายไม่สามารถเขียนอ่านข้อมูลได้

2.3.2 การเขียนอ่านข้อมูลบนแผ่นจานบันทึกข้อมูล

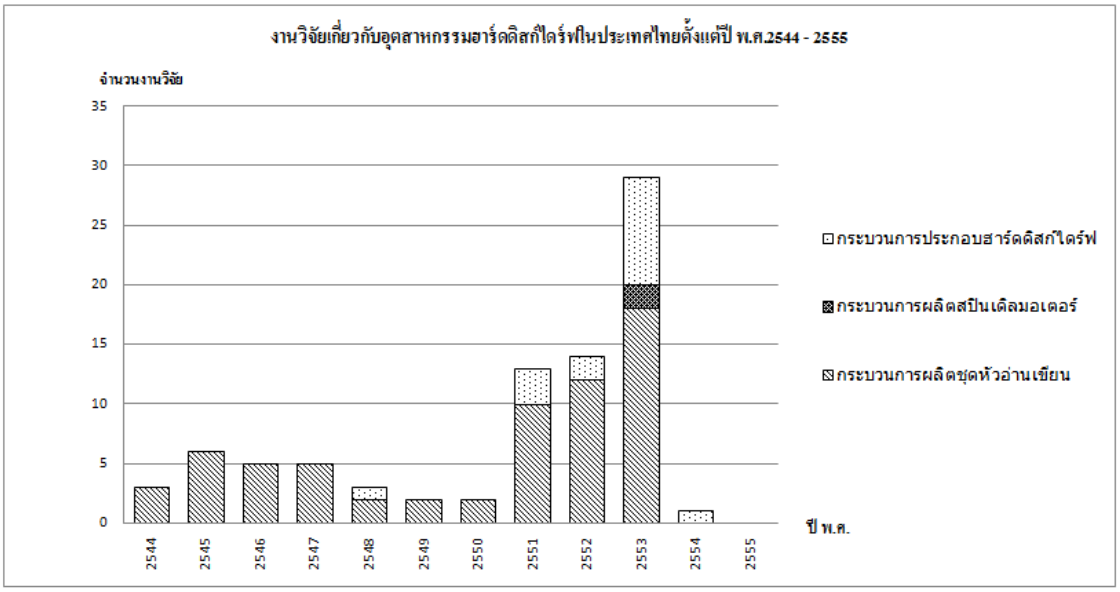
ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟนั้นสามารถ เก็บข้อมูลได้ทั้ง 2 ด้านของแผ่นจานบันทึกข้อมูลถ้าหัวเขียนอ่านนั้นอยู่ทั้ง 2 ด้าน จากรูปที่ 2.4 ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ มีจานบันทึกข้อมูล 3 แผ่นนั้นสามารถมีพื้นที่ในการ เก็บข้อมูลได้ถึง 6 ด้าน และมีหัวเขียนอ่าน 6 หัว การเคลื่อนที่ของหัวเขียนอ่านนี้จะมีการเคลื่อนที่ไปพร้อม ๆ กันโดยจะมีการเคลื่อนที่ที่ตรงกัน Track วงกลมนั้นจะถูกแบ่งออก เป็นหน่วยย่อย ๆ เรียกว่า Sector การเขียนข้อมูลลงบนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟนั้นจะเริ่มเขียนจากรอบนอกสุด ของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟก่อน จากนั้นเมื่อข้อมูลใน Track นอกสุดถูกเขียนจนเต็มหัวอ่านก็จะเคลื่อนมายังแทร็คถัดมา ที่ว่างแล้วทำการเขียน ข้อมูลต่อไป ซึ่งก็ด้วยวิธีการนี้ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานสูงเป็นอย่างมากเพราะหัวเขียนอ่านสามารถบันทึกข้อมูลได้มากกว่า ในตำแหน่งหนึ่งก่อนที่จะเคลื่อนที่ไปยังแทร็คถัดไป



รูปที่ 2.4 พื้นที่การเขียนอ่านบนแผ่นจานบันทึกข้อมูล

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 – 2555 พบว่า มีผู้ที่สนใจศึกษางานวิจัยทางด้านการปรับปรุงคุณภาพในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 3 ด้านหลักๆ คือ กระบวนการผลิตสปินเดิลมอเตอร์ กระบวนการผลิตชุดหัวอ่านเขียนข้อมูล และกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ซึ่งแสดงแนวโน้มของจำนวนงานวิจัยได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แนวโน้มของการศึกษาวิจัยทางด้านอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ
แหล่งที่มา: ฐานข้อมูลโครงการเครือข่ายห้องสมุดในประเทศไทย สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา

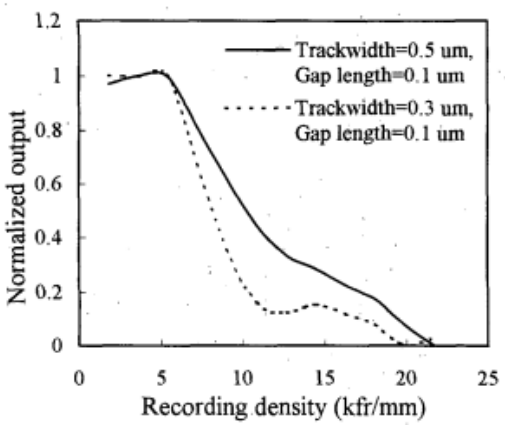
จากรูปที่ 2.5 พบว่าหัวข้อที่มีผู้ทำการวิจัยอย่างกว้างขวางคือ กระบวนการผลิตชุดหัวอ่านเขียนข้อมูล ซึ่งถือเป็นส่วนที่สำคัญในการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟและมีขั้นตอนกระบวนการผลิตที่ซับซ้อน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาทั้งทางวิธีการสร้างแบบจำลอง (Simulation) และการออกแบบทดลองจริงในสายการผลิต เช่น การวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการ Swaging สำหรับการประกอบชุดหัวอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (ทศนพ กำเนิดทอง และสิทธิพงษ์ แสงสานนท์,2553) การปรับปรุงกระบวนการประกอบชิ้นส่วนของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟโดยการจำลองสถานการณ์ 3 มิติเสมือนจริง(อมรเทพ ดอกไม้ และ อรรถกร เก่งพล, 2553) การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดในกระบวนการประกอบอาร์ม คอยล์ของการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (เปรมชัย มูลหล้า,2554) และ การควบคุมปริมาตรของหยดกาวแบบที่ทำงานผ่านแสงอัลตราไวโอเลตเพื่อนำไปใช้ในการประกอบหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ (กรีฑา สุขทั่ง และ วิศนุรักษ์ เวชสถล

,2552) เป็นต้นแต่อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ คือ การนำชิ้นส่วนต่างๆ มาประกอบกันด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติโดยงานวิจัยที่ผ่านมีผู้ศึกษาผลจากกระบวนการประกอบในชิ้นส่วนย่อย เช่น การลดฝาครอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟบกพร่องจากการถอดประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ และ ศราวุธ เคนกุล,2553) และ สิ่งปนเปื้อนในกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ เช่น การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความผันแปรในการทดสอบการวัดปริมาณสิ่งปนเปื้อนในชิ้นส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (นฤมล รอดกำเหนิด และ มณฑลี ศาสนนันทน์,2553) เป็นต้น แต่ยังไม่มีผู้ใดศึกษาถึงปัจจัยในกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ส่งผลถึงพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลบนจานบันทึกข้อมูลดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาถึง การลดข้อบกพร่องในกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ที่จะส่งผลต่อพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลบนจานบันทึกข้อมูล

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและสำรวจงานวิจัยเกี่ยวกับ การบริหารคุณภาพด้วยแนวคิดซิกซ์ ซิกมา รวมถึงการประยุกต์ในการลดของเสียหรือลดความแปรปรวนทั้งในผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ และผลิตภัณฑ์อื่นๆ เพื่อเป็นแนวทางในการทำการศึกษาวิจัยครั้งนี้

2.4.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลบนจานบันทึกข้อมูล

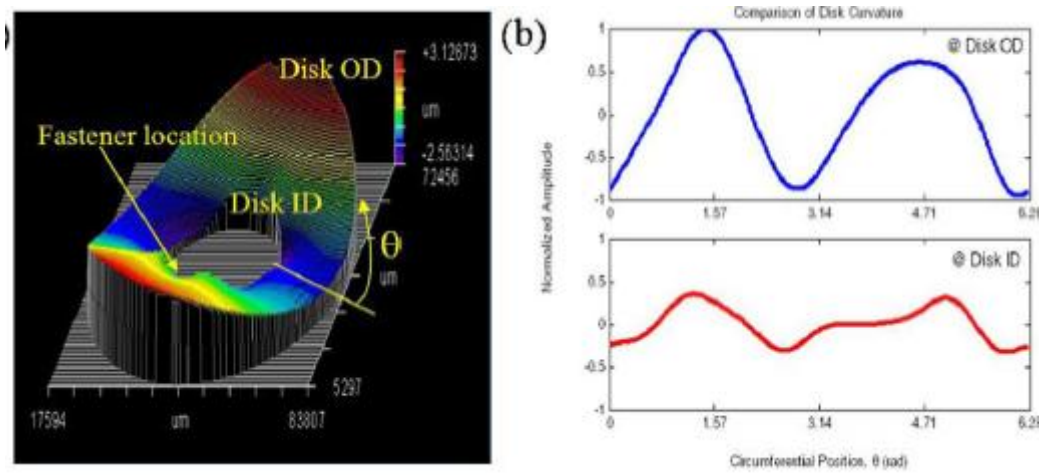
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลบนแผ่นจานบันทึกข้อมูลส่วนใหญ่จะมีการศึกษาค่า TPI ในรูปแบบของแผ่นจานบันทึกข้อมูลโดยเฉพาะกล่าวคือ เลือกศึกษาความหนาแน่นในการเก็บข้อมูลโดยใช้ระบบจำลอง (Simulation) (Wang, F. Z., L. He, et al.,1999)ได้ทำการศึกษาความจุของการเก็บข้อมูลบนแผ่นจานบันทึกข้อมูลชนิดฟิล์มบางแม่เหล็ก โดยเลือกศึกษาลักษณะของความหนาแน่นเชิงเส้น (Linear Densities) ว่ามีผลต่อจำนวนแทร็คบนแผ่นจานบันทึกข้อมูลหรือไม่ งานวิจัยนี้เลือกความหนาแน่นเชิงเส้น 4 ขนาดคือ 6.138 kfr/mm , 10.824 kfr/mm 14.433 kfr/mm และ 18.042 kfr/mm นำมาจำลองการเคลื่อนที่ของหัวเขียนอ่านบนแผ่นจานบันทึกข้อมูลและพิจารณาลักษณะการบันทึกข้อมูลซึ่งพบว่า เมื่อลดขนาดของความหนาแน่นเชิงเส้นลง จะทำให้ค่าความหนาแน่นของแทร็คเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าที่ความกว้างของแทร็ค (Trackwidth) ต่างกันก็จะส่งผลต่อค่าความหนาแน่นของจำนวนแทร็คด้วยคือ เมื่อความกว้างของแทร็คเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ความหนาแน่นของแทร็คเพิ่มขึ้นเช่นกันดังรูปที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบความหนาแน่นของการบันทึกข้อมูลเมื่อมีความกว้างของแทร็ค 0.3 และ 0.5 ไมครอน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ต้องการออกแบบแผ่นจานบันทึกข้อมูลให้มีความหนาแน่นของแทร็คมากกว่า 75,000 TPI จึงต้องพิจารณาความหนาแน่นเชิงเส้นและความกว้างของแทร็คด้วย



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของแทร็คและความหนาแน่นเชิงเส้น ที่ความกว้างแทร็ค 0.3 และ 0.5 ไมครอน

ในปี 2008 ได้มีผู้ศึกษาสภาวะคงตัวของการวางตำแหน่งบนแทร็คในการทำงานของตัว HGA กับแผ่นจานบันทึกข้อมูลที่มีค่า TPI สูง (ฐิติภัทร์ พิสิฐพรสกุล, 2551) พบว่า ในขณะที่หัวเขียนอ่านถูกประกอบเป็นฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ เกิดระยะคลาดเคลื่อนเนื่องจากการสั่นหมุนของสปินเดิลมอเตอร์มีค่าเกินกว่าช่วงของระยะความกว้างของแทร็คที่ทำการเขียนอ่านข้อมูล ในกระบวนการเขียนและหาตำแหน่งของหัวอ่านบนแผ่นจานบันทึกข้อมูลจะเกิดความผิดพลาดในการอ่านข้อมูลในตำแหน่งแทร็คต่างๆ อันเนื่องมาจากฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่มีความจุของข้อมูลสูงจะต้องการความเร็วในการหมุนสปินเดิลมอเตอร์ที่มากขึ้น จึงส่งผลกระทบพลศาสตร์ของแผ่นจานบันทึกข้อมูลทำให้เกิดการพลิ้วตัว ดังนั้นในขณะฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟทำงานจึงทำให้การอ่านค่าแทร็คเกิดความผิดพลาดได้และส่งผลกระทบต่อความหนาแน่นของการบันทึกข้อมูล

การวางตัวของตำแหน่งหัวเขียนอ่านและแผ่นจานบันทึกข้อมูลจึงถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผู้ศึกษาถึงผลกระทบต่อความหนาแน่นของจำนวนแทร็ค (Chang, 2009) โดยพบว่าในการประกอบผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในคลีนรูมที่อุณภูมิ 25 องศาเซลเซียส แต่ในขณะที่ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเริ่มทำงานอุณหภูมิภายในจะสูงขึ้นเรื่อยๆ จนถึง 80 องศาเซลเซียสลักษณะทางกายภาพของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟอาจทำให้เกิดการบิดตัวของแผ่นจานบันทึกข้อมูลอันเนื่องมาจากแรงกดบริเวณจุดศูนย์กลางของสปินเดิลมอเตอร์ ซึ่งถูกยึดด้วยแรงสกรูทำให้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของ แผ่นจานบันทึกข้อมูลมีลักษณะต่ำกว่าระยะรัศมีด้านนอก ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ลักษณะการบิดตัวของแผ่นจานบันทึกข้อมูลอันเนื่องมาจากแรงกดทับ

นอกจากนี้ปัจจัยที่ทำให้ตำแหน่งการเขียนอ่านข้อมูลบนแผ่นจานบันทึกข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนไปจากค่าแทร็คที่เขียนไว้คือ การออกแบบสายวงจรของแขนเขียนอ่านข้อมูล (Flexible ribbon cable) ที่ไม่เหมาะสม (Chang, 2009) โดยจะส่งผลกระทบต่อตำแหน่งการเคลื่อนที่ของหัวเขียนอ่านข้อมูลทำให้เกิดการสั่นสะเทือน (Vibration) ขณะทำการเขียนอ่านส่งผลให้การเขียนอ่านข้อมูลเกิดความผิดพลาดโดยแสดงผลออกมาเป็นค่าความผิดพลาดของตำแหน่ง (Position Error Signal) คณะผู้วิจัยได้เสนอแนวคิดในการออกแบบสายวงจรของแขนเขียนอ่านข้อมูลโดยให้คำนึงถึงระยะการเคลื่อนที่ของหัวเขียนอ่านให้สามารถเคลื่อนที่บนแผ่นจานบันทึกข้อมูลประมาณ 75% ในแนวรัศมีของพื้นที่เขียนอ่านข้อมูลทั้งหมดโดยพื้นที่ส่วนที่เหลือประมาณ 2,000-2,500 แทร็คจะเป็นระยะเผื่อด้านเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (ID) และด้านเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกซึ่งไม่สามารถเขียนอ่านข้อมูลลงบริเวณพื้นที่ส่วนนี้ได้

ดังนั้นจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเขียนอ่านข้อมูลลงบนจานบันทึกข้อมูลข้างต้น สามารถสรุปแนวทางที่จะนำไปใช้ได้ดังตารางที่ 2.1

นอกจากนี้ งานวิจัยนี้จึงเล็งเห็นถึงปัจจัยในส่วนที่จะส่งผลต่อพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลบนแผ่นจานบันทึกข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟได้แก่ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการปรับตั้งเครื่องจักร เช่น ค่ามุมในการคลายสกรู, แรงที่ใช้ในการหมุน Ramp ,ความสูงของแท่งหมุน, ค่าแรงบิดที่กระทำต่อสกรู เป็นต้น ปัจจัยในส่วนของวัตถุดิบ เช่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งยาง IDCS และ ความสูงของฮับในสปินเดิลมอเตอร์ ปัจจัยในส่วนของกระบวนการทำงาน เช่น ลักษณะการหยิบชิ้นงานของพนักงานแต่ละกะ ตำแหน่งการวางชิ้นงานลงบนฟิกเจอร์ที่แตกต่างกัน เป็นต้น และจะทำการศึกษาผลของปัจจัยเหล่านี้ที่ส่งผลกระทบทำให้ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการอ่านค่าแทร็คเริ่มต้น แทร็คสุดท้าย และ ความหนาแน่นของแทร็ค (TPI) มีน้อยกว่าค่าที่ยอมรับของ AIAG (1995) ที่ค่า 1.33 (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2549)

ตารางที่ 2.1การศึกษางานวิจัยในอดีตและแนวทางประยุกต์ใช้

หัวข้องานวิจัย	ผู้วิจัย	แนวทางการประยุกต์ใช้
Interaction between track and linear densities	Wang et al. (1999).	จากงานวิจัยนี้ ทำให้ทราบว่า ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ต้องการความจุสูงหรือมีค่าความหนาแน่นของแทร็ค (TPI) สูง ส่วนหนึ่งควรจะมีการออกแบบค่าความหนาแน่นเชิงเส้น (Linear Density) และ ความกว้างของแทร็ค (Track Width) ที่เหมาะสม ตั้งแต่กระบวนการผลิตแผ่นบันทึกข้อมูล แต่อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ไม่ได้คำนึงความแปรปรวนที่เกิดจากขั้นตอนการประกอบ
การศึกษาและออกแบบวิธีการทดสอบเพื่อวัดความสามารถสภาวะคงตัวของการวางตำแหน่งบนแทร็คในการทำงานของตัว HGA กับแผ่น DISC ที่มีค่า Track-Per-Inch สูง	ฐิติภัทร์ พิสิฐพรสกุล. (2550)	งานวิจัยนี้ ได้กล่าวว่า ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่มีความจุสูงๆ ล้วนแต่ต้องการความเร็วในการหมุนสปินเดิลมอเตอร์ที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อพลศาสตร์ของแผ่นจานบันทึกข้อมูลโดยตรงทำให้เกิดการพลิ้วตัวของแผ่นจาน ดังนั้น ตัวแปรที่อาจจะนำมาประยุกต์ในการทดลองคือ ความเร็วในการหมุนของสปินเดิลมอเตอร์
Mitigation of track following repeatable run out in high TPI hard disk drives through servo and mechanical designs	Chang, J.Y. (2009).	งานวิจัยนี้ได้นำเสนอถึงปัจจัยของอุณหภูมิในขณะฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟทำงานซึ่งสูงถึง 80 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจทำให้ให้แผ่นจานบันทึกข้อมูลเกิดการบิดตัว จนทำให้ตำแหน่งการเขียนอ่านข้อมูลผิดพลาด ดังนั้น สามารถประยุกต์ใช้ ตัวแปร อุณหภูมิ มาศึกษาว่ามีผลต่อพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลหรือไม่
Minimization of flexible cable settling pes in high tpi hard disk drives via mechatronic integration	Chang, J.Y. (2009).	งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาถึงความยาวสายวงจรของแขนเขียนอ่านข้อมูลซึ่งจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อตำแหน่งการเขียนอ่าน ดังนั้น สามารถประยุกต์ใช้แนวความคิดนี้โดยทำการศึกษา ความยาวสายวงจรของแขนเขียนอ่านข้อมูลว่ามีความเหมาะสมหรือไม่

2.4.2 การประยุกต์ใช้ ซิกซ์ ซิกมา ในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

ซิกซ์ ซิกมา เป็นเครื่องมือที่ได้มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในการลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการต่างๆ ของอุตสาหกรรมการผลิต การเลือกหัวข้อที่น่าสนใจเพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพอาจจะมีการนำเครื่องมือที่ได้รับความนิยมนำมาใช้ช่วยในการวิเคราะห์ คือ การระดมสมอง (Ricardo, Charles and Tuersley, 2009) ผลการสำรวจพบว่าเป็นเครื่องมือที่ได้รับความนิยมเป็นอันดับหนึ่ง รองลงมาคือ CTQ Tree และ Focus group ตามลำดับ นอกจากนี้สิ่งที่ต้องพิจารณาถึงในการเลือกทำโครงการปรับปรุงคุณภาพตามแนวคิดซิกซ์ ซิกมาคือ ผลตอบแทนหลังจากทำโครงการปรับปรุงคุณภาพสำเร็จโดยจะต้องสะท้อนอยู่ในรูปมูลค่าของความสูญเสียที่ลดลง (Net cost saving)

ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟสามารถแบ่งย่อยได้ตามส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์เช่น ชุดหัวเขียนอ่านข้อมูล (HSA) หัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Slider) แผ่นวงจร (PCB) หรือ สปินเดิลมอเตอร์ เป็นต้น หลังจากมีการระดมทีมเพื่อทำการคัดเลือกหัวข้อโครงการที่จะปรับปรุงคุณภาพแล้วจะต้องมีการศึกษาสภาพปัญหาที่พบ ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล ระบุปัญหาและขอบเขตให้ชัดเจน เช่น การลดของเสียประเภทชิ้นงานฮับเอียงของสปินเดิลมอเตอร์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (มนตรี ก่อพงศ์เจริญชัย, 2551) ได้กำหนดขอบเขตของการปรับปรุงกระบวนการกลึงชิ้นงานของสปินเดิลมอเตอร์รุ่น TNKMD โดยมีตัวชี้วัดเป็นสัดส่วนของเสียที่ 19.47% ให้ลดลงเหลือ 7.08% ในชิ้นส่วนของขดลวดคอยด์ซึ่งเป็นส่วนประกอบหนึ่งของหัวเขียนอ่านฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ พบว่ามีการกำหนดขอบเขตเพื่อที่จะหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการอบกาวเพื่อให้เกิดแรงพันธะ (bonding force) ที่เหมาะสมกับชิ้นงาน เป็นต้น

หลังจากนั้นในขั้นตอนของการกำหนดสาเหตุของปัญหาจะต้องมีการระดมความคิดของคนในทีมเพื่อระบุปัจจัยเบื้องต้นที่มีผลต่อตัวแปรที่จะศึกษา และจะต้องมีการกำหนดตัวชี้วัดเพื่อใช้ประเมินค่าก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ เช่น ค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการในระยะสั้น (Cpk) ดังงานวิจัยเรื่อง ลดปริมาณของเสียที่เกิดจากการรับน้ำหนักกด (Gramload) ของชุดหัวอ่านที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด (ภัทรา อายุวัฒน์, 2003) ได้กำหนดเป้าหมายของการปรับปรุงคุณภาพเป็นดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการให้มีค่ามากกว่า 1.33 และทำการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการตั้งค่าของเครื่อง Shuttle และเครื่อง Swaging ให้เหมาะสมซึ่งส่งผลต่อการรับน้ำหนักกดของชุดหัวอ่านนอกจากนี้อาจจะมีการวิเคราะห์ถึงความแม่นและความเที่ยงตรงของกระบวนการวัดก่อน เนื่องจากถ้ากระบวนการวัดไม่มีคุณภาพก็จะทำให้ค่าที่วัดออกมาไม่มีความน่าเชื่อถือ ดังเห็นได้จากการปรับปรุงคุณภาพกระบวนการผลิตแผ่นเวเฟอร์ซึ่ง

เป็นส่วนประกอบในวงจรอิเล็กทรอนิกส์พบว่ามีการวิเคราะห์ความแม่นของระบบการวัดก่อนที่จะมีการเก็บข้อมูลโดยประเมินค่าความผันแปรทางด้าน Repeatability และ Reproducibility ของระบบการวัด พบว่ามีค่า %Gage R&R ที่ 19.21% ทางผู้วิจัยได้ยอมรับค่าการประเมินนี้และทำการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลต่อไป

เครื่องมือทางสถิติที่ถูกนำมาช่วยในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา เช่น การใช้แผนภาพก้างปลาการระดมสมองและการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) โดยสามารถนำมาช่วยแก้ปัญหาในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟซึ่งพบว่าปัญหาข้อบกพร่องคือการวางตำแหน่งของหัวอ่านผิดพลาดส่งผลให้ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟไม่สามารถอ่านข้อมูลได้ (ประเสริฐ ศรีบุญจันทร์ และสมจิตร ลาภโนนเขวา, 2550) จากการวัดผลิตภัณฑ์บกพร่องที่เกิดจากการวางตำแหน่งหัวอ่านผิดพลาดก่อนการปรับปรุงมีค่าเป็น 0.0859% หลังจากทีมได้ระดมสมองและกรองปัจจัยโดยการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหาคือความเข้มของแสง UV เวลาการเปิดวาล์วของหลอดกาวและความดันของกาวภายในหลอดจากการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าความเข้มของแสง UV เวลาการเปิดวาล์วของหลอดกาวและความดันของกาวภายในหลอดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของหัวอ่านในแนวแกน x และ t อย่างมีนัยสำคัญส่วนในแนวแกน y ไม่มีนัยสำคัญซึ่งพบว่าผลกระทบที่รุนแรงจะอยู่ที่แกน t จึงได้วางแผนการทดลองต่อไปในขั้นตอนของการปรับปรุงคุณภาพ

การกรองปัจจัยนำเข้าให้เหลือแต่ปัจจัยที่มีนัยสำคัญ ยังถูกประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการลดของเสียในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาด 3.5 นิ้ว (Wilasri and Sutivong, 2011) กรณีข้อบกพร่องค่าความต้านทานแม่เหล็กไม่ตรงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ โดยทำการระดมสมองจากพนักงานและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องเพื่อวิเคราะห์หาแผนภาพสาเหตุและผล จากนั้นนำแผนภาพที่ได้มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและปัญหา เพื่อคัดกรองแต่เฉพาะสาเหตุที่มีความสำคัญนั้น จากนั้นนำมาวิเคราะห์ความรุนแรง ความถี่ และการควบคุมโดยใช้เทคนิค FMEA โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการกรองปัจจัยจะทำการเลือกปัจจัยที่มีคะแนนมากกว่า 100 เพื่อนำมาทดสอบสมมติฐานจากการทดลองพบว่า สาเหตุที่มีนัยสำคัญต่อของเสีย คือ กระบวนการประกอบแผ่นวงจร (PCBA) ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการออกแบบกระบวนการทำงานใหม่และทำมาตรฐานการทำงานเพื่อให้พนักงานสามารถปฏิบัติได้ถูกต้อง ผลการปรับปรุงกระบวนการพบว่าของเสียลดลงจาก 11.27% เป็น 1.67% ผู้วิจัยกล่าวว่า ปัจจัยแห่งความสำเร็จมาจากการการร่วมมือกันของทุกหน่วยงานในองค์กร เพราะแต่ละหน่วยงานต่างมีความรู้ความเชี่ยวชาญในด้านนั้นๆ

เทคนิคการใช้ FMEA เป็นการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นเครื่องมือที่นิยมใช้กันมากในการปรับปรุงคุณภาพ (Somsuk and Pongpanich, 2008) ดังเห็นได้จากการลดของเสียในกระบวนการผลิตสปินเดิลมอเตอร์ขนาด 2.5 นิ้ว ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ จากแผนภูมิพาเรโตพบว่าของเสียส่วนใหญ่ร้อยละ 33% มาจากการบกพร่องในด้านความสูงของมอเตอร์ ดังนั้นจึงได้ทำการวิเคราะห์สาเหตุที่เกี่ยวข้องโดยใช้แผนภาพก้างปลาแล้วใช้เทคนิค FMEA โดยการระดมสมองในทีมเพื่อกรองหาปัจจัยที่มีคะแนนสูงสุด จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของปัจจัยนำเข้าและนำมาหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ พบว่าตัวแปรที่มีผลนัยสำคัญต่อความสูงของมอเตอร์คือ ความดัน (pressure) และค่าที่เหมาะสมอยู่ที่ 500 kN/m^2 หลังจากการปรับปรุงกระบวนการพบว่าของเสียลดลงจาก 6294.36 DPPM เป็น 3788.27 DPPM

ในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหามีการนำปัจจัยนำเข้าที่ผ่านการกรองมาแล้ว มาทำการทดสอบสมมติฐานและวางแผนออกแบบการทดลองโดยนำเทคนิคการออกแบบการทดลอง (DOE) มาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ (Asawarungsaengkul and Sukamta, 2011) โดยศึกษาถึงข้อบกพร่องในชิ้นส่วนแขนการแขนยึดหัวเขียนอ่านฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Suspension) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟดังนั้น แขนการแขนยึดหัวเขียนอ่านฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟก็เป็นส่วนหนึ่งที่ส่งผลต่อความสามารถในการเขียนอ่านข้อมูล ดังนั้นจึงทำการศึกษาเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงค่าแรงจากการรับน้ำหนักกดของแขนยึดหัวเขียนอ่านฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ให้เหมาะสม โดยกรองตัวแปรที่มีผลต่อแรงกดอย่างมีนัยสำคัญ เพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการตั้งค่าเครื่องจักรการผลิต จากการศึกษาได้นำเทคนิคการออกแบบการทดลองมาใช้กับกลุ่มตัวอย่าง 50 ตัว หลังจากทำการปรับปรุงตามค่าที่เหมาะสมแล้ว พบว่าของเสียลดลงจาก 1.41 % เป็น 0.86% ช่วยลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการจัดการกับของเสีย แต่ข้อบกพร่องจากงานวิจัยนี้ไม่มีการแสดงการหากลุ่มตัวอย่าง (sample size) ที่ชัดเจนตามหลักการทางสถิติว่ามีจำนวนที่มีความเพียงพอต่อความน่าเชื่อถือ

ปัจจุบันมีงานวิจัยที่ใช้ ซิกซ์ ซิกมา มาช่วยในการลดของเสียในการระบวนการผลิตหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นจำนวนมาก แต่ยังไม่สามารถพัฒนากระบวนการไปให้ถึงระดับ 6 sigma ได้ เพราะว่าในขณะที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ความแปรปรวนในองค์กรนั้น ได้พบว่าไม่มีระบบการผลิตใดเลยที่จะไม่ถูกรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอก นั่นคือ ไม่สามารถควบคุมปัจจัยภายนอกเพื่อไม่ให้ส่งผลถึงความเบี่ยงเบนของข้อมูลได้ ซึ่งระบบที่ไม่มีความแปรปรวนเลยจึง

เป็นเพียงระบบในอุดมคติ (Ideal System) แต่อย่างไรก็ตาม แนวคิดนี้ก็ยังสามารถช่วยในการวิเคราะห์และนำสถิติมาใช้ได้อย่างมีระบบ ดังเห็นได้จากงานวิจัยข้างต้น

นอกจากนี้ยังมีการใช้ ซิกซ์ ซิกมา ร่วมกับแนวคิดลีน ซึ่งเป็นแนวคิดที่เน้นมุ่งขจัดความสูญเปล่าในทุกพื้นที่ของสายการผลิต (Waste Eliminate) ซึ่งใช้แนวความคิดในเรื่องคุณค่าของกิจกรรมที่กระทำ (Value Added) โดยใช้ข้อมูลทางสถิติเป็นตัวอ้างอิงในการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาและแนวทางแก้ไขโดยผลที่คาดหวังก็คือ การลดต้นทุนให้ต่ำลงปรับปรุงประสิทธิภาพการดำเนินงานด้วยการสร้างให้เกิดการไหลของงาน ดังเห็นได้จากงานวิจัย เรื่อง การลดของเสียในกระบวนการเขียนสัญญาณบนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยใช้แนวคิดลีน ซิกซ์ ซิกมา (กันตา สุวรรณฤทธิ์ และ ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย, 2549) โดยมุ่งเน้นการลดของเสียประเภท Drive Exceeded Time Limit ในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนบุคคลรุ่นซาสต้าโดยใช้แผนผังกลุ่มเชื่อมโยงจัดกลุ่มไว้ในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหากลุ่มแรกคือการออกแบบการทดลองสำหรับแก้ปัญหาเรื่องการปรับตั้งปัจจัย และ กลุ่มที่สองคือการออกแบบกระบวนการผลิตที่เน้นการไหลของงาน (Flow Based Production) ซึ่งเป็นแนวคิดที่สำคัญของระบบการผลิตแบบลีนโดยประยุกต์ใช้ระบบคัมบัง (Kanban System) การปรับปรุงการวางผังกระบวนการผลิตและหลักการของ ECRS มาจัดการปัญหาเรื่องการจัดการ WIP ในกระบวนการผลิตปัญหาเรื่องระยะทางในการขนส่งและเคลื่อนย้ายงานและปัญหาเรื่องการสร้างระเบียบวิธีการปฏิบัติงาน จากค่าที่ได้จากการทดลองและมีการติดตามให้พนักงานทำตามมาตรฐานนั้นๆผลที่ได้จากการปรับปรุงของเสีย ในกระบวนการเขียนสัญญาณพบว่าสามารถลดจำนวนของเสียประเภท Drive exceeded time limit บนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนบุคคลรุ่นซาสต้าลงได้ 39,346 DPPM และส่งผลให้ DPPM ของของเสียรวมบนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟส่วนบุคคลรุ่นซาสต้าลดลง 45,420 DPPM

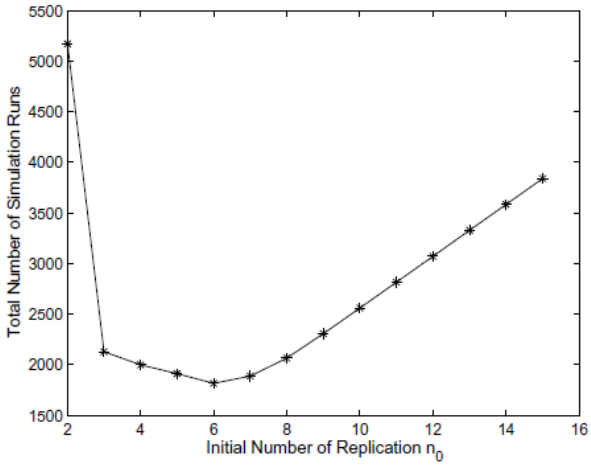
นอกจากจะใช้ ซิกซ์ ซิกมา ในการปรับปรุงคุณภาพ ลดของเสียแล้วได้มีการวิจัยโดย ใช้เทคนิคและเครื่องมือ ของแนวคิดซิกซ์ ซิกมา มาช่วยในการหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและปัจจัยปัจจัยนำออก(Johnston and Maguire, 2009) เพื่อที่จะสามารถสร้างแบบจำลองเพื่อประเมินความสามารถของกระบวนการได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกผลิตภัณฑ์หัวเขียนอ่านข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟและทำการออกแบบระบบจำลองโดยแสดงผลเป็นกราฟความสัมพันธ์ของตัวแปรตามที่ผู้ใช้งานต้องการ ซึ่งจะช่วยให้ตรวจจับความผิดพลาดได้ง่าย

2.4.3 งานวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองเป็นเทคนิคที่มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลายทั้งด้านการศึกษา และการประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งปัจจุบันมีรูปแบบของการออกแบบการทดลองมากมาย โดยขั้นตอนแรกของการออกแบบการทดลองจะเป็นการวางแผน (Planning) ซึ่งถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่ง โดยรูปแบบของการทดลอง ผู้ออกแบบการทดลองจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ เช่น เงินทุน บุคลากร อุปกรณ์ เครื่องจักร เป็นต้น

รูปแบบของการทดลองเบื้องต้น (Shen and Wan, 2009) ได้นำเสนอถึง การคัดเลือกหรือ screening เพื่อคัดกรองเอาเฉพาะปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองเท่านั้น โดยผู้วิจัยได้นำเทคนิคของการควบคุมลำดับการทดลอง (CSFD) มาใช้เพื่อกรองปัจจัยนำเข้า 20 ตัวที่มีผลต่อเวลาการผลิตในอุตสาหกรรมการผลิตเซมิคอนดักเตอร์ ซึ่งพบว่า การคัดกรองก่อนจะช่วยต้นทุนในเรื่องของเวลา บุคลากร และทรัพยากรที่ใช้ในการทดลองนอกจากนี้อาจมีการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลซึ่งนิยมนำมาใช้เมื่อตัวแปรที่ต้องการศึกษามีมากขึ้น แต่ไม่สามารถทำการทดลองได้หมดเนื่องด้วยข้อจำกัดต่างๆ จึงทำการทดลองเพียงเศษส่วนของการทดลองเชิงแฟคทอเรียลเท่านั้นเพราะด้วยปัจจัยนำเข้าที่มาก บางปัจจัยมีแนวโน้มที่คาดว่าจะมีผลน้อยหรือไม่มีผลต่อผลตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ การพิจารณาถึงการทำซ้ำ (Replication) ก็ควรมีการพิจารณาด้วยเนื่องจากจะทำให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้นดังรูปที่ 2.8 เทคนิคที่นิยมนำมาใช้ในการออกแบบการทดลองเบื้องต้นมีดังนี้

- Two-Level full และ Fractional Factorial
- Plackett-Burman
- General Full Factorial (ใช้สำหรับปัจจัยที่มี 2 ระดับขึ้นไป)



รูปที่ 2.8 ค่าเฉลี่ยของแบบจำลองการรันและจำนวนการทดลองซ้ำ

หลังจากทำการคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่มีความสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง (response) แล้วจึงมีการนำเทคนิคของการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization) เพื่อนำปัจจัยที่มีผลไปทำการทดลองอย่างละเอียดเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดต่อตัวแปรตอบสนอง เช่น เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยตัวแบบของ Central Composite Design, ตัวแบบ Box-Behken เป็นต้น

การศึกษาตัวแบบของเทคนิคที่ใช้ในการหาค่าที่ดีที่สุด (Ferreira and Bruns, 2007) ได้เปรียบเทียบลักษณะของการออกแบบการทดลองไว้ 3 เทคนิคคือ การออกแบบการทดลอง Box-Behnken, CCD และ Doehlert Design ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคนิคการออกแบบการทดลอง Box-BehnkenDesign(BBD) , Central Composite Design (CCD) และ Doehlert Design (DM) : (Ferreira S.L.C.,2007)

Factors (k)	Number of coefficients (p)	Number of experiments (f)			Efficiency (p/f)		
		CCD	DM	BBD	CCD	DM	BBD
2	6	9	7	–	0.67	0.86	–
3	10	15	13	13	0.67	0.77	0.77
4	15	25	21	25	0.60	0.71	0.60
5	21	43	31	41	0.49	0.68	0.61
6	28	77	43	61	0.36	0.65	0.46
7	36	143	57	85	0.25	0.63	0.42
8	45	273	73	113	0.16	0.62	0.40

จากตารางที่ 2.2 จะพบว่าเมื่อเปรียบเทียบจำนวนรันของการทดลองที่จำนวนตัวแปรเท่ากันจะพบว่า การออกแบบการทดลองแบบ CCD จะมีจำนวนรันมากที่สุดแต่เมื่อเทียบถึงประสิทธิภาพของตัวแบบการทดลองทั้งสามจะพบว่า การเลือกตัวแบบทดลอง DM จะมี

ประสิทธิภาพมากที่สุด นอกจากนี้ยังพบอีกว่าข้อจำกัดของตัวแบบการทดลอง BBD คือ เป็นรูปแบบสมการสองชั้น (quadratic) และต้องใช้บล็อค (block)

การออกแบบการทดลองโดยใช้ CCD ได้มีผู้เปรียบเทียบความแตกต่างของตัวแบบทั้ง 3 ชนิดคือ CCC, CCI และ CCF (Zhang and Xiaofeng, 2009) โดยแต่ละแบบการทดลองจะมีความแตกต่างกันที่ค่า α ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1.4 – 2.8 สำหรับตัวแปรนำเข้า 2-6 ตัว ซึ่งทั้งสามตัวแบบนี้ไม่มีความแตกต่างกันในด้านของประสิทธิภาพการใช้งานแต่มีความแตกต่างกันในส่วนของ ความแม่นยำและเที่ยงตรง ความเสถียรของความแปรปรวน ดังตารางที่ 2.3 รูปแบบการทดลองที่มีความแม่นยำมากที่สุดคือ CCC เนื่องจากค่า R-sq และ RMSE มีค่ามาก

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบ fitted degree ของแบบการทดลอง CCD

		CCC	CCI	CCF
S		0.0012	0.0028	0.0012
RSq		0.96	0.95	0.96
RMSE		45.42	34.676	40.535
Fitted response mean		315.75	330.063	329.5
Pprecision of regression	linear	Best	Better	good
	intera -ction	Better	Good	better
	square	best	Good	better
Coordinate value of the optimized point		0,0.774, 1.0	0.064,0.6, 0.6	0,0.525, 0.6
Pprediction errors about all types of design runs	Factorial point	37.177	28.383	36.158
	Axial point	35.407	27.031	29.538
	Centre points	32.023	24.448	19.19

ผู้วิจัยได้นำทฤษฎีและความรู้ที่เกิดจากการศึกษาในบทนี้ มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและทำการทดลองเพื่อปรับปรุงความสามารถกระบวนการในลำดับถัดไป

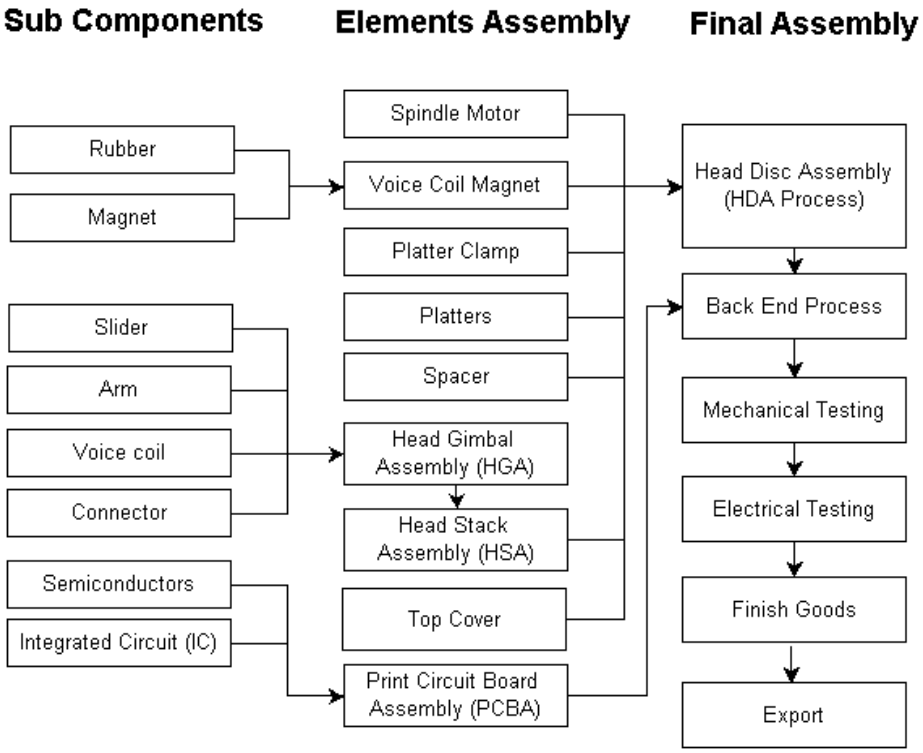
บทที่ 3
การดำเนินงานวิจัยในระยะนิยามปัญหา (Define Phase)

3.1 บทนำ

ระยะการนิยามปัญหาเป็นระยะแรกของการวิเคราะห์และปรับปรุงคุณภาพโดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) โดยจะเริ่มจากศึกษากระบวนการผลิต และสภาพของปัญหาที่เกิดขึ้นในโรงงาน จากนั้นจะต้องกำหนดเป้าหมายของการดำเนินงานและจัดตั้งคณะทำงานเพื่อทำการระดมสมองหาแนวทางในการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการ และลดความผันแปรของกระบวนการ ทำให้สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการเขียนอ่านข้อมูลมีค่าน้อยที่สุด

3.2 การศึกษากระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

กระบวนการในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ จะเริ่มตั้งแต่การรับวัตถุดิบต้นน้ำสำหรับการประกอบชิ้นส่วนย่อย (Elements Assembly) เช่น แท่งยาง หัวอ่าน-เขียน คอยล์แม่เหล็ก ชุดวงจรไฟฟ้า เป็นต้นมาประกอบกันจนเป็นชิ้นส่วนหลัก จากนั้นจึงนำชิ้นส่วนหลักเหล่านี้มาประกอบเข้าด้วยกันเป็นผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในกระบวนการประกอบขั้นสุดท้าย (Final Assembly) ดังรูปที่ 3.1 หลังจากนั้นฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ประกอบเสร็จจากสายการประกอบขั้นสุดท้ายแล้ว จะต้องผ่านกระบวนการทดสอบคุณลักษณะทางกล(MechanicalTesting) และกระบวนการทดสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้า (Electrical Testing) ก่อนเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ (Specifications) และมีการควบคุมคุณลักษณะเหล่านี้ให้อยู่ในช่วงค่าที่ยอมรับได้ของลูกค้า (Specification Limit)



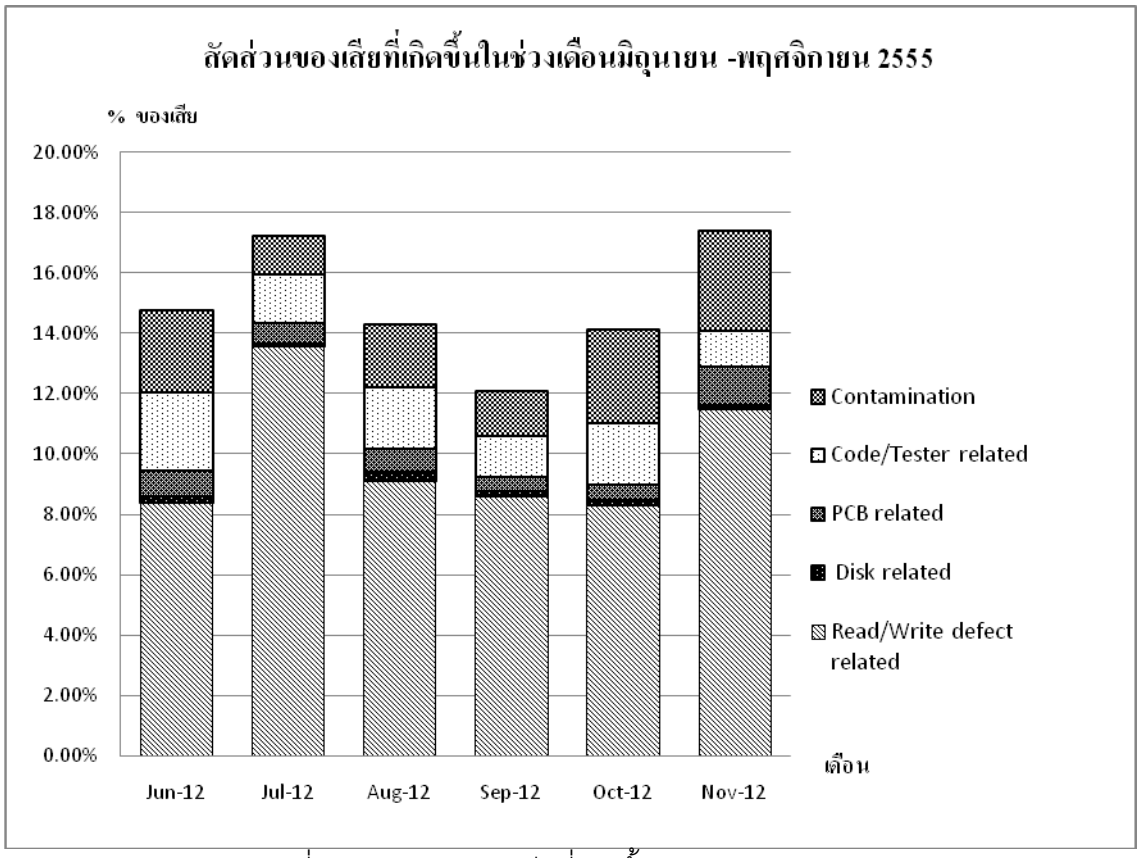
รูปที่ 3.1 แผนภาพการไหลของชิ้นงานในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

3.3 การศึกษาสภาพปัญหาในปัจจุบัน

ผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเอนเทอร์ไพรซ์ A เป็นผลิตภัณฑ์หลักที่ผลิตขึ้นในโรงงานกรณีศึกษา โดยส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์นี้จะถูกใช้ในระบบการจัดเก็บฐานข้อมูลขององค์กรหรือระบบเซิร์ฟเวอร์ที่ต้องเปิดทำงานอยู่ตลอด 24 ชั่วโมง ดังนั้นผลิตภัณฑ์นี้จึงได้รับความนิยมสูงและกำลังเป็นที่ต้องการของลูกค้า อันเนื่องมาจากคุณสมบัติพิเศษของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเอนเทอร์ไพรซ์ A ที่มีความคงทนอยู่ในระดับสูง สามารถทนต่อแรงกระทบกระเทือนภายนอกและมีพื้นที่การจัดเก็บข้อมูลที่มากเพียงพอต่อการรองรับ ฐานข้อมูลภายในองค์กรของลูกค้า มีความจุสูงถึง 1,000 กิกะไบต์

ผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเอนเทอร์ไพรซ์ A เป็นผลิตภัณฑ์ที่มียอดการผลิตสูงเป็นลำดับต้นๆ ของโรงงานกรณีศึกษา โดยมีปริมาณการผลิตเฉลี่ย 130,000 ตัวต่อเดือน โดยผลิตภัณฑ์ ที่ออกจากสายการประกอบ (Final Assembly) ของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเอนเทอร์ไพรซ์ A เมื่อนำไปทดสอบคุณลักษณะทางกลของผลิตภัณฑ์ (Mechanical Testing) ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน

ที่กำหนดไว้ คิดเป็นของเสียเฉลี่ย 15.00 % ต่อเดือน ทำให้เกิดความสูญเสียทางด้านแรงงานเวลาและวัตถุดิบที่ต้องถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิต ของเสียที่เกิดขึ้นจะต้องถูกส่งกลับไปยังกระบวนการแยกชิ้นส่วนเพื่อรอทำกระบวนการใหม่ (Rework) และอีกส่วนหนึ่งไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ จึงจำเป็นต้องทิ้ง (Scrap) ก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายซึ่งเป็นต้นทุนจากกิจกรรมเหล่านี้



รูปที่ 3.2 สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการทดสอบทางกล แยกตามข้อบกพร่อง

จากรูปที่ 3.2 พบว่าปริมาณสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการทดสอบคุณลักษณะทางกลของผลิตภัณฑ์ (Mechanical Testing) สามารถจำแนกสาเหตุได้ 5 ประเภท ซึ่งมีคำนิยาม (Operation Definitions) ดังต่อไปนี้

1. **ประเภท** Contamination คือ ของเสียที่เกิดจากการที่มีฝุ่นละอองเข้าไปเกาะสัมผัสภายในผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ทำให้เกิดรอยขีดข่วนบนพื้นผิวของแผ่นบันทึกข้อมูล เกิดความสึกหรอและความผิดพลาดในขณะทำการเขียนอ่านข้อมูล

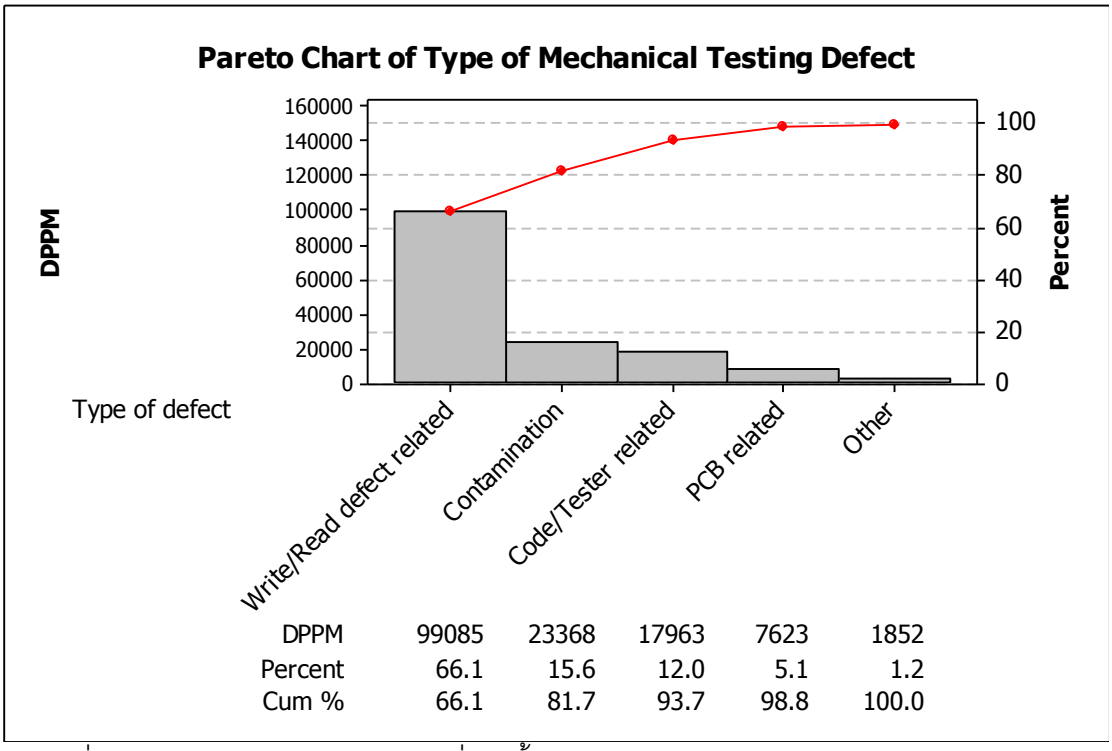
2. **ประเภท** Code/Tester คือ ของเสียที่เกิดจากโปรแกรมที่ทำการทดสอบ หรือ เครื่องทดสอบ เกิดความผิดพลาดในการส่งข้อมูลรายละเอียดการทดสอบเฉพาะของลูกค้าแต่ละรายเช่น ความเร็วในการทดสอบ รูปแบบการจัดเก็บข้อมูล การเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟและเครื่องทดสอบ เป็นต้น ส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ตรงตามข้อกำหนดของลูกค้า

3. **ประเภท** PCB Related คือ ของเสียที่เกิดจากแผ่นวงจรซึ่งใช้สำหรับควบคุมการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เกิดความผิดปกติ เช่น วางไม่ตรงตำแหน่งกับชุดวงจรของสปินเดิลมอเตอร์ เกิดรอยไหม้บนแผ่นวงจร เกิดรอยบิ่นของคอนแนคเตอร์ เป็นต้น

4. **ประเภท** Disk Related คือ ของเสียที่เกิดจากแผ่นจานบันทึกข้อมูลซึ่งเป็นตัวเก็บข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เกิดความผิดปกติ เช่น เกิดรอยขีดข่วนหรือแตกหักบนแผ่นจานบันทึกข้อมูล การวางไม่ตรงตำแหน่งบนสปินเดิลมอเตอร์ เป็นต้น

5. Read/Write Related คือ ของเสียที่เกิดจากกระบวนการเขียนอ่านข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ เช่น การกำหนดจุดเขียนอ่านข้อมูลมีความผิดพลาด ระยะห่างระหว่างหัวอ่านและแผ่นจานบันทึกข้อมูลมีค่าน้อยกว่าที่กำหนด ค่าความต้านทานแม่เหล็กบนหัวอ่านมีค่าน้อย หัวอ่านไม่สามารถเคลื่อนที่บนแผ่นจานบันทึกข้อมูลเพื่อทำการบันทึกข้อมูลได้ เป็นต้น

จากรูปที่ 3.2 จะเห็นว่า ข้อบกพร่องทั้งหมดที่เกิดขึ้นในกระบวนการทดสอบคุณลักษณะทางกลของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมีค่าสูงตั้งแต่เดือนมิถุนายน – พฤศจิกายน 2555 และเมื่อมีการนำประเภทของของข้อบกพร่องมาวิเคราะห์โดยแผนภูมิพาเรโตเพื่อพิจารณาลำดับความสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพ ว่าข้อบกพร่องประเภทใดควรมีการปรับปรุงเป็นอันดับแรกซึ่งพบว่าข้อบกพร่องส่วนใหญ่มาจากกระบวนการเขียนอ่านข้อมูลลงบนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟโดยเฉลี่ยร้อยละ 66.1 ของปริมาณสัดส่วนทั้งหมด และรองลงมาคือ ของเสียประเภทฝุ่นละออง คิดเป็นร้อยละ 15.6 ของปริมาณสัดส่วนของเสียทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 พาเรโตสัดส่วนข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการทดสอบคุณลักษณะทางกลของผลิตภัณฑ์

นอกจากจะพิจารณาถึงสัดส่วนของข้อบกพร่องประเภทต่างๆแล้ว ยังต้องคำนึงถึงต้นทุนความสูญเสียที่เกิดขึ้นในการจัดการกับข้อบกพร่องเหล่านั้นด้วย โดยข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นบางประเภทสามารถซ่อมแซมและนำชิ้นส่วนกลับมาใช้ใหม่ (Rework) ได้ทั้งหมด ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายในการจัดการในส่วนของต้นทุนแรงงานและ เครื่องจักรในการซ่อมแซมชิ้นงานเท่านั้น เช่น ข้อบกพร่องประเภท Contamination และ Code/Tester แต่ข้อบกพร่องอีกกลุ่มหนึ่งพบว่า บางชิ้นส่วนไม่สามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้เนื่องจากเกิดความเสียหายอย่างรุนแรง จำเป็นต้องทิ้ง (Scrap) แสดงดังตารางที่ 3.1

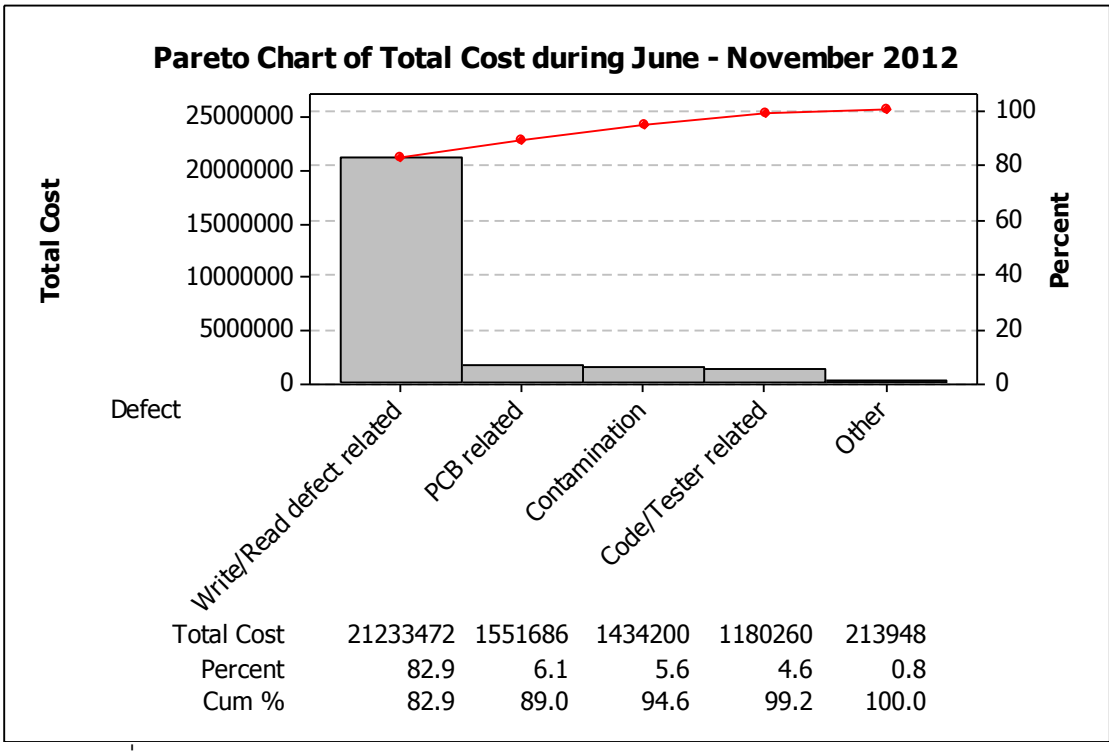
ตารางที่ 3.1 ค่าใช้จ่ายที่เกิดของเสียในกระบวนการทดสอบคุณลักษณะทางกลของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แยกตามประเภทของข้อบกพร่องต่างๆ (หน่วย : บาทต่อค่าใช้จ่ายในการดำเนินการกับข้อบกพร่อง 1 ชิ้น)

ประเภทของเสีย	จานบันทึกข้อมูล (Disk)		แผงวงจร (PCB)		ชุดหัวเขียนอ่าน		ชิ้นส่วนอื่นๆ		ค่าใช้จ่ายรวม
	การจัดการ	ค่าใช้จ่าย	การจัดการ	ค่าใช้จ่าย	การจัดการ	ค่าใช้จ่าย	การจัดการ	ค่าใช้จ่าย	
1. Contamination	ซ่อมแซม	11.00	ซ่อมแซม	10.50	ซ่อมแซม	34.25	ซ่อมแซม	18.30	74.05
2. Code/Tester related	ซ่อมแซม	6.00	ซ่อมแซม	13.00	ซ่อมแซม	15.00	ซ่อมแซม	56.00	90.00
3.PCB related	ซ่อมแซม	10.00	ทิ้ง	203.00	ซ่อมแซม	15.00	ซ่อมแซม	26.00	254.00
4. Disk related	ทิ้ง	82.50	ซ่อมแซม	15.00	ซ่อมแซม	20.00	ซ่อมแซม	24.00	141.50
5.Read/Write related	ซ่อมแซม	80.00	ซ่อมแซม	15.00	ซ่อมแซม	105.00	ซ่อมแซม	82.00	282.00

ยกตัวอย่างเช่น เมื่อเกิดข้อบกพร่องประเภท Read/Write Related ขึ้นภายหลังกระบวนการทดสอบคุณลักษณะทางกล จะต้องมีการแยกชิ้นส่วนประกอบต่างๆ ของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเพื่อเข้าสู่กระบวนการซ่อมแซมและนำกลับมาใช้ใหม่ (rework) ดังนี้ แผ่นจานบันทึกข้อมูลสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้แต่จะต้องมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการคิดเป็นมูลค่า 80.0 บาทต่อหน่วย ส่วนแผงวงจรสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้และมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ 15.00 บาทต่อหน่วย ชุดหัวเขียนอ่านนำกลับมาใช้ใหม่ได้แต่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการคิดเป็นมูลค่าความเสียหาย 105.00 บาทต่อหน่วย และชิ้นส่วนอื่นๆ เช่น ฝาครอบ สปินเดิลมอเตอร์ คอยล์แม่เหล็กเป็นต้นล้วนสามารถนำมาใช้ใหม่ได้หมดและมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ 82.0 บาทต่อหน่วย ดังนั้นเมื่อเกิดข้อบกพร่องประเภท Read/Write Related ขึ้นจะเสียค่าใช้จ่ายโดยรวมในการดำเนินการจัดการของเสีย 282.0 บาทต่อฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 1 ตัว

ดังนั้นเมื่อมองถึงปัจจัยทางด้านต้นทุนความสูญเสียโดยรวมตั้งแต่ช่วงเดือนมิถุนายนถึงพฤศจิกายน 2555 ดังรูปที่ 3.4 เปรียบเทียบกับสัดส่วนของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น พบว่า มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ข้อบกพร่องประเภท Read/Write Related ถูกพบในสัดส่วนที่สูงและก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายสูงที่สุดในกระบวนการทดสอบคุณลักษณะทางกลของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเอนเทอร์ไพรซ์ A เป็นมูลค่าความสูญเสีย 21,233,472 บาทคิดเป็น 82.9% ของค่าใช้จ่ายทั้งหมดในช่วงเดือนมิถุนายน-พฤศจิกายน 2555 ด้วย

เหตุนี้งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษา การลดต้นทุนความสูญเสียของข้อบกพร่องประเภทกระบวนการเขียนอ่านข้อมูลบนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

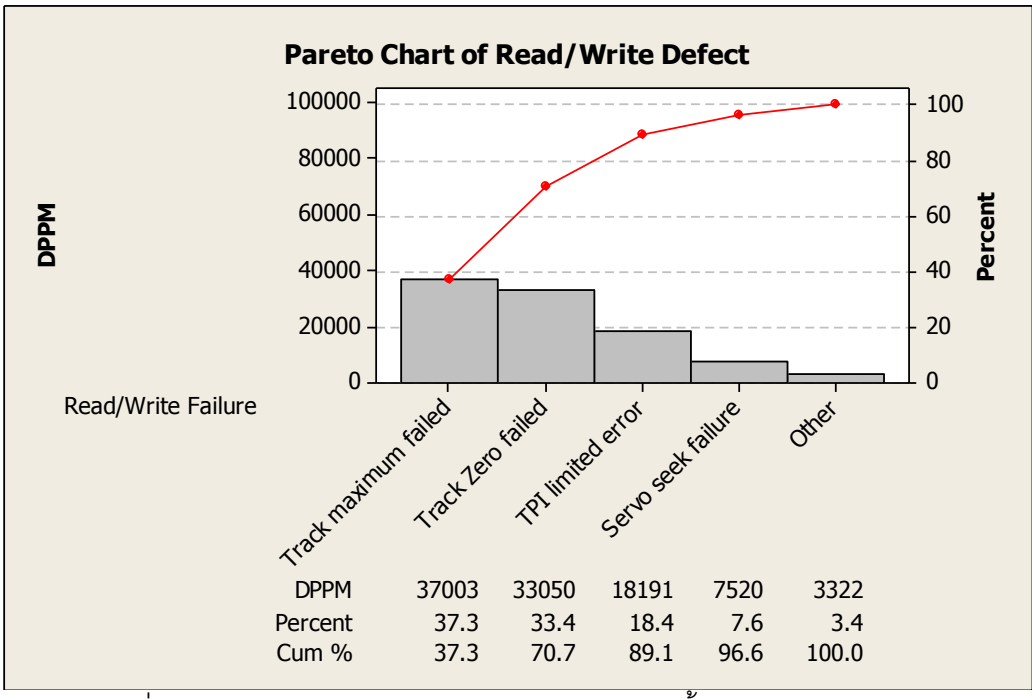


รูปที่ 3.4 พาเรโตแสดงต้นทุนความสูญเสียโดยรวมแยกตามประเภทของข้อบกพร่อง

ในข้อบกพร่องประเภทกระบวนการเขียนอ่านข้อมูลยังสามารถแบ่งประเภทของข้อบกพร่องออกเป็นประเภทต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. Track Maximum failed หรือ ข้อบกพร่องประเภทขอบเขตของการเขียนอ่านข้อมูลบนแผ่นจานบันทึกข้อมูลด้านใน (Inner Zone) ไม่ตรงตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดค่า แทร็คสุดท้ายต้องมากกว่า 182,000 แทร็ค
2. Track Zero failed หรือ ข้อบกพร่องประเภทขอบเขตของการเขียนอ่านข้อมูลบนแผ่นจานบันทึกข้อมูลด้านนอก (Outer Zone) ไม่ตรงตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดโดยค่าแทร็คเริ่มต้นต้องน้อยกว่า 18,000 แทร็ค
3. TPI Limited Errorหรือ ข้อบกพร่องประเภทความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลไม่ตรงตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ซึ่งกำหนดไว้ที่ 263000 $\pm$ 5000 TPI โดยจะวัดความหนาแน่นของจำนวนแทร็คเทียบกับระยะทางหนึ่งนิ้วตามแนวรัศมีของแผ่นจานบันทึกข้อมูล

4. **Servo Seek Failure** หรือ ข้อบกพร่องประเภทความผิดพลาดจากการเคลื่อนที่ของหัวเขียนอ่านข้อมูลอันเนื่องมาจากหัวเขียนอ่านข้อมูลเกิดการโก่งงอทั้งด้านบนและด้านล่าง ส่งผลให้ไม่สามารถเคลื่อนตัวผ่านตำแหน่งของ Ramp ได้



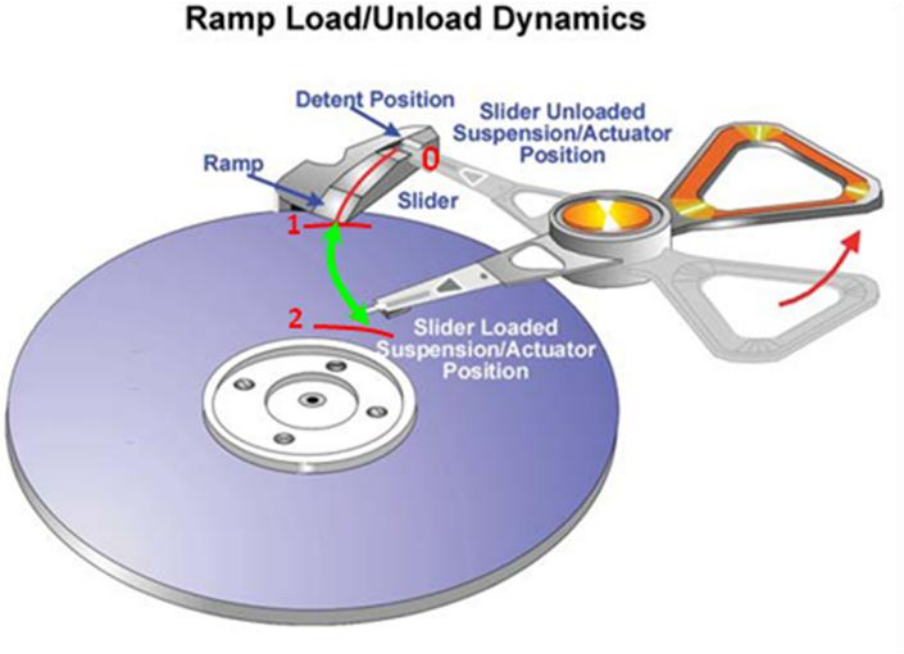
รูปที่ 3.5 พาเรโตแสดงจำนวนของเสียหน่วยในล้านชิ้น แยกตามประเภทข้อบกพร่องในการเขียนอ่านข้อมูล

จากประเภทของข้อบกพร่องกระบวนการทดสอบการเขียนอ่านข้อมูลข้างต้นถ้าพิจารณาที่ 80% แรกของสาเหตุที่ก่อให้เกิดข้อบกพร่องเกี่ยวกับการเขียนอ่านข้อมูลบนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ดังพาเรโตรูปที่ 3.5 จะประกอบไปด้วยข้อบกพร่อง 3 ประเภทซึ่ง มีรายละเอียดของข้อบกพร่องดังต่อไปนี้

1. **Track Zero failed** หรือ ข้อบกพร่องประเภทขอบเขตของการเขียนอ่านข้อมูลบนแผ่นจานบันทึกข้อมูลด้านนอก (Outer Zone) ไม่ตรงตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ที่กำหนด

สำหรับข้อบกพร่องประเภทนี้จะถูกตรวจพบในระหว่างการทดสอบคุณลักษณะทางกลของผลิตภัณฑ์เมื่อฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเริ่มต้นทำงาน โดยสปินเดิลมอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็ว คงที่ 7200 รอบต่อนาที ทำให้ แผ่นจานบันทึกข้อมูลถูกยกตัวลอยสูงขึ้น จากนั้นหัวเขียนอ่านสัญญาณ (Slider) จะเคลื่อนที่จากตำแหน่งพัก (Detent Position zone 0) มายังเหนือบริเวณแผ่นจานบันทึก

ข้อมูลเพื่อกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นที่สามารถเริ่มเขียนข้อมูลได้ เรียกว่า แทร็คเริ่มต้น (First Track zone 1: ใช้สัญลักษณ์ Track0) และตำแหน่งสุดท้ายที่สามารถเขียนข้อมูลลงบนแผ่นจานบันทึกข้อมูลได้เรียกว่า แทร็คสุดท้าย (Last Track zone 2 :ใช้สัญลักษณ์ Track Max) หรืออาจกล่าวได้ว่าข้อมูลจะถูกเขียนลงบนแผ่นจานบันทึกข้อมูลในช่วงพื้นที่โซน 1 ถึงโซน 2 แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ขอบเขตพื้นที่ในกระบวนการเขียนอ่านข้อมูลบนแผ่นจานบันทึกข้อมูล

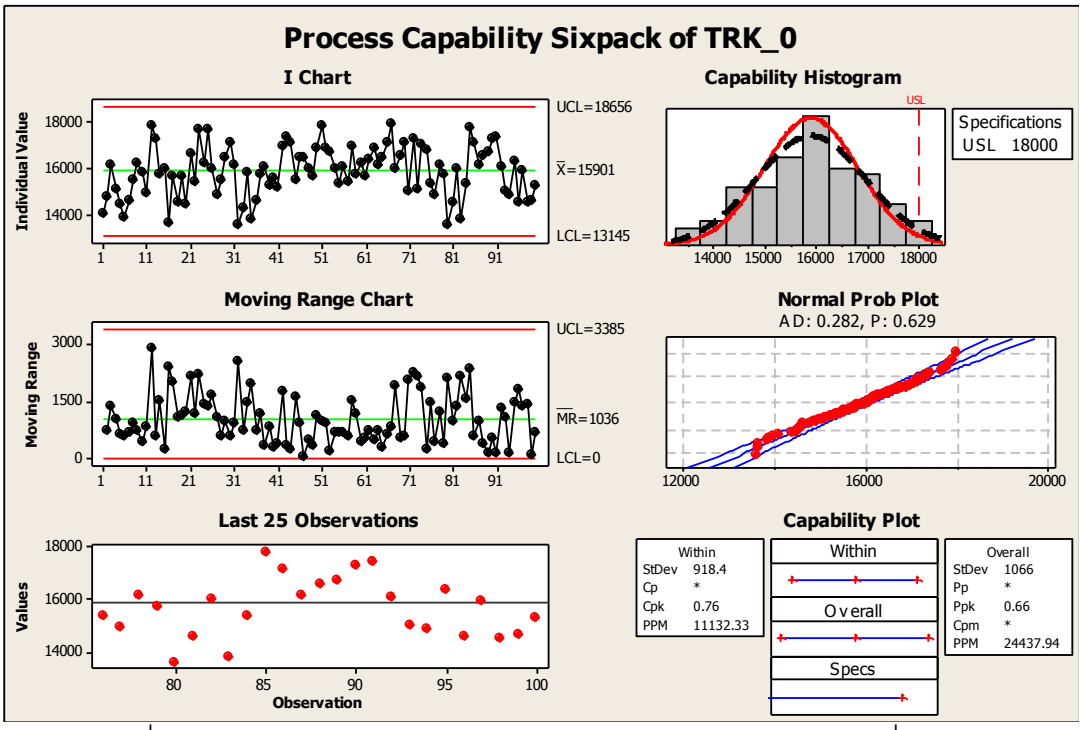
ขอบเขตพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟสามารถแสดงได้ด้วยค่าความกว้างของพื้นที่ในระยะรัศมี (Max Stroke) ตามสมการที่ 3.1

$$\text{Max Stroke} = \text{Track Max} - \text{Track 0} \qquad (3.1)$$

การกำหนดตำแหน่งแทร็คเริ่มต้นจึงเป็นส่วนสำคัญต่อพื้นที่ในการเขียนข้อมูลลงบนแผ่นจานบันทึกข้อมูลบริเวณด้านนอกของแผ่นจานบันทึกข้อมูล กล่าวคือ ถ้าค่าแทร็คเริ่มต้น (Track 0) มีค่าน้อยก็จะช่วยเพิ่มพื้นที่ในการเขียนข้อมูลด้านเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของแผ่นจานบันทึกข้อมูลทำให้หัวเขียนอ่านข้อมูลสามารถบันทึกข้อมูลได้มากขึ้นด้วย

ดังนั้นข้อบกพร่องประเภทนี้จึงเกี่ยวกับการกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นผิดตำแหน่งจากข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ซึ่งค่าที่สามารถยอมรับได้กำหนดไว้ดังนี้ ค่าแทร็คเริ่มต้นต้องน้อยกว่า

18,000 แทร็ค จากรูปที่ 3.7 ได้ทำการทดสอบค่าระยะตำแหน่งเริ่มต้น จากกลุ่มตัวอย่างฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ A จำนวน 100 ตัวพบว่าความสามารถของกระบวนการประกอบมีค่าค่อนข้างต่ำ โดยพิจารณาได้จากดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ (Cpk) ของ Track 0 มีค่าเพียง 0.76 โดยมีการกระจายตัวของข้อมูลกว้างทำให้เกิดความแปรปรวนของทั้งสองตำแหน่งเป็นอย่างมากส่งผลต่อพื้นที่ที่ใช้ในการเขียนอ่านข้อมูล ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการให้มีความแปรปรวนน้อยลง

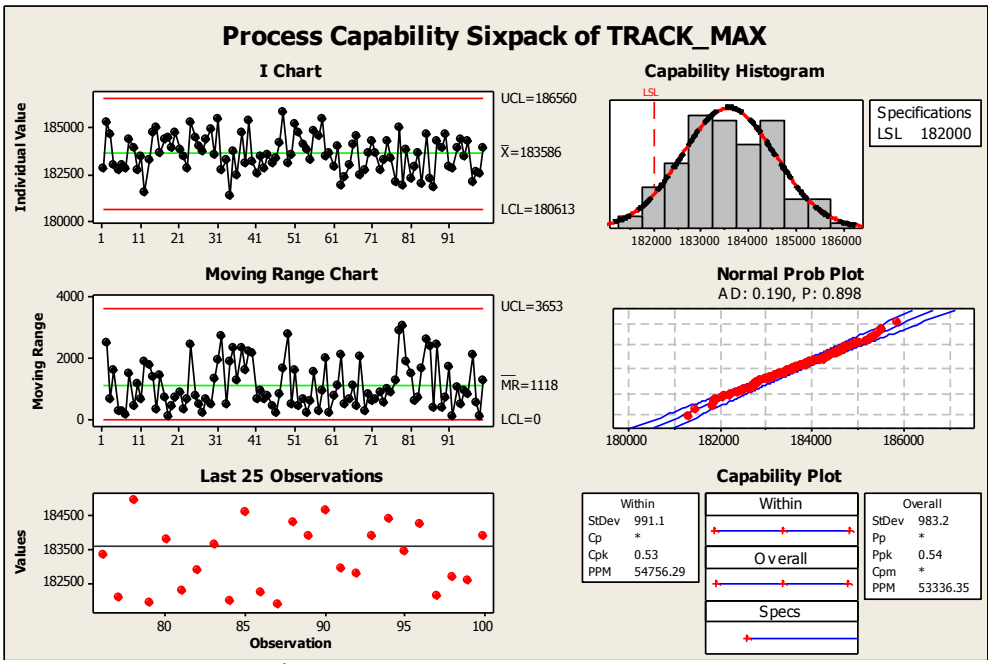


รูปที่ 3.7 ความสามารถของกระบวนการในการอ่านค่าตำแหน่งแทร็คเริ่มต้น (Track 0)

\

2. Track Maximum failed หรือ ข้อบกพร่องประเภทขอบเขตของการเขียนอ่านข้อมูลบนแผ่นจานบันทึกข้อมูลด้านนอก (Outer Zone) ไม่ตรงตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ที่กำหนด

ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า หัวเขียนอ่านจะเคลื่อนที่ไปบริเวณแผ่นจานบันทึกข้อมูลภายในซึ่งเป็นจุดสุดท้ายของการบันทึกข้อมูล ซึ่งได้กำหนดค่ามาตรฐานว่าจะต้องมีค่ามากกว่า 182,000 แทร็ค แต่จากการเก็บข้อมูลเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ A จำนวน 100 ตัว พบว่าความสามารถของกระบวนการประกอบมีค่าค่อนข้างต่ำ โดยพิจารณาได้จากดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ (Cpk) ของ Track Maximum ซึ่งมีค่า เพียง 0.53 ดังรูปที่ 3.8 ซึ่งมีค่ามากกว่ามาตรฐานการยอมรับ ประกอบกับมีการกระจายตัวของข้อมูลกว้างทำให้เกิดความแปรปรวนของทั้งสองตำแหน่งเป็นอย่างมากส่งผลต่อพื้นที่ที่ใช้ในการเขียนอ่านข้อมูล ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการให้มีความแปรปรวนน้อยลง

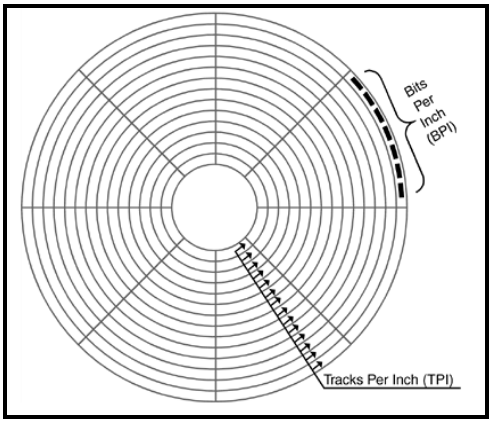


รูปที่ 3.8 ความสามารถของกระบวนการในการอ่านค่าตำแหน่งแทร็คสุดท้าย (Track Maximum)

3. TPI Limited Error หรือ ข้อบกพร่องประเภทความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลไม่ตรงตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์

สำหรับข้อบกพร่องประเภทนี้จะเกิดหลังจากที่หัวเขียนอ่านข้อมูลทำการตรวจสอบตำแหน่งเริ่มต้น (Track 0) และ ตำแหน่งสุดท้าย (Track Maximum) เสร็จสิ้นแล้ว หัวเขียนอ่านฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจะทำการกำหนดรูปแบบ (Format) ของการเขียนข้อมูลลงบนแผ่นจานบันทึกข้อมูล แล้วทำการวัดความหนาแน่นของจำนวนแทร็คเทียบกับระยะทางหนึ่งนิ้วตามแนวรัศมีของแผ่นจานบันทึกข้อมูลซึ่งค่าที่วัดออกมาได้จะเรียกว่า TPI (Track Per Inch) ดังรูปที่ 3.9

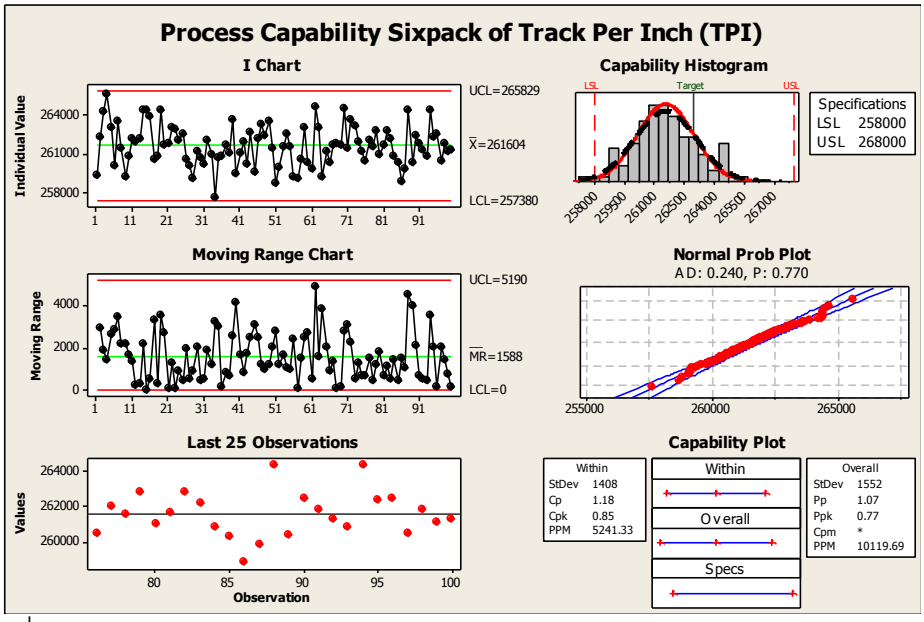
ค่า Track Per Inch หรือ TPI จะเป็นตัวเลขที่บอกถึงความจุของการเก็บข้อมูลบนแผ่นจานบันทึกข้อมูลโดยถ้าความหนาแน่นของแทร็คมีค่าน้อย ก็จะทำให้มีพื้นที่สำหรับการเก็บข้อมูลมีค่าน้อยเช่นกัน ส่งผลให้ความจุโดยรวมของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟไม่ตรงกับข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นข้อบกพร่องประเภทนี้อาจเกิดจากความผิดพลาดในกระบวนการประกอบขั้นสุดท้าย (Final Assembly) ส่งผลทำให้ Ramp วางตัวไม่อยู่ในแนวระนาบกับพื้นผิวของหัวอ่าน เมื่อหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเคลื่อนที่เข้ามาบนแผ่นจานบันทึกข้อมูล จึงทำให้วัดค่าความหนาแน่นของแทร็คได้น้อยกว่าหรือมากกว่าข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ซึ่งกำหนดไว้ที่ 263000 $\pm$ 5000 TPI



รูปที่ 3.9 พื้นที่ความหนาแน่นในการเก็บข้อมูลบนแผ่นจานบันทึกข้อมูล

จากการวัดความสามารถของกระบวนการในการอ่านค่าความหนาแน่นของแทร็ค สำหรับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจำนวน 100 ตัวพบว่า มีค่าค่อนข้างต่ำ โดยพิจารณาจากดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ (Cpk) ซึ่งมีค่า 0.85 ดังรูปที่ 3.10 นอกจากนี้ยังพบว่าค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีความคลาดเคลื่อนไปจากค่าเป้าหมายของผลิตภัณฑ์ไปทางด้านค่าน้อยและมีการกระจายตัวของข้อมูลที่กว้าง ดังนั้นการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการจึงควรทำทั้งสองด้านคือ การทำให้

ค่าเฉลี่ยเข้าใกล้ข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์และการลดความแปรปรวนของกระบวนการซึ่งจะช่วยปรับปรุงความสามารถของกระบวนการให้ดีขึ้น



รูปที่ 3.10 ความสามารถของกระบวนการในการอ่านค่าความหนาแน่นของแทร็ค (TPI)

ข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 3 อันดับแรกของแผนภูมิพาเรโตที่เกี่ยวเนื่องกับกระบวนการเขียนอ่านข้อมูล คือ ข้อบกพร่องประเภทการกำหนดขอบเขตของเขียนอ่านข้อมูลบนแผ่นจานบันทึกข้อมูลด้านนอก (Track 0) , ข้อบกพร่องประเภทการกำหนดขอบเขตของเขียนอ่านข้อมูลบนแผ่นจานบันทึกข้อมูลด้านใน (Track Maximum) และข้อบกพร่องประเภทความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลไม่ตรงตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ (TPI Limited Error) ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงเดือน มิถุนายน ถึง พฤศจิกายน 2555 ปริมาณเฉลี่ย 8.82% ต่อเดือนและคิดเป็นมูลค่าความเสียหายเฉลี่ย 3,226,977 บาทในปริมาณการผลิต ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ 129,678 ตัวต่อเดือนในระหว่างกระบวนการทดสอบคุณลักษณะทางกลของผลิตภัณฑ์ (Mechanical Testing)

ดังนั้นในการดำเนินงานวิจัยนี้จึงเลือกปรับปรุงข้อบกพร่องประเภทการกำหนดขอบเขตของเขียนอ่านข้อมูลบนแผ่นจานบันทึกข้อมูลด้านนอก (Track 0) , ข้อบกพร่องประเภทการกำหนดขอบเขตของเขียนอ่านข้อมูลบนแผ่นจานบันทึกข้อมูลด้านใน (Track Max) และข้อบกพร่องประเภทความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลไม่ตรงตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ (TPI Limited Error) โดยข้อบกพร่องทั้งสองประเภทนี้มีความเกี่ยวเนื่องโดยตรงกับ การกำหนดพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลให้กับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเพื่อตรวจสอบว่า ความจุของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเป็นไปตาม

มาตรฐานของผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้ากำหนดหรือไม่ และ เมื่อลูกค้านำฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟไปใช้งาน ข้อมูลก็จะถูกเขียนลงบนจานบันทึกข้อมูลตามพื้นที่ที่ได้กำหนดไว้

3.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

จากการวิเคราะห์ถึงสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการทดสอบคุณลักษณะทางกลของผลิตภัณฑ์ (Mechanical Testing) จึงทำการกำหนดปัญหาที่จะทำการปรับปรุงค่าแทร็คเริ่มต้น แทร็คสุดท้าย และ ความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล ให้มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายและเกิดความผันแปรน้อยที่สุด โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ค่าตัวชี้วัดความสามารถของกระบวนการมีค่ามากกว่า 1.33

3.5 การจัดตั้งคณะทำงาน

สำหรับโครงการปรับปรุงคุณภาพเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลได้มีการจัดตั้งคณะทำงานโครงการซิกซ์ ซิกม่า โดยคัดเลือกจากผู้มีประสบการณ์ที่มีความรู้ ความชำนาญในสายการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟดังตารางที่ 3.2 และ แสดง Project Charter ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 คณะทำงานโครงการโครงการปรับปรุงคุณภาพเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

ลำดับที่	ทีมงาน	ตำแหน่ง
1	ผู้จัดการฝ่ายผลิต (Production Supervisor)	Champion
2	หัวหน้าแผนก R&D (R&D Manager)	Master Black Belt
3	ผู้ชำนาญการฝ่ายผลิต (Production Staff)	Team Leader
4	วิศวกรฝ่ายผลิต (Process Engineer)	Process Owner
5	วิศกรฝ่ายคุณภาพ (Quality Engineer)	Team Member
6	วิศวกรฝ่ายซ่อมบำรุง (Maintenance Engineer)	Team Member
7	วิศวกรฝ่ายวิเคราะห์ความเสียหาย (Failure Analysis Engineer)	Team Member
8	วิศวกรฝ่ายทดสอบ (Test Engineer)	Team Member
9	วิศวกรออกแบบผลิตภัณฑ์ (Design Engineer)	Team Member
10	เจ้าหน้าที่ฝ่ายการเงิน (Finance Analysis)	Team Member

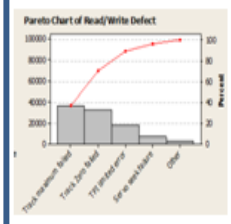
3.6 สรุปผลการดำเนินงานระยะนิยามปัญหา

ในระยะการนิยามปัญหาได้มีการวิเคราะห์ถึงสภาพปัญหาในกระบวนการทดสอบคุณลักษณะทางกลของผลิตภัณฑ์ (Mechanical Testing) ในช่วงเดือนมิถุนายน ถึง พฤศจิกายน 2555 พบว่าเกิดข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลมากที่สุดซึ่งหลังจากทีมงานวิเคราะห์แล้ว เลือกทำการปรับปรุงข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ประเภทแทร็คเริ่มต้นและแทร็ค สุดท้ายในการเขียนอ่านข้อมูลไม่ตรงตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ และข้อบกพร่องประเภทความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลไม่ตรงตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ โดยมีเป้าหมายเพื่อปรับปรุงความสามารถของกระบวนการของค่าแทร็คเริ่มต้น ค่าแทร็คสุดท้าย และค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลให้มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายมากที่สุดและเกิดความผันแปรน้อยที่สุด และมีค่า Cpk มากกว่า 1.33

ตารางที่ 3.3 Project Charter สำหรับโครงการปรับปรุงคุณภาพเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

Six Sigma Project Charter	Project Title : Loss of Write/Read Track Zero Defect Reduction			
	Project Lead	**Champion**	**Excutive Sponsor**	**Master BlackBelt**
	Prapod Ru.	Mongkol Tr.	John Emerson	Panya Si.

