

การลดข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มบนงานบันทึกข้อมูลของ
ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

นางสาวอัญธิชา พงษ์ไตรรัตน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
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.

SPIRAL AND CLUSTER DEFECT REDUCTION OF HARD DISK DRIVE MEDIA

MISS AUNTICHA PONGTRAIKAT

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

การลดข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วันเป็นก้นหอยและรอย

จุดเป็นกลุ่มบนงานบันทึกข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

โดย

นางสาวอัญธิชา พงษ์ไตรรัตน์

สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังศุมาลิน เสนจันทร์ฉวีไชย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสงศ์ โรจนโรวรรณ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังศุมาลิน เสนจันทร์ฉวีไชย)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.โอฬาร กิตติธีรพรชัย)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญวา ธรรมพิทักษ์กุล)

อัญริษา พงษ์ไตรรัตน์ : การลดข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มบนจานบันทึกข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์. (SPIRAL AND CLUSTER DEFECT REDUCTION OF HARD DISK DRIVE MEDIA) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
 ผศ. ดร.อังศุมาลิน เสนจันทร์พิไชย, 165 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนของเสียในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ ไครฟ์อันเนื่องมาจากข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มที่เกิดขึ้นที่จานบันทึกข้อมูล โดยการประยุกต์ใช้ 5 ขั้นตอนของเทคนิคซิกซ์ ซิกม่า ในขั้นแรกได้เลือกข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มมาวิเคราะห์ก่อนเนื่องจากมีความสำคัญที่สุด โดยมีสัดส่วนของเสียเท่ากับ 6.03% และ 2.53% ตามลำดับ ขั้นที่สองพบว่าระยะระหว่างตัวหีบกับจานบันทึกข้อมูล ความคมของฝาครอบระยะยกตัวของชุดหัวอ่าน-เขียน และจำนวนการทดสอบ load/unload คือ ปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย ขณะที่แรงลมในการฉีดวางและแรงลมในการดูดหีบแผ่นคั่นจานบันทึกข้อมูล คือ ปัจจัยที่มีผลต่อข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม ถัดมาได้ทำการออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบ้หันเคนและการทดลองเชิงแฟกทอเรียลตามลำดับ โดยผลที่ได้จากการออกแบบการทดลองจะใช้วิธีการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองถูกประยุกต์ใช้เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัจจัยจำนวนสี่ปัจจัยซึ่งจะทำให้เปอร์เซ็นต์ข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยน้อยที่สุด ส่วนวิธีเชิงเส้นทั่วไปถูกประยุกต์ใช้เพื่อหาค่าปัจจัยจำนวนสองปัจจัยสำหรับข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม โดยค่าของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการ คือ ระยะระหว่างตัวหีบกับจานบันทึกข้อมูล 3 มิลลิเมตร ความคมของฝาครอบ 0.002 นิ้ว ระยะยกตัวของชุดหัวอ่าน - เขียน 0.01 นิ้ว และจำนวนการทดสอบ load/unload 10,000 ครั้ง เมื่อติดตามผลด้วยแผนภูมิควบคุม p สำหรับข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย แผนภูมิควบคุม p นี้ยังใช้ในการติดตามผลของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มด้วยเงื่อนไขของกระบวนการที่สนใจ คือ 2,250 มิลลิเมตรปรอท และ 440 มิลลิเมตรปรอท ของแรงในการฉีดวางและดูดหีบแผ่นคั่นจานบันทึกข้อมูลตามลำดับ หลังการปรับปรุง พบว่าสัดส่วนของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยลดลง 53.56% โดยลดจากเดิม 6.03% เป็น 2.80% ขณะที่สัดส่วนของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มลดลง 60.55% โดยลดจากเดิม 2.53% เป็น 0.99%

ภาควิชา.....วิศวกรรมอุตสาหกรรม.....ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมอุตสาหกรรม.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา...2555.....

5371460321: MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: MEDIA/ SPIRAL DEFECT/ CLUSTER DEFECT/ SIX SIGMA APPROACH

AUNTICHA PONGTRAIRAT: SPIRAL AND CLUSTER DEFECT REDUCTION OF
HARD DISK DRIVE MEDIA. ADVISOR: ASST. PROF. ANGSUMALIN
SENJUNTICHAJ, D. Eng., 165 pp.

The objective of this study is to reduce the number of defects in hard disk drive manufacturing from spiral and cluster scratches on media by applying DMAIC steps of Six Sigma approach. The spiral and cluster scratches are firstly identified as the significant loss with 6.03% and 2.53% defective rate, respectively. Secondly, the paddle to disk space, the top cover edge sharpness, the pitch static attribute and the number of load/unload cycle are found to be the key process input variables (KPIV) for the spiral scratch. While the disk separator plate ejected pressure and the disk separator plate vacuum pressure are the KPIVs for the cluster scratch. The experiments based on four KPIVs for spiral scratch and two KPIVs for cluster scratch are then tested by following Box Behnken and Full Factorial design, consecutively. With the results from the experiments, the response surface method is applied to determine the optimal setting for these four KPIVs with respect to the minimum percentage of the spiral scratch. Whereas the general linear model is applied to determine the process setting for two KPIVs of the cluster scratch. Finally, the process with the optimal settings of the paddle to disk space at 3 mm., the top cover edge sharpness at 0.002 inch, the pitch static attitude at 0.01 inch and the number of load/unload cycle at 10,000 times is implemented and monitored by the p control chart for the spiral scratch. The p control chart is also implemented for the cluster scratch with the suggested process conditions at 2,250 mmHg and 440 mmHg of the disk separator plate ejected pressure and the disk separator plate vacuum pressure, respectively. After the improvement, the defective rate of spiral scratch is decreased by 53.56% from 6.03% to 2.80% whereas the defective rate of cluster defect is decreased by 60.55% from 2.53% to 0.99%.

Department : Industrial Engineering Student's Signature

Field of Study : Industrial Engineering Advisor's Signature

Academic Year : 2012

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถูกลงได้ด้วยความรู้ที่คณาจารย์ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา และด้วยความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังศุมาลิน เสนจันทร์ดิไชย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำแก้ไข และชี้แนวทางในการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี ทั้งยังเอาใจใส่และคอยติดตามอย่างสม่ำเสมอ ผู้วิจัยจึงถือโอกาสนี้ขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.โอฬาร กิตติธีรพรชัย กรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญวาทธรรมพิทักษ์กุล กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย และรองศาสตราจารย์ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย ที่กรุณาให้คำแนะนำ แนวทางในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ โรงงานกรณีศึกษาเป็นอย่างสูงที่ให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลและการทำการทดลองเป็นอย่างดี และขอบพระคุณคณะทำงานที่ช่วยในการระดมสมอง ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จ ให้ความช่วยเหลือ สนับสนุน และให้กำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง	ฐ
สารบัญภาพ	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	5
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	5
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	6
1.6 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงานวิจัย	6
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	13
2.2.1 แนวคิดซิกซ์ ซิกมา.....	13
2.2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	26
บทที่ 3 ระเบียบวิธีปัญหา	30
3.1 ศึกษากระบวนการผลิต	30
3.2 สภาพปัญหาปัจจุบัน.....	31
3.3 กำหนดเป้าหมายและตัวชี้วัด.....	34
3.4 จัดตั้งคณะทำงาน.....	34
บทที่ 4 ระยะเวลาวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา	35
4.1 การวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด.....	35
4.1.1 การวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย.....	36

4.1.2 การวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม	44
4.2 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ	53
4.2.1 ข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย.....	53
4.2.2 ข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม.....	55
4.3 การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า.....	56
4.3.1 การระบุปัจจัยนำเข้าโดยใช้ผังสาเหตุและผล.....	56
4.3.2 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล	57
บทที่ 5 ระยะเวลาวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา.....	70
5.1 รูปแบบการทดลอง.....	70
5.2 การกำหนดขนาดตัวอย่างสำหรับวิธีการทดสอบสมมติฐาน	71
5.2.1 การหาขนาดตัวอย่างสำหรับข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย.....	72
5.2.2 การหาขนาดตัวอย่างสำหรับข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม	73
5.3 ปัจจัยและการกำหนดระดับของปัจจัยในการทดสอบสมมติฐาน	74
5.4 วิธีการทดสอบสมมติฐานและผลการทดสอบสมมติฐานของแต่ละปัจจัยนำเข้า	81
บทที่ 6 ระยะเวลาปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ.....	89
6.1 การออกแบบการทดลอง	89
6.1.1 การกำหนดจำนวนการทดลองสำหรับวิธีการออกแบบการทดลอง	89
6.1.2 การกำหนดขนาดตัวอย่างสำหรับวิธีการออกแบบการทดลอง	92
6.2 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	94
6.2.1 ข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย.....	94
6.2.2 ข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม.....	104
บทที่ 7 ระยะเวลาติดตามควบคุม.....	110
7.1 การทดสอบยืนยันผล.....	110
7.1.1 วิธีการทดลอง	111
7.1.2 การตรวจติดตามผลโดยใช้แผนภูมิควบคุม	113
7.1.3 การวิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดสอบยืนยันผล	113
7.2 ผลการปรับปรุง	116
7.2.1 ผลการปรับปรุงสัดส่วนของเสีย.....	116
7.2.2 มูลค่าความสูญเสียหลังการปรับปรุง.....	120
7.3 ผลกระทบด้านต้นทุนและกำลังผลิตหลังการปรับปรุงกระบวนการ	120

บทที่ 8 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	124
8.1 ระยะนียามปัญหา	124
8.2 ระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา	124
8.3 ระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา.....	125
8.4 ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ.....	126
8.5 ระยะการติดตามควบคุม.....	128
8.6 สรุปผลการทำวิจัย	128
8.7 ข้อจำกัดในการทำวิจัย	130
8.8 ข้อเสนอแนะ	130
รายการอ้างอิง	131
ภาคผนวก	133
ภาคผนวก ก	134
ภาคผนวก ข	141
ภาคผนวก ค	155
ภาคผนวก ง	160
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	165

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ขนาดสิ่งตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัดด้วยข้อมูลนับ	36
ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย.....	37
ตารางที่ 4.3 ข้อกำหนดการยอมรับของการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย.....	38
ตารางที่ 4.4 ผลของการตรวจสอบระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย	39
ตารางที่ 4.5 ข้อกำหนดการยอมรับของการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม.....	46
ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม.....	46
ตารางที่ 4.7 ผลของการตรวจสอบระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม	47
ตารางที่ 4.8 เกณฑ์การให้คะแนนความสำคัญของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย.....	57
ตารางที่ 4.9 เกณฑ์การให้คะแนนความสำคัญของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม	57
ตารางที่ 4.10 ปัจจัยนำเข้าที่นำมาทดสอบสมมติฐานสำหรับการเกิดข้อบกพร่องประเภท รอยขีดที่วนเป็นก้นหอย	63
ตารางที่ 4.11 รายละเอียดของปัจจัยและวิธีการควบคุมปัจจัยของข้อบกพร่องประเภท รอยขีดที่วนเป็นก้นหอย	64
ตารางที่ 4.12 ปัจจัยนำเข้าที่นำมาทดสอบสมมติฐานสำหรับการเกิดข้อบกพร่องประเภท รอยจุดเป็นกลุ่ม	68
ตารางที่ 4.13 รายละเอียดของปัจจัยและวิธีการควบคุมปัจจัยของข้อบกพร่องประเภท รอยจุดเป็นกลุ่ม	68
ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบจำนวนการทดลองและขนาดตัวอย่างการทดลองของการทดสอบ สมมติฐานและการทดลองเชิงแฟกทอเรียล	71
ตารางที่ 5.2 ปัจจัยและระดับของปัจจัยสำหรับข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย	76
ตารางที่ 5.3 ปัจจัยและระดับของปัจจัยสำหรับข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม	79
ตารางที่ 5.4 สรุปผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภท รอยขีดที่วนเป็นก้นหอย	83
ตารางที่ 5.5 สรุปผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภท รอยจุดเป็นกลุ่ม	85
ตารางที่ 5.6 ปัจจัยและระดับปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยเพื่อ การออกแบบการทดลอง	86

ตารางที่ 5.7 ปัจจัยและระดับปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มเพื่อการ ออกแบบการทดลอง	88
ตารางที่ 6.1 ตารางการออกแบบการทดลองของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย.....	90
ตารางที่ 6.2 ตารางการออกแบบการทดลองของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม.....	92
ตารางที่ 6.3 เปรียบเทียบขนาดของตัวอย่างการทดลองระหว่างวิธีการทดสอบสมมติฐานและวิธีการ ออกแบบการทดลอง	94
ตารางที่ 6.4 ผลการทดลองและผลการแปลงข้อมูลด้วยวิธีมาตรฐานและวิธีของ Freeman และ Turkey ของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย	95
ตารางที่ 6.5 ผลการทดลองและผลการแปลงข้อมูลด้วยวิธีมาตรฐานและวิธีของ Freeman และ Turkey ของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม	104
ตารางที่ 7.1 ระดับปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย	110
ตารางที่ 7.2 ระดับปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม	111
ตารางที่ 7.3 วิธีการปรับตั้งค่าปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย	112
ตารางที่ 7.4 วิธีการปรับตั้งค่าปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม	112
ตารางที่ 7.5 การเปรียบเทียบผลของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยก่อนและ หลังการปรับปรุง.....	118
ตารางที่ 7.6 การเปรียบเทียบผลของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มก่อนและ หลังการปรับปรุง.....	120
ตารางที่ 7.7 แผนควบคุมปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภท รอยขีดที่วนเป็นก้นหอย	122
ตารางที่ 7.8 แผนควบคุมปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม	123
ตารางที่ 7.9 เปรียบเทียบมูลค่าความเสียหายก่อนและหลังการปรับปรุงการทดลอง	123
ตารางที่ 8.1 ปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย.....	127
ตารางที่ 8.2 ปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม.....	127
ตารางที่ 8.3 สรุปผลการทำงานวิจัยโดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา ในแต่ละระยะของการดำเนินงาน.....	128

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 จำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตระหว่างเดือนกรกฎาคม 2554 ถึงมิถุนายน 2555.....	2
รูปที่ 1.2 จำนวนงานบันทึกข้อมูลทั้งหมดที่ส่งเข้าในกระบวนการผลิตระหว่างเดือนกรกฎาคม 2554 ถึงมิถุนายน 2555.....	3
รูปที่ 1.3 อัตราการทิ้งและส่งคืนงานบันทึกข้อมูลระหว่างเดือนกรกฎาคม 2554 ถึงมิถุนายน 2555.....	3
รูปที่ 1.4 มูลค่าความสูญเสียที่เกิดจากการทิ้งและการส่งคืนงานบันทึกข้อมูลระหว่างเดือนกรกฎาคม 2554 ถึงมิถุนายน 2555	4
รูปที่ 1.5 พาเรโตแสดงลักษณะข้อบกพร่องบนงานบันทึกข้อมูล.....	5
รูปที่ 2.1 เส้นโค้งกระจายตัวตามปกติ.....	13
รูปที่ 2.2 ขอบล่างและขอบบนของซีกซ์ ซิกมา.....	14
รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการดำเนินงานของซีกซ์ ซิกมา.....	15
รูปที่ 2.4 กระบวนการปกติ.....	17
รูปที่ 2.5 กระบวนการที่ไม่มีความสามารถ แต่อยู่ในความควบคุม.....	17
รูปที่ 2.6 กระบวนการที่มีความสามารถ แต่ไม่อยู่ในความควบคุม.....	17
รูปที่ 2.7 กระบวนการที่มีความสามารถและอยู่ในความควบคุม	18
รูปที่ 2.8 กระบวนการที่ไม่มีความสามารถและไม่อยู่ในความควบคุม	18
รูปที่ 2.9 แผนภูมิแก๊งปลา	20
รูปที่ 2.10 ชนิดของแผนภูมิควบคุม.....	26
รูปที่ 2.11 โครงสร้างของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	27
รูปที่ 2.12 การเชื่อมต่อแบบ SCSI	29
รูปที่ 3.1 ผังกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	31
รูปที่ 3.2 พาเรโตแสดงชนิดของเสียรวมตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2554 ถึงมิถุนายน 2555	32
รูปที่ 3.3 สัดส่วนของเสียแยกตามประเภทของข้อบกพร่องตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2554 ถึงมิถุนายน 2555.....	32
รูปที่ 3.4 ลักษณะข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย.....	33
รูปที่ 3.5 ลักษณะข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม.....	33
รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด โดยโปรแกรม Minitab	41

รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด โดยโปรแกรม Minitab (หลังการอบรมพนักงานตรวจสอบใหม่)	44
รูปที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด โดยโปรแกรม Minitab	50
รูปที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด โดยโปรแกรม Minitab (หลังการอบรมพนักงานตรวจสอบใหม่)	52
รูปที่ 4.5 Process capability analysis ของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย ก่อนการปรับปรุงกระบวนการ	55
รูปที่ 4.6 Process capability analysis ของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มก่อนการปรับปรุง กระบวนการ	56
รูปที่ 4.7 ผังสาเหตุและผลของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย	58
รูปที่ 4.8 ผังสาเหตุและผลของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม	59
รูปที่ 4.9 พารามิเตอร์ความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภท รอยขีดที่วนเป็นก้นหอย	60
รูปที่ 4.10 พารามิเตอร์ความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภท รอยจุดเป็นกลุ่ม	67
รูปที่ 4.11 ลำดับการขั้นสูงของแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล	69
รูปที่ 5.1 Power and Sample size ของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย.....	72
รูปที่ 5.2 Power curve for two proportions ของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย	73
รูปที่ 5.3 Power and Sample size ของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม.....	74
รูปที่ 5.4 Power curve for two proportions ของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม.....	74
รูปที่ 5.5 รูปแบบที่ 1 ของกล่องบรรจุฝาครอบ	79
รูปที่ 5.6 รูปแบบที่ 2 ของกล่องบรรจุฝาครอบ	79
รูปที่ 5.7 ผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูล	83
รูปที่ 5.8 ฝาครอบฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟ.....	87
รูปที่ 6.1 รายละเอียดของการทดลองแบบบล็อก-เบ้หันเคนของข้อบกพร่องประเภท รอยขีดที่วนเป็นก้นหอย	90
รูปที่ 6.2 รายละเอียดของการทดลองเชิงแฟคทอเรียลของข้อบกพร่องประเภท รอยจุดเป็นกลุ่ม.....	91
รูปที่ 6.3 ผลการทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติของข้อบกพร่องประเภท รอยขีดที่วนเป็นก้นหอย	97

รูปที่ 6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตกค้างของสัดส่วนของข้อบกพร่องประเภท รอยขีดที่วนเป็นก้นหอย	98
รูปที่ 6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตกค้างและค่าที่ถูกพิตของสัดส่วนของข้อบกพร่องประเภท รอยขีดที่วนเป็นก้นหอย	98
รูปที่ 6.6 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย โดยโปรแกรม Minitab	101
รูปที่ 6.7 ผลจากการรัน Response Optimizer ในโปรแกรม Minitab.....	102
รูปที่ 6.8 ผลของระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จาก Response Optimizer	102
รูปที่ 6.9 Surface Plot จากการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง	103
รูปที่ 6.10 Contour Plot จากการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง	103
รูปที่ 6.11 ผลการทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม ..	105
รูปที่ 6.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตกค้างของสัดส่วนของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม.....	106
รูปที่ 6.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตกค้างและค่าที่ถูกพิตของสัดส่วนของข้อบกพร่องประเภท รอยจุดเป็นกลุ่ม	107
รูปที่ 6.14 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม โดยโปรแกรม Minitab	108
รูปที่ 6.15 กราฟแสดงผลของปัจจัยหลังของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม	109
รูปที่ 6.16 กราฟแสดงผลของปัจจัยร่วมของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม	109
รูปที่ 7.1 แผนภูมิควบคุมของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย	114
รูปที่ 7.2 แผนภูมิควบคุมของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม	116
รูปที่ 7.3 Process capability analysis ของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย หลังการ ปรับปรุงกระบวนการ.....	117
รูปที่ 7.4 Process capability analysis ของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม หลังการปรับปรุง กระบวนการ	119
รูปที่ 7.5 เปรียบเทียบสัดส่วนของเสียแยกตามประเภทของข้อบกพร่องก่อนและหลังการปรับปรุง	121

บทที่ 1

บทนำ

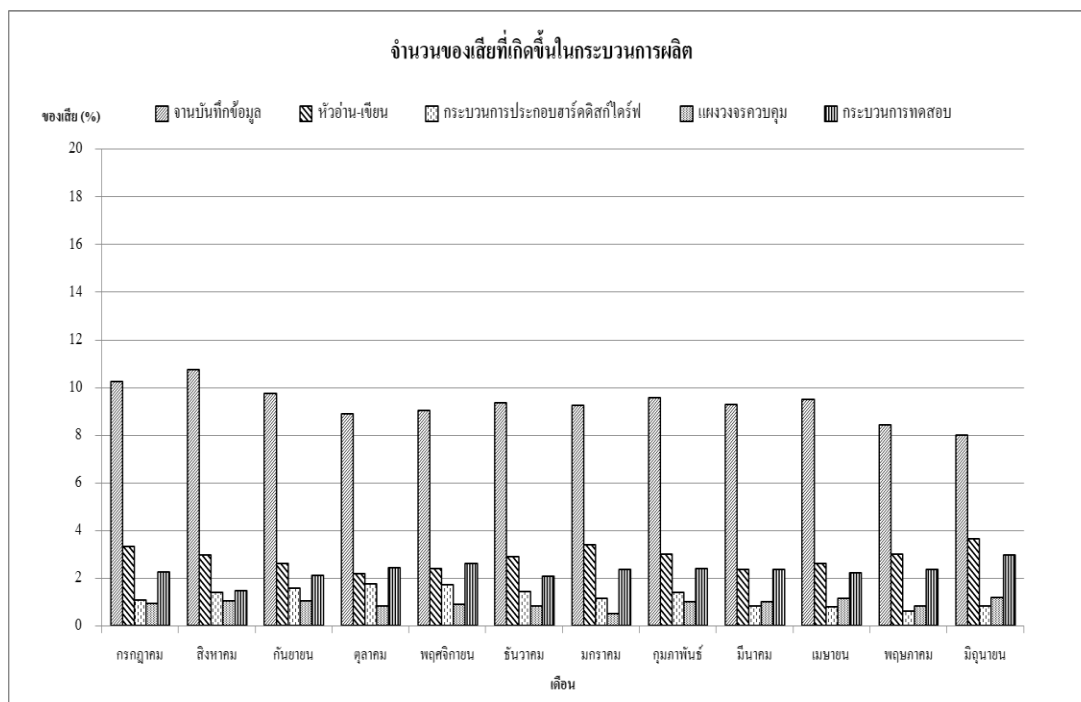
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาทสำคัญในการดำเนินชีวิตประจำวันของมนุษย์เป็นอย่างมากจึงทำให้เกิดการแข่งขันที่สูงขึ้น ซึ่งหนึ่งในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ที่มีการแข่งขันสูงและมีความสำคัญต่อการส่งออกคืออุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์หรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลทั้งหมดของคอมพิวเตอร์แต่ละรุ่นมีวัฏจักรชีวิตที่สั้นมากกว่าผลิตภัณฑ์ประเภทอื่น ดังนั้น ผู้ผลิตจึงต้องมีการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่อยู่เสมอเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าและเป็นการได้เปรียบเหนือคู่แข่งในตลาดเดียวกัน นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีและการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ ทั้งทางด้านประสิทธิภาพการใช้งาน ราคาสินค้า และด้านคุณภาพของสินค้าด้วย

ของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นี้มีสาเหตุหลายประการ เช่น การปรับตั้งค่าเครื่องจักรที่ไม่มีมาตรฐาน พนักงานยังไม่มีความรู้ความชำนาญ จำนวนสถานีผลิตที่ไม่เพียงพอ เป็นต้น ซึ่งสาเหตุเหล่านี้ทำให้เกิดความเสียหายในตัวผลิตภัณฑ์ รวมทั้งส่วนประกอบอื่นๆเป็นอย่างมาก ส่งผลต่อต้นทุนในการผลิตที่สูงขึ้นและคุณภาพของสินค้าที่ยังไม่ได้มาตรฐาน และอาจส่งผลต่อเวลาในกระบวนการเพิ่มสูงขึ้นโดยไม่จำเป็น ดังนั้น การลดของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตจึงมีความจำเป็นอย่างมากในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ นอกจากจะเป็นการแก้ไขปัญหาด้านต้นทุนสูญเสียเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการแล้ว ยังเป็นการแก้ไขปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อทั้งกระบวนการอีกด้วย

โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เริ่มดำเนินการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ผลิตภัณฑ์ใหม่ คือ ผลิตภัณฑ์ A ที่มีความจุ 2000 จิกะไบต์ ความเร็วการส่งข้อมูล 7200 รอบต่อนาทีมีงานบันทึกข้อมูล 4 แผ่น ความจุแผ่นละ 500 จิกะไบต์ ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 ทำให้โรงงานต้องซื้อเครื่องจักรใหม่และอบรมพนักงานในสายการผลิตใหม่เพื่อรองรับการผลิตที่มากขึ้น อีกทั้งผลิตภัณฑ์ A ได้มีการสั่งซื้อจากลูกค้าเข้ามาจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องใช้สายการผลิตร่วมกับผลิตภัณฑ์อื่น ทำให้โรงงานประสบปัญหาในการผลิตและเกิดของเสียขึ้นจำนวนมาก เนื่องจากการตั้งค่าเครื่องจักรที่ยังไม่เหมาะสมและมีการเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์ในการผลิตอยู่ตลอดเวลา ความไม่ชำนาญและขาดประสบการณ์ของพนักงาน และจากปัญหาที่เกิดขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์ A ได้ผลผลิตที่ต่ำ

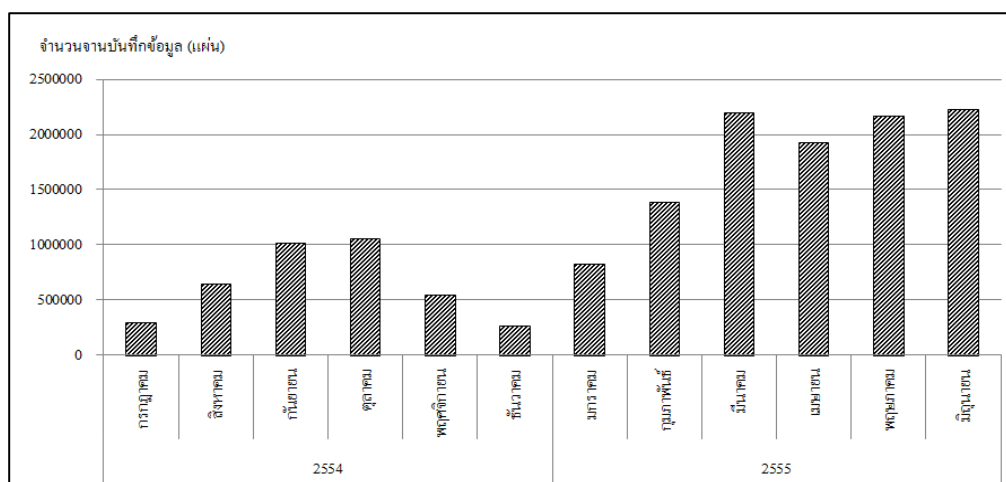
จากการเก็บข้อมูลของเสียรวมทั้งเดือนกรกฎาคม 2554 ถึงมิถุนายน 2555 ดังรูปที่ 1.1 พบว่าผลิตภัณฑ์ A มีเปอร์เซ็นต์ของเสียประเภทงานบันทึกข้อมูลเป็นชิ้นส่วนที่เกิดของเสียสูงมากที่สุดเมื่อเทียบกับเปอร์เซ็นต์ของเสียทั้งหมดในกระบวนการผลิต รองลงมาคือ ของเสียที่เกิดจากกระบวนการทดสอบ และของเสียที่เกิดจากหัวอ่านเขียนตามลำดับ



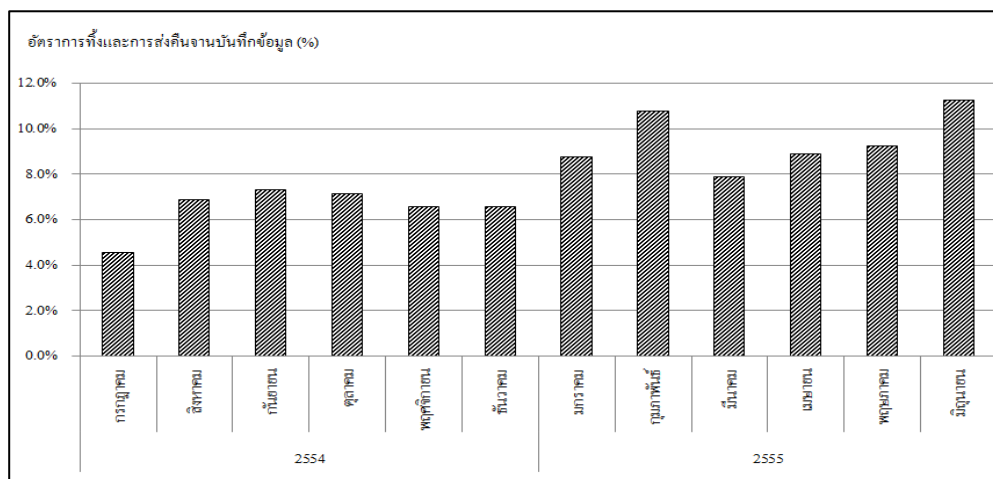
รูปที่ 1.1 จำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตระหว่าง
เดือนกรกฎาคม 2554 ถึงมิถุนายน 2555

งานบันทึกข้อมูล (Media) เป็นส่วนประกอบสำคัญส่วนหนึ่งของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ มีลักษณะเป็นจานโลหะกลมๆ ทำหน้าที่สำหรับเก็บข้อมูล ฮาร์ดดิสก์หนึ่งตัวจะประกอบไปด้วยจานแม่เหล็กหลายแผ่นแล้วแต่ความจุของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และถ้าฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เกิดความเสียหายเกิดขึ้น งานบันทึกข้อมูลที่อยู่ภายในก็จะไม่สามารถนำไปใช้ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ตัวอื่นๆ ได้ นอกจากจะส่งกลับไปยังโรงงานผลิตงานบันทึกข้อมูลเพื่อเข้าสู่กระบวนการปรับปรุงให้สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ โดยไม่จำเป็นต้องทำลายงานบันทึกข้อมูลทั้งหมด เนื่องจากงานบันทึกข้อมูลมีราคาค่อนข้างสูง แต่ในขั้นตอนการซ่อมแซมนั้นจะต้องเสียค่าใช้จ่ายคิดต่อแผ่นและเสียค่าขนส่ง ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่สูงมากและเป็นปัญหาต่อเนื่องเป็นเวลานาน ดังนั้นการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการนี้จึงช่วยลดต้นทุนในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อย่างมาก

ในฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟผลิตภัณฑ์ A หนึ่งตัวจะประกอบไปด้วยจานแม่เหล็กไว้สำหรับบันทึกข้อมูลทั้งหมด 4 แผ่น เมื่อเกิดความเสียหายในฮาร์ดดิสก์ 1 ตัว จานแม่เหล็กทั้ง 4 แผ่นจะต้องถูกนำไปผ่านกระบวนการตรวจสอบอีกครั้งหนึ่งเพื่อยืนยันว่าจานบันทึกข้อมูลไม่สามารถใช้งานได้ โดยจานบันทึกข้อมูลเหล่านี้จะต้องส่งไปเข้ากระบวนการปรับปรุงที่โรงงานผลิตจานบันทึกข้อมูลเพื่อให้ได้จานบันทึกข้อมูลที่มีคุณสมบัติเหมือนจานบันทึกข้อมูลดั้งเดิมก่อนจึงจะสามารถนำมาใช้ในฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟตัวใหม่ได้ จากรูปที่ 1.2 แสดงจำนวนจานบันทึกข้อมูลที่ส่งเข้าในกระบวนการผลิตในแต่ละเดือน จะพบว่าจำนวนจานบันทึกข้อมูลที่ส่งเข้านั้นจะมีปริมาณแตกต่างกันในแต่ละเดือนขึ้นอยู่กับปริมาณการสั่งซื้อของลูกค้า จากกราฟจะพบว่าช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม 2554 มีปริมาณการสั่งซื้อน้อย เนื่องจากเป็นช่วงระยะเริ่มแรกของการผลิต และช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน 2555 มีปริมาณการสั่งซื้อมากขึ้น และมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเรื่อยๆ



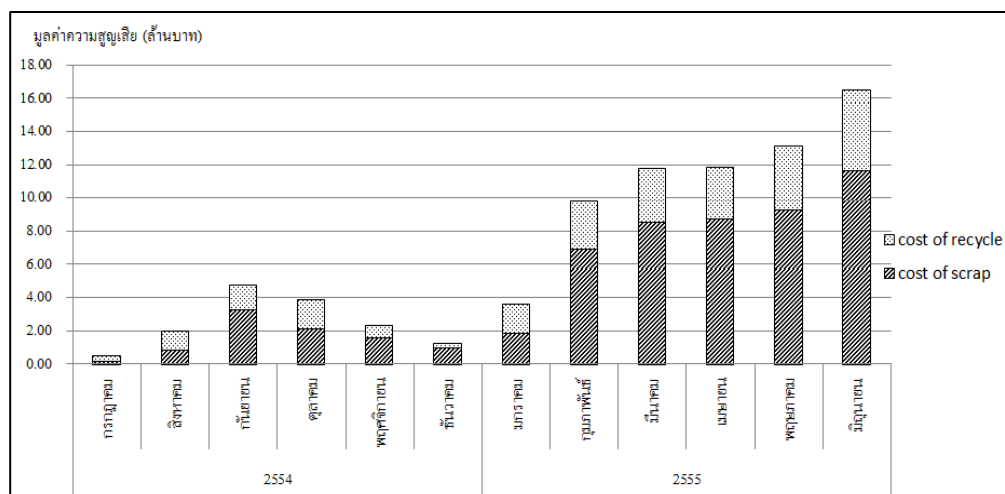
รูปที่ 1.2 จำนวนจานบันทึกข้อมูลทั้งหมดที่ส่งเข้าในกระบวนการผลิต
ระหว่างเดือนกรกฎาคม 2554 ถึงมิถุนายน 2555



รูปที่ 1.3 อัตราการใช้และการส่งคืนงานบันทึกข้อมูลระหว่างเดือนกรกฎาคม 2554 ถึงมิถุนายน 2555

เมื่อพิจารณาของเสียที่เกิดขึ้นจากงานบันทึกข้อมูลดังรูปที่ 1.3 พบว่าอัตราการใช้และการส่งคืนงานบันทึกมีค่าระหว่าง 4.6% ถึง 11.9% และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.0% ซึ่งจะพบว่าปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นจากงานบันทึกข้อมูลยังคงมีปริมาณที่สูงอย่างต่อเนื่อง

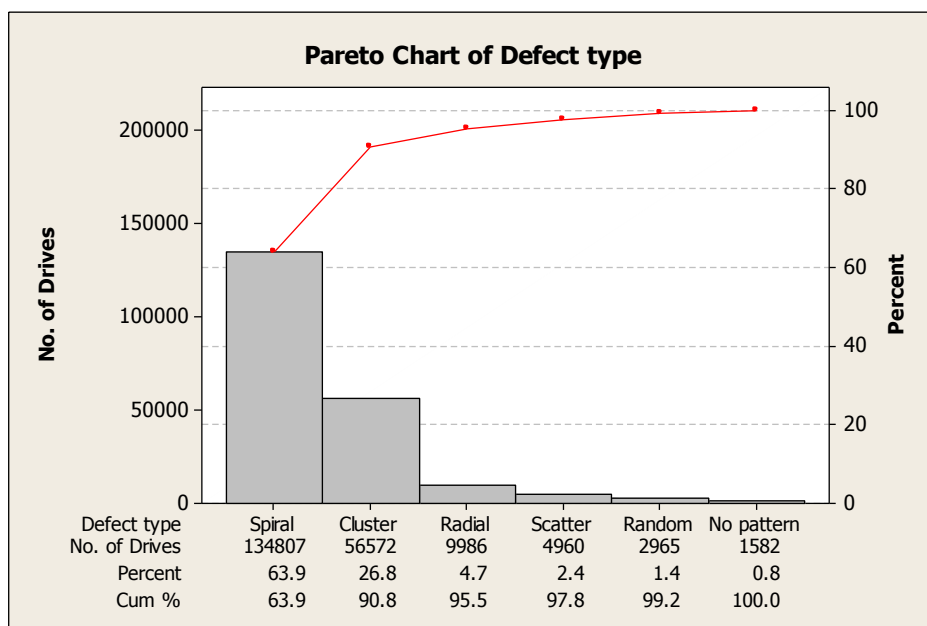
ถ้าพิจารณาในด้านของมูลค่าความสูญเสียดังแสดงในรูป 1.4 อาจเห็นว่ามูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม 2554 น้อยกว่าเดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน 2555 ซึ่งสอดคล้องกับจำนวนงานบันทึกข้อมูลทั้งหมดที่ส่งเข้ากระบวนการ (ดังรูปที่ 1.2)



รูปที่ 1.4 มูลค่าความสูญเสียที่เกิดจากการใช้และการส่งคืนงานบันทึกข้อมูลระหว่างเดือนกรกฎาคม 2554 ถึงมิถุนายน 2555

จะเห็นว่า เมื่อพิจารณาจากมูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นจากงานบันทึกข้อมูล พบว่าถ้าทำการปรับปรุงแก้ไขเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นนี้ได้ ก็จะช่วยลดอัตราการทิ้งและการส่งคืนงานบันทึกข้อมูลที่ต้องนำไปปรับปรุงที่โรงงานผลิตงานบันทึกข้อมูลลง จะเป็นการลดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตลงได้เป็นจำนวนเงินหลายล้านบาท ดังนั้นการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดของเสียจึงมีความจำเป็นและมีความสำคัญต่อโรงงานกรณีศึกษาเป็นอย่างมาก

ดังนั้นจึงได้นำปัญหาด้านงานบันทึกข้อมูลมาพิจารณาถึงลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นพบว่า ลักษณะของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นบนงานบันทึกข้อมูลเกิดจากหลายลักษณะ แสดงดังรูปที่ 1.5 จะเห็นได้ว่า ลักษณะข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย (Spiral) มีเปอร์เซ็นต์สูงถึง 63.9% รองลงมาคือ ประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม (Cluster) 26.8% รอยลากตามแนวรัศมี (Radial) 4.7% รอยจุดกระจายรอบแผ่น (Scatter) 2.4% รอยขีดที่มีทิศทางไม่แน่นอน (Random) 1.4% และไม่มีรูปแบบ (No Pattern) 0.8% ตามลำดับ จากรูปที่ 1.7 พบว่าข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มมีสัดส่วนรวมประมาณ 90% ดังนั้นใช้หลักการของพาเรโต ข้อบกพร่องที่ควรทำการแก้ไขก่อนคือ ประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่ม



รูปที่ 1.5 พาเรโตแสดงลักษณะข้อบกพร่องบนงานบันทึกข้อมูล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่ลดของเสียที่เกิดจากงานบันทึกข้อมูลในลักษณะความบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มซึ่งมีสัดส่วนของเสียรวม 90.8% คิดเป็นมูลค่าความสูญเสียเฉลี่ยเท่ากับ 2,062,105.5 บาท/เดือน โดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมาในการปรับปรุงแก้ไข เนื่องจากเป็นแนวคิดที่นำมาใช้งานได้ง่าย มุ่งเน้นการกำจัดความไม่แน่นอนออกจากทุกกระบวนการและกิจกรรม ช่วยลดข้อบกพร่องหรือของเสียให้เกิดน้อยที่สุด ลดต้นทุนในการผลิต เพิ่มความพึงพอใจของลูกค้าให้มากขึ้น และยังสามารถเพิ่มความสามารถของกระบวนการผลิตให้สูงขึ้น โดยอาศัยกระบวนการ 5 ขั้นตอนคือ DMAIC

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ฟอนเนื่องมาจากของเสียประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มที่เกิดขึ้นที่งานบันทึกข้อมูล

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ทำการศึกษาและเก็บข้อมูลส่วนงานประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในโรงงานกรณีศึกษาเฉพาะผลิตภัณฑ์ A ความจุ 2000 GB
2. ทำการศึกษาหรือลดของเสียที่งานบันทึกข้อมูลเท่านั้น
3. คำนวณที่ใช้วัดปริมาณของเสียเป็นหน่วยสัดส่วนของเสียประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่ม

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อสัดส่วนของเสียประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่ม
2. ทหารดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมที่ทำให้สัดส่วนของเสียประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มลดลงมากที่สุด

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. ลดปริมาณของเสียประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มที่เกิดขึ้นที่งานบันทึกข้อมูล ลดปริมาณงานบันทึกข้อมูลเสีย
2. ลดอัตราและมูลค่าการส่งคืนงานบันทึกข้อมูลที่ต้องนำไปปรับปรุงและลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

3. ลดต้นทุนที่ใช้ในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
4. ลดเวลาสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าของผลิตภัณฑ์
5. เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตในผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นๆของโรงงานกรณีศึกษาและอุตสาหกรรมประเภทอื่นๆต่อไป

1.6 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนในการศึกษาและดำเนินงานวิจัยนี้ จะใช้หลักการดำเนินงานของซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma) คือ DMAIC โดยมีรายละเอียดการดำเนินการในแต่ละขั้นตอน ดังนี้

1. สํารวจงานวิจัย บทความ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดซิกซ์ ซิกมาและอื่นๆที่เกี่ยวข้อง
2. ระบะนิยามปัญหา (Define Phase)
 - 1) ศึกษากระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ผลิตภัณฑ์ A
 - 2) สํารวจสภาพปัญหา พร้อมทั้งรวบรวมข้อมูลที่เกิดขึ้นในปัจจุบันที่ทำให้เกิดความเสียหายเนื่องจากรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มบนจานบันทึกข้อมูล พร้อมทั้งทำผังกระบวนการ (Process Map)
 - 3) วิเคราะห์ข้อมูลจากการเก็บรวบรวม เพื่อทำการกำหนดปัญหา เป้าหมาย ตัวชี้วัด และระยะเวลาในการดำเนินโครงการ
3. ระบะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)
 - 1) วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่ทำให้เกิดรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มบนจานบันทึกข้อมูล พร้อมทั้งทำการพิจารณาความสามารถของกระบวนการผลิตในปัจจุบัน
 - 2) วิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงของระบบการวัด
 - 3) หาปัจจัยนำเข้า (Key Process Input Variation หรือ KPIVs) โดยใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix)
4. ระบะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)
 - 1) ออกแบบการทดลอง (Design of Experiment หรือ DOE) เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ พร้อมทั้งพิจารณาเลือกรูปแบบและขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง
 - 2) กำหนดขั้นตอนและวิธีการทดลอง
 - 3) ทำการทดลองตามขั้นตอนที่ได้กำหนดไว้

- 4) วิเคราะห์และสรุปผลที่ได้จากการทดลอง
5. ระยะเวลาปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)
 - 1) นำปัจจัยที่มีนัยสำคัญสูงสุดที่ส่งผลให้เกิดรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มบนงานบันทึกข้อมูล มาทำการทดลองและเก็บข้อมูลเพิ่มเติม เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด
 - 2) วิเคราะห์และสรุปผลที่ได้จากการทดลอง
 - 3) นำค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการทดลองไปใช้งานในกระบวนการจริง เพื่อปรับปรุงการผลิตและลดรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มที่เกิดขึ้นบนงานบันทึกข้อมูลที่เกิดขึ้น
6. ระยะเวลาติดตามควบคุม (Control Phase)
 - 1) ทดสอบและเก็บผลหลังการปรับปรุง พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุง
 - 2) จัดทำแผนควบคุม (Control Plan)
7. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีความจำเป็นต้องพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์อยู่เสมอ เพื่อให้พัฒนาไปพร้อมกับเทคโนโลยีที่เติบโตขึ้นเรื่อยๆ และตรงตามความต้องการของลูกค้า ทั้งทางด้านราคา ความจุ และการออกแบบ ในการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพนี้ ก็มีวิธีการหลายอย่าง อาทิเช่น การปรับปรุงกระบวนการ การเพิ่มประสิทธิภาพ การลดเวลาสูญเสีย และการลดของเสียในกระบวนการ เป็นต้น

การลดของเสียเป็นแนวทางหนึ่งที่มีผู้สนใจและทำการวิจัยกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีส่วนในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีราคาสูง จึงทำให้ต้นทุนในการผลิตเมื่อมีของเสียเกิดขึ้นสูง ในการลดของเสียในหลายอุตสาหกรรมนั้นเครื่องมือที่นิยมนำมาใช้ก็คือ แนวคิดซิกซ์ ซิกมา ดังจะเห็นได้ในงานวิจัยเรื่อง การลดของเสียในการผลิต Fused Biconic Taper Coupler กรณีศึกษา Fabrinet Co., Ltd. [สารัช ลมของ, 2550] ที่ได้นำหลักการของ DMAIC มาใช้ในการทำการวิจัยเพื่อลดต้นทุนของเสียและปรับปรุงกระบวนการผลิต ซึ่งพบว่าเกิดของเสียสูงขึ้นที่กระบวนการผลิตในขั้นตอนการดึง Fiber ทำให้เกิดปัญหาการ Scrap per Unit สูงอย่างต่อเนื่อง และพบว่าในปี 2549 มีปริมาณสูงขึ้นถึง 36% จากปัญหาดังกล่าวจึงได้ใช้การระดมสมองเพื่อนำไปออกแบบเครื่องต้นแบบใหม่ และผลที่ได้จากการใช้เครื่องต้นแบบใหม่คือ ช่วยลดของเสียต่อหน่วยลง 20% และเพิ่มคุณค่าของสายการผลิตมากขึ้น และยังมี การนำซิกซ์ ซิกมา มาช่วยลดของเสียในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เช่น งานวิจัยเรื่อง ศึกษาวิธีการลดของเสียในกระบวนการถอดชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยขั้นตอน DMAIC กรณีศึกษาบริษัท ฮิตาชิ โกลบอล สตอเรจ เทคโนโลยี (ประเทศไทย) [จิรัชศักดิ์ ฐานหมั่น, 2553] ได้นำหลักการ DMAIC มาช่วยในการลด HSA defect ที่เกิดจากเครื่องมือสำหรับถอด HSA จากกระบวนการถอดชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (HSA Remove Tool) โดยการปรับปรุงเครื่องใหม่ แล้วนำไปทดลองเพื่อเปรียบเทียบปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นก่อนและหลังปรับปรุง นอกจากนี้ยังมีการฝึกอบรมการใช้เครื่อง จัดทำเอกสารตรวจสอบการใช้เครื่อง และมีตรวจสอบสภาพความพร้อมของเครื่องอยู่เสมอ จากการปรับปรุงนี้สามารถลดของเสียลงจาก 10.85% เหลือเพียง 6.95% และลดค่าใช้จ่ายในการผลิตลงจากเดือนละ 207,060 บาท เหลือเดือนละ 132,630 บาท

ในหลายๆงานวิจัยมีการนำซิกซ์ ซิกมา มาใช้กับตัวแปรตอบสนองประเภทแปรผัน (Variable) มากกว่าประเภทลักษณะ (Attribute) แต่ก็ยังมีหลายงานวิจัยที่ได้นำซิกซ์ ซิกมา มาใช้กับตัวแปรประเภทลักษณะเช่น งานวิจัยเรื่อง การลดของเสียจากการส่งมอบฐานรองรับมอเตอร์โดยใช้

แนวซิกซ์ ซิกมา [ชัยพัทธ์ พัทธกุล และดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย, 2552] เป็นการลดข้อบกพร่องประเภท Open Circuit และ Hi Pot ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการประกอบฐานรองรับมอเตอร์ซึ่งเป็นตัวขับเคลื่อนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งแบ่งสาเหตุการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. การวิเคราะห์ข้อมูลประเภทแปรผันเพื่อลดข้อบกพร่องที่เกิดจาก Open Circuit ซึ่งพบปัจจัยที่เป็นสาเหตุของปัญหาทั้งหมด 7 ปัจจัยคือ ปัจจัยเรื่องขอบของรูของ Connector ที่ใส่เส้น wire มีความคมเนื่องจากไม่มี Chamfer ปัจจัยเรื่องดิ่งเส้น wire แบบขนาน (Horizontal) ไปด้วยหน้าเพื่อการบัดกรี โดยไปครูดกับรูของ Connector และปัจจัยเรื่องดิ่งเส้น wire เพื่อการบัดกรีโดยใช้แรงมากเกินไป แก้ไขโดยการออกแบบการทำงานใหม่ ปัจจัยเรื่องพนักงานไม่มีทักษะในกระบวนการจัดเส้น wire และปัจจัยเรื่องพนักงานไม่มีทักษะในการบัดกรีที่ดีพอ แก้ไขโดยฝึกอบรมพนักงานให้มีทักษะในการทำงาน ปัจจัยเรื่องเวลาในการชุบตะกั่วของ Stator Dipping นานเกินไป แก้ไขโดยให้มีการชุบตะกั่วเพียงครั้งเดียวเท่านั้น ส่วนปัจจัยเรื่องเส้น wire เกิดแรงเค้นเนื่องจากในกระบวนการจะมีการพับเส้น wire ไปมา 2 ครั้งก่อนการบัดกรี และปัจจัยเรื่องความถี่ Ultra Sonic ของเครื่องล้างฐานรองรับมอเตอร์แรงเกินไปนำไปออกแบบการทดลองแบบ 2^3 Full Factorial Design เพื่อหาระดับที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดของเสียที่น้อยที่สุดจากตัวแบบทดลอง