Problem Statement



ข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลมีสัดส่วนประมาณ 8.24 % ในช่วงเดือนมิถุนายน - พฤศจิกายน 2555 และมีค่า Cpk สำหรับ Track 0 , Track Max และ TPI 0.77, 0.60 และ 0.75 ตามลำดับ ซึ่งส่งผลต่อค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมและทิ้ง

Project Metrics

Business Metric : ความพึงพอใจของลูกค้า

Primary Metric : ลดข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

Secondary Metric : การใช้ประโยชน์จากโกดังเก็บของและสายการผลิต

Consequential Metric : การลงทุนเครื่องจักร

Objectives Statement

- สัดส่วนข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลมีค่าลดลงเหลือ 1.65% ภายในเดือนธันวาคม 2555
- ปรับปรุงความสามารถของกระบวนการให้อยู่ภายใต้ค่าที่ยอมรับได้ที่ 1.33

Project Timeline

Phase	Start	Finish
Define	07/01/2012	07/20/2012
Measure	07/21/2012	08/31/2012
Analyze	09/01/2012	10/20/2012
Improve	10/21/2012	11/30/2012
Control	12/01/2012	12/31/2012

Project Scope

การทดลองนี้ถูกออกแบบสำหรับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาด 2.5 นิ้ว ซึ่งทำการทดลองในสายการผลิต L201

Project Constraints

- ช่วงเวลาประชุมกันของคนในทีมงานเพื่อรายงานความคืบหน้า 3 ชั่วโมงต่อสัปดาห์

Project Assumption

- Champion ควรจะมีการประชุมกันเพื่อรับทราบปัญหา และรายงานความคืบหน้าใน 1 เดือน
- ทีมสามารถที่จะทำการทดลองในสายการผลิต และปรับปรุงคุณภาพตามแนวทางที่ได้

บทที่ 4
การศึกษาวิจัยเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลบริเวณแทร็คเริ่มต้น

4.1 บทนำ

หลังจากทำการสำรวจสภาพปัญหาในปัจจุบัน เก็บข้อมูล นิยามปัญหา และขอบเขตของปัญหาที่ชัดเจนแล้วในบทนี้ จะทำการศึกษาวิจัยถึงการลดข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลบริเวณแทร็คเริ่มต้น (Track Zero) ซึ่งจะดำเนินการวิจัยตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา ซึ่งประกอบไปด้วย ระยะการเก็บข้อมูลและกำหนดสาเหตุเบื้องต้นของปัญหา (Measure Phase), ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase), ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase) และระยะการติดตามควบคุม ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดของการดำเนินงานวิจัยในแต่ละระยะต่อไป

4.2 การดำเนินการวิจัยในระยะการเก็บข้อมูลและกำหนดสาเหตุเบื้องต้นของปัญหา

สำหรับระยะการเก็บข้อมูลและกำหนดสาเหตุเบื้องต้นของปัญหา จะเริ่มต้นจากการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด เพื่อให้แน่ใจว่า ข้อมูลที่ได้จากการวัดมีความน่าเชื่อถืออยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ หลังจากนั้นจึงทำการประเมินความสามารถของกระบวนการผลิตในปัจจุบันโดยพิจารณาจากดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ Cpk และทำการระดมความคิดจากคนในทีมซึ่งมาจากหลายๆ หน่วยงาน เช่น ฝ่ายซ่อมบำรุง ฝ่ายวิศวกรรม ฝ่ายตรวจสอบคุณภาพ เป็นต้น เพื่อทำการวิเคราะห์หาสาเหตุความเป็นไปได้ของความแปรผันของจำนวนแทร็คเริ่มต้น โดยใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล แล้วทำการจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุเพื่อคัดกรองปัจจัยนำเข้าไปทดสอบความมีนัยสำคัญในระยะวิเคราห์สาเหตุของปัญหา โดยมีรายละเอียดของการศึกษาวิจัยดังนี้

4.2.1 การวิเคราะห์ความเที่ยงของระบบการวัด (Gage Repeatability & Reproducibility) สำหรับแทร็คเริ่มต้น

ระบบการวัด ถือเป็นสิ่งที่มีความสำคัญในกระบวนการผลิต ระบบการวัดที่มีความเที่ยงจะนำไปสู่การควบคุมคุณภาพและกระบวนการที่มีประสิทธิภาพ สามารถประกันคุณภาพของสินค้าที่ส่งไปยังลูกค้าได้ ดังนั้นจึงต้องมีการวิเคราะห์ถึงความเที่ยงของระบบการวัดองค์ประกอบ

ที่สำคัญของระบบการวัดคือ พนักงานวัด ลักษณะของชิ้นงานที่ใช้วัด ขั้นตอนหรือวิธีการวัด และสภาพแวดล้อมในขณะทำการวัด ซึ่งแต่ละปัจจัยข้างต้นแต่ก่อให้เกิดความผันแปรของข้อมูลระบบการวัดทั้งสิ้น เช่น พนักงานผู้วัดขาดความชำนาญในการใช้เครื่องมือวัด ขาดการฝึกอบรมทำให้มีขั้นตอนการวัดที่แตกต่างกัน ลักษณะของชิ้นงานเองที่มีความแตกต่างกันก็ส่งผลถึงความแปรปรวนของระบบการวัดด้วยเช่นกัน ดังนั้นในการศึกษาเพื่อแก้ปัญหาทางด้านคุณภาพจึงควรที่จะ ปรับปรุงความเที่ยงของระบบการวัดให้มีความน่าเชื่อถือ เพื่อที่จะสามารถวิเคราะห์ข้อมูลและนำไปใช้ได้อย่างถูกต้อง

ในบทนี้ ระบบการวัดหรือการตรวจสอบชิ้นงานจะพิจารณาค่าตัวแปรตอบสนองแท็รคเริ่มต้น ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ (Variable data) โดยทำการประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัดใน 2 ด้านคือ

1. รีพีททะบิลิตี้ (Repeatability) แสดงถึงความผันแปรของค่าวัดที่ทำการวัดโดยพนักงานวัดเดียวกัน เครื่องมือวัดเดียวกัน ในการวัดงานชิ้นเดียวกันซ้ำๆ โดยทั่วไปมักแสดงถึงความผันแปรของเครื่องมือวัด
2. รีโปรดิวซิบิลิตี้ (Reproducibility) หมายถึง ความผันแปรที่แสดงถึงค่าเฉลี่ยของค่าวัดจากการใช้เครื่องมือวัดเดียวกันในการวัดชิ้นงานเดียวกันด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน ซึ่งทั่วไปมักแสดงถึงความแตกต่างระหว่างพนักงานวัด

ระบบการวัดที่มีความเที่ยงจะต้องสามารถแยกความผันแปรระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานที่วัดได้ โดยไม่มีอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงาน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงได้ประเมินคุณสมบัติความเที่ยงของระบบการวัดค่าแท็รคเริ่มต้นโดยมีขั้นตอนการศึกษาดังต่อไปนี้

- **การกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างและจำนวนครั้งของการวัดซ้ำของค่าแท็รคเริ่มต้น** (Sample Size Design)

สำหรับการประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัด จะต้องมีการกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างและจำนวนครั้งของการวัดซ้ำของข้อมูล เพื่อให้ข้อมูลที่ทำการประเมินมีความน่าเชื่อถือเพียงพอ ดังนั้น ทางโรงงานกรณีศึกษาได้อ้างอิงการกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งมีผู้ศึกษาไว้แล้วว่ามีความน่าเชื่อถือเพียงพอต่อการประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัดของข้อมูลเชิงปริมาณ (Fasser and Brettner ,1992) ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างสำหรับข้อมูลเชิงปริมาณ (Sample Size for Variable data)

จำนวนพนักงานวัด	จำนวนอุปกรณ์วัด	จำนวนชิ้นงานที่น้อยที่สุด	จำนวนการวัดซ้ำสำหรับแต่ละชิ้นงาน
1	1	10	5
1	2	15	3
2	1	15	3
2	2	10	2
1 หรือ 2	3 หรือ มากกว่า	10	2
3 หรือมากกว่า	1 หรือ 2	10	2

จากตารางที่ 4.1 ผู้วิจัยได้เลือกประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัดของตัวแปรตอบสนองค่าแทร็คเริ่มต้น โดยกำหนดจำนวนของชิ้นงานที่จะวัดจำนวน 10 ชิ้นงาน จำนวนพนักงานวัดจำนวน 3 คนซึ่งมาจากกะ A, B และ C โดยพนักงานแต่ละคนจะต้องผ่านการอบรมและทำหน้าที่วัดชิ้นงานอยู่เป็นประจำ นอกจากนี้จำนวนการวัดซ้ำจำนวน 2 ครั้ง/ชิ้นงาน/พนักงานวัด

- **ผลการประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัดของแทร็คเริ่มต้น**

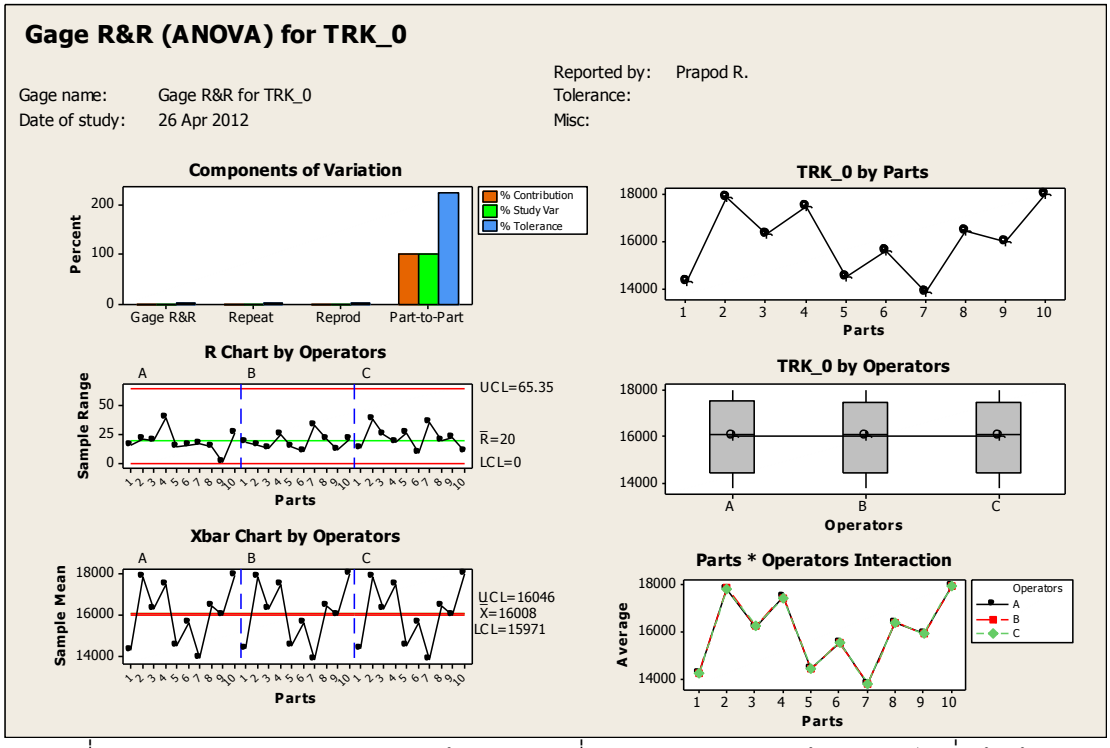
หลังจากทำการออกแบบการประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัดเรียบร้อยแล้ว จึงทำการเก็บข้อมูล บันทึกผลและวิเคราะห์ผลลัพธ์ด้วยโปรแกรม Minitab 16 ได้ดังนี้

1. ผลการตรวจสอบประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัดข้อมูลแทร็คเริ่มต้น

หลังจากทำการออกแบบการทดลองและเก็บข้อมูลเพื่อประเมินความเที่ยงของระบบการวัดของค่าแทร็คเริ่มต้นแล้ว ได้ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางเก็บข้อมูลเพื่อประเมินคุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัดข้อมูลแทร็คเริ่มต้น

ชิ้นงานที่	Operator A		Operator B		Operator C	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	14285	14254	14294	14275	14310	14296
2	17857	17835	17878	17862	17825	17864
3	16235	16255	16273	16260	16257	16283
4	17470	17510	17461	17436	17415	17454
5	14495	14480	14457	14442	14487	14460
6	15598	15582	15605	15594	15589	15580
7	13845	13828	13801	13835	13847	13811
8	16450	16405	16444	16423	16435	16415
9	15957	15978	15945	15977	15969	15946
10	17945	17918	17975	17954	17960	17919



รูปที่ 4.1 การประมวลผลคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัดข้อมูลแทร็คเริ่มต้นด้วยโปรแกรม Minitab16

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ผลทางสถิติของระบบการวัดข้อมูลแทร็คเริ่มต้นโดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Method)

Gage R&R Study - ANOVA Method (Track 0)

Gage R&R for Track_0

Gage name: Gage R&R for Track_0
Date of study: 26 Apr 2012
Reported by: Prapod R.
Tolerance:
Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	118766758	13196306	23335.7	0.000
Operators	2	7	4	0.0	0.994
Parts * Operators	18	10179	565	2.4	0.018
Repeatability	30	7157	239		
Total	59	118784101			

Alpha to remove interaction term = 0.25

Gage R&R

Source	Var Comp	%Contribution (of Var Comp)
Total Gage R&R	402	0.02
Repeatability	239	0.01
Reproducibility	163	0.01
Operators	0	0.00
Operators*Parts	163	0.01
Part-To-Part	2199290	99.98
Total Variation	2199692	100.00

Upper process tolerance limit = 18000

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	20.05	120.30	1.35	3.02
Repeatability	15.45	92.67	1.04	2.33
Reproducibility	12.79	76.71	0.86	1.93
Operators	0.00	0.00	0.00	0.00
Operators*Parts	12.79	76.71	0.86	1.93
Part-To-Part	1483.00	8898.00	99.99	223.38
Total Variation	1483.14	8898.82	100.00	223.40

Number of Distinct Categories = 104

2. ผลการประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัดข้อมูลแทร็คเริ่มต้น

- จากรูปที่ 4.1แผนภูมิแท่ง Components of Variation พบว่าความผันแปรอันเนื่องมาจากความแตกต่างของชิ้นงาน (Part-To-Part) มีค่าสูงถึง 99.98 % ซึ่งมีค่ามากกว่าความผันแปรอันเนื่องมาจากเครื่องมือวัด (Total Gage R&R) ซึ่งพบเพียงแต่ 0.02% เท่านั้น แสดงให้เห็นว่าความผันแปรส่วนใหญ่ของข้อมูลมาจากลักษณะความแตกต่างของชิ้นงานในกระบวนการผลิต
- จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Method) โดยพิจารณาจากค่า P-Value ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าสาเหตุของความผันแปรมาจากลักษณะของชิ้นงาน ส่วนพนักงานวัดไม่มีอิทธิพลต่อความแปรปรวนของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญ และสุดท้ายพบว่า มีอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานวัด
- ค่าความผันแปรเมื่อทำการประเมินผลเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (P/TV) พบว่าถ้าความผันแปรของกระบวนการผลิตโดยรวมเป็น 100 หน่วย ความผันแปรจากกระบวนการผลิตที่ทำให้มีขนาดชิ้นงานต่างกันคิดเป็น 99.99 % และส่วนที่เป็นความผันแปรจากระบบการวัดมีค่าน้อยมากเพียง 1.35% ซึ่งเป็นผลรวมของความผันแปรจากรีพีททะบิลิตี้ 1.04 % และ รีโปรดิวซิบิลิตี้ 0.86%
- ค่า Number of Distinct Categories เท่ากับ 104 มากกว่าค่าที่ยอมรับได้ที่กำหนดเกณฑ์อ้างอิงอยู่ที่ 5 ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ระบบการวัดนี้สามารถแบ่งกลุ่มของข้อมูลแทร็คเริ่มต้นออกเป็น 104 กลุ่มที่มีความแตกต่างกัน แสดงว่า ข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดนี้สามารถประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการวัดนี้ได้

3. สรุปผลการประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัดของค่าแทร็คเริ่มต้น

จากการประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัด ของตัวแปรตอบสนองค่าแทร็คเริ่มต้น โดยอ้างอิงเกณฑ์การยอมรับ AIAG (2002) ที่ระบุค่าที่ยอมรับได้ของค่า P/TV และ P/T ต้องไม่เกิน 10% พบว่าค่า P/TV และ P/T ของระบบการวัดค่าแทร็คเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 1.35% และ 3.02% ตามลำดับซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ความเที่ยงของระบบการวัดนี้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

4.2.2 การวัดความสามารถของกระบวนการสำหรับค่าแทร็คเริ่มต้น

การวัดความสามารถของกระบวนการเพื่อให้ทราบถึงความสามารถของกระบวนการผลิตที่แท้จริงว่ามีลักษณะตรงกับข้อกำหนดของลูกค้ามากเพียงใด โดยคำนึงถึงความแปรปรวนหรือความผันแปรของกระบวนการและการเข้าใกล้ค่ากลางของกระบวนการเมื่อเทียบกับค่าเป้าหมาย ดังนั้นการวัดค่าความสามารถของกระบวนการผลิต จะทำให้สามารถประเมินความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในสายการผลิตและหาวิธีการลดความแปรปรวนนั้นๆ ให้มีค่าน้อยที่สุด เริ่มต้นจากการออกแบบวิธีการเก็บข้อมูล โดยจะต้องกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างในการสุ่มเก็บให้มีความเหมาะสม เพื่อที่จะสามารถประเมินค่าความสามารถที่แท้จริงของกระบวนการผลิตได้

- **การกำหนดขนาดตัวอย่างเพื่อประเมินความสามารถของกระบวนการ**

ในขั้นตอนแรกจะทำการเก็บข้อมูลเบื้องต้น 100 ตัว เพื่อทำการประเมินค่าความสามารถของกระบวนการ ของตัวแปรตอบสนองแทร็คเริ่มต้น โดยจะต้องทำการควบคุม พนักงานผู้วัด เครื่องมือวัด ตลอดของการวิจัยเนื่องจากต้องการลดความแปรปรวนต่างๆ จากปัจจัยภายนอกและภายใน หลังจากนั้น จึงทำการประเมินความสามารถของกระบวนการในขั้นต้น พบว่ามีค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ (Cpk) เท่ากับ 0.76 หลังจากนั้นจึงทำการคำนวณหาค่าขนาดตัวอย่างที่เพียงพอต่อการประเมินดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ Cpk ดังสมการที่ 4.1(Bothe, 1997)

$$n \cong \left[\frac{1}{9\hat{C}_{pk}^2} + \frac{1}{2}\right]\left[\frac{Z_{\alpha/2}}{e_{ppk}}\right]^2 \qquad (4.1)$$

เมื่อ e_{ppk} คือ ค่าความแตกต่างระหว่างค่าความเชื่อมั่นกับค่ากลาง

$\hat{C}_{pk}$ คือ ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการในขั้นต้น

$Z_{\frac{\alpha}{2}}$ คือ ค่ามาตรฐานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 มีค่าเท่ากับ 1.96

ดังนั้น จากสมการที่ 4.1 จึงต้องทำการคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อทำการเก็บข้อมูลและประเมินความสามารถของกระบวนการใหม่ โดยกำหนดที่ค่า e_{ppk} ต่างๆ เพื่อพิจารณาถึงกลุ่มตัวอย่างที่เหมาะสม มีความน่าเชื่อถือ แสดงผลดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การคำนวณหาขนาดตัวอย่างของในการประเมินความสามารถของกระบวนการสำหรับแทร็คเริ่มต้น

ลำดับที่	e_{ppk}	Cpk เบื้องต้น	Cpk Interval		Sample Size
			Cpk Min	Cpk Max	(n)
1	0.01	0.76	0.75	0.77	26598
2	0.05	0.76	0.71	0.81	1064
3	0.10	0.76	0.66	0.86	266
4	0.15	0.76	0.61	0.91	118
5	0.20	0.76	0.56	0.96	66

จากตารางที่ 4.4 พบว่าเมื่อคำนวณหาค่าขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ค่า ความแตกต่างระหว่างค่าความเชื่อมั่นกับค่ากลาง (e_{ppk}) ต่างๆ กันพบว่า ยิ่งค่า e_{ppk} มีค่าน้อย ก็จะทำให้ค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ (Cpk) ที่ประมาณได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริงมากยิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ด้วยข้อจำกัดของขนาดตัวอย่างที่มีปริมาณมาก ทำให้ต้องใช้เวลาในการเก็บข้อมูลนาน ดังนั้นจึงเลือกใช้ ขนาดตัวอย่าง อย่างน้อย 266 ชิ้น และทำให้เกิด eppk เพียง 0.10 เท่านั้น ซึ่งเพียงพอที่จะยอมรับได้ แต่เนื่องจากข้อกำหนดของการทดสอบคุณสมบัติทางกล สามารถประเมินความสามารถของกระบวนการของค่าแทร็คสุดท้ายได้พร้อมกันซึ่งคำนวณค่าขนาดตัวอย่างได้เท่ากับ 344 ดังนั้นในการประเมินความสามารถของกระบวนการของตัวแปรตอบสนองค่าแทร็คเริ่มต้นจึงใช้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 350 ชิ้น

- **การประเมินความสามารถของกระบวนการของค่าแทร็คเริ่มต้นก่อนการปรับปรุง**

เนื่องจากในการประเมินค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการของแทร็คเริ่มต้น (Track_0) ในขั้นต้นซึ่งเก็บข้อมูลไปแล้ว 100 ชิ้น แต่หลังจากคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างแล้วจะต้องใช้กลุ่มตัวอย่างถึง 350 ชิ้นเพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีความน่าเชื่อถืออยู่ในเกณฑ์การยอมรับ ดังนั้นจึงต้องเก็บข้อมูลเพิ่มอีก 250 ชิ้น แล้วจึงนำข้อมูลทั้งหมดไปวิเคราะห์ทางสถิติดังนี้

1. การทดสอบสมมติฐานการกระจายตัวแบบปกติของข้อมูลแทร็คเริ่มต้น

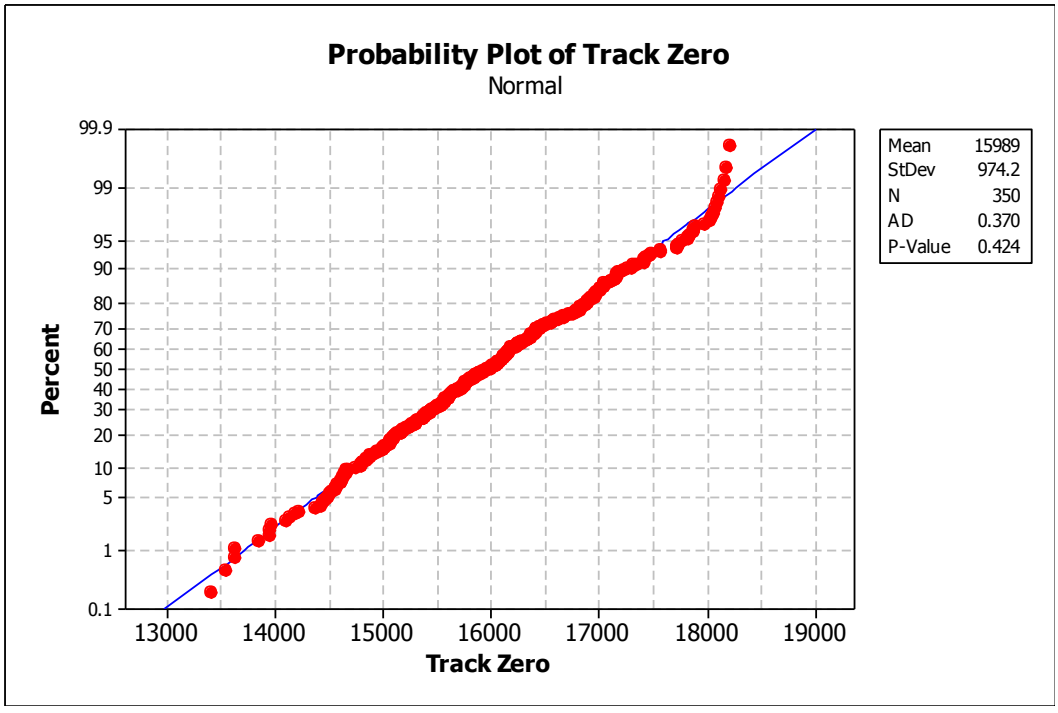
เนื่องจากในการประเมินความสามารถของกระบวนการจะต้องมีการคำนึงถึง ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลว่าเป็นแบบปกติหรือไม่ ดังนั้นจึงนำข้อมูลทั้งหมดมาทดสอบสมมติฐานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนี้

H_0 : ข้อมูลแทร็คเริ่มต้นมีการกระจายตัวแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลแทร็คเริ่มต้นมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ

โดยจะทำการปฏิเสธสมมติฐาน H_0 เมื่อค่า P-Value น้อยกว่า 0.05

ผลการทดสอบสมมติฐานการกระจายตัวของข้อมูลแทร็คเริ่มต้นแสดงดังรูปที่ 4.2

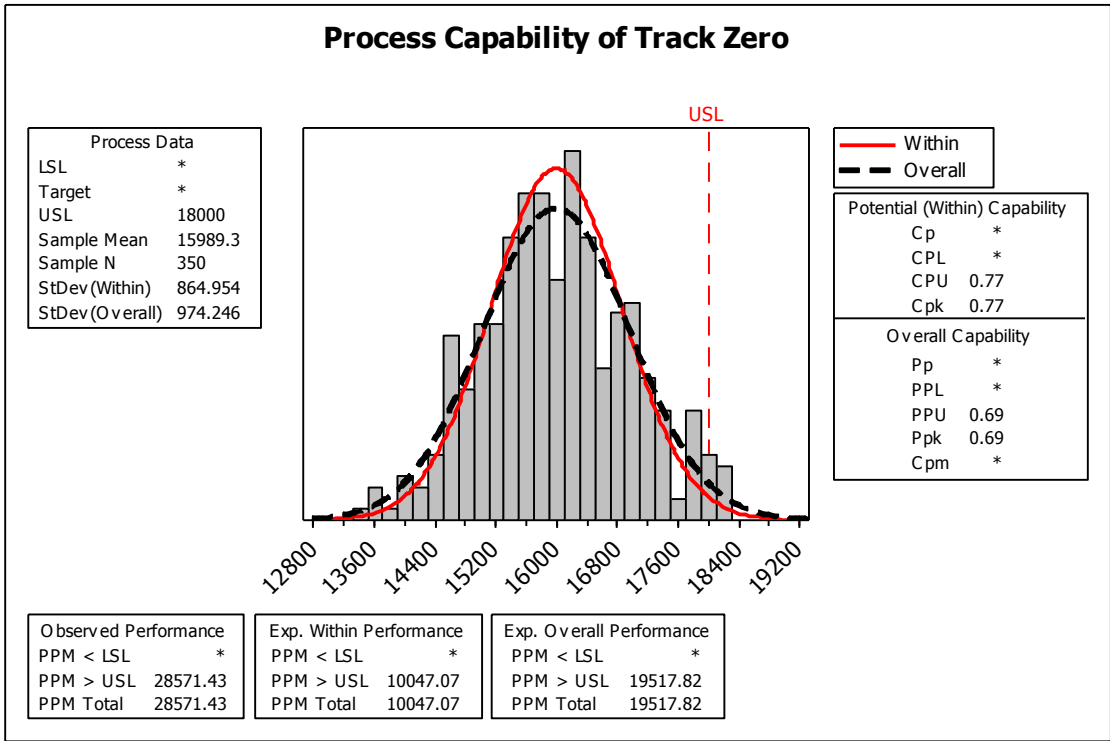


รูปที่ 4.2 การทดสอบสมมติฐานการกระจายตัวแบบปกติ (Normality Test) ของแทร็คเริ่มต้น

จากรูปที่ 4.2 สามารถวิเคราะห์ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.336 จากสมมติฐานที่ได้กำหนดไว้เบื้องต้น จึงสรุปได้ว่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธ H_0 ได้หรืออาจกล่าวได้ว่า กลุ่มข้อมูลแทร็คเริ่มต้นมีการกระจายตัวแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2. การประเมินความสามารถของกระบวนการของการวัดค่าแทร็คเริ่มต้น

นำข้อมูลทั้งหมดมาประเมินความสามารถของกระบวนการด้วยโปรแกรม Minitab โดยกำหนดค่าเป้าหมายด้านบน (USL) มีค่าเท่ากับ 18,000 แทร็ค ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในการวัดค่าแทร็คเริ่มต้นโดยใช้โปรแกรม Minitab

จากรูปที่ 4.3 จะพบว่าระดับความสามารถของกระบวนการของการวัดค่าแทร็คเริ่มต้นอยู่ในระดับที่ต่ำ เนื่องจากกระบวนการมีความผันแปรที่สูงถึง 974 แทร็คและเมื่อพิจารณาฮิสโทแกรมของข้อมูลพบว่ามีบางส่วนที่เกินขีดจำกัดข้อกำหนดบน (USL) ที่กำหนดไว้ที่ 18,000 แทร็ค หรืออาจพิจารณาจากค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการในระยะสั้น Cpk ซึ่งมีค่าเพียง 0.77 เท่านั้น (ปกติจะยอมรับค่า Cpk ที่มากกว่า 1.33) ดังนั้นในกระบวนการนี้จึงควรมีการปรับปรุง

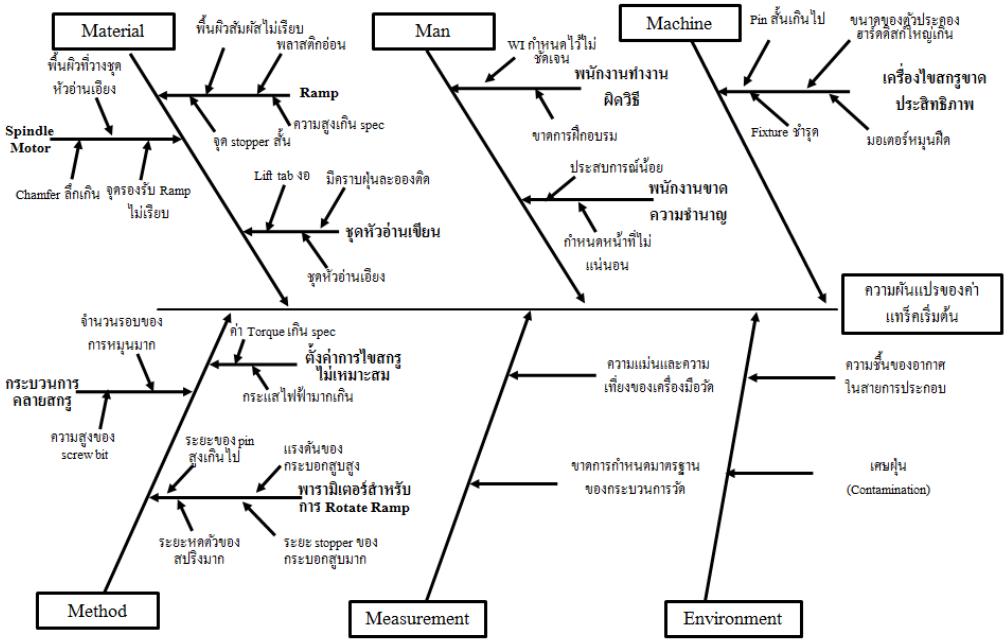
ความสามารถของกระบวนการ โดยหาวิธีในการลดค่าเฉลี่ยและลดค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อไม่ให้ข้อมูลเกินขีดจำกัดข้อกำหนดบนที่กำหนดไว้ ซึ่งอาจจะมีการทดสอบและทำการออกแบบเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการปรับตั้งในกระบวนการผลิต

4.2.3 การวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุของค่าแทร็คเริ่มต้น

สำหรับงานวิจัยบทนี้จะทำการศึกษาเพื่อหาสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ (Possible Cause) ที่ทำให้ข้อมูลการอ่านค่าแทร็คเริ่มต้น มีค่าเบี่ยงเบนไปจากเป้าหมายและเกิดความผันแปรมาก โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) โดยหลักการค้นหาสาเหตุของปัญหาจะทำการระดมสมองของทุกคนในทีมซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญในสายการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ประกอบไปด้วย ฝ่ายผลิต (PE) 2 คน ฝ่ายควบคุมคุณภาพ (QC) 2 คน ฝ่ายซ่อมบำรุง (ME) 2 คน ฝ่ายพัฒนาผลิตภัณฑ์ (FE) 1 คนและฝ่ายวิเคราะห์ข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ (FA) 1 คน รวม 8 คน จากนั้นให้แต่ละคนช่วยกันวิเคราะห์ปัญหาแยกตามหลักการ 5M 1E ซึ่งแบ่งสาเหตุของปัญหาออกเป็นกลุ่มปัจจัยต่างๆ คือ คน (Man), เครื่องจักร (Machine), วิธีการ (Method), วัตถุดิบ (Material), เครื่องมือวัด (Measurement) และสภาพแวดล้อม (Environment) ทำให้ได้ปัจจัยนำเข้าของแต่ละปัญหา ดังนี้

- **แผนผังสาเหตุและผลของความผันแปรของค่าแทร็คเริ่มต้น**

จากการระดมความคิดของคนในทีมอย่างละเอียดทำให้ได้ สาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ ที่อาจทำให้เกิดความผันแปรของค่าแทร็คเริ่มต้น แสดงได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แผนผังสาเหตุและผลของความผันแปรของค่าแทร็คเริ่มต้น

- **การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาของค่าแทร็คเริ่มต้นจากการหาความสัมพันธ์สาเหตุและผล** (Cause & Effect Matrix)

หลังจากที่ทีมช่วยกันหาสาเหตุที่เป็นไปได้ของการเกิดข้อบกพร่องแต่ละประเภทแล้ว จากนั้นจึงนำปัจจัยนำเข้าเหล่านั้นมาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์สาเหตุและผล โดยใช้การลงคะแนนจากสมาชิกภายในทีมซึ่งช่วงของคะแนนจะอยู่ระหว่าง 0 – 10 คะแนน ซึ่งมีเกณฑ์ดังนี้

0 คะแนน คือ ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง
1 คะแนน คือ มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองน้อยมาก
5 คะแนน คือ มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองระดับปานกลาง
10 คะแนน คือ มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองระดับมากที่สุด

ในการลงคะแนนของสมาชิกในทีมแต่ละคน จะเป็นความลับซึ่งจะต้องไม่มีการปรึกษากันเพื่อลดค่าความเอนเอียงของการให้คะแนนซึ่งการให้คะแนนจะขึ้นอยู่กับประสบการณ์และความชำนาญของแต่ละคน จากการวิเคราะห์ผลพบว่าคะแนนของแต่ละคนเป็นไปในทิศทางเดียวกัน จึง

ตัดสินใจที่จะใช้คะแนนรวมของแต่ละคน จากนั้นจึงนำคะแนนรวมของแต่ละคนมาคูณกับค่าคงที่ 10 ซึ่งเป็นอัตราความสำคัญที่มีผลกระทบ ซึ่งให้ผลดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการให้คะแนนเพื่อวิเคราะห์สาเหตุที่เป็นไปได้ของการเกิดความผันแปรของค่าแทร็คเริ่มต้น

อัตราความสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าแทร็คเริ่มต้น					**10**
ลำดับที่	**ประเภทของสาเหตุ**	**ปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง**		**คะแนน**	**คะแนนรวม**
1	Material	ชิ้นส่วน Spindle	พื้นที่วางชุดหัวอ่านเอียง	7	70
2			Chamfer ลึกเกินไป	27	270
3			จุดรองรับ Ramp มีพื้นผิวไม่เรียบ	6	60
4		ชิ้นส่วน Ramp	วัตถุดิบเป็นพลาสติกอ่อน	3	30
5			ความสูงของ Ramp เกินค่า	3	30
6			พื้นที่ผิวส่วน Stopper มีขนาดสั้น	20	200
7			พื้นผิวสัมผัสบริเวณ Ramp boss ไม่เรียบ	39	390
8		ชุดหัวอ่านเขียน	Lift tab มีลักษณะงอ	3	30
9			มีคราบฝุ่นละอองติดอยู่บริเวณหัวอ่านเขียน	16	160
10			ชุดหัวอ่านเอียง	4	40
11	Man	พนักงานทำงานผิดวิธี	WI กำหนดวิธีการทำงานไม่ชัดเจน	4	40
12			ขาดการฝึกอบรม	2	20
13		พนักงานขาดความชำนาญ	มีประสบการณ์ทำงานน้อย	9	90
14			กำหนดหน้าที่ความรับผิดชอบไม่แน่นอน	9	90
15	Machine	เครื่องไขสกรูขาดประสิทธิภาพ	Pin สั้นเกินไป	12	120
16			ขนาดของตัวประคองฮาร์ดดิสก์ใหญ่เกินไป	14	140

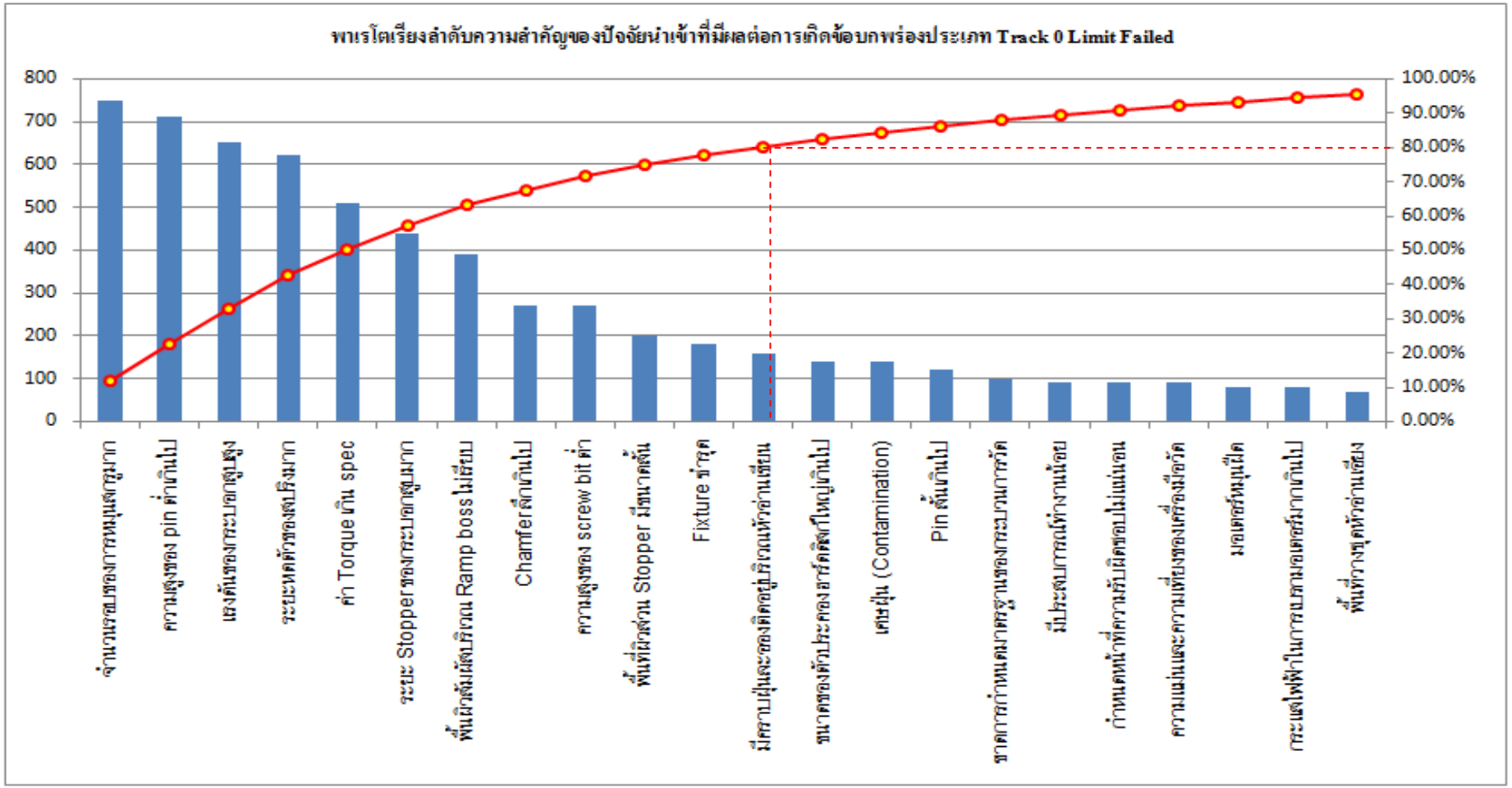
ตารางที่ 4.5 ผลการให้คะแนนเพื่อวิเคราะห์สาเหตุที่เป็นไปได้ของการเกิดความผันแปรของค่าแทร็คเริ่มต้น (ต่อ)

อัตราความสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าแทร็คเริ่มต้น					10
ลำดับที่	**ประเภทของสาเหตุ**	**ปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง**		**คะแนน**	**คะแนนรวม**
17	Machine	เครื่องไขสกรูขาดประสิทธิภาพ	Fixture ชำรุด	18	180
18			มอเตอร์หมุนฝืด	8	80
19	Method	กระบวนการคลายสกรู	ความสูงของ screw bit ต่ำ	27	270
20			จำนวนรอบของการหมุนสกรูมาก	75	750
21		พารามิเตอร์สำหรับการ Rotate Ramp ไม่เหมาะสม	กำหนดระยะของ rotate pin สูงเกินไป	71	710
22			แรงดันของกระบอกสูบสูง	65	650
23			ระยะหดตัวของสปริงมาก	62	620
24			ระยะ Stopper ของกระบอกสูบมาก	44	440
25		ตั้งค่าการไขสกรูไม่เหมาะสม	ค่า Torque เกิน spec	51	510
26			กระแสไฟฟ้าในการเบรกมอเตอร์มากเกินไป	8	80
27	Measurement	ความแม่นและความเที่ยงของเครื่องมือวัด		9	90
28		ขาดการกำหนดมาตรฐานของกระบวนการวัด		10	100
29	Environment	ความชื้นของอากาศในสายการประกอบ		3	30
30		เศษฝุ่น (Contamination)		14	140
รวม					6,430

จากตารางที่ 4.5 ซึ่งทำการระดมความคิดและช่วยกันให้คะแนนความสำคัญของแต่ละปัจจัยนำเข้าที่อาจจะทำให้เกิดความผันแปรของค่าแทร็คเริ่มต้นแล้ว พบว่าจากปัจจัยนำเข้าทั้งสิ้น 30 ปัจจัยรวมคะแนนจากทุกคนในทีมได้ 6,430 คะแนน จากนั้นนำแต่ละปัจจัยมาเรียงลำดับคะแนนจากมากไปหาน้อยดังแสดงรูปที่ 4.6 พบว่า 80.09% ของคะแนนรวมอาจจะเป็นสาเหตุหลักของการเกิดความผันแปรของค่าแทร็คเริ่มต้น ตามกฎ 80% ของพาเรโต ซึ่งคิดเป็น 12 ปัจจัยนำเข้าดังนี้

1.	จำนวนรอบของการหมุน Ramp screw มาก	750	คะแนน
2.	กำหนดระยะของ rotate pin สูงเกินไป	710	คะแนน
3.	แรงดันของกระบอกสูบสูง	650	คะแนน
4.	ระยะหดตัวของสปริงมาก	620	คะแนน
5.	ค่า Torque ของ screw ramp สูงเกิน ค่ามาตรฐาน	510	คะแนน
6.	ระยะ Stopper ของกระบอกสูบมาก	440	คะแนน
7.	พื้นผิวสัมผัสบริเวณ Ramp boss ไม่เรียบ	390	คะแนน
8.	Chamfer บริเวณ MBA ลึกเกินไป	270	คะแนน
9.	ความสูงของ screw bit ต่ำ	270	คะแนน
10.	พื้นที่ผิวส่วน Stopper Ramp มีขนาดสั้น	200	คะแนน
11.	Fixture ของเครื่องหมุน Ramp ชำรุด	180	คะแนน
12.	มีคราบฝุ่นละอองติดอยู่บริเวณหัวอ่านเขียน	160	คะแนน

หลังจากนั้นทำการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าทั้ง 12 ตัวแล้ว พบว่า ปัจจัยส่วนใหญ่ที่มีคะแนนสูงอันดับแรกๆ ของพาเรโต จะมาจากสาเหตุประเภทวิธีการ (Method) เนื่องจากในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจะประกอบไปด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติหลายประเภท โดยค่าพารามิเตอร์บางตัวที่ต้องตั้งค่าให้กับเครื่องจักรไม่มีการกำหนดไว้ในเอกสารที่แน่นอน และพนักงานไม่ทราบว่า พารามิเตอร์เหล่านี้จะส่งผลถึงความผันแปรของค่าแทร็คเริ่มต้นในกระบวนการทดสอบทางกล และอีกประเภทคือ สาเหตุมาจากวัตถุดิบ (Material) ซึ่งบางชิ้นส่วนมาจากหลายซัพพลายเออร์ ทำให้เกิดความแปรผันของค่าแทร็คเริ่มต้น ดังนั้น จากการพิจารณาปัจจัยนำเข้าทั้ง 12 ตัว ทางทีมงานจึงได้ช่วยกันวิเคราะห์โดยอาศัยประสบการณ์ของทุกคนในทีมซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.6 พาเรโตลำดับความสำคัญปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อการเกิดความผันแปรของค่าแทร็คเริ่มต้น

ตารางที่ 4.6 การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าแทร็คเริ่มต้น

การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าแทร็คเริ่มต้น						
ลำดับที่	**ประเภทของสาเหตุ**	**ปัจจัยนำเข้า (KPIV)**	**เลือก**	**ไม่เลือก**	**เหตุผลสนับสนุนการตัดสินใจ**	**การออกแบบ/ควบคุมการทดลอง**
1	Method	จำนวนรอบของการหมุน Ramp screw มาก	✓		เนื่องจากถ้ากำหนดจำนวนรอบของการคลายสกรูมากจะทำให้เกิดระยะคลอนตัวระหว่างตัว Ramp และพื้นผิวของ MBA จนกระทั่งเกิดความไม่สมดุลของระนาบ Ramp	ทำการทดลองที่จำนวนรอบของการหมุนต่างๆ กันเพื่อตรวจสอบสมมติฐาน
2	Method	กำหนดระยะของ rotate pin สูงเกินไป	✓		หากกำหนดระยะของ rotate pin สูง จะทำให้เกิดโมเมนต์ระหว่างจุดหมุนบริเวณตำแหน่ง Ramp stopper และตำแหน่งที่ rotate pin หมุนจนทำให้ ramp เอียงซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งทำให้ค่า Track 0 ไม่ตรงเป้าหมาย	ทำการทดลองที่ระยะความสูงของตำแหน่ง rotate pin ต่างๆ กันเพื่อตรวจสอบสมมติฐาน
3	Method	แรงดันของกระบอกสูบสูง	✓		กระบอกสูบทำหน้าที่ในการดัน Ramp ให้เข้าสู่ตำแหน่งของแผ่นจานบันทึกข้อมูลโดยถูกควบคุมโดย regulators ซึ่งถ้ากำหนดแรงดันลมมากเกินไปก็จะทำให้ Ramp ถูกดันจนเอียง หรือเสียรูปร่างได้เนื่องจากมีพื้นผิวเป็นพลาสติก	ทำการทดลองที่แรงดันของกระบอกสูบด้วยแรงต่างๆ กันเพื่อตรวจสอบสมมติฐาน

ตารางที่ 4.6 การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าแทร็คเริ่มต้น (ต่อ)

การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าแทร็คเริ่มต้น						
ลำดับที่	**ประเภทของสาเหตุ**	**ปัจจัยนำเข้า (KPIV)**	**เลือก**	**ไม่เลือก**	**เหตุผลสนับสนุนการตัดสินใจ**	**การออกแบบ/ควบคุมการทดลอง**
4	Method	ระยะหดตัวของสปริงมาก	✓		สปริงเป็นตัวดูดซับแรงกดในขณะที่กระบอกสูบเคลื่อนที่ดังนั้นถ้ากำหนดระยะหดตัวของสปริงมากเกินไป ก็เปรียบเสมือนว่าสปริงถูกกดเต็มที่ ทำให้เกิดแรงดัน Ramp มากทำให้ Ramp เอียง หรือเสียรูปร่าง	ทำการทดลองโดยกำหนดระยะหดตัวของสปริงที่ค่าต่างๆ กันเพื่อตรวจสอบสมมติฐาน
5	Method	ค่า Torque ของ Ramp screw สูงเกินค่ามาตรฐาน	✓		ค่า torque ที่มากเกินไปทำให้เกิดแรงกดและการบิดตัวของ ramp boss จนระนาบของ ramp ไม่ขนานกับแผ่นจานบันทึกข้อมูล ทำให้ค่าแทร็คเริ่มต้นไม่ตรงกับค่าเป้าหมาย	ทำการทดลองโดยการตั้งค่า Torque บริเวณ screw ramp ที่ค่าต่างๆ กันเพื่อตรวจสอบสมมติฐาน
6	Method	ระยะ Stopper ของกระบอกสูบมาก	✓		โดยปกติกระบอกสูบจะถูกหยุดด้วยตัว Stopper ดังนั้นการปรับตำแหน่งการหมุนของ Ramp เพื่อให้เคลื่อนที่ไปยังบริเวณแผ่นจานบันทึกข้อมูลจึงกำหนดด้วยระยะของตัว stopper ถ้าเคลื่อนที่เข้าไปมากก็จะทำให้ค่าแทร็คเริ่มต้นมีค่าเพิ่มมากยิ่งขึ้น	ทำการทดลองโดยกำหนดระยะ Stopper ของกระบอกสูบที่ค่าต่างๆ กันเพื่อตรวจสอบสมมติฐาน

ตารางที่ 4.6 การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าแทร็คเริ่มต้น (ต่อ)

การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าแทร็คเริ่มต้น						
ลำดับที่	**ประเภทของสาเหตุ**	**ปัจจัยนำเข้า (KPIV)**	**เลือก**	**ไม่เลือก**	**เหตุผลสนับสนุนการตัดสินใจ**	**การออกแบบ/ควบคุมการทดลอง**
7	Material	พื้นผิวสัมผัสบริเวณ Ramp boss ไม่เรียบ		✓	บริเวณความเรียบผิวของ Ramp boss เป็นจุดที่ส่งผลต่อค่าแทร็คเริ่มต้น ดังนั้นจึงมีการควบคุมความเรียบผิวบริเวณนี้จากซัพพลายเออร์จึงเชื่อมั่นว่าไม่ส่งผลต่อการทดลอง	ควบคุมโดยใช้ Ramp จากซัพพลายเออร์เพียงรายเดียวคือ Hi-P เพื่อไม่ให้แฟคเตอร์นี้มีผลต่อการทดลอง
8	Material	Chamfer บริเวณ MBA ลึกเกินไป		✓	ถ้า Chamfer มีขนาดลึกเกินไปอาจส่งผลค่าแทร็คเริ่มต้นทำให้ได้ค่ามาก Ramp จะสามารถเคลื่อนที่เข้าไปบริเวณแผ่นจานบันทึกข้อมูลมากยิ่งขึ้น แต่บริเวณนี้ซัพพลายเออร์จะต้องทำการตรวจสอบ 100% ว่าอยู่ภายใต้ค่าที่ยอมรับได้	เลือกใช้ MBA หรือสปินเดิลมอเตอร์จากซัพพลายเออร์เพียงรายเดียวคือ NIDEC เพื่อไม่ให้แฟคเตอร์นี้มีผลต่อการทดลอง
9	Method	ความสูงของ screw bit ต่ำ		✓	ความสูงของ screw bit มีผลต่อการกดลงบนตัว Ramp แต่ไม่เลือกมาทำการทดลองเนื่องจากที่เครื่องจะมีเซ็นเซอร์ไว้ตรวจสอบสถานะของความสูง จึงมั่นใจได้ว่า ความสูงจะถูกควบคุมไว้ที่ตำแหน่งมาตรฐาน	เจ้าหน้าที่ฝ่ายซ่อมบำรุงจะทำการตรวจสอบความพร้อมของตำแหน่งความสูงของ screw bit ก่อนทำการทดลอง

ตารางที่ 4.6 การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าแทร็คเริ่มต้น (ต่อ)

การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าแทร็คเริ่มต้น						
ลำดับที่	**ประเภทของสาเหตุ**	**ปัจจัยนำเข้า (KPIV)**	**เลือก**	**ไม่เลือก**	**เหตุผลสนับสนุนการตัดสินใจ**	**การออกแบบ/ควบคุมการทดลอง**
10	Material	พื้นที่ผิวส่วน Stopper Ramp มีขนาดสั้น		✓	พื้นที่ผิวส่วนนี้ ถ้ามีขนาดสั้นก็จะทำให้ Ramp เคลื่อนที่เข้ามายังบริเวณแผ่นจานบันทึกข้อมูลมากยิ่งขึ้น แต่เนื่องจากพื้นผิวบริเวณนี้ถูกควบคุมตามการออกแบบผลิตภัณฑ์ (spec) แล้ว จึงไม่เลือกมาทำการทดลอง	ควบคุมโดยใช้ Ramp จากซัพพลายเออร์เพียงรายเดียวคือ Hi-P เพื่อไม่ให้แฟคเตอร์นี้มีผลต่อการทดลอง
11	Machine	Fixture ของเครื่องหมุน Ramp ชำรุด		✓	เมื่อ Fixture มีการชำรุด จะถูกเปลี่ยนด้วยชิ้นใหม่ทันที มิฉะนั้นเครื่องจะไม่สามารถทำงานได้ ดังนั้นจึงไม่นำปัจจัยนี้มาทำการทดลอง	ควบคุมโดยใช้เครื่องหมุน Ramp เพียงเครื่องเดียว และมีการตรวจสอบความพร้อมของเครื่องโดยช่างซ่อมบำรุง
12	Material	มีคราบฝุ่นละอองติดอยู่บริเวณหัวอ่านเขียน		✓	แม้ว่าฝุ่นละอองจะมีผลต่อการอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแต่สำหรับสายการประกอบนี้จะมีการควบคุมในส่วนของความสะอาด ก่อนส่งมายังสายการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ	

จากตารางที่ 4.6 ได้กล่าวถึงการพิจารณาเลือกปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 12 ตัวเพื่อคัดเลือกปัจจัยที่จะนำมาทดสอบสมมติฐานว่ามีผลต่อค่าความผันแปรของแทร็คเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ซึ่งเหลือเพียงปัจจัยนำเข้า 6 ตัวซึ่งจะถูกนำไปทดสอบความมีนัยสำคัญในหัวข้อถัดไป แสดงผลของปัจจัยนำเข้าดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 สรุปผลปัจจัยที่จะนำมาทดสอบความมีนัยสำคัญสำหรับความผันแปรของค่าแทร็คเริ่มต้น

ลำดับที่	ปัจจัยนำเข้า (KPIV)	ประเภทของข้อมูล	หน่วย
1	จำนวนรอบของการหมุน Ramp screw	ข้อมูลผันแปร	รอบ
2	ระยะความสูงของ rotate pin	ข้อมูลผันแปร	มิลลิเมตร
3	แรงดันของกระบอกสูบ	ข้อมูลผันแปร	ปอนด์
4	ระยะหดตัวของสปริง	ข้อมูลผันแปร	มิลลิเมตร
5	ค่า Torque ของ Ramp Screw	ข้อมูลผันแปร	ปอนด์-นิ้ว
6	ระยะ Stopper ของกระบอกสูบ	ข้อมูลผันแปร	มิลลิเมตร

4.2.4 สรุปผลการดำเนินงานวิจัยในระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา

สำหรับขั้นตอนการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ความเที่ยงของระบบการวัดโดยประเมินคุณสมบัติด้านรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ของเครื่องมือวัด ของค่าแทร็คเริ่มต้น พบว่า ค่า P/TV และ P/T ผ่านเกณฑ์การยอมรับ AIAG (2002) ที่ระบุว่าต้องไม่เกิน 10%จึงสรุปได้ว่า ความเที่ยงของระบบการวัดนี้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ในขั้นตอนต่อมาจึงทำการประเมินความสามารถของกระบวนการผลิตปัจจุบันของค่าตอบสนอง ค่าแทร็คเริ่มต้น ซึ่งให้ค่า Cpk เท่ากับ 0.77 จากการวิเคราะห์พบว่า ความสามารถของกระบวนการในขณะก่อนการปรับปรุงมีค่าที่ต่ำกว่าเกณฑ์การยอมรับที่ 1.33 ดังนั้นจึงจะต้องมีการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการเพื่อให้ค่าเฉลี่ยเข้าใกล้ค่าเป้าหมายมากที่สุดและมีความผันแปรน้อยที่สุด

ส่วนการวิเคราะห์ขั้นสุดท้ายของระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุ จะใช้เครื่องมือที่เรียกว่าแผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) โดยทำการระดมสมองของทุกคนในทีมซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญในสายการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมาช่วยกันวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาแยกตามหลักการ 5M 1E ซึ่งแบ่งสาเหตุของปัญหาออกเป็นกลุ่มปัจจัยต่างๆ คือ คน (Man), เครื่องจักร (Machine), วิธีการ (Method), วัตถุดิบ (Material), เครื่องมือวัด (Measurement) และสภาพแวดล้อม (Environment) ทำให้ได้ปัจจัยนำเข้าของแต่ละปัญหา จากทีมจึงช่วยกันลงคะแนนเพื่อคัดกรองให้เหลือแต่ปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อตัวแปรตอบสนองแทร็คเริ่มต้นจะประกอบปัจจัยนำเข้า 6 ตัว คือ จำนวนรอบของการหมุน Ramp screw,ระยะความสูงของ rotate pin, แรงดันของกระบอกสูบ, ระยะหดตัวของสปริง, ค่า Torque ของ Ramp Screw และ ระยะ Stopper ของกระบอกสูบ โดยปัจจัยนำเข้าทั้งหมดจะถูกนำไปออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญต่อไปในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

4.3 การดำเนินการวิจัยในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาสำหรับค่าแทร็คเริ่มต้น

หลังจากที่ทีมงานช่วยกันระดมความคิดเพื่อคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่คาดว่าจะส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ย และค่าความผันแปรของตัวแปรตอบสนองแทร็คเริ่มต้น (Track 0) แล้ว จึงได้นำปัจจัยนำเข้าเหล่านั้นมาทำการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานว่าปัจจัยเหล่านั้นมีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่โดยอาศัยวิธีการทางสถิติ ดังนี้

4.3.1 รูปแบบการทดลอง

ในเบื้องต้นของการออกแบบการทดลองจะใช้การทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย เนื่องจากเป็นวิธีการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถวิเคราะห์ผลของอิทธิพลหลัก (Main Effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างปัจจัยได้ นอกจากนี้ยังพบว่ามีปัจจัยนำเข้าเป็นจำนวนมากที่มีแนวโน้มว่ามีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ดังนั้นจึงต้องมีการคัดเลือกเพื่อเป็นการลดปัจจัยนำเข้าเหล่านั้นให้มีจำนวนน้อยลงและทำให้จำนวนการทดลองร่วมปัจจัยลดลงเหลือขนาดการทดลองที่สามารถทำได้จริง โดยจำนวนการทดลองร่วมปัจจัยที่ถูกเลือกมาทำการทดลองจะอยู่ในชุดการทดลองแบบแฟคทอเรียลซึ่งจะไม่ได้ทำการทดลองครบทุกเงื่อนไขของทุกปัจจัย แต่ข้อเสียของแบบการทดลองนี้คือ จะทำให้เกิดคอนฟาวด์ (Confounded) ซึ่งทำให้เกิดอิทธิพลของปัจจัยที่ไม่สามารถทำการประเมินค่าแยกออกมาได้เดี่ยวๆ โดยในโปรแกรม Minitab จะแสดงอยู่ในรูปของ Aliased ดังนั้นข้อควรระวังของการใช้แบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล คือ

จะต้องทำการวิเคราะห์ส่วนที่ถูกต้องเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่สามารถใช้งานได้ บางครั้งจะต้องใช้ความรู้เฉพาะเกี่ยวกับกระบวนการและผลิตภัณฑ์เพื่อมาตัดสินใจด้วย

นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มจุดศูนย์ของแต่ละระดับปัจจัยเข้าไปในการทดลองด้วย เพื่อทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับลักษณะพื้นผิวโค้ง (Curvature) ที่เกิดขึ้นกับผลตอบสนอง สามารถแสดงได้ด้วยแบบจำลองพื้นผิวตอบสนองขั้นที่สอง (Second Order Response Surface) ซึ่งเกิดจากการทำซ้ำที่บริเวณจุดศูนย์กลางของแต่ละระนาบจำนวน 4 ซ้ำ และจะไม่ส่งผลต่อการทดลองแบบแฟคทอเรียลแต่อย่างใด

4.3.2 **ขนาดตัวอย่างสำหรับการออกแบบการทดลอง** (Sample Size for Fractional Factorial Design)

การออกแบบการทดลองเพื่อให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือจะต้องพิจารณาถึง จำนวนซ้ำ (Replication) ของการทดลองแต่ละทรีทเมนต์ด้วยเพื่อให้สามารถแยกความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสองระดับของปัจจัยได้ ในที่นี้จะวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Minitab โดยมีจำนวนปัจจัยนำเข้า 6 ตัวแปร และ ออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบเพิ่มจุดศูนย์กลางที่มี resolution VI เนื่องจากการออกแบบการทดลองเช่นนี้จะช่วยลดจำนวนการทดลองให้น้อยลงครึ่งหนึ่งของการทดลองทั้งหมด โดยผลของอิทธิพลที่เป็นเอเลียซกับอิทธิพลหลักหรืออิทธิพลร่วมสองปัจจัยจะสามารถตัดทิ้งได้ (Gustavo A.,1997) ดังนั้นจึงใช้แบบการทดลอง 2_{VI}^{6-1}(1/2 fractional factorial) ที่มีกำลังของการทดสอบ (Power of Test) อย่างน้อย 99 % (1-β= 0.99) และระดับของการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่ต้องการตรวจจับได้อย่างน้อย 1σ หรือเท่ากับ 974 แทร็ค ดังนั้นจะได้จำนวนการทดลองซ้ำสำหรับการทดลองร่วมปัจจัยเท่ากับ 3 แต่มีการเพิ่มการทดลองที่จุดศูนย์กลางของแต่ละระดับปัจจัยอีกจำนวน 4 ซ้ำ ทำให้ได้จำนวนการทดลองทั้งสิ้น 100 การทดลอง

Power and Sample Size

```
2-Level Factorial Design for Track0 response

Alpha = 0.05  Assumed standard deviation = 1066

Factors:    6   Base Design: 6, 32
Blocks:  none

Including a term for center points in model.
```

Center Points	Effect	Reps	Total Runs	Target Power	Actual Power
4	1066	2	68	0.90	0.973076
4	1066	2	68	0.95	0.973076
4	1066	3	100	0.99	0.997933

รูปที่ 4.7 กำลังและจำนวนซ้ำ (Replication) สำหรับตัวแปรตอบสนอง “แทร็คเริ่มต้น”

4.3.3 ปัจจัยนำเข้าและระดับของปัจจัยนำเข้า

การกำหนดสัญลักษณ์ของแต่ละปัจจัยจะถูกกำหนดด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษ โดยแต่ละระดับปัจจัยจะถูกกำหนดขึ้นโดยอาศัยความเชี่ยวชาญของผู้มีประสบการณ์ในทีม นอกจากนี้ช่วงระดับความกว้างของแต่ละปัจจัยจะต้องมีความกว้างพอที่ทำให้เห็นอิทธิพลของปัจจัยนั้นๆ โดยปัจจัยนำเข้าที่ถูกคัดเลือกจากทีมสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การกำหนดสัญลักษณ์และระดับของปัจจัยนำเข้าสำหรับตัวแปรตอบสนอง “แทร็คเริ่มต้น”

ลำดับที่	ปัจจัยนำเข้า (KPIV)	สัญลักษณ์	ประเภทของข้อมูล	ระดับของปัจจัย			
				ต่ำ	กลาง	สูง	หน่วย
1	จำนวนรอบของการหมุน Ramp screw	A	Variable	0.25	0.75	1.25	รอบ
2	ระยะความสูงของ rotate pin	B	Variable	4	8	12	มิลลิเมตร
3	แรงดันของกระบอกสูบ	C	Variable	2	5	8	ปอนด์
4	ระยะหดตัวของสปริง	D	Variable	0	5	10	มิลลิเมตร
5	ค่า Torque ของ Ramp Screw	E	Variable	1.0	1.3	1.6	ปอนด์-นิ้ว
6	ระยะ Stopper ของกระบอกสูบ	F	Variable	3	5	7	มิลลิเมตร

4.3.4 ตัวแปรตอบสนอง (Response)

ในการทดลองสำหรับค่าตัวแปรตอบสนองค่าแทร็คเริ่มต้นจะวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองจะอยู่ในรูปของค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งจะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) ในรูปแบบของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) จากข้อมูลการทดลองจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไข $\varepsilon_{ij} \sim NID\ (0,\sigma^2)$ซึ่งมีสมมติฐาน 3 ข้อ คือ ค่าส่วนตกค้าง จะต้องมีการกระจายตัวแบบปกติและเป็นอิสระด้วยค่าเฉลี่ย 0 และความแปรปรวนไม่ทราบค่า σ^2 ที่เป็นค่าคงตัว (Stability) ดังนั้นเมื่อได้ผลการทดลองดังที่ได้ออกแบบการทดลองไว้เบื้องต้นแล้ว จึงจะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทุกครั้งสำหรับค่าส่วนตกค้าง เพราะบางครั้งอาจมีผลของความแปรปรวนที่มีค่าไม่คงตัวในกรณีที่ข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติทำให้เกิดผลกระทบต่อแบบจำลอง จนนำไปสู่การตัดสินใจที่ผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงมีการนำเทคนิคของการแปลงความแปรปรวนให้คงที่ (Variance Stabilizing Transformation)" โดยพิจารณาถึงลักษณะเฉพาะของการแจกแจงกลุ่มข้อมูล จากนั้นจึงเลือกวิธีการแปลงข้อมูลให้เหมาะสมกับลักษณาการแจกแจงของข้อมูลนั้นๆ เช่น ข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบ Log-normal จะต้องใช้วิธีการแปลงแบบลอการิทึม เป็นต้น (ปารเมศ,2545) นอกจากนี้ลักษณะความแปรปรวนที่ขาดเสถียรภาพมักจะเกิดกับตัวแปรตอบสนองที่มีลักษณะเป็นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เนื่องจากเราสนใจศึกษาผลของการกระจายตัว (Dispersion Effect) จึงมีการนำเสนอวิธีการแปลงค่าด้วยล็อค (Log Transformation) เพราะวิธีการแปลงข้อมูลประเภทนี้จะมีประสิทธิภาพมากที่จะทำให้ความแปรผันในการแจกแจงของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น (Douglas C,2009) ดังตัวอย่าง งานวิจัยเรื่อง การปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทแรงกดทับในหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Asawarungsaengkul K. and SukamtaS.,2011) โดยศึกษาถึงปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อค่าแรงกดทับในหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของแรงกดทับมีค่าใกล้เคียงเป้าหมายและความแปรปรวนของแรงกดทับมีค่าน้อยที่สุด หลังจากได้ข้อมูลการทดลองแล้วจึงทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองเบื้องต้นพบว่าขาดความเสถียรของความแปรปรวน ดังนั้นจึงต้องมีการแปลงค่าตัวแปนตอบสนองที่เป็นค่าความแปรปรวนโดยใช้ Log Transformation ดังสมการที่ 4.2 ซึ่งทางผู้วิจัยจะอ้างอิงวิธีการแปลงค่าความแปรปรวนให้มีเสถียรภาพสำหรับตัวแปรตอบสนองที่เป็นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับงานวิจัยนี้

$$y^* = \ln(s) \qquad (4.2)$$

4.3.5 ผลการทดลองคัดเลือกปัจจัยเบื้องต้นที่มีผลต่อค่าแทร็คเริ่มต้น

สำหรับการทดลองนี้ จะใช้แบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล 2_{VI}^{6-1}(1/2 fractional factorial) มีการทดลองซ้ำ 3 ครั้งต่อการทดลอง โดยในการเตรียมการทดลองจะต้องมีการอบรมพนักงานสำหรับวิธีการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง มีควบคุมตัวแปรต่างๆ ที่อาจส่งผลทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน เช่น ชนิดของวัตถุดิบ การปรับตั้งเครื่องจักรบางประเภท และพยายามทำการทดลองทั้งหมดให้เสร็จสิ้นภายในเวลาเดียวกันซึ่งผลการทดลองสามารถแสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแทร็คเริ่มต้น (Track 0)

Std Order	Run Order	Center Pt	Blocks	A	B	C	D	E	F	$\bar{y}$	s	ln s
15	1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	14924	659	6.491
14	2	1	1	1	-1	1	1	-1	1	17930	145	4.976
23	3	1	1	-1	1	1	-1	1	1	14789	760	6.634
26	4	1	1	1	-1	-1	1	1	1	17454	245	5.501
20	5	1	1	1	1	-1	-1	1	1	15741	771	6.648
1	6	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	17190	251	5.525
17	7	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	16694	681	6.523
22	8	1	1	1	-1	1	-1	1	1	17871	751	6.621
27	9	1	1	-1	1	-1	1	1	1	16122	339	5.826
25	10	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	17217	141	4.946
3	11	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	15810	979	6.887
9	12	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	17480	460	6.131
30	13	1	1	1	-1	1	1	1	-1	18036	93	4.537
21	14	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	16800	483	6.180
16	15	1	1	1	1	1	1	-1	-1	15816	666	6.502
8	16	1	1	1	1	1	-1	-1	1	16499	630	6.445
5	17	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	16514	519	6.253
11	18	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	15940	535	6.282

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแทร็คเริ่มต้น (ต่อ)

Std Order	Run Order	Center Pt	Blocks	A	B	C	D	E	F	$\bar{y}$	s	ln s
7	19	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	15656	949	6.855
24	20	1	1	1	1	1	-1	1	-1	15638	310	5.736
32	21	1	1	1	1	1	1	1	1	15329	247	5.508
28	22	1	1	1	1	-1	1	1	-1	15691	173	5.155
6	23	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	17619	514	6.243
10	24	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	17011	580	6.363
2	25	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	17280	704	6.557
12	26	1	1	1	1	-1	1	-1	1	15863	266	5.583
19	27	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	15866	406	6.006
13	28	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	17085	706	6.559
18	29	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	16749	371	5.916
31	30	1	1	-1	1	1	1	1	-1	15265	538	6.287
4	31	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	15572	542	6.295
33	32	0	1	0	0	0	0	0	0	15217	389	5.964
29	33	1	1	-1	-1	1	1	1	1	17250	165	5.106

หมายเหตุ

$\bar{y}$ คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนอง แทร็คเริ่มต้นจากการทดลองในแต่ละทรีทเมนต์

s คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรตอบสนอง แทร็คเริ่มต้นในแต่ละทรีทเมนต์

ln s คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า แทร็คเริ่มต้นที่ผ่านการแปลง โดยสมการ $y^* = \ln s$

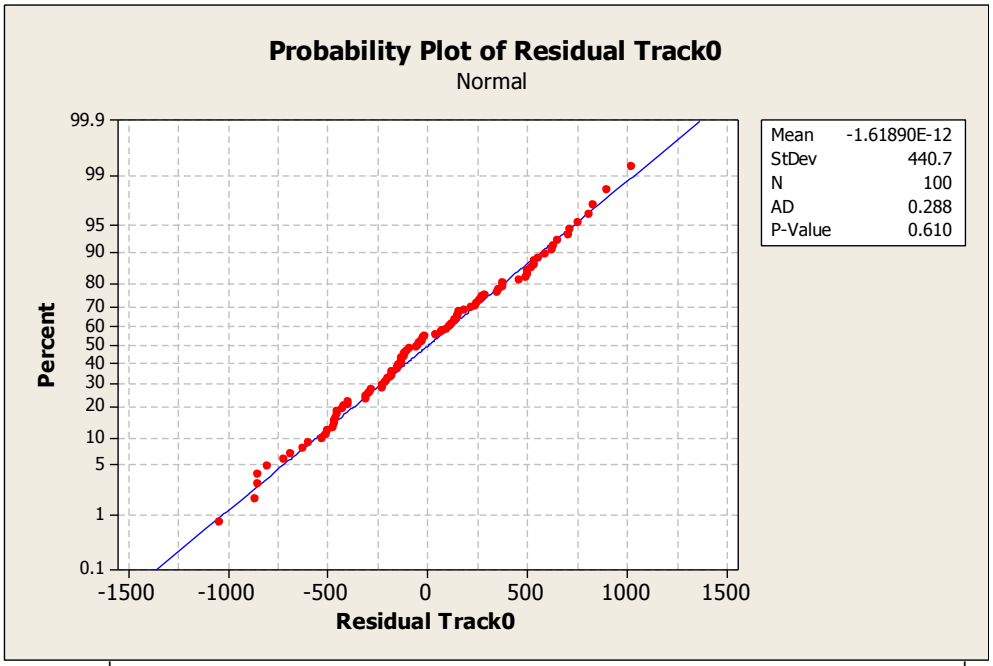
เมื่อเก็บข้อมูลตามสภาวะต่างๆ ที่ได้ทำการออกแบบการทดลองไว้แล้ว จึงมีการวิเคราะห์ผลโดยใช้หลักทางสถิติดังนี้

- **การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง** (Model Adequacy Checking)

ในการคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรตอบสนอง “ค่าแทร็คเริ่มต้น”โดยในเบื้องต้นก่อนที่นำข้อสรุปของการวิเคราะห์ความแปรปรวนไปใช้งาน จะต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) โดยพิจารณาจากส่วนตกค้างของข้อมูลว่าเป็นไปตามสมมติฐาน $\varepsilon_{ij} \sim NID\ (0,\sigma^2)$ดังต่อไปนี้

1. การทดสอบการแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของแทร็คเริ่มต้น (Normal Plot of Residuals)

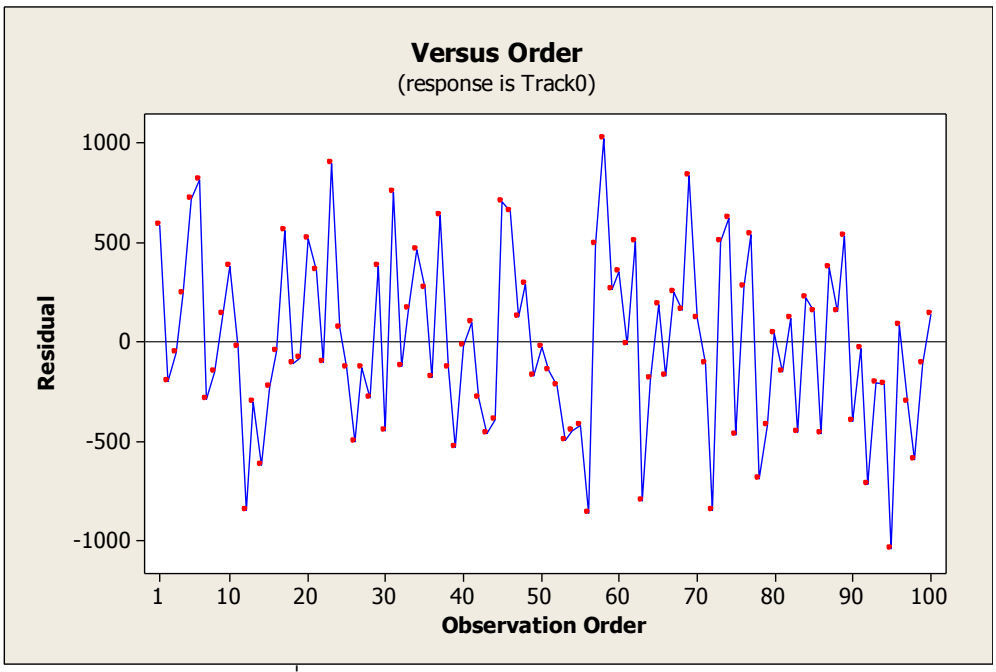
การวิเคราะห์การกระจายตัวของส่วนตกค้างของค่าแทร็คเริ่มต้นว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่นั้น สามารถทำได้โดยการนำส่วนตกค้างทั้งหมดมาพล็อต Normal Probability Plot ซึ่งเป็นการทดสอบที่สามารถทำได้ง่าย ถ้าข้อมูลส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ ก็จะทำให้การเรียงตัวของส่วนตกค้างกระจายตัวอยู่รอบๆ เส้นตรง และจากการทดสอบการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Normality Test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้วิธีการทางสถิติพบว่า ค่า P-Value จากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.610 ดังรูปที่ 4.8 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ยอมรับสมมติฐานหลักว่า ข้อมูลส่วนตกค้างของแทร็คเริ่มต้นมีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบสมมติฐานการแจกแจงแบบปกติของส่วนตกค้างแทร็คเริ่มต้น

2. การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระของส่วนตกค้างของแทร็คเริ่มต้น (Independence of Residual)

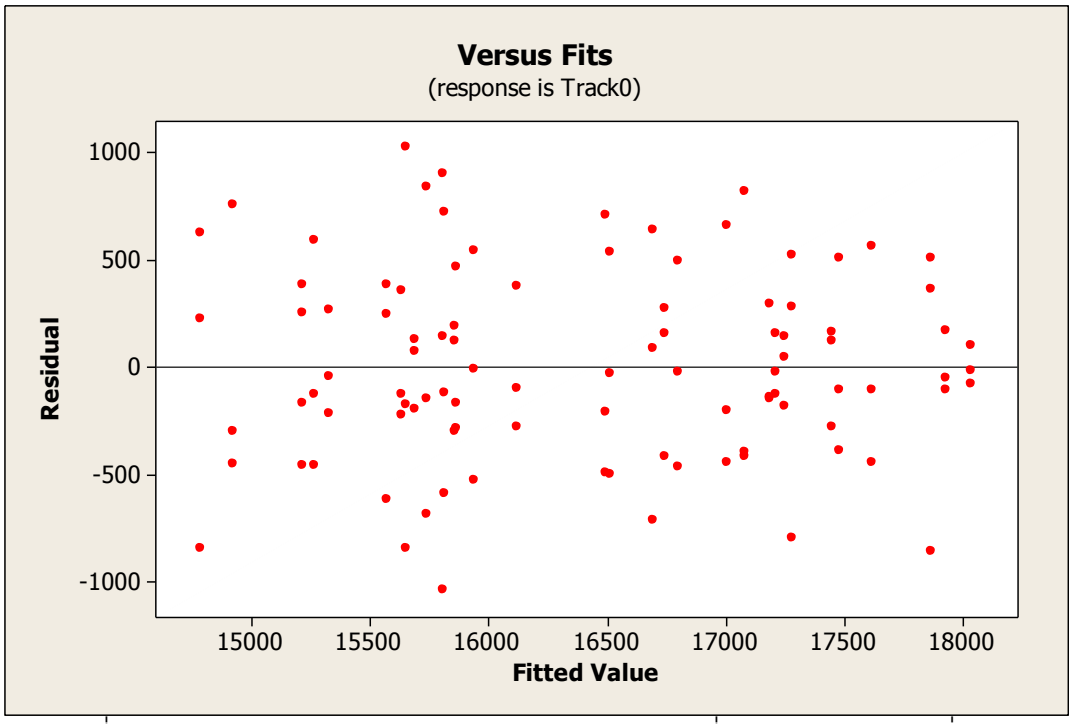
ในการตรวจสอบความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง ทำพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและเวลาในการเก็บข้อมูลโดยอาศัยวิธีการพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ของส่วนตกค้างตามลำดับเวลา พบว่าข้อมูลส่วนตกค้างของแทร็คเริ่มต้นมีการกระจายตัวอยู่ทั้งด้านบวกและด้านลบในรูปแบบที่เป็นอิสระต่อกัน ไม่มีรูปแบบที่แน่นอนดังรูปที่ 4.9 จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลส่วนตกค้างของแทร็คเริ่มต้นมีความเป็นอิสระ



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างของค่าแทร็คเริ่มต้นตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล

3. การทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนของแทร็คเริ่มต้น (Variance Stability)

การทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนสามารถทำได้โดยการพล็อตกราฟส่วนตกค้างของแทร็คเริ่มต้นกับค่าที่ถูกฟิต (Residual vs Fits) ดังรูปที่ 4.10 จะพบว่าการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างจะไม่มีรูปร่างที่แน่นอน หรือ เป็นรูปแบบของกรวยปากเปิด ซึ่งทำให้สามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลส่วนตกค้างของค่าแทร็คเริ่มต้น มีความแปรปรวนที่มีค่าคงที่



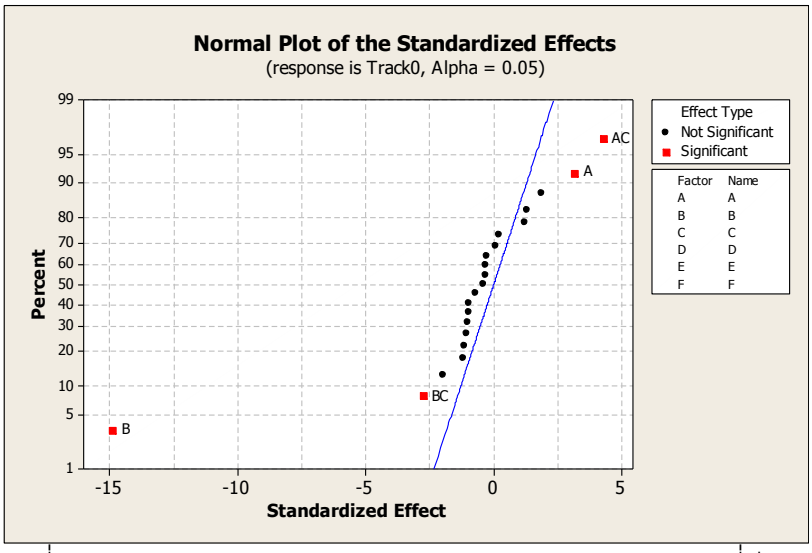
รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตของค่าแทร็คเริ่มต้น

ดังนั้นจากการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองตาม สมมติฐาน $\varepsilon_{ij} \sim NID\ (0,\sigma^2)$ สามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเหมาะสมและตรงตามสมมติฐานทั้ง 3 ข้อ คือ ส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติ ข้อมูลมีความเป็นอิสระซึ่งกันและกัน และ ความแปรปรวนของส่วนตกค้างมีค่าคงที่ ดังนั้นจึงสามารถใช้ข้อมูลเหล่านี้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนได้และมีความน่าเชื่อถือ

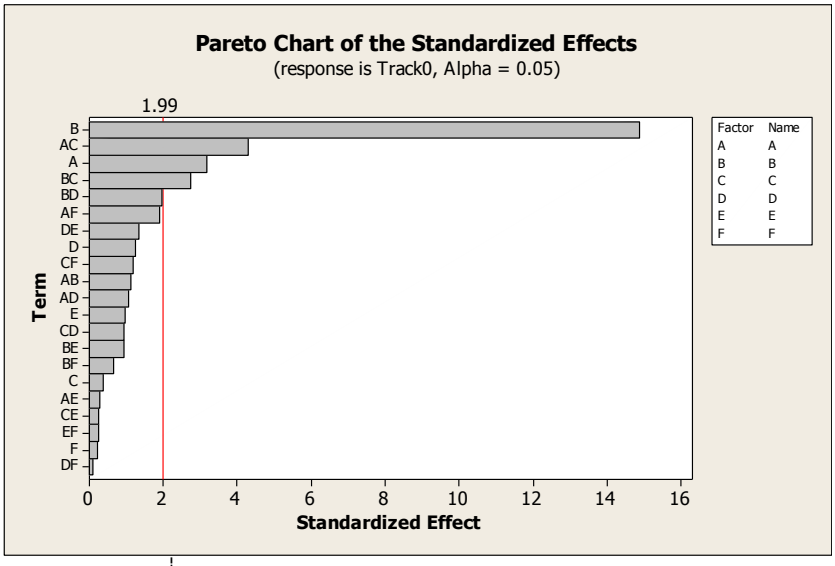
- **การวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนองแทร็คเริ่มต้น**

1. ข้อมูลค่าเฉลี่ยของค่าแทร็คเริ่มต้น (Mean of Track 0)

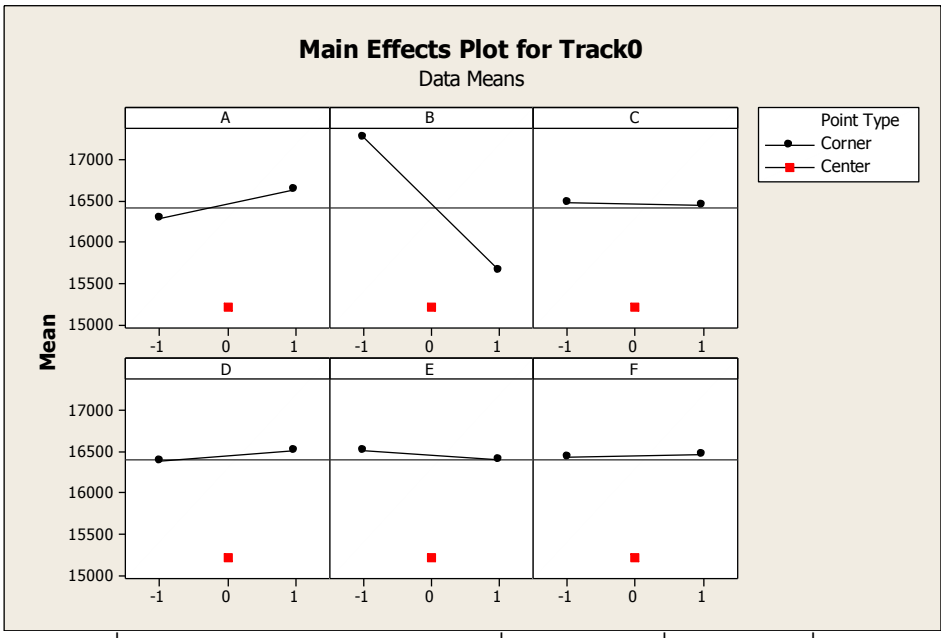
จากการเก็บผลการทดลองเพื่อทำการคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คเริ่มต้นเพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับเป้าหมายมากที่สุดโดยจะทำการวิเคราะห์โดยใช้กราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าประมาณของผล (Normal Plot of the Standardized Effect) ดังรูปที่ 4.11



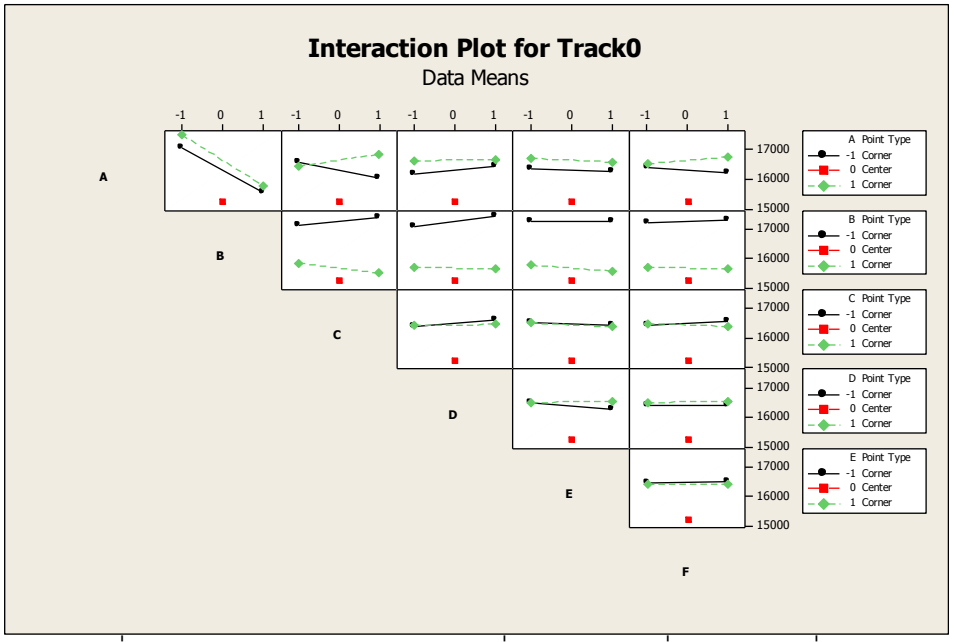
รูปที่ 4.11 กราฟ Normal Plot ผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คเริ่มต้น



รูปที่ 4.12 แผนภาพพาเรโตแสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คเริ่มต้น



รูปที่ 4.13 ปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.14 อันตรกิริยา (Interaction) ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญ

Factorial Fit: Track0 versus A, B, C, D, E, F

Estimated Effects and Coefficients for Track0 (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		16459	53.97	305.00	0.000
A	343	172	53.97	3.18	0.002
B	-1604	-802	53.97	-14.86	0.000
C	-41	-21	53.97	-0.38	0.704
D	133	66	53.97	1.23	0.223
E	-105	-52	53.97	-0.97	0.334
F	25	12	53.97	0.23	0.818
A*B	-121	-61	53.97	-1.12	0.265
A*C	463	232	53.97	4.29	0.000
A*D	-113	-56	53.97	-1.04	0.300
A*E	-31	-15	53.97	-0.28	0.778
A*F	204	102	53.97	1.89	0.062
B*C	-295	-147	53.97	-2.73	0.008
B*D	-210	-105	53.97	-1.95	0.055
B*E	-100	-50	53.97	-0.93	0.358
B*F	-71	-35	53.97	-0.66	0.513
C*D	-102	-51	53.97	-0.94	0.349
C*E	-28	-14	53.97	-0.26	0.795
C*F	-126	-63	53.97	-1.17	0.246
D*E	144	72	53.97	1.34	0.186
D*F	12	6	53.97	0.11	0.915
E*F	-26	-13	53.97	-0.24	0.807
Ct Pt		-1242	269.83	-4.60	0.000

S = 528.753 PRESS = 42231961
R-Sq = 79.35% R-Sq(pred) = 59.49% R-Sq(adj) = 73.45%

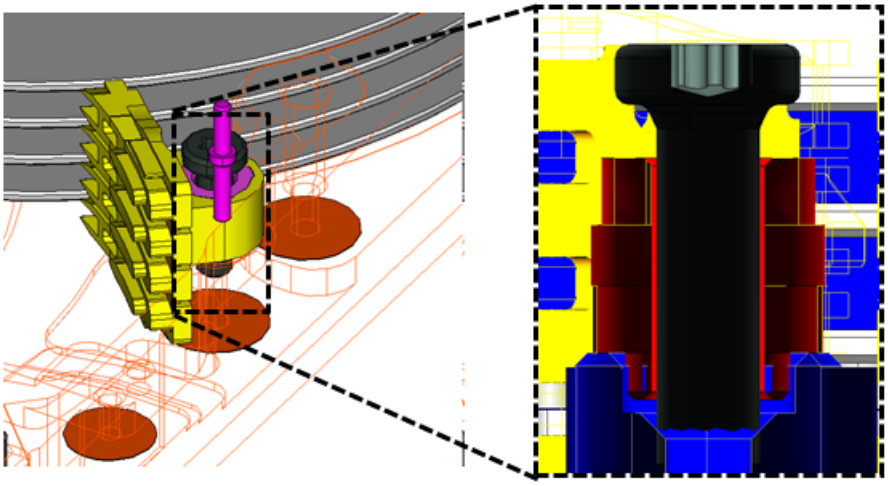
Analysis of Variance for Track0 (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	6	65292541	65292541	10882090	37.92	0.000
2-Way Interactions	15	11510225	11510225	767348	2.67	0.003
3-Way Interactions	10	2300651	2300651	230065	0.80	0.627
Curvature	1	5924738	5924738	5924738	20.65	0.000
Residual Error	67	19227018	19227018	286970		
Pure Error	67	19227018	19227018	286970		
Total	99	104255173				

รูปที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของค่าแทร็คเริ่มต้น

จากรูปที่ 4.11 และ 4.12 แสดงผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คเริ่มต้น ซึ่งพบว่าเป็นผลมาจากอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย AC และ BC ที่มีนัยสำคัญ สำหรับอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย A และปัจจัย C พบว่าเมื่อระดับปัจจัย A เป็นลบ การปรับระดับค่า C ให้มากขึ้นจะส่งผลทำให้ค่าแทร็คเริ่มต้นมีค่าลดลง แต่ในทางตรงกันข้าม เมื่อระดับปัจจัย A เป็นบวก การปรับระดับปัจจัย C ให้มากขึ้นจะทำให้ได้ค่าแทร็คเริ่มต้นมีค่าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ค่าแทร็คเริ่มต้นของการเขียนอ่านข้อมูลบนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจะขึ้นอยู่กับปัจจัย A จำนวนรอบของการหมุน Ramp screw ดังรูปที่ 4.16 และปัจจัย C แรงดันของกระบอกสูบ ซึ่งทำ

หน้าที่ในการขับเคลื่อนกลไกของการหมุน Ramp ไปยังตำแหน่งบนแผ่นจานบันทึกข้อมูล โดยส่งผ่านแรง F_3จากการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงให้เป็นการเคลื่อนที่ในแนวการหมุนดังรูปที่ 4.18 ซึ่งการกำหนดรอบของการหมุน Ramp screw ไว้ที่ระดับต่ำเพียง 0.25 รอบหรือ 90 องศา จะส่งผลต่อค่าแทร็คเริ่มต้นน้อยมากต่างกันเฉลี่ยเพียง 120 แทร็คแม้ว่าค่าระดับของแรงดันกระบอกสูบจะถูกปรับไว้ที่ระดับต่ำและสูงก็ตาม แต่เมื่อมีการปรับจำนวนรอบของการหมุน Ramp screw ไว้ที่ระดับสูงที่ 1.25 รอบหรือ 450 องศา ทำให้การวางตัวของระนาบ Ramp สามารถหมุนได้อย่างอิสระจึงส่งผลต่อค่าแทร็คเริ่มต้นอย่างชัดเจนโดยเมื่อใช้แรงดันกระบอกสูบที่ระดับต่ำ 2 lbs ตัว Ramp จะเคลื่อนที่ไปบนแผ่นจานบันทึกข้อมูลอย่างช้าๆ ทำให้ได้ค่าแทร็คเริ่มต้นที่มีค่าน้อยเฉลี่ย 16,035 แทร็คแต่ถ้าใช้แรงดันของกระบอกสูบที่ระดับสูงที่ 8lbs จะทำให้ Ramp ถูกกดด้วยแรงที่มากจนเกินไป จนค่าแทร็คเริ่มต้นของการเขียนอ่านข้อมูลมีค่าสูงเฉลี่ยถึง 16,842 แทร็ค ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า อันตรกิริยาระหว่างปัจจัย A และ ปัจจัย C ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญ

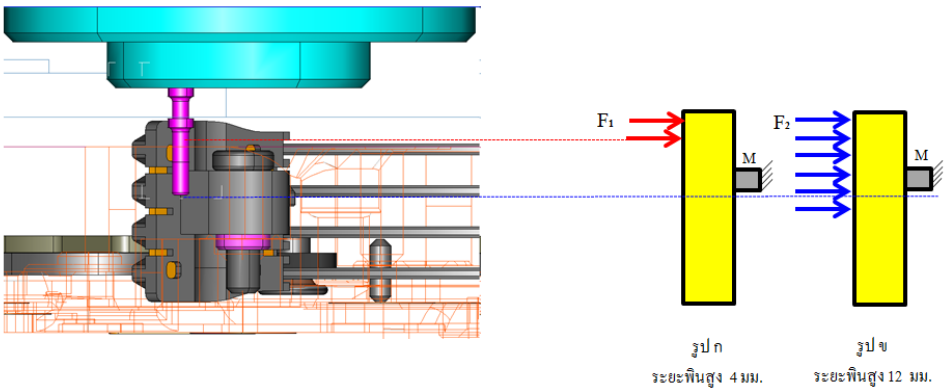


รูปที่ 4.16 ผลของปัจจัย A จำนวนรอบของการคลาย Ramp Screw ต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คเริ่มต้น

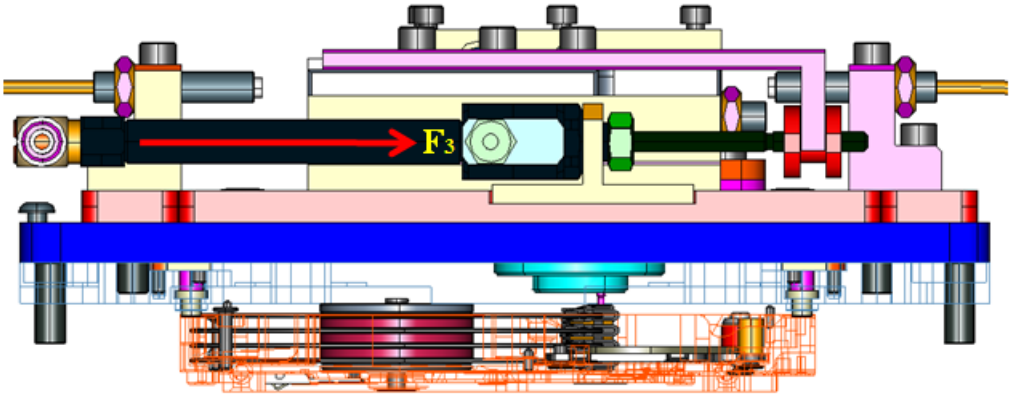
นอกจากนี้ผลของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย B และปัจจัย C ก็ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คเริ่มต้นเช่นกัน โดยปัจจัย B คือ ระยะความสูงของ Rotate Pin ซึ่งทำหน้าที่ในการหมุนตัว Ramp ให้เคลื่อนที่ไปยังบริเวณแผ่นจานบันทึกข้อมูล และปัจจัย C คือ แรงดันของกระบอกสูบในการดัน Ramp โดยผลของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย A และปัจจัย C จะส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คเริ่มต้น เมื่อระดับปัจจัย B เป็นลบ การปรับระดับค่า C ให้มากขึ้นจะส่งผลทำให้ค่าแทร็คเริ่มต้นมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ในทางตรงกันข้าม เมื่อระดับปัจจัย B เป็นบวก การปรับระดับปัจจัย C ให้มากขึ้นจะทำให้ได้ค่าแทร็คเริ่มต้นที่น้อยลง ซึ่งทางทีมงานวิศวกรได้อธิบายว่า การปรับ

ตำแหน่งของ Rotate Pin ทำให้เกิดการเอียงของ Ramp ลักษณะโค้งงอเข้าหาแผ่นจานบันทึกข้อมูลส่งผลให้พื้นที่ที่จะกำหนดตำแหน่งแทร็คเริ่มต้นมีค่ามากขึ้นโดยสามารถอธิบายลักษณะสาเหตุการเกิดได้ด้วยหลักการของโมเมนต์ ถ้ากำหนดความสูงของพินไว้เพียง 4 มม. ทำให้เกิดแรง F_1 เคลื่อนที่ดัน Ramp แต่เนื่องจากมีระยะห่างระหว่างแรงกด F_1และจุดหมุน M จนเกิดแรงคู่ควบกดบริเวณ Ramp ส่วนบน ทำให้เกิดการบิดตัวของ Ramp เอียงเข้าหาแผ่นจานบันทึกแม่เหล็กดังรูปที่ 4.17ก. ดังนั้นเมื่อใช้แรงดันของกระบอกสูบที่ระดับต่ำ จะทำให้ได้ค่าแทร็คเริ่มต้นเฉลี่ย 17,135 แทร็ค แต่ถ้าใช้แรงดันกระบอกสูบที่ระดับสูง Ramp จะถูกกดอย่างแรงทำให้ได้ค่าแทร็คเริ่มต้นที่มีค่าสูงเฉลี่ย 17,388 แทร็ค ในทางตรงข้ามถ้ามีการปรับตำแหน่งของ Rotate pin ให้ต่ำลงมาเกินกว่าจุดหมุน M ดังรูปที่ 4.17ข เมื่อเกิดแรงดัน F_2เพื่อผลักให้ Ramp เคลื่อนที่เข้าหาแผ่นจานบันทึกข้อมูล แต่เนื่องจากแรงนี้วิ่งผ่านจุดหมุน M จึงไม่เกิดผลของแรงคู่ควบ ตำแหน่งของ Ramp จึงไม่เกิดการโค้งงอเข้าหาแผ่นจานบันทึกข้อมูล ค่าเฉลี่ยของแทร็คเริ่มต้นจึงมีค่าต่ำกว่าและขึ้นอยู่กับปัจจัย C หรือแรงดันกระบอกสูบ โดยการใช้ค่าแรงดันที่ระดับ 2lbs จะทำให้แทร็คเริ่มต้นมีค่าเฉลี่ย 15,826 แทร็ค และการปรับค่าแรงดันกระบอกสูบที่ระดับ 8lbs จะทำให้แทร็คเริ่มต้นมีค่าเฉลี่ย 15,490แทร็ค ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า อันตรกิริยาระหว่างปัจจัย B และ ปัจจัย C ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้เมื่อมีการทดลองโดยการเพิ่มจุดศูนย์กลางของแต่ละระดับปัจจัยเข้าไปเพื่อพิจารณาถึงลักษณะของพื้นผิวโค้ง (Curvature) ที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนองแทร็คเริ่มต้นภายใต้ขอบเขตที่กำลังศึกษา จากผลการทดลองพบว่า ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ลักษณะของผิวโค้งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับบริเวณพื้นระนาบโดยมีค่า P-Value <0.0005 และค่าแทร็คเริ่มต้นที่จุดศูนย์กลางของแต่ละระดับปัจจัยมีค่าเฉลี่ยน้อยอยู่แล้ว แต่อาจจะไม่ใช่จุดที่เหมาะสมที่สุด (Optimum) ของการทดลองนี้ ดังนั้นจึงต้องมีการทดลองเพิ่มเติมเพื่อทำการหาค่าของแต่ละระดับปัจจัยที่ทำให้ได้ค่าแทร็คเริ่มต้นที่ต่ำที่สุด



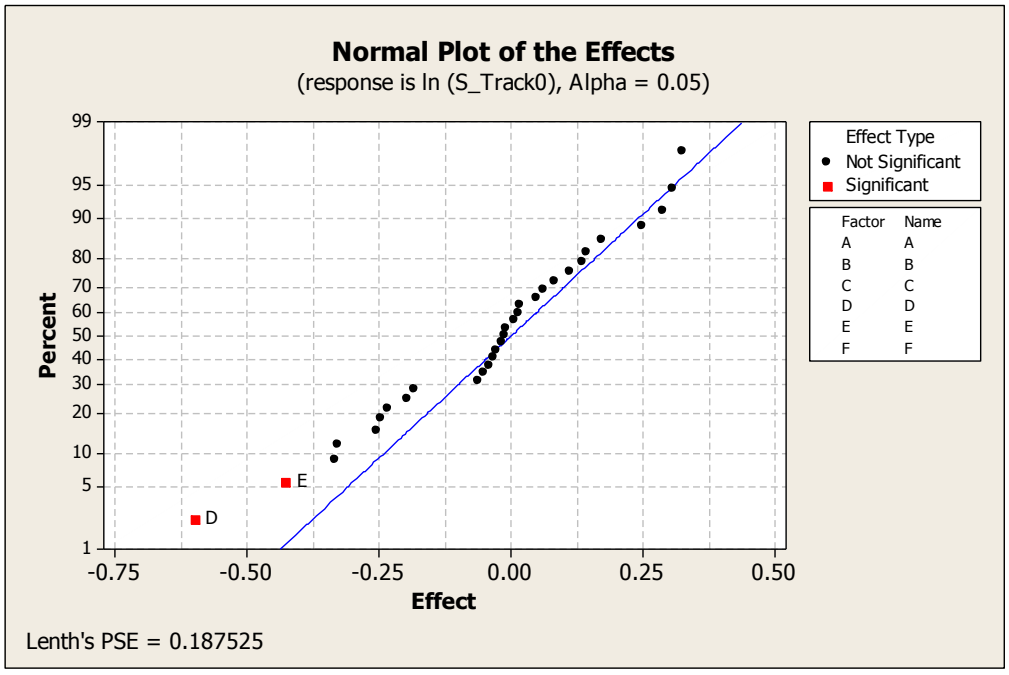
รูปที่ 4.17 ผลของปัจจัย B ระยะความสูงของ rotate pin ต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คเริ่มต้น



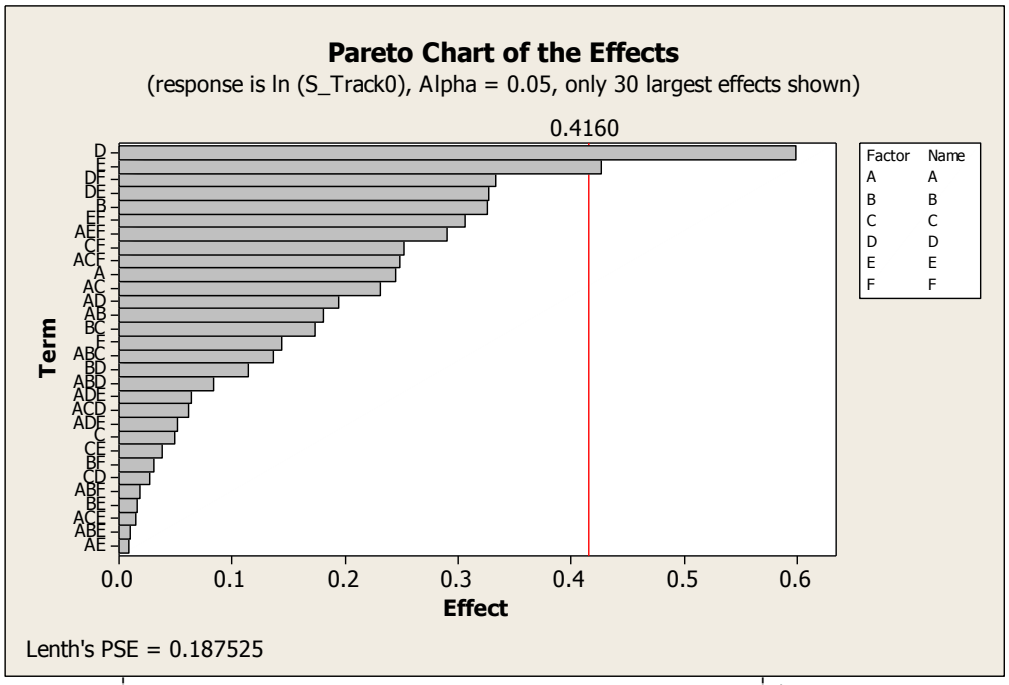
รูปที่ 4.18 ผลของปัจจัย C แรงดันของกระบอกสูบต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คเริ่มต้น

2. ข้อมูลส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าแทร็คเริ่มต้น (Sigma of Track 0)

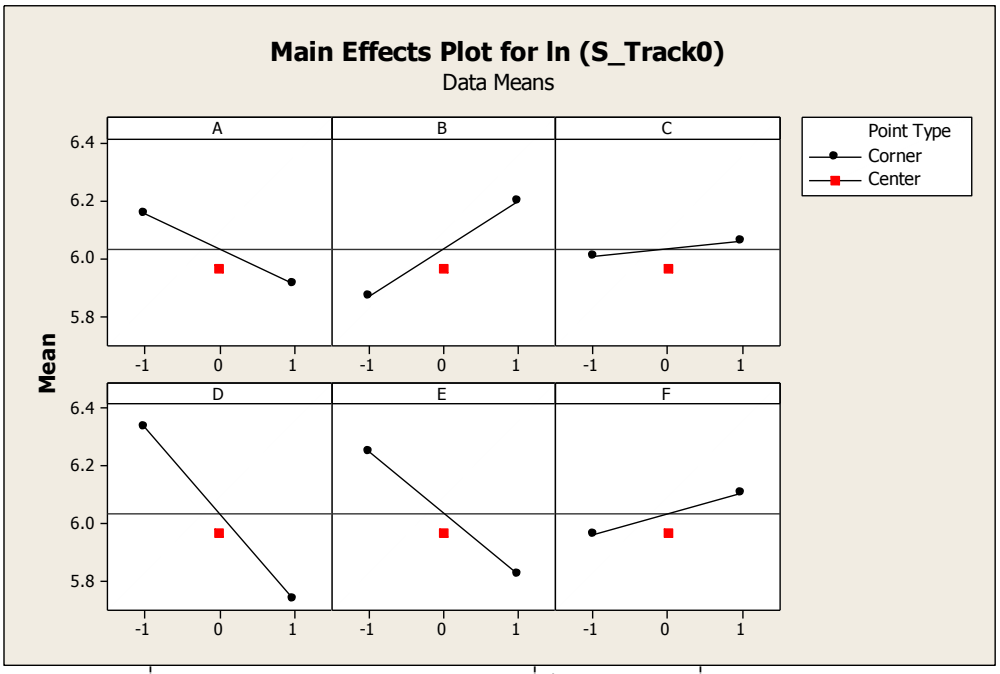
สำหรับการทดลองในแต่ละทรีทเมนต์ จะมีการทำซ้ำ 3 ตัวอย่างการทดลองซึ่งจะทำให้สามารถนำค่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมาวิเคราะห์ถึงปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญได้ แต่เนื่องจากคุณสมบัติด้านความมีเสถียรภาพของส่วนตกค้างจึงต้องมีการแปลงค่าตัวแปรตอบสนองในรูปของลอการิทึมก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ Minitab ซึ่งแสดงผลในรูปของกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าประมาณของผล (Normal Plot of the Standardized Effect) ดังรูปที่ 4.19



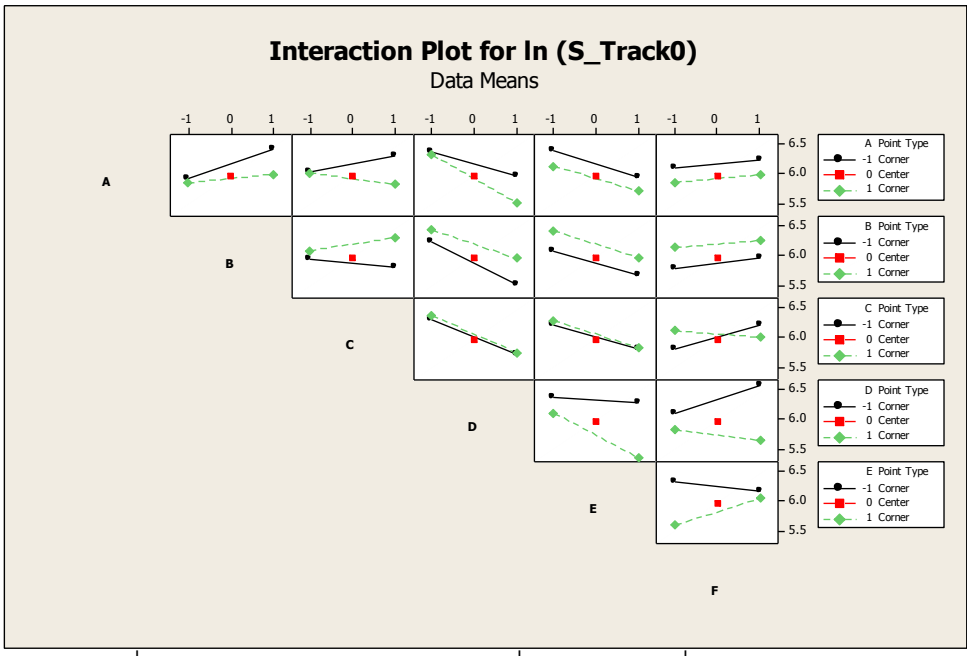
รูปที่ 4.19 กราฟ Normal Plot ผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแทร็คเริ่มต้น



รูปที่ 4.20 แผนภาพพาเรโตแสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแทร็คเริ่มต้น



รูปที่ 4.21 ปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีผลต่อส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของแทร็คเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.22 อันตรกิริยา (Interaction) ที่มีผลต่อส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของแทร็คเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญ

Factorial Fit: ln (S_Track0) versus A, B, C, D, E, F

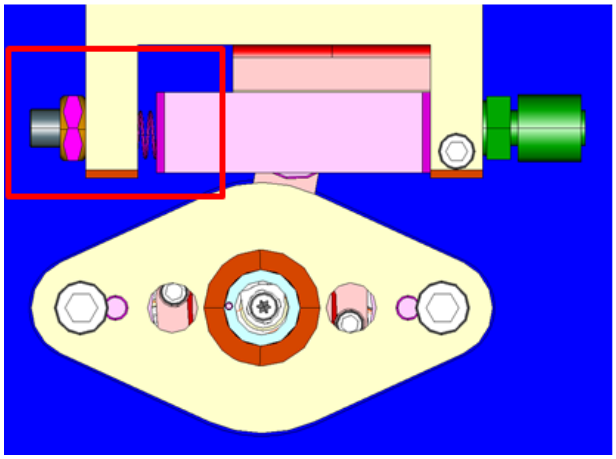
Estimated Effects and Coefficients for ln (S_Track0) (coded units)

Term	Effect	Coef	Sum of Square	Percent Contribution
Constant		6.0337		
A	-0.2441	-0.1221	0.47676	4.0952
B	0.3253	0.1626	0.84643	7.2706
C	0.0494	0.0247	0.01949	0.1674
D	-0.5980	-0.2990	2.86077	24.5732
E	-0.4259	-0.2129	1.45106	12.4642
F	0.1440	0.0720	0.16578	1.4240
A*B	-0.1803	-0.0902	0.26015	2.2346
A*C	-0.2306	-0.1153	0.42544	3.6544
A*D	-0.1939	-0.0969	0.30063	2.5823
A*E	0.0083	0.0041	0.00054	0.0046
A*F	-0.0073	-0.0036	0.00043	0.0037
B*C	0.1727	0.0863	0.23849	2.0486
B*D	0.1141	0.0571	0.10418	0.8949
B*E	-0.0163	-0.0082	0.00213	0.0183
B*F	-0.0309	-0.0154	0.00762	0.0655
C*D	-0.0268	-0.0134	0.00576	0.0495
C*E	-0.0385	-0.0192	0.01184	0.1017
C*F	-0.2520	-0.1260	0.50804	4.3639
D*E	-0.3266	-0.1633	0.85342	7.3306
D*F	-0.3325	-0.1663	0.88445	7.5972
E*F	0.3065	0.1532	0.75140	6.4543
A*B*C	0.1359	0.0680	0.14779	1.2695
A*B*D	0.0838	0.0419	0.05619	0.4827
A*B*E	-0.0103	-0.0052	0.00085	0.0073
A*B*F	0.0185	0.0093	0.00274	0.0235
A*C*D	-0.0617	-0.0309	0.03049	0.2619
A*C*E	0.0151	0.0075	0.00182	0.0156
A*C*F	0.2487	0.1244	0.49494	4.2514
A*D*E	0.0635	0.0318	0.03228	0.2773
A*D*F	-0.0513	-0.0257	0.02106	0.1809
A*E*F	0.2903	0.1452	0.67421	5.7913
Ct Pt		-0.0694	0.00466	0.0400
Total			11.64184	100.0000

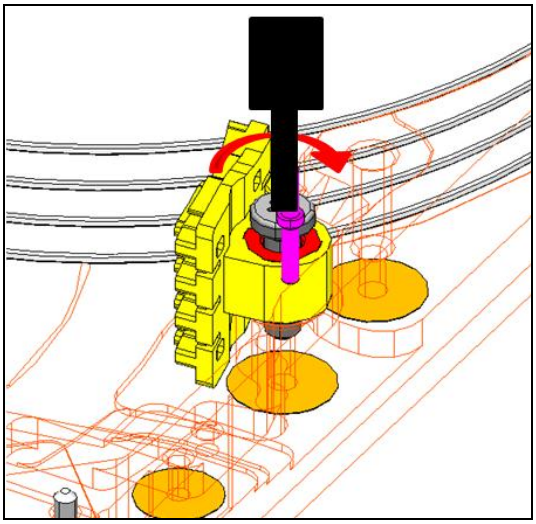
รูปที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อ
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแทร็คเริ่มต้น

การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อพิจารณาคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแทร็คเริ่มต้น ซึ่งพบว่าเมื่อใช้โปรแกรมทางสถิติวิเคราะห์ ไม่สามารถทำการประมาณค่าความผิดพลาดได้ (Degrees of freedom of error = 0) ทำให้ไม่สามารถคำนวณหาค่า P-Value ได้ อันเนื่องมาจากผลของการออกแบบการทดลองที่มีผลของการกระจายตัวและไม่มีการทดลองซ้ำ (Location and Dispersion Effects in an Un-replicated Factorial) ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลการทดลองจึงต้องพิจารณาผลของปัจจัย (Effects) จากกราฟ Normal Plotof Effects หรือ Pareto Chart of Effects ดังรูปที่ 4.19 และ 4.20 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อ

ตัวแปรตอบสนอง ln (s) ของแทร็คเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญ คือ ปัจจัยหลัก D ระยะหดตัวของสปริงและ ปัจจัยหลัก E ค่าทอร์กของ Ramp Screw โดยปัจจัยหลัก D ให้ค่าผลรวมกำลังสองสูงถึง 2.86 อันเนื่องมาจากสปริงจะทำหน้าที่รองรับแรงกดจากกระบอกสูบ ที่ทำหน้าที่ดัน Ramp ดังนั้นการปรับตำแหน่งของสปริงไว้ที่ระดับต่ำ ก็จะทำให้เกิดความผันแปรของตำแหน่ง Ramp ทำให้ค่าแทร็คเริ่มต้นมีค่าไม่แน่นอน แต่ถ้าปรับค่าระยะสปริงไว้ที่ระดับสูง เปรียบเสมือนว่ามีแรงกระทำต่อ Ramp อย่างมาก แม้ว่าแรงที่ดันจะมากเกินไป แต่ก็จะถูกดูดซับไว้ในตัวสปริงเอง จึงทำให้ความผันแปรของตำแหน่ง Ramp และค่าแทร็คเริ่มต้นมีค่าน้อยกว่า



รูปที่ 4.24 ผลของปัจจัยหลัก D ระยะหดตัวของสปริงที่มีผลต่อค่า ln s ของค่าแทร็คเริ่มต้น



รูปที่ 4.25 ผลของปัจจัยหลัก E ค่า Torque ของ Ramp Screw
ที่มีผลต่อค่า ln s ของแทร็คเริ่มต้น

ส่วนผลของปัจจัยหลัก E ค่าทอร์กของสกรูให้ค่าผลรวมกำลังสองเท่ากับ 1.45 โดยหลังจากที่ Pin ดัน Ramp เข้าไปในบริเวณแผ่นจานบันทึกแม่เหล็กเรียบร้อยแล้วจะใช้มอเตอร์ในการไขสกรูเพื่อให้ยึดติดแน่นกับสปินเดิลมอเตอร์ ดังรูปที่ 4.25 ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า การปรับค่าทอร์กของสกรูไว้ที่ค่าสูง 1.6 in-lbs จะทำให้ค่า ln s มีค่าต่ำเพียง 5.821 หรือคิดเป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 337แทร็ค แต่ในทางตรงข้ามเมื่อปรับค่าทอร์กไว้ที่ระดับต่ำที่ 1.0 in-lb พบว่าทำให้ค่า ln s สูงถึง 6.247 หรือเท่ากับ 516 แทร็ค โดยสามารถอธิบายได้ว่า การไขค่าทอร์กด้วยค่าต่ำจะทำให้ตัว Ramp ไม่สามารถยึดติดกับสปินเดิลได้ดี จึงเกิดความผันแปรของตำแหน่งแทร็คเริ่มต้นได้มาก ดังนั้นจากข้อมูลข้างต้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยหลัก D และ E ส่งผลกระทบต่อความผันแปรภายในกลุ่มข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญ และการปรับค่าของปัจจัยนำเข้าทั้งสองนี้ไปที่ระดับสูงจะทำให้ค่าความผันแปรของกระบวนการมีค่าน้อย ซึ่งในขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการจะมีการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองต่อไป

ในส่วนของการทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง เพื่อทำการทดสอบว่าแบบจำลองมีลักษณะของส่วนโค้งเกิดขึ้นหรือไม่ โดยพบว่าค่าผลรวมกำลังสองของการทดสอบส่วนโค้ง (Curvature) มีค่าเพียง 0.0047 ซึ่งมีค่าน้อยมากหรืออาจกล่าวได้ว่า ไม่มีผลของส่วนโค้งเกิดขึ้นกับแบบจำลองของผลตอบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าแทร็คเริ่มต้น

4.3.6 สรุปผลระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

การทดลองนี้มีปัจจัยนำเข้า 6 ตัวแปรเพื่อนำมาคัดเลือกหาปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าแทร็คเริ่มต้น ผลจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คเริ่มต้นที่ระดับนัยสำคัญ คือ อัตรกิริยาระหว่างจำนวนรอบของการหมุน Ramp Screw และแรงดันของกระบอกสูบ (AC) , อันตรกิริยาระหว่างระยะความสูงของ rotate pin และ แรงดันกระบอกสูบ (BC) เมื่อพิจารณาการทดสอบลักษณะผิวโค้งของผลตอบพบว่า มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.0005 หรือ สามารถสรุปได้ว่า ผลตอบของค่าเฉลี่ยของแทร็คเริ่มต้นมีลักษณะความเป็นผิวโค้ง (Curvature) ดังนั้นจึงต้องมีการนำปัจจัย A จำนวนรอบของการหมุน Ramp Screw ปัจจัย B ระยะความสูงของ Rotate Pin และปัจจัย C คือ แรงดันของกระบอกสูบ มาทำการทดลองโดยวิธีการหาพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) เพื่อทำการหาค่าที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าแทร็คเริ่มต้นที่มีค่าน้อยที่สุด

ส่วนตัวแปรตอบสนองที่เป็นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะถูกนำไปวิเคราะห์ในรูปของ ln s อันเนื่องมาจากผลของคุณสมบัติด้านความผันแปรของส่วนตกค้างที่ต้องมีค่าคงที่ (Stability) ซึ่ง

ผลจากการวิเคราะห์พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าแทร็คเริ่มต้นคือ ปัจจัย D ระยะการหดตัวของสปริง ซึ่งทำหน้าที่ในการดูดซับแรงกดของกระบอกสูบ และ ปัจจัย E ค่า Torque ของ Ramp Screw แต่ไม่มีผลของลักษณะของผิวโค้ง ดังนั้นทางทีมงานได้พิจารณาแล้วเห็นว่า ทั้งสองปัจจัยนี้ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความผันแปรของแทร็คเริ่มต้น ดังนั้นจึงควรที่จะทำการปรับปรุงความผันแปรที่เกิดก่อนที่จะทำการทดลองเพื่อปรับปรุงค่าเฉลี่ยของแทร็คเริ่มต้น และเมื่อพิจารณาจากการทดลองข้างต้นพบว่า ความผันแปรของแทร็คเริ่มต้นจะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อปรับปัจจัย D และ E อยู่ที่ระดับสูง ดังนั้นจะทำการควบคุมค่าทั้งสองปัจจัยนี้เพื่อไม่ให้ส่งผลต่อการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของค่าเฉลี่ยของแทร็คเริ่มต้น

4.4 การดำเนินการวิจัยในระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

สำรับการคัดกรองปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คเริ่มต้น พบว่า ปัจจัย A จำนวนรอบของการหมุน Ramp Screw ปัจจัย B ระยะความสูงของ Rotate Pin และปัจจัย C คือ แรงดันของกระบอกสูง ถูกคัดเลือกนำมาออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีการหาพื้นผิวตอบสนอง เนื่องจากมีอิทธิพลของผิวโค้งเกิดขึ้นกับแบบจำลอง ส่วนปัจจัย D ระยะการหดตัวของสปริงและ ปัจจัย E ค่า Torque ของ Ramp Screw ซึ่งจากการคัดกรองพบว่ามีผลต่อค่าความผันแปรของค่าแทร็คเริ่มต้น แต่ไม่มีผลของลักษณะของผิวโค้งเกิดขึ้นในดังนั้นจึงทำการควบคุมทั้งสองปัจจัยนี้ไว้ที่ระดับสูงเนื่องจากทำให้เกิดความผันแปรน้อยที่สุด นอกจากนี้ปัจจัย F ระยะ Stopper ของกระบอกสูบซึ่งไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังนั้นจึงทำการควบคุมปัจจัยนี้ไว้ที่ระดับต่ำที่ระยะ 3 มิลลิเมตร ส่วนการปรับปรุงหาค่าการปรับระดับที่เหมาะสมมีการออกแบบการทดลองดังนี้

4.4.1 รูปแบบการทดลองสำหรับการหาพื้นผิวตอบสนอง

จากการทดลองเชิงแฟคทอรอเรียลแบบเพิ่มจุดศูนย์กลางทำให้ทราบถึงอิทธิพลของความเป็นผิวโค้งของผลตอบสนองดังนั้นจึงต้องอาศัยวิธีการทดลองเพื่อหาพื้นผิวตอบสนอง เพื่อให้สามารถหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของแทร็คเริ่มต้นมีค่าน้อยที่สุด โดยวิธีที่นิยมสำหรับการหาพื้นผิวตอบสนอง คือ การออกแบบการทดลองแบบมีส่วนประสมกลาง (Central Composite Design : CCD), วิธีการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box – Behnken Design) และการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3 ระดับปัจจัย (Three Level Factorial Design) ซึ่งทางทีมงานได้ทำการเปรียบเทียบการออกแบบการทดลองต่างๆ ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 การเปรียบเทียบแบบการทดลองสำหรับการหาพื้นผิวตอบสนองของแทร็คเริ่มต้น

รูปแบบการทดลอง	การออกแบบการทดลองแบบบอกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design)	การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design)	การออกแบบการทดลองแบบ 3 ระดับปัจจัย (3 Level Factorial Design)
ชนิดของข้อมูล	Quantity or Qualitative	Quantity	Quantity or Qualitative
จำนวนการทดลอง	15 การทดลอง	20 การทดลอง	27 การทดลอง
ลักษณะของแบบจำลอง	เป็นการออกแบบการทดลองแบบบล็อกไม่สมบูรณ์ ที่จุดบนแกนอยู่ในระนาบเดียวกับจุดที่เป็นแฟคทอเรียล และมีการทำซ้ำที่จุดศูนย์กลาง โดยแต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ คือ -1, 0 , 1	เป็นการออกแบบการทดลองที่ทุกระดับของแต่ละปัจจัย โดยแต่ละจุดห่างจากจุดศูนย์กลางเท่ากันและมีการทำซ้ำที่จุดศูนย์กลาง โดยแต่ละปัจจัยมี 5 ระดับ ดังนี้ $-\alpha$,-1 ,0 , 1 , α	เป็นการออกแบบการทดลองแบบสุ่มในบล็อคสมบูรณ์ (RBD) ซึ่งรูปแบบเชิงเส้นตรงจะสัมพันธ์กับผลลัพธ์ที่ตัวแปรทุกระดับ นอกจากนี้ยังสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์และการออกแบบตัวแปรในรูปแบบสมการกำลังสอง (Quadratic) และแต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ คือ –1, 0 , 1
ลักษณะของระดับปัจจัย	ค่าของระดับของปัจจัยที่นำมาทำการทดลองจะสร้างขึ้นจากขีดจำกัดบนและขีดจำกัดล่างของตัวแปรแต่ละตัวเป็นตัวกำหนด	ค่าของระดับของปัจจัยที่นำมาใช้ปกติจะไม่ใช่ขีดจำกัดบนและขีดจำกัดล่างของตัวแปรแต่ละตัว เมื่อมี Axial Points เพราะปกติ Axial Points จะอยู่นอก Cube ของการออกแบบ (ยกเว้นกำหนดค่า α มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1) ซึ่งถ้าไม่ระมัดระวังแล้วอาจจะทำให้ไม่สามารถทำการทดลองได้เพราะว่าอยู่นอกเหนือจากจุดที่ใช้ทดลอง	ค่าของระดับของปัจจัยที่นำมาทำการทดลองจะสร้างขึ้นจากขีดจำกัดบนและขีดจำกัดล่างของตัวแปรแต่ละตัวเป็นตัวกำหนด

หลังจากทุกคนในทีมช่วยกันวิเคราะห์ถึงรูปแบบการทดลองเพื่อนำหาพื้นผิวตอบสนอง พบว่าทุกรูปแบบการทดลองสามารถอธิบายถึง ความสัมพันธ์ของอิทธิพลหลัก อิทธิพลร่วม และความสัมพันธ์ของเทอมกำลังสองได้ นอกจากนี้การทดลองแบบ CCD สามารถนำการทดลอง 2^k ที่มีจุดศูนย์กลางจากการทดลองในขณะคัดกรองปัจจัยในบทก่อนหน้านี้ มาปรับปรุงโดยการเพิ่มการทดลองจากบริเวณที่เป็น Face Centered แต่กลับพบว่าที่จุดดังกล่าวอยู่นอกขอบเขตของการปรับค่า และไม่สามารถปรับค่าที่ระดับนั้นได้ จึงไม่สามารถเลือกวิธีการทดลองแบบ CCD ได้ จากนั้นจึงได้เปรียบเทียบระหว่างการออกแบบการทดลองแบบบอกซ์-เบห์นเคนและการทดลองแบบ 3 ระดับปัจจัย พบว่าทีมงานเลือกที่จะใช้การออกแบบการทดลองแบบบอกซ์-เบห์นเคนเนื่องจากเป็นวิธีการที่ให้ผลอย่างมีประสิทธิภาพและมีจำนวนการทดลองที่น้อยกว่า ทำให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการทำการทดลองด้วย ซึ่งในการทดลองนี้ประกอบไปด้วย 3 ปัจจัยและแต่ละปัจจัยจะประกอบด้วย 3 ระดับปัจจัยดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 การกำหนดสัญลักษณ์และระดับของปัจจัยสำหรับการทดลองแบบบอกซ์ -เบห์นเคน

ลำดับที่	ปัจจัยนำเข้า (KPIV)	สัญลักษณ์	ประเภทของข้อมูล	ระดับของปัจจัย			
				ต่ำ	กลาง	สูง	หน่วย
1	จำนวนรอบของการหมุน Ramp screw	A	Variable data	0.25	0.75	1.25	turn
2	ระยะความสูงของ rotate pin	B	Variable data	4	8	12	mm.
3	แรงดันของกระบอกสูบ	C	Variable data	2	5	8	lbs

หลังจากทำการออกแบบการทดลองแล้วจึงเริ่มดำเนินการทดลองตามแผนการทดลองแบบบอกซ์-เบห์นเคนซึ่งจะมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 15 การทดลอง และมีลำดับการทดลองเป็นการสุ่มอย่างสมบูรณ์ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองหาค่าผลตอบของแทร็คเริ่มต้นโดยใช้แผนการทดลองแบบบอกซ์-เบห์นเคน

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	C	Track0
1	1	2	1	-1	-1	0	14970
7	2	2	1	-1	0	1	15108
11	3	2	1	0	-1	1	15377
4	4	2	1	1	1	0	15468
5	5	2	1	-1	0	-1	15885
13	6	0	1	0	0	0	14817
12	7	2	1	0	1	1	15405
14	8	0	1	0	0	0	14886
2	9	2	1	1	-1	0	15035
3	10	2	1	-1	1	0	15224
9	11	2	1	0	-1	-1	15624
10	12	2	1	0	1	-1	15848
15	13	0	1	0	0	0	14742
6	14	2	1	1	0	-1	15220
8	15	2	1	1	0	1	15745

4.4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองสำหรับการหาพื้นผิวตอบสนอง

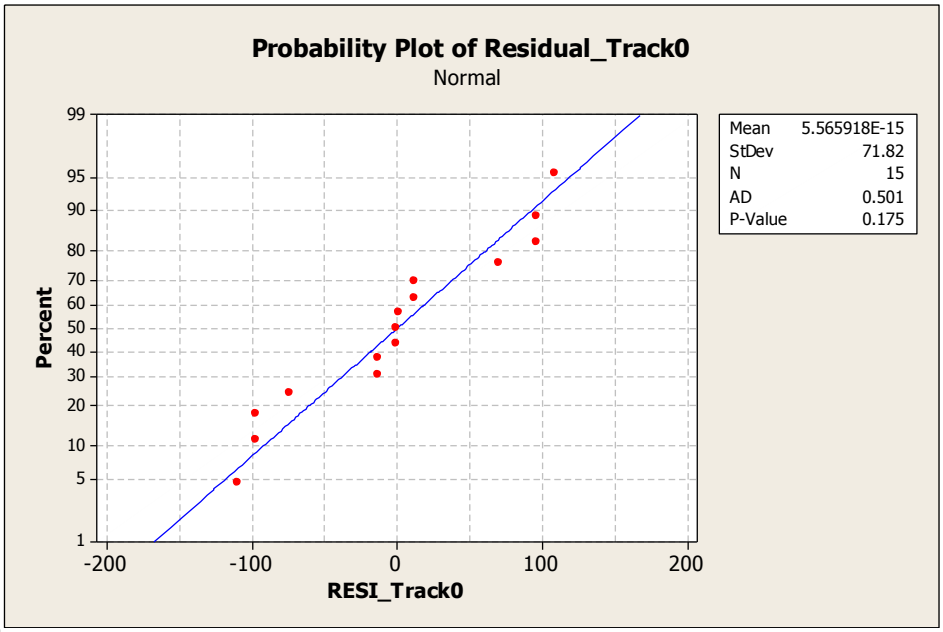
หลังจากทำการทดลองตามแผนที่ได้ออกแบบไว้แล้ว จึงนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

- **การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง** (Model Adequacy Checking)

ในเบื้องต้นก่อนที่นำข้อสรุปของการวิเคราะห์ความแปรปรวนไปใช้งาน จะต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) โดยพิจารณาจากส่วนตกค้างของข้อมูลว่าเป็นไปตามสมมติฐาน $\varepsilon_{ij} \sim NID\ (0,\sigma^2)$ ดังต่อไปนี้

1. การทดสอบการแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของผลตอบ (Normal Plot of Residuals)

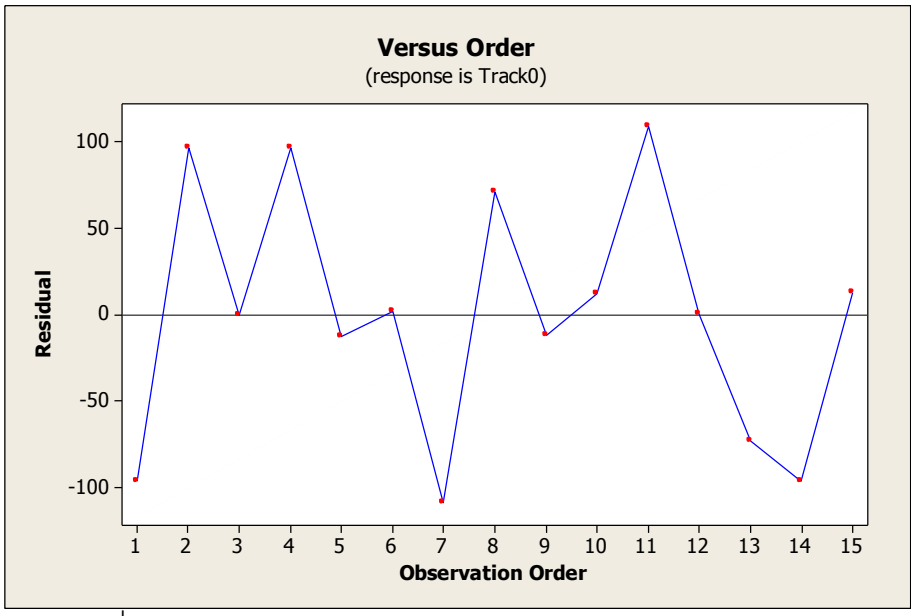
การวิเคราะห์การกระจายตัวของส่วนตกค้างของผลตอบว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่นั้น สามารถทำได้โดยการนำส่วนตกค้างทั้งหมดมาพล็อต Normal Probability Plot ซึ่งเป็นการทดสอบที่สามารถทำได้ง่าย ถ้าข้อมูลส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ ก็จะทำให้การเรียงตัวของส่วนตกค้างกระจายตัวอยู่รอบๆ เส้นตรง และจากการทดสอบการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Normality Test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้วิธีการทางสถิติพบว่า ค่า P-Value จากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.175 ดังรูปที่ 4.26 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ยอมรับสมมติฐานหลักว่า ข้อมูลส่วนตกค้างของแทร็คเริ่มต้นมีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 4.26 ผลการทดสอบสมมติฐานการแจกแจงแบบปกติของส่วนตกค้างของผลตอบสนอง

2. การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระของส่วนตกค้างของผลตอบ (Independence of Residual)

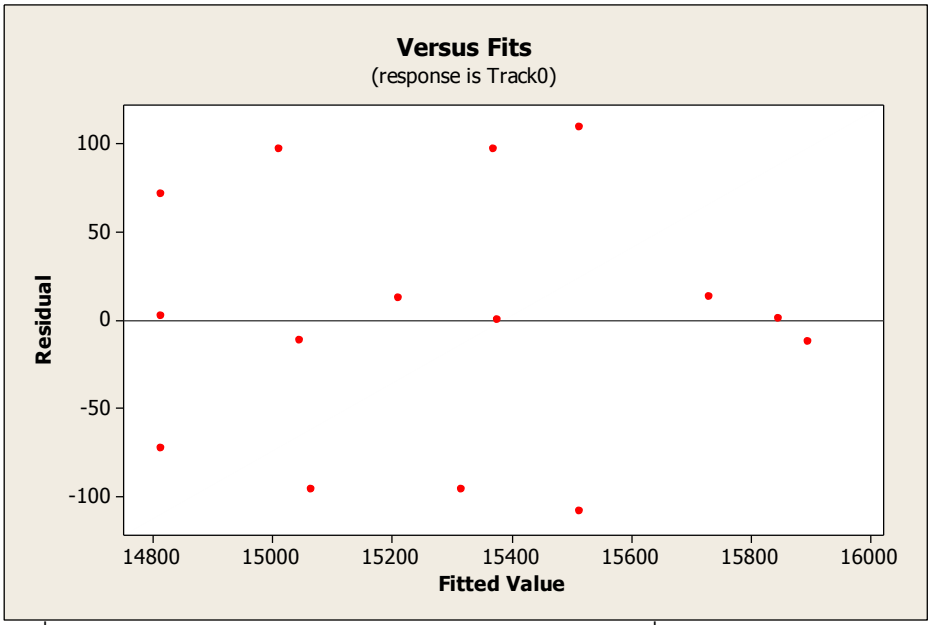
ในการตรวจสอบความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง ทำพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและเวลาในการเก็บข้อมูลโดยอาศัยวิธีการพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ของส่วนตกค้างตามลำดับเวลา พบว่าการกระจายตัวของข้อมูลส่วนตกค้างที่อยู่ทั้งด้านบวกและด้านลบในรูปแบบที่เป็นอิสระต่อกัน ไม่มีรูปแบบที่แน่นอนดังรูปที่ 4.27 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ส่วนตกค้างของค่าแทร็คเริ่มต้นมีความเป็นอิสระของข้อมูล



รูปที่ 4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างของผลตอบสนอง
ตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล

3. การทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนของผลตอบ (Variance Stability)

การทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนสามารถทำได้โดยการพล็อตกราฟส่วนตกค้างของผลตอบกับค่าที่ถูกฟิต (Residual vs Fits) ดังรูปที่ 4.28 จะพบว่าการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างจะไม่มีรูปร่างที่แน่นอน หรือ เป็นรูปแบบของกรวยปากเปิด ซึ่งทำให้สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลส่วนตกค้างของผลตอบ มีความแปรปรวนที่มีค่าคงที่



รูปที่ 4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตของผลตอบสนอง

จากการทดสอบสมมติฐานข้างต้นพบว่า ส่วนตกค้างของข้อมูลว่าเป็นไปตามสมมติฐาน $\varepsilon_{ij} \sim NID\ (0,\sigma^2)$ คือ ส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติ มีความเป็นอิสระซึ่งกันและกันและ ความแปรปรวนของส่วนตกค้างมีค่าคงที่ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลนี้มีความถูกต้องน่าเชื่อถือ สามารถนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนในหัวข้อถัดไปได้

- **การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลตอบสนอง**

จากผลการทดลองที่ได้นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าแทร็คเริ่มต้นได้ดังรูปที่ 4.29 นอกจากนี้จากข้อมูลการทดลองยังสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและผลตอบโดยใช้หลักของการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ได้ดังนี้

Response Surface Regression: Track0 versus A, B, C

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Track0

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	14815.0	65.40	226.532	0.000
A	35.1	40.05	0.877	0.410
B	117.4	40.05	2.931	0.022
C	-117.8	40.05	-2.940	0.022
A*A	142.6	58.95	2.419	0.046
B*B	216.6	58.95	3.675	0.008
C*C	531.9	58.95	9.022	0.000
A*C	325.5	56.64	5.747	0.001

R-Sq = 95.35% R-Sq(adj) = 90.71%

Analysis of Variance for Track0

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	7	1843683	1843683	263383	20.53	0.000
Linear	3	231006	231006	77002	6.00	0.024
A	1	9870	9870	9870	0.77	0.410
B	1	110215	110215	110215	8.59	0.022
C	1	110921	110921	110921	8.64	0.022
Square	3	1188876	1188876	396292	30.89	0.000
A*A	1	29679	75109	75109	5.85	0.046
B*B	1	114677	173267	173267	13.50	0.008
C*C	1	1044521	1044521	1044521	81.41	0.000
Interaction	1	423801	423801	423801	33.03	0.001
A*C	1	423801	423801	423801	33.03	0.001
Residual Error	7	89818	89818	12831		
Lack-of-Fit	5	79444	79444	15889	3.06	0.264
Pure Error	2	10374	10374	5187		
Total	14	1933501				

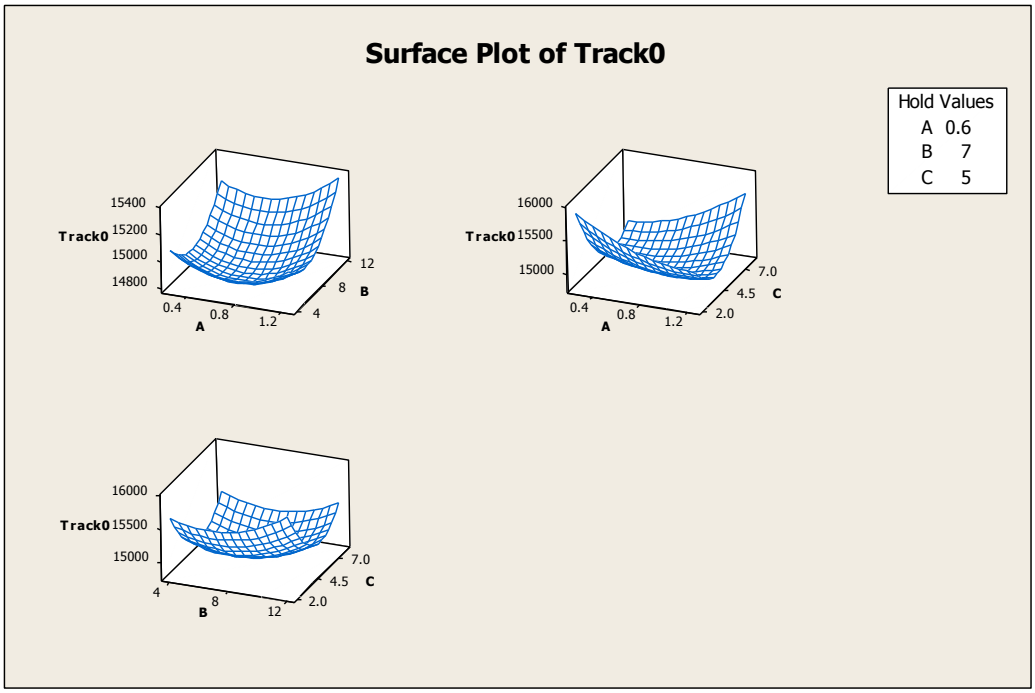
รูปที่ 4.29 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบการทดลองบอกซ์-เบห์นเคน

1. ตัวแบบถดถอยในการพยากรณ์ค่าเฉลี่ยของแทร็คเริ่มต้น

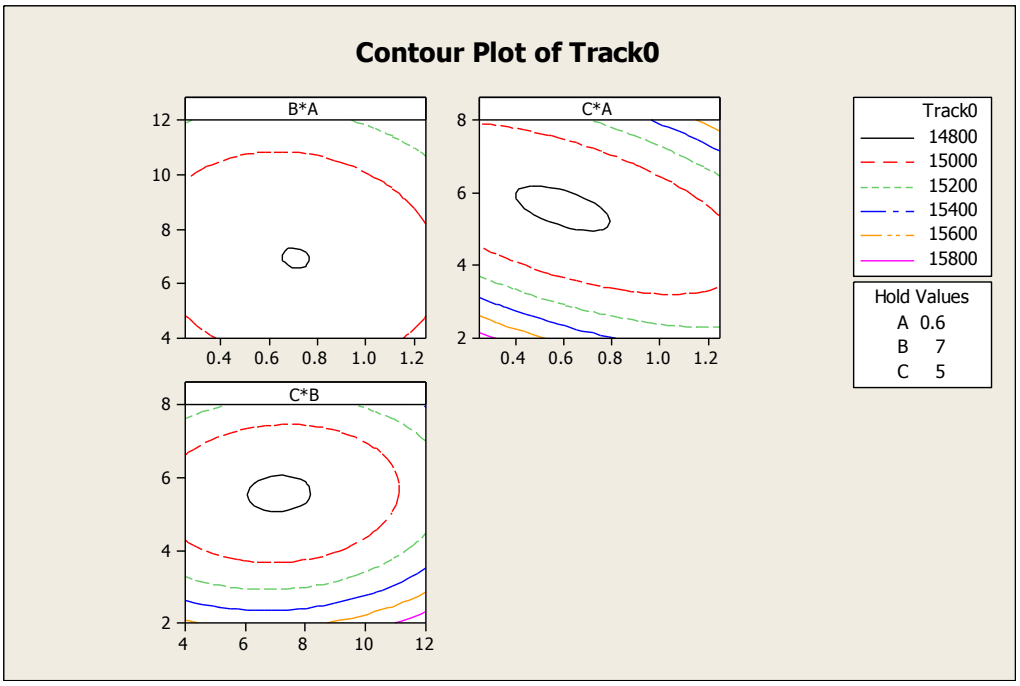
จากข้อมูลการวิเคราะห์โดยวิธี Stepwise Regression สามารถนำปัจจัยทั้ง 3 ตัว คือ ปัจจัย A จำนวนรอบของการหมุน Ramp Screw (X_A), ปัจจัย B ระยะความสูงของ Rotate Pin (X_B) และปัจจัย C คือ แรงดันของกระบอกสูบ (X_C) ซึ่งส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าแทร็คเริ่มต้น ทั้งในรูปของปัจจัยหลัก เทอมกำลังสอง และอันตรกิริยา มาเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์เฉพาะเทอมที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าแทร็คเริ่มต้นได้ดังสมการที่ 4.3

$$Y_{Track0} = 14815 + 35.1\,X_A + 117.4\,X_B - 117.8\,X_C + 142.6\,X_A^2 + 216.6\,X_B^2 + 531.9\,X_C^2 + 325.50\,X_A\,X_C \quad (4.3)$$

เมื่อนำตัวแบบถดถอยที่ได้จากการทดลองแบบบอกซ์-เบห์นเคนมาทำการประมาณค่าผลตอบในรูปของพื้นผิวตอบสนอง (Surface Plot) ดังรูปที่ 4.30 และกราฟโครงร่าง (Contour Plot) ดังรูปที่ 4.31 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและค่าผลตอบสนอง เพื่อหาค่าการปรับตั้งที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่ทำให้ได้ค่าแทร็คเริ่มต้นน้อยที่สุด



รูปที่ 4.30 พื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่าแทร็คเริ่มต้น