2. การวิเคราะห์ข้อมูลประเภทลักษณะเพื่อลดข้อบกพร่องที่เกิดจาก Hi Pot ซึ่งพบปัจจัยที่เป็นสาเหตุของปัญหาทั้งหมด 8 ปัจจัยคือ ทุกปัจจัยแก้ไขโดยให้มีการฝึกอบรมพนักงาน มีเพียงปัจจัยเรื่อง Fixture ของเครื่อง Press Fit ไม่ได้ Center ทำให้ไปกดทับเส้น Wire ในกระบวนการ Stator Press Fit ที่นำไปทำการออกแบบการทดลองแบบ 2^3 Full Factorial Design เพื่อหาระดับที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดของเสียที่น้อยที่สุดจากตัวแบบทดลอง (Proportion)

จากผลการทดลองพบว่าสามารถลดของเสียจาก 1157 DPPM เป็น 235 DPPM (78%) คิดเป็นเงิน 12,946 บาทต่อเดือนต่อยอดการผลิต 1 ล้านชิ้น

งานวิจัยที่มีการแปลงข้อมูลประเภทลักษณะมาเป็นข้อมูลประเภทแปรผันก่อนที่จะทำการออกแบบการทดลอง เช่น งานวิจัยเรื่อง การลดแม่แบบแก้วเสียในกระบวนการผลิตเลนส์พลาสติก โดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา [ธีรพร เสนพรหม, 2550] งานวิจัยนี้เป็นการนำแนวคิดซิกซ์ ซิกมา มาใช้เพื่อลดของเสียจากข้อกำหนดประเภทรอยขีดข่วนของแม่แบบแก้ว เนื่องจากรอยขีดข่วนเป็นข้อมูลประเภทลักษณะ ดังนั้นจึงมีการนำข้อมูลลักษณะมาแปลงให้เป็นข้อมูลแปรผัน โดยใช้วิธีของ Freeman และ Tukey แล้วจึงทำการหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญด้วยวิธีการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล แบบที่มีจุดกึ่งกลาง และงานวิจัยเรื่อง การปรับปรุงค่าพารามิเตอร์สำหรับกระบวนการฉีดพลาสติกกรณีที่มีข้อบกพร่องหลายชนิด [วารกรณ์ ขำสนิท, 2551] งานวิจัยนี้เป็นการลดต้นทุนของเสียรวมที่เกิดจากข้อบกพร่องชนิดครีบกและข้อบกพร่องชนิดฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์

เนื่องจากข้อบกพร่องดังกล่าวเป็นข้อมูลลักษณะจึงมีการนำวิธีของFreeman และ Tukey มีใช้เพื่อแปลงข้อมูลลักษณะเป็นข้อมูลแปรผัน แล้วจึงนำข้อมูลแปรผันที่ได้มาทำการทดลองแบบ 25 Full Factorial Design เพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญที่ทำให้เกิดของเสียทั้ง 2 ประเภทนี้ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่มีอธิบายถึงการนำผลที่ได้จากการออกแบบการทดลองที่เป็นข้อมูลแบบลักษณะมาทำการวิเคราะห์ผล ซึ่งพบว่าข้อมูลแบบลักษณะนี้จะให้ผลการกระจายตัวของข้อมูลไม่เป็นแบบปกติ (Normal) เนื่องจากของเสียที่เกิดขึ้นมีพฤติกรรมแบบตัวแปรสุ่มแบบ Poisson เราจึงใช้แบบจำลองเส้นตรงแบบทั่วไป (Generalized Linear Model, GLM) ใช้แทนจำนวนของเสีย โดยที่ GLM นี้คือรูปทั่วไปของแบบจำลอง regression ทั้งแบบเส้นตรงและไม่เป็นเส้นตรงซึ่งยอมให้ผู้ทดลองสามารถจัดการกับผลตอบสนองที่กระจายตัวแบบไม่ปกติได้ ดังในงานวิจัยเรื่อง Optimization of a bonded leads process using statistically designed experiments [Heredia-Langner, A., E. N. Loreda, et al., 2000]

นอกจากนี้ยังมีการนำทฤษฎีต่างๆเข้ามาประยุกต์ใช้ร่วมกับแนวทางซิกซ์ ซิกมา ตัวอย่างเช่น การนำ 7 QC Tools มาใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา ดังในงานวิจัยเรื่อง การลดของเสียในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ กรณีศึกษา บริษัท พูจิตส์ (ประเทศไทย) จำกัด [เสกสรร นกใหญ่, 2551] ได้นำตารางตรวจสอบ พारेโต แผนผังสาเหตุและผล และแผนภูมิ ก้างปลาใช้ในการศึกษาแนวทางในการลดของเสียหรือข้อบกพร่องในการผลิต พบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียเยอะที่สุดคือ การเกิดขึ้นส่วนที่เป็นฝาปิดชำรุด และเมื่อทำการหาสาเหตุจากเครื่องมือ 7QC Tools พบว่ามี 4 สาเหตุ ดังนี้ สาเหตุจากเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต สาเหตุมาจากวัตถุดิบ เนื่องจากวัตถุดิบไม่ได้ตามแบบที่กำหนด สาเหตุมาจากวิธีการทำงาน และสาเหตุมาจากพนักงาน จากสาเหตุทั้งหมดจึงทำการปรับปรุงแก้ไขโดยมีการออกแบบตำแหน่งฝาปิดที่ถูกต้อง และมีการจัดทำคู่มือการทำงาน การจัดเตรียมอุปกรณ์และการใส่ฝาปิดที่ถูกต้อง จากการปรับปรุงนี้ทำให้ของเสียลดลง 26.51% และค่าใช้จ่ายลดลง 2,850,091 บาท และยังมีการนำ Why-Why Analysis มาใช้ร่วมด้วย ดังในงานวิจัยเรื่อง การลดฝาครอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์บกพร่องจากการถอดประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ [ศราวุธ เคนกุล และกิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2551] งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนของฝาครอบที่บกพร่องจากกระบวนการถอดฝาครอบในกระบวนการถอดฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Tear down Process) จากการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาด้วย Why-Why Analysis พบว่าไขควงกับสกรูไม่ตั้งฉากกัน ทำให้เกลียวสกรูและปากสกรูไปสัมผัสขอบรอบรูสกรู จากสาเหตุนี้จึงได้ปรับปรุงกระบวนการใหม่ โดยการปรับแต่งไขควงให้สัมผัสร่องสกรู ได้พอดีและตั้งฉากกับสกรู

ในการลดของเสียนอกจากเครื่องมือดังที่กล่าวไปข้างต้นแล้ว ยังมีเครื่องมืออีกชนิดหนึ่งที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในหลายๆอุตสาหกรรม ซึ่งก็คือ การออกแบบการทดลอง อาทิเช่น

งานวิจัยเรื่อง การลดของเสียในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์โดยเทคนิคซิกซ์ ซิกมา [วิศิษฐ์ศรี วิษะรัตน์, อนุชา วัฒนาภา และสิทธิชัย แก้วเกื้อกูล, 2551] ใช้การออกแบบการทดลองด้วย 2^3 การทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของการวางตำแหน่งของหัวอ่านในขั้นตอนของการวาง Slider กับ Suspension โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดปัญหามี 3 ปัจจัย คือ ความเข้มของแสง UV เวลาการเปิดวาล์วของหลอดกาว และความดันของกาวภายในหลอดที่มีผลต่อหัวอ่าน จากการทดลองพบว่า ค่าที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองของทั้ง 3 ปัจจัยคือ ความเข้มของแสง UV 88 mw/cm^2 เวลาการเปิดวาล์วของหลอดกาว 0.02 S และ ความดัน 2.7 psi ของกาวภายในหลอดเป็นค่าที่มีผลต่อหัวอ่าน จากค่านี้ช่วยลดของเสียลง 79.58% และยังมีงานวิจัยเรื่อง การออกแบบการทดลองเพื่อลดจำนวนสิ่งสกปรก/ฝุ่นละอองจากส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ [พรพรรณภา นุชจ้อย, 2553] มีวัตถุประสงค์งานวิจัยคือ ปรับปรุงเครื่องล้างจำนวนสิ่งสกปรก/ฝุ่นละอองจากส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ในส่วนการเขียน-อ่าน (HGA) โดยทำการศึกษาจำนวนสะสมของฝุ่นที่ขนาด 0.03 ไมครอน พบว่า มี 3 ปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนสะสมของฝุ่น คือ Ultrasonic Power ของ Transducer ที่ด้านล่างของ Wash Tank, Ultrasonic Power ของ Transducer ที่ด้านข้างของ Wash Tank และตำแหน่งชิ้นงานในตะกร้าล้างงาน และการจากนำ 3 ปัจจัยนี้มาทำการทดลองแบบ 2^{k-1} มีทั้งหมด 24 การทดลอง พบว่าเมื่อนำค่าที่เหมาะสมจากทั้ง 3 ปัจจัยมาใช้ในการปรับปรุง ของเสียลดลง 20%

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยเรื่อง การลดของเสียในกระบวนการเขียนสัญญาณบนฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ โดยใช้แนวคิดลีน ซิกซ์ ซิกมา [กันตา สุวรรณฤทธิ และ ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย, 2554] เป็นการลดของเสียที่เกิดในกระบวนการเขียนสัญญาณโดยเน้นของเสียประเภท Drives Exceeded Time Limit งานวิจัยนี้ได้มีการนำเครื่องมือต่างๆมาใช้ เช่น ใช้แนวคิดลีน ซิกซ์ ซิกมา ช่วยในการหาสาเหตุหลักและกิจกรรมที่ไม่เกิดประโยชน์ แต่ส่งผลต่อของเสียในกระบวนการผลิต ใช้การออกแบบการทดลอง, ระบบคัมบัง และแนวคิด ECRs เพื่อช่วยลดกิจกรรมที่ส่งผลให้ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์อยู่ในกระบวนการนานเกินไปจนเกิดของเสียได้ และการนำ FMEA ช่วยในการหาปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อกระบวนการ จากการหาสาเหตุจึงสามารถลดของเสียโดยการปรับปรุงการจัดเครื่องจักรและอุปกรณ์สำหรับการผลิตชิ้นงานแต่ละกลุ่มไว้เป็นหน่วยผลิตย่อยเดียวกัน

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ พบว่าแนวคิดที่มีการนำมาใช้ในการลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไครฟ์อย่างแพร่หลายคือ แนวคิดซิกซ์ ซิกมา เนื่องจากเป็นแนวคิดที่เน้นการกำจัดข้อบกพร่อง และลดความสูญเสีย ซึ่งเป็นแนวคิดที่ง่ายและเป็นการปรับปรุงกระบวนการอย่างต่อเนื่อง พร้อมทั้งยังมีการนำการออกแบบการทดลองมาใช้เป็นเครื่องมือร่วมด้วย เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดของเสีย เพราะบางครั้งใน

การกำหนดค่าที่นำไปใช้งานของปัจจัยต่างๆ อาจจะไม่ได้อาจเกิดจากการทดลองที่ดี จึงส่งผลให้เกิดของเสียมาก

งานวิจัยนี้ทำการลดของเสียประเภทรอยขีดข่วนที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่ม เมื่อทำการศึกษางานวิจัยอื่นๆ ไม่พบงานวิจัยใดที่ทำการลดของเสียประเภทนี้บนงานบันทึกข้อมูลหรือบนอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และอุตสาหกรรมอื่นๆ ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาแนวทางการลดของเสียประเภทอื่นๆบนงานบันทึกข้อมูลและในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ พบว่ามีหลายงานวิจัยที่ทำการศึกษาเรื่องดังกล่าวนี้ ดังเช่นในงานวิจัยเรื่อง Characterization and reduction of a new particle defect mode in sub-0.25 μm semiconductor process flows [Pipes, L., M. Taylor, et al., 2005] งานวิจัยนี้เป็นการลดอนุภาคชนิดใหม่ที่เกิดขึ้นในกระบวนการไหลของเคมีคอนดักเตอร์ซึ่งข้อบกพร่องนี้ทำให้ผลผลิต (Yield) ลดลง สาเหตุของข้อบกพร่องชนิดนี้เกิดจากเครื่องมือภายในกระบวนการหรือเกิดขึ้นตั้งแต่ตอนที่ซีอีเวเฟอร์เข้ามา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีการทำ High scan Velocities เพื่อเป็นการช่วยลดความน่าจะเป็นที่จะเกิดข้อบกพร่องชนิดนี้และช่วยลดพลังงานในการชนปะทะของอนุภาคด้วย พร้อมทั้งการลดระดับของอนุภาคและการชีวิตเวเฟอร์ยังช่วยลดผลผลิตที่สูญหายไปได้ด้วย และงานวิจัยที่ทำการลดของเสียบนแผ่นดิสก์สำหรับบันทึกข้อมูลทางแม่เหล็กเรื่อง Failure analysis of ultrasonic pitting and carbon voids on magnetic recording disks [Zhong, Z. W. and S. H. Gee, 2004] งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ความล้มเหลวของข้อบกพร่องแบบ Ultrasonic pits และ Carbon void ของสัญญาณการบันทึกแม่เหล็กที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นของช่องว่างระหว่างหัวบันทึกและพื้นผิวฮาร์ดดิสก์ และจากการทดลองพบว่า การปรับปรุงคุณภาพของงานบันทึกข้อมูลทำได้โดยการลดแรงดันไบอัสของสารตั้งต้น วิธีนี้จะช่วยลดข้อบกพร่องแบบ Carbon Void และการลด Ultrasonic Power จะช่วยลดข้อบกพร่องแบบ Ultrasonic pits ลงได้ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยเรื่อง Defect Reduction of Patterned Media Templates and Disks [Luo, K., S. Ha, et al., 2010] ที่มีการนำเทคนิคที่ชื่อว่า Imprint Lithography เข้ามาช่วยในการลดจำนวนข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นที่งานบันทึกข้อมูล ซึ่งวิธีนี้จะมีการประทับ วาด หรือเจาะลงไปบนพื้นผิวของงานบันทึกข้อมูล โดยงานวิจัยนี้จะสรุปผลของการตรวจสอบข้อบกพร่องของรูปแบบของฮาร์ดดิสก์ที่ทำโดย J-Fil (Jet and Flash Imprint Lithography) โดยตรวจสอบผ่านสายตาโดยเครื่องมือตรวจสอบแบบอัตโนมัติที่เรียกว่า เครื่องแคนเดล่ารุ่น CS20 และ 6120 จาก KLA-Tencor ได้ตรวจจับคุณลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวของงานบันทึกข้อมูล แล้วสร้างรูปภาพที่มีความละเอียดสูงจากการสะท้อนบนพื้นผิวและแสงที่เกิดการกระจาย ข้อบกพร่องที่ถูกยืนยันด้วยวิธีการนี้จะถูกนำไปวิเคราะห์ในด้านรูปร่างและโครงสร้างของข้อบกพร่องต่อกระบวนการประทับรอย (Imprint) นี้ถูกทดสอบ

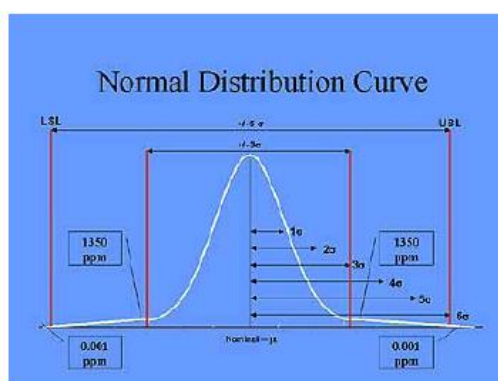
หลังจากที่ปรับกระบวนการทำความสะอาดและกระบวนการยัดเกาะชั้นของงานบันทึกข้อมูลให้สมดุลแล้วนั่นเอง

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 แนวคิดชิกซ์ ชิกมา

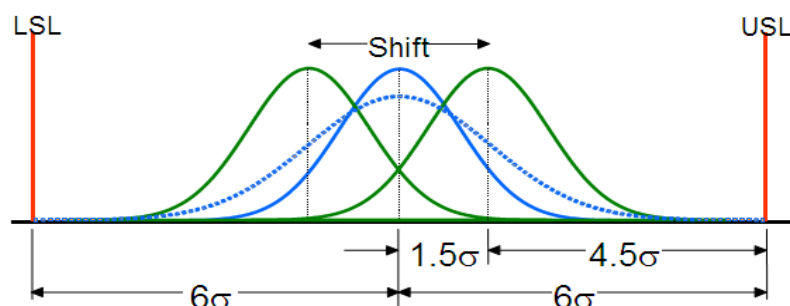
ชิกซ์ ชิกมาได้ถือกำเนิดขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ.1986 โดยบิล สมิทซ์ (Bill Smith) พนักงานของบริษัทโมโตโรล่า (Motorola) มีการนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาการเพิ่มขึ้นของการแครงประกัน (Claim) ในการนำชิกซ์ ชิกมาใช้นั้นส่งผลให้บริษัทโมโตโรล่าได้รับรางวัลคุณภาพแห่งชาติมัลคอล์ม บอลดริจ (Malcolm Baldrige National Quality Award) ในปี พ.ศ.2531 ต่อมาบริษัทเจนเนอรัลอิเล็กทริก (General Electric) ได้เริ่มนำชิกซ์ ชิกมาในองค์กรสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ประมาณ 1,500 ล้านดอลลาร์สหรัฐ และยังมีบริษัท การบินไทย จำกัด ได้นำชิกซ์ ชิกมามาใช้เพื่อปรับปรุงการทำงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และช่วยลดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นและกระบวนการผลิตที่ไม่ให้ผลตอบแทน นอกจากนี้ยังมีการนำชิกซ์ ชิกมาไปใช้กับบริษัทต่างๆเช่น AlliedSignal และSony

กาญจพงษ์ เพิ่มพิมล (2552) ได้กล่าวไว้ว่า ชิกซ์ ชิกมา คือ กระบวนการเพื่อลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการต่างๆโดยมุ่งเน้นให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุดและมีความสูญเสียได้ไม่เกิน 3.4 หน่วยในล้านหน่วย หรือ ลดโอกาสความสูญเสียลงให้เหลือเพียง 3.4 หน่วย (Defect Million Opportunities, DPPO) สัญลักษณ์ที่นิยมใช้กันในทางสถิติคือ σ ความหมายของชิกซ์ ชิกมา ทางสถิติ หมายถึง ขอบเขตข้อกำหนด (Specification Limit) และการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ขอบเขตข้อกำหนดบนมีค่าเป็น 6 หมายถึง ที่ระดับชิกมามีของเสียเพียง 0.022 ชิ้น จากจำนวนของเสียทั้งหมด 1 ล้านชิ้น ชิกซ์ ชิกมานั้น ยิ่งค่าชิกมายิ่งสูง ทำให้พื้นที่ที่อยู่นอกเหนือพื้นที่ในการยอมรับน้อยลง นั่นคือ มีของเสียที่อยู่นอกเหนือขอบเขตที่ยอมรับได้น้อยลง ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 เส้นโค้งกระจายตัวตามปกติ

โดยที่ในระดับ 6 ซิกมา นั้นจะยอมรับให้เกิดของเสียได้ที่ปริมาณ 3.4 ชิ้น ในการผลิต 1 ล้านชิ้น หรือที่เรียกว่า 3.4 ppm (Parts per Million) เหตุผลที่ซิกซ์ ซิกมามีการยอมรับของเสียที่ 3.4 ppm เพราะในขณะที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ความแปรปรวนในองค์กร พบว่าไม่มีระบบการผลิตใดเลยที่จะไม่ถูกรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอก นั่นคือเราไม่สามารถควบคุมปัจจัยภายนอกเพื่อไม่ให้ส่งผลถึงความเบี่ยงเบนของข้อมูลได้ ซึ่งระบบที่ไม่มี ความแปรปรวนจึงเป็นเพียงระบบในอุดมคติ ดังนั้นองค์กรจึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลใหม่ในกระบวนการผลิต เพื่อหาความแปรปรวนที่เกิดจากปัจจัยภายนอกอันส่งผลถึงความคลาดเคลื่อนของค่ากึ่งกลาง ซึ่งได้ข้อสรุปจากการวิเคราะห์คือ ค่าเบี่ยงเบนของข้อมูลอันเนื่องมาจากปัจจัยภายนอกมีค่าอยู่ในช่วง 1.4 – 1.6 เท่าของซิกมา จึงนำค่าเฉลี่ยคือ 1.5 เท่าของซิกมา เป็นค่าเบี่ยงเบนของค่ากึ่งกลางข้อมูลที่ยอมรับได้นำมาใช้ในทฤษฎีซิกซ์ ซิกมา ซึ่งค่า 3.4 ppm จึงเป็นค่าผิดพลาดที่ 4.5 เท่าของซิกมาตามหลักสถิติ (กาญจพงษ์ เพิ่มพิมล, 2554 : ออนไลน์) ดังแสดงในรูปที่ 2.2



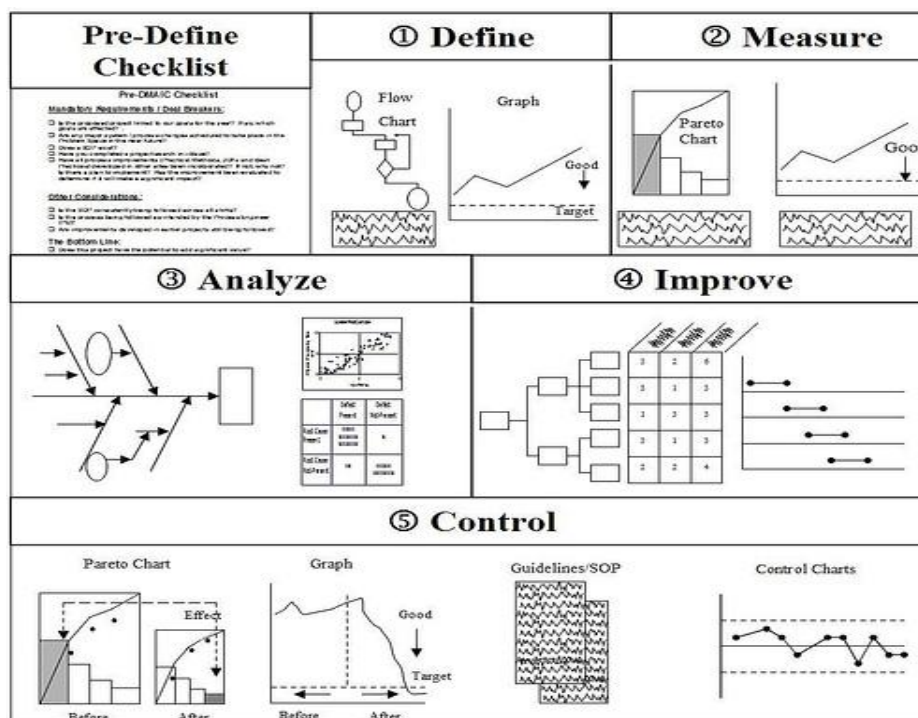
รูปที่ 2.2 ขอบล่างและขอบบนของซิกซ์ ซิกมา

ประโยชน์ของซิกซ์ ซิกมา สามารถแบ่งได้เป็น 3 มุมมองดังนี้

- มุมมองด้านลูกค้า คือลูกค้าได้รับสินค้าและบริการที่มีคุณภาพ เป็นที่พึงพอใจ และราคาผลิตภัณฑ์ต่ำ
- มุมมองด้านพนักงาน คือพนักงานมีการทำงานเป็นทีมมากขึ้น การปฏิบัติงานมีระบบและขอบเขตที่ชัดเจน และได้รับผลตอบแทนมากขึ้น
- มุมมองด้านองค์กร คือสามารถพัฒนาการบริหารงานองค์กรอย่างมีระบบและประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้สินค้าและบริการเป็นที่น่าเชื่อถือ ประหยัดต้นทุนในการดำเนินงานเนื่องจากมีของเสียหรือข้อบกพร่องเข้าใกล้ศูนย์และยังเกิดการพัฒนาสินค้าอย่างต่อเนื่องด้วย