รูปที่ 4.31 กราฟโครงร่างแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่าแทร็คเริ่มต้น

2. การวิเคราะห์ความเหมาะสมของตัวแบบถดถอย

สำหรับการประมาณค่าค่าของผลตอบสนองโดยใช้ตัวแบบถดถอยจะต้องมีการพิจารณาถึงความเหมาะสมของข้อมูลที่นำมาใช้ในการประมาณค่าโดยจะพิจารณาจากค่าการทดสอบความเหมาะสมของข้อมูล (Lack of Fit) ซึ่งตั้งสมมติฐานไว้ดังนี้

H_0 : รูปแบบตัวแบบถดถอยมีความเหมาะสมกับข้อมูล

H_1 : รูปแบบตัวแบบถดถอยไม่เหมาะสมกับข้อมูล

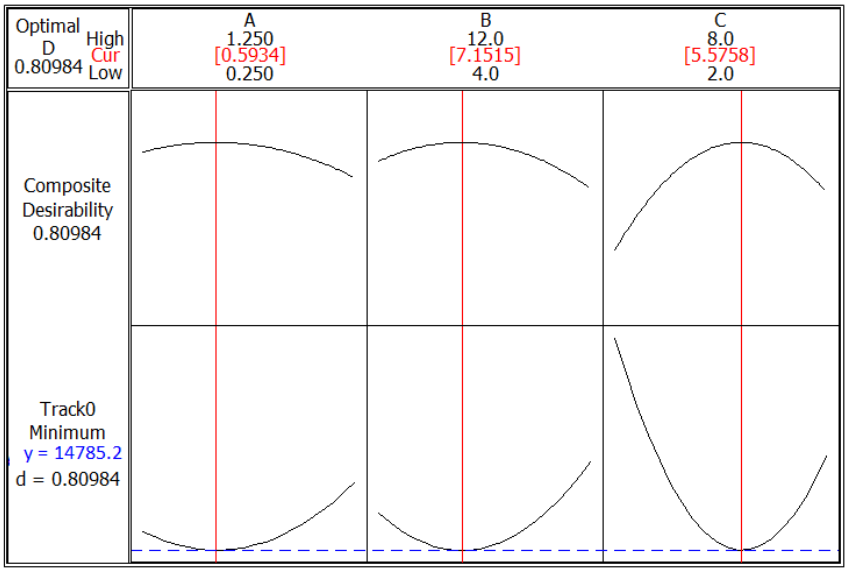
จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังรูปที่ 4.29 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ค่า P-Value ของการทดสอบความเหมาะสมของข้อมูล (Lack of Fit) มีค่าเท่ากับ 0.208 ซึ่งทำให้ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) หรือสามารถสรุปได้ว่าตัวแบบถดถอยมีความเหมาะสมกับข้อมูล สามารถนำไปใช้ในการประมาณค่าแทร็คเริ่มต้นได้

3. **การพิจารณาค่า** R^2(adj)

การพิจารณาความน่าเชื่อถือของตัวแบบถดถอยเพื่อนำไปใช้ประมาณค่าของผลตอบจะพิจารณาจากเปอร์เซ็นของความผันแปรที่อธิบายได้ โดยคำนึงถึงจำนวนตัวแปรที่มีความจำเป็นในแบบจำลองแล้ว หรือเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ R^2(adj) ซึ่งจากการวิเคราะห์มีค่าเท่ากับ 90.71% หรือสามารถอธิบายได้ว่า ความผันแปรของตัวแปรตอบสนองสามารถอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอย 90.71% ส่วนที่เหลือ 9.29% ไม่สามารถอธิบายได้อันเนื่องมาจากความผันแปรจากความคลาดเคลื่อนโดยสาเหตุธรรมชาติหรือรีพีททะบิลิตี้ของข้อมูล ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ตัวแบบถดถอยนี้มีความน่าเชื่อถือในการนำไปประมาณค่าแทร็คเริ่มต้น

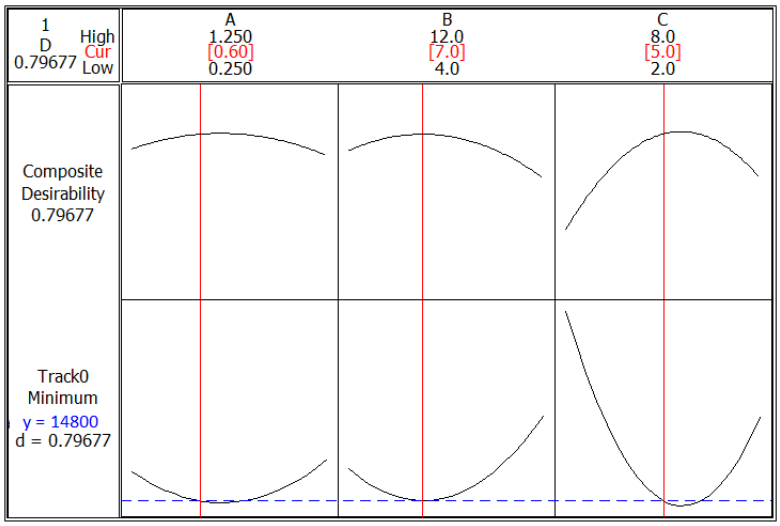
- **การหาค่าสำหรับการปรับตั้งระดับปัจจัยที่เหมาะสม**

เมื่อได้ตัวแบบถดถอยที่มีความน่าเชื่อถือแล้วจึงใช้ตัวแบบถดถอยนี้มาใช้ในการพยากรณ์หาค่าระดับเหมาะสมของการปรับตั้งแต่ละปัจจัยเพื่อให้ได้ค่าแทร็คเริ่มต้นที่น้อยที่สุดโดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer ในโปรแกรม Minitab 16 ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.32 พบว่าค่าที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าแทร็คเริ่มต้นน้อยที่สุด 14,785 แทร็คโดยปรับตั้งค่าปัจจัย A จำนวนรอบของการหมุน Ramp Screw ที่ 0.5934 รอบ, ปัจจัย B ระยะความสูงของ Rotate Pin ที่ระดับ 7.1515 มิลลิเมตร และปัจจัย C แรงดันของกระบอกสูบที่ระดับ 5.5758 ปอนด์



รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างการปรับค่าแต่ละระดับปัจจัยและค่าแทร็คเริ่มต้นจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab

แต่เมื่อพิจารณาความเป็นไปได้ทางวิศวกรรมและขีดจำกัดในการปรับตั้งค่าระดับปัจจัยของเครื่องมือตามที่โปรแกรมคำนวณดังรูปที่ 4.32 พบว่าไม่สามารถปฏิบัติได้จริงเพราะเครื่องมือวัดไม่มีความละเอียดพอดังนั้นทางทีมงานจึงได้ลงความเห็นว่า ควรจะปรับค่าใหม่ตามขีดความสามารถในการปรับระดับของแต่ละปัจจัยซึ่งทำให้ได้ค่าดังรูปที่ 4.33 กล่าวคือ การปรับค่าระดับของปัจจัย A จำนวนรอบของการหมุน Ramp Screw ที่ 0.60 รอบ, ปัจจัย B ระยะความสูงของ Rotate Pin ที่ระดับ 7 มิลลิเมตร และปัจจัย C แรงดันของกระบอกสูบที่ระดับ 5.0 ปอนด์ ซึ่งทำให้ได้ค่าแทร็คเริ่มต้นประมาณ 14,800 แทร็ค



รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างการปรับค่าแต่ละระดับปัจจัยและค่าแทร็คเริ่มต้นในทางปฏิบัติ

ดังนั้นในขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการของตัวแปรตอบสนองแทร็คเริ่มต้นเพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยที่สุด มีการปรับตั้งแต่ละระดับปัจจัยดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ระดับการปรับตั้งปัจจัยที่เหมาะสมต่อผลตอบสนองแทร็คเริ่มต้น

ลำดับที่	สัญลักษณ์ปัจจัย	ปัจจัย	ระดับปัจจัยที่เหมาะสม	
			Coded Units	Uncoded Units
1	A	จำนวนรอบของการหมุน Ramp screw	-0.30	0.60
2	B	ระยะความสูงของ rotate pin	-0.25	7.00
3	C	แรงดันของกระบอกสูบ	0.00	5.00

4.4.3 สรุปผลระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการสำหรับค่าแทร็คเริ่มต้น

ในขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการสำหรับค่าแทร็คเริ่มต้นได้นำการออกแบบการทดลอง แบบ บ็อกซ์-เบห์นเคน (Box – Behnken Design) มาใช้เพราะตัวแบบมีลักษณะอิทธิพลของผิวโค้ง (Curvature) จึงต้องพิจารณาผลของเทอมกำลังสองด้วย หลังจากการวิเคราะห์ทำให้ได้ค่าการปรับตั้งที่เหมาะสม คือ ค่าระดับของปัจจัย A จำนวนรอบของการหมุน Ramp Screw ที่ 0.60 รอบ ค่าระดับปัจจัย B ระยะความสูงของ Rotate Pin ปรับค่าไว้ 7.0 มิลลิเมตร และปัจจัย C แรงดันของกระบอกสูบปรับไว้ที่ระดับ 5.0 ปอนด์ ซึ่งทำให้ได้ค่าแทร็คเริ่มต้นเฉลี่ย 14,800แทร็ค

4.5 การดำเนินการวิจัยในระยะการติดตามควบคุม

ในระยะการควบคุมนี้ เป็นขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพตามแนวทางของซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งหลังจากได้ระดับการปรับตั้งปัจจัยของแต่ละผลตอบสนองที่ทำให้ได้ค่าใกล้เคียงกับเป้าหมายแล้ว จะทำการทดสอบเพื่อยืนยันผล โดยทำการปรับตั้งปัจจัยเหล่านี้ตามค่าที่ได้จากการทดลอง จากนั้นติดตามผลเป็นเวลา 1 เดือนว่า ข้อบกพร่องมีสัดส่วนที่ลดลงหรือไม่ นอกจากนี้ยังต้องมีการจัดทำแผนควบคุม (Control Plan) เพื่อเป็นการตรวจติดตามกระบวนการให้อยู่ในขอบเขตที่ทำการควบคุม และจัดทำแบบฟอร์มรายการตรวจสอบ (Check list) เพื่อติดตามการปรับตั้งระดับปัจจัยต่างๆให้ตรงตามมาตรฐานหลังการดำเนินการปรับปรุงและป้องกันไม่ให้ปัญหาเกิดขึ้นภายหลังได้อีก ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.5.1 การทำการทดลองสำหรับยืนยันผลของค่าแทร็คเริ่มต้น

ในการเตรียมการทดลองสำหรับการยืนยันผลจะประกอบด้วยการเตรียมความพร้อมของวัตถุดิบ เครื่องมือวัด การอบรมพนักงาน ตลอดจนวิธีการทดลองที่ถูกต้อง เพื่อให้การทดลองมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงได้กำหนดแผนการทำการทดลองดังนี้

1. วิธีการปรับตั้งระดับของปัจจัยสำหรับค่าระดับปัจจัยที่ได้จากการทดลอง มีทั้งค่าที่เป็นพารามิเตอร์ของแต่ละกระบวนการ และค่าคุณลักษณะของวัตถุดิบ ซึ่งจะมีการปรับตั้งแต่ละระดับปัจจัยและวิธีการตรวจสอบความถูกต้องดังตารางที่ 4.14
2. เริ่มดำเนินการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟโดยเครื่องจักรอัตโนมัติ
3. นำฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ประกอบเรียบร้อยแล้ว ไปเข้าเครื่องทดสอบลักษณะทางกลเพื่อวัดค่าแทร็คเริ่มต้น

4. บันทึกค่า และวิเคราะห์ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.14 วิธีการปรับตั้งระดับปัจจัยสำหรับการยืนยันผลค่าแทร็คเริ่มต้น (เฉพาะปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ)

ประเภท	ปัจจัย	วิธีการควบคุมระดับปัจจัย
กระบวนการคลายสกรู	จำนวนรอบของการหมุนสกรูของ Ramp	ค่านี้จะถูกกำหนดทางโปรแกรมสำเร็จรูป และควบคุมจำนวนรอบของการคลายสกรูโดย Encoder ซึ่งมีความแม่นยำ ดังนั้นก่อนที่จะทำการทดลองจึงทำการปรับค่ารอบการคลายสกรูที่ 0.60 รอบ และทำการตรวจสอบโดยการดูจำนวนรอบของ Encoder
กระบวนการหมุน Ramp	ระยะความสูงของ Rotate Pin	สามารถปรับระยะความสูงของ Rotate Pin โดยการคลายตัวยึด แล้วปรับความสูงไปที่ 7.00 มม. แล้วยึดตำแหน่งให้แน่น จากนั้นใช้เวอร์เนียวัดเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง
	แรงดันของกระบอกสูบ	เนื่องอุปกรณ์นี้ใช้ลมเป็นตัวส่งแรง ดังนั้นในการปรับให้ได้แรงดันตามที่ต้องการ จะปรับผ่านตัว Regulator จากนั้นเพื่อเป็นการยืนยันว่าแรงดันอยู่ที่ 5 lbs หรือไม่ จะใช้อุปกรณ์ Force Gauge วัดเพื่อยืนยันระดับปัจจัย
	ระยะหดตัวของสปริง	ปรับตำแหน่งของ Stopper เพื่อดูตำแหน่งการหดตัวของสปริง แล้วยึดตำแหน่งให้แน่นด้วยสกรู จากนั้นทดสอบระยะโดยใช้เวอร์เนียมาวัดค่าการหดตัว
กระบวนการไขสกรู Ramp	ค่าทอร์กของ Ramp Screw	ค่าทอร์กของ Ramp Screw ถูกควบคุมด้วยแรงต้านและแรงบิด ของมอเตอร์ไฟฟ้าดังนั้นปรับค่าแรงบิดทอร์กที่ 1.6lbs ทางโปรแกรมสำเร็จรูป จากนั้นตรวจสอบความถูกต้องโดยไขสกรู แล้วนำไปวัดค่าทอร์กโดยเครื่องวัด USTT

4.5.2 การตรวจติดตามผลโดยใช้แผนภูมิควบคุมสำหรับค่าแทร็คเริ่มต้น

สำหรับระยะการตรวจติดตามผล จะมีการจัดทำแผนควบคุมค่าระดับปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่าแทร็คเริ่มต้น ในช่วงเดือนธันวาคม 2555 หลังจากทำการปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อให้มั่นใจว่าค่าพารามิเตอร์เหล่านี้อยู่ในสภาวะภายใต้การควบคุมอันเนื่องมาจาก ในสายการผลิตจริงสภาพแวดล้อม หรือระบบส่งกำลัง เช่น ลม ฝุ่น สิ่งสกปรก ที่อาจอุดตัน ทำให้พารามิเตอร์ที่ทำการควบคุมไม่เป็นไปตามค่าเป้าหมาย ดังนั้นจึงจะต้องมีการใช้เครื่องมือตรวจติดตาม เรียกว่า แผนภูมิควบคุม (Control Chart) ซึ่งมีสมมติฐานว่า ข้อมูลต้องมีการกระจายตัวแบบปกติ

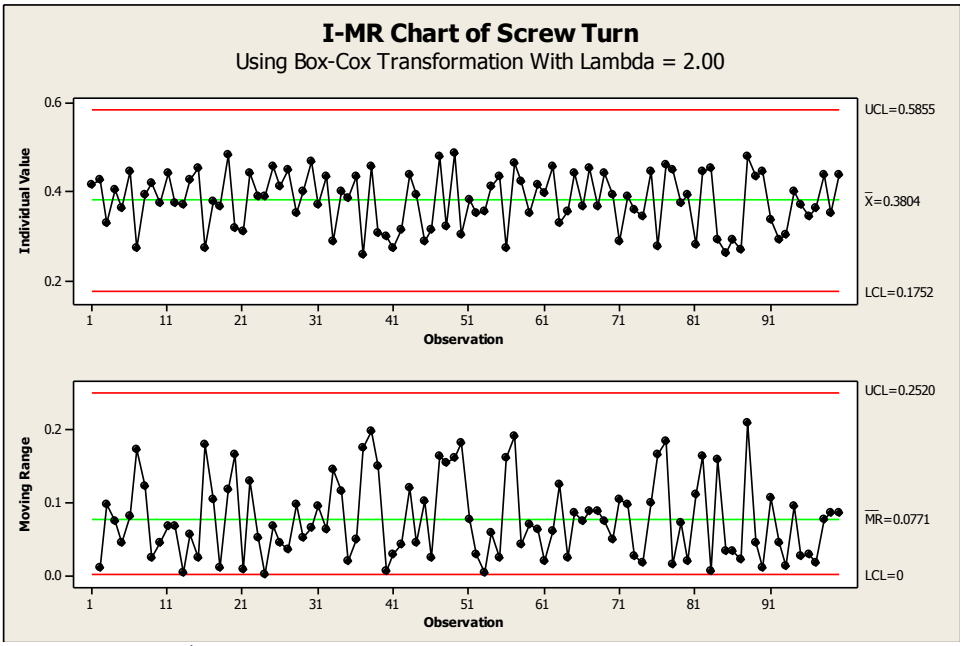
(Montgomery.,1996) ดังนั้นงานวิจัยต่างๆ จึงได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงข้อมูล (transformation) เพื่อให้เป็นไปตามสมมติฐานของการแผนภูมิควบคุม เช่น การใช้วิธีแปลงข้อมูลแบบ Box – Cox transformation (Box and Cox, 1964)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เครื่องมือ แผนควบคุม I-MR ในการตรวจติดตามแต่ละกระบวนการ เนื่องจากข้อมูลที่เก็บส่วนใหญ่เป็นค่าการปรับตั้งเครื่องจักรในกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟซึ่งมีลักษณะเป็นข้อมูลเชิงเดี่ยว แต่ต้องวิเคราะห์ความเป็นปกติของกลุ่มข้อมูลก่อน ถ้ากลุ่มข้อมูลไม่ปกติจะต้องประยุกต์ใช้การแปลงข้อมูลแบบ Box Cox เพื่อกำหนดขอบเขตบนและขอบเขตล่างของแผนภูมิ ทำให้สามารถตรวจติดตามความผิดปกติของแต่ละปัจจัย ตามแผนควบคุมดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 แผนการควบคุม (Control Plan) สำหรับปัจจัยนำเข้าที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าแทร็คเริ่มต้น

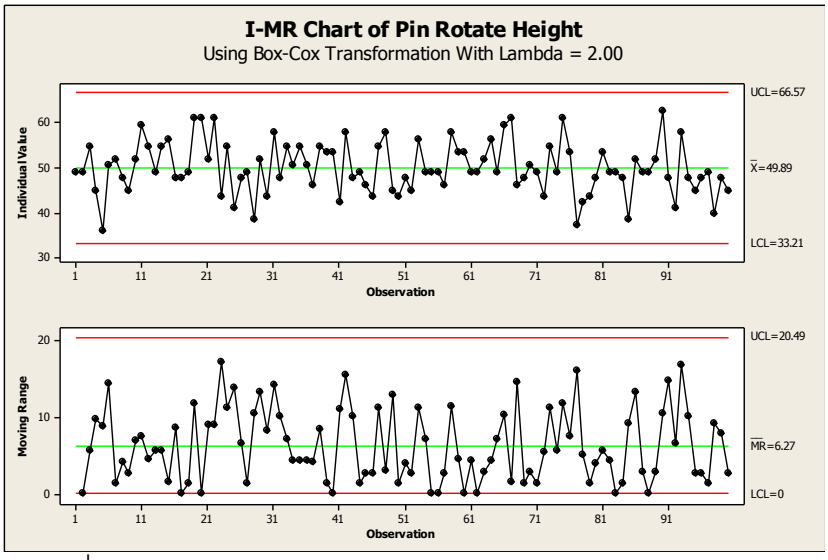
Process	Monitor items	Control Plan				Responsible	Escalation Legend
		Spec.	Trigger	Frequency	Control Method		
กระบวนการคลายสกรู	จำนวนรอบของการหมุนสกรูของ Ramp	0.6 turn	+/- 0.1 turn	ทุก 6 ชั่วโมง	แผนภูมิควบคุม I - MR	Maintenance	Station Shutdown
กระบวนการหมุน Ramp	ระยะความสูงของ Rotate Pin	7 mm.	+/- 1 mm	ทุก 6 ชั่วโมง	แผนภูมิควบคุม I - MR	Maintenance	Station Shutdown
	แรงดันของกระบอกสูบ	5 lbs	+/- 0.5 lbs	ทุก 6 ชั่วโมง	แผนภูมิควบคุม I - MR	Maintenance	Station Shutdown
	ระยะหดตัวของสปริง	10 mm.	+/- 2 mm	ทุก 6 ชั่วโมง	แผนภูมิควบคุม I - MR	Maintenance	Station Shutdown
กระบวนการไขสกรู Ramp	ค่าทอร์กของ Ramp Screw	1.6 in-lbs	+/- 0.1 in-lbs	ทุก 6 ชั่วโมง	แผนภูมิควบคุม I - MR	Maintenance	Stop Build
กระบวนการไขสกรูฝาครอบ	ค่า ทอร์กสำหรับการไขสกรูฝาครอบ	2.5 in-lbs	+/- 0.15 in-lbs	ทุก 6 ชั่วโมง	แผนภูมิควบคุม I - MR	Maintenance	Stop Build
การทดสอบคุณลักษณะทางกล	ค่าแทร็คเริ่มต้น	< 18,000 แทร็ค	> 17,500 แทร็ค	5 ชิ้น/กะ	แผนภูมิควบคุม X bar - S	Test Engineer	Station Shutdown and verified root cause

จากการตรวจติดตามระดับปัจจัยของ จำนวนรอบของการหมุนสกรูของ Ramp (Screw Turn) พนักงานผู้ทำการควบคุมเครื่องจักรได้ทำการตรวจสอบและบักทึกค่า จำนวนรอบของการหมุนสกรูของ Ramp ทุกๆ 6 ชั่วโมงจากนั้นจึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิ I – MR ดังรูปที่ 4.34 พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบไม่เป็นปกติ ดังนั้นจึงทำการแปลงข้อมูลด้วยวิธี Box Cox transformation ด้วยค่า แลมด้า เท่ากับ 2.0 ทำให้สามารถสรุปได้ว่า กระบวนการนี้อยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติ กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุมเท่ากับ 0.3804 หรือแปลงเป็น จำนวนรอบของการหมุนสกรูของ Ramp มีค่าเท่ากับ 0.618 รอบ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ ค่าเป้าหมายที่ได้จากการปรับปรุงที่ค่า 0.60 รอบ



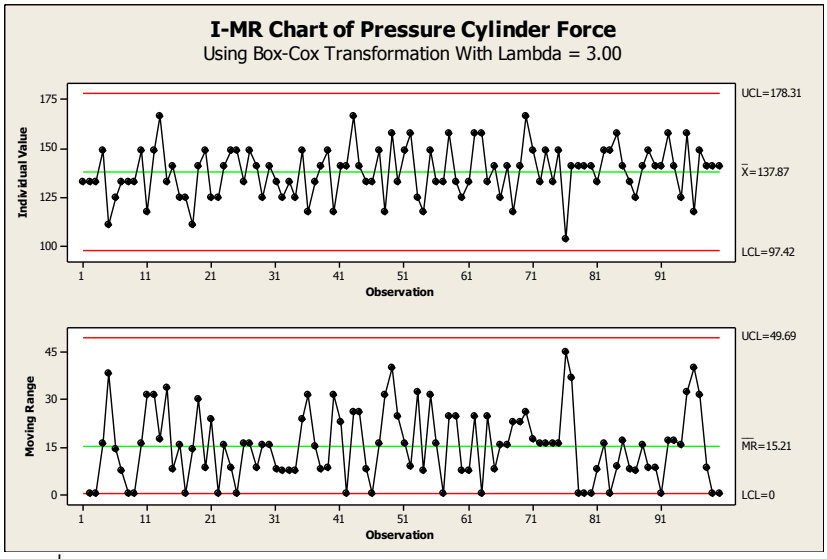
รูปที่ 4.34 แผนภูมิ I-MR แสดงผลการตรวจสอบจำนวนรอบของการหมุนสกรูของ Ramp (Screw Turn)

สำหรับการตรวจติดตามเพื่อควบคุมระดับปัจจัยของ ระยะความสูงของ Rotate Pin (Pin Rotate Height) ในกระบวนการหมุน Ramp ให้อยู่ภายใต้ค่าที่กำหนด โดยพนักงานผู้ทำการควบคุมเครื่องจักรได้ทำการตรวจสอบและบักทึกค่า ระดับปัจจัย ทุกๆ 6 ชั่วโมง จากนั้นจึงวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิ I –MR แสดงดังรูปที่ 4.35 พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ ดังนั้นจึงต้องทำการแปลงข้อมูลด้วยวิธี Box Cox ด้วยค่า แลมด้า เท่ากับ 2.0 ทำให้สามารถสรุปได้ว่ากระบวนการนี้อยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติ กล่าวคือ ไม่มีจุดใดๆ ออกนอกขอบเขตการควบคุม และ ค่าเฉลี่ยของระยะความสูงของ Rotate Pin มีค่าเท่ากับ 7.063 มิลลิเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายที่ ค่า 7 มิลลิเมตร



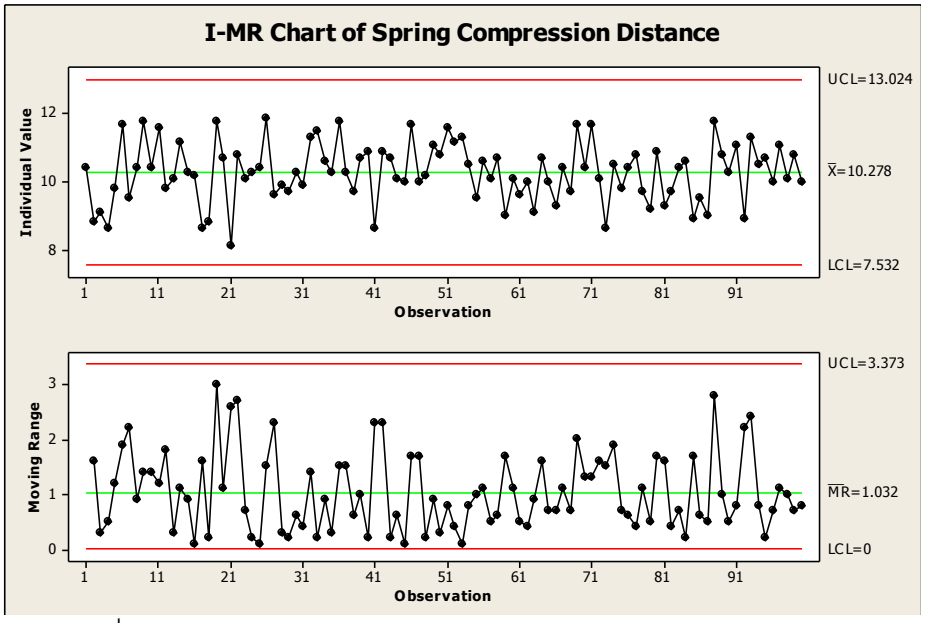
รูปที่ 4.35 แผนภูมิ I-MR แสดงผลการตรวจสอบระยะความสูงของ Rotate Pin (Pin Rotate Height)

การตรวจติดตามเพื่อควบคุมระดับปัจจัยของแรงดันของกระบอกสูบ (Pressure Cylinder Force) ในกระบวนการหมุน Rampโดยพนักงานผู้ทำการควบคุมเครื่องจักรได้ทำการตรวจสอบและบักทึกค่า ระดับปัจจัย ทุกๆ 6 ชั่วโมง จากนั้นจึงวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิ I –MR แสดงดังรูปที่ 4.36 พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ ดังนั้นจึงต้องทำการแปลงข้อมูลด้วยวิธี Box Cox ด้วยค่า แลมด้า เท่ากับ 3.0 ทำให้สามารถสรุปได้ว่า กระบวนการนี้อยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติ กล่าวคือ ไม่มีจุดใดๆ ออกนอกขอบเขตการควบคุม และ ค่าเฉลี่ยของแรงดันกระบอกสูบมีค่าเท่ากับ 5.165 lbs ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายที่ได้จากการทดลองคือ 5.0 lbs



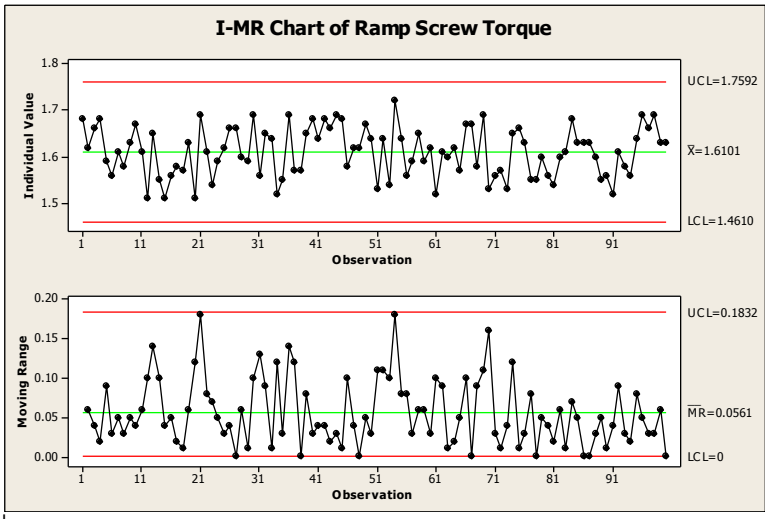
รูปที่ 4.36 แผนภูมิ I-MR แสดงผลการตรวจสอบแรงดันของกระบอกสูบ (Pressure Cylinder Force)

การตรวจติดตามเพื่อควบคุมระดับปัจจัยของระยะหดตัวของสปริง (Spring Compression Distance)ในกระบวนการหมุน Ramp โดยพนักงานผู้ทำการควบคุมเครื่องจักรได้ทำการตรวจสอบและบักทึกค่า ระดับปัจจัย ทุกๆ 6 ชั่วโมง จากนั้นจึงวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิ I –MR แสดงดังรูปที่ 4.37 พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ ดังนั้นไม่จำเป็นต้องมีการแปลงข้อมูล จึงสามารถสรุปได้ว่า กระบวนการนี้อยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติ กล่าวคือ ไม่มีจุดใดๆ ออกนอกขอบเขตการควบคุม และ ค่าเฉลี่ยของระยะหดตัวของสปริงมีค่าเท่ากับ 10.278 มิลลิเมตรซึ่งใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายที่ได้จากการทดลองคือ 10 มิลลิเมตร



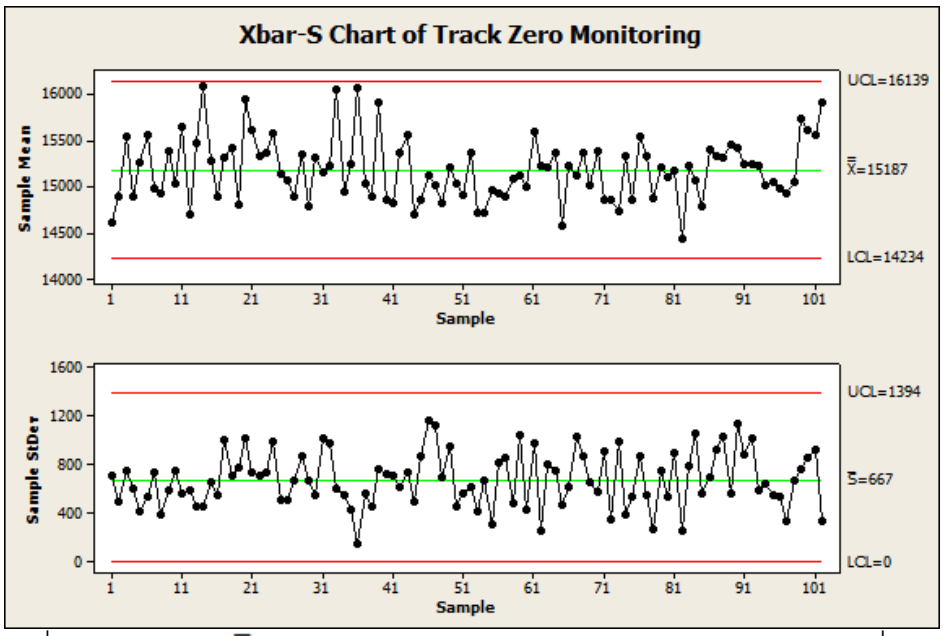
รูปที่ 4.37 แผนภูมิ I-MR แสดงผลการตรวจสอบระยะหดตัวของสปริง (Spring Compression Distance)

การตรวจติดตามเพื่อควบคุมระดับปัจจัยของค่าทอร์กของ Ramp Screw (Ramp Screw Torque) ในกระบวนการไขสกรู Ramp โดยพนักงานผู้ทำการควบคุมเครื่องจักรได้ทำการตรวจสอบและบักทึกค่า ระดับปัจจัย ทุกๆ 6 ชั่วโมง จากนั้นจึงวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิ I –MR แสดงดังรูปที่ 4.38 ซึ่งข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ พบว่า กระบวนการนี้อยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติ กล่าวคือ ไม่มีจุดใดๆ ออกนอกขอบเขตการควบคุม และ ค่าเฉลี่ยของค่าทอร์กของ Ramp Screw มีค่าเท่ากับ 1.610 in-lbs ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายที่ได้จากการทดลองคือ 1.60 in-lbs



รูปที่ 4.38 แผนภูมิ I-MR แสดงผลการตรวจสอบค่าทอร์กของ Ramp Screw (Ramp Screw Torque)

นอกจากนี้ การตรวจติดตามเพื่อควบคุมค่าระดับของตัวแปรตอบสนองค่าแทร็คเริ่มต้นซึ่งทำการตรวจติดตามด้วยแผนภูมิ X bar – S โดยพนักงานจะทำการสุ่มหยิบชิ้นงานมา 5 ชิ้นต่อกะ นำมาทำการตรวจสอบและบักทึกค่า จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ผลดังรูปที่ 4.39 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ และ กระบวนการนี้อยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติ กล่าวคือ ไม่มีจุดใดๆ ออกนอกขอบเขตการควบคุม และ ค่าเฉลี่ยของค่าแทร็คเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 15,187 แทร็ค ซึ่งมีค่าอยู่ภายใต้ขอบเขตข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดไว้ต่ำกว่า 18,000 แทร็ค ส่วนค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 667 แทร็ค



รูปที่ 4.39 แผนภูมิ $\bar{X} - S$ แสดงผลการตรวจสอบค่าผลตอบสนองค่าแทร็คเริ่มต้น

4.5.3 การวิเคราะห์ผลและการสรุปการทดสอบยืนยันผลการปรับปรุงค่าแทร็คเริ่มต้น

สำหรับการทดลองเพื่อทำการยืนยันผลหลังจากการปรับปรุงกระบวนการ จะทำการวิเคราะห์จากค่าความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis) ของค่า แทร็คเริ่มต้นเพื่อเปรียบเทียบก่อนและหลังทำการปรับปรุงกระบวนการ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- การกำหนดขนาดตัวอย่าง

หลังจากมีการปรับปรุงกระบวนการโดยการปรับค่าระดับของแต่ละปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองแทร็คเริ่มต้นแล้ว จึงมีการเก็บข้อมูลดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการเบื้องต้นจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 ชิ้นโดยพบว่า ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการเบื้องต้นของตัวแปรตอบสนองแทร็คเริ่มต้น มีค่าเท่ากับ 1.60 จากนั้นจึงทำการคำนวณหาค่าขนาดตัวอย่างที่เพียงพอต่อการประเมินดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการในระยะยาว ดังสมการที่ 4.1 ได้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 209 แต่เพื่อให้สะดวกต่อการเก็บข้อมูล จึงใช้ขนาดตัวอย่าง 210 ชิ้น ซึ่งเพียงพอต่อความเชื่อมั่นในการประเมินค่า

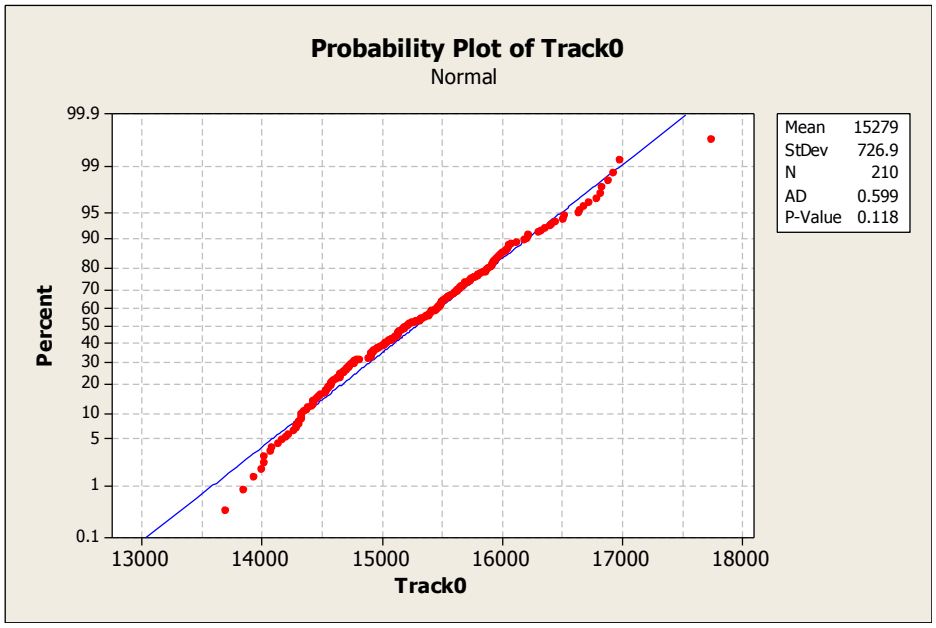
- การทดสอบสมมติฐานการกระจายตัวแบบปกติของข้อมูล

เนื่องจากในการประเมินความสามารถของกระบวนการจะต้องมีการคำนึงถึง ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลว่าเป็นแบบปกติหรือไม่ ดังนั้นจึงนำข้อมูลทั้งหมดมาทดสอบสมมติฐานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนี้

H_0 : ข้อมูลแทร็คเริ่มต้น มีการกระจายตัวแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลแทร็คเริ่มต้น มีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ

โดยจะทำการปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0เมื่อค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ผลการทดสอบสมมติฐานการกระจายตัวของข้อมูลแทร็คเริ่มต้นแสดงดังรูปที่ 4.40 พบว่า ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.118 จากสมมติฐานที่ได้กำหนดไว้เบื้องต้น จึงสรุปได้ว่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธ H_0 ได้หรืออาจกล่าวได้ว่า กลุ่มข้อมูลแทร็คเริ่มต้นมีการกระจายตัวแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



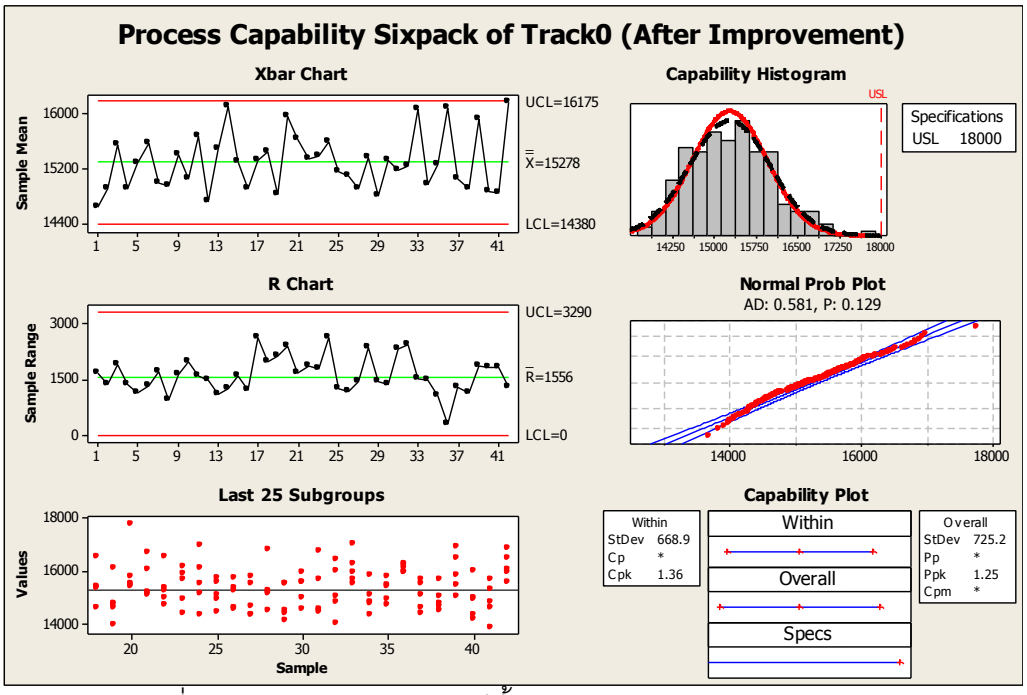
รูปที่ 4.40 การทดสอบสมมติฐานการกระจายตัวแบบปกติ ของตัวแปรตอบสนองแทร็คเริ่มต้น

- การประเมินความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุงคุณภาพ

หลังจากทำการปรับปรุงกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยตั้งค่าระดับปัจจัยต่างๆ ตามผลการทดลอง และทำการประเมินดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ ของค่าแทร็คเริ่มต้นดังรูป 4.41 พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าแทร็คเริ่มต้นมีค่าลดลงจาก 15,989 มาที่ค่า 15,278 แทร็ค ซึ่งลดลง 711 แทร็ค นอกจากนี้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานยังมีค่าลดลงจาก 974.2 แทร็ค มาเป็น 725.2 แทร็ค ส่งผลทำให้ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 1.36 ซึ่งมีค่ามากกว่าเกณฑ์การยอมรับที่ค่ามาตรฐาน 1.33 และสามารถสรุปผลการปรับปรุงกระบวนการของแทร็คเริ่มต้นได้ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 เปรียบผลของดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุงของตัวแปรตอบสนองค่าแทร็คเริ่มต้น

ตัวแปรตอบสนอง	ระยะก่อนการปรับปรุง				ระยะหลังการปรับปรุง			
	$\bar{X}$	SD	Cpk	σ level	$\bar{X}$	SD	Cpk	σ level
แทร็คเริ่มต้น (Track0)	15,989	974.2	0.77	2.3	15,278	725.2	1.36	4



รูปที่ 4.41 ผลการวิเคราะห์ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุงของค่าแทร็คเริ่มต้น

4.5.4 มูลค่าความสูญเสียหลังการปรับปรุงคุณภาพของค่าแทร็คเริ่มต้น

ในขั้นตอนสุดท้ายของการปรับปรุงคุณภาพตามแนวคิดซิกซ์ ซิกมา จะต้องมีการคำนวณมูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นหลังจากการปรับปรุงกระบวนการตามค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม ซึ่งพบว่า ข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่เขียนอ่านข้อมูลบริเวณค่าแทร็คเริ่มต้นก่อนการปรับปรุง (Base line) มีค่าเฉลี่ยรวม 3.30% แต่หลังจากการปรับปรุงกระบวนการและทดลองยืนยันผลในเดือน ธันวาคม 2555 พบว่าปริมาณสัดส่วนข้อบกพร่องลดลงเหลือเพียง 0.02% ทำให้สามารถลดมูลค่าความสูญเสียได้ถึง 481,092 บาทต่อเดือน โดยรายละเอียดของการคำนวณมูลค่าความสูญเสียแสดงดังภาคผนวก ข ตารางที่ 1

บทที่ 5
การศึกษาวิจัยเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลบริเวณแทร็คสุดท้าย

5.1 บทนำ

การสูญเสียพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลบริเวณแทร็คสุดท้าย (Track Maximum) ถือเป็นข้อบกพร่องอีกประเภทหนึ่งที่ได้ถูกคัดเลือกจากทีมเพื่อทำการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ ให้ได้ค่าผลตอบสนองมากที่สุดและมีความผันแปรน้อยที่สุด โดยมีการดำเนินการวิจัยตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา ซึ่งประกอบไปด้วย ระยะการเก็บข้อมูลและกำหนดสาเหตุเบื้องต้นของปัญหา (Measure Phase), ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase), ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase) และระยะการติดตามควบคุม ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดของการดำเนินงานวิจัยในแต่ละระยะต่อไป

5.2 การดำเนินการวิจัยในระยะการเก็บข้อมูลและกำหนดสาเหตุเบื้องต้นของปัญหา

สำหรับระยะการเก็บข้อมูลและกำหนดสาเหตุเบื้องต้นของปัญหา จะเริ่มต้นจากการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด เพื่อให้แน่ใจว่า ข้อมูลที่ได้จากการวัดมีความน่าเชื่อถืออยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ หลังจากนั้นจึงทำการประเมินความสามารถของกระบวนการผลิตในปัจจุบันโดยพิจารณาจากดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ Cpk และทำการระดมความคิดจากคนในทีมซึ่งมาจากหลายๆ หน่วยงานเช่นฝ่ายซ่อมบำรุง ฝ่ายวิศวกรรม ฝ่ายตรวจสอบคุณภาพ เป็นต้น เพื่อทำการวิเคราะห์หาสาเหตุความเป็นไปได้ของความแปรผันของจำนวนแทร็คสุดท้าย โดยใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล แล้วทำการจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุเพื่อคัดกรองปัจจัยนำเข้าไปทดสอบความมีนัยสำคัญในระยะวิเคราห์สาเหตุของปัญหา โดยมีรายละเอียดของการศึกษาวิจัยดังนี้

5.2.1 การวิเคราะห์ความเที่ยงของระบบการวัด (Gage Repeatability & Reproducibility) สำหรับแทร็คสุดท้าย

ระบบการวัด ถือเป็นสิ่งที่มีความสำคัญในกระบวนการผลิต ระบบการวัดที่มีความเที่ยงจะนำไปสู่การควบคุมคุณภาพและกระบวนการที่มีประสิทธิภาพ สามารถประกันคุณภาพของสินค้าที่ส่งไปยังลูกค้าได้ ดังนั้นจึงต้องมีการวิเคราะห์ถึงความเที่ยงของระบบการวัดองค์ประกอบ

ที่สำคัญของระบบการวัดคือ พนักงานวัด ลักษณะของชิ้นงานที่ใช้วัด ขั้นตอนหรือวิธีการวัด และสภาพแวดล้อมในขณะทำการวัด ซึ่งแต่ละปัจจัยข้างต้นแต่ก่อให้เกิดความผันแปรของข้อมูลระบบการวัดทั้งสิ้น เช่น พนักงานผู้วัดขาดความชำนาญในการใช้เครื่องมือวัด ขาดการฝึกอบรมทำให้มีขั้นตอนการวัดที่แตกต่างกัน ลักษณะของชิ้นงานเองที่มีความแตกต่างกันก็ส่งผลถึงความแปรปรวนของระบบการวัดด้วยเช่นกัน ดังนั้นในการศึกษาเพื่อแก้ปัญหาทางด้านคุณภาพจึงควรที่จะ ปรับปรุงความเที่ยงของระบบการวัดให้มีความน่าเชื่อถือ เพื่อที่จะสามารถวิเคราะห์ข้อมูลและนำไปใช้ได้อย่างถูกต้อง

ในบทนี้ ระบบการวัดหรือการตรวจสอบชิ้นงานจะพิจารณาค่าตัวแปรตอบสนองแทร็คสุดท้าย ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ (Variable data) โดยทำการประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัดใน 2 ด้านคือ

1. รีพีททะบิลิตี้ (Repeatability) แสดงถึงความผันแปรของค่าวัดที่ทำการวัดโดยพนักงานวัดเดียวกัน เครื่องมือวัดเดียวกัน ในการวัดงานชิ้นเดียวกันซ้ำๆ โดยทั่วไปมักแสดงถึงความผันแปรของเครื่องมือวัด
2. รีโปรดิวซิบิลิตี้ (Reproducibility) หมายถึง ความผันแปรที่แสดงถึงค่าเฉลี่ยของค่าวัดจากการใช้เครื่องมือวัดเดียวกันในการวัดชิ้นงานเดียวกันด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน ซึ่งทั่วไปมักแสดงถึงความแตกต่างระหว่างพนักงานวัด

ระบบการวัดที่มีความเที่ยงจะต้องสามารถแยกความผันแปรระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานที่วัดได้ โดยไม่มีอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงาน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงได้ประเมินคุณสมบัติความเที่ยงของระบบการวัดค่าแทร็คสุดท้ายโดยมีขั้นตอนการศึกษาดังต่อไปนี้

- **การกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างและจำนวนครั้งของการวัดซ้ำของค่าแทร็คสุดท้าย**(Sample Size Design)

สำหรับการประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัด จะต้องมีการกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างและจำนวนครั้งของการวัดซ้ำของข้อมูล เพื่อให้ข้อมูลที่ทำการประเมินมีความน่าเชื่อถือเพียงพอ ดังนั้น ทางโรงงานกรณีศึกษาได้อ้างอิงการกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งมีผู้ศึกษาไว้แล้วว่ามีความน่าเชื่อถือเพียงพอต่อการประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัดของข้อมูลเชิงปริมาณ (Fasser and Brettner ,1992) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ในบทที่ 4

ผู้วิจัยได้เลือกประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัดของตัวแปรตอบสนองค่าแทร็คเริ่มต้น โดยกำหนดจำนวนของชิ้นงานที่จะวัดจำนวน 10 ชิ้นงาน จำนวนพนักงานวัดจำนวน 3 คนซึ่งมาจากกะ A, B และ C โดยพนักงานแต่ละคนจะต้องผ่านการอบรม และทำหน้าที่วัดชิ้นงานอยู่เป็นประจำ นอกจากนี้จำนวนการวัดซ้ำจำนวน 2 ครั้ง/ชิ้นงาน/พนักงานวัด

- **ผลการประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัดของแทร็คสุดท้าย**

หลังจากทำการออกแบบการประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัดเรียบร้อยแล้ว จึงทำการเก็บข้อมูล บันทึกผลและวิเคราะห์ผลลัพธ์ด้วยโปรแกรม Minitab 16 ได้ดังนี้

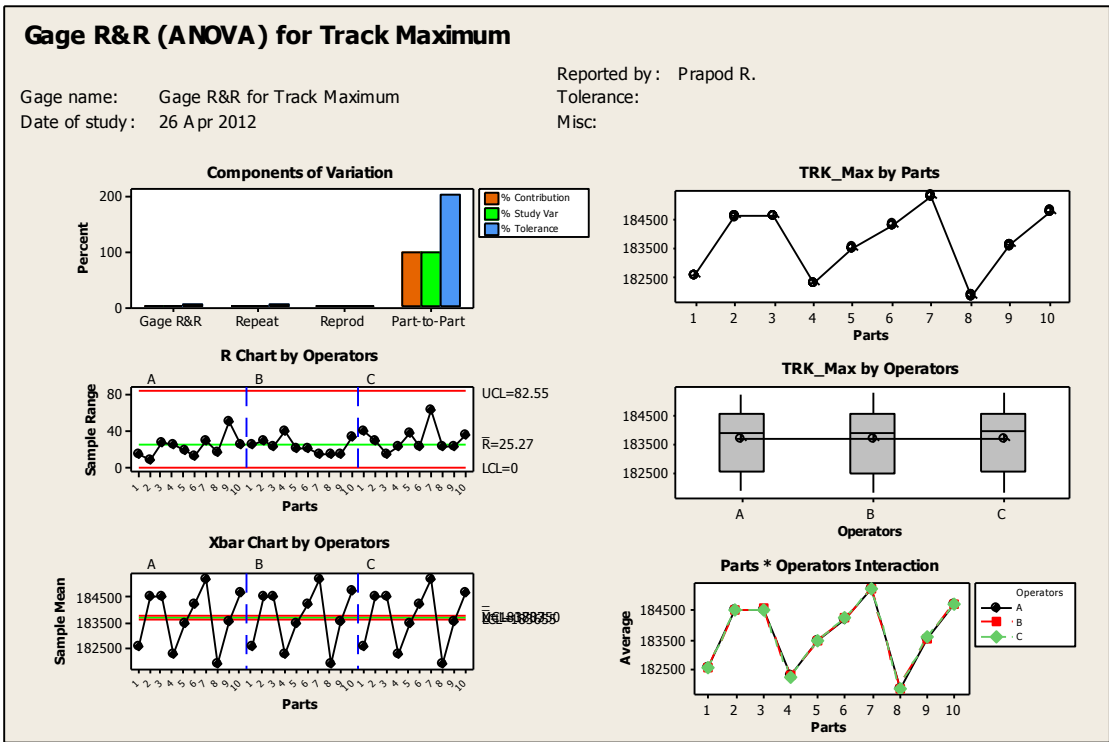
1. ผลการตรวจสอบประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัดข้อมูลแทร็คสุดท้าย

หลังจากทำการออกแบบการทดลองและเก็บข้อมูลเพื่อประเมินความเที่ยงของระบบการวัดของค่าแทร็คสุดท้ายแล้ว ได้ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ตารางเก็บข้อมูลเพื่อประเมินคุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัด

ข้อมูลแทร็คสุดท้าย

ชิ้นงานที่	Operator A		Operator B		Operator C	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	182565	182580	182553	182528	182540	182579
2	184538	184545	184524	184553	184560	184531
3	184563	184537	184550	184572	184545	184560
4	182295	182271	182265	182304	182287	182265
5	183475	183494	183462	183441	183450	183487
6	184220	184231	184256	184235	184275	184253
7	185200	185228	185240	185227	185201	185263
8	181896	181880	181874	181860	181852	181874
9	183584	183535	183554	183569	183570	183592
10	184720	184695	184702	184735	184727	184691



รูปที่ 5.1 การประมวลผลคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัด

ข้อมูลแทร็คสุดท้ายด้วยโปรแกรม Minitab16

ตารางที่ 5.2 ผลการวิเคราะห์ผลทางสถิติของระบบการวัดข้อมูลแทร็คสุดท้ายโดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Method)

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for Track Maximum

Gage name: Gage R&R for Track Maximum
Date of study: 26 Apr 2012
Reported by: Prapod R.
Tolerance:
Misc:

Two-Way ANOVA Table with Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	70910217	7878913	25637.0	0.000
Operators	2	240	120	0.4	0.682
Parts * Operators	18	5532	307	0.8	0.689
Repeatability	30	11569	386		
Total	59	70927558			

Alpha to remove interaction term = 0.25

Two-Way ANOVA Table without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	70910217	7878913	22115.1	0.000
Operators	2	240	120	0.3	0.716
Repeatability	48	17101	356		
Total	59	70927558			

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	356	0.03
Repeatability	356	0.03
Reproducibility	0	0.00
Operators	0	0.00
Part-To-Part	1313093	99.97
Total Variation	1313449	100.00

Lower process tolerance limit = 182000

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	18.88	113.25	1.65	3.33
Repeatability	18.88	113.25	1.65	3.33
Reproducibility	0.00	0.00	0.00	0.00
Operators	0.00	0.00	0.00	0.00
Part-To-Part	1145.90	6875.42	99.99	201.91
Total Variation	1146.06	6876.35	100.00	201.93

Number of Distinct Categories = 85

2. ผลการประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัดข้อมูลแทร็คสุดท้าย
   - จากรูปที่ 5.1 แผนภูมิแท่ง Components of Variation พบว่าความผันแปรอันเนื่องมาจากความแตกต่างของชิ้นงาน (Part-To-Part) มีค่าสูงถึง 99.97 % ซึ่งมีค่ามากกว่าความผันแปรอันเนื่องมาจากเครื่องมือวัด (Total Gage R&R) ซึ่งพบเพียงแต่ 0.03% เท่านั้น แสดงให้เห็นว่าความผันแปรส่วนใหญ่ของข้อมูลมาจากลักษณะความแตกต่างของชิ้นงาน
   - จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Method) โดยพิจารณาจากค่า P-Value ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าสาเหตุของความผันแปรมาจากลักษณะของชิ้นงานที่เกิดจากกระบวนการผลิต ส่วนพนักงานวัดไม่มีอิทธิพลต่อความแปรปรวนของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ก็ไม่มีอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานวัดเช่นกัน
   - ค่าความผันแปรเมื่อทำการประเมินผลเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (P/TV) พบว่าถ้าความผันแปรของกระบวนการผลิตโดยรวมเป็น 100 หน่วย ความผันแปรจากกระบวนการผลิตที่ทำให้มีขนาดชิ้นงานต่างกันคิดเป็น 99.99 % และส่วนที่เป็นความผันแปรจากระบบการวัดมีค่าน้อยมากเพียง 1.65% ซึ่งมาจากความผันแปรทางด้านรีพีททะบิลิตี้ทั้งสิ้น โดยรีโปรดิวซิบิลิตี้ไม่มีผลต่อความผันแปรของข้อมูล
   - ค่า Number of Distinct Categories เท่ากับ 85 มากกว่าค่าที่ยอมรับได้ที่กำหนดเกณฑ์อ้างอิงอยู่ที่ 5 ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ระบบการวัดนี้สามารถแบ่งกลุ่มของข้อมูลแทร็คสุดท้ายออกเป็น 85 กลุ่มที่มีความแตกต่างกัน แสดงว่า ข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดนี้สามารถประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการวัดนี้ได้

3. สรุปผลการประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัดของค่าแทร็คสุดท้าย

จากการประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัด ของตัวแปรตอบสนองค่าแทร็คสุดท้าย โดยอ้างอิงเกณฑ์การยอมรับ AIAG (2002) ที่ระบุค่าที่ยอมรับได้ของค่า P/TV และ P/T ต้องไม่เกิน 10% พบว่าค่า P/TV และ P/T ของระบบการวัดค่าแทร็คเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 1.65% และ 3.33% ตามลำดับซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ความเที่ยงของระบบการวัดนี้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

5.2.2 การวัดความสามารถของกระบวนการสำหรับค่าแทร็คสุดท้าย

การวัดความสามารถของกระบวนการเพื่อให้ทราบถึงความสามารถของกระบวนการผลิตที่แท้จริงว่ามีลักษณะตรงกับข้อกำหนดของลูกค้ามากเพียงใด โดยคำนึงถึงความแปรปรวนหรือความผันแปรของกระบวนการและการเข้าใกล้ค่ากลางของกระบวนการเมื่อเทียบกับค่าเป้าหมาย ดังนั้นการวัดค่าความสามารถของกระบวนการผลิต จะทำให้สามารถประเมินความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในสายการผลิตและหาวิธีการลดความแปรปรวนนั้นๆ ให้มีค่าน้อยที่สุด เริ่มต้นจากการออกแบบวิธีการเก็บข้อมูล โดยจะต้องกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างในการสุ่มเก็บให้มีความเหมาะสม เพื่อที่จะสามารถประเมินค่าความสามารถที่แท้จริงของกระบวนการผลิตได้

- **การกำหนดขนาดตัวอย่างเพื่อประเมินความสามารถของกระบวนการสำหรับค่าแทร็คสุดท้าย**

ในขั้นตอนแรกจะทำการเก็บข้อมูลเบื้องต้น 100 ตัว เพื่อทำการประเมินค่าความสามารถของกระบวนการ ของตัวแปรตอบสนองแทร็คสุดท้าย โดยจะต้องทำการควบคุม พนักงานผู้วัด เครื่องมือวัด ตลอดของการวิจัยเนื่องจากต้องการลดความแปรปรวนต่างๆ จากปัจจัยภายนอกและภายใน หลังจากนั้น จึงทำการประเมินความสามารถของกระบวนการในขั้นต้น พบว่ามีค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ (Cpk) เท่ากับ 0.53 หลังจากนั้นจึงทำการคำนวณหาค่าขนาดตัวอย่างที่เพียงพอต่อการประเมินดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ Cpk ดังสมการที่ 4.1 โดยกำหนดที่ค่า e_{ppk} ต่างๆ เพื่อพิจารณาถึงกลุ่มตัวอย่างที่เหมาะสม มีความน่าเชื่อถือ แสดงผลดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 การคำนวณหาขนาดตัวอย่างของในการประเมินความสามารถของกระบวนการของค่าแทร็คสุดท้าย

ลำดับที่	e_{ppk}	Cpk เบื้องต้น	Cpk Interval		Sample Size (n)
			Cpk Min	Cpk Max	
1	0.01	0.53	0.52	0.54	34404
2	0.05	0.53	0.48	0.58	1376
3	0.10	0.53	0.43	0.63	344
4	0.15	0.53	0.38	0.68	153
5	0.20	0.53	0.33	0.73	86

จากตารางที่ 5.3 พบว่าเมื่อคำนวณหาค่าขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ค่า ความแตกต่างระหว่างค่าความเชื่อมั่นกับค่ากลาง (e_{ppk}) ต่างๆ กันพบว่า ยิ่งค่า e_{ppk} มีค่าน้อย ก็จะทำให้ค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ (Cpk) ที่ประมาณได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริงมากยิ่งขึ้น แต่จะต้องเก็บข้อมูลในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ทำให้ต้องใช้เวลาในการเก็บข้อมูลนาน และค่าใช้จ่ายในการจัดการที่เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกช่วงของค่า Cpk ก็สามารถยอมรับได้คือ 0.43-0.63 ซึ่งต้องเก็บข้อมูลด้วยขนาดตัวอย่าง อย่างน้อย 344 ชิ้น และเพื่อให้สะดวกต่อการเก็บข้อมูลจึงใช้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 350 ชิ้นในการประเมินความสามารถของกระบวนการของตัวแปรตอบสนองค่าแทร็คสุดท้าย

- **การประเมินความสามารถของกระบวนการของค่าแทร็คสุดท้ายก่อนการปรับปรุง**

เนื่องจากในการประเมินค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการของแทร็คสุดท้าย (Track Maximum) ในขั้นต้นซึ่งเก็บข้อมูลไปแล้ว 100 ชิ้น แต่หลังจากคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างแล้วจะต้องใช้กลุ่มตัวอย่างถึง 350 ชิ้นเพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีความน่าเชื่อถืออยู่ในเกณฑ์การยอมรับ ดังนั้นจึงต้องเก็บข้อมูลเพิ่มอีก 250 ชิ้น แล้วจึงนำข้อมูลทั้งหมดไปวิเคราะห์ทางสถิติดังนี้

1. การทดสอบสมมติฐานการกระจายตัวแบบปกติของข้อมูลแทร็คสุดท้าย

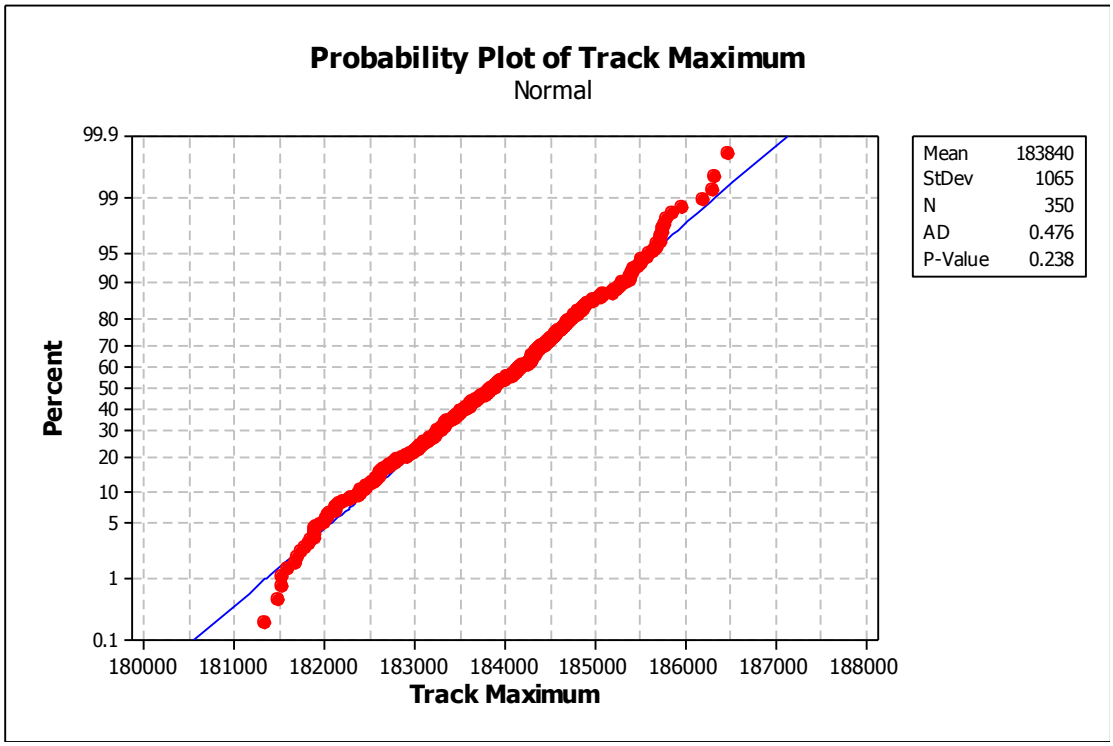
เนื่องจากในการประเมินความสามารถของกระบวนการจะต้องมีการคำนึงถึง ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลว่าเป็นแบบปกติหรือไม่ ดังนั้นจึงนำข้อมูลทั้งหมดมาทดสอบสมมติฐานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนี้

H_0 : ข้อมูลแทร็คสุดท้ายมีการกระจายตัวแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลแทร็คสุดท้ายมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ

โดยจะทำการปฏิเสธสมมติฐาน H_0เมื่อค่า P-Value น้อยกว่า 0.05

ผลการทดสอบสมมติฐานการกระจายตัวของข้อมูลแทร็คสุดท้ายแสดงดังรูปที่ 5.2

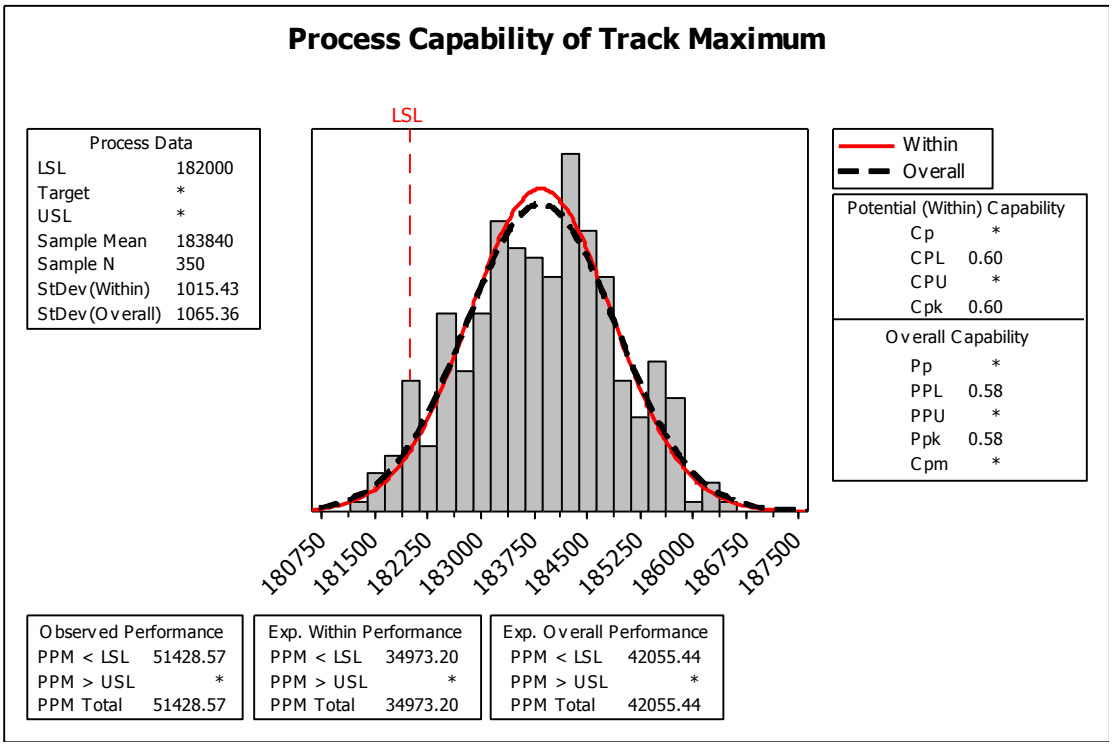


รูปที่ 5.2 การทดสอบสมมติฐานการกระจายตัวแบบปกติ (Normality Test) ของแทร็คสุดท้าย

จากรูปที่ 5.2 สามารถวิเคราะห์ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.238 จากสมมติฐานที่ได้กำหนดไว้เบื้องต้น จึงสรุปได้ว่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธ H_0ได้หรืออาจกล่าวได้ว่า กลุ่มข้อมูลแทร็คสุดท้ายมีการกระจายตัวแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2. การประเมินความสามารถของกระบวนการของการวัดค่าแทร็คสุดท้าย

นำข้อมูลทั้งหมดมาประเมินความสามารถของกระบวนการด้วยโปรแกรม Minitab โดยกำหนดขีดจำกัดข้อกำหนดด้านล่าง (LSL) มีค่าเท่ากับ 182,000 แทร็ค ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในการวัดค่าแทร็คสุดท้ายโดยใช้โปรแกรม Minitab

จากรูปที่ 5.3 จะพบว่าระดับความสามารถของกระบวนการของการวัดค่าแทร็คสุดท้ายอยู่ในระดับที่ต่ำ เนื่องจากกระบวนการมีความผันแปรที่สูงถึง 1,065 แทร็คและเมื่อพิจารณาฮิสโทแกรมของข้อมูลพบว่าแทร็คสุดท้ายจะมีการกำหนดขีดจำกัดข้อกำหนดล่าง (LSL) ไว้ที่ 182,000 แทร็ค ซึ่งจะมีข้อมูลบางส่วนที่อยู่นอกขีดจำกัด หรืออาจพิจารณาจากค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการในระยะสั้น Cpk ซึ่งมีค่าเพียง 0.60 เท่านั้น (ปกติจะยอมรับค่า Cpk ที่มากกว่า 1.33) ดังนั้นในกระบวนการนี้จึงควรมีการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการ โดยหาวิธีในการเพิ่มค่าเฉลี่ยและลดค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อไม่ให้ข้อมูลเกินขีดจำกัดข้อกำหนดด้านล่างที่

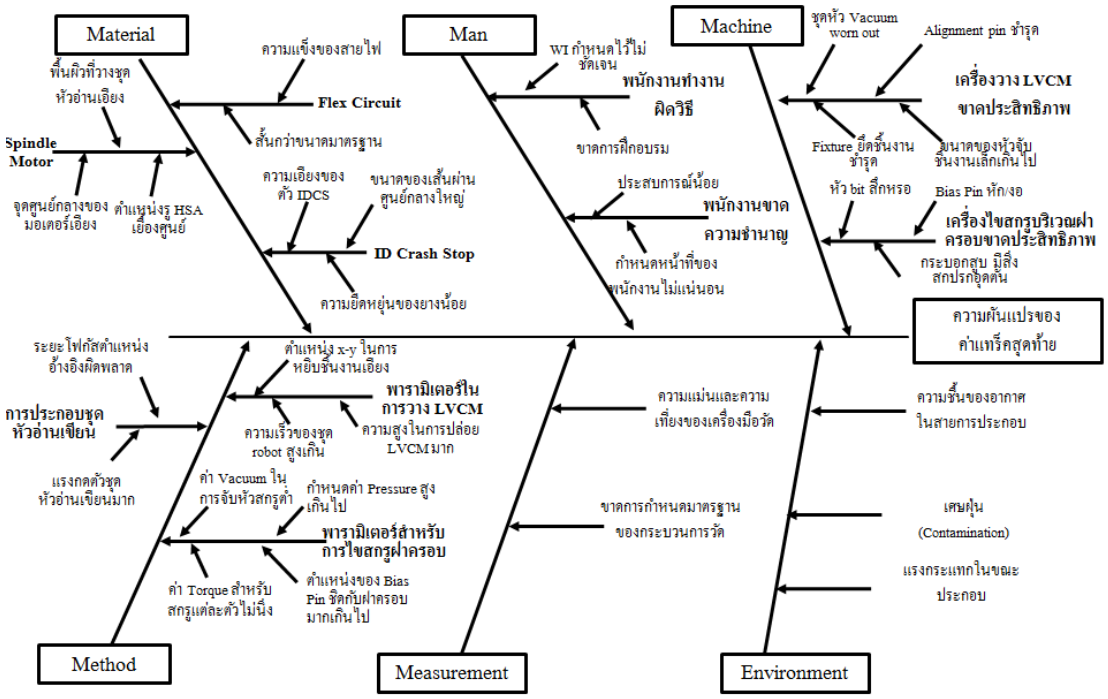
กำหนดไว้ ซึ่งอาจจะมีการทดสอบและทำการออกแบบเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการปรับตั้งในกระบวนการผลิต

5.2.3 การวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุของค่าแทร็คสุดท้าย

สำหรับงานวิจัยบทนี้จะทำการศึกษาเพื่อหาสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ (Possible Cause) ที่ทำให้ข้อมูลการอ่านค่าแทร็คสุดท้าย มีค่าเบี่ยงเบนไปจากเป้าหมายและเกิดความผันแปรมาก โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) โดยหลักการค้นหาสาเหตุของปัญหาจะทำการระดมสมองของทุกคนในทีมซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญในสายการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ประกอบไปด้วย ฝ่ายผลิต (PE) 2 คน ฝ่ายควบคุมคุณภาพ (QC) 2 คน ฝ่ายซ่อมบำรุง (ME) 2 คน ฝ่ายพัฒนาผลิตภัณฑ์ (FE) 1 คนและฝ่ายวิเคราะห์ข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ (FA) 1 คน รวม 8 คน จากนั้นให้แต่ละคนช่วยกันวิเคราะห์ปัญหาแยกตามหลักการ 5M 1E ซึ่งแบ่งสาเหตุของปัญหาออกเป็นกลุ่มปัจจัยต่างๆ คือ คน (Man), เครื่องจักร (Machine), วิธีการ (Method), วัตถุดิบ (Material), เครื่องมือวัด (Measurement) และสภาพแวดล้อม (Environment) ทำให้ได้ปัจจัยนำเข้าของแต่ละปัญหา ดังนี้

- **แผนผังสาเหตุและผลของความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้าย**

จากการระดมความคิดของคนในทีมอย่างละเอียดทำให้ได้ สาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ ที่อาจทำให้เกิดความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้าย แสดงได้ดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 แผนผังสาเหตุและผลของความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้าย

- **การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาของค่าแทร็คสุดท้ายจากการหาความสัมพันธ์สาเหตุและผล** (Cause & Effect Matrix)

หลังจากที่ทีมช่วยกันหาสาเหตุที่เป็นไปได้ของการเกิดข้อบกพร่องแต่ละประเภทแล้ว จากนั้นจึงนำปัจจัยนำเข้าเหล่านั้นมาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์สาเหตุและผล โดยใช้การลงคะแนนจากสมาชิกภายในทีมซึ่งช่วงของคะแนนจะอยู่ระหว่าง 0 – 10 คะแนน ซึ่งมีเกณฑ์ดังนี้

0 คะแนน คือ ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง
1 คะแนน คือ มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองน้อยมาก
5 คะแนน คือ มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองระดับปานกลาง
10 คะแนน คือ มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองระดับมากที่สุด

ในการลงคะแนนของสมาชิกในทีมแต่ละคน จะเป็นความลับซึ่งจะต้องไม่มีการปรึกษากันเพื่อลดค่าความเอนเอียงของการให้คะแนนซึ่งการให้คะแนนจะขึ้นอยู่กับประสบการณ์และความชำนาญของแต่ละคน จากการวิเคราะห์ผลพบว่าคะแนนของแต่ละคนเป็นไปในทิศทางเดียวกัน จึง

ตัดสินใจที่จะใช้คะแนนรวมของแต่ละคน จากนั้นจึงนำคะแนนรวมของแต่ละคนมาคูณกับค่าคงที่ 10 ซึ่งเป็นอัตราความสำคัญที่มีผลกระทบ ซึ่งให้ผลดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ผลการให้คะแนนเพื่อวิเคราะห์สาเหตุที่เป็นไปได้ของการเกิดความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้าย

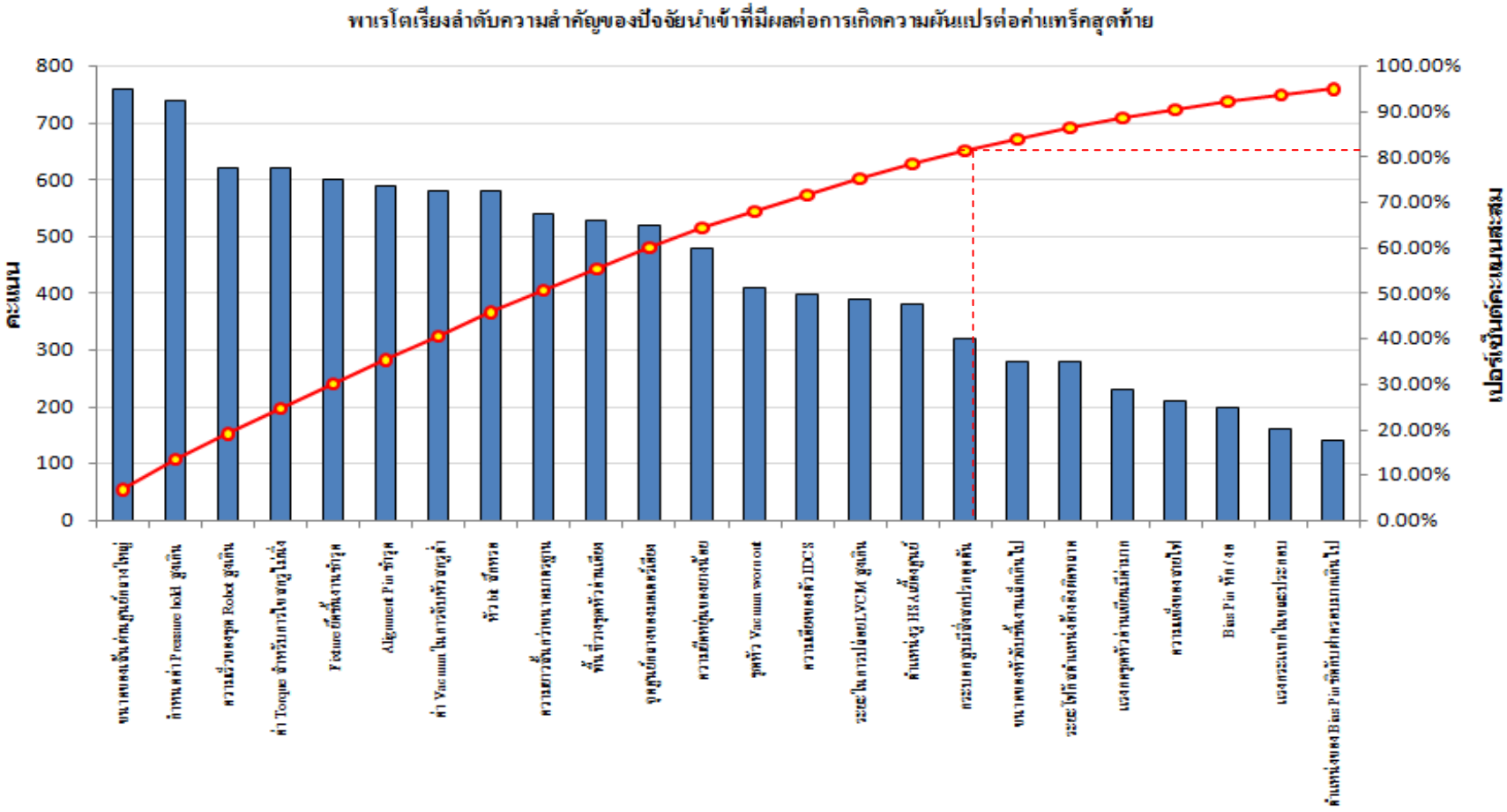
อัตราความสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้าย					**10**
ลำดับที่	**ประเภทของสาเหตุ**	**ปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง**		**คะแนน**	**คะแนนรวม**
1	Material	ชิ้นส่วน Spindle	พื้นที่วางชุดหัวอ่านเอียง	53	530
2			จุดศูนย์กลางของมอเตอร์เอียง	52	520
3			ตำแหน่งรู HSA เยื้องศูนย์	38	380
4		ชิ้นส่วน Flex Circuit	ความแข็งของสายไฟ	21	210
5			ความยาวสั้นกว่าขนาดมาตรฐาน	54	540
6		ชิ้นส่วน IDCS	ความเอียงของตัว IDCS	40	400
7			ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่	76	760
8			ความยืดหยุ่นของยางน้อย	48	480
9	Man	พนักงานทำงานผิดวิธี	WI กำหนดไว้ไม่ชัดเจน	3	30
10			ขาดการฝึกอบรม	2	20
11	Machine	พนักงานขาดความชำนาญ	พนักงานมีประสบการณ์น้อย	3	30
12			กำหนดหน้าที่ของพนักงานไม่ชัดเจน	5	50
13		เครื่องวาง LVCM ขาดประสิทธิภาพ	ชุดหัว Vacuum worn out	41	410
14			Alignment Pin ชำรุด	59	590
15			ขนาดของหัวจับชิ้นงานเล็กเกินไป	28	280
16			Fixture ยึดชิ้นงานชำรุด	60	600

ตารางที่ 5.4 ผลการให้คะแนนเพื่อวิเคราะห์สาเหตุที่เป็นไปได้ของการเกิดความผันแปรของค่าแท็รคสุดท้าย (ต่อ)

อัตราความสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าแท็รคสุดท้าย					**10**
ลำดับที่	**ประเภทของสาเหตุ**	**ปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง**		**คะแนน**	**คะแนนรวม**
17	Machine	เครื่องไขสกรูบริเวณฝาครอบขาดประสิทธิภาพ	หัว bit สึกหรอ	58	580
18			Bias Pin หัก / งอ	20	200
19			กระบอกสูบมีสิ่งสกปรกอุดตัน	32	320
20	Method	พารามิเตอร์ในการวาง LVCM	ตำแหน่ง X-Y ในการหยิบชิ้นงาน	13	130
21			ความเร็วของชุด Robot สูงเกิน	62	620
22			ระยะในการปล่อย LVCM สูงเกิน	39	390
23		การประกอบชุดหัวอ่านเขียน	ระยะโฟกัสตำแหน่งอ้างอิงผิดพลาด	28	280
24			แรงกดชุดหัวอ่านเขียนมีค่ามาก	23	230
25		พารามิเตอร์สำหรับการไขสกรูฝาครอบ	ตำแหน่งของ Bias Pin ชิดกับฝาครอบมากเกินไป	14	140
26			กำหนดค่า Pressure hold สูงเกิน	74	740
27			ค่า Torque สำหรับการไขสกรูไม่นิ่ง	62	620
28			ค่า Vacuum ในการจับหัวสกรูต่ำ	58	580
29	Measurement	ความแม่นและความเที่ยงของเครื่องมือวัด		5	50
30		ขาดการกำหนดมาตรฐานของกระบวนการวัด		6	60
31	Environment	ค่าความชื้นของอากาศในสายการประกอบ		3	30
32		เศษฝุ่น (Contamination)		14	140
33		แรงกระแทกในขณะประกอบ		16	160
รวม					11,100

จากตารางที่ 5.4 ซึ่งทำการระดมความคิดและช่วยกันให้คะแนนความสำคัญของแต่ละปัจจัยนำเข้าที่อาจจะทำให้เกิดความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้าย แล้ว พบว่าจากปัจจัยนำเข้าทั้งสิ้น 33 ปัจจัยรวมคะแนนจากทุกคนในทีมได้ 11,100 คะแนน จากนั้นนำแต่ละปัจจัยมาเรียงลำดับคะแนนจากมากไปหาน้อยดังแสดงรูปที่ 5.5 พบว่า 81.62% ของคะแนนรวมอาจจะเป็นสาเหตุหลักของการเกิดความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้าย ตามกฎ 80% ของพาเรโต ซึ่งคิดเป็น 17 ปัจจัยนำเข้าดังนี้

1. ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ IDCS มีขนาดใหญ่	760	คะแนน
2. กำหนดค่า Pressure hold สูงเกิน	740	คะแนน
3. ความเร็วของชุด Robot สูงเกิน	620	คะแนน
4. ค่า Torque สำหรับการไขสกรูฝาครอบไม่นิ่ง	620	คะแนน
5. Fixture ยึดชิ้นงานชำรุด	600	คะแนน
6. Alignment Pin ชำรุด	590	คะแนน
7. ค่า Vacuum ในการจับหัวสกรูต่ำ	580	คะแนน
8. หัว bit สึกหรอ	580	คะแนน
9. ความยาวของ Flex Circuit สั้นกว่าขนาดมาตรฐาน	540	คะแนน
10. พื้นที่วางชุดหัวอ่านเอียง	530	คะแนน
11. จุดศูนย์กลางของมอเตอร์เอียง	520	คะแนน
12. ความยืดหยุ่นของยางน้อย	480	คะแนน
13. ชุดหัว Vacuum worn out	410	คะแนน
14. ความเอียงของตัว IDCS	400	คะแนน
15. ระยะในการปล่อย LVCM สูงเกิน	390	คะแนน
16. ตำแหน่งรู HSA หรือชุดหัวอ่านเยื้องศูนย์	380	คะแนน
17. กระบอกสูบมีสิ่งสกปรกอุดตัน	320	คะแนน



รูปที่ 5.5 พาเรโตลำดับความสำคัญปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อการเกิดความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้าย

หลังจากนั้นทำการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าทั้ง 17 ตัวแล้ว พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้ายจะมาจากวัตถุดิบที่ส่งผลต่อตำแหน่งของ IDCS ซึ่งเปรียบเสมือนตัว Stopper ที่กำหนดตำแหน่งบริเวณคอยล์แม่เหล็กของชุดหัวอ่านเพื่อไม่ให้หัวอ่านเข้าไปในบริเวณเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของแผ่นจานบันทึกแม่เหล็กมากเกินไป เพราะจะทำให้เกิดการชนระหว่างหัวอ่านเขียนข้อมูลและมอเตอร์ แต่ถ้า IDCS เกิดการเอียงหรือเบี่ยงเบนไปทางใดทางหนึ่ง ก็จะทำให้เกิดความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้าย นอกจากนี้วิธีการ (Method) ในกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟก็ส่งผลถึงตัวแปรตอบสนองแทร็คสุดท้ายเช่นกัน จากตัวแปรนำเข้าที่ถูกจัดลำดับความสำคัญโดยใช้เกณฑ์ 80% ของพาเรโต พบว่ามีปัจจัยนำเข้า 17 ตัวที่ทางทีมงานได้ช่วยกันกลั่นกรองโดยใช้หลักเหตุและผล ตลอดจนอาศัยประสบการณ์ในสายงานทางด้านการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจนสามารถคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่จะนำไปทดสอบความมีนัยสำคัญในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ดังแสดงตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้าย

การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้าย						
ลำดับที่	**ประเภทของสาเหตุ**	**ปัจจัยนำเข้า (KPIV)**	**เลือก**	**ไม่เลือก**	**เหตุผลสนับสนุนการตัดสินใจ**	**การออกแบบ/ควบคุมการทดลอง**
1	Material	ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ IDCS มีขนาดใหญ่	✓		ทางทีมเห็นว่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ IDCS มีขนาดกว้างเกินไป และจากการพิจารณาเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่างซัพพลายเออร์ 2 รายมีความแตกต่างกันมาก ดังนั้นจึงคิดว่าควรจะนำปัจจัยนำเข้านี้มาตรวจสอบสมมติฐานด้วยเพราะส่งผลกระทบโดยตรงต่อการอ่านค่าแทร็คสุดท้าย	ทดสอบสมมติฐานโดยเปรียบเทียบค่าแทร็คสุดท้ายจากการประกอบชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ด้วย IDCS 2 ซัพพลายเออร์
2	Method	กำหนดค่า Pressure hold สูงเกิน	✓		ในกระบวนการไขสกรูฝาครอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจะถูกยกขึ้นจนกระทั่งฝาครอบถูกกดกับ Fixture เพื่อ hold ให้นิ่งก่อนทำการไขสกรู ดังนั้นถ้าฝาครอบถูกกดด้วยความดันที่มากเกินไปก็จะทำให้ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟวางไม่ได้ระนาบ เกิดการบิดตัวบริเวณตำแหน่งศูนย์กลางของมอเตอร์ซึ่งจะส่งผลต่อการอ่านค่าแทร็คสุดท้ายได้	ทดสอบสมมติฐานโดยการทดลองที่ค่า Pressure hold ต่างๆ กันเพื่อดูว่ามีผลต่อแทร็คสุดท้ายอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

ตารางที่ 5.5 การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้าย (ต่อ)

การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้าย						
ลำดับที่	**ประเภทของสาเหตุ**	**ปัจจัยนำเข้า (KPIV)**	**เลือก**	**ไม่เลือก**	**เหตุผลสนับสนุนการตัดสินใจ**	**การออกแบบ/ควบคุมการทดลอง**
3	Method	ความเร็วของชุด Robot สูงเกิน	✓		ในการประกอบชุด LVCM และ IDCS จะถูกควบคุมความเร็วด้วยระบบ PLC ซึ่งถ้ากำหนดความเร็วมากเกินไปก็จะทำให้ตำแหน่งการวาง LVCM ผิดพลาดได้และทำให้ค่าแทร็คสุดท้ายมีความแปรปรวน เพราะ IDCS จะเป็นตัวกำหนดพื้นที่ที่หัวอ่านจะสามารถเคลื่อนที่เข้าไปภายในแผ่นจานบันทึกข้อมูลได้น้อย	ทำการทดสอบสมมติฐานโดยการปรับค่าความเร็วของชุด Robot ที่ค่าต่างๆ กันเพื่อดูว่ามีผลต่อค่าแทร็คสุดท้ายอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่
4	Method	ค่า Torque สำหรับการไขสกรูฝาครอบไม่นิ่ง	✓		เนื่องจากบนฝาครอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจะมีตำแหน่งการไขสกรูหลายตำแหน่งดังนั้น ถ้าหากมีการไขด้วยค่า Torque ที่ไม่ตรงกับค่ามาตรฐานก็จะทำให้เกิดการบิดตัวหรือเสียรูปของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ	ทำการทดสอบสมมติฐานโดยการปรับค่า Torque ที่ค่าต่างๆ กันเพื่อดูว่ามีผลต่อค่าแทร็คสุดท้ายอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

ตารางที่ 5.5 การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้าย (ต่อ)

การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้าย						
ลำดับที่	**ประเภทของสาเหตุ**	**ปัจจัยนำเข้า (KPIV)**	**เลือก**	**ไม่เลือก**	**เหตุผลสนับสนุนการตัดสินใจ**	**การออกแบบ/ควบคุมการทดลอง**
5	Machine	Fixture ยึดชิ้นงานชำรุด		✓	ไม่เลือกนำมาทดลองเพราะปัจจัยนี้ถูกควบคุมในสายการผลิตจริง ถ้า Fixture ยึดชิ้นงานเกิดการชำรุด ทีมซ่อมบำรุงก็จะทำการเปลี่ยนตัวใหม่ทันที มิฉะนั้นจะไม่สามารถทำการผลิตได้	มีการตรวจสอบสภาพของ Fixture ก่อนการใช้งาน
6	Machine	Alignment Pin ชำรุด		✓	ตำแหน่ง Alignment Pin จะเป็นตัวไกด์ตำแหน่งการวาง LVCM ลงบนชุดสปินเดิลมอเตอร์ ดังนั้นถ้า Alignment Pin ชำรุด เซ็นเซอร์บอกระยะ ซึ่งติดอยู่กับชุดหุ่นยนต์จะไม่ทำงานและส่งเสียงเตือน ดังนั้นจึงไม่เลือกปัจจัยนี้มาทำงานทดลอง เพราะสามารถตรวจสอบได้ด้วยตัวเครื่องจักรเอง	มีการตรวจสอบโดยฝ่ายซ่อมบำรุงเป็นประจำก่อนเริ่มทำการผลิตในแต่ละวัน จึงมั่นใจได้ว่า Alignment Pin ยังคงอยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน

ตารางที่ 5.5 การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้าย (ต่อ)

การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้าย						
ลำดับที่	**ประเภทของสาเหตุ**	**ปัจจัยนำเข้า (KPIV)**	**เลือก**	**ไม่เลือก**	**เหตุผลสนับสนุนการตัดสินใจ**	**การออกแบบ/ควบคุมการทดลอง**
7	Method	ค่า Vacuum ในการจับหัวสกรูต่ำ		✓	ค่า Vacuum สำหรับดูดสกรู จะส่งผลต่อระนาบของหัวสกรูทำให้เกิดการเอียงไม่ได้ระดับ แต่สำหรับเครื่องจักรนี้จะมี vacuum sensor ไว้ตรวจสอบความดันของลมที่ใช้ทำให้มั่นใจว่าขณะทำงานจริง ปัจจัยนี้สามารถควบคุมได้	มีการกำหนดค่ามาตรฐานของค่า Vacuum ไว้ในเอกสารอย่างชัดเจนที่ 15 LPM และมีการตรวจสอบค่าทุกวัน
8	Machine	หัว bit สึกหรอ		✓	เมื่อหัว bit สึกหรอจะทำให้ไขสกรูไม่ได้ หรือรอบการไขไม่ได้ตามที่ระบบกำหนด ดังนั้นที่เครื่องจักรจะมีระบบตรวจสอบอัตโนมัติจึงมั่นใจว่า ตัวแปรนี้ถูกควบคุมไว้แล้ว	สำหรับการทดลองจะใช้หัว bit ตัวใหม่ซึ่งมี อายุการใช้งานประมาณ 100,000 ครั้ง
9	Material	ความยาวของ Flex Circuit สั้นกว่าขนาดมาตรฐาน		✓	ปัจจัยนี้ถูกควบคุมโดย ซัพพลายเออร์ก่อนที่จะส่งชิ้นงานมายังฝ่ายการผลิต	

ตารางที่ 5.5 การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้าย (ต่อ)

การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้าย						
ลำดับที่	**ประเภทของสาเหตุ**	**ปัจจัยนำเข้า (KPIV)**	**เลือก**	**ไม่เลือก**	**เหตุผลสนับสนุนการตัดสินใจ**	**การออกแบบ/ควบคุมการทดลอง**
10	Material	พื้นที่วางชุดหัวอ่านเอียง		✓	พื้นที่บริเวณนี้ถูกตรวจสอบจากซัพพลายเออร์ 100% และมีเอกสารรองรับจึงมั่นใจว่าอยู่ในการควบคุม	เลือกใช้สปินเดิลมอเตอร์ของซัพพลายเออร์เพียงรายเดียวคือ NIDEC
11	Material	จุดศูนย์กลางของมอเตอร์เอียง		✓	พื้นที่บริเวณนี้ถูกตรวจสอบจากซัพพลายเออร์ 100% และมีเอกสารรองรับจึงมั่นใจว่าอยู่ในการควบคุม	เลือกใช้สปินเดิลมอเตอร์ของซัพพลายเออร์เพียงรายเดียวคือ NIDEC
12	Material	ความยืดหยุ่นของยางน้อย	✓		พื้นผิวโดยรอบของแท่ง IDCS จะถูกห่อหุ้มด้วยยาง ซึ่งความยืดหยุ่นของยางจะส่งผลต่อการอ่านค่าแทร็คสุดท้าย และจากการตรวจสอบเบื้องต้น ปัจจัยนี้มีความแตกต่างกันระหว่างซัพพลายเออร์ 2 ราย ดังนั้นจึงต้องการทดสอบผลของความยืดหยุ่นต่อตัวแปรตอบสนอง	การทดสอบสมมติฐานโดยการใช้ยางจากซัพพลายเออร์ 2 รายในการประกอบเพื่อดูว่ามีผลต่อค่าแทร็สุดท้ายอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

ตารางที่ 5.5 การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้าย (ต่อ)

การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้าย						
ลำดับที่	**ประเภทของสาเหตุ**	**ปัจจัยนำเข้า (KPIV)**	**เลือก**	**ไม่เลือก**	**เหตุผลสนับสนุนการตัดสินใจ**	**การออกแบบ/ควบคุมการทดลอง**
13	Machine	ชุดหัว Vacuum เกิดการสึกหรอ		✓	ถ้าชุดหัวเกิดการสึกหรอจะไม่สามารถหยิบชิ้นงานได้ และเครื่องจะส่งเสียง alarm ทันทีเพื่อให้เจ้าหน้าที่ซ่อมบำรุงเข้าตรวจสอบ และเปลี่ยนตัวใหม่ทันที จึงไม่เลือกมาทดลองเพราะถูกควบคุมอยู่แล้วในกระบวนการผลิต	การตรวจสอบโดยฝ่ายซ่อมบำรุงเป็นประจำก่อนเริ่มทำการผลิตในแต่ละวัน จึงมั่นใจได้ว่าชุดหัว Vacuum ยังคงอยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน
14	Material	ความเอียงของตัว IDCS		✓	ระยะฉากของตัว IDCS จะถูกตรวจสอบจากซัพพลายเออร์ 100% และมีเอกสารรองรับจึงมั่นใจว่าอยู่ในการควบคุม	
15	Method	ระยะในการปล่อย LVCM สูงเกิน	✓		การกำหนดระยะความสูงในการปล่อยชิ้นงานจะทำให้ตำแหน่งของ LVCM เกิดความผิดเพี้ยนไปจากเป้าหมายได้และส่งผลถึงเรื่องคุณภาพในการอ่านค่าแทร็คสุดท้าย จึงเลือกปัจจัยนี้มาทดลองเนื่องจากปัจจัยนี้มีความผันแปรของการปรับตั้งระดับความสูงมาก	ทดสอบโดยกำหนดระยะความสูงในการวางชิ้นงานที่ตำแหน่งต่างๆ กันเพื่อดูว่าระยะการปล่อยชิ้นงานมีผลต่อค่าแทร็คสุดท้ายอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

ตารางที่ 5.5 การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้าย (ต่อ)

การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้าย						
ลำดับที่	**ประเภทของสาเหตุ**	**ปัจจัยนำเข้า (KPIV)**	**เลือก**	**ไม่เลือก**	**เหตุผลสนับสนุนการตัดสินใจ**	**การออกแบบ/ควบคุมการทดลอง**
16	Material	ตำแหน่งรู HSA เยื้องศูนย์		✓	จุดศูนย์กลางและขนาดของรู HSA จะถูกตรวจสอบจากซัพพลายเออร์ 100% และมีเอกสารรองรับจึงมั่นใจว่าอยู่ในการควบคุม	
17	Machine	กระบอกสูบมีสิ่งสกปรกอุดตัน		✓	ถ้าเกิดสิ่งสกปรกอุดตันภายในกระบอกสูบจะทำให้ปริมาณลมเคลื่อนที่เข้า-ออกได้น้อยและเครื่องจะส่งสัญญาณให้เจ้าหน้าที่ซ่อมบำรุงมาตรวจสอบจึงทำให้มั่นใจว่าปัจจัยนี้ถูกควบคุมดีอยู่แล้ว	มีการตรวจสอบและทำความสะอาดเป็นรายสัปดาห์

จากตารางที่ 5.5 ได้กล่าวถึงการพิจารณาเลือกปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 17 ตัวเพื่อคัดเลือกปัจจัยที่จะนำมาทดสอบสมมติฐานว่ามีผลต่อค่าแทร็คสุดท้ายอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ซึ่งจากการคัดกรองจากทีมงานแล้วเหลือเพียงปัจจัยนำเข้า 6 ตัวซึ่งจะถูกนำไปทดสอบความมีนัยสำคัญในระยะการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหา แสดงดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 สรุปผลปัจจัยที่จะนำมาทดสอบความมีนัยสำคัญสำหรับความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้าย

ลำดับที่	ปัจจัยนำเข้า (KPIV)	ประเภทของข้อมูล	หน่วย
1	ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ IDCS	ข้อมูลผันแปร	นิ้ว
2	กำหนดค่า Pressure hold	ข้อมูลผันแปร	เมกะปาสคาล
3	ความเร็วของชุด Robot	ข้อมูลผันแปร	มิลลิเมตร/วินาที
4	ค่า Torque สำหรับการไขสกรูฝาครอบ	ข้อมูลผันแปร	ปอนด์-นิ้ว
5	ความยืดหยุ่นของยาง IDCS	ข้อมูลผันแปร	ปอนด์
6	ระยะในการปล่อย LVCM	ข้อมูลผันแปร	มิลลิเมตร

5.2.4 สรุปผลการดำเนินงานวิจัยในระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหาสำหรับค่าแทร็คสุดท้าย

สำหรับขั้นตอนการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ความเที่ยงของระบบการวัดโดยประเมินคุณสมบัติด้านรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ของเครื่องมือวัด ของค่าแทร็คเริ่มต้น พบว่า ค่า P/TV และ P/T ผ่านเกณฑ์การยอมรับ AIAG (2002) ที่ระบุว่าต้องไม่เกิน 10% จึงสรุปได้ว่า ความเที่ยงของระบบการวัดนี้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ในขั้นตอนต่อมาจึงทำการประเมินความสามารถของกระบวนการผลิตปัจจุบันของค่าตอบสนอง ค่าแทร็คเริ่มต้น ซึ่งให้ค่า Cpk เท่ากับ 0.60 จากการวิเคราะห์พบว่า ความสามารถของกระบวนการในขณะก่อนการปรับปรุงมีค่าที่ต่ำกว่าเกณฑ์การยอมรับที่ 1.33 ดังนั้นจึงจะต้องมีการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการเพื่อให้ค่าเฉลี่ยเข้าใกล้ค่าเป้าหมายมากที่สุดและมีความผันแปรน้อยที่สุด

ส่วนการวิเคราะห์ขั้นสุดท้ายของระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุ จะใช้เครื่องมือที่เรียกว่าแผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) โดยทำการระดมสมองของทุกคนในทีมซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญในสายการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมาช่วยกันวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาแยกตามหลักการ 5M 1E ซึ่งแบ่งสาเหตุของปัญหาออกเป็นกลุ่มปัจจัยต่างๆ คือ คน (Man), เครื่องจักร (Machine), วิธีการ (Method), วัตถุดิบ (Material), เครื่องมือวัด (Measurement) และสภาพแวดล้อม (Environment) ทำให้ได้ปัจจัยนำเข้าของแต่ละปัญหา จากทีมจึงช่วยกัน

ลงคะแนนเพื่อคัดกรองให้เหลือแต่ปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อตัวแปรตอบสนองแทร็คสุดท้ายจะประกอบปัจจัยนำเข้า 6 ตัว คือ ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ IDCS, ค่า Pressure hold , ความเร็วของชุด Robot, ค่า Torque สำหรับการไขสกรูฝาครอบ, ความยืดหยุ่นของยาง IDCS และระยะในการปล่อย LVCM โดยปัจจัยนำเข้าทั้งหมดจะถูกนำไปออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญต่อไปในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

5.3 การดำเนินการวิจัยในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาสำหรับค่าแทร็คสุดท้าย

หลังจากที่ทีมงานช่วยกันระดมความคิดเพื่อคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่คาดว่าจะส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ย และค่าความผันแปรของตัวแปรตอบสนองแทร็คสุดท้าย (Track Maximum) แล้ว จึงได้นำปัจจัยนำเข้าเหล่านั้นมาทำการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานว่าปัจจัยเหล่านั้นมีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่โดยอาศัยวิธีการทางสถิติ ดังนี้

5.3.1 รูปแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองจะใช้การทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย เช่นเดียวกับการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาในส่วนของตัวแปรตอบสนองแทร็คสุดท้าย เนื่องจากเป็นวิธีการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถวิเคราะห์ผลของอิทธิพลหลัก (Main Effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างปัจจัยได้ นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มจุดศูนย์ของแต่ละระดับปัจจัยเข้าไปในการทดลองด้วย เพื่อทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับลักษณะพื้นผิวโค้ง (Curvature) ที่เกิดขึ้นกับผลตอบสนอง สามารถแสดงได้ด้วยแบบจำลองพื้นผิวตอบสนองขั้นที่สอง (Second Order Response Surface) ซึ่งเกิดจากการทำซ้ำที่บริเวณจุดศูนย์กลางของแต่ละระนาบจำนวน 4 ซ้ำ และไม่ส่งผลต่อการทดลองแบบแฟคทอเรียลแต่อย่างใด

5.3.2 ขนาดตัวอย่างสำหรับการออกแบบการทดลอง (Sample Size for Fractional Factorial Design)

การออกแบบการทดลองเพื่อให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือจะต้องพิจารณาถึง จำนวนซ้ำ (Replication) ของการทดลองแต่ละทรีทเมนต์ด้วยเพื่อให้สามารถแยกความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสองระดับของปัจจัยได้ ในที่นี้จะวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Minitab โดยมีจำนวนปัจจัยนำเข้า 6 ตัวแปร และ ออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบเพิ่มจุดศูนย์กลางที่มี

resolution VI เนื่องจากการออกแบบการทดลองเช่นนี้จะช่วยลดจำนวนการทดลองให้น้อยลงครึ่งหนึ่งของการทดลองทั้งหมด โดยผลของอิทธิพลที่เป็นเอเลียซกับอิทธิพลหลักหรืออิทธิพลร่วมสองปัจจัยจะสามารถตัดทิ้งได้ (Gustavo A.,1997) ดังนั้นจึงใช้แบบการทดลอง 2_{VI}^{6-1} (1/2 fractional factorial) ที่มีกำลังของการทดสอบ (Power of Test) อย่างน้อย 99 % (1-β= 0.99) และระดับของการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่ต้องการตรวจจับได้อย่างน้อย 1σ หรือเท่ากับ 983 แทร็ค ดังนั้นจะได้จำนวนการทดลองซ้ำสำหรับการทดลองร่วมปัจจัยเท่ากับ 3 แต่มีการเพิ่มการทดลองที่จุดศูนย์กลางของแต่ละระดับปัจจัยอีกจำนวน 4 ซ้ำ ทำให้ได้จำนวนการทดลองทั้งสิ้น 100 การทดลอง

Power and Sample Size

2-Level Factorial Design for Track Max response

Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 983

Factors: 6 Base Design: 6, 32
Blocks: none

Including a term for center points in model.

Center Points	Effect	Reps	Total Runs	Target Power	Actual Power
4	983	2	68	0.90	0.973076
4	983	2	68	0.95	0.973076
4	983	3	100	0.99	0.997933

รูปที่ 5.6 กำลังและจำนวนซ้ำ (Replication) สำหรับตัวแปรตอบสนอง “แทร็คสุดท้าย”

5.3.3 ปัจจัยนำเข้าและระดับของปัจจัยนำเข้า

การกำหนดสัญลักษณ์ของแต่ละปัจจัยจะถูกกำหนดด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษ โดยแต่ละระดับปัจจัยจะถูกกำหนดขึ้นโดยอาศัยความเชี่ยวชาญของผู้มีประสบการณ์ในทีม นอกจากนี้ช่วงระดับความกว้างของแต่ละปัจจัยจะต้องมีความกว้างพอที่ทำให้เห็นอิทธิพลของปัจจัยนั้นๆ โดยปัจจัยนำเข้าที่ถูกคัดเลือกจากทีมสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 การกำหนดสัญลักษณ์และระดับของปัจจัยนำเข้าสำหรับตัวแปรตอบสนอง “แทร็คสุดท้าย”

ลำดับที่	ปัจจัยนำเข้า (KPIV)	สัญลักษณ์	ประเภทของข้อมูล	ระดับของปัจจัย			
				ต่ำ	กลาง	สูง	หน่วย
1	ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ IDCS	A	Variable	0.227	0.228	0.229	นิ้ว
2	กำหนดค่า Pressure hold	B	Variable	25	30	35	เมกะปาสคาล
3	ความเร็วของชุด Robot	C	Variable	50	75	100	มิลลิเมตร/วินาที
4	ค่า Torque สำหรับการไขสกรูฝาครอบ	D	Variable	1.5	2.0	2.5	ปอนด์-นิ้ว
5	ความยืดหยุ่นของยาง IDCS	E	Variable	0.5	1.25	2.0	ปอนด์
6	ระยะในการปล่อย LVCM	F	Variable	2	6	10	มิลลิเมตร

5.3.4 ตัวแปรตอบสนอง (Response)

ในการทดลองสำหรับค่าตัวแปรตอบสนองค่าแทร็คสุดท้ายจะวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองจะอยู่ในรูปของค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐาน เช่นเดียวกับตัวแปรตอบสนองแทร็คเริ่มต้น เนื่องจากต้องการปรับปรุงกระบวนการของทั้งสองค่าผลตอบสนอง ดังนั้นจะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) ในรูปแบบของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) จากข้อมูลการทดลองจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไข $\varepsilon_{ij} \sim NID\ (0,\sigma^2)$ ซึ่งมีสมมติฐาน 3 ข้อ คือ ค่าส่วนตกค้าง จะต้องมีการกระจายตัวแบบปกติและเป็นอิสระด้วยค่าเฉลี่ย 0 และความแปรปรวนไม่ทราบค่า σ^2 ที่เป็นค่าคงตัว (Stability) ดังนั้นเมื่อได้ผลการทดลองดังที่ได้ออกแบบการทดลองไว้เบื้องต้นแล้ว จึงจะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทุกครั้งสำหรับค่าส่วนตกค้าง เพราะบางครั้งอาจมีผลของความแปรปรวนที่มีค่าไม่คงตัวในกรณีที่ข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติทำให้เกิดผลกระทบต่อแบบจำลอง จนนำไปสู่การตัดสินใจที่ผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงมีการนำเทคนิคของการแปลงความแปรปรวนให้คงที่ (Variance Stabilizing

Transformation) โดยใช้วิธีการแปลงค่าด้วย ล็อค (Log Transformation) ดังสมการที่ 4.2 เพราะวิธีการแปลงข้อมูลประเภทนี้จะมีประสิทธิภาพมากที่จะทำให้ความแปรผันในการแจกแจงของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น (Douglas, 2009) ส่วนค่าเฉลี่ยสามารถนำมาวิเคราะห์ผลได้เลย โดยไม่ต้องมีการแปลงข้อมูล

5.3.5 ผลการทดลองคัดเลือกปัจจัยเบื้องต้นที่มีผลต่อค่าแทร็คสุดท้าย

สำหรับการทดลองนี้ จะใช้แบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล 2_{VI}^{6-1} (1/2 fractional factorial) มีการทดลองซ้ำ 3 ครั้งต่อการทดลอง โดยในการเตรียมการทดลองจะต้องมีการอบรมพนักงานสำหรับวิธีการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง มีควบคุมตัวแปรต่างๆ ที่อาจส่งผลทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน เช่น ชนิดของวัตถุดิบ การปรับตั้งเครื่องจักรบางประเภท และพยายามทำการทดลองทั้งหมดให้เสร็จสิ้นภายในเวลาเดียวกัน ซึ่งผลการทดลองสามารถแสดงดังตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 ผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแทร็คสุดท้าย (Track Maximum)

Std Order	Run Order	Center Pt	Blocks	A	B	C	D	E	F	$\bar{y}$	s	ln s
5	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	182568	313	5.745
32	2	1	1	1	1	1	1	1	1	184333	212	5.358
33	3	0	1	0	0	0	0	0	0	183362	310	5.738
29	4	1	1	-1	-1	1	1	1	1	182356	291	5.673
10	5	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	182919	261	5.566
23	6	1	1	-1	1	1	-1	1	1	183868	226	5.420
15	7	1	1	-1	1	1	1	-1	1	183536	436	6.078
8	8	1	1	1	1	1	-1	-1	1	184196	494	6.202
28	9	1	1	1	1	-1	1	1	-1	185539	367	5.905
20	10	1	1	1	1	-1	-1	1	1	183864	102	4.622
26	11	1	1	1	-1	-1	1	1	1	182993	474	6.160
19	12	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	184354	291	5.672
6	13	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	183088	161	5.080
31	14	1	1	-1	1	1	1	1	-1	185032	442	6.091
12	15	1	1	1	1	-1	1	-1	1	184078	385	5.953
3	16	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	183912	585	6.371

ตารางที่ 5.8 ผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแทร็คสุดท้าย (ต่อ)

Std Order	Run Order	Center Pt	Blocks	A	B	C	D	E	F	$\bar{y}$	s	ln s
11	17	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	184661	330	5.799
27	18	1	1	-1	1	-1	1	1	1	183993	238	5.473
25	19	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	182716	221	5.397
1	20	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	183001	315	5.752
24	21	1	1	1	1	1	-1	1	-1	185033	436	6.078
2	22	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	182750	135	4.908
7	23	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	184967	474	6.160
30	24	1	1	1	-1	1	1	1	-1	183466	230	5.440
17	25	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	182156	380	5.940
18	26	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	183378	345	5.845
21	27	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	182069	208	5.339
9	28	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	183116	397	5.985
14	29	1	1	1	-1	1	1	-1	1	182014	430	6.064
22	30	1	1	1	-1	1	-1	1	1	182595	475	6.163
16	31	1	1	1	1	1	1	-1	-1	184673	452	6.115
13	32	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	182743	280	5.634
4	33	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	185018	554	6.317

หมายเหตุ

$\bar{y}$ คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนอง แทร็คสุดท้ายจากการทดลองในแต่ละทรีทเมนต์

s คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรตอบสนอง แทร็คสุดท้ายในแต่ละทรีทเมนต์

ln s คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า แทร็คสุดท้ายที่ผ่านการแปลง โดยสมการ $y^* = \ln s$

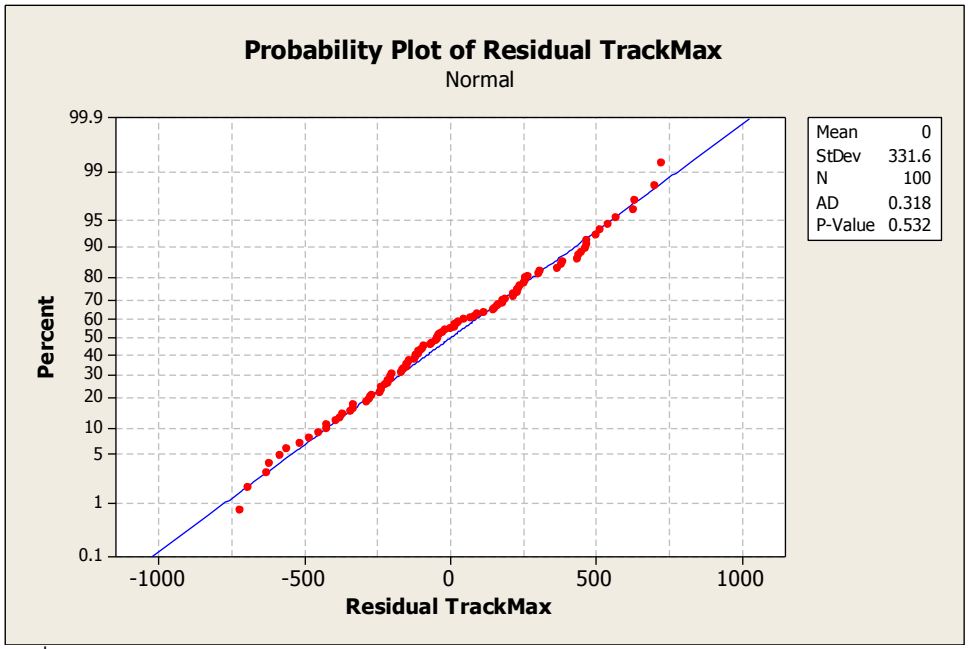
เมื่อเก็บข้อมูลตามสภาวะต่างๆ ที่ได้ทำการออกแบบการทดลองไว้แล้ว จึงมีการวิเคราะห์ผลโดยใช้หลักทางสถิติดังนี้

- **การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง** (Model Adequacy Checking)

ในการคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรตอบสนอง “ค่าแทร็คสุดท้าย”โดยในเบื้องต้นก่อนที่นำข้อสรุปของการวิเคราะห์ความแปรปรวนไปใช้งาน จะต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) โดยพิจารณาจากส่วนตกค้างของข้อมูลว่าเป็นไปตามสมมติฐาน $\varepsilon_{ij} \sim NID\ (0,\sigma^2)$ดังต่อไปนี้

1. การทดสอบการแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของแทร็คสุดท้าย (Normal Plot of Residuals)

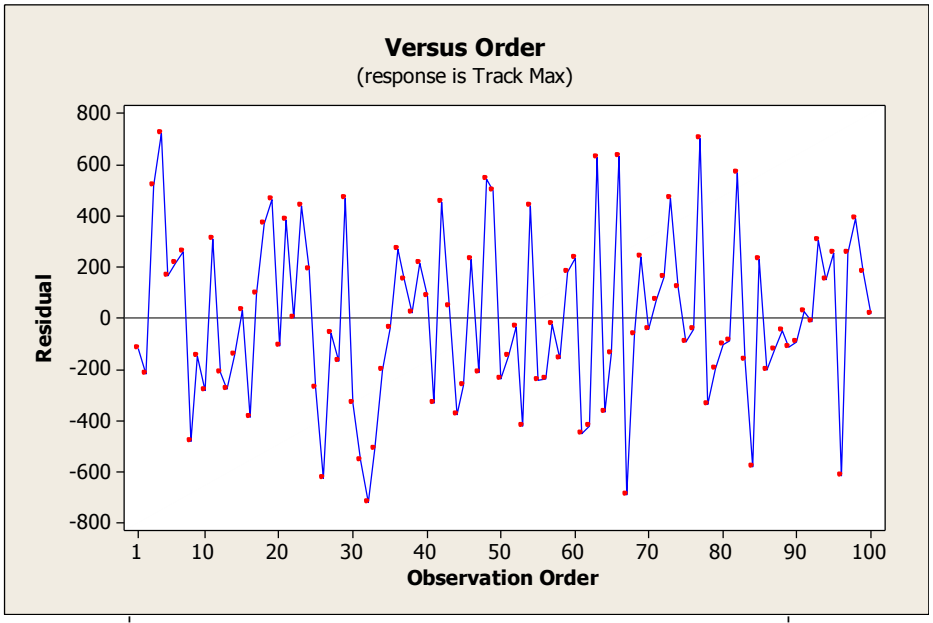
การวิเคราะห์การกระจายตัวของส่วนตกค้างของค่าแทร็คสุดท้ายว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่นั้น สามารถทำได้โดยการนำส่วนตกค้างทั้งหมดมาพล็อต Normal Probability Plot ซึ่งเป็นการทดสอบที่สามารถทำได้ง่าย ถ้าข้อมูลส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ ก็จะทำให้การเรียงตัวของส่วนตกค้างกระจายตัวอยู่รอบๆ เส้นตรง และจากการทดสอบการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Normality Test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้วิธีการทางสถิติพบว่า ค่า P-Value จากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.532 ดังรูปที่ 5.7 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ยอมรับสมมติฐานหลักว่า ข้อมูลส่วนตกค้างของแทร็คสุดท้ายมีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 5.7 ผลการทดสอบสมมติฐานการแจกแจงแบบปกติของส่วนตกค้างแทร็คสุดท้าย

2. การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระของส่วนตกค้างของแทร็คสุดท้าย (Independence of Residual)

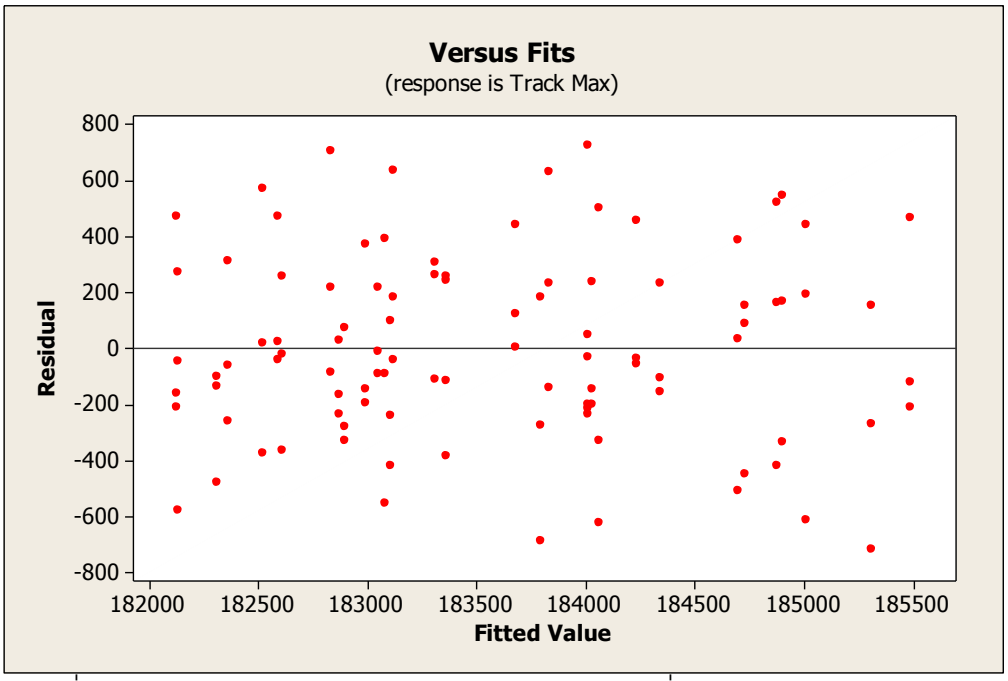
ในการตรวจสอบความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง ทำพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและเวลาในการเก็บข้อมูลโดยอาศัยวิธีการพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ของส่วนตกค้างตามลำดับเวลา พบว่าข้อมูลส่วนตกค้างของแทร็คสุดท้ายมีการกระจายตัวอยู่ทั้งด้านบวกและด้านลบในรูปแบบที่เป็นอิสระต่อกัน ไม่มีรูปแบบที่แน่นอนดังรูปที่ 5.8 จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลส่วนตกค้างของแทร็คสุดท้ายมีความเป็นอิสระ



รูปที่ 5.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างของค่าแทร็คเริ่มต้นตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล

3. การทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนของแทร็คสุดท้าย (Variance Stability)

การทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนสามารถทำได้โดยการพล็อตกราฟส่วนตกค้างของแทร็คสุดท้ายกับค่าที่ถูกฟิต (Residual vs Fits) ดังรูปที่ 5.9 จะพบว่าการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างจะไม่มีรูปร่างที่แน่นอน หรือ เป็นรูปแบบของกรวยปากเปิด ซึ่งทำให้สามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลส่วนตกค้างของค่าแทร็คสุดท้าย มีความแปรปรวนที่มีค่าคงที่



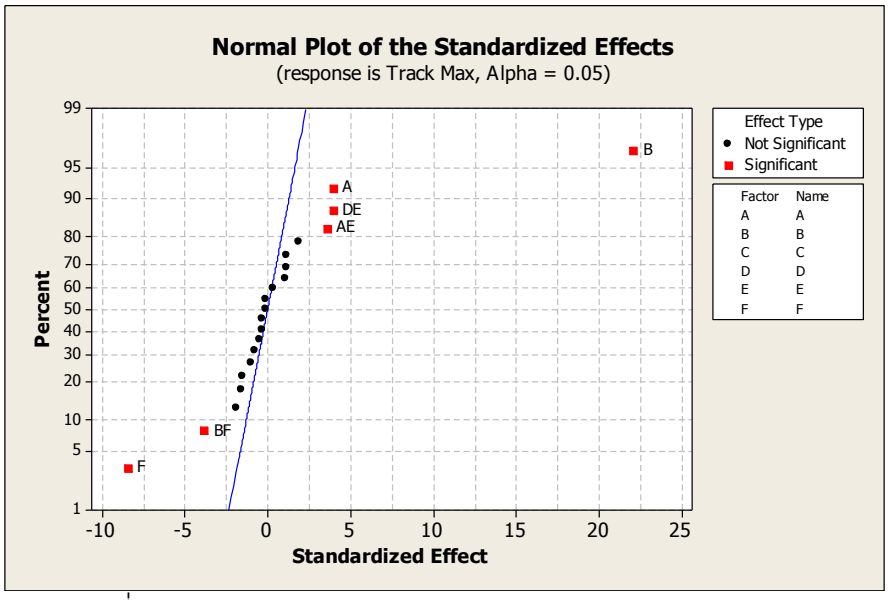
รูปที่ 5.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตของค่าแทร็คสุดท้าย

ดังนั้นจากการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองตาม สมมติฐาน $\varepsilon_{ij} \sim NID\ (0,\sigma^2)$ สามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเหมาะสมและตรงตามสมมติฐานทั้ง 3 ข้อ คือ ส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติ ข้อมูลมีความเป็นอิสระซึ่งกันและกัน และ ความแปรปรวนของส่วนตกค้างมีค่าคงที่ ดังนั้นจึงสามารถใช้ข้อมูลเหล่านี้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนได้และมีความน่าเชื่อถือ

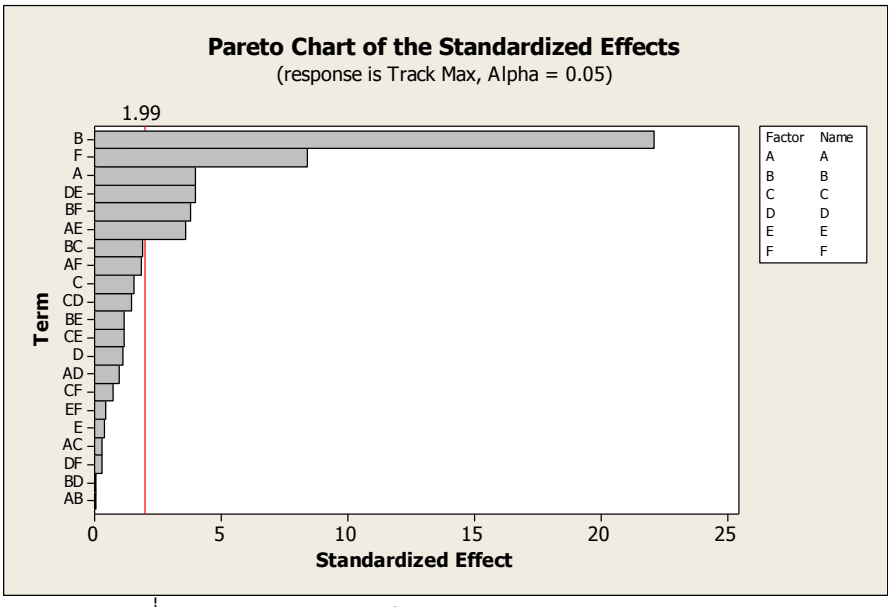
- **การวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนองแทร็คสุดท้าย**

1. ข้อมูลค่าเฉลี่ยของค่าแทร็คสุดท้าย(Mean of Track Maximum)

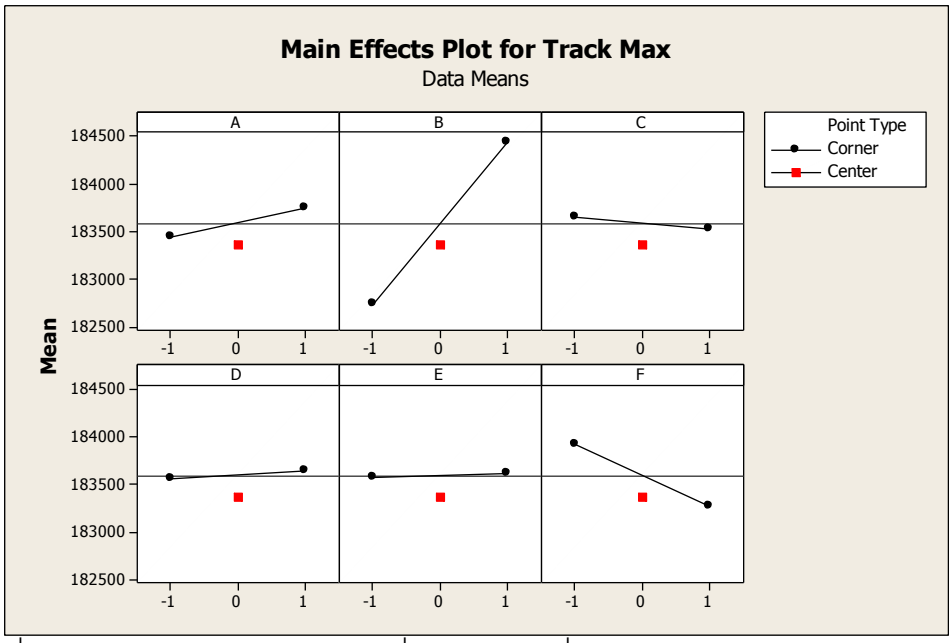
จากการเก็บผลการทดลองเพื่อทำการคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คสุดท้ายเพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับเป้าหมายมากที่สุดโดยจะทำการวิเคราะห์โดยใช้กราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าประมาณของผล (Normal Plot of the Standardized Effect) ดังรูปที่ 5.10



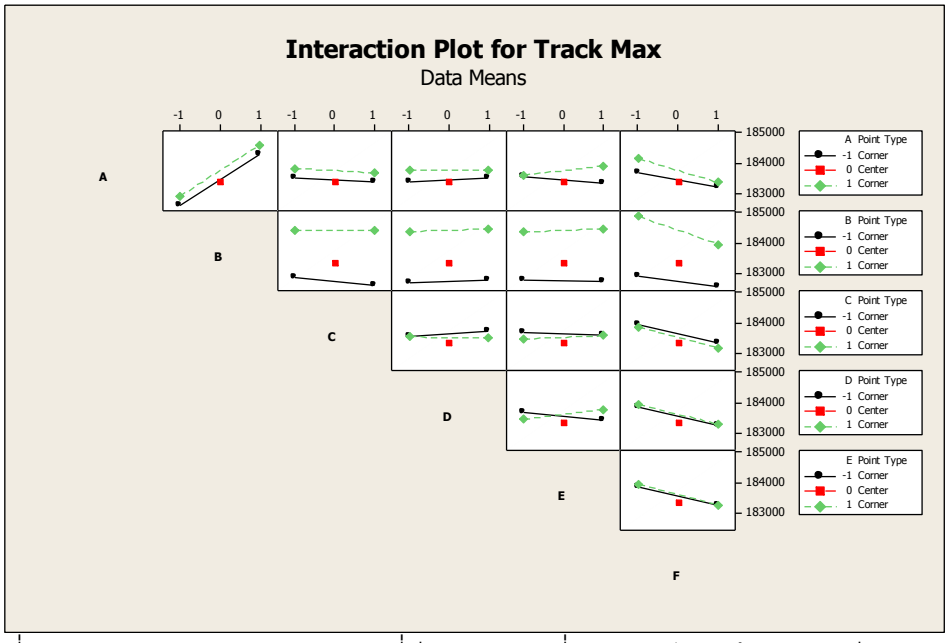
รูปที่ 5.10 กราฟ Normal Plot ผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยา
ที่มีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คสุดท้าย



รูปที่ 5.11 แผนภาพพาเรโตแสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยา
ที่มีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คสุดท้าย



รูปที่ 5.12 ปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คสุดท้ายอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 5.13 อันตรกิริยา (Interaction) ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คสุดท้ายอย่างมีนัยสำคัญ

Factorial Fit: Track Max versus A, B, C, D, E, F

Estimated Effects and Coefficients for Track Max (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		183593	38.38	4783.67	0.000
A	306	153	38.38	3.98	0.000
B	1695	848	38.38	22.09	0.000
C	-119	-60	38.38	-1.55	0.124
D	84	42	38.38	1.10	0.275
E	31	16	38.38	0.41	0.683
F	-645	-323	38.38	-8.41	0.000
A*B	-4	-2	38.38	-0.05	0.957
A*C	-23	-12	38.38	-0.30	0.763
A*D	-73	-36	38.38	-0.95	0.346
A*E	277	138	38.38	3.60	0.001
A*F	-141	-70	38.38	-1.84	0.070
B*C	147	73	38.38	1.91	0.060
B*D	-5	-3	38.38	-0.07	0.946
B*E	90	45	38.38	1.17	0.244
B*F	-292	-146	38.38	-3.80	0.000
C*D	-113	-57	38.38	-1.48	0.144
C*E	89	45	38.38	1.16	0.249
C*F	-55	-28	38.38	-0.72	0.475
D*E	304	152	38.38	3.97	0.000
D*F	-21	-10	38.38	-0.27	0.788
E*F	-33	-16	38.38	-0.43	0.669
Ct Pt		-232	191.90	-1.21	0.231

S = 376.037 PRESS = 18352546
R-Sq = 89.21% R-Sq(pred) = 81.81% R-Sq(adj) = 86.13%

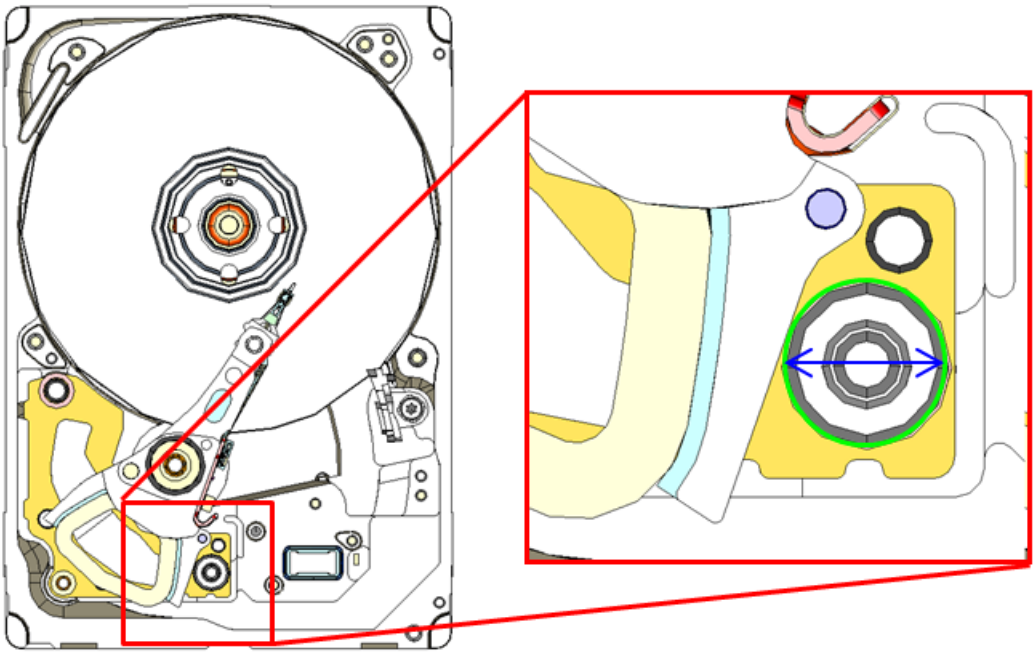
Analysis of Variance for Track Max (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	6	81768319	81768319	13628053	104.85	0.000
2-Way Interactions	15	8038997	8038997	535933	4.12	0.000
3-Way Interactions	10	2179292	2179292	217929	1.68	0.105
Curvature	1	206128	206128	206128	1.59	0.212
Residual Error	67	8708799	8708799	129982		
Pure Error	67	8708799	8708799	129982		
Total	99	100901535				

รูปที่ 5.14 ผลการวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของค่าแทร็คสุดท้าย

ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab เพื่อคัดเลือกหาปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คสุดท้าย โดยพิจารณาจากกราฟ Normal Plotof Effects ดังรูปที่ 5.10 หรือ Pareto Chart of Effects ดังรูปที่ 5.11 พบว่าเป็นผลมาจากอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย AE , DE และ BF ที่มีนัยสำคัญ โดยผลของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย A และปัจจัย E จะเกิดขึ้นเมื่อระดับปัจจัย A เป็นลบ การเพิ่มระดับปัจจัย E จะทำให้ค่าเฉลี่ยของแทร็คสุดท้ายมีค่าลดลง แต่ในทางตรงกันข้ามเมื่อระดับปัจจัย A เป็นบวก การเพิ่มระดับปัจจัย E จะทำให้ค่าเฉลี่ยของแทร็คสุดท้ายมีค่าเพิ่มขึ้น วิศวกรโรงงานอธิบายว่า จากรูปที่ 5.30 เมื่อยาง IDCS มีความยืดหยุ่นสูง ไม่ว่าขนาดเส้นผ่าน

ศูนย์กลางของ IDCS จะมีค่าต่างกันก็ตามแต่ค่าแทร็คสุดท้ายมีค่าต่างกันเพียง 29 แทร็คเท่านั้น เพราะยาง IDCS มีความยืดหยุ่นสูงจึงทำให้หัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟสามารถเคลื่อนที่เข้าไปบริเวณพื้นที่ของแผ่นจานบันทึกแม่เหล็กได้ในตำแหน่งใกล้เคียงกัน แต่เมื่อมีการเปลี่ยนความยืดหยุ่นของยาง IDCS ให้มีค่าสูงขึ้น การกำหนดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของ IDCS ที่ระดับสูง จะทำให้ได้ค่าแทร็คสุดท้ายสูงกว่า ที่ระดับต่ำเท่ากับ 582 แทร็ค

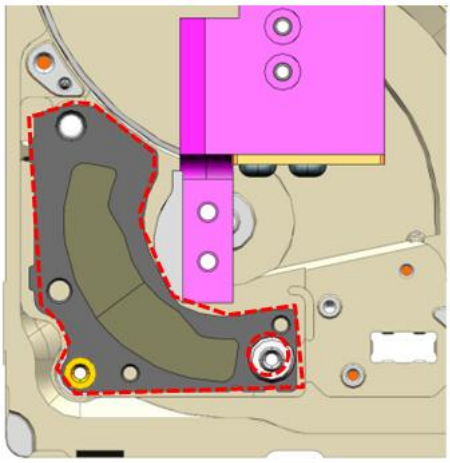


รูปที่ 5.15 ปัจจัย A ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ IDCS
ซึ่งมีผลต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คสุดท้าย

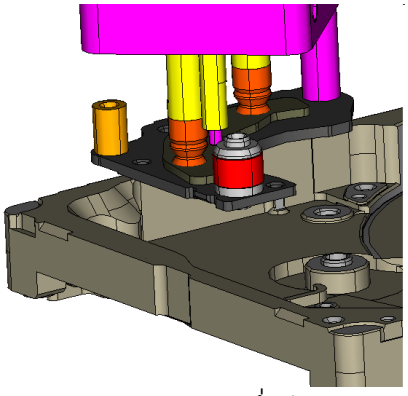
ผลของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย D และปัจจัย E เกิดขึ้นเมื่อระดับปัจจัย D เป็นลบ การเพิ่มระดับปัจจัย E ส่งผลทำให้ค่าแทร็คสุดท้ายมีค่าลดลง แต่ในทางตรงข้ามเมื่อระดับปัจจัย D มีค่าเป็นบวก การเพิ่มระดับปัจจัย E กลับส่งผลทำให้แทร็ค สุดท้ายมีค่าเพิ่มขึ้น วิศวกรโรงงานได้อธิบายว่า ตัวแปรตอบสนองแทร็คสุดท้ายจะมีค่าเฉลี่ยสูงใน 2 สภาวะ คือ เมื่อปัจจัย E หรือ ความยืดหยุ่นของยางมีค่ามาก ทำให้หัวอ่านเขียนสามารถเคลื่อนที่เข้าไปในบริเวณแผ่นจานบันทึกข้อมูลได้ในบริเวณกว้างประกอบกับค่าทอร์กสำหรับการไขสกรูบนฝาครอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมีค่าต่ำจึงไม่เกิดแรงบิดตัวของตำแหน่ง IDCS ส่วนอีกสภาวะหนึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อความยืดหยุ่นของยางมีค่าต่ำหรือแข็ง แต่มีผลจากค่าทอร์กซึ่งมีค่าสูง จึงทำให้เกิดแรงบิดดันส่วนของ IDCS ให้เคลื่อนที่ออกจากจุดศูนย์กลางของแผ่นจานบันทึกข้อมูล จึงทำให้หัวอ่านเขียนสามารถเคลื่อนที่เข้าไปยังบริเวณเส้นผ่านศูนย์กลางภายในได้มากยิ่งขึ้น

ส่วนผลของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย B และปัจจัยF ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คสุดท้ายอย่างมีนัยสำคัญแม้ว่ารูปที่ 5.13 อันตรกิริยาของเส้นตรงทั้งสองเส้นจะไม่ตัดกันอย่างชัดเจน กล่าวคือ เมื่อระดับปัจจัย B มีค่าเป็นบวก การเพิ่มระดับปัจจัย F จะส่งผลทำให้แทร็คสุดท้ายมีค่าลดลงเฉลี่ย 938 แทร็ค แต่เมื่อระดับปัจจัย B มีค่าเป็นลบ การเพิ่มระดับปัจจัย F จะส่งผลทำค่าแทร็คสุดท้ายลดลงเช่นกัน แต่ลดลงในสัดส่วนที่น้อยกว่าเพียงแค่ 353 แทร็คเท่านั้น วิศวกรโรงงานได้อธิบายว่า ปัจจัยหลัก B หรือ ระดับค่า Pressure hold ซึ่งในกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจะมีตัวก้าน Holder เพื่อทำการดัน LVCM ให้อยู่ตำแหน่งที่นิ่งก่อนจะทำการไขสกรู ดังรูปที่ 5.16 ส่วนปัจจัย F หรือ ระยะในการปล่อย LVCM จะถูกกำหนดค่าไว้ที่แขนหุ่นยนต์ซึ่งมีหัวจับชิ้นงานดังรูปที่ 5.17 ถ้ามีการปรับระยะความสูงของการวาง LVCM ที่สูงเกินไปทำให้ตำแหน่งของ LVCM เกิดการเอียงได้ดังเส้นประสีแดง รูปที่ 5.16 ประกอบกับการการใช้ Pressure hole ที่ระดับต่ำทำให้ไม่สามารถช่วยผลัก LVCM ไปยังตำแหน่งที่ถูกต้องได้ จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของแทร็คสุดท้ายมีค่าต่ำกว่าการใช้ค่า Pressurehold ที่ระดับสูง

นอกจากนี้เมื่อมีการทดลองโดยการเพิ่มจุดศูนย์กลางของแต่ละระดับปัจจัยเข้าไปเพื่อพิจารณาถึงลักษณะของพื้นผิวโค้ง (Curvature) ที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนองแทร็คสุดท้าย จากผลการทดลองพบว่า ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ไม่มีลักษณะของผิวโค้งเกิดขึ้นกับแบบจำลองของตัวแปรตอบสนองค่าเฉลี่ยของแทร็คสุดท้ายโดยพิจารณาจากค่า P-Value ของการทดสอบผลของผิวโค้ง (Curvature) มีค่าเท่ากับ 0.212 ดังนั้นในขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพจึงสามารถพิจารณาหาค่าที่เหมาะสมจากการทดลองข้างต้นได้เพื่อหาค่าที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของแทร็คสุดท้ายมีค่ามากที่สุด



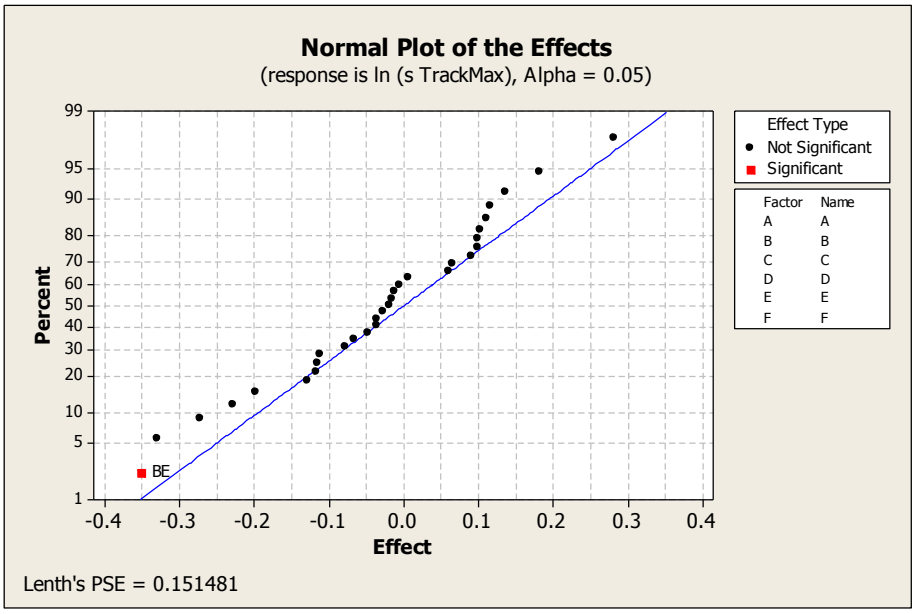
รูปที่ 5.16 ปัจจัย B ค่า Pressure hold ซึ่งส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คสุดท้าย



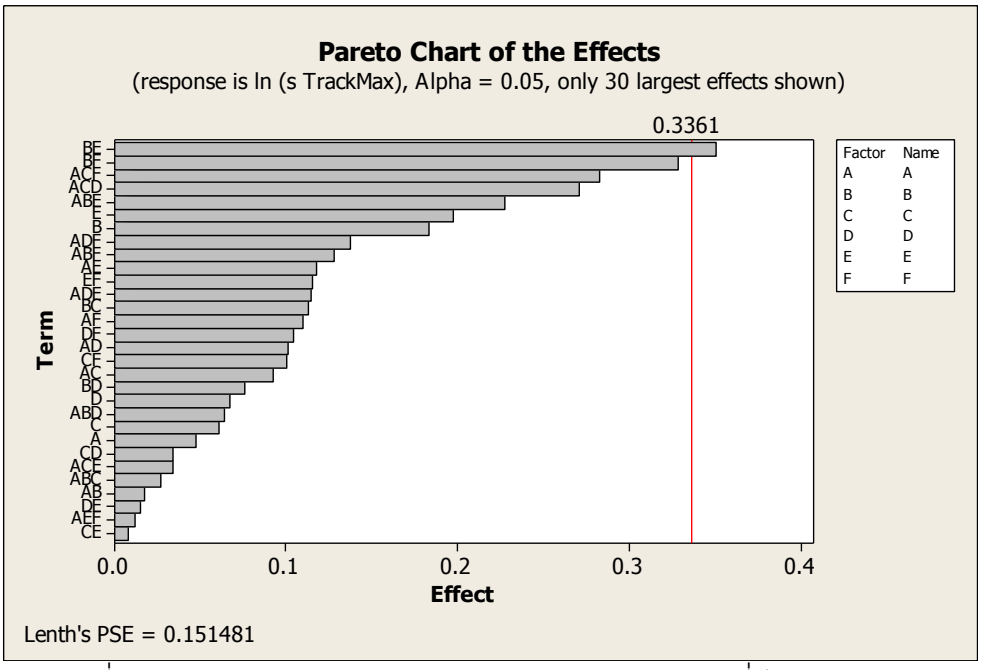
รูปที่ 5.17 ปัจจัย F ระยะในการปล่อย LVCM ซึ่งมีผลต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คสุดท้าย

2. ข้อมูลส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าแทร็คสุดท้าย (Sigma of Track Maximum)

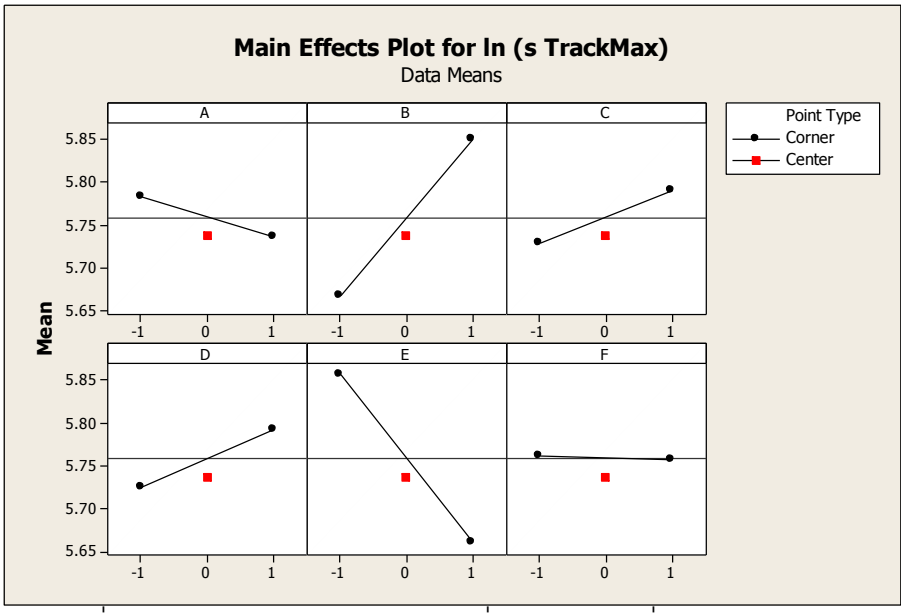
สำหรับการทดลองในแต่ละทรีทเมนต์ จะมีการทำซ้ำ 3 ตัวอย่างการทดลองซึ่งจะทำให้สามารถนำค่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมาวิเคราะห์ถึงปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญได้ แต่เนื่องจากคุณสมบัติด้านความมีเสถียรภาพของส่วนตกค้างจึงต้องมีการแปลงค่าตัวแปรตอบสนองในรูปของลอการิทึมก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ Minitab ซึ่งแสดงผลในรูปของกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าประมาณของผล (Normal Plot of the Standardized Effect) ดังรูปที่ 5.18



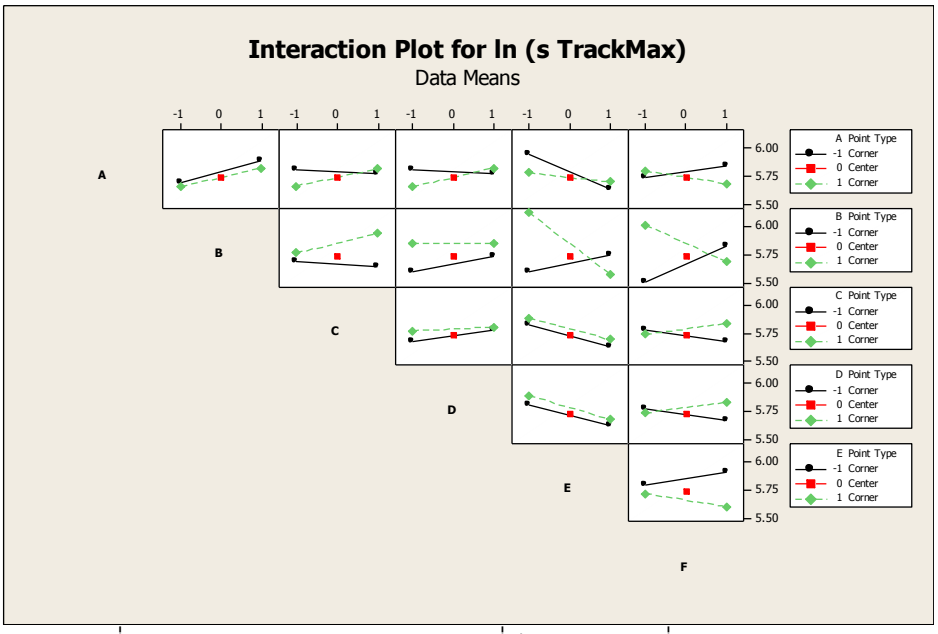
รูปที่ 5.18 กราฟ Normal Plot ผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแทร็คสุดท้าย



รูปที่ 5.19 แผนภาพพาเรโตแสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแทร็คสุดท้าย



รูปที่ 5.20 ปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีผลต่อส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแทร็คสุดท้ายอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 5.21 อันตรกิริยา (Interaction) ที่มีผลต่อส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของแทร็คสุดท้ายอย่างมีนัยสำคัญ

Factorial Fit: ln (s TrackMax) versus A, B, C, D, E, F

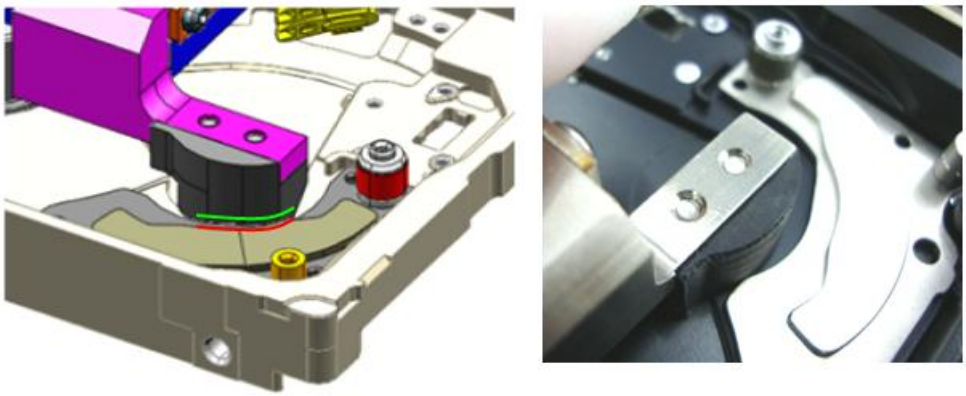
Estimated Effects and Coefficients for ln (s TrackMax) (coded units)

Term	Effect	Coef	Sum of Square	Percent Contribution
Constant		5.7595		
A	-0.0472	-0.0236	0.66150	0.3319
B	0.1827	0.0914	0.26709	4.9777
C	0.0609	0.0305	0.02967	0.5530
D	0.0672	0.0336	0.03617	0.6741
E	-0.1970	-0.0985	0.31059	5.7884
F	-0.0046	-0.0023	0.00017	0.0032
A*B	-0.0173	-0.0087	0.00240	0.0447
A*C	0.0920	0.0460	0.06765	1.2608
A*D	0.1010	0.0505	0.08159	1.5206
A*E	0.1177	0.0589	0.11092	2.0672
A*F	-0.1098	-0.0549	0.09644	1.7973
B*C	0.1129	0.0565	0.10199	1.9008
B*D	-0.0760	-0.0380	0.04627	0.8623
B*E	-0.3499	-0.1750	0.97955	18.2558
B*F	-0.3278	-0.1639	0.85938	16.0162
C*D	-0.0342	-0.0171	0.00936	0.1744
C*E	0.0076	0.0038	0.00047	0.0088
C*F	0.1003	0.0502	0.08050	1.5003
D*E	-0.0149	-0.0074	0.00177	0.0330
D*F	0.1044	0.0522	0.08713	1.6238
E*F	-0.1151	-0.0576	0.10606	1.9766
A*B*C	-0.0269	-0.0135	0.00580	0.1081
A*B*D	-0.0642	-0.0321	0.03294	0.6139
A*B*E	-0.2270	-0.1135	0.41209	7.6801
A*B*F	-0.1276	-0.0638	0.13033	2.4290
A*C*D	-0.2708	-0.1354	0.58667	10.9337
A*C*E	-0.0339	-0.0169	0.00917	0.1709
A*C*F	0.2825	0.1413	0.63849	11.8995
A*D*E	-0.1145	-0.0572	0.10483	1.9537
A*D*F	0.1373	0.0687	0.15081	2.8106
A*E*F	-0.0118	-0.0059	0.00111	0.0207
Ct Pt		-0.0220	0.00047	0.0088
Total			5.36569	100.0000

รูปที่ 5.22 ผลการวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแทร็คสุดท้าย

หลังจากทำการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ เพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแทร็คสุดท้าย พบว่า ไม่สามารถทำการประมาณค่าความผิดพลาดได้ (Degrees of freedom of error = 0) ทำให้ไม่สามารถคำนวณหาค่า P-Value ได้ อันเนื่องมาจากผลของการออกแบบการทดลองที่มีผลของการกระจายตัวและไม่มีการทดลองซ้ำ (Location and Dispersion Effects in an Unreplicated Factorial) ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลการทดลองจึงต้องพิจารณาผลของปัจจัย (Effects) จากกราฟ Normal Plotof Effects หรือ Pareto Chart of Effects ดังรูปที่ 5.18 และ 5.19 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง ln (s) ของแทร็คสุดท้ายอย่างมีนัยสำคัญ คือ ผลของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย B ระดับของค่า Pressure Hold และ ปัจจัย E ความยืดหยุ่นของยาง IDCS โดยที่ระดับปัจจัย B เป็นบวก การปรับค่าระดับปัจจัย E ให้เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลทำให้เกิดความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้ายมีค่าน้อย แต่ในทางตรงกันข้าม ที่ระดับปัจจัย B เป็นลบ การปรับค่าระดับปัจจัย E ให้เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลทำให้เกิดความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้ายมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยทางทีมวิศวกรได้ทำการวิเคราะห์ถึงสาเหตุของอัตรกิริยานี้ว่า เมื่อค่า Pressure Hold มีค่ามาก และมีการปรับระดับความยืดหยุ่นของยาง IDCS จากลบไปบวก จะเห็นผลของความแปรปรวนของค่าแทร็คสุดท้ายมีค่าลดลงเนื่องจากเมื่อ Pressure Hold หรือแรงดันที่กดชิ้นงานมีค่ามากทำให้ LVCM อยู่ในตำแหน่งที่นิ่ง ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ในขณะที่ยาง IDCS มีความยืดหยุ่นมากจะทำให้เกิดความผันแปรของตำแหน่งแทร็คสุดท้ายมากด้วย แต่ถ้ายาง IDCS มีความยืดหยุ่นน้อยก็จะช่วยลดความผันแปรที่เกิดขึ้นนี้ได้ อย่างไรก็ตามเมื่อค่า Pressure Hold มีค่าน้อย หรือดันชิ้นงานไว้ไม่แน่นจะทำให้เกิดความไม่แน่นอนของตำแหน่ง LVCM ดังนั้น การปรับค่าความยืดหยุ่นของยาง IDCS ให้น้อยลงจะส่งผลให้ความแปรปรวนของแทร็คสุดท้ายมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอันเนื่องมาจากผลของตำแหน่ง LVCM และความแข็งของยาง IDCS ทำให้หัวอ่านเขียนข้อมูลเคลื่อนที่เข้าชนขอบยางและเกิดการถอยหลังกลับ (backward) ซึ่งเป็นสาเหตุของความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้าย

ส่วนการทดลองที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางเพื่อทดสอบลักษณะของพื้นผิวโค้งที่เกิดขึ้นกับแบบจำลองของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าแทร็คสุดท้ายพบว่า ค่าผลรวมกำลังสองของการทดสอบพื้นผิวโค้ง (Curvature) มีค่าเพียง 0.0088 ดังรูปที่ 5.22 ซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับผลของปัจจัยอื่นๆ หรืออาจกล่าวได้ว่า ไม่มีผลของเส้นโค้งเกิดขึ้นกับแบบจำลองนี้ ดังนั้นในการปรับปรุงคุณภาพในส่วนของผลตอบส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแทร็คสุดท้ายจึงจะทำการเลือกจุดที่ทำให้เกิดความผันแปรของแทร็คสุดท้ายน้อยที่สุด



รูปที่ 5.23 ลักษณะความผันแปรของแทร็คสุดท้ายที่เกิดจากปัจจัย B ระดับค่า Pressure hold

5.3.6 สรุปผลระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

การทดลองเพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าแทร็คสุดท้ายโดยมีปัจจัยนำเข้า 6 ตัวแปร พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คสุดท้ายที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ อันตรกิริยาระหว่างค่า Torque สำหรับไขสกรูฝาครอบ และความยืดหยุ่นของยาง IDCS (DE), อัตรกิริยาระหว่างค่า Pressure hold และ ระยะในการปล่อย LVCM (BF) , อันตรกิริยาระหว่าง ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง IDCS และ ความยืดหยุ่นของยาง IDCS (AE) แต่เมื่อทดสอบการมีลักษณะผิวโค้งของผลตอบกลับพบว่า มีค่า P-Value เท่ากับ 0.212 หรือ สรุปได้ว่า ผลตอบค่าเฉลี่ยของแทร็คสุดท้ายไม่มีลักษณะเป็นผิวโค้ง (Curvature) ในขณะที่ปัจจัยที่ส่งผลต่อส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแทร็คสุดท้าย คือ อิทธิพลของอัตรกิริยาระหว่างปัจจัย B ค่าของ Pressure hold และปัจจัย E ความยืดหยุ่นของยาง IDCS แต่ก็ไม่แสดงอิทธิพลของลักษณะผิวโค้งเช่นกัน ดังนั้นในส่วนของการปรับปรุงคุณภาพจึงสามารถพิจารณาหาจุดที่เหมาะสม (Optimization) ของแต่ละปัจจัยได้โดยใช้ข้อมูลการทดลองข้างต้นโดยมีเป้าหมายเพื่อให้ได้ค่าแทร็คสุดท้ายที่มากที่สุด และค่าความผันแปรของแทร็คสุดท้ายที่น้อยที่สุด

5.4 การดำเนินการวิจัยในระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

จากการทดลองในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยใช้การทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเพิ่มจุดศูนย์กลางทำให้ทราบว่า พบว่า ไม่มีอิทธิพลของผิวโค้ง (Curvature) เกิดขึ้นกับผลตอบสนองดังนั้นในระยะการปรับปรุงกระบวนการของค่าแทร็คสุดท้ายจะทำการยืนยันว่าการทดลองที่ได้ทำไปแล้วนี้ มีการเลือกปัจจัยนำเข้าที่ถูกต้องและส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าแทร็คสุดท้ายด้วยการวิเคราะห์สมการถดถอย ซึ่งมีปัจจัยนำเข้าที่คาดว่าจะมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าแทร็ค สุดท้ายดังตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 ปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าแทร็คสุดท้าย

ลำดับที่	สัญลักษณ์ในตัวแบบถดถอย	ปัจจัย
1	X_A	ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง IDCS
2	X_B	ค่า Pressure hold
3	X_D	ค่า Torque สำหรับการไขสกรูฝาครอบ
4	X_E	ความยืดหยุ่นของยาง IDCS
5	X_F	ระยะในการปล่อย LVCM

5.4.1 ตัวแบบถดถอยในการพยากรณ์ค่าแทร็คสุดท้าย

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี Stepwise Regression แล้วพบว่ามีเพียง 6 พจน์ที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าแทร็คสุดท้าย คือ ปัจจัยหลัก A, B, F และอันตรกิริยาของ DE, BF, AE อย่างไรก็ตามผลของอิทธิพลหลัก D และ E จะถูกนำมารวมในสมการถดถอยด้วยเนื่องจากมีผลของอันตรกิริยา จึงไม่สามารถตัดทิ้งได้ ผลของการวิเคราะห์ด้วยวิธี Stepwise Regression แสดงดังรูปที่ 5.24 และตัวแบบถดถอยแบบเข้ารหัส (Coded Units) แสดงได้ในสมการที่ 6.2

$$Y_{\text{Track Max}} = 183586 + 153X_A + 848X_B + 42X_D + 16X_E - 323X_F + 138X_AX_E - 146X_BX_F + 152X_DX_E \quad (6.2)$$

Stepwise Regression: Mean of TrackMax versus A, B, D, E, F, DE, BF, AE

Alpha-to-Enter: 0.05 Alpha-to-Remove: 0.05

Response is Mean of TrackMax on 8 predictors, with N = 33

Step	1	2	3	4	5	6
Constant	183586	183586	183586	183586	183586	183586
D	42	42	42	42	42	42
T-Value	0.23	0.48	0.64	0.71	0.80	0.94
P-Value	0.816	0.638	0.525	0.486	0.431	0.355
E	16	16	16	16	16	16
T-Value	0.09	0.18	0.24	0.26	0.30	0.35
P-Value	0.931	0.860	0.812	0.794	0.768	0.728
AE	138	138	138	138	138	138
T-Value	0.77	1.56	2.11	2.32	2.63	3.09
P-Value	0.448	0.130	0.044	0.029	0.015	0.005
B		848	848	848	848	848
T-Value		9.56	12.94	14.21	16.10	18.94
P-Value		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
F			-323	-323	-323	-323
T-Value			-4.93	-5.41	-6.13	-7.21
P-Value			0.000	0.000	0.000	0.000
A				153	153	153
T-Value				2.56	2.90	3.41
DE					152	152
T-Value					2.89	3.40
P-Value					0.008	0.002
BF						-146
T-Value						-3.26
P-Value						0.003
S	1018	501	371	337	298	253
R-Sq	2.20	77.08	87.93	90.36	92.78	94.99
R-Sq(adj)	0.00	73.81	85.70	88.14	90.75	93.32
Mallows Cp	443.7	86.8	36.8	27.2	17.6	9.0

รูปที่ 5.24 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อพยากรณ์ผลตอบสนองค่าแทร็คสุดท้าย

5.4.2 **การพิจารณาค่า** R^2(adj)

การพิจารณาความน่าเชื่อถือของตัวแบบถดถอยที่ได้จากการข้อมูลการทดลองเพื่อนำไปใช้ประมาณค่าของผลตอบจะพิจารณาจากเปอร์เซ็นของความผันแปรที่อธิบายได้ โดยคำนึงถึงจำนวนตัวแปรที่มีความจำเป็นในแบบจำลองแล้ว หรือเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ R^2(adj)

ซึ่งจากการวิเคราะห์มีค่าเท่ากับ 93.32% หรือสามารถอธิบายได้ว่า สมการแบบถดถอยนี้มีความน่าเชื่อถือที่จะนำไปพยากรณ์ค่าแทร็คสุดท้ายให้มีความถูกต้องสูงถึง 93.32%

5.4.3 การหาค่าสำหรับการปรับตั้งระดับปัจจัยที่เหมาะสม

ในขั้นตอนนี้จะทำการวิเคราะห์เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของค่าแทร็คสุดท้ายมีค่ามากที่สุด และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าน้อยที่สุด โดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimization ในโปรแกรม Minitab ทำให้ได้ค่าระดับการปรับตั้งของแต่ละปัจจัยดังตารางที่ 5.10 และจากการพยากรณ์หาค่าผลตอบสนองที่ระดับการปรับตั้งปัจจัยที่ระดับนี้โดยใช้ตัวแบบถดถอยที่ลดรูปเหลือเฉพาะปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญ ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของแทร็ค สุดท้าย (y bar) เท่ากับ 185,411 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ผ่านการแปลงค่าด้วย Log Transformation มีค่า 5.6675 หรือเท่ากับ 289 แทร็คทำให้ได้ระดับความพึงพอใจโดยรวม (Composite Desirability) เท่ากับ 87.50%

ตารางที่ 5.10 ระดับการปรับตั้งปัจจัยที่เหมาะสมต่อผลตอบสนองแทร็คสุดท้าย

ลำดับที่	สัญลักษณ์ปัจจัย	ปัจจัย	ระดับปัจจัยที่เหมาะสม	
			Coded Units	Uncoded Units
1	A	ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ IDCS	1	0.229
2	B	กำหนดค่า Pressure hold	1	35
3	D	ค่า Torque สำหรับการไขสกรูฝาครอบ	1	2.5
4	E	ความยืดหยุ่นของยาง IDCS	1	2
5	F	ระยะในการปล่อย LVCM	-1	2

Response Optimization

Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
Mean of Track Maximum	Maximum	183806	185902	185902	1	1
ln(s TrackMaximum)	Minimum	6	6	7	1	1

Global Solution

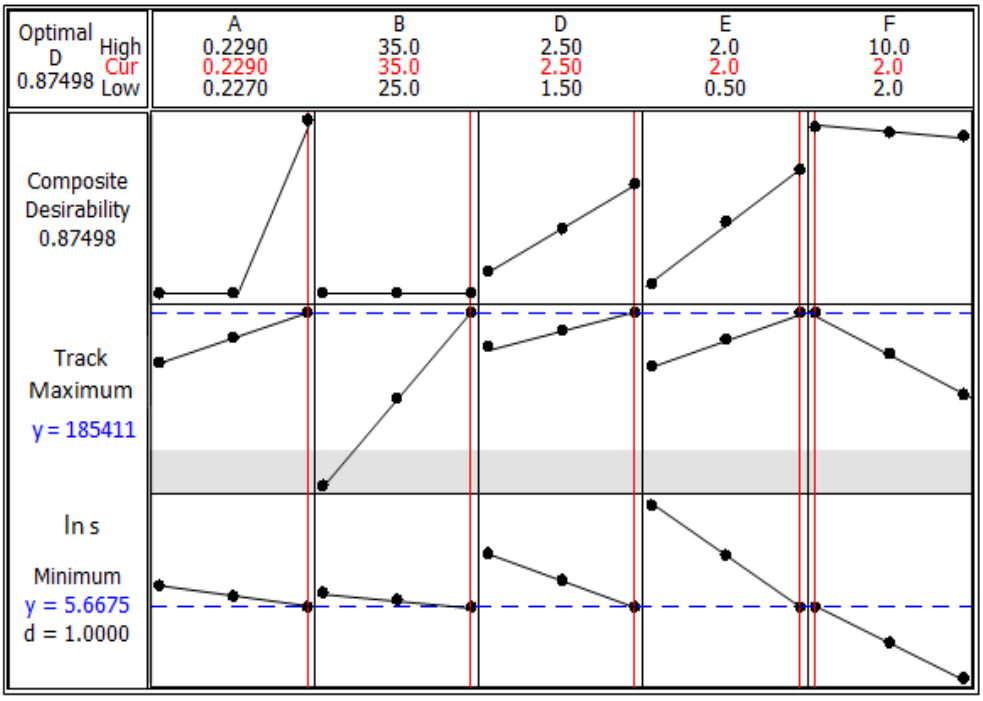
A = 0.229
B = 35
D = 2.5
E = 2
F = 2

Predicted Responses

Mean of Track Maximum = 185411 , desirability = 0.765595
ln(s TrackMaximum) = 5.6675 , desirability = 1.000000

Composite Desirability = 0.874983

รูปที่ 5.25 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาระดับการปรับตั้งปัจจัย
ที่เหมาะสมต่อผลตอบสนองแทร็คสุดท้าย



รูปที่ 5.26 กราฟ Optimization Plot เพื่อปรับตั้งปัจจัยที่เหมาะสมต่อผลตอบสนองแทร็คสุดท้าย

5.4.4 สรุปผลระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการสำหรับค่าแทร็คสุดท้าย

ในขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการสำหรับค่าแทร็คสุดท้าย ได้มีการพิจารณาผลของปัจจัยหลัก และอันตรกิริยา เฉพาะปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ พร้อมกับการวิเคราะห์ตัวแบบถดถอยเพื่อพยากรณ์ค่าผลตอบสนองค่าแทร็คสุดท้าย ดังนั้นจากตัวแบบถดถอย สามารถหาค่าการปรับตั้งระดับปัจจัยที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าแทร็คสุดท้าย คือ ปัจจัย A ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ IDCS มีค่าเท่ากับ 0.229 นิ้ว , ปัจจัย B กำหนดค่า Pressure hold ไว้ที่ 35 เมกะปาสคาล, ปัจจัย D ค่า Torque สำหรับการไขสกรูฝาครอบที่ค่า 2.5 นิ้ว-ปอนด์, ปัจจัย E ความยืดหยุ่นของยาง IDCS ที่ค่า 2 ปอนด์ และ ปัจจัย F ระยะในการปล่อย LVCM ถูกกำหนดไว้ที่ 2 มิลลิเมตร ทำให้ได้ค่าแทร็ค สุดท้ายมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 185,411 แทร็ค และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 289 แทร็ค

5.5 การดำเนินการวิจัยในระยะการติดตามควบคุมสำหรับค่าแทร็คสุดท้าย

ในระยะการควบคุมนี้ เป็นขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพตามแนวทางของซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งหลังจากได้ระดับการปรับตั้งปัจจัยของแต่ละผลตอบสนองที่ทำให้ได้ค่าใกล้เคียงกับเป้าหมายแล้ว จะทำการทดสอบเพื่อยืนยันผล โดยทำการปรับตั้งปัจจัยเหล่านี้ตามค่าที่ได้จากการทดลอง จากนั้นติดตามผลเป็นเวลา 1 เดือนว่า ข้อบกพร่องมีสัดส่วนที่ลดลงหรือไม่ นอกจากนี้ยังต้องมีการจัดทำแผนควบคุม (Control Plan) เพื่อเป็นการตรวจติดตามกระบวนการให้อยู่ในขอบเขตที่ทำการควบคุม และจัดทำแบบฟอร์มรายการตรวจสอบ (Check list) เพื่อติดตามการปรับตั้งระดับปัจจัยต่างๆให้ตรงตามมาตรฐานหลังการดำเนินการปรับปรุงและป้องกันไม่ให้ปัญหาเกิดขึ้นภายหลังได้อีก ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.5.1 การทำการทดลองสำหรับยืนยันผลของค่าแทร็คสุดท้าย

ในการเตรียมการทดลองสำหรับการยืนยันผลจะประกอบด้วยการเตรียมความพร้อมของวัตถุดิบ เครื่องมือวัด การอบรมพนักงาน ตลอดจนวิธีการทดลองที่ถูกต้อง เพื่อให้การทดลองมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงได้กำหนดแผนการทำการทดลองดังนี้

1. วิธีการปรับตั้งระดับของปัจจัยสำหรับค่าระดับปัจจัยที่ได้จากการทดลอง มีทั้งค่าที่เป็นพารามิเตอร์ของแต่ละกระบวนการ และค่าคุณลักษณะของวัตถุดิบ ซึ่งจะมีการปรับตั้งแต่ละระดับปัจจัยและวิธีการตรวจสอบความถูกต้องดังตารางที่ 5.11
2. เริ่มดำเนินการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟโดยเครื่องจักรอัตโนมัติ

3. นำฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ประกอบเรียบร้อยแล้ว ไปเข้าเครื่องทดสอบลักษณะทางกลเพื่อวัดค่าแทร็คสุดท้าย
4. บันทึกค่า และวิเคราะห์ผลการทดลอง

ตารางที่ 5.11 วิธีการปรับตั้งระดับปัจจัยสำหรับการยืนยันผลค่าแทร็คสุดท้าย (เฉพาะปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ)

ประเภท	ปัจจัย	วิธีการควบคุมระดับปัจจัย
กระบวนการไขสกรูฝาครอบ	ค่า ทอร์กสำหรับการไขสกรูฝาครอบ	ค่าทอร์กของ Ramp Screw ถูกควบคุมด้วยแรงต้านและแรงบิด ของมอเตอร์ไฟฟ้าดังนั้นปรับค่าแรงบิดทอร์กที่ 2.5 lbs ทางโปรแกรมสำเร็จรูป จากนั้นตรวจสอบความถูกต้องโดยไขสกรู แล้วนำไปวัดค่าทอร์กโดยเครื่องวัด USTT
กระบวนการวาง LVCM	ค่าระดับ Pressure hold	ปรับค่าระดับ Pressure hold ไปที่ 35 MPa โดยสามารถตรวจสอบค่าด้วยRegulator ซึ่งแสดงตัวเลขค่าความดันของ Pressure hold ในขณะทำงาน
	ระยะในการปล่อย LVCM	ปรับระยะความสูง (Z Axis) แขนของหุ่นยนต์ทางโปรแกรมควบคุม หลังจากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้ Shim Gauge ซึ่งสามารถวัดระยะระหว่างความสูงของ LVCM และตำแหน่งวางได้
วัตถุดิบสำหรับ IDCS	ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ IDCS	เนื่องจากพารามิเตอร์นี้ถูกควบคุมจากซัพพลายเออร์ จึงได้ให้ซัพพลายเออร์ควบคุม ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ IDCS ขนาด 0.229 นิ้ว เพื่อนำมาทดสอบยืนยันผล อย่างไรก็ตามทางทีมงานได้มีการสุ่มชิ้นงานไปวัดค่าด้วย เครื่องวัด CMM ก่อนส่งเข้าสายการผลิตเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง
	ความยืดหยุ่นของยาง IDCS	คุณลักษณะความยืดหยุ่นของยาง IDCSถูกควบคุมจากซัพพลายเออร์ จึงได้ให้ซัพพลายเออร์ควบคุม ความยืดหยุ่นขนาด 2lbs เพื่อนำมาทดสอบยืนยันผล อย่างไรก็ตามทางทีมงานได้มีการสุ่มชิ้นงานไปวัดค่าด้วยเครื่องวัด Force Gauge ก่อนส่งเข้าสายการผลิตเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง

5.5.2 การตรวจติดตามผลโดยใช้แผนภูมิควบคุมสำหรับค่าแทร็คสุดท้าย

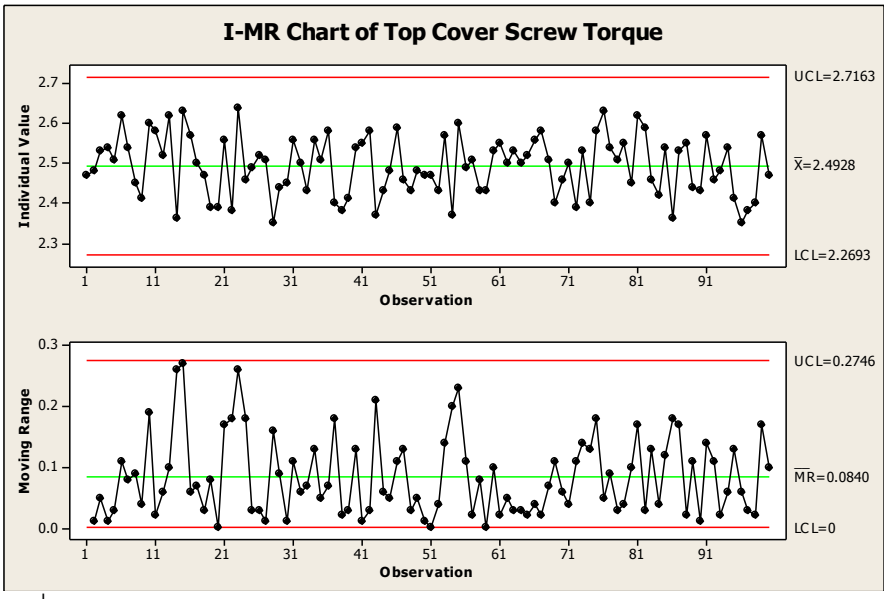
สำหรับระยะการตรวจติดตามผล จะมีการจัดทำแผนควบคุมค่าระดับปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่าแทร็คสุดท้าย ในช่วงเดือนธันวาคม 2555 หลังจากทำการปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อให้มั่นใจว่าค่าพารามิเตอร์เหล่านี้อยู่ในสภาวะภายใต้การควบคุมอันเนื่องมาจาก ในสายการผลิตจริง สภาพแวดล้อม หรือระบบส่งกำลัง เช่น ลม ฝุ่น สิ่งสกปรก ที่อาจอุดตัน ทำให้พารามิเตอร์ที่ทำการควบคุมไม่เป็นไปตามค่าเป้าหมาย ดังนั้นจึงจะต้องมีการใช้เครื่องมือตรวจติดตาม เรียกว่า แผนภูมิควบคุม (Control Chart) ซึ่งมีสมมติฐานว่า ข้อมูลต้องมีการกระจายตัวแบบปกติ (Montgomery,1996) ดังนั้นงานวิจัยต่างๆ จึงได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงข้อมูล (transformation) เพื่อให้เป็นไปตามสมมติฐานของการแผนภูมิควบคุม เช่น การใช้วิธีแปลงข้อมูลแบบ Box – Cox transformation

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เครื่องมือ แผนควบคุม I-MR ในการตรวจติดตามแต่ละกระบวนการ เนื่องจากข้อมูลที่เก็บส่วนใหญ่เป็นค่าการปรับตั้งเครื่องจักรในกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟซึ่งมีลักษณะเป็นข้อมูลเชิงเดี่ยว แต่ต้องวิเคราะห์ความเป็นปกติของกลุ่มข้อมูลก่อน ถ้ากลุ่มข้อมูลไม่ปกติจะต้องประยุกต์ใช้การแปลงข้อมูลแบบ Box Cox เพื่อกำหนดขอบเขตบนและขอบเขตล่างของแผนภูมิ ทำให้สามารถตรวจติดตามความผิดปกติของแต่ละปัจจัย ตามแผนควบคุมดังตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 แผนการควบคุม (Control Plan) สำหรับปัจจัยนำเข้าที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าแทร็คสุดท้าย

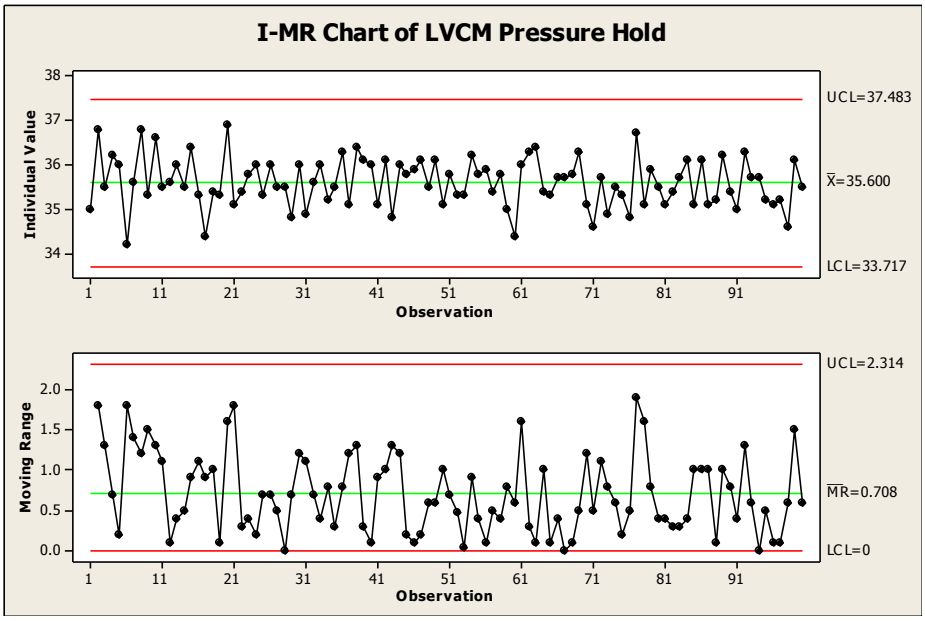
Process	Monitor items	Control Plan				Responsible	Escalation Legend
		Spec.	Trigger	Frequency	Control Method		
กระบวนการไขสกรูฝาครอบ	ค่า ทอร์กสำหรับการไขสกรูฝาครอบ	2.5 in-lbs	+/- 0.15 in-lbs	ทุก 6 ชั่วโมง	แผนภูมิควบคุม I - MR	Maintenance	Stop Build
กระบวนการวาง LVCM	ค่าระดับ Pressure Hold	35 MPa	+/- 3 MPa	ทุก 6 ชั่วโมง	แผนภูมิควบคุม I - MR	Maintenance	Station Shutdown
	ระยะในการปล่อย LVCM	2 mm.	+/- 0.3 mm.	ทุก 6 ชั่วโมง	แผนภูมิควบคุม I - MR	Maintenance	Station Shutdown
วัตถุดิบสำหรับ IDCS	ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ IDCS	0.229 inch	+/- 0.0005 inch	10 ชิ้น/ล็อต	แผนภูมิควบคุม X bar - S	Production/ Supplier	Return to Vender / Corrective Actions
	ความยืดหยุ่นของยาง IDCS	2 lbs	+/- 0.02 lbs	10 ชิ้น/ล็อต	แผนภูมิควบคุม X bar - S	Production/ Supplier	Return to Vender / Corrective Actions
การทดสอบคุณลักษณะทางกล	ค่าแทร็คสุดท้าย	> 182,000 แทร็ค	< 182,700 แทร็ค	5 ชิ้น/กะ	แผนภูมิควบคุม X bar - S	Test Engineer	Station Shutdown and verified root cause

การตรวจติดตามเพื่อควบคุมระดับปัจจัยของ ค่า ทอร์กสำหรับการไขสกรูฝาครอบ (Top Cover Screw Torque) ในกระบวนการไขสกรูฝาครอบ โดยพนักงานผู้ทำการควบคุมเครื่องจักรได้ทำการตรวจสอบและบักทึกค่า ระดับปัจจัย ทุกๆ 6 ชั่วโมง จากนั้นจึงวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิ I –MR แสดงดังรูปที่ 5.27 พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ และ กระบวนการนี้อยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติ กล่าวคือ ไม่มีจุดใดๆ ออกนอกขอบเขตการควบคุม และ ค่าเฉลี่ยของค่า ทอร์กสำหรับการไขสกรูฝาครอบมีค่าเท่ากับ 2.4928 in- lbs ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายที่ได้จากการทดลองคือ 2.50 in-lbs



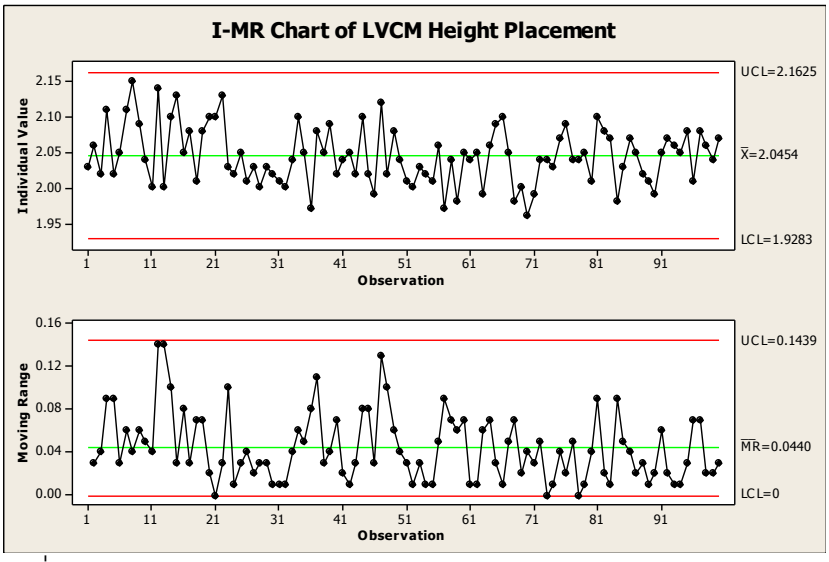
รูปที่ 5.27 แผนภูมิ I-MR แสดงผลการตรวจสอบค่า ทอร์กสำหรับการไขสกรูฝาครอบ (Top Cover Screw Torque)

นอกจากนี้ การตรวจติดตามเพื่อควบคุมค่าระดับ Pressure Hold (LVCM Pressure Hold) สำหรับกระบวนการวางชิ้นงาน LVCM โดยพนักงานผู้ทำการควบคุมเครื่องจักรได้ทำการตรวจสอบและบักทึกค่า ระดับปัจจัย ทุกๆ 6 ชั่วโมง จากนั้นจึงวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิ I –MR แสดงดังรูปที่ 5.28 พบว่า กระบวนการนี้อยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติ กล่าวคือ ไม่มีจุดใดๆ ออกนอกขอบเขตการควบคุม และ ค่าเฉลี่ยของค่า Pressure Hold มีค่าเท่ากับ 35.6 MPa ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายที่ได้จากการทดลองคือ 35 MPa



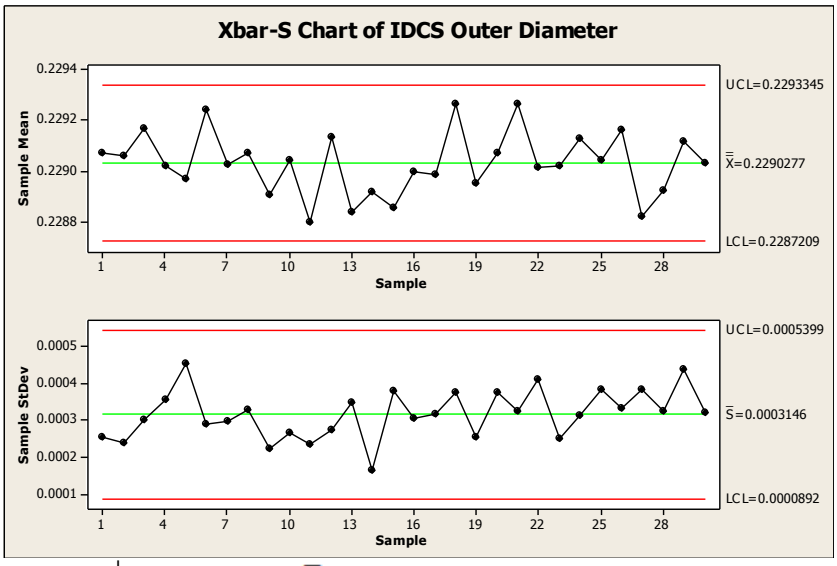
รูปที่ 5.28 แผนภูมิ I-MR แสดงผลการตรวจสอบค่า Pressure Hold (LVCM Pressure Hold)

การตรวจติดตามเพื่อควบคุมระดับปัจจัยของระยะในการปล่อย LVCM (LVCM Height Placement) สำหรับกระบวนการวางชิ้นงาน LVCM โดยพนักงานผู้ทำการควบคุมเครื่องจักรได้ทำการตรวจสอบและบักทึกค่า ระดับปัจจัย ทุกๆ 6 ชั่วโมง จากนั้นจึงวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิ I – MR แสดงดังรูปที่ 5.29 พบว่า กระบวนการนี้อยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติ กล่าวคือ ไม่มีจุดใดๆ ออกนอกขอบเขตการควบคุม และ ค่าเฉลี่ยของระยะในการปล่อย LVCM มีค่าเท่ากับ 2.0454 มิลลิเมตรซึ่งใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายที่ได้จากการทดลองคือ 2.0 มิลลิเมตร



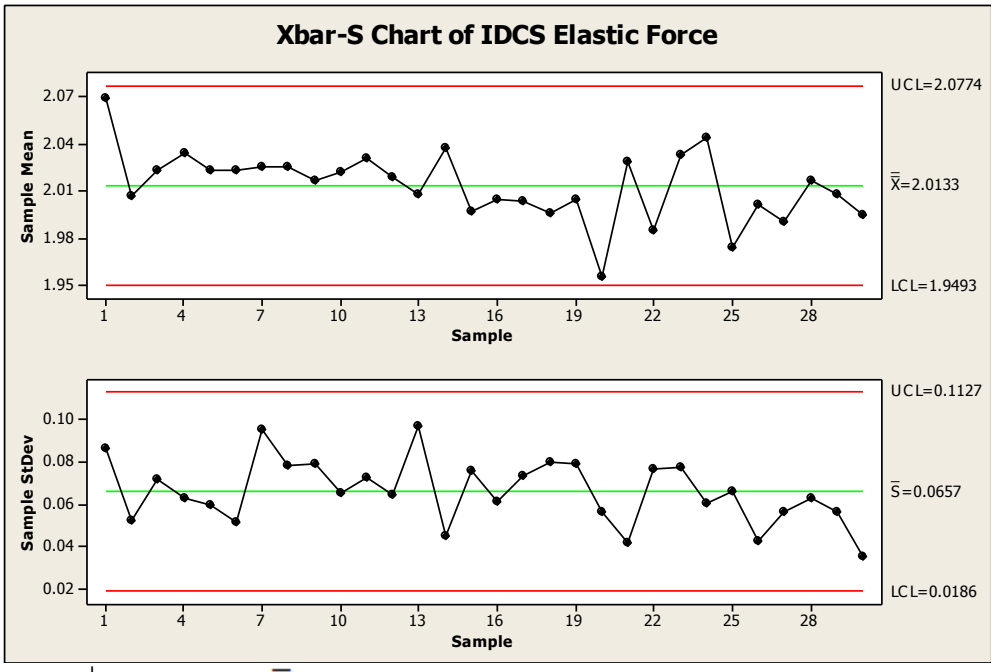
รูปที่ 5.29 แผนภูมิ I-MR แสดงผลการตรวจสอบระยะในการปล่อย LVCM (LVCM Height Placement)

ในส่วนของวัตถุดิบจะทำการสุ่มชิ้นงานในแต่ละลอต จำนวน 10 ชิ้น เพื่อทำการยืนค่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ IDCS (IDCS Outer Diameter) และ ค่า ความยืดหยุ่นของยาง IDCS (IDCS Elastic Force)ว่าอยู่ภายใต้ขอบเขตการควบคุมหรือไม่ จากนั้นจะทำการวิเคราะห์โดยใช้แผนภูมิ $\bar{X} - S$ เนื่องจากข้อมูลที่เก็บมาเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ และมีลักษณะเป็นกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งจะทำให้เห็นการกระจายตัวของข้อมูลภายในกลุ่มด้วย จากรูปที่ 5.30 พบว่า ค่าระดับตัวแปรนี้อยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติ กล่าวคือ ไม่มีจุดใดๆ ออกนอกขอบเขตการควบคุม และค่าเฉลี่ยของค่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ IDCS ของทุกๆ กลุ่มตัวอย่าง $(\bar{\bar{X}})$ มีค่าเท่ากับ 0.22903 นิ้ว ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายที่ได้จากการทดลองคือ 0.229 นิ้ว



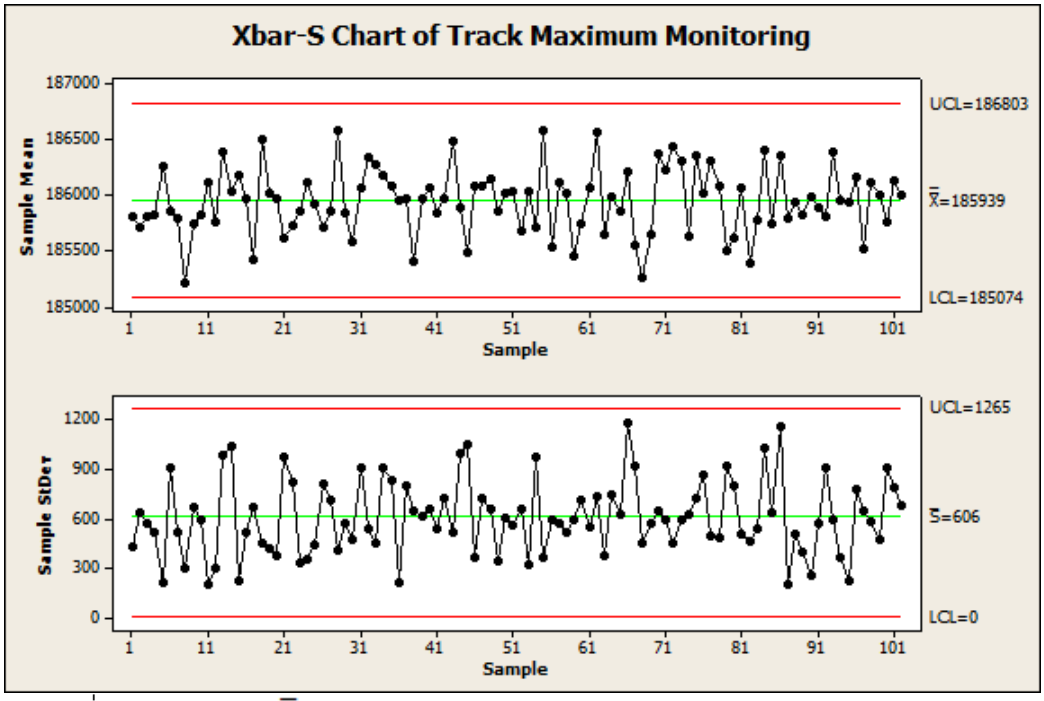
รูปที่ 5.30 แผนภูมิ $\bar{X} - S$ แสดงผลการตรวจสอบขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ IDCS (IDCS Outer Diameter)

ในขณะเดียวกันการตรวจติดตามเพื่อควบคุมระดับปัจจัยของความยืดหยุ่นของยาง IDCS (IDCS Elastic Force) ก็ทำการสุ่มชิ้นงานในแต่ละล็อตๆ ละ 10 ชิ้น แล้วนำไปวัดค่าความยืดหยุ่น จากนั้นจะทำการวิเคราะห์โดยใช้แผนภูมิ $\bar{X} - S$ ดังรูปที่ 5.31 พบว่า ค่าระดับตัวแปรนี้อยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติ กล่าวคือ ไม่มีจุดใดๆ ออกนอกขอบเขตการควบคุม และค่าเฉลี่ยของความยืดหยุ่นของยาง IDCS ของทุกๆ กลุ่มตัวอย่าง $(\bar{\bar{X}})$มีค่าเท่ากับ 2.0133 in-lbs ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายที่ได้จากการทดลองคือ 2.0 in-lbs



รูปที่ 5.31 แผนภูมิ $\bar{X} - S$ แสดงผลการตรวจสอบความยืดหยุ่นของยาง IDCS (IDCS Elastic Force)

นอกจากนี้ การตรวจติดตามเพื่อควบคุมค่าระดับของตัวแปรตอบสนองค่าแทร็คสุดท้ายซึ่งทำการตรวจติดตามด้วยแผนภูมิ X bar – S โดยพนักงานจะทำการสุ่มหยิบชิ้นงานมา 5 ชิ้นต่อกะนำมาทำการตรวจสอบและบักทึกค่า จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ผลดังรูปที่ 5.32 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ และ กระบวนการนี้อยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติ กล่าวคือ ไม่มีจุดใดๆ ออกนอกขอบเขตการควบคุม และ ค่าเฉลี่ยของค่าแทร็คสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 185,939 แทร็ค ซึ่งมีค่าอยู่ภายใต้ขอบเขตข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดไว้อย่างน้อย 182,000 แทร็ค ส่วนค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 606 แทร็ค



รูปที่ 5.32 แผนภูมิ $\bar{X} - S$ แสดงผลการตรวจสอบค่าผลตอบสนองค่าแทร็คสุดท้าย

5.5.3 การวิเคราะห์ผลและการสรุปการทดสอบยืนยันผลการปรับปรุงค่าแทร็คสุดท้าย

สำหรับการทดลองเพื่อทำการยืนยันผลหลังจากการปรับปรุงกระบวนการ จะทำการวิเคราะห์ จากค่าความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis) ของค่าแทร็คสุดท้ายเพื่อเปรียบเทียบก่อนและหลังทำการปรับปรุงกระบวนการ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- **การกำหนดขนาดตัวอย่าง**

หลังจากมีการปรับปรุงกระบวนการโดยการปรับค่าระดับของแต่ละปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองแทร็คเริ่มต้นแล้ว จึงมีการเก็บข้อมูลดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการเบื้องต้นจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 ชิ้นโดยพบว่า ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการเบื้องต้นของตัวแปรตอบสนองแทร็คสุดท้าย มีค่าเท่ากับ 1.96 จากนั้นจึงทำการคำนวณหาค่าขนาดตัวอย่างที่เพียงพอต่อการประเมินดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการในระยะยาว ดังสมการที่ 4.1 ได้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 203 แต่เพื่อให้สะดวกต่อการเก็บข้อมูล จึงใช้ขนาดตัวอย่าง 210 ชิ้น ซึ่งเพียงพอต่อความเชื่อมั่นในการประเมินค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ

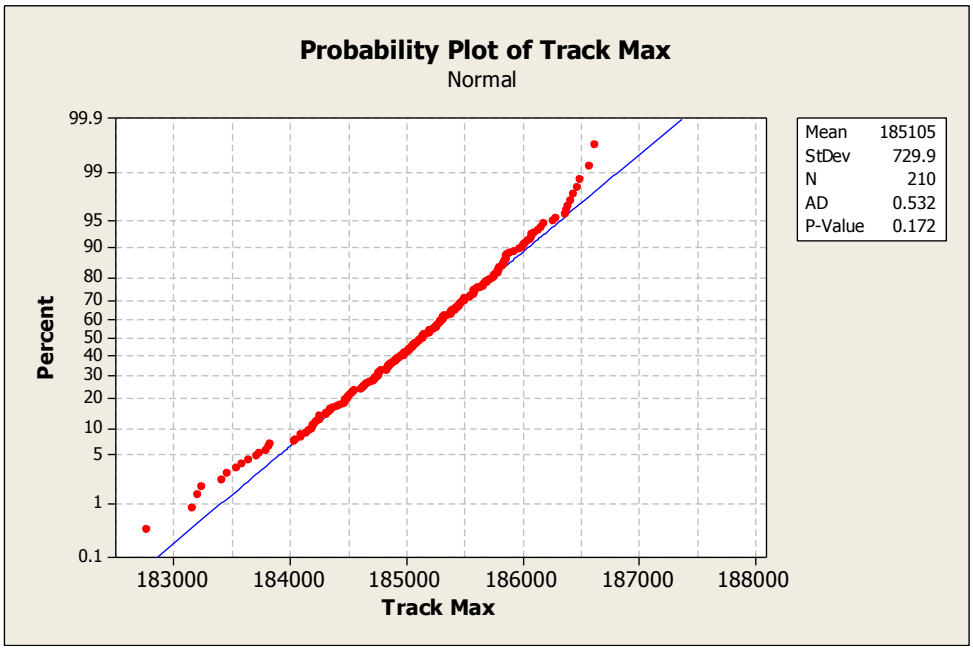
- **การทดสอบสมมติฐานการกระจายตัวแบบปกติของข้อมูล**

เนื่องจากในการประเมินความสามารถของกระบวนการจะต้องมีการคำนึงถึง ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลว่าเป็นแบบปกติหรือไม่ ดังนั้นจึงนำข้อมูลทั้งหมดมาทดสอบสมมติฐานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนี้

H_0 : ข้อมูลแทร็คสุดท้าย มีการกระจายตัวแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลแทร็คสุดท้าย มีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ

โดยจะทำการปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 เมื่อค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ผลการทดสอบสมมติฐานการกระจายตัวของข้อมูลแทร็คสุดท้าย แสดงดังรูปที่ 5.33 พบว่า ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.172 จากสมมติฐานที่ได้กำหนดไว้เบื้องต้น จึงสรุปได้ว่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธ H_0 ได้หรืออาจกล่าวได้ว่า กลุ่มข้อมูลแทร็คสุดท้าย มีการกระจายตัวแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



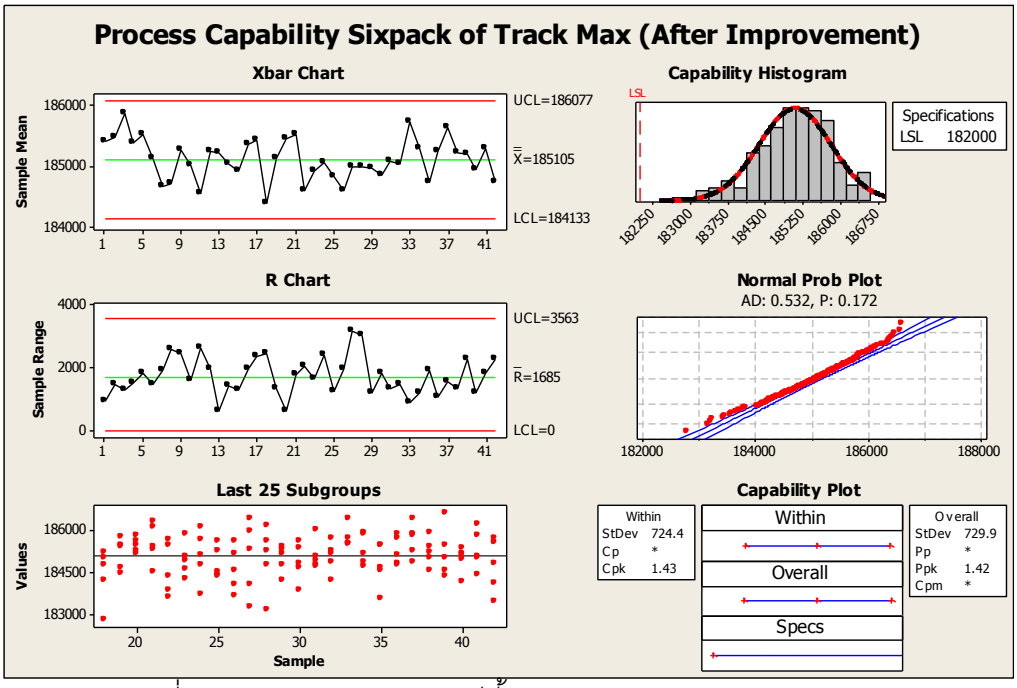
รูปที่ 5.33 การทดสอบสมมติฐานการกระจายตัวแบบปกติ ของตัวแปรตอบสนองแทร็คสุดท้าย

■ **การประเมินความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุงคุณภาพ**

หลังจากทำการปรับปรุงกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยตั้งค่าระดับปัจจัยต่างๆ ตามผลการทดลอง และทำการประเมินดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ ของค่าแทร็คสุดท้ายดังรูป 5.34 ค่าเฉลี่ยของค่าแทร็คสุดท้ายมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 183,840 เป็น 185,105 แทร็ค ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น 1,265 แทร็ค นอกจากนี้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานยังมีค่าลดลงจาก 1,065 แทร็ค เป็น 730 แทร็ค ส่งผลทำให้ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 1.43 ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุงคุณภาพมีค่าที่ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการก่อนการปรับปรุงแสดงดังตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 เปรียบผลของดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุงของตัวแปรตอบสนองค่าแทร็คสุดท้าย

ตัวแปรตอบสนอง	ระยะก่อนการปรับปรุง				ระยะหลังการปรับปรุง			
	$\bar{X}$	SD	Cpk	σ level	$\bar{X}$	SD	Cpk	σ level
แทร็คสุดท้าย	183,840	1,065	0.60	1.8	185,105	730	1.43	3.6



รูปที่ 5.34 ผลการวิเคราะห์ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุงของค่าแทร็คสุดท้าย

5.5.4 มูลค่าความสูญเสียหลังการปรับปรุงคุณภาพของค่าแทร็คสุดท้าย

ในขั้นตอนสุดท้ายของการปรับปรุงคุณภาพตามแนวคิดซิกซ์ ซิกมา จะต้องมีการคำนวณมูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นหลังจากการปรับปรุงกระบวนการตามค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม ซึ่งพบว่า ข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่เขียนอ่านข้อมูลบริเวณค่าแทร็คสุดท้าย ก่อนการปรับปรุง (Base line) มีค่าเฉลี่ยรวม 3.70% แต่หลังจากการปรับปรุงกระบวนการและทดลองยืนยันผลในเดือน ธันวาคม 2555 พบว่าปริมาณสัดส่วนข้อบกพร่องลดลงเหลือเพียง 0.101% ทำให้สามารถลดมูลค่าความสูญเสียได้ถึง 530,160 บาทต่อเดือน โดยรายละเอียดของการคำนวณมูลค่าความสูญเสียแสดงดังภาคผนวก ข ตารางที่ 1

บทที่ 6
การศึกษาวิจัยเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

6.1 บทนำ

ข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่บริเวณความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล (Track Per Inch : TPI) เป็นข้อบกพร่องที่ถูกคัดเลือกจากทีมงานเพื่อทำการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ ให้ได้ค่าผลตอบสนองใหล้เคียงกับค่าเป้าหมายที่ 263,000 $\pm$ 5000 TPI และมีความผันแปรของข้อมูลน้อยที่สุด โดยมีการดำเนินการวิจัยตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา ซึ่งประกอบไปด้วยระยะการเก็บข้อมูลและกำหนดสาเหตุเบื้องต้นของปัญหา (Measure Phase), ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase), ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase) และระยะการติดตามควบคุม ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดของการดำเนินงานวิจัยในแต่ละระยะต่อไป

6.2 การดำเนินการวิจัยในระยะการเก็บข้อมูลและกำหนดสาเหตุเบื้องต้นของปัญหา

สำหรับระยะการเก็บข้อมูลและกำหนดสาเหตุเบื้องต้นของปัญหา จะเริ่มต้นจากการวิเคราะห์ความแม่นและความเที่ยงของระบบการวัด เพื่อให้แน่ใจว่า ข้อมูลที่ได้จากการวัดมีความน่าเชื่อถืออยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ หลังจากนั้นจึงทำการประเมินความสามารถของกระบวนการผลิตในปัจจุบันโดยพิจารณาจากดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ Cpk และทำการระดมความคิดจากคนในทีมซึ่งมาจากหลายๆ หน่วยงานเช่นฝ่ายซ่อมบำรุง ฝ่ายวิศวกรรม ฝ่ายตรวจสอบคุณภาพ เป็นต้น เพื่อทำการวิเคราะห์หาสาเหตุความเป็นไปได้ของความแปรผันของความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล โดยใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลแล้วทำการจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุเพื่อคัดกรองปัจจัยนำเข้าไปทดสอบความมีนัยสำคัญในระยะวิเคราห์สาเหตุของปัญหา โดยมีรายละเอียดของการศึกษาวิจัยดังนี้

6.2.1 การวิเคราะห์ความเที่ยงของระบบการวัด (Gage Repeatability & Reproducibility) สำหรับความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

ระบบการวัด ถือเป็นสิ่งที่มีความสำคัญในกระบวนการผลิต ระบบการวัดที่มีความเที่ยงจะนำไปสู่การควบคุมคุณภาพและกระบวนการที่มีประสิทธิภาพ สามารถประกันคุณภาพของสินค้าที่ส่งไปยังลูกค้าได้ ดังนั้นจึงต้องมีการวิเคราะห์ถึงความเที่ยงของระบบการวัดองค์ประกอบ

ที่สำคัญของระบบการวัดคือ พนักงานวัด ลักษณะของชิ้นงานที่ใช้วัด ขั้นตอนหรือวิธีการวัด และสภาพแวดล้อมในขณะทำการวัด ซึ่งแต่ละปัจจัยข้างต้นแต่ก่อให้เกิดความผันแปรของข้อมูลระบบการวัดทั้งสิ้น เช่น พนักงานผู้วัดขาดความชำนาญในการใช้เครื่องมือวัด ขาดการฝึกอบรมทำให้มีขั้นตอนการวัดที่แตกต่างกัน ลักษณะของชิ้นงานเองที่มีความแตกต่างกันก็ส่งผลถึงความแปรปรวนของระบบการวัดด้วยเช่นกัน ดังนั้นในการศึกษาเพื่อแก้ปัญหาทางด้านคุณภาพจึงควรที่จะ ปรับปรุงความเที่ยงของระบบการวัดให้มีความน่าเชื่อถือ เพื่อที่จะสามารถวิเคราะห์ข้อมูลและนำไปใช้ได้อย่างถูกต้อง

ในบทนี้ ระบบการวัดหรือการตรวจสอบชิ้นงานจะพิจารณาค่าตัวแปรตอบสนองความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ (Variable data) โดยทำการประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัดใน 2 ด้านคือ

1. รีพีททะบิลิตี้ (Repeatability) แสดงถึงความผันแปรของค่าวัดที่ทำการวัดโดยพนักงานวัดเดียวกัน เครื่องมือวัดเดียวกัน ในการวัดงานชิ้นเดียวกันซ้ำๆ โดยทั่วไปมักแสดงถึงความผันแปรของเครื่องมือวัด
2. รีโปรดิวซิบิลิตี้ (Reproducibility) หมายถึง ความผันแปรที่แสดงถึงค่าเฉลี่ยของค่าวัดจากการใช้เครื่องมือวัดเดียวกันในการวัดชิ้นงานเดียวกันด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน ซึ่งทั่วไปมักแสดงถึงความแตกต่างระหว่างพนักงานวัด

ระบบการวัดที่มีความเที่ยงจะต้องสามารถแยกความผันแปรระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานที่วัดได้ โดยไม่มีอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงาน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงได้ประเมินคุณสมบัติความเที่ยงของระบบการวัดความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล โดยมีขั้นตอนการศึกษาดังต่อไปนี้

- **การกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างและจำนวนครั้งของการวัดซ้ำของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล** (Sample Size Design)

สำหรับการประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัด จะต้องมีการกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างและจำนวนครั้งของการวัดซ้ำของข้อมูล เพื่อให้ข้อมูลที่ทำการประเมินมีความน่าเชื่อถือเพียงพอ ดังนั้น ทางโรงงานกรณีศึกษาได้อ้างอิงการกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งมีผู้ศึกษาไว้แล้วว่ามีความน่าเชื่อถือเพียงพอต่อการประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัดของข้อมูลเชิงปริมาณ (Fasser and Brettner ,1992) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ในบทที่ 4

ผู้วิจัยได้เลือกประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัดของตัวแปรตอบสนองความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล โดยกำหนดจำนวนของชิ้นงานที่จะวัดจำนวน 10 ชิ้นงาน จำนวนพนักงานวัดจำนวน 3 คน ซึ่งมาจากกะ A, B และ C โดยพนักงานแต่ละคนจะต้องผ่านการอบรม และทำหน้าที่วัดชิ้นงานอยู่เป็นประจำ นอกจากนี้จำนวนการวัดซ้ำจำนวน 2 ครั้ง/ชิ้นงาน /พนักงานวัด

- **ผลการประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัดของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล**

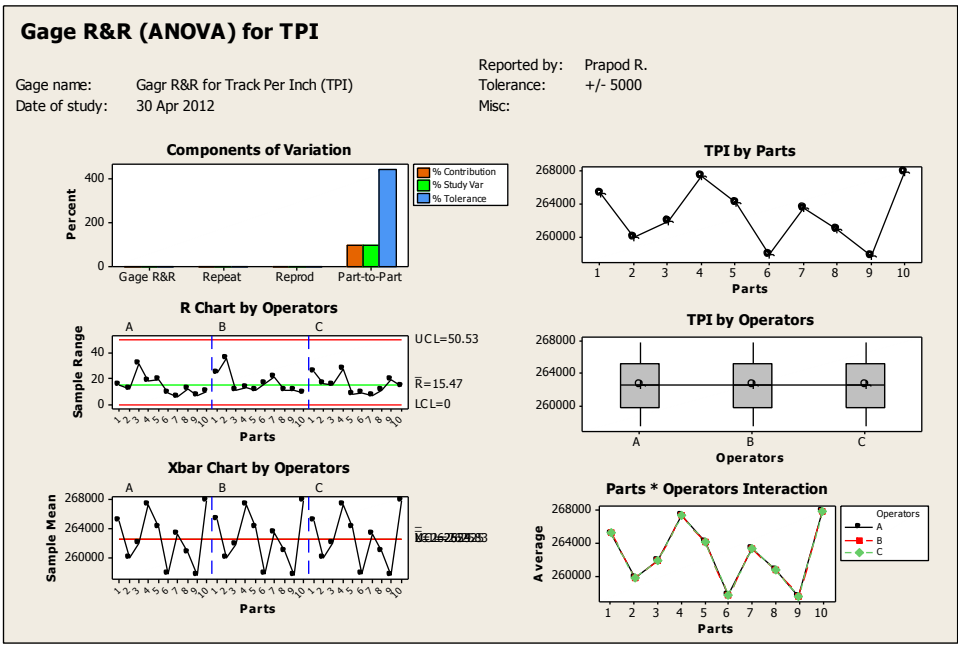
หลังจากทำการออกแบบการประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัดเรียบร้อยแล้ว จึงทำการเก็บข้อมูล บันทึกผลและวิเคราะห์ผลลัพธ์ด้วยโปรแกรม Minitab 16 ได้ดังนี้

1. ผลการตรวจสอบประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัดข้อมูลความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

หลังจากทำการออกแบบการทดลองและเก็บข้อมูลเพื่อประเมินความเที่ยงของระบบการวัดของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลแล้ว ได้ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ตารางเก็บข้อมูลเพื่อประเมินคุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัดข้อมูลความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

ชิ้นงานที่	Operator A		Operator B		Operator C	
	ครั้งที่ 1	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**	**ครั้งที่ 1**	**ครั้งที่ 2**
1	265200	265185	265223	265248	265195	265221
2	259825	259837	259814	259850	259811	259828
3	261853	261885	261847	261858	261862	261878
4	267350	267331	267325	267338	267356	267328
5	264125	264105	264117	264128	264135	264127
6	257694	257685	257690	257673	257682	257691
7	263351	263345	263362	263384	263341	263334
8	260734	260722	260752	260741	260755	260744
9	257530	257537	257541	257530	257525	257245
10	267847	267837	267865	267874	267853	267867



รูปที่ 6.1 การประมวลผลคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัดความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลด้วยโปรแกรม Minitab16

ตารางที่ 6.2 ผลการวิเคราะห์ผลทางสถิติของระบบการวัดความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลโดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Method)

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for TPI

Gage name: Gagr R&R for Track Per Inch (TPI)
Date of study: 30 Apr 2012
Reported by: Prapod R.
Tolerance: +/- 5000
Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	727579286	80842143	306121	0.000
Operators	2	831	415	2	0.235
Parts * Operators	18	4754	264	2	0.079
Repeatability	30	4454	148		
Total	59	727589324			

Alpha to remove interaction term = 0.25

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	214	0.00
Repeatability	148	0.00
Reproducibility	65	0.00
Operators	8	0.00
Operators*Parts	58	0.00
Part-To-Part	13473646	100.00
Total Variation	13473860	100.00

Process tolerance = 10000

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	14.62	87.7	0.40	0.88
Repeatability	12.18	73.1	0.33	0.73
Reproducibility	8.09	48.5	0.22	0.49
Operators	2.75	16.5	0.07	0.17
Operators*Parts	7.60	45.6	0.21	0.46
Part-To-Part	3670.65	22023.9	100.00	220.24
Total Variation	3670.68	22024.1	100.00	220.24

Number of Distinct Categories = 353

2. ผลการประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัดข้อมูลความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

- จากรูปที่ 6.1 แผนภูมิแท่ง Components of Variation พบว่า ความผันแปรทั้งหมดของข้อมูลมาจากลักษณะความแตกต่างของชิ้นงานซึ่งแสดงด้วยค่าความผันแปร Part-To-Part ถึง 100% แต่มีผลของความผันแปรอันเนื่องมาจากเครื่องมือวัดน้อยมาก
- จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Method) โดยพิจารณาจากค่า P-Value ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าสาเหตุของความผันแปรมาจากลักษณะของชิ้นงานที่เกิดจากกระบวนการผลิต ส่วนพนักงานวัดไม่มีอิทธิพลต่อความแปรปรวนของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ก็ไม่มีอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานวัดเช่นกัน
- ค่าความผันแปรเมื่อทำการประเมินผลเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (P/TV) พบว่าถ้าความผันแปรของกระบวนการผลิตโดยรวมเป็น 100 หน่วย ความผันแปรจากกระบวนการผลิตที่ทำให้มีขนาดชิ้นงานต่างกันคิดเป็น 100 % และส่วนที่เป็นความผันแปรจากระบบการวัดมีค่าน้อยมากเพียง 0.40% ซึ่งมาจากความผันแปรทางด้านรีพีททะบิลิตี้ 0.33 % และ รีโปรดิวซิบิลิตี้ คิดเป็น 0.22 %
- ค่า Number of Distinct Categories มีค่าสูงถึง 353 ซึ่งมีค่ามากกว่าเกณฑ์ในการยอมรับที่กำหนดอยู่ที่ 5 ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ระบบการวัดนี้สามารถแบ่งกลุ่มของความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล (TPI) ออกเป็น 353 กลุ่มที่มีความแตกต่างกัน แสดงว่า ข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดนี้สามารถประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการวัดนี้ได้

3. สรุปผลการประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัดของความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

จากการประเมินคุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัด ของตัวแปรตอบสนองค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล โดยอ้างอิงเกณฑ์การยอมรับ AIAG (2002) ที่ระบุค่าที่ยอมรับได้ของค่า P/TV และ P/T ต้องไม่เกิน 10% พบว่าค่า P/TV และ P/T ของระบบการวัดค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล มีค่าเท่ากับ 0.40% และ 0.88% ตามลำดับซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ความเที่ยงของระบบการวัดนี้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

6.2.2 การวัดความสามารถของกระบวนการสำหรับค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

การวัดความสามารถของกระบวนการเพื่อให้ทราบถึงความสามารถของกระบวนการผลิตที่แท้จริงว่ามีลักษณะตรงกับข้อกำหนดของลูกค้ามากเพียงใด โดยคำนึงถึงความแปรปรวนหรือความผันแปรของกระบวนการและการเข้าใกล้ค่ากลางของกระบวนการเมื่อเทียบกับค่าเป้าหมาย ดังนั้นการวัดค่าความสามารถของกระบวนการผลิต จะทำให้สามารถประเมินความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในสายการผลิตและหาวิธีการลดความแปรปรวนนั้นๆ ให้มีค่าน้อยที่สุด เริ่มต้นจากการออกแบบวิธีการเก็บข้อมูล โดยจะต้องกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างในการสุ่มเก็บให้มีความเหมาะสม เพื่อที่จะสามารถประเมินค่าความสามารถที่แท้จริงของกระบวนการผลิตได้

- **การกำหนดขนาดตัวอย่างเพื่อประเมินความสามารถของกระบวนการสำหรับค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล**

ในขั้นตอนแรกจะทำการเก็บข้อมูลเบื้องต้น 100 ตัว เพื่อทำการประเมินค่าความสามารถของกระบวนการ ของตัวแปรตอบสนองความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล โดยจะต้องทำการควบคุม พนักงานผู้วัด เครื่องมือวัด ตลอดของการวิจัยเนื่องจากต้องการลดความแปรปรวนต่างๆ จากปัจจัยภายนอกและภายใน หลังจากนั้น จึงทำการประเมินความสามารถของกระบวนการในขั้นต้น พบว่ามีค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ (Cpk) เท่ากับ 0.85 หลังจากนั้นจึงทำการคำนวณหาค่าขนาดตัวอย่างที่เพียงพอต่อการประเมินดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ Cpk ดังสมการที่ 4.1 โดยกำหนดที่ค่า e_{ppk} ต่างๆ เพื่อพิจารณาถึงกลุ่มตัวอย่างที่เหมาะสม มีความน่าเชื่อถือ แสดงผลดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 การคำนวณหาขนาดตัวอย่างของในการประเมินความสามารถของกระบวนการของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

ลำดับที่	e_{ppk}	Cpk เบื้องต้น	Cpk Interval		Sample Size
			Cpk Min	Cpk Max	(n)
1	0.01	0.85	0.84	0.86	25116
2	0.05	0.85	0.80	0.90	1005
3	0.10	0.85	0.75	0.95	250
4	0.15	0.85	0.70	1.00	112
5	0.20	0.85	0.65	1.05	63

จากตารางที่ 6.3 เมื่อคำนวณหาขนาดตัวอย่างที่ค่า ความแตกต่างระหว่างค่าความเชื่อมั่นกับค่ากลาง (e_{ppk}) ต่างๆ กันพบว่า ยิ่งค่า e_{ppk} มีค่าน้อย ก็จะทำให้ค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ (Cpk) ที่ประมาณได้มีความใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริงมากยิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ด้วยข้อจำกัดของจำนวนของขนาดตัวอย่างที่มีปริมาณมาก ทำให้ต้องใช้เวลาในการเก็บข้อมูลนาน อีกทั้งเพิ่มค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกช่วงของค่า Cpk ก็สามารถยอมรับได้คือ 0.75 – 0.95 ซึ่งต้องเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง อย่างน้อย 250 ชิ้น ซึ่งเพียงพอต่อการประเมินความสามารถของกระบวนการของตัวแปรตอบสนองค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

- **การประเมินความสามารถของกระบวนการของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลก่อนการปรับปรุง**

เนื่องจากในการประเมินค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการของความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล (TPI) ในขั้นต้นซึ่งเก็บข้อมูลไปแล้ว 100 ชิ้น แต่หลังจากคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างแล้วจะต้องใช้กลุ่มตัวอย่างถึง 250 ชิ้นเพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีความน่าเชื่อถืออยู่ในเกณฑ์การยอมรับ ดังนั้นจึงต้องเก็บข้อมูลเพิ่มอีก 150 ชิ้น แล้วจึงนำข้อมูลทั้งหมดไปวิเคราะห์ทางสถิติดังนี้

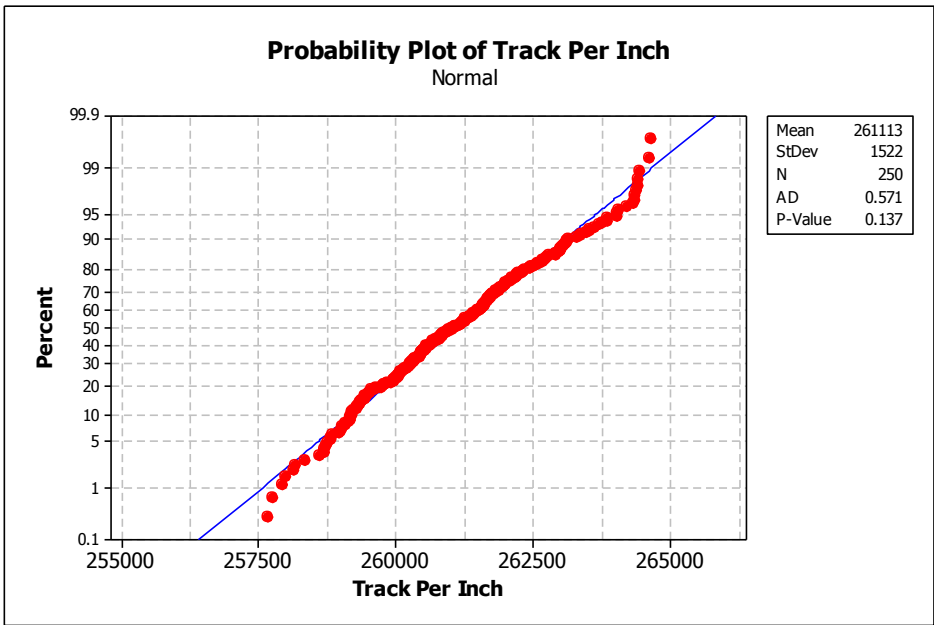
1. การทดสอบสมมติฐานการกระจายตัวแบบปกติของข้อมูลความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

เนื่องจากในการประเมินความสามารถของกระบวนการจะต้องมีการคำนึงถึง ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลว่าเป็นแบบปกติหรือไม่ ดังนั้นจึงนำข้อมูลทั้งหมดมาทดสอบสมมติฐานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนี้

H_0 : ความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ

H_1 : ความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ

โดยจะทำการปฏิเสธสมมติฐาน H_0 เมื่อค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 และผลการทดสอบสมมติฐานการกระจายตัวของข้อมูลความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลแสดงดังรูปที่ 6.2

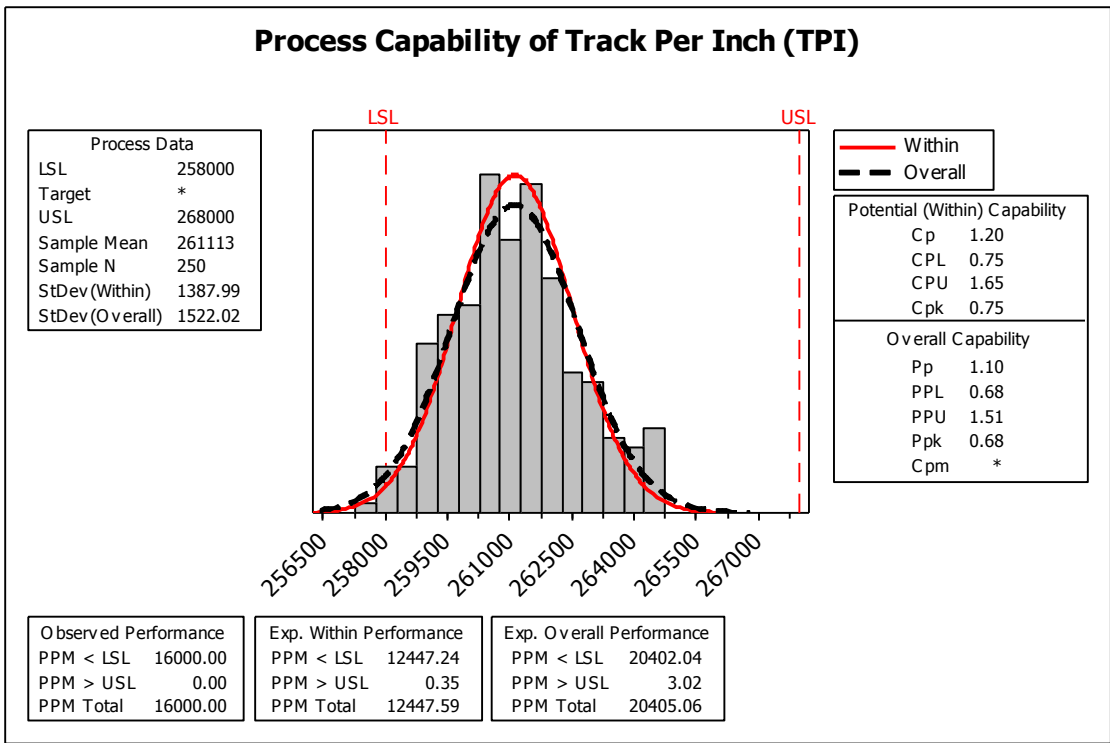


รูปที่ 6.2 การทดสอบสมมติฐานการกระจายตัวแบบปกติ (Normality Test) ของข้อมูลความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

จากรูปที่ 6.2 สามารถวิเคราะห์ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.137 จากสมมติฐานที่ได้กำหนดไว้เบื้องต้น จึงสรุปได้ว่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธ H_0 ได้หรืออาจกล่าวได้ว่า กลุ่มข้อมูลความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2. การประเมินความสามารถของกระบวนการของการวัดค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

นำข้อมูลทั้งหมดมาประเมินความสามารถของกระบวนการด้วยโปรแกรม Minitab โดยขีดจำกัดข้อกำหนดด้านล่าง (LSL) มีค่าเท่ากับ 258,000 TPI และขีดจำกัดข้อกำหนดด้านบน (USL) มีค่าเท่ากับ 268,000 TPI ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในการวัดค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Minitab

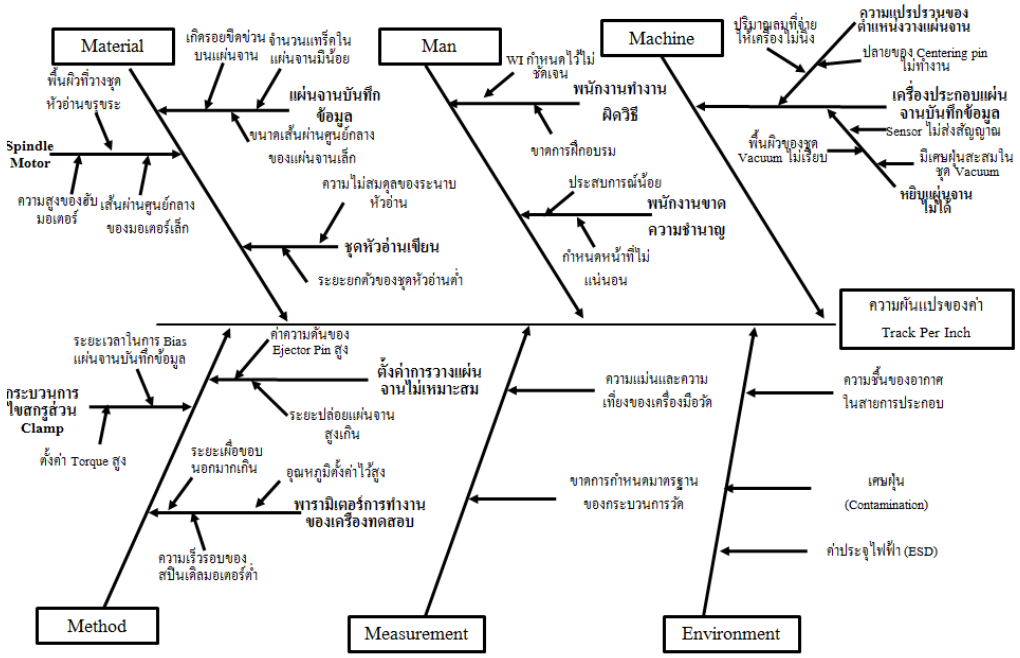
จากรูปที่ 6.3 จะพบว่าระดับความสามารถของกระบวนการของการวัดค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลอยู่ในระดับที่ต่ำ เนื่องจากกระบวนการมีความผันแปรที่สูงถึง 1,522 TPI และเมื่อพิจารณาฮิสโทแกรมของกลุ่มข้อมูลพบว่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลจะมีค่าเบี่ยงเบนไปจากค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ที่ 182,000 TPI ไปทางขีดจำกัดข้อกำหนดด้านล่าง (LSL) หรืออาจพิจารณาจากค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการในระยะสั้น Cpk ที่มีค่าเพียง 0.75 เท่านั้นซึ่งต่ำกว่าค่า Cp ที่ 1.25 มาก (ปกติจะยอมรับค่า Cpk ที่มากกว่า 1.33) ดังนั้นในกระบวนการนี้จึงควรมีการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการ โดยหาวิธีในการเพิ่มค่าเฉลี่ยและลดค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อให้ข้อมูลอยู่ภายในขีดจำกัดข้อกำหนดด้านล่างและด้านบน และมีความผันแปรของกระบวนการที่น้อยที่สุด ซึ่งอาจจะต้องมีการทดสอบและทำการออกแบบเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการปรับตั้งค่าในกระบวนการผลิต

6.2.3 การวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

สำหรับงานวิจัยบทนี้จะทำการศึกษาเพื่อหาสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ (Possible Cause) ที่ทำให้ข้อมูลการอ่านค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล มีค่าเบี่ยงเบนไปจากเป้าหมายและเกิดความผันแปรมาก โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) โดยหลักการค้นหาสาเหตุของปัญหาจะทำการระดมสมองของทุกคนในทีมซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญในสายการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ประกอบไปด้วย ฝ่ายผลิต (PE) 2 คน ฝ่ายควบคุมคุณภาพ (QC) 2 คน ฝ่ายซ่อมบำรุง (ME) 2 คน ฝ่ายพัฒนาผลิตภัณฑ์ (FE) 1 คนและฝ่ายวิเคราะห์ข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ (FA) 1 คน รวม 8 คน จากนั้นให้แต่ละคนช่วยกันวิเคราะห์ปัญหาแยกตามหลักการ 5M 1E ซึ่งแบ่งสาเหตุของปัญหาออกเป็นกลุ่มปัจจัยต่างๆ คือ คน (Man), เครื่องจักร (Machine), วิธีการ (Method), วัตถุดิบ (Material), เครื่องมือวัด (Measurement) และสภาพแวดล้อม (Environment) ทำให้ได้ปัจจัยนำเข้าของแต่ละปัญหา ดังนี้

- **แผนผังสาเหตุและผลของความผันแปรของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล**

จากการระดมความคิดของคนในทีมอย่างละเอียดทำให้ได้ สาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ ที่อาจทำให้เกิดความผันแปรของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล แสดงได้ดังรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 แผนผังสาเหตุและผลของความผันแปรของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

- **การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลจากการหาความสัมพันธ์สาเหตุและผล** (Cause & Effect Matrix)

หลังจากที่ทีมช่วยกันหาสาเหตุที่เป็นไปได้ของการเกิดข้อบกพร่องแต่ละประเภทแล้ว จากนั้นจึงนำปัจจัยนำเข้าเหล่านั้นมาวิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์สาเหตุและผล โดยใช้การลงคะแนนจากสมาชิกภายในทีมซึ่งช่วงของคะแนนจะอยู่ระหว่าง 0 – 10 คะแนน ซึ่งมีเกณฑ์ดังนี้

0 คะแนน คือ ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง

1 คะแนน คือ มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองน้อยมาก

5 คะแนน คือ มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองระดับปานกลาง

10 คะแนน คือ มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองระดับมากที่สุด

ในการลงคะแนนของสมาชิกในทีมแต่ละคน จะเป็นความลับซึ่งจะต้องไม่มีการปรึกษากัน เพื่อลดค่าความเอนเอียงของการให้คะแนนซึ่งการให้คะแนนจะขึ้นอยู่กับประสบการณ์และความชำนาญของแต่ละคน จากการวิเคราะห์ผลพบว่าคะแนนของแต่ละคนเป็นไปในทิศทางเดียวกัน จึงตัดสินใจที่จะใช้คะแนนรวมของแต่ละคน จากนั้นจึงนำคะแนนรวมของแต่ละคนมาคูณกับค่าคงที่ 10 ซึ่งเป็นอัตราความสำคัญที่มีผลกระทบ ซึ่งให้ผลดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 ผลการให้คะแนนเพื่อวิเคราะห์สาเหตุที่เป็นไปได้ของการเกิดความผันแปรของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

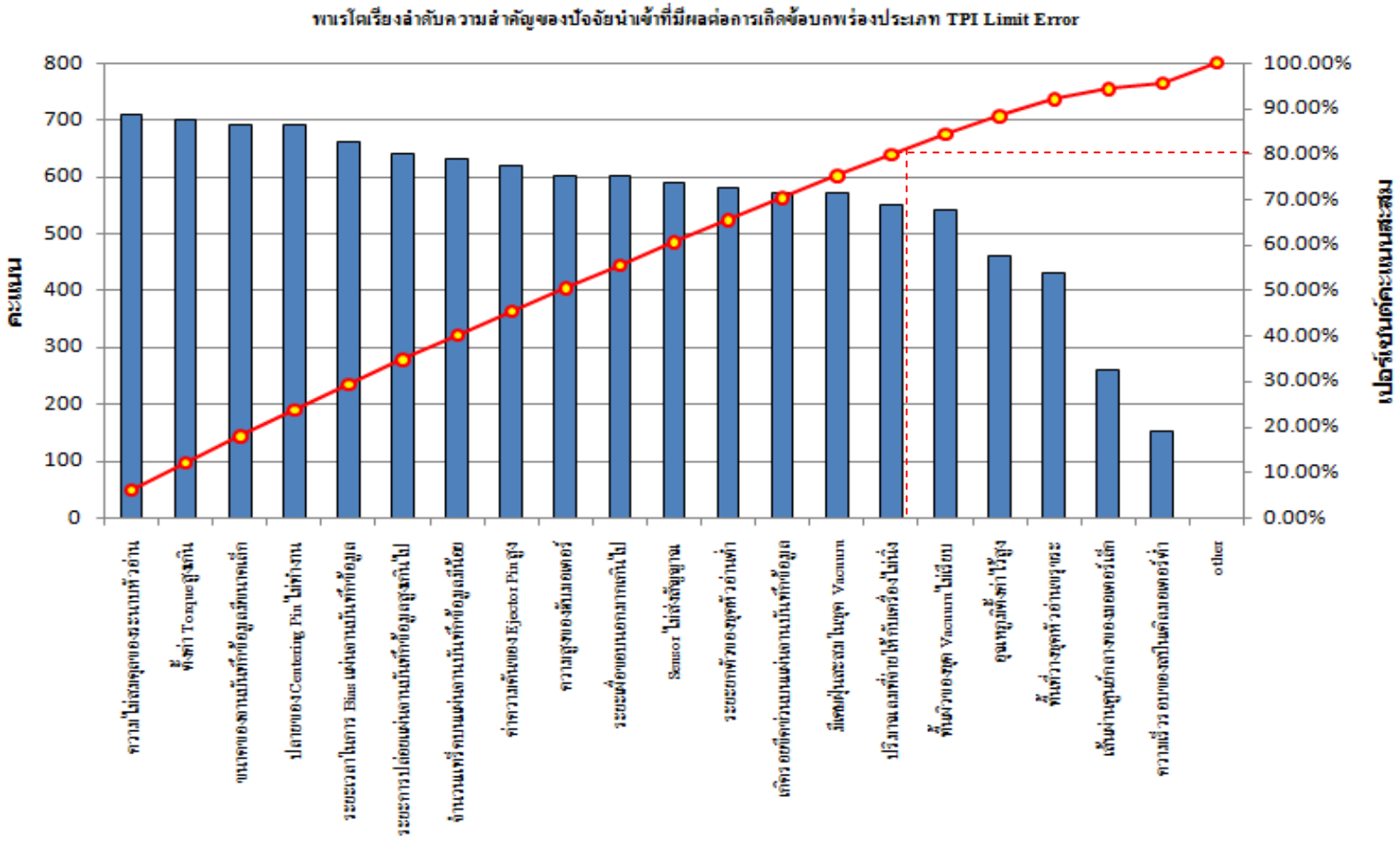
อัตราความสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล					**10**
ลำดับที่	**ประเภทของสาเหตุ**	**ปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง**		**คะแนน**	**คะแนนรวม**
1	Material	ชิ้นส่วน Spindle Motor	พื้นที่วางชุดหัวอ่านขรุขระ	43	430
2			ความสูงของฮับมอเตอร์	60	600
3			เส้นผ่านศูนย์กลางของมอเตอร์เล็ก	26	260
4		แผ่นจานบันทึกข้อมูล	เกิดรอยขีดข่วนบนแผ่นจานบันทึกข้อมูล	57	570
5			จำนวนแทร็คบนแผ่นจานบันทึกข้อมูลมีน้อย	63	630
6			ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของจานบันทึกข้อมูลมีขนาดเล็ก	69	690
7		ชุดหัวอ่านเขียนข้อมูล	ความไม่สมดุลของระนาบหัวอ่าน	71	710
8			ระยะยกตัวของชุดหัวอ่านต่ำ	58	580
9	Man	พนักงานทำงานผิดวิธี	WI กำหนดไว้ไม่ชัดเจน	2	20
10			ขาดการฝึกอบรม	1	10
11		พนักงานขาดความชำนาญ	พนักงานมีประสบการณ์น้อย	5	50
12			กำหนดหน้าที่ของพนักงานไม่ชัดเจน	5	50