วิธีซิกซ์ ซิกมา ขึ้นอยู่กับการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อหาทางที่ง่ายในการปรับปรุงกระบวนการทุกขั้นตอนเพื่อที่จะได้ผลผลิตที่มีคุณภาพสูง จุดมุ่งหมายในการปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีซิกซ์ ซิกมา คือ ความพยายามที่จะลดความคลาดเคลื่อนและการเปลี่ยนแปลงแบบหลากหลาย ใน

กระบวนการ (กันยรัตน์ คมวัชระ, 2547) โดยขั้นตอนของซิกซ์ ซิกมาจะประกอบไปด้วย DMAIC 5 ขั้นตอน ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการดำเนินงานของซิกซ์ ซิกมา (Pete Abilla, 2010 : [ออนไลน์])

1) ระยะนิยามปัญหา

คือ ระยะการกำหนดปัญหาและเป้าหมายของกระบวนการผลิตและบริการว่าส่วนไหนมีความจำเป็นต้องปรับปรุงและแก้ไข โดยมีการระบุถึงรายละเอียดของปัญหา หากจุดบกพร่องของกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์ พร้อมทั้งยังเป็นระยะที่มีการกำหนดขอบเขตและระยะเวลาในการดำเนินโครงการด้วย

2) ระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา

คือ ระยะการวัดค่าโดยการเก็บรวบรวมข้อมูลของปัญหาที่สนใจ แล้วนำมาประเมินและวัดผลกระบวนการที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน เพื่อให้เข้าใจสภาพระบบและกระบวนการทำให้สามารถแก้ไขสาเหตุของปัญหาได้ถูกต้อง ในการวิเคราะห์กระบวนการใช้ตัวชี้วัดต่างๆ เช่น ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด ความสามารถของกระบวนการ เป็นต้น พร้อมทั้งมีการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดผลกระทบรุนแรงที่สุดเพื่อนำมาแก้ไขปรับปรุงต่อไป

- ความแม่นยำและความเที่ยงของระบบการวัด (Measurement System Analysis หรือ MSA) (นภัสดวงศ์ โรจนโรวรรณ, 2554 : 48-50)

ระบบการวัดที่ต้องมีทั้งความถูกต้อง (Accuracy) และแม่นยำ (Precision) ความถูกต้องจะพิจารณาในเรื่องของการที่ค่าที่วัดได้เข้าใกล้ค่าจริง ส่วนความแม่นยำนั้นจะพิจารณาในเรื่องที่ค่าที่วัดได้หลายๆครั้งมีค่าใกล้เคียงกัน ในเรื่องความถูกต้องจะพิจารณาใน 3 เรื่อง คือ คุณสมบัติด้านไบอัสของระบบการวัด คุณสมบัติด้านเสถียรภาพของระบบการวัด และคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัด ส่วนเรื่องความแม่นยำจะวิเคราะห์ความแปรผันด้านรีพีทะบิลิตี้และรีโพรดูซิบิลิตี้

AIAG (2002) ได้นิยามความหมายของค่าต่างๆที่เกี่ยวกับระบบการวัดไว้ดังนี้

- ไบอัส (Bias) แสดงถึง ความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้บนคุณลักษณะและชิ้นงานเดียวกัน

- ความเสถียร (Stability) แสดงถึง การเปลี่ยนแปลงของค่าไบอัสเมื่อเวลาเปลี่ยนไป

- ความแปรผันเชิงเส้นตรง (Linearity) แสดงถึง การเปลี่ยนแปลงของค่าไบอัสเมื่อเปลี่ยนแปลงย่านวัด

- รีพีทะบิลิตี้ (Repeatability) แสดงถึง ความผันแปรของค่าวัดที่ทำการวัดโดยพนักงานวัดเดียวกัน เครื่องมือวัดเดียวกัน ในการวัดชิ้นงานเดียวกันซ้ำๆ โดยทั่วไปมักจะแสดงความผันแปรของเครื่องมือวัด

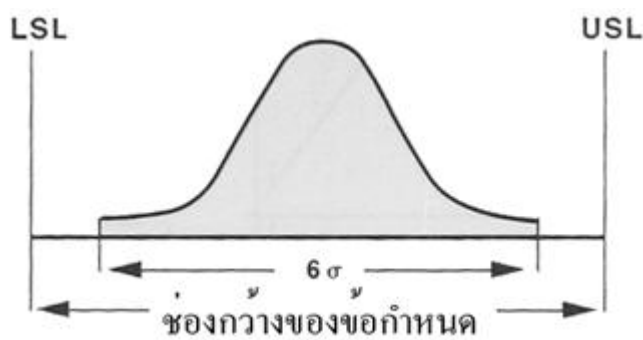
- รีโพรดูซิบิลิตี้ (Reproducibility) หมายถึง ความผันแปรที่แสดงถึงค่าเฉลี่ยของค่าวัดจากการใช้เครื่องมือวัดเดียวกัน ในการวัดชิ้นงานเดียวกันด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน ซึ่งโดยทั่วไปมักแสดงถึงความแตกต่างระหว่างพนักงานวัด

ความคลาดเคลื่อนของการวัดนั้นมีสาเหตุหลายอย่าง เราสามารถแบ่งเป็นเป็น 2 สาเหตุใหญ่ๆได้ ได้แก่ สาเหตุที่มีผลต่อเรื่องความถูกต้องของการวัด เช่น เครื่องมือวัดถูกออกแบบอย่างไม่ถูกต้อง เครื่องมือวัดถูกสอบเทียบอย่างไม่ถูกต้อง เครื่องมือวัดบิดเบี้ยวหรือผิดรูป เครื่องมือวัดสึกหรอ อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานสึกหรอ การวางตำแหน่งจับยึดชิ้นงานไม่ถูกต้อง วิธีการวัดไม่ถูกต้อง และการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น เป็นต้น และสาเหตุที่มีผลต่อเรื่องความแม่นยำของการวัด เช่น ความไม่สม่ำเสมอของชิ้นงาน เช่น ชิ้นงานไม่เรียบ สกปรก ความผันแปรของเครื่องมือวัด เช่น การที่เครื่องมือวัดมีความเสียดทานภายในสูง การจับยึดชิ้นงานไม่มั่นคง การที่พนักงานแต่ละคนมีวิธีวัดที่แตกต่างกัน

- ความสามารถของกระบวนการ

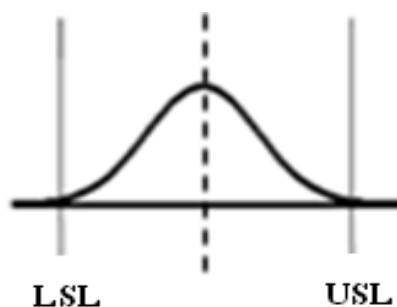
ความสามารถของกระบวนการ คือ ดัชนีบ่งชี้ว่ากระบวนการผลิตมีความสามารถผลิตของดี (ของที่วัดค่าได้อยู่ระหว่าง USL และ LSL) ได้สม่ำเสมอเพียงไร และผลิตของส่วนใหญ่ได้ตรงตามค่าที่ออกแบบหรือไม่ (Nominal) โดยมีตัวชี้วัดคือ C_p และ C_{pk}

รูปที่ 2.4 เป็นกระบวนการปกติ ค่าที่วัดได้จะตกอยู่ในช่วงขีดจำกัดล่างของสเปค (Lower Specification Limit – LSL) และขีดจำกัดบนของสเปค (Upper Specification Limit – USL)



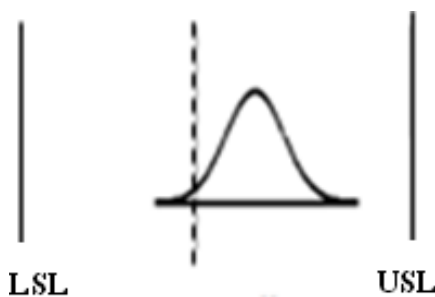
รูปที่ 2.4 กระบวนการปกติ

รูปที่ 2.5 เป็นกระบวนการที่ไม่มีความสามารถ แต่อยู่ในความควบคุม เห็นได้ว่ากระบวนการเดินออกนอกสเปค แต่เรียบสม่ำเสมอ



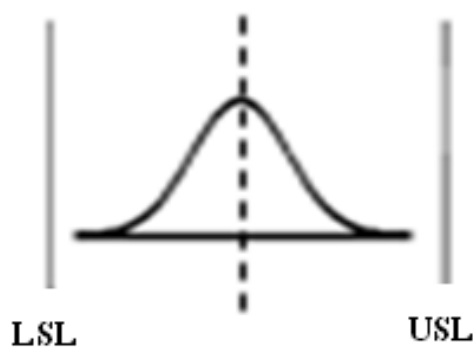
รูปที่ 2.5 กระบวนการที่ไม่มีความสามารถ แต่อยู่ในความควบคุม

รูปที่ 2.6 เป็นกระบวนการที่มีความสามารถ แต่ไม่อยู่ในความควบคุม เห็นได้ว่ากระบวนการเดินอยู่ในสเปค



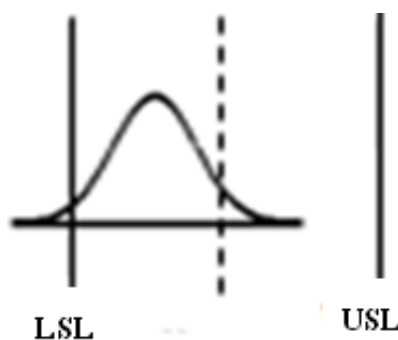
รูปที่ 2.6 กระบวนการที่มีความสามารถ แต่ไม่อยู่ในความควบคุม

รูปที่ 2.7 เป็นกระบวนการที่มีความสามารถ และอยู่ในความควบคุม เห็นได้ว่า กระบวนการเดินอยู่ในสเปค



รูปที่ 2.7 กระบวนการที่มีความสามารถและอยู่ในความควบคุม

รูปที่ 2.8 เป็นกระบวนการที่ไม่มีความสามารถ และไม่อยู่ในความควบคุม เห็นได้ว่า กระบวนการเดินออกนอกสเปคบ้าง ในสเปคบ้าง ดังนั้น กระบวนการแบบนี้จึงความผันแปรสูง



รูปที่ 2.8 กระบวนการที่ไม่มีความสามารถและไม่อยู่ในความควบคุม

ในการวัดความสามารถของกระบวนการนิยมใช้ดัชนีชี้วัดที่เรียกว่า ดัชนีความสามารถ (Capability Index) ที่ใช้กันมากมี 3 ค่าคือ

1. อัตราส่วนความสามารถ (Cr)

มีสูตรเป็น

$$Cr = \frac{6\sigma}{usl - lsl}$$

ค่า Cr ควรมามีค่ามากกว่า 0.75 จึงจะถือว่ากระบวนการมีความสามารถ

2. ความสามารถของกระบวนการ (Cp)

มีสูตรเป็น

$$Cp = \frac{usl - lsl}{6\sigma}$$

(Cp เป็นส่วนกลับของ Cr)

ค่า Cp ควรมีค่ามากกว่า 1.33 จึงจะถือว่ากระบวนการมีความสามารถ

ค่า Cp เท่ากับ 1.0 - 1.33 กระบวนการมีความสามารถ แต่ต้องเฝ้าระวังเพราะมีค่าใกล้ 1.0

ค่า Cp น้อยกว่า 1.0 กระบวนการไม่มีความสามารถ

การใช้ Cr และ Cp มีข้อเสียที่หากค่าเฉลี่ยไม่ได้อยู่ที่กึ่งกลาง (ค่าเฉลี่ยไม่ได้เป็นจุดเดียวกับจุดกึ่งกลางระหว่างค่าสูงสุดกับค่าต่ำสุด) แล้วอาจเกิดเหตุการณ์ดังรูปที่ 2.6 คือ กระบวนการมีความสามารถแต่ไม่อยู่ในการควบคุม ดังนั้นจึงนำค่าเฉลี่ยของกระบวนการคือ \bar{X} มาใช้ในการคำนวณความสามารถของกระบวนการด้วย ดังต่อไปนี้

3. ความสามารถที่สัมพันธ์กับค่าเฉลี่ย (Cpk)

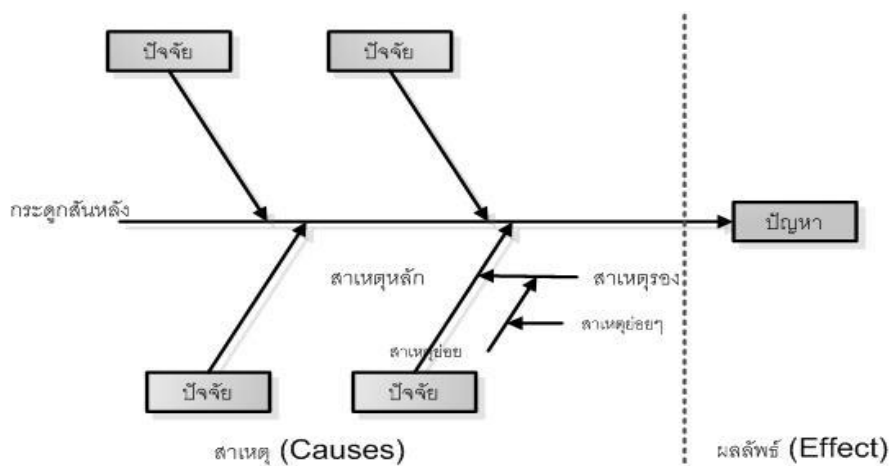
มีสูตรเป็น

$$Cpk = \frac{usl - \bar{X}}{3\sigma} \quad \text{หรือ} \quad Cpk = \frac{\bar{x} - lsl}{3\sigma}$$

การเลือกค่า Cpk จะเลือกค่าน้อยที่สุดจากค่าที่คำนวณได้จากทั้งสองสมการ

- แผนผังแสดงเหตุและผล

แผนผังแสดงเหตุและผล หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า แผนภูมิก้างปลา เป็นแผนผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหา กับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่อาจก่อให้เกิดปัญหานั้น โดยปกติแล้วจะใช้แผนภูมิก้างปลาเมื่อต้องการหาสาเหตุของปัญหา ต้องการศึกษาระบวนการต่างๆขององค์กร หรือต้องการใช้เป็นแนวทางในการระดมสมองเพื่อหาสาเหตุของปัญหา ในการหาสาเหตุของปัญหานั้นมักใช้หลักการ 4M 1E ซึ่งได้แก่ คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) วิธีการ (Method) และสิ่งแวดล้อม (Environment) ในการวิเคราะห์สาเหตุเพื่อเป็นการรวบรวมสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นได้ครบทุกด้าน



รูปที่ 2.9 แผนภูมิก้างปลา

จากรูปที่ 2.9 แสดงปัญหาอยู่ที่ส่วนของหัวปลา ส่วนสาเหตุจะสามารถแบ่งย่อยออกเป็นปัจจัยต่างๆ ได้เป็นสาเหตุหลัก สาเหตุรอง และสาเหตุย่อย ในการใช้แผนภูมิก้างปลานั้น มีข้อดีคือเป็นการรวบรวมความคิดหรือระดมสมองของสมาชิกมาไว้ในแผนภูมิฯหนึ่ง และยังแยกย่อยถึงสาเหตุที่เกิดจริงๆของปัญหา ทำให้สามารถแก้ไขปัญหานั้นได้อย่างถูกต้อง

3) ระยะเวลาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

คือ การวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนและความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในกระบวนการ โดยการนำข้อมูลที่ได้จากการวัดและการเก็บข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยการทดสอบสมมติฐานเพื่อกรองปัจจัยที่ไม่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ

การทดสอบสมมติฐาน (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2549) เป็นส่วนหนึ่งของสถิติเชิงอนุมาน (Statistical Inference) ซึ่งเป็นการทดสอบเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า โดยสุ่มตัวอย่างจากประชากรแล้ว อาศัยการแจกแจงของตัวสถิติ สร้างสถิติทดสอบเกี่ยวกับพารามิเตอร์นั้นๆ

Hines และ Montgomery (1990, p. 289) ได้กำหนดแนวทางในการตั้งสมมติฐานไว้ 3 แนวทาง คือ

1. เป็นการกำหนดจากประสบการณ์ในอดีตหรือความรู้เกี่ยวกับกระบวนการหรือจากการทดลองก่อนหน้านี้ โดยการตั้งสมมติฐานเช่นนี้จะมีวัตถุประสงค์เพื่อการทดสอบว่า สภาพที่สนใจมีความเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่
2. เป็นการกำหนดค่าจากทฤษฎีหรือตัวแบบที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการที่ทำการศึกษา โดยการตั้งสมมติฐานเช่นนี้จะมีวัตถุประสงค์เพื่อการทวนสอบทฤษฎีหรือตัวแบบนั้นๆ

3. เป็นการกำหนดค่าจากการพิจารณาถึงปัจจัยภายนอกต่างๆ เช่น แบบทางวิศวกรรม ข้อกำหนดทางวิศวกรรม หรือจากสัญญาที่กำหนด โดยการตั้งสมมติฐานเช่นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการทดสอบความถูกต้องตามเกณฑ์กำหนด

แนวทางดังกล่าวข้างต้น สามารถสรุปเป็นสมมติฐานเพื่อการประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมได้ 3 ประเภท คือ

1. การควบคุม เป็นการตัดสินใจเพื่อยืนยันว่า กระบวนการเปลี่ยนแปลงไปจากมาตรฐานหรือไม่ โดยกำหนดสมมติฐานว่า

H_0 : กระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมเชิงสถิติ (หรือ $\mu = \mu_0$)

H_1 : กระบวนการมิได้อยู่ภายใต้การควบคุมเชิงสถิติ (หรือ $\mu \neq \mu_0$)

ในทางสถิติจะถือเป็นการตัดสินใจเกี่ยวกับพารามิเตอร์ของประชากรชุดเดียว

2. การวิเคราะห์ เป็นการตัดสินใจเพื่อยืนยันว่าปัจจัยที่พิจารณาเป็นสาเหตุของปัญหาที่พิจารณาหรือไม่ โดยกำหนดสมมติฐานว่า

H_0 : ปัจจัยที่พิจารณามีได้เป็นสาเหตุการเปลี่ยนแปลงตัวแปร y (หรือ $\mu_1 = \mu_0$)

H_1 : ปัจจัยที่พิจารณาเป็นสาเหตุการเปลี่ยนแปลงตัวแปร y (หรือ $\mu_1 \neq \mu_0$)

ในทางสถิติจะถือเป็นการตัดสินใจเกี่ยวกับพารามิเตอร์ของประชากร 2 ชุดหรืออาจจะมากกว่า 2 ชุด และระดับของปัจจัยที่พิจารณาในกรณีนี้ จะต้องเป็นระดับเดียวกับมาตรฐานปัจจุบันขององค์กร หรือระดับภายใต้เทคโนโลยีที่ดีที่สุดในปัจจุบัน

3. การปรับปรุง เป็นการตัดสินใจเพื่อยืนยันว่าปัจจัยที่พิจารณา มีผลต่อการปรับปรุงค่าตัวแปรตอบสนองที่พิจารณาหรือไม่ โดยกำหนดสมมติฐานว่า

H_0 : ปัจจัยที่พิจารณามีได้มีผลต่อการปรับปรุงตัวแปร y (หรือ $\mu_1 = \mu_0$)

H_1 : ปัจจัยที่พิจารณา มีผลต่อการปรับปรุงตัวแปร y (หรือ $\mu_1 > \mu_0$)

ในทางสถิติจะถือเป็นการตัดสินใจเกี่ยวกับพารามิเตอร์ของประชากร 2 ชุด เพียงแต่จะแจกจ่ายกับประเด็นการวิเคราะห์คือ ในกรณีนี้ ระดับที่ 1 ของปัจจัยจะต้องเป็นระดับที่เสนอเพื่อการปรับปรุง และระดับที่ 2 ของปัจจัยจะต้องเป็นระดับมาตรฐานเดิมขององค์กรหรือภายใต้เทคโนโลยีเดิมที่ใช้

ในการตัดสินใจโดยวิธีทดสอบสมมติฐาน จะมีขั้นตอนในการดำเนินการ ดังนี้

1. ตั้งสมมติฐานตามสิ่งที่ต้องการทดสอบ ซึ่งอาจจะเป็นสมมติฐานแบบสองด้าน หรือสมมติฐานแบบด้านเดียว (ด้านบนหรือด้านล่าง)

2. กำหนดวิธีการตัดสินใจ ด้วยการพิจารณาถึงตัวสถิติสำหรับทดสอบ

3. ออกแบบการทดลอง ด้วยการกำหนดค่า n

4. ดำเนินการทดลองภายใต้เงื่อนไขในการทดลองที่ได้ออกแบบไว้

5. ตัดสินใจตามวิธีการตัดสินใจที่กำหนด คือ ถ้าหากค่าของตัวสถิติอยู่ภายในบริเวณแห่งการยอมรับ ให้ทำการยอมรับสมมติฐาน หรือไม่มีเหตุผลในการปฏิเสธสมมติฐาน เนื่องจากค่าของตัวสถิติอยู่ภายในช่วงความผันแปรที่เกิดจากสาเหตุด้านรีโพรดิวซิบิลิตี้ของการทดลอง แต่ถ้าหากค่าของตัวสถิติอยู่ในบริเวณแห่งการปฏิเสธ ให้ทำการปฏิเสธสมมติฐาน และยืนยันว่าสมมติฐานที่กำหนดไว้ไม่ถูกต้อง

4) ระยะเวลาปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

คือ การนำปัจจัยที่ได้จากการทดสอบสมมติฐานในขั้นตอนก่อนหน้านี้นี้มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ที่จะนำไปใช้ในการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (ปารเมศ ชูติมา, 2545) หมายถึงกระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อว่าจะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีทางสถิติ ซึ่งจะทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้ วิธีการออกแบบการทดลองในเชิงสถิติเป็นสิ่งที่จำเป็น ถ้าเราต้องการหาข้อสรุปที่มีความหมายจากข้อมูลที่เราได้อยู่ และถ้ายังปัญหาที่สนใจนั้นเกี่ยวข้องกับความผิดพลาดในการทดลอง (Experimental Error) วิธีการทางสถิติเป็นวิธีการเพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่จะสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นได้ ดังนั้นสิ่งสำคัญ 2 ประการสำหรับปัญหาที่เกี่ยวกับการทดลองก็คือ การออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

หลักการพื้นฐาน 3 ประการสำหรับการออกแบบการทดลอง คือ เรพลีเคชัน (Replication), แรนดอมไมเซชัน (Randomization) และบล็อกกิง (Blocking) ในที่นี้กำหนดให้ว่า

- **เรพลีเคชัน** หมายถึงการทำการทดลองซ้ำ เรพลีเคชันมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการคือ ประการแรกเรพลีเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ ตัวประมาณค่าความผิดพลาดนี้กลายเป็นหน่วยของการวัดพื้นฐานสำหรับพิจารณาว่า ความแตกต่างสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันในเชิงสถิติหรือไม่ ประการที่สองถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลอง ดังนั้นเรพลีเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบนี้

- **แรนดอมไมเซชัน** เป็นพื้นฐานหลักสำหรับการใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบการทดลอง แรนดอมไมเซชัน หมายถึง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม (Random) วิธีการสถิติกำหนดว่าข้อมูล (หรือความผิดพลาด) จะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ แรนดอมไมเซชันทำให้สมมติฐานนี้เป็นจริง การที่

เราเรนคอมไม่ซ้การทดลอง ทำให้เราสามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

- **บล็อกกิง** เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรงให้แก่การทดลอง บล็อกอันหนึ่งอาจจะหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซตทั้งหมดของวัสดุ การเปรียบเทียบเงื่อนไขต่างๆภายในแต่ละบล็อกจะเกิดขึ้นได้จากการทำบล็อกกิง

การใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ทุกคนที่เกี่ยวข้องในการทดลองจะต้องมีความเข้าใจอย่างถ่องแท้ล่วงหน้าว่าเรากำลังศึกษาอะไรอยู่ จะเก็บข้อมูลได้อย่างไร และจะวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ได้นั้นอย่างไร ขั้นตอนในการดำเนินการอาจจะทำได้ดังต่อไปนี้

1. ทำความเข้าใจถึงปัญหา ในขั้นตอนนี้เราจะต้องพัฒนาแนวความคิดเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง และบ่อยครั้งที่เราจะต้องหาข้อมูลอินพุตจากบุคคลหรือหน่วยงานต่างๆ เช่น แผนกวิศวกรรม แผนกประกันคุณภาพ แผนกผลิต แผนกการตลาด แผนกผู้บริหาร ลูกค้า และแผนกบุคคล

2. เลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขต ผู้ทดลองต้องเลือกปัจจัยที่จะนำมาเปลี่ยนแปลงในระหว่างทำการทดลอง กำหนดขอบเขตที่มีปัจจัยเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลง และกำหนดระดับ (Level) ที่จะเกิดขึ้นในการทดลอง จะต้องพิจารณาด้วยว่าจะควบคุมปัจจัยเหล่านี้ ณ จุดที่กำหนดให้ได้อย่างไร และจะวัดผลตอบได้อย่างไร

3. เลือกตัวแปรผลตอบ ในการเลือกตัวแปรผลตอบ ผู้ทดลองควรจะแน่ใจว่า ตัวแปรนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่ บ่อยครั้งที่ค่าเฉลี่ยหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (หรือทั้งคู่) ของกระบวนการจะเป็นตัวแปรผลตอบ เป็นไปได้ว่าในการทดลองหนึ่งอาจจะมีผลตอบหลายตัวและมีความจำเป็นอย่างมากที่เราจะต้องกำหนดให้ได้ว่า อะไรคือตัวแปรผลตอบ และจะวัดตัวแปรเหล่านี้ได้อย่างไร ก่อนที่จะเริ่มดำเนินการทดลองจริง

4. เลือกการออกแบบการทดลอง ถ้าเลือกการออกแบบเกี่ยวข้องกับการพิจารณาขนาดตัวอย่าง (จำนวนเรพลีเกต) การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่จะใช้ในการเก็บข้อมูล และการตัดสินใจว่า ควรจะใช้วิธีบล็อกหรือการใช้เรนคอมไม่เซชันอย่างใดอย่างหนึ่งหรือไม่ในการเลือกการออกแบบ

5. ทำการทดลอง เมื่อทำการทดลองเราจะต้องติดตามดูกระบวนการทำงานอย่างระมัดระวัง เพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการทุกอย่างเป็นไปตามแผน ถ้ามีอะไรผิดพลาดเกิดขึ้น

เกี่ยวกับวิธีการทดลองในขั้นตอนนี้ จะทำให้การทดลองที่ทำนั้นใช้ไม่ได้ ดังนั้นการวางแผนในตอนแรกจะมีความสำคัญอย่างมากต่อความสำเร็จที่จะเกิดขึ้น

6. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ เราควรจะนำเอาวิธีการทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อว่าผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง ข้อได้เปรียบของวิธีการทางสถิติคือ ทำให้ผู้ที่มีอำนาจในการตัดสินใจมีเครื่องมือช่วยที่มีประสิทธิภาพ

7. สรุปและข้อเสนอแนะ เมื่อเราได้วิเคราะห์ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ผู้ทดลองจะต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติและแนะนำแนวทางของกิจกรรมที่จะเกิดขึ้น ในขั้นตอนนี้เราจะนำเอาวิธีการทางกราฟเข้ามาช่วย นอกจากนี้แล้วการทำการทดลองเพื่อยืนยันผล (Confirmation Testing) ควรจะทำการขึ้นเพื่อที่จะตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่เกิดขึ้นอีกด้วย

การออกแบบการทดลองนั้น สามารถออกแบบได้หลายรูปแบบ แต่ในงานวิจัยนี้เลือกการออกแบบการทดลอง 2 รูปแบบ ดังนี้

1. การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล คือ การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น ตัวอย่างเช่น กรณี 2 ปัจจัย ถ้าปัจจัย A ประกอบด้วย a ระดับ และปัจจัย B ประกอบด้วย b ระดับ ในการทดลอง 1 เรพลิตจะประกอบด้วย การทดลองทั้งหมด ab การทดลอง และเมื่อปัจจัยที่เกี่ยวข้องถูกนำมาจัดให้อยู่ในรูปแบบของการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล เราจะกล่าวว่าปัจจัยเหล่านี้มีความไขว้ซึ่งกันและกัน

ผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่ง หมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากผลตอบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระดับปัจจัยนั้นๆ ซึ่งเรียกว่า ผลหลักความแตกต่างของผลตอบที่เกิดขึ้นบนระดับต่างๆของปัจจัยหนึ่งจะมีค่าไม่เท่ากับที่ระดับอื่นๆทั้งหมดของปัจจัยอื่น ซึ่งหมายความว่า ผลตอบของปัจจัยหนึ่งจะขึ้นกับระดับปัจจัยอื่นๆ และเรียกเหตุการณ์นี้ว่า การมีอันตรกิริยาต่อกันระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้อง และขนาดของอันตรกิริยาจะเท่ากับค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของผลของปัจจัย A ที่ระดับต่างๆของปัจจัย B

2. การออกแบบการทดลองแบบบล็อก-เบห์นเคน เป็นการออกแบบสามระดับ สำหรับพืชพื้นผิวผลตอบ การออกแบบนี้ถูกสร้างขึ้นจากการรวมการออกแบบแฟคทอเรียล $2k$ กับการออกแบบบล็อกไม่สมบูรณ์ ผลของการออกแบบมีประสิทธิภาพในด้านจำนวนของการรันที่ต้องการ เป็นการออกแบบรูปทรงกลมที่ทุกจุดวางอยู่บน รูปทรงกลมรัศมี 2 และไม่ได้รวมเอาจุดใดๆ ที่เป็นจุดยอดของรูปลูกบาศก์ที่สร้างขึ้นจากขีดจำกัดบนและล่างของแต่ละตัวแปรเอาไว้

5) ระยะเวลาติดตามควบคุม

คือ การติดตามและควบคุมเพื่อรักษาระดับสมรรถนะของกระบวนการให้เป็นไปตามแผนที่ตั้งไว้ โดยใช้แผนภูมิควบคุมในการควบคุมและติดตามผล

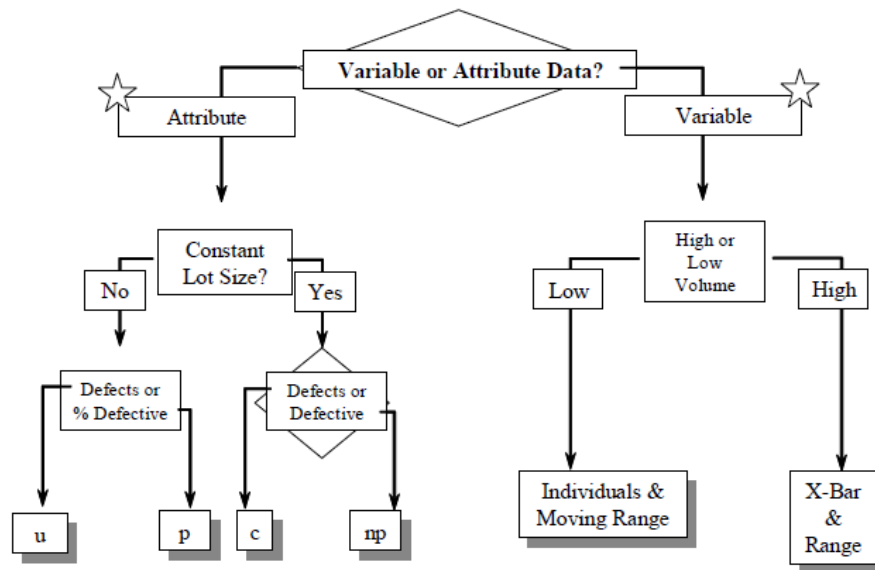
กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข ได้กล่าวไว้ว่า แผนภูมิควบคุม คือ เครื่องมือตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงไปของกระบวนการผลิตตามกาลเวลาอย่างไดนามิก เพื่อดูแนวโน้มและจุดที่ออกนอกการควบคุมจะได้แก้ปัญหาด้านคุณภาพได้อย่างรวดเร็วและไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อสินค้าที่ผลิต โดยมีลักษณะของแผนภูมิควบคุมเป็นกราฟเส้นที่ประกอบด้วยเส้นกึ่งกลาง 1 เส้น และเส้นพิสัยควบคุม 1 คู่อยู่ด้านบนและด้านล่างของเส้นกึ่งกลาง

แผนภูมิควบคุม มีประโยชน์คือ

1. ควบคุมการผลิตได้ทันเหตุการณ์ เมื่อมีจุดใดแสดงความผิดปกติ สามารถแก้ไขกระบวนการผลิตให้กลับสู่สภาพปกติได้อย่างทันท่วงที
2. ช่วยป้องกันปัญหาด้านคุณภาพ โดยช่วยให้กระบวนการผลิตอยู่ภายใต้การควบคุมตลอดเวลาและช่วยจัดสภาพการผลิตสินค้าด้วยคุณภาพ
3. ทราบถึงความสามารถของกระบวนการ
4. ช่วยเพิ่มผลผลิต โดยช่วยในการลดจำนวนของเสียและการทำซ้ำ
5. ช่วยป้องกันการปรับแต่งกระบวนการโดยไม่จำเป็น เนื่องจากสามารถแยกแยะสภาพความแปรปรวนของกระบวนการได้ว่า เป็นความแปรปรวนตามปกติหรือความแปรปรวนที่เกิดจากความผิดปกติ
6. ให้ข้อมูลเพื่อการวินิจฉัยกระบวนการผลิต การวิเคราะห์สภาพการกระจายของจุดในแผนภูมิควบคุมอย่างสม่ำเสมอ ทำให้ได้ข้อมูลเพื่อการแก้ไขกระบวนการผลิต

ชนิดของแผนภูมิควบคุม ชนิดของแผนภูมิขึ้นอยู่กับชนิดของข้อมูลที่ได้ เนื่องจากข้อมูลมีอยู่ 2 ประเภท ดังนี้

1. แผนภูมิควบคุมสำหรับข้อมูลแบบต่อเนื่อง ใช้ควบคุมค่าที่สามารถวัดได้อย่างต่อเนื่อง เช่น ความยาว น้ำหนัก เวลา เป็นต้น
2. แผนภูมิควบคุมสำหรับข้อมูลแบบช่วง ใช้ควบคุมค่าที่นับได้แต่ไม่ต่อเนื่อง เช่น จำนวนของเสีย สัดส่วนของเสียหรือจำนวนของเสียต่อหน่วย จำนวนความบกพร่อง สัดส่วนบกพร่องหรือจำนวนความบกพร่องต่อหน่วย



รูปที่ 2.10 ชนิดของแผนภูมิควบคุม

2.2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

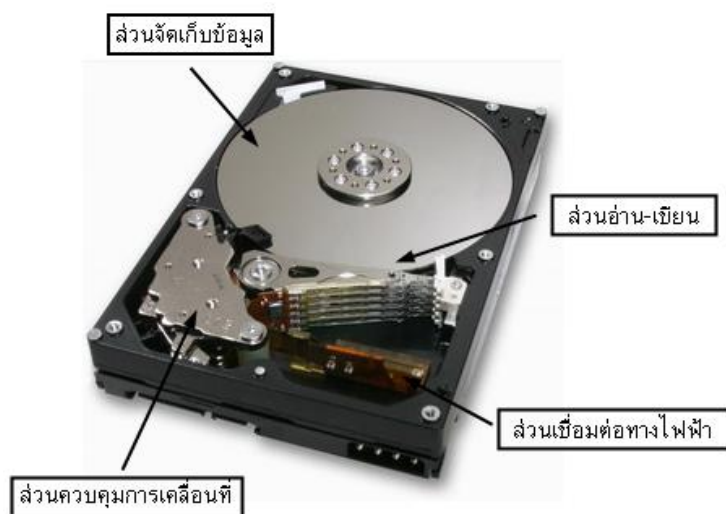
1) วิวัฒนาการของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (อภิรัฐ ศิริธราธิวัตร, 2549)

ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์หรือกล่องงานบันทึกแบบแข็งเป็นอุปกรณ์หลักที่ใช้จัดเก็บข้อมูลในเครื่องคอมพิวเตอร์โดยอาศัยหลักการทางแม่เหล็ก ซึ่งได้มีวิวัฒนาการอย่างต่อเนื่องมาตั้งแต่ ค.ศ. 1955 เมื่อ บริษัท ไอบีเอ็ม ได้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ตัวแรกของโลก ที่สร้างขึ้นโดยนายเรย์ จอห์นสัน (Ray Johnson) เพื่อให้เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเข้าหาข้อมูลได้โดยการสุ่ม เนื่องจากในสมัยก่อนนั้นข้อมูลจะถูกจัดเก็บในรูปแบบของเทปบันทึกข้อมูล ซึ่งมีข้อจำกัดในการเข้าหาข้อมูลที่อยู่ส่วนหลังของเทป ดังนั้น ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จึงเป็นการแก้ปัญหานี้ได้เพราะสามารถเข้าหาข้อมูลได้ในทุกตำแหน่งโดยไม่ต้องเริ่มจากตำแหน่งเริ่มต้น

ในปัจจุบันฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้มีการนำไปใช้เป็นส่วนเก็บข้อมูลของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ เช่น กล้องดิจิทัล กล้องถ่ายวิดีโอแบบดิจิทัลหรือโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น

2) โครงสร้างของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (อภิรัฐ ศิริธราธิวัตร, 2549)

ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เมื่อแบ่งตามหน้าที่การทำงาน สามารถแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลัก ดังนี้



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์

1. ส่วนอ่าน-เขียน (Read-Write Part) สามารถแยกออกเป็น 2 ส่วนหลัก ดังนี้

ส่วนแรกคือ ส่วนหัวบันทึก ประกอบด้วย ส่วนอ่านมีลักษณะเป็นฟิล์มบางทางแม่เหล็กที่มีความหนาในระดับนาโนเมตร ทำให้สามารถอ่านข้อมูลที่มีขนาดของบิตเล็กลงได้ ส่วนเขียนมีลักษณะเป็นขดลวดที่พันรอบแกนเฟอร์ไรต์ โดยป้อนแรงดันที่เป็นบวกและลบผ่านทางสัญญาณ 2 เส้น ไปยังที่ปุ่มเขียนเพื่อให้บิตในแผ่นจานบันทึกข้อมูลที่เป็นส่วนจัดเก็บข้อมูล และส่วนป้องกันสนามแม่เหล็กภายนอกมีลักษณะเป็นแกนโลหะที่ป้องกันสนามแม่เหล็กภายนอกที่เข้ามารบกวนการอ่านเขียนข้อมูล

ส่วนที่สองคือ ส่วนแขนจับ เนื่องจากหัวบันทึกไม่สามารถเคลื่อนที่ได้เอง ดังนั้นจึงต้องอาศัยแขนจับหัวบันทึกเพื่อให้เคลื่อนที่ยังบิตหรือตำแหน่งที่ต้องการ ซึ่งแขนจับนี้สามารถแบ่งออกตามลักษณะการใช้งานได้เป็น 2 ประเภท คือ ชุดหัวบันทึกที่ถูกรอกไปมาได้ (HGA) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้รองรับหัวบันทึกที่อยู่ในรูปของสไลเดอร์และนำสไลเดอร์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งหรือบิตที่ต้องการ โดย HGA หนึ่งชิ้นจะอ่านข้อมูลจากจานแม่เหล็กได้เพียง 1 ด้าน และชุดหัวบันทึกแบบชิ้นประกอบด้วย HGA จำนวนหลายๆชิ้นที่จัดเรียงในแนวตั้งเพื่อใช้ในการอ่านเขียนข้อมูลจากแผ่นจานบันทึกข้อมูลหลายๆแผ่น

2. ส่วนจัดเก็บข้อมูล (Storage Part) ส่วนนี้จะอาศัยหลักการทางแม่เหล็ก โดยโครงสร้างของจานบันทึกข้อมูลจะประกอบไปด้วยฐาน ชั้นย่อยนิกเกิล-ฟอสฟอรัส (Ni-P Sublayer) ชั้นเคลือบด้านล่าง (Underlayer) ชั้นแม่เหล็ก (Magnetic Layers) ชั้นคาร์บอนเคลือบด้านบน (Carbon Overcoat) ชั้นสารหล่อลื่น (Lubricant) แต่ก่อนกันบันทึกข้อมูลจะเป็นการบันทึกในแนวนอน (Horizontal Recording) ซึ่งต้องใช้พื้นที่และปริมาตรในการเปลี่ยนแปลงทางแม่เหล็ก แต่เมื่อหัว

บันทึกได้ลดขนาดลงอย่างมากทำให้การจัดเก็บข้อมูลวิธีนี้ไม่สามารถลดขนาดของบิตลงมาได้ ดังนั้นจึงได้เปลี่ยนมาเป็นการบันทึกข้อมูลในแนวตั้ง (Perpendicular Recording) ที่มีแมกเนโตเซชันจะวางตัวในแนวตั้งซึ่งมีผลทำให้ขนาดบิตเล็กลงอย่างมาก

3. ส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ (Movement Controlling Part) สามารถแบ่งตามอุปกรณ์หลักที่ถูกเคลื่อนที่ ได้แก่ ส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวบันทึก (Controlling part for Moving Head) มีการควบคุมการเคลื่อนที่หัวบันทึกเป็น 2 ขั้นตอนคือ การควบคุมการเคลื่อนที่แบบหยาบ และการควบคุมการเคลื่อนที่แบบละเอียด และส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ของจานบันทึกข้อมูล (Controlling Part for Media) ซึ่งในการอ่านเขียนข้อมูลนั้น หัวบันทึกจะเคลื่อนที่ตามแนวรัศมีเพื่อหาแนวข้อมูล (Track) ที่ต้องการ แต่ไม่สามารถหาแนวข้อมูลได้ทั้งงานบันทึกข้อมูล ดังนั้นงานบันทึกข้อมูลต้องหมุนเพื่อให้หัวบันทึกสามารถหาบิตที่ต้องการได้ โดยทั่วไปบนงานบันทึกข้อมูลจะมีการเขียนรูปแบบเซอร์โว (Servo Pattern) เพื่อให้หัวบันทึกสามารถหาตำแหน่งของข้อมูลได้ถูกต้องและรวดเร็ว

4. ส่วนเชื่อมต่อทางไฟฟ้า (Electrical Interconnection Part) สัญญาณจากการอ่านเขียนจะถูกเชื่อมต่อกับวงจรควบคุมของคอมพิวเตอร์หรือหน่วยประมวลผลข้อมูลของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านทางสายสัญญาณ โดยผ่านวงจรควบคุมที่อยู่ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และตัวเชื่อมต่อแบบที่มีหมุด 18 หรือ 20 ตัว ก่อนส่งสัญญาณเข้า-ออกจากฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งวงจรควบคุมต่างๆในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เช่น วงจรควบคุมขดลวดเสียงและมอเตอร์แบบหมุน วงจรสำหรับควบคุมช่องทางการอ่านเขียน วงจรรวมสำหรับการสันสะเทือน เป็นต้น รวมทั้งวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดนั้นจะอยู่ในรูปแผงวงจรที่อยู่ใต้ฐานของชุดฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

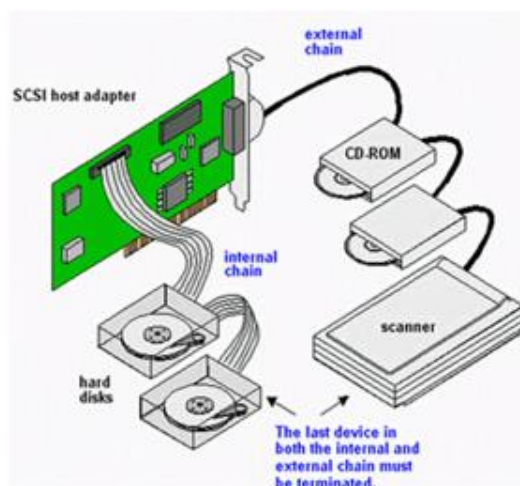
ชนิดของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แบ่งตามการเชื่อมต่อ (Interface)

1) แบบ IDE (Integrate Drive Electronics) เป็นการเชื่อมต่อแบบเก่า ที่มีเชื่อมต่อด้วยสายแพทั้งหมด 40 เส้น ซึ่งสายแพ 1 เส้นนั้นสามารถเชื่อมต่อฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้ 2 ตัว มีความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูล 8.3 เมกะไบต์ต่อวินาที และมีความจุ 504 เมกะไบต์

2) แบบ E-IDE (Enhanced Integrated Drive Electronics) ได้พัฒนามาจากแบบ IDE แต่มีการเชื่อมต่อด้วยสายแพ 80 เส้น เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน มีความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูล 133 เมกะไบต์ต่อวินาที และมีความจุสูงกว่า 504 เมกะไบต์

3) แบบ SCSI (Small Computer System Interface) แบบนี้จะมีการ์ดสำหรับควบคุมการทำงานโดยเฉพาะ เรียกว่า การ์ด SCSI ซึ่งสามารถควบคุมการทำงานโดยผ่านสายแพแบบ SCSI มีความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูล 320 เมกะไบต์ต่อวินาที และมีความเร็วรอบในการหมุนของจาน

บันทึกข้อมูลอยู่ที่ 10,000 – 15,000 รอบต่อนาที การเชื่อมต่อแบบนี้ส่วนใหญ่นำมาใช้กับงานด้านเครื่องข่าย (Server) เท่านั้น



รูปที่ 2.12 การเชื่อมต่อแบบ SCSI

4) **แบบ Serial ATA** เป็นการเชื่อมต่อที่เป็นที่นิยมและมีการใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน สามารถขยายช่องสัญญาณการถ่ายข้อมูลเพิ่มขึ้น 2-3 เท่าและสามารถรับส่งข้อมูลได้มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้การเชื่อมต่อแบบนี้ทำให้สามารถเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์อื่นๆ ได้ อาทิเช่น CD-RW หรือ DVD พร้อมทั้งการเชื่อมต่อแบบนี้ยังช่วยลดปัญหาการส่งข้อมูลระหว่างซีพียูกับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ลงได้ และยังสามารถกำหนดได้ว่าฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ตัวไหนเป็นตัวหลักเป็นตัวรองเพื่ออำนวยความสะดวกได้อีกด้วย

ความเร็วรอบของฮาร์ดดิสก์นั้นมีความสำคัญ เนื่องจากยิ่งความเร็วรอบสูง การส่งข้อมูลก็จะเร็วขึ้นตามไปด้วย ปัจจุบันความเร็วรอบในการหมุนของจานบันทึกข้อมูลมาตรฐานของ พีซี และแล็ปท็อป อยู่ที่ 7,200 รอบต่อนาที (ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขนาด 3.5 นิ้ว) และความเร็วรอบ 5,400 รอบต่อนาที (ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขนาด 2.5 นิ้ว)

บทที่ 3

ระยะนียมปัญหา

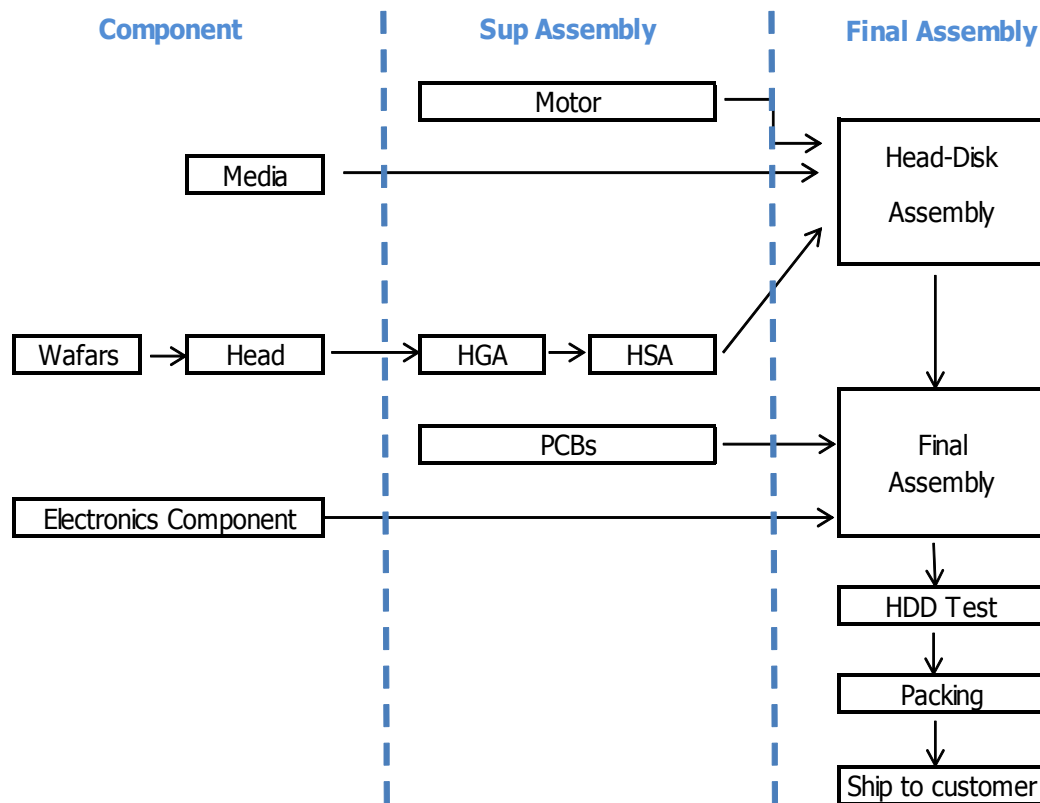
ในบทนี้จะทำการศึกษากระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไทร์ฟผลิตภณท์ A โดยการวิเคราะห์ว่ากระบวนการใดบ้างที่เกี่ยวข้องกับการประกอบและทดสอบงานบันทึกข้อมูล เพื่อหาสาเหตุของปัญหาที่ส่งผลให้เกิดความเสียหายบนงานบันทึกข้อมูล พร้อมทำการรวบรวมข้อมูลของสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อนำมาใช้เป็นตัวกำหนดปัญหา เป้าหมาย และตัวชี้วัดของงานวิจัยนี้