ตารางที่ 6.4 ผลการให้คะแนนเพื่อวิเคราะห์สาเหตุที่เป็นไปได้ของการเกิดความผันแปรของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล (ต่อ)

อัตราความสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล					**10**
ลำดับที่	**ประเภทของสาเหตุ**	**ปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง**		**คะแนน**	**คะแนนรวม**
13	Machine	ความแปรปรวนของตำแหน่งการวางแผ่นจานบันทึกข้อมูล	ปริมาณลมที่จ่ายให้กับเครื่องไม่นิ่ง	55	550
14			ปลายของ Centering Pin ไม่ทำงาน	69	690
15		หยิบแผ่นจานบันทึกข้อมูลไม่ได้	Sensor ไม่ส่งสัญญาณ	59	590
16			พื้นผิวของชุด Vacuum ไม่เรียบ	54	540
17	Machine	หยิบแผ่นจานบันทึกข้อมูลไม่ได้	มีเศษฝุ่นสะสมในชุด Vacuum	57	570
18	Method	กระบวนการไขสกรูส่วน Clamp	ระยะเวลาในการ Bias แผ่นจานบันทึกข้อมูล	66	660
19			ตั้งค่า Torque สูงเกิน	70	700
20		ตั้งค่าการวางแผ่นจานบันทึกข้อมูลไม่เหมาะสม	ค่าความดันของ Ejector Pin สูง	62	620
21			ระยะการปล่อยแผ่นจานบันทึกข้อมูลสูงเกินไป	64	640
22		พารามิเตอร์การทำงานของเครื่องทดสอบ	ระยะเผื่อขอบนอกมากเกินไป	60	600
23			อุณหภูมิตั้งค่าไว้สูง	46	460
24			ความเร็วรอบของสปินเดิลมอเตอร์ต่ำ	15	150
25	Measurement	ความแม่นและความเที่ยงของเครื่องมือวัด		5	50
26		ขาดการกำหนดมาตรฐานของกระบวนการวัด		6	60
27	Environment	ค่าความชื้นของอากาศในสายการประกอบ		3	30
28		เศษฝุ่น (Contamination)		12	120
29		ค่าประจุไฟฟ้าสูง (ESD)		14	140
รวม					11,770

จากตารางที่ 6.4 ซึ่งทำการระดมความคิดและช่วยกันให้คะแนนความสำคัญของแต่ละปัจจัยนำเข้าที่อาจจะทำให้เกิดความผันแปรของความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลแล้ว พบว่าจากปัจจัยนำเข้าทั้งสิ้น 29 ปัจจัยรวมคะแนนจากทุกคนในทีมได้ 11,770 คะแนน จากนั้นนำแต่ละปัจจัยมาเรียงลำดับคะแนนจากมากไปหาน้อยดังแสดงรูปที่ 6.5 พบว่า 79.86% ของคะแนนรวมอาจจะเป็นสาเหตุหลักของการเกิดความผันแปรของความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลตามกฎ 80% ของพาเรโต ซึ่งคิดเป็น 15 ปัจจัยนำเข้าดังนี้

1.	ความไม่สมดุลของระนาบหัวอ่าน	710	คะแนน
2.	ตั้งค่า Clamp Screw Torque สูงเกิน	700	คะแนน
3.	ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของจานบันทึกข้อมูลมีขนาดเล็ก	690	คะแนน
4.	ปลายของ Centering Pin ไม่ทำงาน	690	คะแนน
5.	ระยะเวลาในการ Bias แผ่นจานบันทึกข้อมูล	660	คะแนน
6.	ระยะการปล่อยแผ่นจานบันทึกข้อมูลสูงเกินไป	640	คะแนน
7.	จำนวนแทร็คบนแผ่นจานบันทึกข้อมูลมีน้อย	630	คะแนน
8.	ค่าความดันของ Ejector Pin สูง	620	คะแนน
9.	ความสูงของฮับมอเตอร์	600	คะแนน
10.	ระยะเผื่อขอบนอกมากเกินไป	600	คะแนน
11.	Sensor ไม่ส่งสัญญาณ	590	คะแนน
12.	ระยะยกตัวของชุดหัวอ่านต่ำ	580	คะแนน
13.	เกิดรอยขีดข่วนบนแผ่นจานบันทึกข้อมูล	570	คะแนน
14.	มีเศษฝุ่นสะสมในชุด Vacuum	570	คะแนน
15.	ปริมาณลมที่จ่ายให้กับเครื่องไม่นิ่ง	550	คะแนน



รูปที่ 6.5 พาเรโตลำดับความสำคัญปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อการเกิดความผันแปรของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

หลังจากนั้นทำการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าทั้ง 15 ตัวแล้ว พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อความผันแปรของความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลจะเป็นวิธีการ (Method) ที่ส่งผลทำให้พื้นผิวระนาบของหัวอ่านหรือแผ่นจานบันทึกข้อมูลเกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการประกอบ นอกจากนี้ลักษณะของวัตถุดิบก็ส่งผลต่อความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลเช่นกัน จากตัวแปรนำเข้าที่ถูกจัดลำดับความสำคัญโดยใช้เกณฑ์ 80% ของพาเรโต พบว่ามีปัจจัยนำเข้า 15 ตัวที่ทางทีมงานได้ช่วยกันกลั่นกรองโดยใช้หลักเหตุและผล ตลอดจนอาศัยประสบการณ์ในสายงานทางด้านการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจนสามารถคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่จะนำไปทดสอบในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ดังแสดงตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล						
ลำดับที่	**ประเภทของสาเหตุ**	**ปัจจัยนำเข้า (KPIV)**	**เลือก**	**ไม่เลือก**	**เหตุผลสนับสนุนการตัดสินใจ**	**การออกแบบ/ควบคุมการทดลอง**
1	Material	ความไม่สมดุลของระนาบหัวอ่าน		✓	เนื่องจากความสมดุลของระนาบหัวอ่านจะถูกตรวจสอบจากซัพพลายเออร์ 100% และมีเอกสารรองรับจึงมั่นใจว่าอยู่ภายใต้การควบคุม	ทำการตรวจสอบความสมดุลของระนาบหัวอ่านจากข้อมูลของซัพพลายเออร์เพื่อคัดเลือกชุดหัวอ่านที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน
2	Method	ตั้งค่า Clamp screw Torque สูงเกิน	✓		ค่าทอร์กที่สูงจะทำให้เกิดแรงกดบริเวณจุดศูนย์กลางของแผ่นจานบันทึกข้อมูลจนเกิดการบิดตัวหรือโก่งงอส่งผลต่อความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลด้วย ดังนั้นจึงเลือกปัจจัยนี้ เนื่องจาก ปัจจุบันมีความผันแปรของการปรับค่ามาก และยังไม่มีการควบคุมที่ดี	การทดสอบสมมติฐานโดยการกำหนดค่า Torque ที่ค่าต่างๆ เพื่อดูว่ามีผลต่อความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

ตารางที่ 6.5 การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล (ต่อ)

การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล						
ลำดับที่	**ประเภทของสาเหตุ**	**ปัจจัยนำเข้า (KPIV)**	**เลือก**	**ไม่เลือก**	**เหตุผลสนับสนุนการตัดสินใจ**	**การออกแบบ/ควบคุมการทดลอง**
3	Material	ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของจานบันทึกข้อมูลมีขนาดเล็ก		✓	แผ่นจานบันทึกข้อมูลที่ถูกนำมาใช้ในสายการประกอบล้วนแต่ได้รับการตรวจสอบจากซัพพลายเออร์ 100% จึงทำให้เชื่อมั่นว่าชิ้นส่วนนี้อยู่ภายใต้การควบคุม	
4	Machine	ปลายของ Centering Pin ไม่ทำงาน		✓	Centering Pin จะเป็นตัวไกด์ตำแหน่งการวางแผ่นจานบันทึกข้อมูลลงบนมอเตอร์ ดังนั้นถ้า Pin ชำรุด ก็จะทำให้ตำแหน่งการวางแผ่นจานบันทึกข้อมูลผิดเพี้ยนได้ แต่เนื่องจากที่เครื่องจักรเซ็นเซอร์ไว้ตรวจสอบการทำงานของ Pin ดังนั้นจึงมั่นใจได้ว่า ปัจจัยนี้ถูกควบคุมในสายการผลิตดีอยู่แล้ว	มีการตรวจสอบโดยฝ่ายซ่อมบำรุงเป็นประจำก่อนเริ่มทำการผลิตในแต่ละวัน จึงมั่นใจได้ว่า Centering Pin ยังคงอยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน

ตารางที่ 6.5 การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล (ต่อ)

การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล						
ลำดับที่	**ประเภทของสาเหตุ**	**ปัจจัยนำเข้า (KPIV)**	**เลือก**	**ไม่เลือก**	**เหตุผลสนับสนุนการตัดสินใจ**	**การออกแบบ/ควบคุมการทดลอง**
5	Method	ระยะเวลาในการ Bias แผ่นจานบันทึกข้อมูล (Bias Time)	✓		ในขณะไข Clamp screw จะมี bias pin ไว้สำหรับดันแผ่นจานบันทึกข้อมูลให้เฉียงไปทางด้านที่กำหนดไว้ดังนั้นถ้าแผ่นจานบันทึกข้อมูลถูกดันดันเพียงแค่ช่วงเวลาสั้นๆ ก่อนที่จะไข Clamp screw เสร็จก็จะทำให้ตำแหน่งของแผ่นจานบันทึกข้อมูลผิดเพี้ยนไปจากตำแหน่งมาตรฐานก็จะส่งผลต่อค่า TPI	ทำการออกแบบการทดลองโดยการตั้งเวลา Bias ที่ช่วงเวลาต่างๆกัน เพื่อพิจารณาว่า Bias Time มีผลต่อความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่
6	Method	ระยะการปล่อยแผ่นจานบันทึกข้อมูลสูงเกินไป	✓		การกำหนดระยะความสูงในการปล่อยแผ่นจานบันทึกข้อมูลที่มากเกินไปแม้จะทำให้ cycle time ลดลงแต่ส่งผลถึงเรื่องคุณภาพสำหรับค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลเพราะตำแหน่งของแผ่นจานบันทึกข้อมูลเกิดความคลาดเคลื่อน	การทดสอบสมมติฐานโดยการกำหนดระยะความสูงในการวางชิ้นงานที่ตำแหน่งต่างๆ กัน เพื่อดูว่าระยะการปล่อยชิ้นงานมีผลต่อความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

ตารางที่ 6.5 การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล (ต่อ)

การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล						
ลำดับที่	**ประเภทของสาเหตุ**	**ปัจจัยนำเข้า (KPIV)**	**เลือก**	**ไม่เลือก**	**เหตุผลสนับสนุนการตัดสินใจ**	**การออกแบบ/ควบคุมการทดลอง**
7	Material	จำนวนแทร็คบนแผ่นจานบันทึกข้อมูลมีน้อย		✓	เนื่องจากจำนวนแทร็คบนแผ่นจานบันทึกข้อมูลจะถูกตรวจสอบจากซัพพลายเออร์ 100% และมีเอกสารรองรับจึงมั่นใจว่าอยู่ภายใต้การควบคุม	
8	Method	ค่าความดันของ Ejector Pin สูง	✓		ในการปล่อยแผ่นจานบันทึกข้อมูลลงบนสปินเดิลมอเตอร์จะต้องใช้ Ejector Pin ในการดันบริเวณขอบแผ่นเพื่อให้ชิ้นงานหลุดออกจาก EE ดังนั้นถ้าใช้ความดันที่สูงก็จะทำให้ตำแหน่งของจานบันทึกข้อมูลเกิดความคลาดเคลื่อนได้	ทดสอบสมมติฐานโดยการกำหนดความดันที่ค่าต่างๆ เพื่อดูว่ามีผลต่อความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่
9	Material	ความสูงของฮับมอเตอร์		✓	เนื่องจากความสูงของฮับมอเตอร์จะถูกตรวจสอบจากซัพพลายเออร์ 100% และมีเอกสารรองรับจึงมั่นใจว่าอยู่ภายใต้การควบคุม	เลือกใช้มอเตอร์จากซัพพลายเออร์เพียงรายเดียวคือ NIDEC

ตารางที่ 6.5 การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล (ต่อ)

การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล						
ลำดับที่	**ประเภทของสาเหตุ**	**ปัจจัยนำเข้า (KPIV)**	**เลือก**	**ไม่เลือก**	**เหตุผลสนับสนุนการตัดสินใจ**	**การออกแบบ/ควบคุมการทดลอง**
10	Method	ระยะเผื่อขอบนอกมากเกินไป	✓		ระยะเผื่อขอบนอกจะมีเพื่อป้องกันการชนกันระหว่างหัวอ่านและ Ramp แต่ถ้ามีการกำหนดระยะเผื่อที่มากเกินไปก็จะทำให้สูญเสียความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล ดังนั้นปัจจัยนี้ยังไม่ถูกควบคุมในกระบวนการผลิต จึงควรที่จะนำมาทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสม	ทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าระยะเผื่อขอบนอกที่เหมาะสม
11	Machine	Sensor ไม่ส่งสัญญาณ		✓	เซ็นเซอร์ที่ใช้ในกระบวนการทำงานของเครื่องจักร ถ้าไม่ทำงานจะส่งผลให้กระบวนการต่อไปหยุดนิ่ง และส่งสัญญาณเตือนทันที จึงสรุปว่า ปัจจัยนี้ไม่ต้องนำมาทดลอง เพราะสามารถควบคุมได้ในสายการผลิตเอง	มีระบบการตรวจสอบโดยถ้า Sensor ไม่ทำงานจะมีเสียง Alarm ส่งสัญญาณเตือนพนักงานให้ทำการตรวจสอบ
12	Material	ระยะยกตัวของชุดหัวอ่านต่ำ		✓	เนื่องจากระยะยกตัวของชุดหัวอ่านอร์จะถูกตรวจสอบจากซัพพลายเออร์ 100% และมีเอกสารรองรับจึงมั่นใจว่าอยู่ภายใต้การควบคุม	ตรวจสอบข้อมูลจากซัพพลายเออร์

ตารางที่ 6.5 การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล (ต่อ)

การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล						
ลำดับที่	**ประเภทของสาเหตุ**	**ปัจจัยนำเข้า (KPIV)**	**เลือก**	**ไม่เลือก**	**เหตุผลสนับสนุนการตัดสินใจ**	**การออกแบบ/ควบคุมการทดลอง**
13	Material	เกิดรอยขีดข่วนบนแผ่นจานบันทึกข้อมูล		✓	เนื่องจากรอยขีดข่วนบนแผ่นจานบันทึกข้อมูลจะถูกตรวจสอบจากซัพพลายเออร์ 100% และมีเอกสารรองรับจึงมั่นใจว่าอยู่ภายใต้การควบคุม	ตรวจสอบข้อมูลจากซัพพลายเออร์
14	Machine	มีเศษฝุ่นสะสมในชุด Vacuum		✓	ในชุดหัว Vacuum เมื่อใช้ไปนานๆ อาจจะมีเศษฝุ่นสะสมอยู่ภายในชุด Vacuum ทำให้การทำงานของชุดประกอบแผ่นจานบันทึกข้อมูลไม่มีประสิทธิภาพ แต่ได้มีการเพิ่มตัว Regulator สำหรับเช็คปริมาณลมในชุด Vacuum เพื่อตรวจสอบ จึงทำให้มั่นใจว่า ปัจจัยนี้อยู่ภายใต้การควบคุม	มีการทำความสะอาดชุด Vacuum ก่อนที่จะมีการผลิตทุกวัน เพื่อให้มั่นใจว่าไม่มีเศษฝุ่นตกค้างในชุด Vacuum

ตารางที่ 6.5 การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล (ต่อ)

การพิจารณาเลือกปัจจัยเพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล						
ลำดับที่	**ประเภทของสาเหตุ**	**ปัจจัยนำเข้า (KPIV)**	**เลือก**	**ไม่เลือก**	**เหตุผลสนับสนุนการตัดสินใจ**	**การออกแบบ/ควบคุมการทดลอง**
15	Method	ปริมาณลมที่จ่ายให้กับเครื่องไม่นิ่ง		✓	เนื่องจากปริมาณลมที่จ่ายให้กับเครื่องวางแผ่นจานบันทึกข้อมูลมีค่าไม่นิ่ง เพราะว่าการต่อลมจาก facility มาเพื่อใช้กับเครื่องจักรแต่ละเครื่องในสายการผลิต จะมีค่าที่ไม่เท่ากันและบางครั้งมีเศษฝุ่นละอองสะสมมาด้วย ดังนั้นปัจจัยนี้ได้ถูกแก้ไขทันที เพราะจะทำให้เครื่องจักรไม่สามารถทำงานได้ จึงไม่เลือกไปทำการทดลอง	ทำการควบคุมปริมาณลมที่จ่ายเข้ากับเครื่องวางแผ่นจานบันทึกข้อมูล

จากตารางที่ 6.5 ได้กล่าวถึงการพิจารณาเลือกปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 15 ตัวเพื่อคัดเลือกปัจจัยที่จะนำมาทดสอบสมมติฐานว่ามีผลต่อความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลค่าอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ซึ่งเหลือเพียงปัจจัยนำเข้า 5 ตัว ซึ่งจะถูกนำไปทดสอบความมีนัยสำคัญในระยะการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหา แสดงดังตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 สรุปผลปัจจัยที่จะนำมาทดสอบความมีนัยสำคัญสำหรับความผันแปรของความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

ลำดับที่	ปัจจัยนำเข้า (KPIV)	ประเภทของข้อมูล	หน่วย
1	ตั้งค่า Clamp screw Torque	ข้อมูลผันแปร	นิ้ว-ปอนด์
2	ระยะเวลาในการ Bias แผ่นจานบันทึกข้อมูล (Bias Time)	ข้อมูลผันแปร	วินาที
3	ระยะการปล่อยแผ่นจานบันทึกข้อมูล	ข้อมูลผันแปร	มิลลิเมตร
4	ค่าความดันของ Ejector Pin	ข้อมูลผันแปร	เมกะปาสคาล
5	ระยะเผื่อขอบนอกของแผ่นจานบันทึกข้อมูล	ข้อมูลผันแปร	แทร็คต่อนิ้ว

6.2.4 สรุปผลการดำเนินงานวิจัยในระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหาสำหรับค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

สำหรับขั้นตอนการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ความเที่ยงของระบบการวัดโดยประเมินคุณสมบัติด้านรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ของเครื่องมือวัด ของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล พบว่า ค่า P/TV และ P/T ผ่านเกณฑ์การยอมรับ AIAG (2002) ที่ระบุว่าต้องไม่เกิน 10% จึงสรุปได้ว่า ความเที่ยงของระบบการวัดนี้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ในขั้นตอนต่อมาจึงทำการประเมินความสามารถของกระบวนการผลิตปัจจุบันของค่าตอบสนอง ความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลซึ่งให้ค่า Cpk เท่ากับ 0.75 จากการวิเคราะห์พบว่า ความสามารถของกระบวนการในขณะก่อนการปรับปรุงมีค่าที่ต่ำกว่าเกณฑ์การยอมรับที่ 1.33 ดังนั้นจึงจะต้องมีการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการเพื่อให้ค่าเฉลี่ยเข้าใกล้ค่าเป้าหมายที่ 263,000 $\pm$ 5000 TPIและมีค่าความผันแปรน้อยที่สุด

ส่วนการวิเคราะห์ขั้นสุดท้ายของระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุ จะใช้เครื่องมือที่เรียกว่าแผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) โดยทำการระดมสมองของทุกคนในทีมซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญในสายการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมาช่วยกันวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาแยกตามหลักการ 5M 1E ซึ่งแบ่งสาเหตุของปัญหาออกเป็นกลุ่มปัจจัยต่างๆ คือ คน (Man), เครื่องจักร (Machine), วิธีการ (Method), วัตถุดิบ (Material), เครื่องมือวัด (Measurement) และ

สภาพแวดล้อม (Environment) ทำให้ได้ปัจจัยนำเข้าของแต่ละปัญหา จากทีมจึงช่วยกันลงคะแนนเพื่อคัดกรองให้เหลือแต่ปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อตัวแปรตอบสนองความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล จะประกอบด้วย 5 ปัจจัย คือ ค่า Clamp screw Torque, ระยะเวลาในการ Bias แผ่นจานบันทึกข้อมูล, ระยะการปล่อยแผ่นจานบันทึกข้อมูล, ค่าความดันของ Ejector Pin และ ระยะเผื่อขอบนอกของแผ่นจานบันทึกข้อมูลโดยปัจจัยนำเข้าทั้งหมดจะถูกนำไปออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญต่อไปในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

6.3 การดำเนินการวิจัยในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาสำหรับค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

หลังจากที่ทีมงานช่วยกันระดมความคิดเพื่อคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่คาดว่าจะส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ย และค่าความผันแปรของตัวแปรตอบสนองความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล (TPI) แล้ว จึงได้นำปัจจัยนำเข้าเหล่านั้นมาทำการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานว่าปัจจัยเหล่านั้นมีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่โดยอาศัยวิธีการทางสถิติ ดังนี้

6.3.1 รูปแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองจะใช้การทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย เช่นเดียวกับการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาในส่วนของตัวแปรตอบสนองแทร็คเริ่มต้นและแทร็คสุดท้าย เนื่องจากเป็นวิธีการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถวิเคราะห์ผลของอิทธิพลหลัก (Main Effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างปัจจัยได้ นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มจุดศูนย์ของแต่ละระดับปัจจัยเข้าไปในการทดลองด้วย เพื่อทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับลักษณะพื้นผิวโค้ง (Curvature) ที่เกิดขึ้นกับผลตอบสนอง สามารถแสดงได้ด้วยแบบจำลองพื้นผิวตอบสนองขั้นที่สอง (Second Order Response Surface) ซึ่งเกิดจากการทำซ้ำที่บริเวณจุดศูนย์กลางของแต่ละระนาบจำนวน 4 ซ้ำ และไม่ส่งผลต่อการทดลองแบบแฟคทอเรียลแต่อย่างใด

6.3.2 **ขนาดตัวอย่างสำหรับการออกแบบการทดลอง** (Sample Size for Fractional Factorial Design)

การออกแบบการทดลองเพื่อให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือจะต้องพิจารณาถึง จำนวนซ้ำ (Replication) ของการทดลองแต่ละทรีทเมนต์ด้วยเพื่อให้สามารถแยกความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสองระดับของปัจจัยได้ ในที่นี้จะวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Minitab โดยมีจำนวนปัจจัยนำเข้า 5 ตัวแปร และ ออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบเพิ่มจุดศูนย์กลางที่มี resolution V เนื่องจากการออกแบบการทดลองเช่นนี้จะช่วยลดจำนวนการทดลองให้น้อยลงครึ่งหนึ่งของการทดลองทั้งหมด โดยผลของอิทธิพลที่เป็นเอเลียซกับอิทธิพลหลักหรืออิทธิพลร่วมสองปัจจัยจะสามารถตัดทิ้งได้ ดังนั้นจึงใช้แบบการทดลอง 2_V^{5-1} (1/2 fractional factorial) ที่มีกำลังของการทดสอบ (Power of Test) อย่างน้อย 99 % (1-β= 0.99) และระดับของการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยที่ต้องการตรวจจับได้อย่างน้อย 1σ หรือเท่ากับ 1552 แทร็ค ดังนั้นจะได้จำนวนการทดลองซ้ำสำหรับการทดลองร่วมปัจจัยเท่ากับ 5 แต่มีการเพิ่มการทดลองที่จุดศูนย์กลางของแต่ละระดับปัจจัยอีกจำนวน 4 ซ้ำ ทำให้ได้จำนวนการทดลองทั้งสิ้น 84 การทดลอง

Power and Sample Size

```
2-Level Factorial Design for Track Per Inch (TPI) response

Alpha = 0.05  Assumed standard deviation = 1552

Factors:    5   Base Design: 5, 16
Blocks:  none

Including a term for center points in model.

Center                Total  Target
Points  Effect  Reps   Runs   Power  Actual Power
     4    1552     3     52    0.90      0.920378
     4    1552     4     68    0.95      0.975214
     4    1552     5     84    0.99      0.992802
```

รูปที่ 6.6 กำลังและจำนวนซ้ำ (Replication) สำหรับตัวแปรตอบสนอง “ความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล”

6.3.3 ปัจจัยนำเข้าและระดับของปัจจัยนำเข้า

การกำหนดสัญลักษณ์ของแต่ละปัจจัยจะถูกกำหนดด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษ โดยแต่ละระดับปัจจัยจะถูกกำหนดขึ้นโดยอาศัยความเชี่ยวชาญของผู้มีประสบการณ์ในทีม นอกจากนี้ช่วงระดับความกว้างของแต่ละปัจจัยจะต้องมีความกว้างพอที่ทำให้เห็นอิทธิพลของปัจจัยนั้นๆ โดยปัจจัยนำเข้าที่ถูกคัดเลือกจากทีมสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.7

ตารางที่ 6.7 การกำหนดสัญลักษณ์และระดับของปัจจัยนำเข้าสำหรับตัวแปรตอบสนอง “ความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล”

ลำดับที่	ปัจจัยนำเข้า (KPIV)	สัญลักษณ์	ประเภทของข้อมูล	ระดับของปัจจัย			
				ต่ำ	กลาง	สูง	หน่วย
1	ตั้งค่า Clamp screw Torque	A	Variable	0.80	1.00	1.20	ปอนด์-นิ้ว
2	ระยะเวลาในการ Bias แผ่นจานบันทึกข้อมูล (Bias Time)	B	Variable	1	2	3	วินาที
3	ระยะการปล่อยแผ่นจานบันทึกข้อมูล	C	Variable	0.5	1.0	1.5	มิลลิเมตร
4	ค่าความดันของ Ejector Pin	D	Variable	0.10	0.30	0.50	เมกะปาสคาล
5	ระยะเผื่อขอบนอกของแผ่นจานบันทึกข้อมูล	E	Variable	500	750	1000	แทร็คต่อนิ้ว

6.3.4 ตัวแปรตอบสนอง (Response)

ในการทดลองสำหรับค่าตัวแปรตอบสนองค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล จะวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองจะอยู่ในรูปของค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐาน เช่นเดียวกับตัวแปรตอบสนองแทร็คเริ่มต้นและแทร็คสุดท้าย เนื่องจากต้องการปรับปรุงกระบวนการของทั้งสองค่าผลตอบสนอง ดังนั้นจะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) ในรูปแบบของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) จากข้อมูลการทดลองจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไข $\varepsilon_{ij} \sim NID\ (0,\sigma^2)$ ซึ่งมีสมมติฐาน 3 ข้อ คือ ค่าส่วนตกค้าง จะต้องมีการกระจายตัวแบบปกติและเป็นอิสระด้วยค่าเฉลี่ย 0 และความแปรปรวนไม่

ทราบค่า σ^2 ที่เป็นค่าคงตัว (Stability) ดังนั้นเมื่อได้ผลการทดลองดังที่ได้ออกแบบการทดลองไว้เบื้องต้นแล้ว จึงจะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทุกครั้งสำหรับค่าส่วนตกค้าง เพราะบางครั้งอาจมีผลของความแปรปรวนที่มีค่าไม่คงตัวในกรณีที่ข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติทำให้เกิดผลกระทบต่อแบบจำลอง จนนำไปสู่การตัดสินใจที่ผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงมีการนำเทคนิคของการแปลงความแปรปรวนให้คงที่ (Variance Stabilizing Transformation)" โดยใช้วิธีการแปลงค่าด้วย ล็อค (Log Transformation) ดังสมการที่ 4.2 เพราะวิธีการแปลงข้อมูลประเภทนี้จะมีประสิทธิภาพมากที่จะทำให้ความแปรผันในการแจกแจงของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น ส่วนค่าเฉลี่ยสามารถนำมาวิเคราะห์ผลได้เลย โดยไม่ต้องมีการแปลงข้อมูล

6.3.5 ผลการทดลองคัดเลือกปัจจัยเบื้องต้นที่มีผลต่อค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

สำหรับการทดลองนี้ จะใช้แบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล 2_V^{5-1} (1/2 fractional factorial) มีการทดลองซ้ำ 5 ครั้งต่อการทดลอง โดยในการเตรียมการทดลองจะต้องมีการอบรมพนักงานสำหรับวิธีการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง มีควบคุมตัวแปรต่างๆ ที่อาจส่งผลทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน เช่น ชนิดของวัตถุดิบ การปรับตั้งเครื่องจักรบางประเภท และพยายามทำการทดลองทั้งหมดให้เสร็จสิ้นภายในเวลาเดียวกัน ซึ่งผลการทดลองสามารถแสดงดังตารางที่ 6.8

ตารางที่ 6.8 ผลการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล (TPI)

Std Order	Run Order	Center Pt	Blocks	A	B	C	D	E	$\bar{y}$	s	ln s
9	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	265228	235	5.459
15	2	1	1	-1	1	1	1	-1	263246	166	5.114
6	3	1	1	1	-1	1	-1	1	269028	247	5.509
8	4	1	1	1	1	1	-1	-1	264352	249	5.516
2	5	1	1	1	-1	-1	-1	-1	269111	120	4.785
4	6	1	1	1	1	-1	-1	1	264330	118	4.772
1	7	1	1	-1	-1	-1	-1	1	270744	402	5.996
3	8	1	1	-1	1	-1	-1	-1	266732	463	6.137
16	9	1	1	1	1	1	1	1	263232	123	4.815
17	10	0	1	0	0	0	0	0	265874	247	5.511
14	11	1	1	1	-1	1	1	-1	266017	287	5.659
12	12	1	1	1	1	-1	1	-1	263465	443	6.092
5	13	1	1	-1	-1	1	-1	-1	270443	229	5.432
11	14	1	1	-1	1	-1	1	1	263148	254	5.536
10	15	1	1	1	-1	-1	1	1	266247	176	5.170
7	16	1	1	-1	1	1	-1	1	266799	329	5.796
13	17	1	1	-1	-1	1	1	1	265321	277	5.625

หมายเหตุ

$\bar{y}$ คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนอง TPI จากการทดลองในแต่ละทรีทเมนต์

s คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรตอบสนอง TPI จากการทดลองในแต่ละทรีทเมนต์

ln s คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า TPI ที่ผ่านการแปลงโดยสมการ $y^* = \ln s$

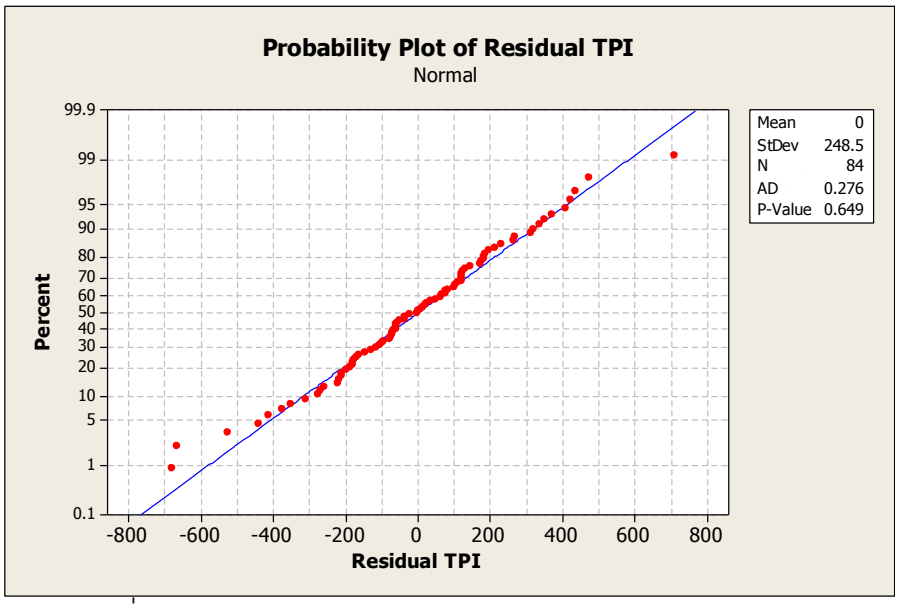
เมื่อเก็บข้อมูลตามสภาวะต่างๆ ที่ได้ทำการออกแบบการทดลองไว้แล้ว จึงมีการวิเคราะห์ผลโดยใช้หลักทางสถิติดังนี้

- **การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง** (Model Adequacy Checking)

ในการคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรตอบสนอง “ค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล” โดยในเบื้องต้นก่อนที่นำข้อสรุปของการวิเคราะห์ความแปรปรวนไปใช้งาน จะต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) โดยพิจารณาจากส่วนตกค้างของข้อมูลว่าเป็นไปตามสมมติฐาน $\varepsilon_{ij} \sim NID\ (0,\sigma^2)$ดังต่อไปนี้

1. การทดสอบการแจกแจงปกติของส่วนตกค้างของความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล (Normal Plot of Residuals)

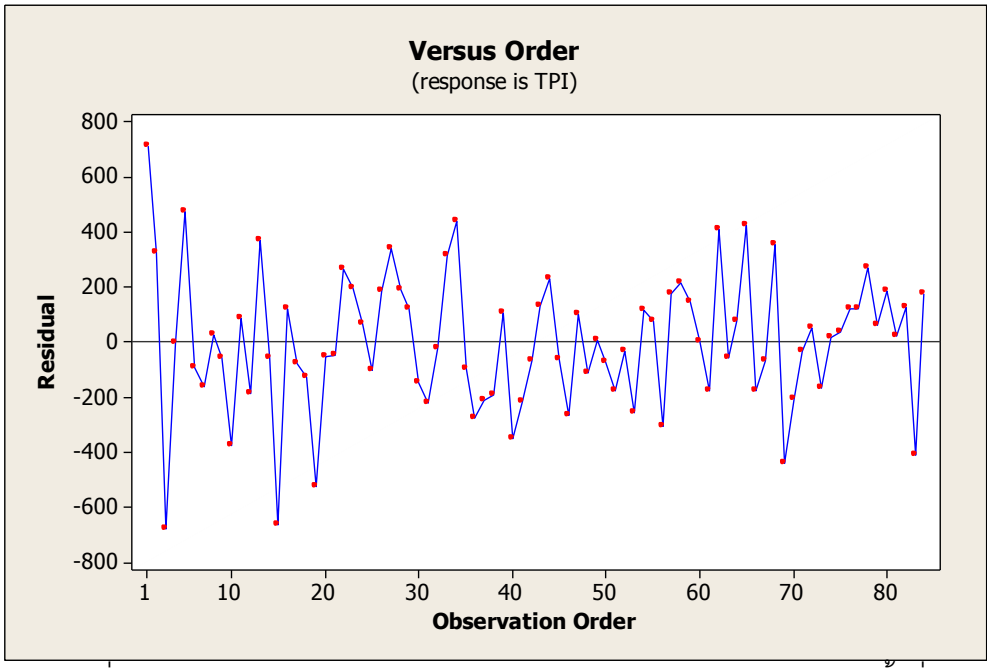
การวิเคราะห์การกระจายตัวของส่วนตกค้างของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล ว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่นั้น สามารถทำได้โดยการนำส่วนตกค้างทั้งหมดมาพล็อต Normal Probability Plot ซึ่งเป็นการทดสอบที่สามารถทำได้ง่าย ถ้าข้อมูลส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ ก็จะทำให้การเรียงตัวของส่วนตกค้างกระจายตัวอยู่รอบๆ เส้นตรง และจากการทดสอบการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Normality Test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้วิธีการทางสถิติพบว่า ค่า P-Value จากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.649 ดังรูปที่ 6.7 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่ายอมรับสมมติฐานหลักว่า ข้อมูลส่วนตกค้างของความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล มีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 6.7 ผลการทดสอบสมมติฐานการแจกแจงแบบปกติของส่วนตกค้างความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

2. การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระของส่วนตกค้างของความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล(Independence of Residual)

ในการตรวจสอบความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง ทำพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและเวลาในการเก็บข้อมูลโดยอาศัยวิธีการพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ของส่วนตกค้างตามลำดับเวลา พบว่าข้อมูลส่วนตกค้างของความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลมีการกระจายตัวอยู่ทั้งด้านบวกและด้านลบในรูปแบบที่เป็นอิสระต่อกัน ไม่มีรูปแบบที่แน่นอนดังรูปที่ 6.8 จึงสามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลส่วนตกค้างของความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลมีความเป็นอิสระ

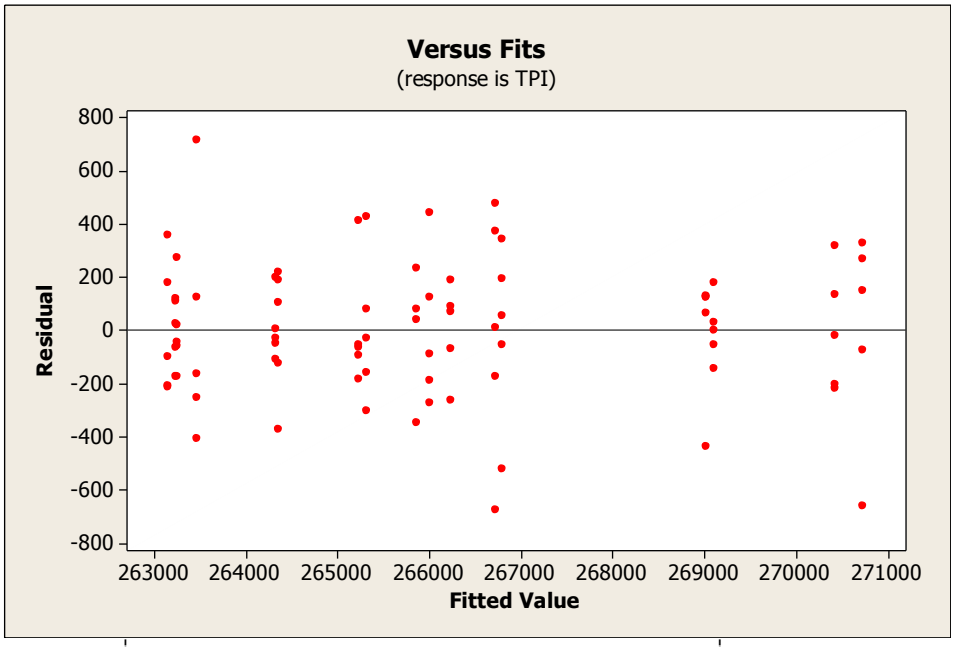


รูปที่ 6.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างของความหนาแน่นของพื้นที่ในการอ่านเขียนข้อมูลตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล

3. การทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนของความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล (Variance Stability)

การทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนสามารถทำได้โดยการพล็อตกราฟส่วนตกค้างของความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลกับค่าที่ถูกฟิต (Residual vs Fits) ดังรูปที่ 6.9 จะพบว่าการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างจะไม่มีรูปร่างที่แน่นอน หรือ เป็นรูปแบบของ

กรวยปากเปิด ซึ่งทำให้สามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลส่วนตกค้างของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลมีความแปรปรวนที่มีค่าคงที่



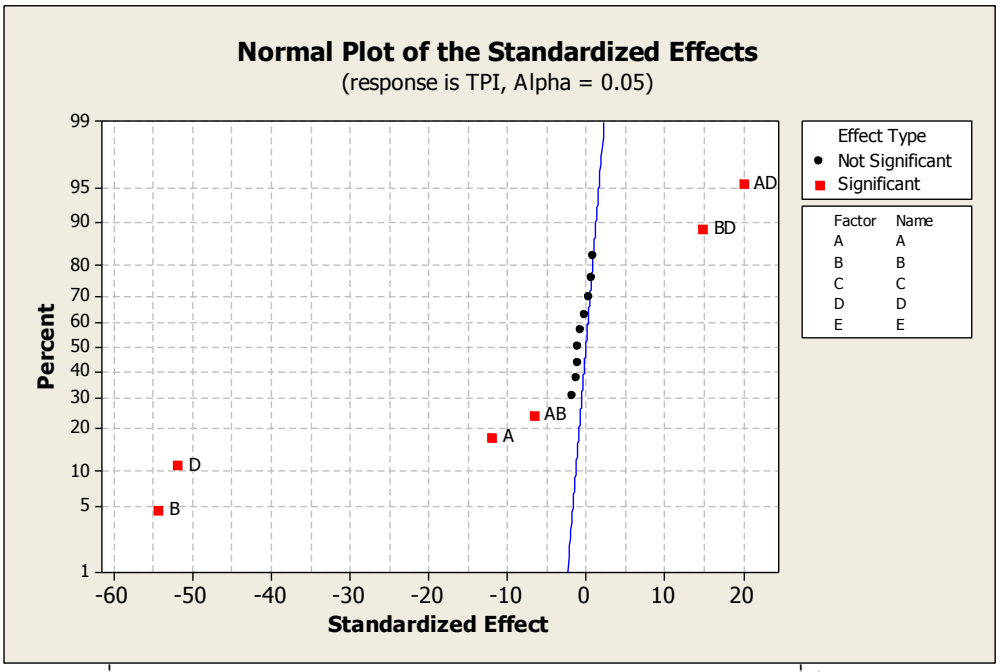
รูปที่ 6.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

ดังนั้นจากการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองตาม สมมติฐาน $\varepsilon_{ij} \sim NID\ (0,\sigma^2)$ สามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเหมาะสมและตรงตามสมมติฐานทั้ง 3 ข้อ คือ ส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติ ข้อมูลมีความเป็นอิสระซึ่งกันและกัน และ ความแปรปรวนของส่วนตกค้างมีค่าคงที่ ดังนั้นจึงสามารถใช้ข้อมูลเหล่านี้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนได้และมีความน่าเชื่อถือ

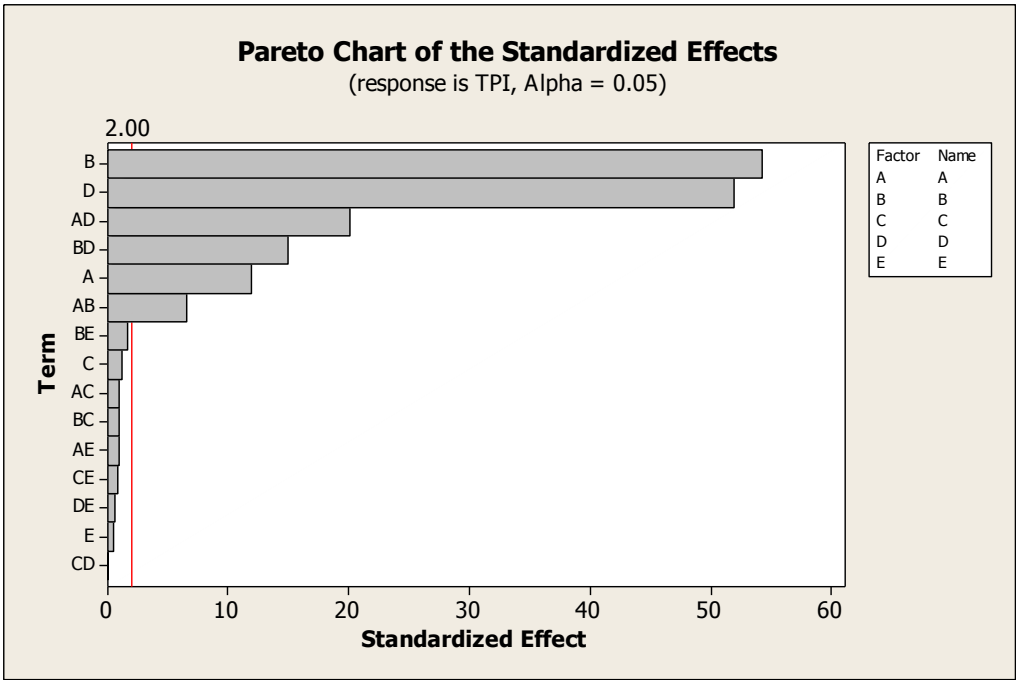
- **การวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนองค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล**

1. ข้อมูลค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล (Mean of TPI)

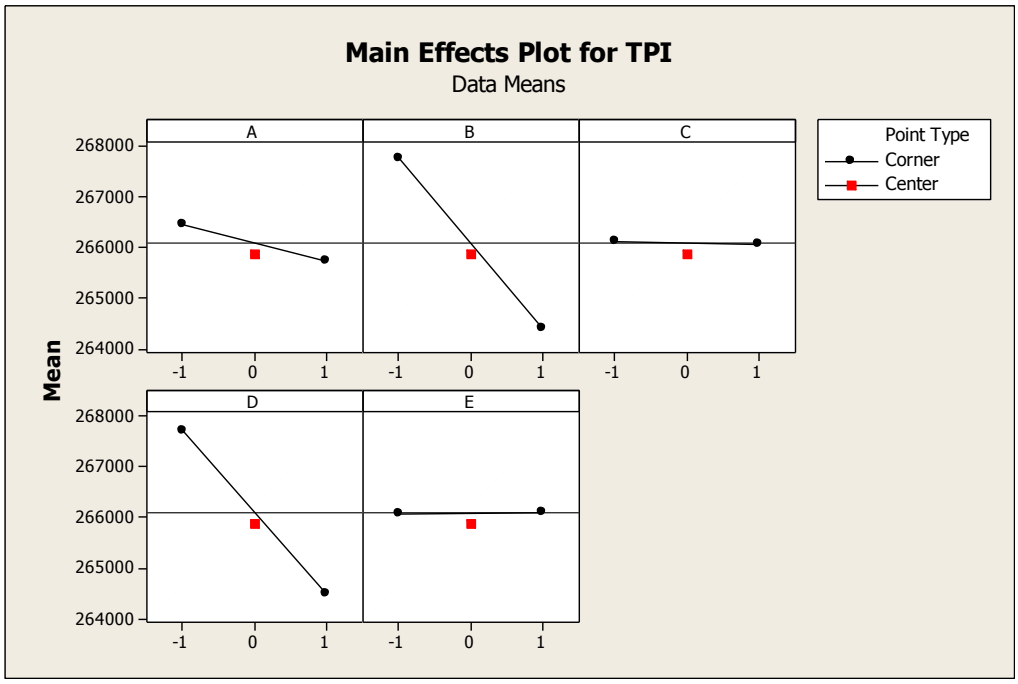
จากการเก็บผลการทดลองเพื่อทำการคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล เพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับเป้าหมายมากที่สุดโดยจะทำการวิเคราะห์โดยใช้กราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าประมาณของผล (Normal Plot of the Standardized Effect) ดังรูปที่ 6.10



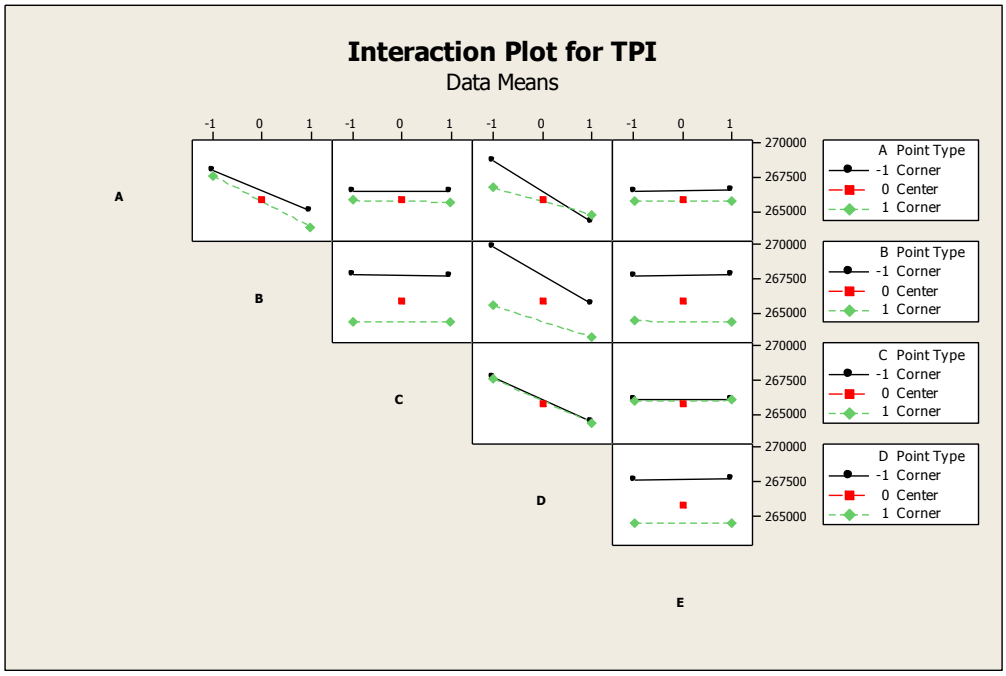
รูปที่ 6.10 กราฟ Normal Plot ผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล



รูปที่ 6.11 แผนภาพพาเรโตแสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ยของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล



รูปที่ 6.12 ปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 6.13 อันตรกิริยา (Interaction) ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของค่า ความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญ

Factorial Fit: TPI versus A, B, C, D, E

Estimated Effects and Coefficients for TPI (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		266090	30.92	8605.97	0.000
A	-735	-367	30.92	-11.88	0.000
B	-3354	-1677	30.92	-54.24	0.000
C	-71	-35	30.92	-1.14	0.257
D	-3204	-1602	30.92	-51.82	0.000
E	32	16	30.92	0.52	0.607
A*B	-401	-201	30.92	-6.49	0.000
A*C	-60	-30	30.92	-0.97	0.335
A*D	1239	620	30.92	20.04	0.000
A*E	-59	-29	30.92	-0.95	0.346
B*C	60	30	30.92	0.96	0.338
B*D	924	462	30.92	14.93	0.000
B*E	-103	-52	30.92	-1.67	0.099
C*D	3	1	30.92	0.04	0.966
C*E	49	24	30.92	0.79	0.434
D*E	-34	-17	30.92	-0.55	0.586
Ct Pt		-217	141.69	-1.53	0.131

S = 276.550 PRESS = 8100451
R-Sq = 98.97% R-Sq(pred) = 98.37% R-Sq(adj) = 98.73%

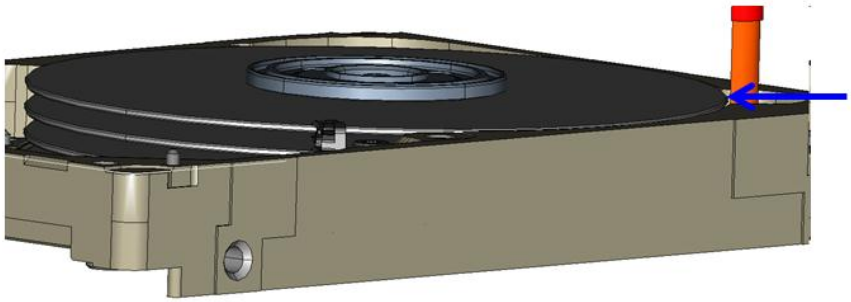
Analysis of Variance for TPI (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	5	441306730	441306730	88261346	1154.05	0.000
2-Way Interactions	10	51500984	51500984	5150098	67.34	0.000
Curvature	1	178767	178767	178767	2.34	0.131
Residual Error	67	5124154	5124154	76480		
Pure Error	67	5124154	5124154	76480		
Total	83	498110635				

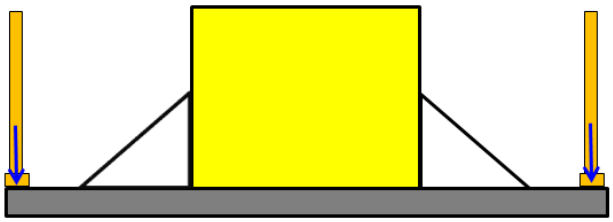
รูปที่ 6.14 ผลการวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab เพื่อคัดเลือกหาปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของค่า TPI พบว่า มีผลมาจากอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย AB , BD และ AD ที่มีนัยสำคัญ ดังกราฟ Normal Plotof Effects รูปที่ 6.10 หรือ Pareto Chart of Effects รูปที่ 6.11 โดยผลของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย A และปัจจัย B จะส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของค่า TPI เมื่อระดับปัจจัย A เป็นบวก การปรับระดับค่า B ให้เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าเฉลี่ยของค่า TPI ลดลง ซึ่งที่ระดับปัจจัย A เป็นลบ การปรับระดับค่า B ให้เพิ่มขึ้นก็ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของค่า TPI ลดลงเช่นกัน แต่ลดลงในสัดส่วนที่น้อยกว่า ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการปรับระดับปัจจัย B หรือ ระยะเวลาในการ Bias แผ่นจานบันทึกข้อมูลให้อยู่ในระดับสูงจะทำให้ได้ค่า TPI เฉลี่ย 264,413 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้เป้าหมายที่ 263,000 TPI มาก

ที่สุดเนื่องจากเวลาในการ Bias จะส่งผลกระทบโดยตรงกับระนาบของแผ่นจานบันทึกข้อมูล โดยจานบันทึกข้อมูลจะถูกดันเพื่อให้จุดศูนย์กลางอยู่ในระนาบที่สมมาตรดังรูปที่ 6.15 เมื่อใช้เวลามากจะทำให้แผ่นจานวางตัวในลักษณะที่สมมาตรพอดี แต่ถ้ากำหนดเวลาในการดันที่น้อยเกินไปก็จะทำให้การวางตัวของจานบันทึกข้อมูลมีลักษณะเอียงไปด้านใดด้านหนึ่งดังนั้นหัวอ่านเขียนข้อมูลจะอ่านค่า TPI ได้มากเกินค่าเป้าหมายเฉลี่ยที่ 267,767 TPI



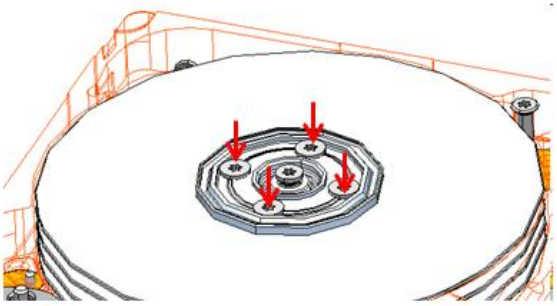
รูปที่ 6.15 ลักษณะการ Bias แผ่นจานบันทึกข้อมูล ซึ่งส่งผลต่อค่า TPI อย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 6.16 ปัจจัย D ค่าความดันของ Ejector Pin ส่งผลต่อค่า TPI อย่างมีนัยสำคัญ

ส่วนอัตรกิริยาระหว่างปัจจัย A และปัจจัย D ก็ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของ TPI เช่นกัน โดยที่ระดับปัจจัย A เป็นบวก การปรับค่าระดับปัจจัย D ให้เพิ่มมากขึ้น จะส่งผลทำให้ค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลลดลงเฉลี่ย 1,965 TPI แต่ในขณะที่ระดับปัจจัย A เป็นลบ การปรับค่าระดับปัจจัย D ให้เพิ่มมากขึ้น ส่งผลทำให้ค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลลดลงในสัดส่วนที่มากกว่าเฉลี่ย 4,443 TPI โดยพบว่าการปรับค่าความดันของ Ejector pin ให้อยู่ที่ระดับสูงจะทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของค่า TPI ใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายมากที่สุดเนื่องจากที่แขนหุ่นยนต์จะทำหน้าที่ในการหยิบแผ่นจานบันทึกข้อมูลจากกล่อง Caddy แล้ววางลงบนสปินเดิลมอเตอร์โดย จะมี Ejector Pin 2 ตัวเพื่อช่วยดันแผ่นจานบันทึกข้อมูลเพื่อให้หลุดออกจากแขนหุ่นยนต์ดังรูปที่ 6.16 ดังนั้นการใช้แรงดันที่มากจะช่วยทำให้แผ่นจานบันทึกข้อมูลวางตัวอยู่ใน

ตำแหน่งที่ถูกต้อง ไม่เกิดเอียงตัวเมื่อเทียบกับการใช้ความดันน้อย ส่วนปัจจัย A หรือ ค่า Clamp Screw Torque จะเป็นค่าแรงบิดที่ใช้ในการขันสกรูบริเวณส่วนจุดศูนย์กลางของแผ่นจานบันทึกข้อมูลดังรูปที่ 6.17 โดยพบว่าถ้าใช้ค่าที่ระดับต่ำจะทำให้แผ่นจานบันทึกข้อมูลเกิดการหมุนในลักษณะเป็นวงรี แต่ถ้าใช้ค่าทอร์กที่ระดับสูงจะทำให้การหมุนของแผ่นจานบันทึกข้อมูลมีลักษณะนิ่งกว่าจึงได้ค่าความหนาแน่นในการเขียนอ่านข้อมูลที่ใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายมากยิ่งขึ้น



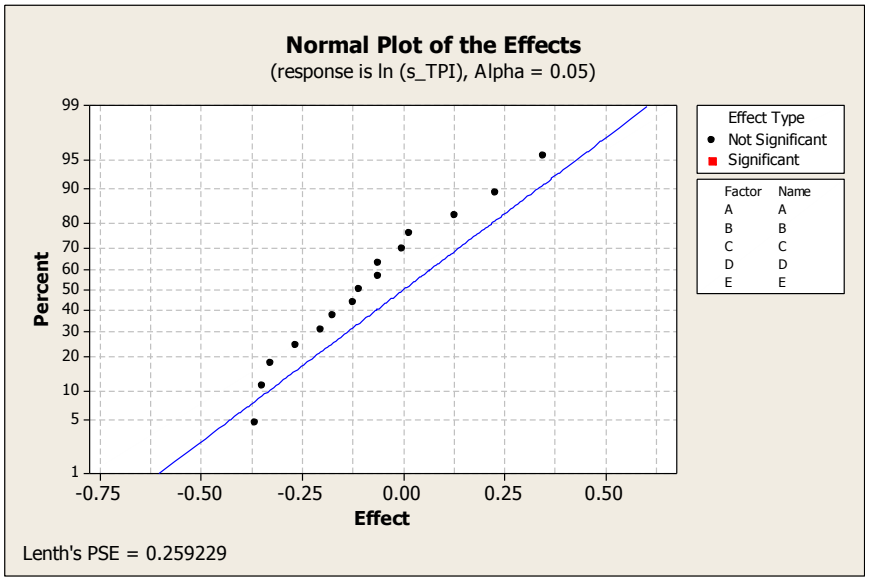
รูปที่ 6.17 ปัจจัย A ค่าทอร์กของ Clamp screw ส่งผลต่อค่า TPI อย่างมีนัยสำคัญ

ในส่วนอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย B และปัจจัย D ก็ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนอง TPI อย่างมีนัยสำคัญ คือ ที่ระดับปัจจัย B เป็นบวก การปรับค่าระดับปัจจัยของ D ให้มากขึ้นจะส่งผลทำให้ TPI มีค่าเฉลี่ยลดลง 2,280 TPI เมื่อเปรียบเทียบกันในขณะที่ ระดับปัจจัย B เป็นลบ การปรับค่าระดับปัจจัยของ D ให้มากขึ้นจะส่งผลทำให้ TPI มีค่าเฉลี่ยลดลง 4,128 TPI ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนองจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายเมื่อปรับค่าของทั้งสองปัจจัยไว้ที่ระดับสูง

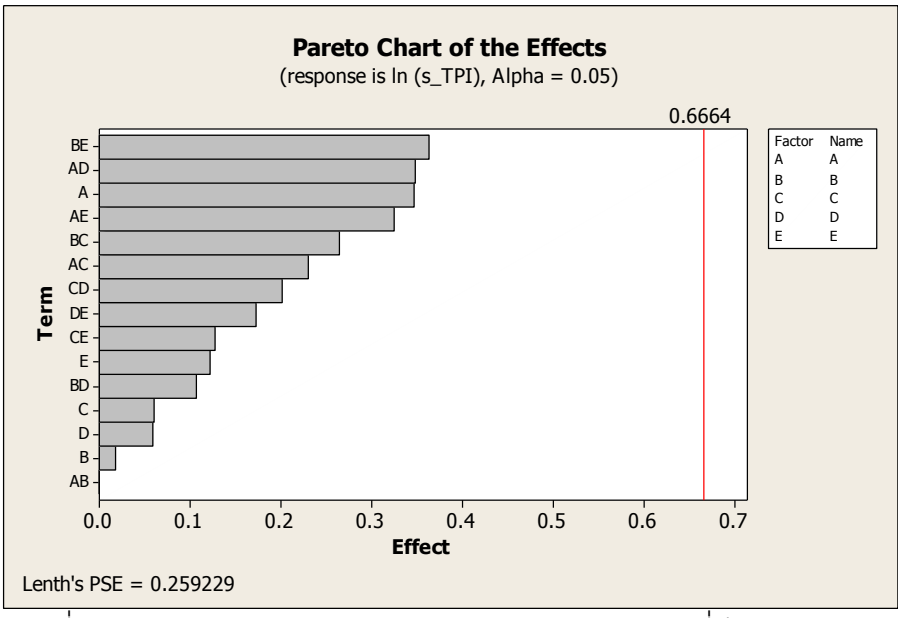
นอกจากนี้การทดลองโดยการเพิ่มจุดศูนย์กลางของแต่ละระดับปัจจัยเข้าไปเพื่อพิจารณาถึงลักษณะของพื้นผิวโค้ง (Curvature) ที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนอง TPI พบว่า ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ไม่มีลักษณะของผิวโค้งเกิดขึ้นกับแบบจำลองของตัวแปรตอบสนองค่าเฉลี่ย TPI โดยพิจารณาจากค่า P-Value ของ การทดสอบลักษณะผิวโค้ง (Curvature) มีค่าเท่ากับ 0.131 ดังนั้นในขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพจึงสามารถพิจารณาหาค่าที่เหมาะสมจากการทดลองข้างต้นได้เพื่อหาค่าที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของ TPI มีค่าใกล้เคียง 263,000 TPI มากที่สุด

2. ข้อมูลส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล (Sigma of TPI)

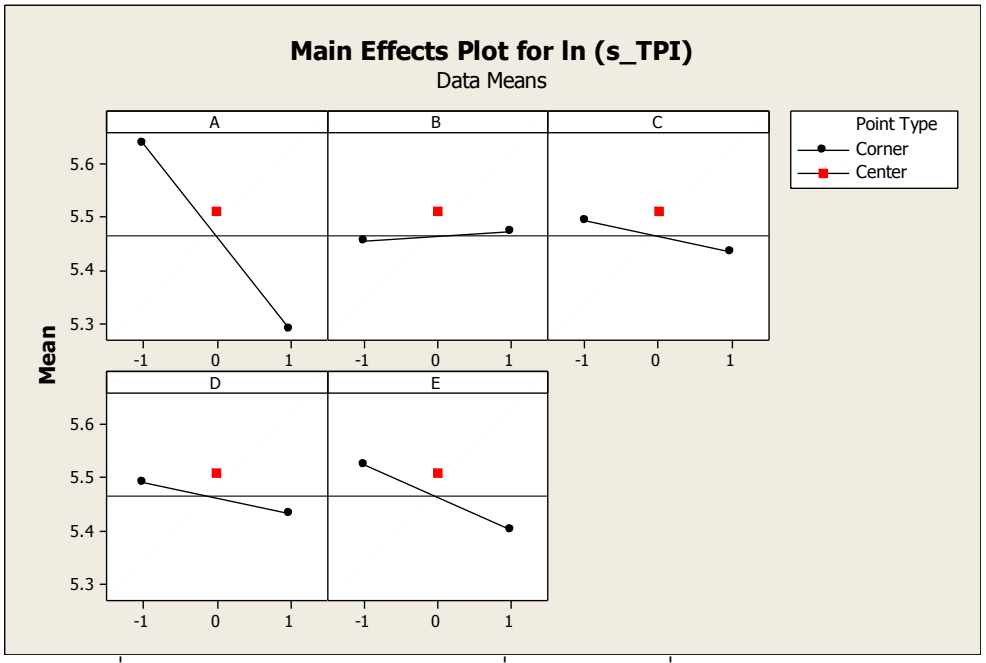
สำหรับการทดลองในแต่ละทรีทเมนต์ จะมีการทำซ้ำ 5 ตัวอย่างการทดลองซึ่งจะทำให้สามารถนำค่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมาวิเคราะห์ถึงปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญได้ แต่เนื่องจากคุณสมบัติด้านความมีเสถียรภาพของส่วนตกค้างจึงต้องมีการแปลงค่าตัวแปรตอบสนองในรูปของลอการิทึมก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ Minitab ซึ่งแสดงผลในรูปของกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าประมาณของผล (Normal Plot of the Standardized Effect) ดังรูปที่ 6.18



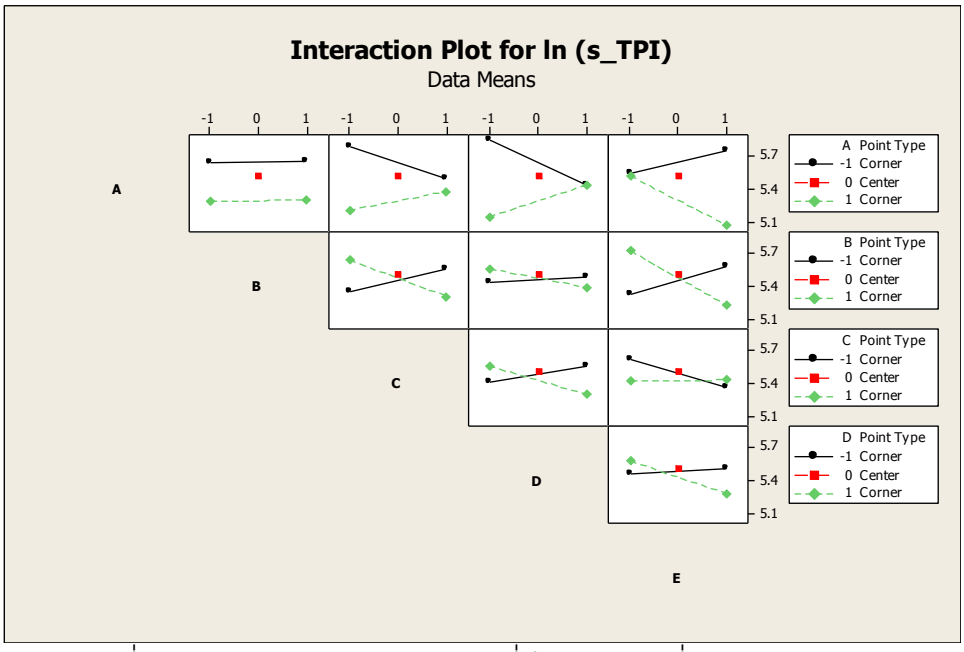
รูปที่ 6.18 กราฟ Normal Plot ผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล



รูปที่ 6.19 แผนภาพพาเรโตแสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล



รูปที่ 6.20 ปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีผลต่อส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล



รูปที่ 6.21 อันตรกิริยา (Interaction) ที่มีผลต่อส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญ

Factorial Fit: ln (s_TPI) versus A, B, C, D, E

Estimated Effects and Coefficients for ln (s_TPI) (coded units)

Term	Effect	Coef	Sum of Square	Percent Contribution
Constant		5.4633		
A	-0.3471	-0.1735	0.48183	16.6830
B	0.0179	0.0089	0.00128	0.0443
C	-0.0603	-0.0301	0.01453	0.5031
D	-0.0590	-0.0295	0.01391	0.4816
E	-0.1222	-0.0611	0.05972	2.0678
A*B	0.0001	0.0000	0.00000	0.0000
A*C	0.2300	0.1150	0.21167	7.3289
A*D	0.3476	0.1738	0.48332	16.7345
A*E	-0.3248	-0.1624	0.42187	14.6069
B*C	-0.2638	-0.1319	0.27841	9.6397
B*D	-0.1070	-0.0535	0.04575	1.5841
B*E	-0.3630	-0.1815	0.52708	18.2497
C*D	-0.2011	-0.1006	0.16177	5.6011
C*E	0.1279	0.0640	0.06544	2.2658
D*E	-0.1728	-0.0864	0.11947	4.1365
Ct Pt		0.0473	0.002107	0.0730

รูปที่ 6.22 ผลการวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อ
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

หลังจากทำการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ เพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล พบว่า ไม่สามารถทำการประมาณค่าความผิดพลาดได้ (Degrees of freedom of error = 0) ทำให้ไม่สามารถคำนวณหาค่า P-Value ได้ อันเนื่องมาจากผลของการออกแบบการทดลองที่มีผลของการกระจายตัวและไม่มีการทดลองซ้ำ (Location and Dispersion Effects in an Unreplicated Factorial) ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลการทดลองจึงต้องพิจารณาผลของปัจจัย (Effects) จากกราฟ Normal Plotof Effects หรือ Pareto Chart of Effects ดังรูปที่ 6.18 และ 6.19 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าไม่มีผลของปัจจัยหลัก และ ผลของอันตรกิริยา ที่ส่งผลต่อส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

6.3.6 สรุปผลระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาของตัวแปรตอบสนองความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

ในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ได้มีการออกแบบการทดลองโดยนำปัจจัยนำเข้า 5 ตัวแปรมาทำการคัดเลือกหาปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล โดยพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของค่า TPI ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ อันตรกิริยาระหว่างค่า Clamp Screw Torque และระยะเวลาในการดันแผ่นจานบันทึกข้อมูล (AB) , อันตรกิริยาระหว่างค่า Clamp Screw Torque และค่าความดันของ Ejector Pin (AD) , อันตรกิริยาระหว่าง ระยะเวลาในการดันแผ่นจานบันทึกข้อมูล และ ค่าความดันของ Ejector Pin(BD) แต่เมื่อทดสอบการมีลักษณะผิวโค้งของผลตอบกลับพบว่า มีค่า P - Value เท่ากับ 0.131หรือ สรุปได้ว่า ผลตอบค่าเฉลี่ยของค่า TPI ไม่มีลักษณะเป็นผิวโค้ง (Curvature) นอกจากนี้การวิเคราะห์ผลของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า TPI ในรูปของตัวแปรตอบสนอง ln s ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 กลับพบว่า ไม่มีปัจจัยใดที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญเลย ดังนั้นในการปรับปรุงคุณภาพของตัวแปรตอบสนอง TPI จึงทำการปรับปรุงในส่วนของค่าเฉลี่ยโดยพิจารณาหาจุดที่เหมาะสม (Optimization) ของแต่ละปัจจัยจากข้อมูลการทดลองข้างต้นเพื่อให้ได้ค่า TPI ที่ใกล้เคียงค่าเป้าหมาย 263,000 TPI มากที่สุด และเกิดค่าความผันแปรของความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลน้อยที่สุด

6.4 การดำเนินการวิจัยในระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการสำหรับค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

จากการทดลองในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยใช้การทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเพิ่มจุดศูนย์กลางทำให้ทราบว่า พบว่า ไม่มีอิทธิพลของผิวโค้ง (Curvature) เกิดขึ้นกับผลตอบสนองดังนั้นในระยะการปรับปรุงกระบวนการของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล จะทำการยืนยันว่าการทดลองที่ได้ทำไปแล้วนี้ มีการเลือกปัจจัยนำเข้าที่ถูกต้องและส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลตอบสนองด้วยการวิเคราะห์สมการถดถอย โดยตัดปัจจัยที่ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญออกไป ซึ่งมีปัจจัยนำเข้าที่คาดว่าจะมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล แสดงดังตารางที่ 6.9

ตารางที่ 6.9 ปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

ลำดับที่	สัญลักษณ์ในตัวแบบถดถอย	ปัจจัย
1	X_A	ตั้งค่า Clamp screw Torque
2	X_B	ระยะเวลาในการ Bias แผ่นจานบันทึกข้อมูล (Bias Time)
3	X_D	ค่าความดันของ Ejector Pin

6.4.1 ตัวแบบถดถอยในการพยากรณ์ค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Stepwise Regression พบว่า เทอมที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านสัญญาณ คือ ปัจจัยหลัก A, B, D และอันตรกิริยาของ AB, BD, AD ดังรูปที่ 6.23 และวิเคราะห์สมการถดถอยแบบเข้ารหัส (Coded Units) ได้สมการที่ 6.1

$$Y_{TPI} = 266077 - 367X_A - 1677X_B - 1602X_D - 201\,X_AX_B + 620\,X_AX_D + 462\,X_BX_D \quad (6.1)$$

Stepwise Regression: Mean TPI versus A, B, D, AB, BD, AD

Alpha-to-Enter: 0.15 Alpha-to-Remove: 0.15

Response is Mean TPI on 6 predictors, with N = 17

Step	1	2	3	4	5	6
Constant	266077	266077	266077	266077	266077	266077
B	-1677	-1677	-1677	-1677	-1677	-1677
T-Value	-3.55	-7.09	-9.57	-13.48	-24.69	-51.84
P-Value	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
D		-1602	-1602	-1602	-1602	-1602
T-Value		-6.77	-9.15	-12.88	-23.58	-49.53
P-Value		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
AD			620	620	620	620
T-Value			3.54	4.98	9.12	19.16
P-Value			0.004	0.000	0.000	0.000
BD				462	462	462
T-Value				3.71	6.80	14.27
P-Value				0.003	0.000	0.000
A					-367	-367
T-Value					-5.41	-11.36
P-Value					0.000	0.000
AB						-201
T-Value						-6.21
P-Value						0.000
S	1890	946	701	498	272	129
R-Sq	45.64	87.30	93.53	96.99	99.18	99.83
R-Sq(adj)	42.02	85.48	92.03	95.98	98.80	99.73
Mallows Cp	3188.0	737.2	372.2	170.5	43.5	7.0

รูปที่ 6.23 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อพยากรณ์ผลตอบสนอง

ค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

6.4.2 **การพิจารณาค่า** R^2(adj)

การพิจารณาความน่าเชื่อถือของตัวแบบถดถอยที่ได้จากการข้อมูลการทดลองเพื่อนำไปใช้ประมาณค่าของผลตอบจะพิจารณาจากเปอร์เซ็นของความผันแปรที่อธิบายได้ โดยคำนึงถึงจำนวนตัวแปรที่มีความจำเป็นในแบบจำลองแล้ว หรือเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ R^2(adj) ซึ่งจากการวิเคราะห์มีค่าเท่ากับ 99.73% หรือสามารถอธิบายได้ว่า สมการแบบถดถอยนี้มีความ

น่าเชื่อถือที่จะนำไปพยากรณ์ค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลให้มีความถูกต้องสูงถึง 99.73%

6.4.3 การหาค่าสำหรับการปรับตั้งระดับปัจจัยที่เหมาะสม

ในขั้นตอนนี้จะทำการวิเคราะห์เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลใกล้เคียงค่าเป้าหมายที่ 263,000 TPI และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าน้อยที่สุด เมื่อไม่มีอิทธิพลของผิวโค้ง (Curvature) ต่อตัวแปรตอบสนอง ดังนั้นจึงสามารถพิจารณาผลของปัจจัยหลักได้เลยโดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimization ในโปรแกรม Minitab ทำให้ได้ค่าระดับการปรับตั้งของแต่ละปัจจัยดังตารางที่ 6.10 และจากการพยากรณ์หาค่าผลตอบสนองที่ระดับการปรับตั้งปัจจัยที่ระดับนี้โดยใช้ตัวแบบถดถอยที่ลดรูปเหลือเฉพาะปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญ ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล (y bar) เท่ากับ 263,221 TPI และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ผ่านการแปลงค่าด้วย Log Transformation มีค่า 5.389 หรือเท่ากับ 218 แทร็คทำให้ได้ระดับความพึงพอใจโดยรวม (Composite Desirability) เท่ากับ 92.46%

ตารางที่ 6.10 ระดับการปรับตั้งปัจจัยที่เหมาะสมต่อผลตอบสนองความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

ลำดับที่	สัญลักษณ์ปัจจัย	ปัจจัย	ระดับปัจจัยที่เหมาะสม	
			Coded Units	Uncoded Units
1	A	ตั้งค่า Clamp screw Torque	-1	0.80
2	B	ระยะเวลาในการ Bias แผ่นจานบันทึกข้อมูล (Bias Time)	1	3
3	D	ค่าความดันของ Ejector Pin	1	0.50

Response Optimization

Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
Mean of TPI	Target	261478	263000	264522	1	1
ln (s_TPI)	Minimum	6	6	7	1	1

Global Solution

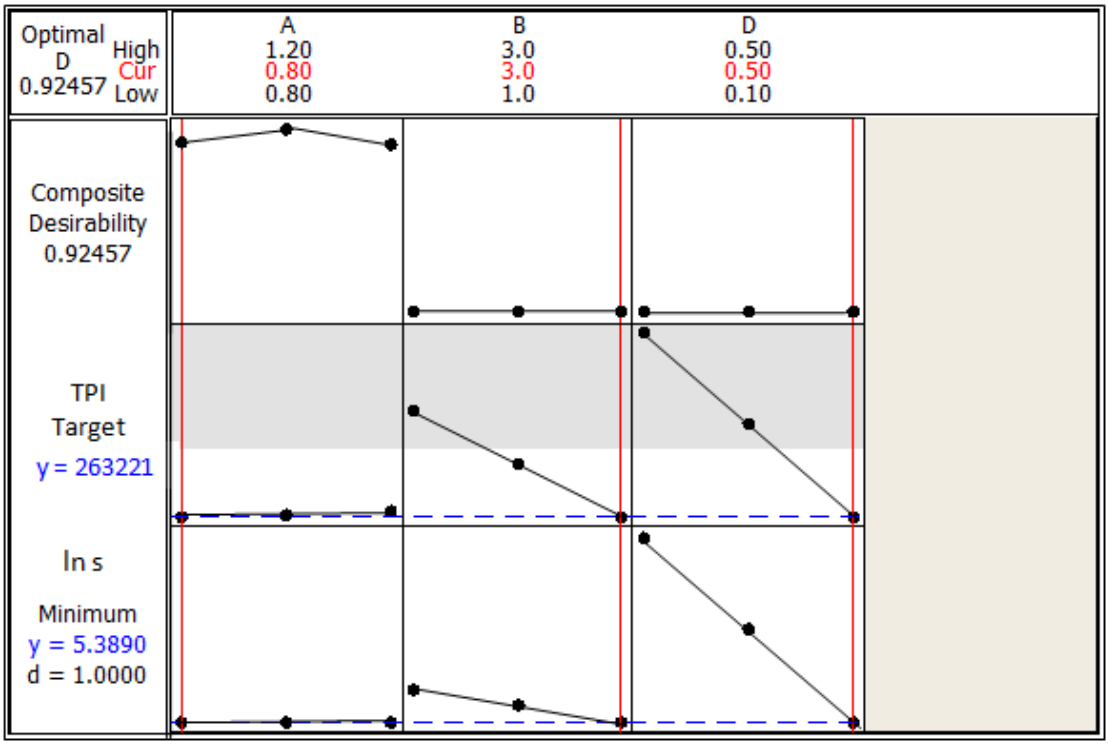
A = 0.8
B = 3
D = 0.5

Predicted Responses

Mean of TPI = 263221 , desirability = 0.854829
ln (s_TPI) = 5.389 , desirability = 1.000000