3.1 ศึกษากระบวนการผลิต

ในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไทร์ฟเป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อนและมีหลายขั้นตอน โดยฝั่งกระบวนการการผลิตฮาร์ดดิสก์ไทร์ฟแสดงดังรูปที่ 3.1 จากฝั่งกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไทร์ฟ จะประกอบไปด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. ส่วนของส่วนประกอบหลัก ประกอบไปด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆที่สำคัญคือ งานบันทึกข้อมูล ส่วนของหัว-อ่านเขียนและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
2. ส่วนของชิ้นส่วนย่อย (Sub Assembly) ที่อยู่ในฮาร์ดดิสก์ไทร์ฟ ประกอบไปด้วย มอเตอร์ (Motor) ชุดประกอบหัวอ่าน-เขียน (HSA) และแผงวงจรควบคุม (PCBs)
3. ส่วนของการประกอบขั้นสุดท้าย (Final Assembly) ประกอบไปด้วย การประกอบชิ้นส่วนงานบันทึกข้อมูลและหัวอ่าน-เขียน การประกอบชิ้นส่วนทั้งหมด การทดสอบประสิทธิภาพของฮาร์ดดิสก์ไทร์ฟ การบรรจุภัณฑ์ และการส่งให้ลูกค้า

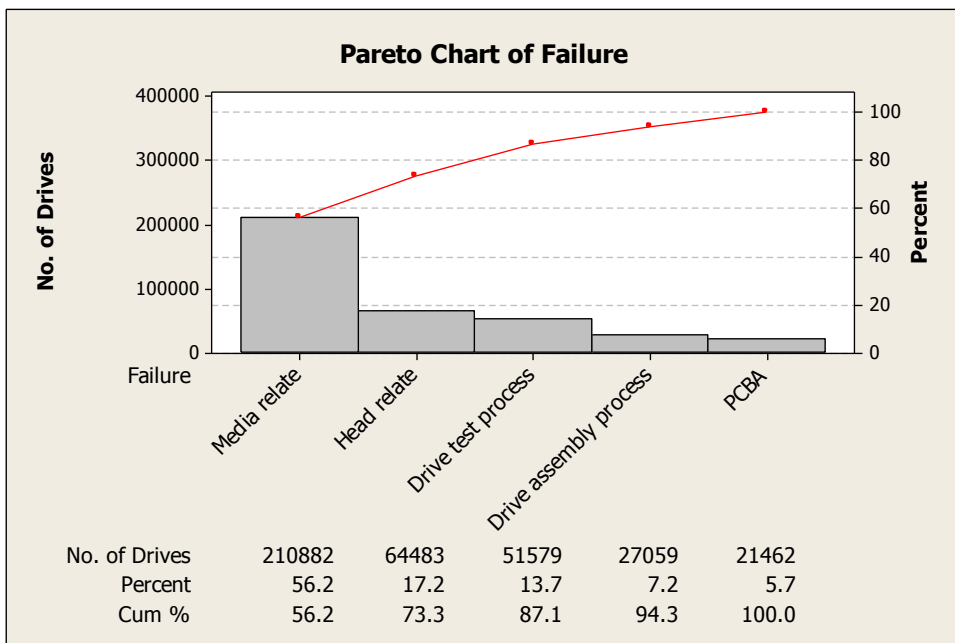
เมื่อนำทั้ง 3 ส่วนมาเข้าขั้นตอนการไหลของกระบวนการ จะมีการไหลของกระบวนการดังนี้คือ ในส่วนของงานบันทึกข้อมูล, ชุดประกอบหัวอ่าน-เขียนและมอเตอร์ จะถูกนำไปประกอบเป็นชิ้นส่วนใหญ่ที่เรียกว่า Head-Disk Assembly แล้วนำชิ้นส่วนนี้ไปประกอบเข้ากับแผงวงจรควบคุมและเซมิคอนดักเตอร์ จะได้เป็นฮาร์ดดิสก์ไทร์ฟที่สมบูรณ์สามารถนำไปใช้งานได้ หลังจากนั้นนำเข้าสู่กระบวนการทดสอบเพื่อทดสอบประสิทธิภาพ เมื่อฮาร์ดดิสก์ไทร์ฟผ่านการทดสอบแล้วจึงนำเข้าสู่กระบวนการบรรจุภัณฑ์และนำส่งให้ลูกค้าต่อไป



รูปที่ 3.1 ฟังก์ชันกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

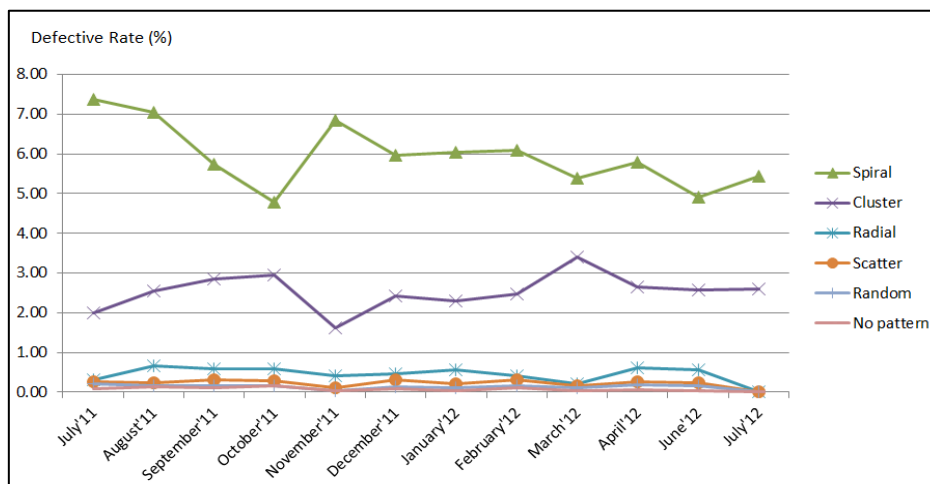
3.2 สภาพปัญหาปัจจุบัน

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลของเสียรวมทั้งตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2554 ถึงมิถุนายน 2555 พบว่าของเสียประเภทงานบันทึกข้อมูลมีเปอร์เซ็นต์ของเสียเฉลี่ยสูงถึง 9.35% ของเปอร์เซ็นต์ของเสียทั้งหมด และเมื่อแสดงจำนวนของเสียแยกตามลักษณะหรืออุปกรณ์ที่เป็นสาเหตุของข้อบกพร่องพบว่าของเสียที่พบมากที่สุดเกิดขึ้นที่งานบันทึกข้อมูลเป็นจำนวนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์รวม 210,882 ตัว คิดเป็น 56.2% ของของเสียทั้งหมด และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตแยกเป็นรายเดือนตั้งแต่ช่วงเดือนกรกฎาคม 2554 ถึงเดือนมิถุนายน 2555 ดังรูปที่ 3.2 พบว่างานบันทึกข้อมูลเป็นชิ้นส่วนที่เกิดของเสียสูงมากเป็นอันดับ 1 เมื่อเทียบกับของเสียทั้งหมดในกระบวนการผลิต รองลงมาคือ ของเสียที่เกิดจากหัวอ่านเขียน และของเสียที่เกิดจากกระบวนการทดสอบตามลำดับ ดังนั้นจึงทำการปรับปรุงในส่วนของงานบันทึกข้อมูลเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต



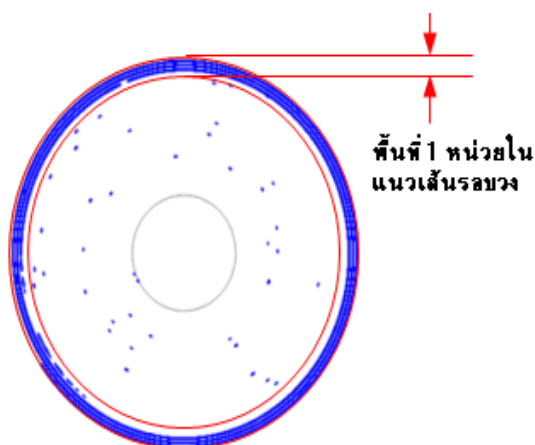
รูปที่ 3.2 พารेटโตแสดงชนิดของเสียรวมตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2554 ถึงมิถุนายน 2555

เมื่อพิจารณาประเภทของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นบนงานบันทึกข้อมูล ดังรูปที่ 3.3 พบว่า ข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยมีสัดส่วนของเสียเฉลี่ยสูงถึง 6% รองลงมาคือ ประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม 2.5% รอยลากตามแนวรัศมี 0.4% รอยจุดกระจายรอบแผ่น 0.2% รอยขีดที่มีทิศทางไม่แน่นอน 0.1% และไม่มีรูปแบบ 0.07% ตามลำดับ

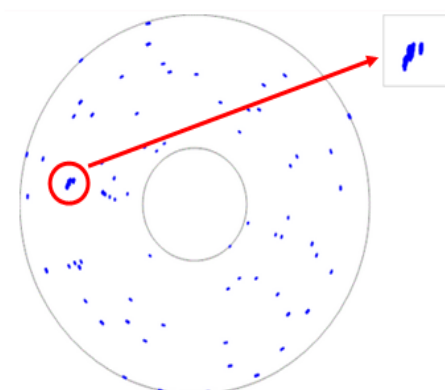


รูปที่ 3.3 สัดส่วนของเสียแยกตามประเภทของข้อบกพร่องตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2554 ถึงเดือน มิถุนายน 2555

สำหรับข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มนี้ จะมีการตรวจสอบข้อบกพร่องผ่านทางกระบวนการทดสอบ (Process Test) ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่จะทำการตรวจสอบทุกชิ้น (100% Inspection) ซึ่งการตรวจสอบข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มนี้จะมีเกณฑ์ที่แตกต่างกันคือ ข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยดังรูปที่ 3.4 จะใช้เกณฑ์ที่ว่า ถ้าจำนวนข้อบกพร่องในแต่ละพื้นที่มากกว่า 75,000 จุดต่อพื้นที่ 1 หน่วยในแนวเส้นรอบวง จะถือว่างานบันทึกข้อมูลแผ่นนั้นเสียไม่สามารถนำมาใช้ต่อได้ ส่วนข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มดังรูปที่ 3.5 จะใช้เกณฑ์ที่ว่า ถ้าพื้นที่ของข้อบกพร่องตำแหน่งใดก็ตามที่เกิดขึ้นบนงานบันทึกข้อมูลมีค่าเกินกว่า 60,000 Bytes จะถือว่างานบันทึกข้อมูลแผ่นนั้นเสียไม่สามารถนำมาใช้ต่อ หลังจากผ่านกระบวนการทดสอบแล้ว งานบันทึกข้อมูลแผ่นที่เสียจะถูกสุ่มเพื่อนำมาตรวจสอบอีกครั้งว่า ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในแต่ละแผ่นเป็นข้อบกพร่องชนิดใด ซึ่งการแยกประเภทข้อบกพร่องนี้จะทำโดยวิศวกรผู้ชำนาญการ



รูปที่ 3.4 ลักษณะของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย



รูปที่ 3.5 ลักษณะของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

3.3 กำหนดเป้าหมายและตัวชี้วัด

เป้าหมายของงานวิจัยนี้ คือ ลดของเสียที่เกิดจากงานบันทึกข้อมูลในลักษณะความบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่ม โดยตัวเลขที่ใช้ชี้วัดปริมาณของเสียนี้จะวัดค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของข้อบกพร่องแต่ละประเภท

3.4 จัดตั้งคณะทำงาน

ในการดำเนินงานวิจัยได้จัดตั้งคณะทำงานซึ่งมีหน้าที่ช่วยระดมสมองเพื่อหาสาเหตุของปัญหาที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องที่แท้จริง พร้อมทั้งให้การสนับสนุนงานในด้านต่างๆ ในการดำเนินงานวิจัย คณะทำงานที่ถูกคัดเลือกนั้นจะถูกเลือกมาจากผู้ที่มีความเชี่ยวชาญในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ A ซึ่งประกอบไปด้วย ผู้เชี่ยวชาญ 6 คน และ ผู้วิจัย 1 คน รวมทั้งสิ้น 7 คน ดังนี้

1. ฝ่ายวิเคราะห์ข้อบกพร่อง (Product Engineer) 2 คน
2. ฝ่ายควบคุมการผลิต (Process Engineer) 1 คน
3. ฝ่ายซ่อมบำรุง (Maintenance Engineer) 1 คน
4. ฝ่ายผลิต (Production Engineer) 1 คน
5. ฝ่ายควบคุมคุณภาพ (Quality Engineer) 1 คน
6. ผู้วิจัย 1 คน

นอกจากหน้าที่ที่ผู้วิจัยต้องช่วยระดมสมองร่วมกับผู้เชี่ยวชาญแล้ว ผู้วิจัยยังมีหน้าที่หลักๆ ดังนี้

1. ติดต่อประสานงานในการดำเนินงานวิจัย
2. เก็บรวบรวมข้อมูล สภาพปัญหา และกระบวนการผลิตต่างๆ
3. ออกแบบการทดลอง ดำเนินการทดลอง และบันทึกผลการทดลอง
4. วิเคราะห์ผลการทดลอง
5. สรุปผลการทดลองและผลการดำเนินงาน
6. จัดทำแผนภูมิความคุม หลังการปรับปรุงกระบวนการ

บทที่ 4

ระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา

ในบทนี้จะทำการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหาที่ทำให้เกิดรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่ม โดยทำการวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัด เพื่อวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิตในปัจจุบัน พร้อมทั้งทำการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อปัญหาโดยใช้ผังสาเหตุและผลและตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล เข้ามาช่วยในการพิจารณา

4.1 การวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัด

การทดสอบงานบันทึกข้อมูลนั้น หลังจากที่ได้รับงานบันทึกข้อมูลจากโรงงานผลิต จะมีการทดสอบงานบันทึกข้อมูลภายหลังจากกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เสร็จเรียบร้อยแล้ว ในระหว่างกระบวนการประกอบจะไม่มีมีการตรวจสอบว่างานบันทึกข้อมูลแผ่นใดเกิดข้อบกพร่องเกิดขึ้นหรือไม่

สำหรับการตรวจสอบข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มนี้ จะมีการตรวจสอบผ่านทางกระบวนการทดสอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยจะทำการทดสอบ 100% ว่างานบันทึกข้อมูลแผ่นใดมีคุณสมบัติที่ไม่สามารถนำไปใช้ต่อได้ ซึ่งในแต่ละประเภทของข้อบกพร่องจะมีข้อกำหนดที่ใช้ในการตรวจสอบแตกต่างกัน ดังนี้

1. ข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย มีข้อกำหนดในการตรวจสอบคือ ถ้าจำนวนข้อบกพร่องในแต่ละพื้นที่มากกว่า 75,000 จุดต่อพื้นที่ 1 หน่วยในแนวเส้นรอบวง หรือจำนวนข้อบกพร่องในแต่ละแผ่นมากกว่า 225,000 จุด จะพิจารณาว่างานบันทึกข้อมูลแผ่นนั้นไม่สามารถนำมาใช้ต่อได้

2. ข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม มีข้อกำหนดในการตรวจสอบคือ ถ้าพื้นที่ของข้อบกพร่องตำแหน่งใดก็ตามที่เกิดขึ้นบนงานบันทึกข้อมูลมีค่าเกินกว่า 60,000 Bytes ต่อ 1 ข้อบกพร่อง จะพิจารณาว่างานบันทึกข้อมูลแผ่นนั้นไม่สามารถนำมาใช้ต่อได้

หลังจากผ่านกระบวนการทดสอบแล้ว จานบันทึกข้อมูลแผ่นที่เสียจะถูกสุ่มเพื่อนำมาตรวจสอบอีกครั้งว่า ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในแต่ละแผ่นเป็นข้อบกพร่องประเภทขีดที่วนเป็นก้นหอย และรอยจุดเป็นกลุ่มหรือไม่ ซึ่งการทดสอบเพื่อจัดประเภทข้อบกพร่องนี้จะทำโดยวิศวกรผู้ชำนาญการ

จำนวนชิ้นงานที่จะใช้ในการวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัดในการทดสอบ พนักงานตรวจสอบ และจำนวนครั้งที่ใช้ในการตรวจสอบนั้น จะกำหนดจากงานวิจัยของ Fasser และ Brettner (1992) ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ขนาดสิ่งตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัดด้วยข้อมูลนับ (Fasser และ Brettner, 1992)

จำนวนพนักงานตรวจสอบ	จำนวนชิ้นงานตัวอย่างที่ต่ำที่สุด	จำนวนทดลองซ้ำที่ต่ำที่สุด
1	24	5
2	18	4
มากกว่าหรือเท่ากับ 3	12	3

จากตารางข้างต้น กำหนดให้จำนวนพนักงานตรวจสอบทั้งหมด 3 คน สำหรับการตรวจสอบชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 30 ชิ้นงาน และจำนวนครั้งที่ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

4.1.1 การวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

การวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยซึ่งเป็นข้อมูลแบบลักษณะ นั้นจะตรวจสอบจานบันทึกข้อมูลทีละแผ่นว่าเสียจากกระบวนการทดสอบ นำมาตรวจสอบลักษณะของข้อบกพร่องด้วยสายตาว่าเป็นข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยหรือไม่ โดยมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ดังนี้

1. คัดเลือกทีมงานผู้ชำนาญการเพื่อทำการแยกลักษณะของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นบนจานบันทึกข้อมูลว่าเป็นข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยหรือไม่ พร้อมทั้งฝึกอบรมพนักงานที่ทำการตรวจสอบชิ้นงานให้ทราบว่าข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและไม่ใช่ข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยเป็นลักษณะแบบใด

2. ทำการสุ่มเลือกชิ้นงานที่ใช้ในการตรวจสอบทั้งหมด 30 ชิ้นงาน โดยจะแยกเป็นข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย 10 ชิ้นงาน แบบก้ำกึ่ง 10 ชิ้นงาน และแบบที่ไม่ใช่ข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย 10 ชิ้นงาน โดยแสดงตัวอย่างของลักษณะข้อบกพร่อง 3 แบบ ดังตารางที่ 4.3

3. สุ่มเลือกผู้ชำนาญการ ทำการประเมินลักษณะข้อบกพร่องว่าใช่ (S = Spiral) หรือไม่ใช่ (NS = Not Spiral) ข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย แล้วบันทึกผลเพื่อนำมาใช้เป็นมาตรฐานในการตรวจสอบ

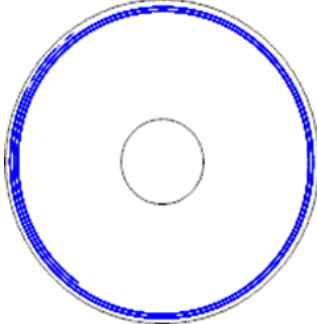
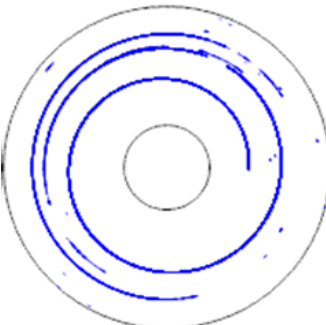
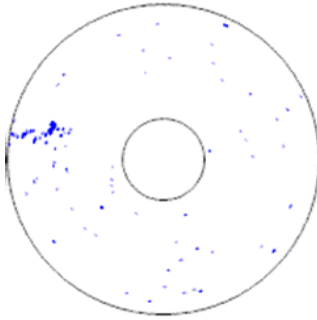
4. สุ่มเลือกพนักงานที่ผ่านการฝึกอบรมมา 3 คน โดยกำหนดเป็นเพศชาย อายุตั้งแต่ 25 – 35 ปี เพื่อตรวจสอบลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นบนงานบันทึกข้อมูล คนละ 3 ครั้ง โดยทำการสลับแม่แบบและสลับลำดับการตรวจสอบของพนักงาน

5. บันทึกผลที่ได้จากการตรวจสอบข้อบกพร่องของพนักงานทั้ง 3 คนว่าใช่ (S) หรือไม่ใช่ (NS) (ดังตารางที่ 4.4) เพื่อทำการวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัดตามแบบข้อมูลลักษณะ โดยมีข้อกำหนดการยอมรับของระบบการวัดดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ข้อกำหนดการยอมรับของระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

ดัชนี	เกณฑ์การยอมรับ
เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานแต่ละคน	100%
เปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงานแต่ละคน	100%
เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ	100%
เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ	100%

ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

ลักษณะข้อบกพร่อง	รูปภาพ
ข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย	
ข้อบกพร่องแบบก้ำกึ่งที่ใช่เป็นประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย	
ข้อบกพร่องที่ไม่ใช่ประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย	

จากตารางที่ 4.2 ข้อกำหนดการยอมรับของระบบการวัดนั้น ระบุการยอมรับที่ 100% เนื่องจากข้อบกพร่องแต่ละประเภทมีสาเหตุของการเกิดแตกต่างกัน ดังนั้นการแก้ไขจึงแตกต่างกันด้วย ถ้าพนักงานตรวจสอบทำการระบุชนิดของข้อบกพร่องผิดไปอาจทำให้แก้ไขปัญหามิสอดคล้องกับสาเหตุที่แท้จริงได้

จากผลการตรวจสอบระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่า ชิ้นงานตัวอย่างทั้งหมด 30 ชิ้น มี 4 ชิ้นงาน คือ ชิ้นงานที่ 22 23 28 และ 29 ที่พนักงานทั้ง 3 คน มีผลการตรวจสอบที่แตกต่างกันและแตกต่างจากมาตรฐานของการตรวจสอบ

สิ่ง ตัว อย่าง	คุณภาพ งาน ที่แท้จริง	พนักงาน ตรวจสอบคนที่ 1			พนักงาน ตรวจสอบ คนที่ 2			พนักงาน ตรวจสอบ คนที่ 3			ตรวจสอบ ได้ เหมือนกัน ทุกครั้งและ ทุกคน	ตรวจสอบ ได้ เหมือนกัน อย่าง ถูกต้อง ทุกคน
		1	2	3	1	2	3	1	2	3		
17	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	Y	Y
18	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	Y	Y
19	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	Y	Y
20	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	Y	Y
21	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	Y	Y
22	S	NS	S	S	S	NS	S	S	S	S	N	N
23	S	S	S	S	S	S	S	S	S	NS	N	N
24	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	Y	Y
25	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	Y	Y
26	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	Y	Y
27	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	Y	Y
28	S	S	S	S	S	S	S	NS	S	S	N	N
29	S	S	NS	S	S	S	S	S	S	S	N	N
30	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	Y	Y

จากรูปที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัดด้วยโปรแกรม Minitab โดยสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย ได้ดังนี้

Attribute Agreement Analysis for data

Within Appraisers

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
1	30	28	93.33	(77.93, 99.18)
2	30	29	96.67	(82.78, 99.92)
3	30	28	93.33	(77.93, 99.18)

Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

Each Appraiser vs Standard

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
1	30	28	93.33	(77.93, 99.18)
2	30	29	96.67	(82.78, 99.92)
3	30	28	93.33	(77.93, 99.18)

Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with the known standard.

Assessment Disagreement

Appraiser	# S / NS	Percent	# NS / S	Percent	# Mixed	Percent
1	0	0.00	0	0.00	2	6.67
2	0	0.00	0	0.00	1	3.33
3	0	0.00	0	0.00	2	6.67

S / NS: Assessments across trials = S / standard = NS.
 # NS / S: Assessments across trials = NS / standard = S.
 # Mixed: Assessments across trials are not identical.

Between Appraisers

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
30	26	86.67	(69.28, 96.24)

Matched: All appraisers' assessments agree with each other.

All Appraisers vs Standard

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
30	26	86.67	(69.28, 96.24)

Matched: All appraisers' assessments agree with the known standard

รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัด โดยโปรแกรม Minitab

1. การวิเคราะห์พนักงานแต่ละคน (within appraiser)

1) การวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำ หรือ รีพิทาเบิลิตี้ของพนักงานแต่ละคน สามารถคำนวณได้จากสมการ 4.1 ดังนี้

$$\text{ความสามารถในการวัดซ้ำ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ตรวจสอบได้ผลเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}} \times 100 \quad (4.1)$$

ดังนั้น ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานคนที่ 1-3 มีดังต่อไปนี้

$$\text{พนักงานคนที่ 1} = 93.33\%$$

พนักงานคนที่ 2 = 96.67%

พนักงานคนที่ 3 = 93.33%

2) การวิเคราะห์ความถูกต้อง (ประสิทธิผล) ของการวัดของพนักงานแต่ละคน สามารถคำนวณได้จากสมการ 4.2 ดังนี้

$$\text{ความถูกต้องของการวัด} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลการตรวจสอบเหมือนกันและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}} \times 100 \quad (4.2)$$

ดังนั้น การวิเคราะห์ความถูกต้องของพนักงานคนที่ 1-3 มีดังต่อไปนี้

พนักงานคนที่ 1 = 93.33%

พนักงานคนที่ 2 = 96.67%

พนักงานคนที่ 3 = 93.33%

2. การวิเคราะห์ระหว่างพนักงาน (between appraisers)

1) การวิเคราะห์ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงาน

จากผลการวิเคราะห์ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงานของพนักงานทั้ง 3 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.3 พบว่ามีประสิทธิผล เท่ากับ 86.67%

ความความพ้องกันของค่าการวัด

$$= \frac{\text{จำนวนครั้งที่พนักงานตรวจสอบ ได้ผลเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}} \times 100 \quad (4.3)$$

2) การวิเคราะห์ความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงาน

จากผลการวิเคราะห์ความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงานของพนักงานทั้ง 3 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.4 พบว่ามีประสิทธิผล เท่ากับ 86.67%

ความพ้องกันและถูกต้องของค่าการวัด

$$= \frac{\text{จำนวนครั้งที่พนักงานทุกคนตรวจสอบ ได้ถูกต้องเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}} \times 100 \quad (4.4)$$

จะเห็นได้ว่า จากผลการวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย พบว่าผลที่ได้ต่ำกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือ 100% ดังนั้น จึง

ทำการฝึกอบรมพนักงานใหม่พร้อมทั้งทำการประเมินผลที่ได้จากการตรวจสอบชิ้นงานหลังทำการอบรม

หลังจากการอบรมพนักงานและทำการประเมินความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัด ได้ผลการประเมินจากการตรวจสอบ ด้วยโปรแกรม Minitab ดังรูปที่ 4.2

ภายหลังการฝึกอบรมพนักงานตรวจสอบใหม่ จากรูปที่ 4.2 สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย ได้ดังนี้

1. การวิเคราะห์พนักงานแต่ละคน

1) การวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำ หรือ รีพีทะบิลิตี้ของพนักงานแต่ละคน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.1 ดังนั้น ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานคนที่ 1-3 หลังการฝึกอบรมพนักงาน มีดังต่อไปนี้

$$\text{พนักงานคนที่ 1} = 100\%$$

$$\text{พนักงานคนที่ 2} = 100\%$$

$$\text{พนักงานคนที่ 3} = 100\%$$

2) การวิเคราะห์ความถูกต้อง (ประสิทธิผล) ของการวัดของพนักงานแต่ละคน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.2 ดังนั้น ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานคนที่ 1-3 หลังการฝึกอบรมพนักงาน มีดังต่อไปนี้

$$\text{พนักงานคนที่ 1} = 100\%$$

$$\text{พนักงานคนที่ 2} = 100\%$$

$$\text{พนักงานคนที่ 3} = 100\%$$

2. การวิเคราะห์ระหว่างพนักงาน

1) การวิเคราะห์ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงาน

จากผลการวิเคราะห์ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงานของพนักงานทั้ง 3 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.3 พบว่ามีประสิทธิผล เท่ากับ 100%

2) การวิเคราะห์ความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงาน

จากผลการวิเคราะห์ความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงานของพนักงานทั้ง 3 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.4 พบว่ามี ประสิทธิผล เท่ากับ 100%

ภายหลังจากการอบรมพนักงาน พบว่า ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ ได้คือ 100% ดังนั้น

ระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย มีความสามารถในการตรวจสอบข้อบกพร่องที่เชื่อถือได้

Attribute Agreement Analysis for data (After)						
Within Appraisers						
Assessment Agreement						
Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI		
1	30	30	100.00	(90.50, 100.00)		
2	30	30	100.00	(90.50, 100.00)		
3	30	30	100.00	(90.50, 100.00)		
# Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.						
Each Appraiser vs Standard						
Assessment Agreement						
Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI		
1	30	30	100.00	(90.50, 100.00)		
2	30	30	100.00	(90.50, 100.00)		
3	30	30	100.00	(90.50, 100.00)		
# Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with the known standard.						
Assessment Disagreement						
Appraiser	# S / NS	Percent	# NS / S	Percent	# Mixed	Percent
1	0	0.00	0	0.00	0	0.00
2	0	0.00	0	0.00	0	0.00
3	0	0.00	0	0.00	0	0.00
# S / NS: Assessments across trials = S / standard = NS.						
# NS / S: Assessments across trials = NS / standard = S.						
# Mixed: Assessments across trials are not identical.						
Between Appraisers						
Assessment Agreement						
# Inspected	# Matched	Percent	95% CI			
30	30	100.00	(90.50, 100.00)			
# Matched: All appraisers' assessments agree with each other.						
All Appraisers vs Standard						
Assessment Agreement						
# Inspected	# Matched	Percent	95% CI			
30	30	100.00	(90.50, 100.00)			
# Matched: All appraisers' assessments agree with the known standard.						

รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัด โดยโปรแกรม Minitab (หลังการฝึกอบรมพนักงานตรวจสอบใหม่)

4.1.2 การวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

การวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มซึ่งเป็นข้อมูลแบบลักษณะ (Attribute Data) นั้นจะตรวจสอบงานบันทึกข้อมูลที่ระบุว่าจะเสียจากกระบวนการทดสอบ นำมา

ตรวจสอบลักษณะของข้อบกพร่องด้วยสายตาว่าเป็นข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มหรือไม่ โดยมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ดังนี้

1. คัดเลือกทีมงานผู้ชำนาญการเพื่อทำการแยกลักษณะของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นบนงานบันทึกข้อมูลว่าเป็นข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มหรือไม่ พร้อมทั้งฝึกอบรมพนักงานที่ทำการตรวจสอบชิ้นงานให้ทราบว่า ข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มและที่ใช่ข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มเป็นลักษณะใด

2. ทำการสุ่มเลือกชิ้นงานที่ใช้ในการตรวจสอบทั้งหมด 30 ชิ้นงาน โดยจะแยกเป็นข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม 10 ชิ้นงาน แบบก้ำกึ่ง 10 ชิ้นงาน และแบบที่ไม่ใช่ข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม 10 ชิ้นงาน โดยแสดงลักษณะข้อบกพร่องทั้ง 3 แบบ ดังแสดงในตารางที่ 4.6

3. สุ่มเลือกผู้ชำนาญการ ทำการประเมินลักษณะข้อบกพร่องว่าใช่ (C = Cluster) หรือไม่ใช่ (NC = Not Cluster) ข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม แล้วบันทึกผลเพื่อนำมาใช้เป็นมาตรฐานในการตรวจสอบ

4. สุ่มเลือกพนักงานที่ผ่านการฝึกอบรมมา 3 คน โดยกำหนดเป็นเพศชาย อายุตั้งแต่ 25 – 35 ปี เพื่อตรวจสอบลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นบนงานบันทึกข้อมูล คนละ 3 ครั้ง โดยทำการสลับแม่แบบและสลับลำดับการตรวจสอบของพนักงาน

5. บันทึกผลที่ได้จากการตรวจสอบข้อบกพร่องของพนักงานทั้ง 3 คนว่าใช่ (C) หรือไม่ใช่ (NC) (ดังตารางที่ 4.7) เพื่อทำการวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัดตามแบบข้อมูลลักษณะ โดยมีข้อกำหนดการยอมรับของระบบการวัดดังตารางที่ 4.5

จากตารางที่ 4.5 ข้อกำหนดการยอมรับของระบบการวัดนั้น ระบุการยอมรับที่ 100% เนื่องจากข้อบกพร่องแต่ละประเภทมีสาเหตุของการเกิดแตกต่างกัน ดังนั้นการแก้ไขจึงแตกต่างกันด้วย ถ้าพนักงานตรวจสอบทำการระบุชนิดของข้อบกพร่องผิดไปอาจทำให้แก้ไขปัญหามีสอดคล้องกับสาเหตุที่แท้จริงได้

ตารางที่ 4.5 ข้อกำหนดการยอมรับของระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

ดัชนี	เกณฑ์การยอมรับ
เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานแต่ละคน	100%
เปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงานแต่ละคน	100%
เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ	100%
เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ	100%

ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

ลักษณะข้อบกพร่อง	รูปภาพ
ข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม	
ข้อบกพร่องแบบก้ำกึ่งที่ใช้เป็นประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม	
ข้อบกพร่องแบบก้ำกึ่งที่ไม่ใช่ประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม	

สิ่ง ตัว อย่าง	คุณภาพ งาน ที่แท้จริง	พนักงาน ตรวจสอบคนที่ 1			พนักงาน ตรวจสอบคนที่ 2			พนักงาน ตรวจสอบคนที่ 3			ตรวจสอบ ได้ เหมือนกัน ทุกครั้ง และทุกคน	ตรวจสอบ ได้ เหมือนกัน อย่าง ถูกต้อง ทุกคน
		1	2	3	1	2	3	1	2	3		
29	C	NC	C	C	C	C	C	C	C	NC	N	N
30	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	Y	Y

จากผลการตรวจสอบระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม แสดงในตารางที่ 4.7 พบว่า ชิ้นงานตัวอย่างทั้งหมด 30 ชิ้น มี 3 ชิ้นงาน คือ ชิ้นงานที่ 22 27 และ 29 ที่พนักงานทั้ง 3 คน มีผลการตรวจสอบที่แตกต่างกันและแตกต่างจากมาตรฐานของการตรวจสอบ

จากรูปที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัดด้วยโปรแกรม Minitab โดยสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม ได้ดังนี้

1. การวิเคราะห์พนักงานแต่ละคน

1) การวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำ หรือ รีพีทะบิลิตีของพนักงานแต่ละคน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.1 ดังนั้น ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานคนที่ 1-3 มีดังต่อไปนี้

พนักงานคนที่ 1 = 90%

พนักงานคนที่ 2 = 100%

พนักงานคนที่ 3 = 96.67%

2) การวิเคราะห์ความถูกต้อง (ประสิทธิผล) ของการวัดของพนักงานแต่ละคน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.2 ดังนั้น ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานคนที่ 1-3 มีดังต่อไปนี้

พนักงานคนที่ 1 = 90%

พนักงานคนที่ 2 = 100%

พนักงานคนที่ 3 = 96.67%

Attribute Agreement Analysis for data					
Within Appraisers					
Assessment Agreement					
Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI	
1	30	27	90.00	(73.47, 97.89)	
2	30	30	100.00	(90.50, 100.00)	
3	30	29	96.67	(82.78, 99.92)	
# Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.					
Each Appraiser vs Standard					
Assessment Agreement					
Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI	
1	30	27	90.00	(73.47, 97.89)	
2	30	30	100.00	(90.50, 100.00)	
3	30	29	96.67	(82.78, 99.92)	
# Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with the known standard.					
Assessment Disagreement					
Appraiser	# NC / C	Percent	# C / NC	Percent	# Mixed
1	0	0.00	0	0.00	3 10.00
2	0	0.00	0	0.00	0 0.00
3	0	0.00	0	0.00	1 3.33
# NC / C: Assessments across trials = NC / standard = C.					
# C / NC: Assessments across trials = C / standard = NC.					
# Mixed: Assessments across trials are not identical.					
Between Appraisers					
Assessment Agreement					
# Inspected	# Matched	Percent	95% CI		
30	27	90.00	(73.47, 97.89)		
# Matched: All appraisers' assessments agree with each other.					
All Appraisers vs Standard					
Assessment Agreement					
# Inspected	# Matched	Percent	95% CI		
30	27	90.00	(73.47, 97.89)		
# Matched: All appraisers' assessments agree with the known standard.					

รูปที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัด โดยโปรแกรม Minitab

2. การวิเคราะห์ระหว่างพนักงาน

1) การวิเคราะห์ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงาน

จากผลการวิเคราะห์ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงานของพนักงานทั้ง 3 สามารถคำนวณได้จากสมการ 4.3 พบว่ามี ประสิทธิภาพ เท่ากับ 90%

2) การวิเคราะห์ความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงาน

จากผลการวิเคราะห์ความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงานของพนักงานทั้ง 3 สามารถคำนวณได้จากสมการ 4.4 พบว่ามี ประสิทธิภาพ เท่ากับ 90%

จะเห็นได้ว่า จากผลการวิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงของระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม พบว่าผลที่ได้ต่ำกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือ 100% ดังนั้น จึงทำการฝึกอบรมพนักงานใหม่พร้อมทั้งทำการประเมินผลที่ได้จากการตรวจสอบชิ้นงานหลังทำการอบรม

หลังจากการฝึกอบรมพนักงานและทำการประเมินความแม่นยำและเที่ยงของระบบการวัด ได้ผลการประเมินที่ได้จากการตรวจสอบ ซึ่งพิจารณาได้จากผล Minitab ดังรูปที่ 4.4

ภายหลังการอบรมพนักงานตรวจสอบใหม่ จากรูปที่ 4.4 สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม ได้ดังนี้

1. การวิเคราะห์พนักงานแต่ละคน

1) การวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำ หรือ รีพิทเทบิลิตีของพนักงานแต่ละคน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.1 ดังนั้น ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานคนที่ 1-3 หลังการฝึกอบรมพนักงาน มีดังต่อไปนี้

$$\text{พนักงานคนที่ 1} = 100\%$$

$$\text{พนักงานคนที่ 2} = 100\%$$

$$\text{พนักงานคนที่ 3} = 100\%$$

2) การวิเคราะห์ความถูกต้อง (ประสิทธิภาพ) ของการวัดของพนักงานแต่ละคน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.2 ดังนั้น ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานคนที่ 1-3 หลังการฝึกอบรมพนักงาน มีดังต่อไปนี้

$$\text{พนักงานคนที่ 1} = 100\%$$

$$\text{พนักงานคนที่ 2} = 100\%$$

$$\text{พนักงานคนที่ 3} = 100\%$$

2. การวิเคราะห์ระหว่างพนักงาน

1) การวิเคราะห์ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงาน

จากผลการวิเคราะห์ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงานของพนักงานทั้ง 3 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.3 พบว่ามี ประสิทธิภาพ เท่ากับ 100%

2) การวิเคราะห์ความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงาน

จากผลการวิเคราะห์ความฟุ้งกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงานของพนักงานทั้ง 3 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.4 พบว่ามี ประสิทธิภาพ เท่ากับ 100%

ภายหลังจากการฝึกอบรมพนักงาน พบว่า ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือ 100% ดังนั้น ระบบการวัดของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม มีความสามารถในการตรวจสอบข้อบกพร่องที่เชื่อถือได้

Attribute Agreement Analysis for data (After)

Within Appraisers

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
1	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
2	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
3	30	30	100.00	(90.50, 100.00)

Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

Each Appraiser vs Standard

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
1	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
2	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
3	30	30	100.00	(90.50, 100.00)

Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with the known standard.

Assessment Disagreement

Appraiser	# NC / C	Percent	# C / NC	Percent	# Mixed	Percent
1	0	0.00	0	0.00	0	0.00
2	0	0.00	0	0.00	0	0.00
3	0	0.00	0	0.00	0	0.00

NC / C: Assessments across trials = NC / standard = C.
 # C / NC: Assessments across trials = C / standard = NC.
 # Mixed: Assessments across trials are not identical.

Between Appraisers

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
30	30	100.00	(90.50, 100.00)

Matched: All appraisers' assessments agree with each other.

All Appraisers vs Standard

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
30	30	100.00	(90.50, 100.00)

Matched: All appraisers' assessments agree with the known standard.

รูปที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัด โดยโปรแกรม Minitab (หลังการฝึกอบรมพนักงานตรวจสอบใหม่)

4.2 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ

ความสามารถของกระบวนการ คือ ความแปรผันของกระบวนการโดยวัดจากผลที่ได้จากกระบวนการว่ามีความแปรผันสูงหรือต่ำ ซึ่งการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการนั้น จะจำแนกผลของความแปรผันออกเป็น 2 ประเภท คือ ความแปรผันระยะสั้น และความแปรผันระยะยาว ดังจะหาได้จากการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย และรอยจุดเป็นกลุ่ม ดังนี้

4.2.1 ข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลย้อนหลังของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยเป็นเวลา 1 ปี ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2555 ถึงเดือน มิถุนายน พ.ศ. 2556 พบว่า สัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.03% หรือ 0.0603 ดังแสดงในรูปที่ 4.5

จากข้อมูลเบื้องต้นนี้ สามารถคำนวณพิกัดค่าจำกัดเฉพาะระยะยาวและระยะสั้น (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2549) ได้จากสมการที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ ดังนี้

$$Z_{LT} \text{ คือ ค่า } Z^* \text{ ที่ได้จากสมการ} \quad P(Z < Z^*) = 1 - \bar{P} \quad (4.5)$$

$$Z_{ST} = Z_{LT} + 1.5 \quad (4.6)$$

เมื่อ Z_{LT} = พิกัดค่าจำกัดเฉพาะระยะยาว

Z_{ST} = พิกัดค่าจำกัดเฉพาะระยะสั้น

\bar{P} = สัดส่วนของเสียเฉลี่ยของข้อบกพร่อง

ดังนั้น ค่าพิกัดข้อจำกัดเฉพาะของสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย เท่ากับ

$$Z_{LT} \text{ คือ ค่า } Z^* \text{ ที่ได้จากสมการ} \quad Z_{LT} = P(Z < Z^*) = 1 - 0.0603$$

$$\text{จะได้} \quad Z_{LT} = 1.55$$

$$\text{และ} \quad Z_{ST} = 1.55 + 1.5 = 3.05$$

สามารถคำนวณดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการแบบระยะสั้นและระยะยาวได้จากสมการที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ ดังนี้

$$C_{pk} = \frac{1}{3} \times Z_{ST} \quad (4.7)$$

$$P_{pk} = \frac{1}{3} \times Z_{LT} \quad (4.8)$$

เมื่อ C_{pk} = ดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการแบบระยะสั้น

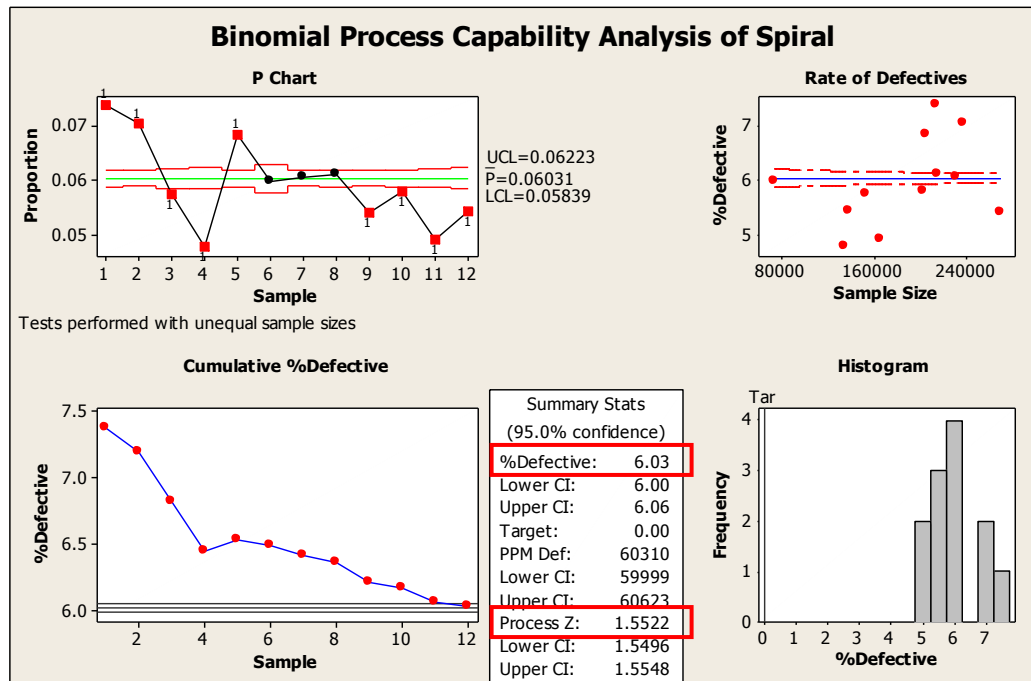
P_{pk} = ดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการแบบระยะยาว

ดังนั้น ค่าดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการแบบระยะสั้นและแบบระยะยาวของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย เท่ากับ

$$C_{pk} = \frac{1}{3} \times 3.05 = 1.017$$

และ
$$P_{pk} = \frac{1}{3} \times 1.55 = 0.52$$

เมื่อพิจารณาค่า C_{pk} และ P_{pk} ของกระบวนการนี้ เทียบกับค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ นั่นก็คือ C_{pk} มากกว่าหรือเท่ากับ 1.33 และ P_{pk} มากกว่าหรือเท่ากับ 1.67 (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2549) พบว่า ทั้ง C_{pk} และ P_{pk} นี้ยังต่ำกว่าค่าเกณฑ์มาตรฐาน จึงจำเป็นต้องปรับปรุงกระบวนการให้ดีขึ้น



รูปที่ 4.5 Process capability analysis ของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย
ก่อนการปรับปรุงกระบวนการ

4.2.2 ข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลย้อนหลังของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มเป็นเวลา 1 ปี ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2555 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2555 พบว่า สัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทนี้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.53% หรือ 0.0253 ดังแสดงในรูปที่ 4.6

จากข้อมูลเบื้องต้นนี้ สามารถคำนวณพิกัดข้อกำหนดเฉพาะระยะยาวและระยะสั้นได้จากสมการที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ ดังนี้

$$Z_{LT} \text{ คือ ค่า } Z^* \text{ ที่ได้จากสมการ} \quad P(Z < Z^*) = 1 - 0.0253$$

$$\text{จะได้} \quad Z_{LT} = 1.96$$

$$\text{และ} \quad Z_{ST} = 1.96 + 1.5 = 3.46$$

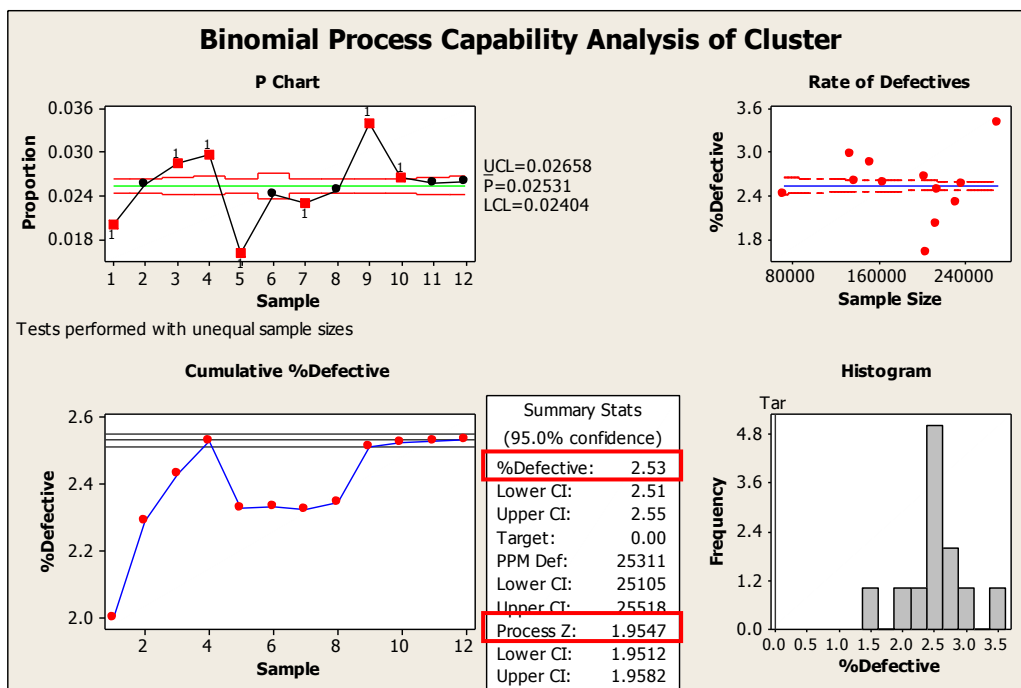
ดังนั้น ค่าดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการแบบระยะสั้นและแบบระยะยาวของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม เท่ากับ