Composite Desirability = 0.924570

รูปที่ 6.24 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาระดับการปรับตั้งปัจจัยที่เหมาะสมต่อผลตอบสนองของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล



รูปที่ 6.25 กราฟ Optimization Plot เพื่อปรับตั้งปัจจัยที่เหมาะสมต่อผลตอบสนองค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

6.4.4 สรุปผลระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการสำหรับค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

ในขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการสำหรับค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลได้มีการพิจารณาผลของปัจจัยหลัก และอันตรกิริยา เฉพาะปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ พร้อมกับการวิเคราะห์ตัวแบบถดถอยเพื่อพยากรณ์ค่าผลตอบสนองค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลดังนั้นจากตัวแบบถดถอย สามารถหาค่าการปรับตั้งระดับปัจจัยที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าตัวแปรตอบสนอง คือ ปัจจัย A ค่า Clamp screw Torque เท่ากับ 0.80 in-lbs, ปัจจัย B ระยะเวลาในการ Bias แผ่นจานบันทึกข้อมูลเท่ากับ 3 วินาที และปัจจัย D ค่าความดันของ Ejector Pin เท่ากับ 0.5 เมกะปาสคาล ทำให้ได้ค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลมีค่าเข้าใกล้ข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์มากยิ่งขึ้นที่ค่า 263,221 TPI และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 218 แทร็ค

6.5 การดำเนินการวิจัยในระยะการติดตามควบคุมสำหรับค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

ในระยะการควบคุมนี้ เป็นขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพตามแนวทางของซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งหลังจากได้ระดับการปรับตั้งปัจจัยของแต่ละผลตอบสนองที่ทำให้ได้ค่าใกล้เคียงกับเป้าหมายแล้ว จะทำการทดสอบเพื่อยืนยันผล โดยทำการปรับตั้งปัจจัยเหล่านี้ตามค่าที่ได้จากการทดลอง จากนั้นติดตามผลเป็นเวลา 1 เดือนว่า ข้อบกพร่องมีสัดส่วนที่ลดลงหรือไม่ นอกจากนี้ยังต้องมีการจัดทำแผนควบคุม (Control Plan) เพื่อเป็นการตรวจติดตามกระบวนการให้อยู่ในขอบเขตที่ทำการควบคุม และจัดทำแบบฟอร์มรายการตรวจสอบ (Check list) เพื่อติดตามการปรับตั้งระดับปัจจัยต่างๆให้ตรงตามมาตรฐานหลังการดำเนินการปรับปรุงและป้องกันไม่ให้ปัญหาเกิดขึ้นภายหลังได้อีก ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

6.5.1 การทำการทดลองสำหรับยืนยันผลของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

ในการเตรียมการทดลองสำหรับการยืนยันผลจะประกอบด้วยการเตรียมความพร้อมของวัตถุดิบ เครื่องมือวัด การอบรมพนักงาน ตลอดจนวิธีการทดลองที่ถูกต้อง เพื่อให้การทดลองมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงได้กำหนดแผนการทำการทดลองดังนี้

1. วิธีการปรับตั้งระดับของปัจจัยสำหรับค่าระดับปัจจัยที่ได้จากการทดลอง มีทั้งค่าที่เป็นพารามิเตอร์ของแต่ละกระบวนการ และค่าคุณลักษณะของวัตถุดิบ ซึ่งจะมีการปรับตั้งแต่ละระดับปัจจัยและวิธีการตรวจสอบความถูกต้องดังตารางที่ 6.11
2. เริ่มดำเนินการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟโดยเครื่องจักรอัตโนมัติ
3. นำฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่ประกอบเรียบร้อยแล้ว ไปเข้าเครื่องทดสอบลักษณะทางกลเพื่อวัดค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล
4. บันทึกค่า และวิเคราะห์ผลการทดลอง

ตารางที่ 6.11 วิธีการปรับตั้งระดับปัจจัยสำหรับการยืนยันผลค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล (เฉพาะปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ)

ประเภท	ปัจจัย	วิธีการควบคุมระดับปัจจัย
กระบวนการไขสกรู Clamp	ค่าทอร์ก หรือแรงบิดที่กระทำต่อ Clamp	ค่าทอร์กของ Ramp Screw ถูกควบคุมด้วยแรงต้านและแรงบิด ของมอเตอร์ไฟฟ้าดังนั้นปรับค่าแรงบิดทอร์กที่ 1.6 lbs ทางโปรแกรมสำเร็จรูป จากนั้นตรวจสอบความถูกต้องโดยไขสกรู แล้วนำไปวัดค่าทอร์กโดยเครื่องวัด USTT
กระบวนการ Bias แผ่นจานบันทึกข้อมูล	ระยะเวลาในการ Bias แผ่นจานบันทึกข้อมูล	การปรับระยะเวลาในการ Bias สามารถทำได้โดยปรับค่า timer ซึ่งเป็นตัวกำหนดเวลาผ่านทางระบบควบคุมไฟฟ้าอัตโนมัติ PLC
กระบวนการวางแผ่นจานบันทึกข้อมูล	ค่าความดันของ Ejector Pin	ปรับค่าระดับ ความดันของ Ejector Pinไปที่ 0.5 MPa โดยสามารถตรวจสอบค่าด้วย Regulator ซึ่งแสดงเป็นตัวเลขดิจิตอลในขณะเครื่องทำงาน

6.5.2 การตรวจติดตามผลโดยใช้แผนภูมิควบคุมสำหรับค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

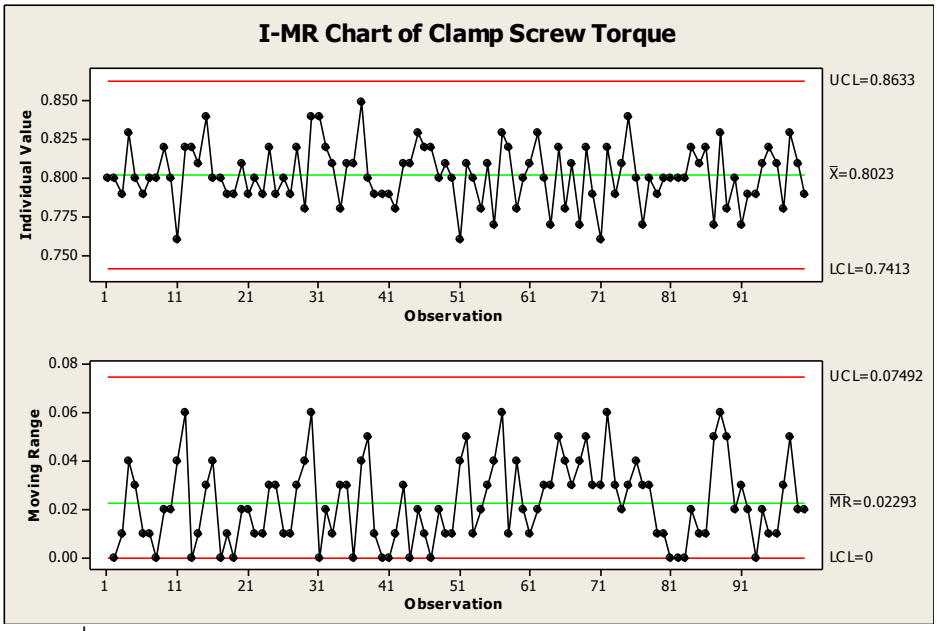
สำหรับระยะการตรวจติดตามผล จะมีการจัดทำแผนควบคุมค่าระดับปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่าแทร็คสุดท้าย ในช่วงเดือนธันวาคม 2555 หลังจากทำการปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อให้มั่นใจว่าค่าพารามิเตอร์เหล่านี้อยู่ในสภาวะภายใต้การควบคุมอันเนื่องมาจาก ในสายการผลิตจริง สภาพแวดล้อม หรือระบบส่งกำลัง เช่น ลม ฝุ่น สิ่งสกปรก ที่อาจอุดตัน ทำให้พารามิเตอร์ที่ทำการควบคุมไม่เป็นไปตามค่าเป้าหมาย ดังนั้นจึงจะต้องมีการใช้เครื่องมือตรวจติดตาม เรียกว่า แผนภูมิควบคุม (Control Chart) ซึ่งมีสมมติฐานว่า ข้อมูลต้องมีการกระจายตัวแบบปกติ ดังนั้นงานวิจัยต่างๆ จึงได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงข้อมูล (transformation) เพื่อให้เป็นไปตามสมมติฐานของการแผนภูมิควบคุม เช่น การใช้วิธีแปลงข้อมูลแบบ Box – Cox transformation

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เครื่องมือ แผนควบคุม I-MR ในการตรวจติดตามแต่ละกระบวนการ เนื่องจากข้อมูลที่เก็บส่วนใหญ่เป็นค่าการปรับตั้งเครื่องจักรในกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟซึ่งมีลักษณะเป็นข้อมูลเชิงเดี่ยว แต่ต้องวิเคราะห์ความเป็นปกติของกลุ่มข้อมูลก่อน ถ้ากลุ่มข้อมูลไม่ปกติจะต้องประยุกต์ใช้การแปลงข้อมูลแบบ Box Cox เพื่อกำหนดขอบเขตบนและขอบเขตล่างของแผนภูมิ ทำให้สามารถตรวจติดตามความผิดปกติของแต่ละปัจจัย ตามแผนควบคุมดังตารางที่ 6.12

ตารางที่ 6.12 แผนการควบคุม (Control Plan) สำหรับปัจจัยนำเข้าที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

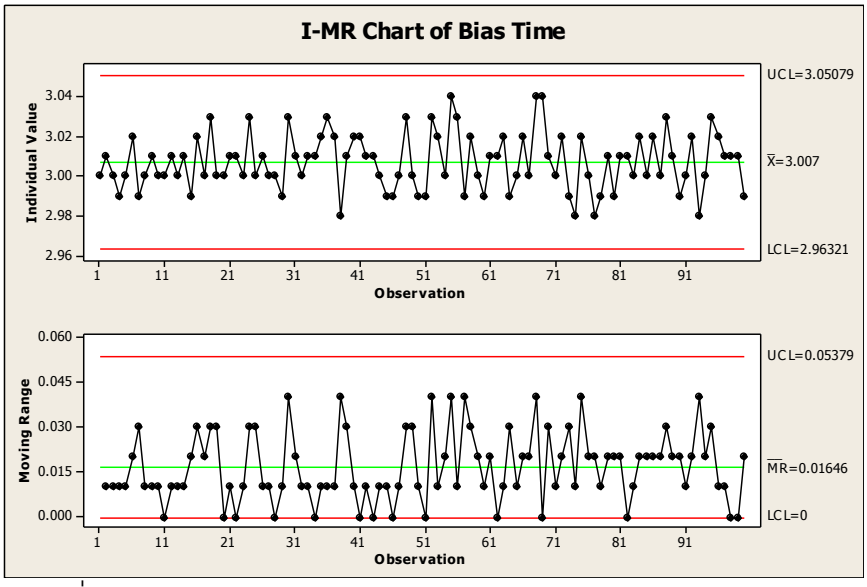
Process	Monitor items	Control Plan				Responsible	Escalation Legend
		Spec.	Trigger	Frequency	Control Method		
กระบวนการไขสกรู Clamp	ค่าทอร์ก หรือ แรงบิดที่กระทำต่อ Clamp	0.8 in-lbs	+/- 0.08 in-lbs	ทุก 6 ชั่วโมง	แผนภูมิควบคุม I-MR	Maintenance	Stop Build
กระบวนการ Bias แผ่นจานบันทึกข้อมูล	ระยะเวลาในการ Bias แผ่นจานบันทึกข้อมูล	3 sec	+/- 0.3 sec	ทุก 6 ชั่วโมง	แผนภูมิควบคุม I-MR	Maintenance	Station Shutdown
กระบวนการวางแผ่นจานบันทึกข้อมูล	ค่าความดันของ Ejector Pin	0.5 MPa	+/- 0.05 MPa	ทุก 6 ชั่วโมง	แผนภูมิควบคุม I-MR	Maintenance	Station Shutdown
การทดสอบคุณลักษณะทางกล	ค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล (TPI)	263,000 $\pm$ 5,000 แทร็ค	263,000 $\pm$ 4,250 แทร็ค	5 ชิ้น/กะ	แผนภูมิควบคุม X bar - S	Test Engineer	Station Shutdown and verified root cause

จากการตรวจติดตามระดับปัจจัย ค่าทอร์กของ Clamp (Clamp screw Torque) พนักงานผู้ทำการควบคุมเครื่องจักรได้ทำการตรวจสอบและบักทึกค่า ทอร์กของเครื่องไขสกรู ทุกๆ 6 ชั่วโมงจากนั้นจึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิ I –MR ดังรูปที่ 6.26 พบว่า กลุ่มข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติจึงไม่ต้องมีการแปลงข้อมูล และ กระบวนการนี้อยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติ กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยของ ค่าทอร์กของ เครื่องไข Clamp screw มีค่าเท่ากับ 0.8023 in-lb ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ ค่าเป้าหมายที่ได้จากการปรับปรุงที่ค่า 0.80 in-lb



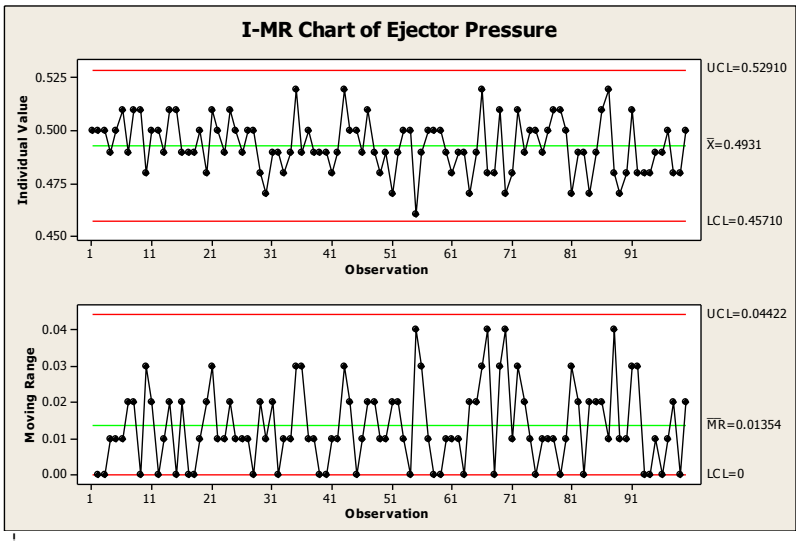
รูปที่ 6.26 แผนภูมิ I-MR แสดงผลการตรวจสอบค่าทอร์กของ Clamp Screw (Clamp screw Torque)

สำหรับการตรวจติดตามเพื่อควบคุมระดับปัจจัยของระยะเวลาในการ Bias แผ่นจานบันทึกข้อมูล (Bias Time) ในกระบวนการดันแผ่นจานบันทึกข้อมูลให้วางตัวอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง โดยพนักงานผู้ทำการควบคุมเครื่องจักรได้ทำการตรวจสอบและบักทึกค่า ระดับปัจจัยทุกๆ 6 ชั่วโมง จากนั้นจึงวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิ I –MR แสดงดังรูปที่ 6.27 พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ จึงไม่ต้องแปลงข้อมูล และกระบวนการนี้อยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติ กล่าวคือ ไม่มีจุดใดๆ ออกนอกขอบเขตการควบคุม และ ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาในการดันแผ่นจานบันทึกข้อมูล มีค่าเท่ากับ 3.007 วินาที ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ 3 วินาที



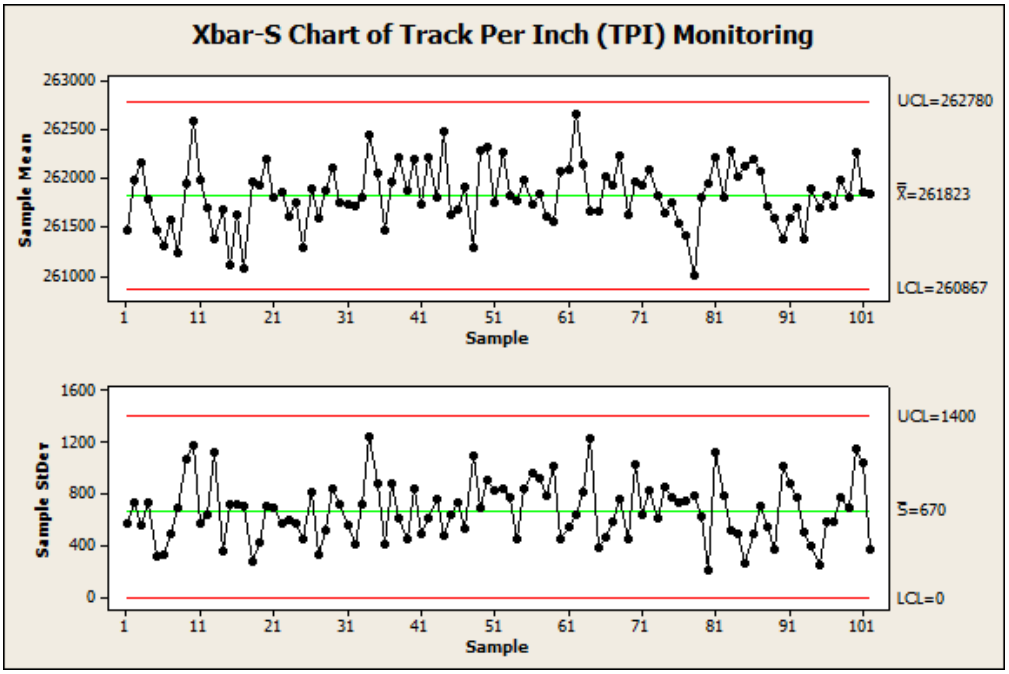
รูปที่ 6.27 แผนภูมิ I-MR แสดงผลการตรวจสอบระยะเวลาในการ Bias แผ่นจานบันทึกข้อมูล (Bias Time)

ปัจจัยนำเข้าตัวต่อมาที่มีการตรวจติดตามควบคุมระดับปัจจัยคือ ค่าความดันของ Ejector Pin (Ejector Pressure) ในกระบวนการวางแผ่นจานบันทึกข้อมูลลงในสปินเดิลมอเตอร์โดยพนักงานผู้ทำการควบคุมเครื่องจักรได้ทำการตรวจสอบและบักทึกค่า ระดับปัจจัย ทุกๆ 6 ชั่วโมง จากนั้นจึงวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิ I – MR แสดงดังรูปที่ 6.28 พบว่า กระบวนการนี้อยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติ กล่าวคือ ไม่มีจุดใดๆ ออกนอกขอบเขตการควบคุม และ ค่าเฉลี่ยของค่าความดัน Ejector Pin มีค่าเท่ากับ 0.4931MPa ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายที่ได้จากการทดลองคือ 0.5 MPa



รูปที่ 6.28 แผนภูมิ I-MR แสดงผลการตรวจสอบค่าความดันของ Ejector Pin (Ejector Pressure)

นอกจากนี้ การตรวจติดตามเพื่อควบคุมค่าระดับของตัวแปรตอบสนองค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล ซึ่งทำการตรวจติดตามด้วยแผนภูมิ X bar – S โดยพนักงานจะทำการสุ่มหยิบชิ้นงานมา 5 ชิ้นต่อกะ นำมาทำการตรวจสอบและบักทึกค่า จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ผลดังรูปที่ 6.29 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ และ กระบวนการนี้อยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติ กล่าวคือ ไม่มีจุดใดๆ ออกนอกขอบเขตการควบคุม และ ค่าเฉลี่ยของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล มีค่าเท่ากับ 261,823 แทร็ค ซึ่งมีค่าอยู่ภายใต้ขอบเขตข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดไว้อย่างน้อย 263,000 $\pm$ 5,000 TPI ส่วนค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 670 TPI



รูปที่ 6.29 แผนภูมิ $\bar{X} - S$ แสดงผลการตรวจสอบค่าผลตอบสนองค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

6.5.3 การวิเคราะห์ผลและการสรุปการทดสอบยืนยันผลการปรับปรุงค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

สำหรับการทดลองเพื่อทำการยืนยันผลหลังจากการปรับปรุงกระบวนการ จะทำการวิเคราะห์ จากค่าความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis) ของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบก่อนและหลังทำการปรับปรุงกระบวนการ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- **การกำหนดขนาดตัวอย่าง**

หลังจากมีการปรับปรุงกระบวนการโดยการปรับค่าระดับของแต่ละปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลแล้ว จึงมีการเก็บข้อมูลดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการเบื้องต้นจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 ชิ้นโดยพบว่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการเบื้องต้นของตัวแปรตอบสนองมีค่าเท่ากับ 1.95 จากนั้นจึงทำการคำนวณหาค่าขนาดตัวอย่างที่เพียงพอต่อการประเมินดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการในระยะยาว ดังสมการที่ 4.1 ได้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 204 ชิ้น แต่เพื่อให้สะดวกต่อการเก็บข้อมูล จึงใช้ขนาดตัวอย่าง 210 ชิ้น ซึ่งเพียงพอต่อความเชื่อมั่นในการประเมินค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ

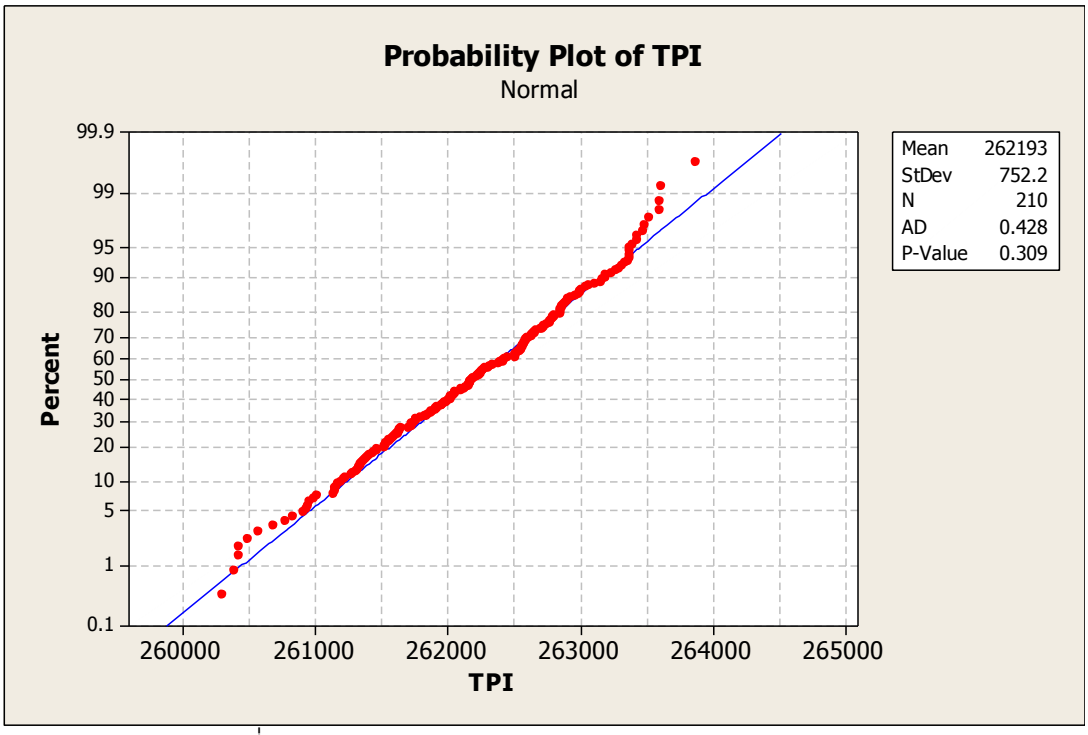
- **การทดสอบสมมติฐานการกระจายตัวแบบปกติของข้อมูล**

เนื่องจากในการประเมินความสามารถของกระบวนการจะต้องมีการคำนึงถึง ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลว่าเป็นแบบปกติหรือไม่ ดังนั้นจึงนำข้อมูลทั้งหมดมาทดสอบสมมติฐานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนี้

H_0 : ข้อมูลความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ

โดยจะทำการปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 เมื่อค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ผลการทดสอบสมมติฐานการกระจายตัวของข้อมูลความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลมีการกระจายแสดงดังรูปที่ 6.30 พบว่า ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.309 จากสมมติฐานที่ได้กำหนดไว้เบื้องต้นจึงสรุปได้ว่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธ H_0 ได้หรืออาจกล่าวได้ว่า กลุ่มข้อมูลความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



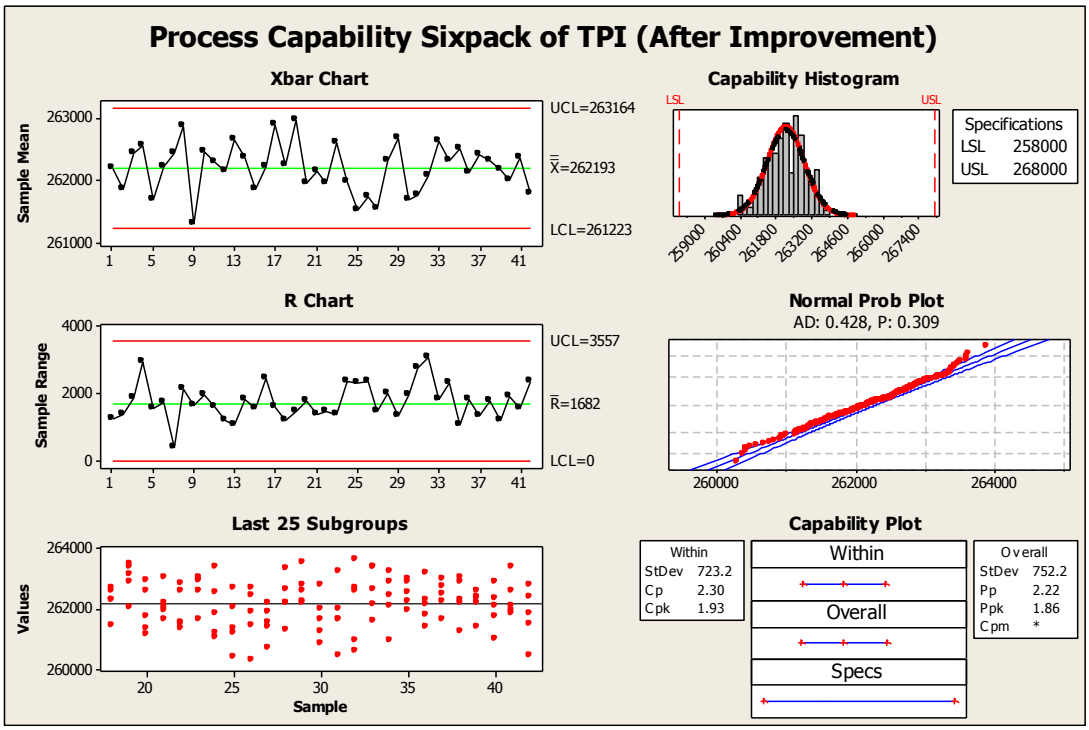
รูปที่ 6.30 การทดสอบสมมติฐานการกระจายตัวแบบปกติ
ของตัวแปรตอบสนองความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

- **การประเมินความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุงคุณภาพ**

หลังจากทำการปรับปรุงกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยตั้งค่าระดับปัจจัยต่างๆ ตามผลการทดลอง และทำการประเมินดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ ของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลดังรูป 6.31 พบว่าค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 261,113 เป็น 262,193 TPI นอกจากนี้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานยังมีค่าลดลงจาก 1,522 เป็น 752 TPI ส่งผลทำให้ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 1.93 ซึ่งมีค่ามากกว่าเกณฑ์การยอมรับที่ค่ามาตรฐาน 1.33 ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุงคุณภาพของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล มีค่าเข้าใกล้เป้าหมาย 263,000 TPI มากยิ่งขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการก่อนการปรับปรุงแสดงดังตารางที่ 6.13

ตารางที่ 6.13 เปรียบผลของดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุงของตัวแปรตอบสนองค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

ตัวแปรตอบสนอง	ระยะก่อนการปรับปรุง				ระยะหลังการปรับปรุง			
	$\bar{X}$	SD	Cpk	σ level	$\bar{X}$	SD	Cpk	σ level
ค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล (TPI)	261,113	1,522	0.75	2.25	262,193	752	1.93	5.79



รูปที่ 6.31 ผลการวิเคราะห์ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุงของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

6.5.4 มูลค่าความสูญเสียหลังการปรับปรุงคุณภาพของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

ในขั้นตอนสุดท้ายของการปรับปรุงคุณภาพตามแนวคิดซิกซ์ ซิกมา จะต้องมีการคำนวณมูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นหลังจากการปรับปรุงกระบวนการตามค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม ซึ่งพบว่า ข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่เขียนอ่านข้อมูลบริเวณค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลก่อนการปรับปรุง (Base line) มีค่าเฉลี่ยรวม 1.82% แต่หลังจากการปรับปรุงกระบวนการและทดลองยืนยันผลในเดือน ธันวาคม 2555 พบว่าปริมาณสัดส่วนข้อบกพร่องลดลงเหลือเพียง 0.03% ทำให้สามารถลดมูลค่าความสูญเสียได้ถึง 248,160 บาทต่อเดือน โดยรายละเอียดของการคำนวณมูลค่าความสูญเสียแสดงดังภาคผนวก ข ตารางที่ 1

บทที่ 7
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 บทนำ

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกม่า เพื่อใช้ในการปรับปรุงกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาด 2.5 นิ้ว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลในกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ คิดเป็นสัดส่วนข้อบกพร่อง 8.824% ซึ่งประกอบไปด้วยผลตอบสนอง 3 ค่า คือ แทร็คเริ่มต้น แทร็คสุดท้าย และค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล ตลอดจนเป็นการปรับปรุงค่าความสามารถของกระบวนการผลิตให้มีค่าอยู่ในเกณฑ์การยอมรับที่ 1.33 งานวิจัยนี้ดำเนินตามหลัก ซิกซ์ ซิกมา ซึ่งมี 5 ขั้นตอน โดยเริ่มจากการนิยามปัญหา (Define Phase) จากนั้นจึงทำการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) ต่อด้วยระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase) ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase) และระยะการติดตามควบคุม (Control Phase) โดยทุกขั้นตอนจะประกอบด้วยเครื่องมือต่างๆ เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ตลอดจนใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

7.2 บทสรุปการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลบริเวณแทร็คเริ่มต้น (Track Zero)

ข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่บริเวณแทร็คเริ่มต้น เป็นพื้นที่ขอบนอกของแผ่นจานบันทึกที่หัวเขียนอ่านสามารถทำการบันทึกข้อมูลได้ โดยในระยะการนิยามปัญหามีการระบุถึงสัดส่วนของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นคิดเป็น 3.3% ในช่วงเดือนมิถุนายนถึงพฤศจิกายน 2555 ดังนั้นจึงได้มีการดำเนินการวิจัยเพื่อทำการปรับปรุงกระบวนการของการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยมีเป้าหมายเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่บริเวณแทร็คเริ่มต้นให้มีสัดส่วนต่ำกว่า 0.66% และได้ดำเนินการวิจัยตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา โดยเริ่มต้นจากการระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา ทำการวิเคราะห์ความเที่ยงของระบบการวัดโดยประเมินคุณสมบัติด้านรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ของเครื่องมือวัดในการวัดค่าแทร็คเริ่มต้น พบว่า ค่า P/TV และ P/T ของระบบการวัดมีค่าเท่ากับ 1.35% และ 3.02% ตามลำดับ ซึ่งผ่านเกณฑ์การยอมรับ AIAG (2002) ที่ระบุว่าต้องไม่เกิน 10% จึงสรุปได้ว่า ความเที่ยงของระบบการวัดค่าแทร็คเริ่มต้นนี้อยู่ในเกณฑ์ที่

ยอมรับได้ หลังจากนั้นจะมีการประเมินค่าความสามารถของกระบวนการ ของตัวแปรตอบสนองแทร็คเริ่มต้นโดยเลือกใช้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 350 ชิ้น ซึ่งเพียงพอต่อการประเมินค่าความสามารถของกระบวนการ และได้ค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการในระยะสั้น Cpk ซึ่งมีค่าเพียง 0.77 เท่านั้น (ปกติจะยอมรับค่า Cpk ที่มากกว่า 1.33) ดังนั้นในกระบวนการนี้จึงควรมีการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการ โดยหาวิธีในการลดค่าเฉลี่ยและลดค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อไม่ให้ข้อมูลเกินขีดจำกัดข้อกำหนดบนที่กำหนดไว้ นอกจากยังมีการวิเคราะห์ถึงสาเหตุเบื้องต้นที่ทำให้เกิดความผันแปรของค่าแทร็คเริ่มต้น โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่าแผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ทำให้ได้ปัจจัยนำเข้าที่จะนำไปทดสอบความมีนัยสำคัญ 6 ปัจจัย คือ จำนวนรอบของการหมุน Ramp screw,ระยะความสูงของ rotate pin, แรงดันของกระบอกสูบ, ระยะหดตัวของสปริง, ค่า Torque ของ Ramp Screw และ ระยะ Stopper ของกระบอกสูบ

ในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ได้มีการนำปัจจัยนำเข้าทั้ง 6 ตัวมาทำการทดลองโดยใช้แบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล 2_{VI}^{6-1} (1/2 fractional factorial) มีการทดลองซ้ำ 3 ครั้งต่อการทดลอง และมีการเพิ่มจุดศูนย์กลางเพื่อทดสอบผิวโค้งที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนอง และคัดกรองเฉพาะปัจจัยที่มีผลต่อแทร็คเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญ พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คเริ่มต้นที่ระดับนัยสำคัญ คือ อัตรกิริยาระหว่างจำนวนรอบของการหมุน Ramp Screw และ แรงดันของกระบอกสูบ (AC) , อันตรกิริยาระหว่างระยะความสูงของ rotate pin และ แรงดันกระบอกสูบ (BC) เมื่อพิจารณาการทดสอบลักษณะผิวโค้งของผลตอบพบว่า มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.0005 หรือ สามารถสรุปได้ว่า ผลตอบของค่าเฉลี่ยของแทร็คเริ่มต้นมีลักษณะความเป็นผิวโค้ง (Curvature) ดังนั้นจึงต้องมีการนำปัจจัย A จำนวนรอบของการหมุน Ramp Screw ปัจจัย B ระยะความสูงของ Rotate Pin และปัจจัย C คือ แรงดันของกระบอกสูบ มาทำการทดลองโดยวิธีการหาพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) เพื่อทำการหาค่าที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าแทร็คเริ่มต้นที่มีค่าน้อยที่สุด ส่วนตัวแปรตอบสนองที่เป็นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะถูกนำไปวิเคราะห์ในรูปของ ln s อันเนื่องมาจากผลของคุณสมบัติด้านความผันแปรของส่วนตกค้างที่ต้องมีค่าคงที่ (Stability) ซึ่งผลจากการวิเคราะห์พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าแทร็คเริ่มต้นคือ ปัจจัย D ระยะการหดตัวของสปริง ซึ่งทำหน้าที่ในการดูดซับแรงกดของกระบอกสูบ และ ปัจจัย E ค่า Torque ของ Ramp Screw แต่ไม่มีผลของลักษณะของผิวโค้ง ดังนั้นทางทีมงานได้พิจารณาแล้วเห็นว่า ทั้งสองปัจจัยนี้ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความผันแปรของแทร็คเริ่มต้น ดังนั้นจึงควรที่จะทำการปรับปรุงความผันแปรที่เกิดก่อนที่จะทำการทดลองเพื่อ

ปรับปรุงค่าเฉลี่ยของแทร็คเริ่มต้น และเมื่อพิจารณาจากการทดลองข้างต้นพบว่า ความผันแปรของแทร็คเริ่มต้นจะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อปรับปัจจัย D และ E อยู่ที่ระดับสูง ดังนั้นจะทำการควบคุมค่าทั้งสองปัจจัยนี้เพื่อไม่ให้ส่งผลต่อการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของค่าเฉลี่ยของแทร็คเริ่มต้น

ในระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการของค่าแทร็คเริ่มต้น ได้นำการออกแบบการทดลองแบบ บ็อกซ์-เบห์นเคน (Box – Behnken Design) มาใช้เพราะตัวแบบมีลักษณะอิทธิพลของผิวโค้ง (Curvature) จึงต้องพิจารณาผลของเทอมกำลังสองด้วย หลังจากการวิเคราะห์ผลการทดลองและใช้สมการถดถอยในการพยากรณ์ผลตอบสนอง ทำให้ได้ค่าการปรับตั้งที่เหมาะสม คือ ค่าระดับของปัจจัย A จำนวนรอบของการหมุน Ramp Screw ที่ 0.60 รอบ ค่าระดับปัจจัย B ระยะความสูงของ Rotate Pin ปรับค่าไว้ 7.0 มิลลิเมตร และปัจจัย C แรงดันของกระบอกสูบปรับไว้ที่ระดับ 5.0 ปอนด์ ซึ่งทำให้ได้ค่าแทร็คเริ่มต้นเฉลี่ย 14,800 แทร็ค

ระยะสุดท้ายของการปรับปรุงตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา คือ ระยะการตรวจติดตามผล ซึ่งมีการทดสอบเพื่อยืนยันผลในช่วงเดือนธันวาคม 2555 พบว่า ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.77 เป็น 1.36 ทำให้ข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่เขียนอ่านข้อมูลบริเวณค่าแทร็คเริ่มต้นมีสัดส่วนลดลงเหลือ 0.02% นอกจากนี้ยังมีการจัดทำแผนควบคุมค่าระดับปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่าแทร็คเริ่มต้น เพื่อให้มั่นใจว่าค่าพารามิเตอร์เหล่านี้อยู่ในสภาวะภายใต้การควบคุมโดยใช้แผนภูมิควบคุม I – MR และ $\bar{X} - S$

7.3 บทสรุปการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลบริเวณแทร็คสุดท้าย (Track maximum)

ข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่บริเวณแทร็คสุดท้าย เป็นพื้นที่บริเวณด้านในของแผ่นจานบันทึกข้อมูล โดยในระยะการนิยามปัญหามีการระบุถึงสัดส่วนของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นคิดเป็น 3.7% ในช่วงเดือนมิถุนายนถึงพฤศจิกายน 2555 ดังนั้นจึงได้มีการดำเนินการวิจัยเพื่อทำการปรับปรุงกระบวนการของการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยมีเป้าหมายเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่บริเวณแทร็คสุดท้ายให้มีสัดส่วนต่ำกว่า 0.74% และได้ดำเนินการวิจัยตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา โดยเริ่มต้นจากการระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา ทำการวิเคราะห์ความเที่ยงของระบบการวัดโดยประเมินคุณสมบัติด้านรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ของเครื่องมือวัดในการวัดค่าแทร็คสุดท้าย พบว่า ค่า P/TV และ P/T ของระบบการวัดมีค่าเท่ากับ 1.65% และ 3.33% ตามลำดับ ซึ่งผ่านเกณฑ์การยอมรับ AIAG (2002) ที่ระบุว่าต้องไม่เกิน 10% จึงสรุปได้ว่า ความเที่ยงของระบบการวัดค่าแทร็คสุดท้ายนี้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ หลังจากนั้นจะ

มีการประเมินค่าความสามารถของกระบวนการ ของตัวแปรตอบสนองแทร็คสุดท้าย โดยเลือกใช้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 350 ชิ้น ซึ่งเพียงพอต่อการประเมินค่าความสามารถของกระบวนการ และได้ค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการในระยะสั้น Cpk ซึ่งมีค่าเพียง 0.60 เท่านั้น (ปกติจะยอมรับค่า Cpk ที่มากกว่า 1.33) ดังนั้นในกระบวนการนี้จึงควรมีการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการ โดยหาวิธีในการเพิ่มค่าเฉลี่ยและลดค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อไม่ให้ข้อมูลเกินขีดจำกัดข้อกำหนดล่าง นอกจากยังมีการวิเคราะห์ถึงสาเหตุเบื้องต้นที่ทำให้เกิดความผันแปรของค่าแทร็คสุดท้าย โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ทำให้ได้ปัจจัยนำเข้าที่จะนำไปทดสอบความมีนัยสำคัญ 6 ปัจจัย คือ ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ IDCS, ค่า Pressure hold , ความเร็วของชุด Robot, ค่า Torque สำหรับการไขสกรูฝาครอบ, ความยืดหยุ่นของยาง IDCS และระยะในการปล่อย LVCM

ในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ได้มีการนำปัจจัยนำเข้าทั้ง 6 ตัวมาทำการทดลองโดยใช้แบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล 2_{VI}^{6-1} (1/2 fractional factorial) มีการทดลองซ้ำ 3 ครั้งต่อการทดลอง และมีการเพิ่มจุดศูนย์กลางเพื่อทดสอบผิวโค้งที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนอง และคัดกรองเฉพาะปัจจัยที่มีผลต่อแทร็คสุดท้ายอย่างมีนัยสำคัญ พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของแทร็คสุดท้ายที่ระดับนัยสำคัญ คือ อันตรกิริยาระหว่างค่า Torque สำหรับไขสกรูฝาครอบ และความยืดหยุ่นของยาง IDCS (DE), อัตรกิริยาระหว่างค่า Pressure hold และ ระยะในการปล่อย LVCM (BF) , อันตรกิริยาระหว่าง ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง IDCS และ ความยืดหยุ่นของยาง IDCS (AE) แต่เมื่อทดสอบการมีลักษณะผิวโค้งของผลตอบกลับพบว่า มีค่า P-Value เท่ากับ 0.212 หรือ สรุปได้ว่า ผลตอบค่าเฉลี่ยของแทร็คสุดท้ายไม่มีลักษณะเป็นผิวโค้ง (Curvature) ในขณะที่ปัจจัยที่ส่งผลต่อส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแทร็คสุดท้าย คือ อิทธิพลของอัตรกิริยาระหว่างปัจจัย B ค่าของ Pressure hold และปัจจัย E ความยืดหยุ่นของยาง IDCS แต่ก็ไม่แสดงอิทธิพลของลักษณะผิวโค้งเช่นกัน ดังนั้นในส่วนของการปรับปรุงคุณภาพจึงสามารถพิจารณาหาจุดที่เหมาะสม (Optimization) ของแต่ละปัจจัยได้โดยใช้ข้อมูลการทดลองข้างต้นโดยมีเป้าหมายเพื่อให้ได้ค่าแทร็คสุดท้ายที่มากที่สุด และค่าความผันแปรของแทร็คสุดท้ายที่น้อยที่สุด

ในระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการของค่าแทร็คเริ่มสุดท้าย ได้มีการพิจารณาผลของปัจจัยหลัก และอันตรกิริยา เฉพาะปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ พร้อมกับการวิเคราะห์ตัวแบบถดถอยเพื่อพยากรณ์ค่าผลตอบสนองค่าแทร็คสุดท้าย โดยตัวแบบถดถอยมีสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงถึง 93.27% ทำให้มีความเชื่อมั่นว่า ตัวแปรตอบสนองที่พยากรณ์จากตัวแบบถดถอยนี้มีความน่าเชื่อถือ ดังนั้น สามารถหาค่าการปรับตั้งระดับปัจจัยที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าแทร็ค

สุดท้าย คือ ปัจจัย A ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ IDCS มีค่าเท่ากับ 0.229 นิ้ว , ปัจจัย B กำหนดค่า Pressure hold ไว้ที่ 35 เมกะปาสคาล, ปัจจัย D ค่า Torque สำหรับการไขสกรูฝาครอบที่ค่า 2.5 นิ้ว-ปอนด์, ปัจจัย E ความยืดหยุ่นของยาง IDCS ที่ค่า 2 ปอนด์ และ ปัจจัย F ระยะในการปล่อย LVCM ถูกกำหนดไว้ที่ 2 มิลลิเมตร ทำให้ได้ค่าแทร็คสุดท้ายมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 185,411 แทร็ค และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 289 แทร็ค

ระยะสุดท้ายของการปรับปรุงตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา คือ ระยะการตรวจติดตามผล ซึ่งมีการทดสอบเพื่อยืนยันผลในช่วงเดือนธันวาคม 2555 พบว่า ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการค่าแทร็คสุดท้ายมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.60 เป็น 1.43 ทำให้ข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่เขียนอ่านข้อมูลบริเวณค่าแทร็คสุดท้ายมีสัดส่วนลดลงเหลือ 0.101% นอกจากนี้ยังมีการจัดทำแผนควบคุมค่าระดับปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่าแทร็คสุดท้าย เพื่อให้มั่นใจว่าค่าพารามิเตอร์เหล่านี้อยู่ในสภาวะภายใต้การควบคุมโดยใช้แผนภูมิควบคุม I – MR และ $\bar{X} - S$

7.4 บทสรุปการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล (Track Per Inch)

ข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลมีสัดส่วนคิดเป็น 1.82% ของปริมาณการผลิตในช่วงเดือนมิถุนายนถึงพฤศจิกายน 2555 ดังนั้นจึงได้มีการดำเนินการวิจัยเพื่อทำการปรับปรุงกระบวนการของการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ โดยมีเป้าหมายเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่บริเวณแทร็คสุดท้ายให้มีสัดส่วนต่ำกว่า 0.36% และได้ดำเนินการวิจัยตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา โดยเริ่มต้นจากการระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา ทำการวิเคราะห์ความเที่ยงของระบบการวัดโดยประเมินคุณสมบัติด้านรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ของเครื่องมือวัดในการวัดค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล พบว่าค่า P/TV และ P/T ของระบบการวัดมีค่าเท่ากับ 0.40% และ 0.88% ตามลำดับ ซึ่งผ่านเกณฑ์การยอมรับ AIAG (2002) ที่ระบุว่าต้องไม่เกิน 10% จึงสรุปได้ว่า ความเที่ยงของระบบการวัดค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลนี้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ หลังจากนั้นจะมีการประเมินค่าความสามารถของกระบวนการ ของตัวแปรตอบสนอง โดยเลือกใช้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 250 ชิ้น ซึ่งเพียงพอต่อการประเมินค่าความสามารถของกระบวนการ และได้ค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการในระยะสั้น Cpk ซึ่งมีค่าเพียง 0.75 เท่านั้น (ปกติจะยอมรับค่า Cpk ที่มากกว่า 1.33) ดังนั้นในกระบวนการนี้จึงควรมีการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการ โดย

หาวิธีในการเพิ่มค่าเฉลี่ยและลดค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อไม่ให้ข้อมูลเกินขีดจำกัดข้อกำหนดล่าง นอกจากยังมีการวิเคราะห์ถึงสาเหตุเบื้องต้นที่ทำให้เกิดความผันแปรของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลโดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ทำให้ได้ปัจจัยนำเข้าที่จะนำไปทดสอบความมีนัยสำคัญ 5 ปัจจัย คือ ค่า Clamp screw Torque, ระยะเวลาในการ Bias แผ่นจานบันทึกข้อมูล, ระยะการปล่อยแผ่นจานบันทึกข้อมูล, ค่าความดันของ Ejector Pin และ ระยะเผื่อขอบนอกของแผ่นจานบันทึกข้อมูล

ในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ได้มีการนำปัจจัยนำเข้าทั้ง 5 ตัวมาทำการทดลองโดยใช้แบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล 2_V^{5-1} (1/2 fractional factorial) มีการทดลองซ้ำ 5 ครั้งต่อการทดลอง และมีการเพิ่มจุดศูนย์กลางเพื่อทดสอบผิวโค้งที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนอง และคัดกรองเฉพาะปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญ พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ อันตรกิริยาระหว่างค่า Clamp Screw Torque และระยะเวลาในการดันแผ่นจานบันทึกข้อมูล (AB), อันตรกิริยาระหว่างค่า Clamp Screw Torque และค่าความดันของ Ejector Pin (AD), อันตรกิริยาระหว่างระยะเวลาในการดันแผ่นจานบันทึกข้อมูล และ ค่าความดันของ Ejector Pin (BD) แต่เมื่อทดสอบการมีลักษณะผิวโค้งของผลตอบกลับพบว่า มีค่า P-Value เท่ากับ 0.131หรือ สรุปได้ว่า ผลตอบค่าเฉลี่ยของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลไม่มีลักษณะเป็นผิวโค้ง (Curvature) นอกจากนี้การวิเคราะห์ผลของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลในรูปของตัวแปรตอบสนอง ln s ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 กลับพบว่า ไม่มีปัจจัยใดที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญเลย ดังนั้นในการปรับปรุงคุณภาพของตัวแปรตอบสนอง จึงทำการปรับปรุงในส่วนของค่าเฉลี่ยโดยพิจารณาหาจุดที่เหมาะสม (Optimization) ของแต่ละปัจจัยจากข้อมูลการทดลองข้างต้นเพื่อให้ได้ค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลที่ใกล้เคียงค่าเป้าหมาย 263,000 TPI มากที่สุด และเกิดค่าความผันแปรของความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลน้อยที่สุด

ในระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการของค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล ได้มีการพิจารณาผลของปัจจัยหลัก และอันตรกิริยา เฉพาะปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญพร้อมกับการวิเคราะห์ตัวแบบถดถอยเพื่อพยากรณ์ผลตอบสนองค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล โดยตัวแบบถดถอยมีสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงถึง 99.78% ทำให้มีความเชื่อมั่นว่า ตัวแปรตอบสนองที่พยากรณ์จากตัวแบบถดถอยนี้มีความน่าเชื่อถือ ดังนั้น สามารถหาค่าการปรับตั้งระดับปัจจัยที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่าน

ข้อมูลคือ ปัจจัย A ค่า Clamp screw Torque เท่ากับ 0.80 นิ้ว-ปอนด์, ปัจจัย B ระยะเวลาในการ Bias แผ่นจานบันทึกข้อมูลเท่ากับ 3 วินาที และปัจจัย D ค่าความดันของ Ejector Pin เท่ากับ 0.5 เมกะปาสคาล ทำให้ได้ค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลมีค่าเข้าใกล้ข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์มากยิ่งขึ้นที่ค่า 263,221 TPI และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 218 แทร็ค

ระยะสุดท้ายของการปรับปรุงตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา คือ ระยะการตรวจติดตามผล ซึ่งมีการทดสอบเพื่อยืนยันผลในช่วงเดือนธันวาคม 2555 พบว่า ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.75 เป็น 1.93 ทำให้ข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลมีสัดส่วนลดลงเหลือ 0.03% นอกจากนี้ยังมีการจัดทำแผนควบคุมค่าระดับปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่าค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลเพื่อให้มั่นใจว่าค่าพารามิเตอร์เหล่านี้อยู่ในสภาวะภายใต้การควบคุมโดยใช้แผนภูมิควบคุม I – MR และ $\bar{X} - S$

7.5 บทสรุปการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลในกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

การดำเนินงานวิจัยเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลในกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ได้แบ่งการศึกษาตัวแปรตอบสนอง 3 ตัว คือ แทร็คเริ่มต้น แทร็คสุดท้าย และความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนข้อบกพร่องรวม 8.824% ของปริมาณการผลิต โดยดำเนินงานวิจัยตามหลักซิกซ์ ซิกมา ซึ่งเป็นกระบวนการปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่อง โดยอาศัยหลักการทางสถิติในการคิดวิเคราะห์ และอาศัยเครื่องมือทางคุณภาพต่างๆ เช่น การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Anaysis), แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram), การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments) เป็นต้น จนสุดท้าย สามารถลดสัดส่วนข้อบกพร่องเหลือเพียง 0.151% ซึ่งสามารถลดมูลค่าความเสียหายจากข้อบกพร่องประเภทการสูญเสียพื้นที่เขียนอ่านข้อมูลทั้งค่าแทร็คเริ่มต้น แทร็คสุดท้าย และค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูลได้เท่ากับ 1,259,332 บาทต่อเดือน

7.6 ข้อจำกัดในงานวิจัย

1. งานวิจัยนี้เลือกศึกษาสำหรับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาด 2.5 นิ้ว ซึ่งมีสายการประกอบเป็นระบบอัตโนมัติ ดังนั้นสำหรับผลิตภัณฑ์อื่นที่ไม่ได้ใช้เครื่องจักรอัตโนมัติอาจจะไม่สามารถนำผลการทดลองไปอ้างอิงได้
2. ระดับปัจจัยที่เลือกมาศึกษานี้ อาจเหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ที่เป็น Ramp Design นี้ ดังนั้นถ้าเป็นฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟท่เป็นการออกแบบผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นๆ อาจจะต้องมีการศึกษาตัวแปรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง
3. วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองเป็น วัตถุดิบที่ยังไม่เคยผ่านกระบวนการ rework มาก่อน ดังนั้นในสายการผลิตจริงซึ่งมีทั้งชิ้นส่วนวัตถุดิบเก่าและใหม่ อาจทำให้เกิดความผันแปรของผลตอบสนองได้

7.7 ปัญหาและอุปสรรคในการทำวิจัย

1. เนื่องจากผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์เอนเทอร์ไพร์ซ A มีราคาต่อหน่วยที่แพง ดังนั้นการขอวัตถุดิบเพื่อทำการทดลอง จึงต้องรออนุมัติจากหัวหน้าระดับสูง ซึ่งใช้เวลานาน
2. เกิดความไม่พร้อมของอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าตัวแปรที่จะทำการควบคุม เช่น Force gauge ซึ่งปกติจะไม่มีอยู่ในสายการผลิต จึงต้องทำการสั่งซื้อใหม่

7.8 ข้อเสนอแนะ

1. ปกติการทดสอบลักษณะทางกลจะใช้เวลานานประมาณ 20 – 40 ชั่วโมง ดังนั้นถ้าจะทำการทดลองเพียงเพื่อรู้ค่า แทร็คเริ่มต้น แทร็คสุดท้ายและความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล อาจจะเขียนโปรแกรมขึ้นมาใหม่เพื่อรองรับการทดลอง
2. ปัจจัยการทดลองที่มีนัยสำคัญเหล่านี้น่าจะให้ผลการทดลองเช่นเดียวกันกับฮาร์ดดิสก์ขนาด 3.5 นิ้ว ดังนั้นจึงควรทำการทดลองเพื่อยืนยันผล
3. สำหรับการใช้แนวคิด ซิกซ์ ซิกมาในองค์ ควรมีการอบรมอย่างต่อเนื่องและฝึกปฏิบัติจริง เนื่องจากปัจจุบันมีเพียงแค่การอบรมในระยะเวลาสั้นๆ เพียงอย่างเดียว ทำให้ผู้ฝึกอบรมมองไม่เห็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้จริง

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรีฑา สุขทั่ง และ วิศนุรักษ์ เวชสถล.การควบคุมปริมาตรของหยดกาวแบบที่ทำงานผ่านแสงอัลตราไวโอเลตเพื่อนำไปใช้ในการประกอบหัวอ่านฮาร์ดดิสก์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,2552.

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) (ประมวลผลด้วยMINITAB). จำนวน 2000 เล่ม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น. 2551.

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ และ ศราวุธ เคนกุล.การลดฝาครอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟบกพร่องจากการถอดประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต . ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,2553.

กันตา สุวรรณฤทธิ์ และ ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย. การลดของเสียในกระบวนการเขียนสัญญาณบนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟโดยใช้แนวคิดลีน ซิกส์ซิกมา. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.

ฐิติภัทร์ พิสิฐพรสกุล. การศึกษาและออกแบบวิธีการทดสอบเพื่อวัดความสามารถสภาวะคงตัวของการวางตำแหน่งบนแทร็คในการทำงานของตัว HGA กับแผ่น DISC ที่มีค่า Track-Per- Inch สูง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต . ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2551.

ทศนพ กำเนิดทอง และสิทธิพงษ์ แสงสานนท์. การวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการ Swaging สำหรับการประกอบ HSA ของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2553.

นฤมล รอดกำเหนิด และ มณฑลี ศาสนนันทน์.การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความผันแปรในการทดสอบการวัดปริมาณสิ่งปนเปื้อนในชิ้นส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต .สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2553.

ประเสริฐ ศรีบุญจันทร์ และ สมจิตร ลาภโนนเขวา. การลดของเสียในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์โดยเทคนิค ซิกซ์ ซิกม่า. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ 24-26 ตุลาคม 2550.

เปรมชัย มูลหล้า.การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดในกระบวนการประกอบอาร์ม คอยล์ของการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต . ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยชียงใหม่, 2554.

มนตรี ก่อพงศ์เจริญชัย และ กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ.การลดของเสียประเภทชิ้นงานฮับเอียงในกระบวนการกลึงชิ้นงานของสปินเดิลมอเตอร์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ 24-26 ตุลาคม 2550.

ภัทรา อายุวัฒน์. การลดของเสียที่เกิดจากการรับน้ำหนักของชุดหัวอ่านสำเร็จไม่ได้ตามข้อกำหนดในกระบวนการประกอบหัวอ่านโดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

อมรเทพ ดอกไม้ และ อรรถกร เก่งพล. การปรับปรุงกระบวนการประกอบชิ้นส่วนของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟโดยการจำลองสถานการณ์ 3 มิติเสมือนจริง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2553.

ภาษาอังกฤษ

Asawarungsaengkul, K., and Sukamta, S. (2011). Process yield improvement on the gram load adjusting process of a suspension manufacturer. 2011 IEEE International Conference on Quality and Reliability, ICQR 2011, September 14, 2011 - September 17, 2011, Bangkok, Thailand, IEEE Computer Society.

Automotive Industry Action Group (AIAG). (2002). Measurement system analysis. 3rd ed : Detroit, MI.

Chang, J. (2009). Mitigation of track following repeatable runout in high TPI hard disk drives through servo and mechanical designs, 445 Hoes Lane / P.O. Box 1331, Piscataway, NJ 08855-1331, United States, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

Chang, J. (2009). Minimization of flexible cable settling pes in high tpi hard disk drives via mechatronic integration, 445 Hoes Lane / P.O. Box 1331, Piscataway, NJ 08855-1331, United States, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

Ferreira, S. L.C., and Bruns, R.E. (2007). Box-Behnken design: An alternative for the optimization of analytical methods. Analytica Chimica Acta **597**(2): 179-186.

Jamaluddin, Z., Razali, A.M. (2011). Wafer dice process improvement using Six Sigma approach. 2011 IEEE International Conference on Quality and Reliability, ICQR 2011, September 14 – 17, 2011, Bangkok, Thailand, IEEE Computer Society.

Johnston, A.B., and Maguire, L.P. (2009). Downstream performance prediction for a manufacturing system using neural networks and six-sigma improvement techniques. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing **25**(3): 513-521.

Kuptasthien, N., and Boonsompong, T. (2011). Reduction of tombstone capacitor problem by Six Sigma technique: A case study of printed circuit cable assembly line. 2011 IEEE International Conference on Quality and Reliability, ICQR 2011, September 14- 17, 2011, Bangkok, Thailand, IEEE Computer Society.

Ricardo, B., Charles, T., and Tuersley, L. (2009).Selection of six sigma projects in the UK. The TQM Magazine 18(5): 514 – 527.

Shen, H., and Wan, H. (2009). Controlled sequential factorial design for simulation factor screening. European Journal of Operational Research **198**(2): 511-519.

Somsuk, N., and Pongpanich P. (2008). The application of FMEA in defect reduction for the spindle motor assembly process for hard disk drives. 4th IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology, ICMIT, September 21, 2008 - September 24, 2008, Bangkok, Thailand, Inst. of Elec. and Elec. Eng. Computer Society.

Stamatis, D.H. (1996). Book review: failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution. Technometrics **38**(1): 80-80.

Su, C.T., and Chou, C.J. (2009). Application of six sigma methodology to optimize the performance of the inter-metal dielectric process. IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing **22**(2): 297-304.

Wang, F.Z., and He, L. (1999). Interaction between track and linear densities. IEEE Transactions on Magnetics **35**(5 pt 1): 2238-2240.

Wilasri, W., and Sutivong, D. (2011). Process improvement to reduce defects from magnetic reader resistance failure in hard disk drive. 2nd International Conference on Computational Intelligence, Modelling and Simulation 2011, CIMSim 2011, September 20, 2011 - September 22, 2011, Langkawi, Malaysia, IEEE Computer Society.

Zhang, Z., and Xiaofeng B. (2009). Comparison about the three central composite designs with simulation. International Conference on Advanced Computer Control, ICACC 2009, January 22, 2009 - January 24, 2009, Singapore, Singapore, Inst. of Elec. and Elec. Eng. Computer Society.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

Cause & Effect Matrix ของปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง

ตารางที่ ก.1 Cause and Effect Matrixในการจัดลำดับความสำคัญปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลกระทบต่อแทร็คเริ่มต้น

อัตราความสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อค่าแทร็คเริ่มต้น				คะแนนจากทีม									10
ลำดับที่	ประเภทของสาเหตุ	ปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง		PE1	PE2	QC1	QC2	ME1	ME2	FE	FA	รวม	รวม × 10
1	Material	ชิ้นส่วน Spindle Motor	พื้นที่วางชุดหัวอ่านเอียง	2	1	1	1	0	1	1	0	7	70
2			Chamfer ลึกเกินไป	5	3	3	3	4	2	3	4	27	270
3			จุดรองรับ Ramp มีพื้นผิวไม่เรียบ	2	1	1	0	1	1	0	0	6	60
4		ชิ้นส่วน Ramp	วัตถุดิบเป็นพลาสติกอ่อน	0	0	1	0	0	0	1	1	3	30
5			ความสูงของ Ramp เกินค่ามาตรฐาน	0	1	1	1	0	0	0	0	3	30
6			พื้นที่ผิวส่วน Stopper มีขนาดสั้น	2	3	2	3	2	3	2	3	20	200
7			พื้นผิวสัมผัสบริเวณ Ramp boss ไม่เรียบ	4	6	5	4	6	5	4	5	39	390
8		ชุดหัวอ่านเขียน	Lift tab มีลักษณะงอ	0	1	1	0	0	0	1	0	3	30
9			มีคราบฝุ่นละอองติดอยู่บริเวณหัวอ่านเขียน	1	2	3	2	3	1	3	1	16	160
10			ชุดหัวอ่านเอียง	1	1	0	0	1	0	0	1	4	40
11	Man	พนักงานทำงานผิดวิธี	WI กำหนดวิธีการทำงานไม่ชัดเจน	0	0	1	2	0	0	1	0	4	40
12			ขาดการฝึกอบรม	1	0	0	0	0	1	0	0	2	20
13		พนักงานขาดความชำนาญ	มีประสบการณ์ทำงานน้อย	2	0	1	2	1	0	2	1	9	90
14			กำหนดหน้าที่ความรับผิดชอบไม่แน่นอน	1	2	1	1	1	2	0	1	9	90

ตารางที่ ก.1 Cause and Effect Matrixในการจัดลำดับความสำคัญปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลกระทบต่อแทร็คเริ่มต้น (ต่อ)

อัตราความสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อค่าแทร็คเริ่มต้น				คะแนนจากทีม									10
ลำดับที่	ประเภทของสาเหตุ	ปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง		PE1	PE2	QC1	QC2	ME1	ME2	FE	FA	รวม	รวม × 10
15	Machine	เครื่องไขสกรูขาดประสิทธิภาพ	Pin สั้นเกินไป	2	0	3	1	2	1	2	1	12	120
16			ขนาดของตัวประคองฮาร์ดดิสก์ใหญ่เกินไป	3	2	1	0	2	1	3	2	14	140
17			Fixture ชำรุด	2	3	1	2	3	2	2	3	18	180
18			มอเตอร์หมุนฝืด	1	2	1	1	0	1	2	0	8	80
19	Method	กระบวนการคลายสกรู	ความสูงของ screw bit ต่ำ	4	3	4	2	5	4	3	2	27	270
20			จำนวนรอบของการหมุนสกรูมาก	10	10	8	9	10	9	10	9	75	750
21		พารามิเตอร์สำหรับการ Rotate Ramp ไม่เหมาะสม	กำหนดระยะของ rotate pin สูงเกินไป	9	10	7	8	10	8	9	10	71	710
22			แรงดันของกระบอกสูบสูง	7	8	8	9	8	9	8	8	65	650
23			ระยะหดตัวของสปริงมาก	9	8	7	7	8	8	8	7	62	620
24			ระยะ Stopper ของกระบอกสูบมาก	5	7	4	5	6	4	7	6	44	440
25		ตั้งค่าการไขสกรูไม่เหมาะสม	ค่า Torque เกิน spec	7	6	6	8	6	5	7	6	51	510

ตารางที่ ก.1 Cause and Effect Matrixในการจัดลำดับความสำคัญปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลกระทบต่อแทร็คเริ่มต้น (ต่อ)

อัตราความสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อค่าแทร็คเริ่มต้น				คะแนนจากทีม									10
ลำดับที่	ประเภทของสาเหตุ	ปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง		PE1	PE2	QC1	QC2	ME1	ME2	FE	FA	รวม	รวม × 10
26			กระแสไฟฟ้าในการเบรกมอเตอร์มากเกินไป	1	2	2	1	0	0	1	1	8	80
27	Measurement	ความแม่นและความเที่ยงของเครื่องมือวัด		0	1	1	2	1	1	2	1	9	90
28		ขาดการกำหนดมาตรฐานของกระบวนการวัด		1	1	2	1	1	2	1	1	10	100
29	Environment	ความชื้นของอากาศในสายการประกอบ		1	1	0	0	1	0	0	0	3	30
30		เศษฝุ่น (Contamination)		2	3	1	2	1	1	2	2	14	140

ตารางที่ ก.2 Cause and Effect Matrixในการจัดลำดับความสำคัญปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลกระทบต่อค่าแทร็คสุดท้าย

อัตราความสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อค่าแทร็คสุดท้าย				คะแนนจากทีม									10
ลำดับที่	ประเภทของสาเหตุ	ปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง		PE1	PE2	QC1	QC2	ME1	ME2	FE	FA	รวม	รวม × 10
1	Material	ชิ้นส่วน Spindle Motor	พื้นที่วางชุดหัวอ่านเอียง	7	5	6	8	6	5	7	9	53	530
2			จุดศูนย์กลางของมอเตอร์เอียง	6	5	7	5	7	8	6	8	52	520
3			ตำแหน่งรู HSA เยื้องศูนย์	3	5	4	5	3	6	5	7	38	380
4		ชิ้นส่วน Flex Circuit	ความแข็งของสายไฟ	2	4	2	1	1	3	3	5	21	210
5			ความยาวสั้นกว่าขนาดมาตรฐาน	6	4	7	7	9	8	6	7	54	540
6		ชิ้นส่วน IDCS	ความเอียงของตัว IDCS	5	7	5	4	5	4	6	4	40	400
7			ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่	10	9	10	9	9	9	10	10	76	760
8			ความยืดหยุ่นของยางน้อย	4	5	7	5	6	8	7	6	48	480
9	Man	พนักงานทำงานผิดวิธี	WI กำหนดไว้ไม่ชัดเจน	1	1	0	0	0	1	0	0	3	30
10			ขาดการฝึกอบรม	0	0	1	0	0	1	0	0	2	20
11		พนักงานขาดความชำนาญ	พนักงานมีประสบการณ์น้อย	0	1	0	0	0	1	1	0	3	30
12			กำหนดหน้าที่ของพนักงานไม่ชัดเจน	1	2	1	0	0	0	0	1	5	50
13	Machine	เครื่องวาง LVCM ขาดประสิทธิภาพ	ชุดหัว Vacuum worn out	4	6	5	5	7	6	5	3	41	410
14			Alignment Pin ชำรุด	5	7	8	8	7	9	8	7	59	590

ตารางที่ ก.2 Cause and Effect Matrixในการจัดลำดับความสำคัญปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลกระทบต่อค่าแท็คสุดท้าย

อัตราความสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อค่าแท็คสุดท้าย				คะแนนจากทีม									10
ลำดับที่	ประเภทของสาเหตุ	ปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง		PE1	PE2	QC1	QC2	ME1	ME2	FE	FA	รวม	รวม × 10
15	Machine	เครื่องวาง LVCM ขาดประสิทธิภาพ	ขนาดของหัวจับชิ้นงานเล็กเกินไป	2	3	1	4	5	6	4	3	28	280
16			Fixture ยึดชิ้นงานชำรุด	7	7	8	9	9	7	6	7	60	600
17		เครื่องไขสกรูบริเวณฝาครอบขาดประสิทธิภาพ	หัว bit สึกหรอ	6	8	6	9	7	8	7	7	58	580
18			Bias Pin หัก / งอ	4	2	5	1	3	1	2	2	20	200
19			กระบอกสูบมีสิ่งสกปรกอุดตัน	5	3	4	5	6	4	2	3	32	320
20	Method	พารามิเตอร์ในการวาง LVCM	ตำแหน่ง X-Y ในการหยิบชิ้นงานเอียง	2	3	2	3	1	1	1	0	13	130
21			ความเร็วของชุด Robot สูงเกิน	6	8	9	7	8	8	7	9	62	620
22			ระยะในการปล่อย LVCM สูงเกิน	5	6	5	3	5	7	3	5	39	390
23		การประกอบชุดหัวอ่านเขียน	ระยะโฟกัสตำแหน่งอ้างอิงผิดพลาด	2	5	2	1	4	6	6	2	28	280
24			แรงกดชุดหัวอ่านเขียนมีค่ามาก	4	2	5	2	2	4	3	1	23	230
25		พารามิเตอร์สำหรับการไขสกรูฝาครอบ	ตำแหน่งของ Bias Pin ชิดกับฝาครอบมากเกินไป	2	1	1	2	3	1	1	3	14	140

ตารางที่ ก.2 Cause and Effect Matrixในการจัดลำดับความสำคัญปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลกระทบต่อค่าแทร็คสุดท้าย

อัตราความสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อค่าแทร็คสุดท้าย				คะแนนจากทีม									10
ลำดับที่	ประเภทของสาเหตุ	ปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง		PE1	PE2	QC1	QC2	ME1	ME2	FE	FA	รวม	รวม × 10
26	Method	พารามิเตอร์สำหรับการไขสกรูฝาครอบ	กำหนดค่า Pressure hold สูงเกิน	10	7	9	10	9	9	10	10	74	740
27			ค่า Torque สำหรับการไขสกรูไม่นิ่ง	5	9	7	8	8	7	9	9	62	620
28			ค่า Vacuum ในการจับหัวสกรูต่ำ	7	9	6	5	7	9	8	7	58	580
29	Measurement	ความแม่นและความเที่ยงของเครื่องมือวัด		0	1	1	1	0	1	0	1	5	50
30		ขาดการกำหนดมาตรฐานของกระบวนการวัด		1	0	1	1	1	0	0	2	6	60
31	Environment	ค่าความชื้นของอากาศในสายการประกอบ		1	1	0	0	1	0	0	0	3	30
32		เศษฝุ่น(Contamination)		2	3	2	2	1	1	2	1	14	140
33		แรงกระแทกในขณะประกอบ		2	1	2	0	4	3	3	1	16	160

ตารางที่ ก.3 Cause and Effect Matrixในการจัดลำดับความสำคัญปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลกระทบต่อค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

อัตราความสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล				คะแนนจากทีม									10
ลำดับที่	ประเภทของสาเหตุ	ปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง		PE1	PE2	QC1	QC2	ME1	ME2	FE	FA	รวม	รวม × 10
1	Material	ชิ้นส่วน Spindle Motor	พื้นที่วางชุดหัวอ่านขรุขระ	4	6	5	5	6	7	4	6	43	430
2			ความสูงของฮับมอเตอร์	8	9	7	8	6	8	7	7	60	600
3			เส้นผ่านศูนย์กลางของมอเตอร์เล็ก	5	2	4	3	3	2	3	4	26	260
4		แผ่นจานบันทึกข้อมูล	เกิดรอยขีดข่วนบนแผ่นจานบันทึกข้อมูล	7	6	7	9	8	7	6	7	57	570
5			จำนวนแทร็คบนแผ่นจานบันทึกข้อมูลมีน้อย	8	7	9	7	8	8	9	7	63	630
6			ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของจานบันทึกข้อมูลมีขนาดเล็ก	9	8	7	8	9	9	10	9	69	690
7		ชุดหัวอ่านเขียนข้อมูล	ความไม่สมดุลของระนาบหัวอ่าน	9	9	8	9	10	8	10	8	71	710
8			ระยะยกตัวของชุดหัวอ่านต่ำ	7	8	6	7	9	8	6	7	58	580
9	Man	พนักงานทำงานผิดวิธี	WI กำหนดไว้ไม่ชัดเจน	0	0	0	1	0	0	1	0	2	20
10			ขาดการฝึกอบรม	0	1	0	0	0	0	0	0	1	10
11		พนักงานขาดความชำนาญ	พนักงานมีประสบการณ์น้อย	1	1	0	0	1	0	1	1	5	50
12			กำหนดหน้าที่ของพนักงานไม่ชัดเจน	1	1	1	0	0	1	0	1	5	50

ตารางที่ ก.3 Cause and Effect Matrixในการจัดลำดับความสำคัญปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลกระทบต่อค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

อัตราความสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล				คะแนนจากทีม									10
ลำดับที่	ประเภทของสาเหตุ	ปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง		PE1	PE2	QC1	QC2	ME1	ME2	FE	FA	รวม	รวม × 10
13	Machine	ความแปรปรวนของตำแหน่งการวางแผ่นจานบันทึกข้อมูล	ปริมาณลมที่จ่ายให้กับเครื่องไม่นิ่ง	5	7	5	9	6	7	8	8	55	550
14			ปลายของ Centering Pin ไม่ทำงาน	9	10	8	7	9	9	8	9	69	690
15		หยิบแผ่นจานบันทึกข้อมูลไม่ได้	Sensor ไม่ส่งสัญญาณ	7	7	8	6	9	9	8	5	59	590
16			พื้นผิวของชุด Vacuum ไม่เรียบ	8	7	5	6	8	8	7	5	54	540
17			มีเศษฝุ่นสะสมในชุด Vacuum	7	5	6	7	7	9	8	8	57	570
18	Method	กระบวนการไขสกรูส่วน Clamp	ระยะเวลาในการ Bias แผ่นจานบันทึกข้อมูล	10	9	7	7	9	8	9	7	66	660
19			ตั้งค่า Torque สูงเกิน	9	9	8	7	10	9	10	8	70	700
20		ตั้งค่าการวางแผ่นจานบันทึกข้อมูลไม่เหมาะสม	ค่าความดันของ Ejector Pin สูง	8	8	6	8	7	9	9	7	62	620
21			ระยะการปล่อยแผ่นจานบันทึกข้อมูลสูงเกินไป	8	7	8	9	7	9	8	8	64	640

ตารางที่ ก.3 Cause and Effect Matrixในการจัดลำดับความสำคัญปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลกระทบต่อค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล

อัตราความสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อค่าความหนาแน่นของพื้นที่ในการเขียนอ่านข้อมูล				คะแนนจากทีม									10
ลำดับที่	ประเภทของสาเหตุ	ปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง		PE1	PE2	QC1	QC2	ME1	ME2	FE	FA	รวม	รวม × 10
22		พารามิเตอร์การทำงานของเครื่องทดสอบ	ระยะเผื่อขอบนอกมากเกินไป	7	8	8	6	7	6	8	10	60	600
23			อุณหภูมิตั้งค่าไว้สูง	5	6	4	7	6	5	4	9	46	460
24			ความเร็วรอบของสปินเดิลมอเตอร์ต่ำ	2	1	4	3	2	1	0	2	15	150
25	Measurement	ความแม่นและความเที่ยงของเครื่องมือวัด		0	1	1	1	0	1	0	1	5	50
26		ขาดการกำหนดมาตรฐานของกระบวนการวัด		1	0	1	1	1	0	0	2	6	60
27	Environment	ค่าความชื้นของอากาศในสายการประกอบ		1	1	0	0	1	0	0	0	3	30
28		เศษฝุ่น (Contamination)		2	1	2	2	3	1	1	0	12	120
29		ค่าประจุไฟฟ้าสูง (ESD)		2	4	1	0	2	3	0	2	14	140

ภาคผนวก ข
การพยากรณ์ค่าใช้จ่ายและแบบฟอร์มรายการตรวจสอบ

ตารางที่ ข – 1 การพยากรณ์ค่าใช้จ่ายหลังการปรับปรุงกระบวนการ

ข้อมูลการผลิต	ปริมาณการผลิตก่อนการปรับปรุง						ยืนยันผล	ปริมาณการผลิตจากการพยากรณ์					
	Jun-12	Jul-12	Aug-12	Sep-12	Oct-12	Nov-12	Dec-12	Jan-13	Feb-13	Mar-13	Apr-13	May-13	Jun-13
ปริมาณการผลิต													
ปริมาณการผลิต (ชิ้น)	55,200	48,100	155,250	160,480	157,725	121,310	55,215	84,080	96,370	89,284	120,355	88,745	113,600
Defect													
1. แทร็คเริ่มต้น	1025	2841	3217	3198	2167	13342	11	17	19	18	24	18	23
2. แทร็คสุดท้าย	2048	1874	6363	6442	6275	5042	56	85	97	90	122	90	115
3. ความหนาแน่น	962	1025	2984	2875	3241	2561	17	26	30	28	37	28	35
ปริมาณของเสีย (ชิ้น)	4035	5740	12564	12515	11683	20945	84	128	146	136	183	135	173
สัดส่วนข้อบกพร่องทั้งหมด	7.31%	11.93%	8.09%	7.80%	7.41%	17.27%	0.15%	0.15%	0.15%	0.15%	0.15%	0.15%	0.15%
Cost													
มูลค่าความสูญเสียก่อนการปรับปรุง	1,137,870	1,618,680	3,543,048	3,529,230	3,294,606	5,906,490	1,283,020	1,856,537	2,127,907	1,971,444	2,657,511	1,959,543	2,508,356
มูลค่าความสูญเสียหลังการปรับปรุง	-	-	-	-	-	-	23,688	36,040	41,308	38,271	51,589	38,040	48,694
มูลค่าความสูญเสียที่ลดลงได้							1,259,332	1,820,497	2,086,599	1,933,174	2,605,922	1,921,503	2,459,663

ตารางที่ ข – 2 แบบฟอร์มรายการตรวจสอบ (Check list) สำหรับค่าการปรับตั้งกระบวนการในสายการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

DEPARTMENT INSTRUCTION **WI# : D0000115770**

Equipment Checklist - Daily (Revision A)

PRODUCT : HARDDISK DRIVE ASSEMBLY LINE

LINE# : 201 **PRODUCT :** A

DATE : XX/XX/XXXX **(DD/MM/YY)** **DONE BY :** _____ **(Technician)**

Process	DESCRIPTION OF TASK	SPECIFICATION	RESULT		REMARKS
			BEFORE ADJUSTMENT	AFTER ADJUSTMENT	
Ramp Screw Remove	1) Check the number of screw turn setting	0.6 Turn			
Ramp Rotate	2) Check the height of pusher pin	7 mm.			
	3) Check the pressure force Cylinder	5 lbs			
	4) Check the spring distance during retract	10 mm.			
LVCM Placing	5) Check the pressure hold is within specification.	35 Mpa			
	6) Check the Z- height for installation point	2 mm.			
Clamp Screw Install	7) Check screw torque drive to met with HDA drawing	0.8 in-lbs			
Media Disc Bias	8) Check Bias timer setting	3 sec			
Media Disc Placing	9) Check Ejector Pressure to correct setting	0.5 Mpa			

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายประพจน์ ฤทัยผุดผ่อง เกิดวันที่ 26 มีนาคม พ.ศ. 2530 ที่จังหวัดกาญจนบุรี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในปีการศึกษา 2551 หลังจากนั้นเข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกรฝ่ายพัฒนาผลิตภัณฑ์ในบริษัทผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟแห่งหนึ่งเป็นเวลา 3 ปี และได้ศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553