และ

$$C_{pk} = \frac{1}{3} \times 3.46 = 1.15$$

$$P_{pk} = \frac{1}{3} \times 1.96 = 0.65$$

เมื่อพิจารณาค่าของ C_{pk} และ P_{pk} ของกระบวนการนี้ เทียบกับค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ นั่นก็คือ C_{pk} มากกว่าหรือเท่ากับ 1.33 และ P_{pk} มากกว่าหรือเท่ากับ 1.67 (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2549) พบว่า ทั้ง C_{pk} และ P_{pk} นี้ยังต่ำกว่าค่าเกณฑ์มาตรฐาน จึงจำเป็นต้องปรับปรุงกระบวนการให้ดีขึ้น



รูปที่ 4.6 Process capability analysis ของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มก่อนการปรับปรุงกระบวนการ

4.3 การวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยนำเข้า

4.3.1 การระบุปัจจัยนำเข้าโดยใช้ผังสาเหตุและผล

แผนผังสาเหตุและผลของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มเกิดจากการระดมสมองเพื่อหาสาเหตุของปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหาของคณะทีมงานวิจัยที่มีความเชี่ยวชาญในกระบวนการผลิตนั้นๆทั้งหมด 6 คน โดยมีการจำแนกปัจจัยเป็น 6 กลุ่ม คือ ปัจจัยที่เกิดจากคน

เครื่องจักร วัสดุคืบ วิธีการ การวัด และสิ่งแวดล้อม จากการระดมสมองนี้จะได้ฝั่งสาเหตุและผลของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่ม ดังรูปที่ 4.7 และ 4.8

4.3.2 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล

จากข้อมูลในรูปที่ 4.7 และ 4.8 จึงแสดงสาเหตุที่เกิดจากปัจจัยต่างๆที่อาจจะส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องทั้งสองประเภท มาวิเคราะห์หาสาเหตุที่ส่งผลกระทบมากที่สุดต่อข้อบกพร่องทั้ง 2 ชนิด โดยการให้คะแนนของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 6 คน โดยคะแนนจะมีค่าระหว่างที่ 1-10 ดังตารางที่ 4.8 และตารางที่ 4.9 และจะนำคะแนนที่ได้มาคูณกับค่าคงที่ 10 สำหรับอัตราความสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสาเหตุนั้นๆ

ตารางที่ 4.8 เกณฑ์การให้คะแนนความสำคัญของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

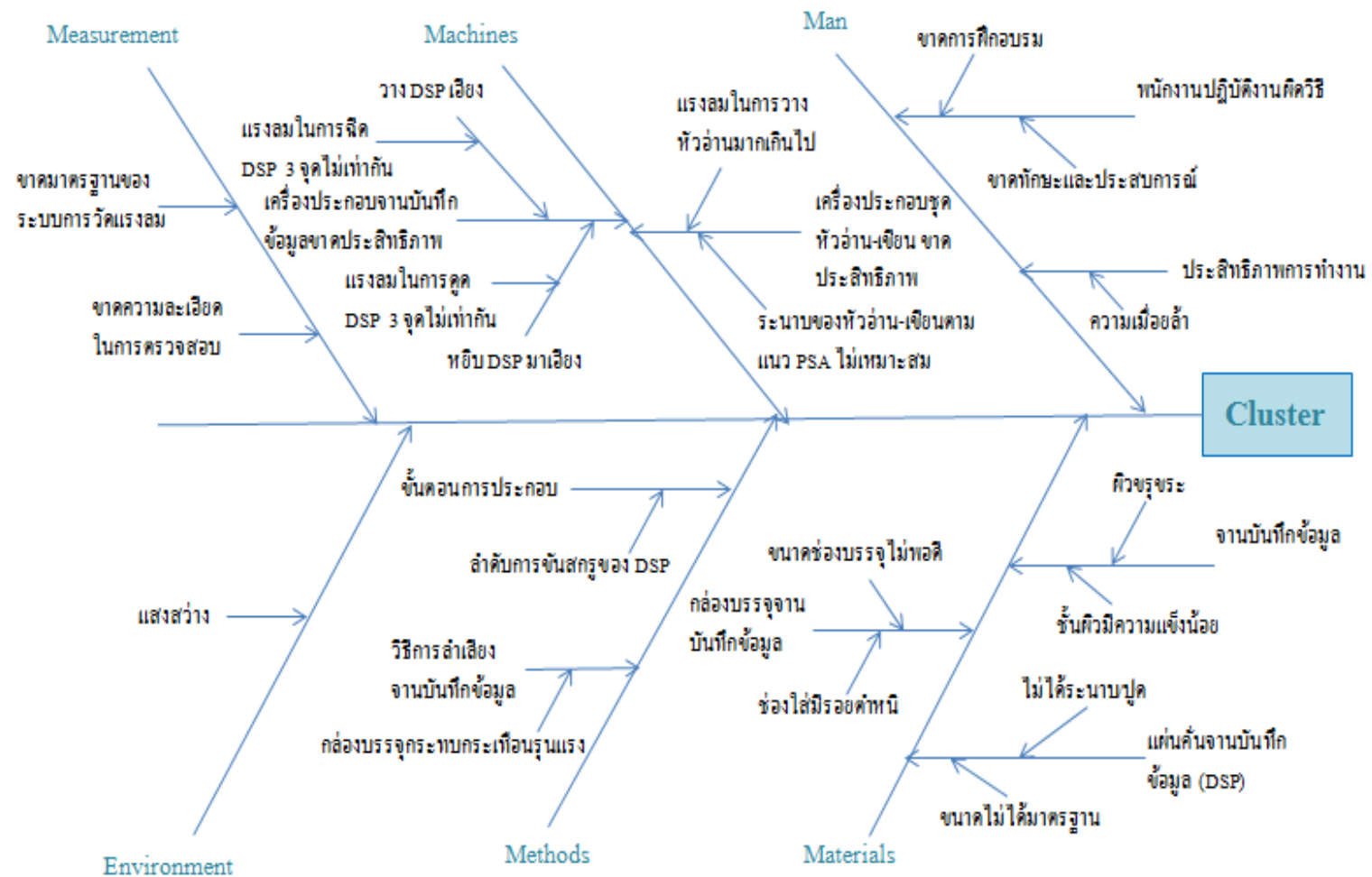
เกณฑ์การให้คะแนน	ความสำคัญ
0	ไม่มีความสำคัญต่อการเกิดรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย
1-3	มีความสำคัญต่อการเกิดรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยน้อย
4-6	มีความสำคัญต่อการเกิดรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยปานกลาง
7-10	มีความสำคัญต่อการเกิดรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยมากถึงมากที่สุด

ตารางที่ 4.9 เกณฑ์การให้คะแนนความสำคัญของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

เกณฑ์การให้คะแนน	ความสำคัญ
0	ไม่มีความสำคัญต่อการเกิดรอยจุดเป็นกลุ่ม
1-3	มีความสำคัญต่อการเกิดรอยจุดเป็นกลุ่มน้อย
4-6	มีความสำคัญต่อการเกิดรอยจุดเป็นกลุ่มปานกลาง
7-10	มีความสำคัญต่อการเกิดรอยจุดเป็นกลุ่มมากถึงมากที่สุด

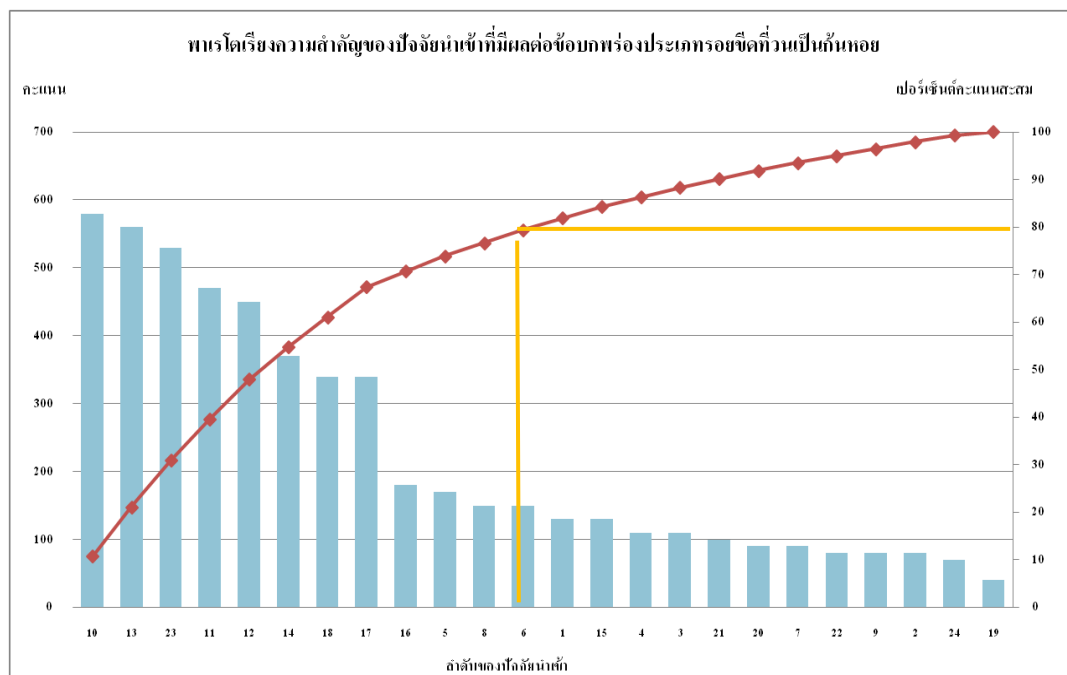


รูปที่ 4.7 ฟังสาเหตุและผลของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย



รูปที่ 4.8 ฟังสาเหตุและผลของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

จากการรวบรวมความคิดเห็นของทีมงานผู้เชี่ยวชาญพบว่า มีปัจจัยที่อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยจำนวน 24 ปัจจัย ดังนั้นจึงมีการนำปัจจัยทั้งหมดนี้มาทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมโดยอาศัยการให้คะแนนตามหลักของตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล เพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่มีความสำคัญที่สุดที่ก่อให้เกิดข้อบกพร่องชนิดนี้ โดยการลงคะแนนนี้จะมีทีมงานผู้เชี่ยวชาญทั้ง 6 ท่านเป็นผู้ลงคะแนน ซึ่งผลที่ได้จากการลงคะแนนจะแสดงดังตารางที่ ก. 1 จะเห็นได้ว่า ปัจจัยที่ได้คะแนนมากที่สุด คือ ระยะเวลาระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูล ได้คะแนนเท่ากับ 580 คะแนน รองลงมาคือ รูปแบบของกล่องบรรจุไม่เหมาะสม และเศษฝุ่นในสายการผลิตประกอบ ได้คะแนนเท่ากับ 560 และ 530 คะแนน ตามลำดับ และปัจจัยที่ได้คะแนนน้อยที่สุดคือ ความเร็วในการทำ load/unload สูงเกินไป ได้คะแนน เท่ากับ 40 คะแนน



รูปที่ 4.9 พารามิเตอร์เรียงความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

เมื่อนำปัจจัยทั้งหมดมาเรียงตามลำดับความสำคัญจากมากไปหาน้อยดังแสดงในรูปที่ 4.9 พบว่า มีปัจจัยทั้งหมด 12 ปัจจัย ที่มีคะแนนรวมกันมากกว่า 80% ของคะแนนทั้งหมด ที่คาดว่ามีความสัมพันธ์กับการเกิดรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยขึ้น โดยรายละเอียดของแต่ละปัจจัยจะสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ปัจจัยที่ 10 ได้แก่ ระยะเวลาระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูล

การเสียดสีระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูล เกิดจากระยะระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูลมีน้อยมาก ทำให้เกิดการเสียดสีขึ้น การเสียดสีเป็นผลทำให้เกิดเศษฝุ่นหรือเศษโลหะขึ้นในกระบวนการประกอบ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยขึ้น

2. ปัจจัยที่ 13 ได้แก่ รูปแบบของกล่องบรรจุฝาครอบไม่เหมาะสม ทำให้เกิดการเสียดสีกันระหว่างกล่องบรรจุกับตัวฝาครอบเอง

วัสดุที่ใช้ในการทำกล่องบรรจุฝาครอบเป็นสารประเภทพลาสติก เมื่อเกิดการกระทบหรือเสียดสีกับตัวฝาครอบที่เป็นโลหะและมีความคมสูง อาจส่งผลให้เกิดเศษฝุ่นขึ้นภายในกล่องบรรจุและไปติดที่แผ่นงานบันทึกข้อมูล เมื่อมีการทดสอบหรือมีการอ่าน-เขียนข้อมูลอาจทำให้เศษฝุ่นพวกนั้นติดที่หัวอ่านและเกิดเป็นรอยขีดข่วนได้

3. ปัจจัยที่ 23 ได้แก่ เศษฝุ่นในสายการประกอบ

เนื่องจากในสายการผลิตประกอบมีทั้งพนักงาน เครื่องจักรและอุปกรณ์จำนวนมาก แม้ว่าจะมีการทำความสะอาดอยู่เสมอก็อาจไม่สามารถกำจัดเศษฝุ่นได้ทั้งหมด ทั้งเศษฝุ่นที่เกิดจากตัวพนักงาน เศษฝุ่นจากการผลิตและเศษฝุ่นที่เกิดในกระบวนการ

4. ปัจจัยที่ 11 ได้แก่ ความถี่ในการทำความสะอาดเครื่องประกอบงานบันทึกข้อมูล

เนื่องจากสายการผลิตมีการผลิตที่มากต่อวัน จึงอาจทำให้เกิดเศษฝุ่นสะสมในเครื่องจักรจำนวนมากทั้งที่เกิดจากการเสียดสี เกิดจากฝุ่นละอองภายในห้อง และฝุ่นเหล่านี้อาจทำให้เกิดข้อบกพร่องต่างๆบนงานบันทึกข้อมูล

5. ปัจจัยที่ 12 ได้แก่ ฝาครอบมีความคมมากเกินไป

ฝาครอบเป็นอุปกรณ์หนึ่งในส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ฝาครอบจะเป็นอุปกรณ์ปิดอยู่ข้างบนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เพื่อป้องกันฝุ่นละอองเข้าไปสู่ภายใน ถ้าตัวฝาครอบมีความคมมาก ในกระบวนการล้าง อาจทำให้ ฝาครอบไปเสียดสีกับกล่องบรรจุแล้วเกิดฝุ่นละอองขึ้นได้

6. ปัจจัยที่ 14 ได้แก่ ระยะยกตัวของชุดหัวอ่าน-เขียนต่ำ

ระยะยกตัวของชุดหัวอ่านเขียนมีผลต่อการอ่านข้อมูลและการเกิดข้อบกพร่องบนงานบันทึกข้อมูลด้วย และถ้าระยะยกตัวต่ำ เมื่อมีเศษฝุ่นหรือรอยบุบบนงานบันทึกข้อมูลจะทำให้หัวอ่าน-เขียนข้อมูลลากเศษฝุ่นไปด้วยทำให้เกิดข้อบกพร่องขึ้นได้ที่งานบันทึกข้อมูล

7. ปัจจัยที่ 18 ได้แก่ มีการทดสอบ load/unload มากไป

เมื่อมีการทดสอบการ seek เข้า-ออกของหัวอ่านเขียนระหว่างบริเวณที่ใช้จัดหัวอ่าน-เขียนและบริเวณที่อ่าน-เขียนข้อมูล ถ้ามีการทดสอบวิธีการนี้มากเกิดไป อาจเกิดกรณีที่หัวอ่านเขียนไปจุดที่งานบันทึกข้อมูลเกิดเป็นข้อบกพร่องได้

8. ปัจจัยที่ 17 ได้แก่ มีเศษฝุ่นติดอยู่ที่หัวอ่าน-เขียนขณะทดสอบประสิทธิภาพของงานบันทึกข้อมูลที่โรงงานผลิต

ในการทดสอบงานบันทึกข้อมูลที่โรงงานผลิตจะมีการทำการอ่าน-เขียนข้อมูลเพื่อทดสอบการใช้งานของงานบันทึกข้อมูล 100% ของจำนวนงานบันทึกข้อมูลทั้งหมดที่ผลิต และถ้ามีเศษฝุ่นติดที่หัวอ่าน-เขียนอาจส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องขึ้นที่งานบันทึกข้อมูล

9. ปัจจัยที่ 16 ได้แก่ ชั้นผิวของงานบันทึกข้อมูลมีความแข็งน้อย

เนื่องจากชั้นผิวของงานบันทึกข้อมูลมีผลต่อความแข็งของงานบันทึกข้อมูลและโอกาสที่จะทำให้เกิดข้อบกพร่องหรือรอยขีดข่วนบนงานบันทึกข้อมูล

10. ปัจจัยที่ 5 ได้แก่ ค่าแรงบิดในการขันสกรูไม่เหมาะสม

ในการขันสกรูบนแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลนั้น ส่วนมากจะเป็นการขันด้วยเครื่องจักรเกือบทั้งหมด ถ้ามีการตั้งค่าแรงบิดที่ไม่พอดี อาจทำให้ทอร์คพลาดไปสัมผัสกับงานบันทึกข้อมูลแล้วเกิดข้อบกพร่องขึ้นได้

11. ปัจจัยที่ 8 ได้แก่ ความถี่ในการทำความสะอาดเครื่องประกอบชุดหัวอ่าน-เขียนน้อยไป

เนื่องจากสายการผลิตมีการผลิตที่มากต่อวัน จึงอาจทำให้เกิดเศษฝุ่นสะสมในเครื่องจักรจำนวนมากทั้งที่เกิดจากการเสียดสี เกิดจากฝุ่นละอองภายในห้อง และฝุ่นเหล่านี้ก็ทำให้เกิดข้อบกพร่องต่างๆบนงานบันทึกข้อมูล

12. ปัจจัยที่ 6 ได้แก่ การขันสกรูด้วยความเร็วที่ไม่เหมาะสม

ในการขันสกรูบนแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลนั้น ส่วนมากจะเป็นการขันด้วยเครื่องจักรเกือบทั้งหมด ถ้ามีการตั้งค่าความเร็วที่ไม่เหมาะสมหรือขันด้วยความเร็วที่มากเกินไป อาจทำให้ทอร์คพลาดไปสัมผัสกับงานบันทึกข้อมูลแล้วเกิดข้อบกพร่องขึ้นได้

จากการวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยจากคณะผู้เชี่ยวชาญ พบว่ามีปัจจัยจำนวน 24 ปัจจัยที่อาจจะส่งผลต่อข้อบกพร่องดังกล่าว

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยร่วมด้วย พบว่ามีปัจจัยจำนวน 12 ปัจจัย ที่มีความสำคัญคิดรวมมากกว่า 80% โดยปัจจัยจำนวน 12 ปัจจัยดังกล่าว แสดงในตารางที่ 4.10 จะถูกทดสอบทางสถิติว่าเป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยต่อไป

ตารางที่ 4.10 ปัจจัยนำเข้าที่นำมาทดสอบสมมติฐานสำหรับการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

ลำดับที่	ปัจจัยนำเข้า (KPIV)
1	ระยะระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูล
2	รูปแบบของกล่องบรรจุฝาครอบ
3	เศษฝุ่นในสายการประกอบ
4	ความถี่ในการทำความสะอาดเครื่องประกอบงานบันทึกข้อมูล
5	ความถี่ในการทำความสะอาดเครื่องประกอบชุดหัวอ่าน-เขียน
6	ความคมของฝาครอบ
7	เศษฝุ่นติดอยู่ที่หัวอ่าน-เขียนขณะทดสอบประสิทธิภาพของงานบันทึกข้อมูลที่โรงงานผลิต
8	ระยะยกตัวของชุดหัวอ่าน-เขียนต่ำ
9	จำนวนการทดสอบ load/unload
10	ความเร็วในการขึ้นสกรู
11	ค่าแรงบิดในการขึ้นสกรู
12	ความแข็งของชั้นผิวของงานบันทึกข้อมูล

จากปัจจัยที่นำมาทดสอบสมมติฐานสำหรับข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยจำนวน 12 ปัจจัย ดังแสดงในตารางที่ 4.10 พบว่า ปัจจัยที่สามารถนำไปทดสอบสมมติฐานมีจำนวน 8 ปัจจัย คือ ระยะระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูล รูปแบบของกล่องบรรจุฝาครอบ ความคมของฝาครอบ ระยะยกตัวของชุดหัวอ่าน-เขียน จำนวนการทดสอบ load/unload ความเร็วในการขึ้นสกรู ค่าแรงบิดในการขึ้นสกรู และความแข็งของชั้นผิวของงานบันทึกข้อมูล และปัจจัยที่ไม่สามารถนำมาทำการทดสอบสมมติฐานมีจำนวน 4 ปัจจัย คือ เศษฝุ่นในสายการประกอบ ความถี่ในการทำความสะอาดเครื่องประกอบงานบันทึกข้อมูล ความถี่ในการทำความสะอาดเครื่องประกอบชุดหัวอ่าน-เขียน และเศษฝุ่นติดอยู่ที่หัวอ่าน-เขียนขณะทดสอบประสิทธิภาพของงานบันทึกข้อมูลที่โรงงานผลิต ซึ่งมีรายละเอียดของปัจจัยและวิธีการควบคุมปัจจัย ดังแสดงในตารางที่ 4.11 ดังนี้

ตารางที่ 4.11 รายละเอียดของปัจจัยและวิธีการควบคุมปัจจัยของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

ลำดับที่	ปัจจัย	รายละเอียดของปัจจัย	วิธีการควบคุม
1	เศษฝุ่นในสายการประกอบ	เศษฝุ่นในสายการประกอบเกิดขึ้นจากการใช้เครื่องจักรเป็นเวลานาน ส่งผลให้เศษฝุ่นเข้าไปในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และเกิดการขีดข่วนที่จานบันทึกข้อมูลได้ แต่ภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีแผ่นคูดเศษฝุ่นอยู่ภายใน มีหน้าที่คูดเศษฝุ่นที่เข้าไปฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	มีการควบคุมด้วยการทำความสะอาดสายการประกอบเป็นประจำวันละ 2 ครั้ง คือ ช่วงเช้าและช่วงกลางคืน และการทำความสะอาดทุกสัปดาห์ เพื่อลดปริมาณเศษฝุ่นที่เกิดขึ้นในสายการผลิต
2	ความถี่ในการทำความสะอาดเครื่องประกอบจานบันทึกข้อมูล	การใช้เครื่องจักรในการประกอบจานบันทึกข้อมูลเป็นเวลานาน อาจเกิดเศษฝุ่นขึ้นระหว่างกระบวนการจากการเสียดสีของจานบันทึกข้อมูลกับเครื่องประกอบ	มีการควบคุมด้วยการทำความสะอาดเครื่องประกอบจานบันทึกข้อมูลเป็นประจำวันละ 2 ครั้ง คือ ช่วงเช้าและช่วงกลางคืน และการทำความสะอาดทุกสัปดาห์ เพื่อลดปริมาณเศษฝุ่นที่เกิดขึ้นที่เครื่องประกอบจานบันทึกข้อมูล
3	ความถี่ในการทำความสะอาดเครื่องประกอบชุดหัวอ่าน-เขียน	การใช้เครื่องจักรในการประกอบชุดหัวอ่าน-เขียนเป็นเวลานาน อาจเกิดเศษฝุ่นขึ้นระหว่างกระบวนการจากการเสียดสีของชุดหัวอ่าน-เขียนกับเครื่องประกอบ	มีการควบคุมด้วยการทำความสะอาดเครื่องประกอบชุดหัวอ่าน-เขียนเป็นประจำวันละ 2 ครั้ง คือ ช่วงเช้าและช่วงกลางคืน และการทำความสะอาดทุกสัปดาห์ เพื่อลดปริมาณเศษฝุ่นที่เกิดขึ้นที่เครื่องประกอบจานบันทึกข้อมูล

ลำดับ ที่	ปัจจัย	รายละเอียดของปัจจัย	วิธีการควบคุม
4	เศษฝุ่นที่ติดที่ หัวอ่าน-เขียน ขณะทดสอบ ประสิทธิภาพ ของงานบันทึก ข้อมูล ที่โรงงานผลิต	ในการทดสอบการอ่าน-เขียน ข้อมูลของงานบันทึกข้อมูลที่ โรงงานผลิต เพื่อทดสอบ ประสิทธิภาพของงานบันทึก ข้อมูลก่อนส่งมายังโรงงาน ประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้น ถ้า ในขณะทดสอบมีเศษฝุ่นติดอยู่ที่ หัวอ่าน-เขียนอาจทำให้เกิดการขีด ข่วนบนงานบันทึกข้อมูล จำนวน รอยขีดข่วนที่มากส่งผลกระทบต่อ งานบันทึกข้อมูลมากเช่นกัน	มีการควบคุมด้วยการทำความสะอาด สภาวะเครื่องประกอบชุด หัวอ่าน-เขียนเป็นประจำวันละ 2 ครั้ง คือ ช่วงเช้าและช่วง กลางคืน

จากการรวบรวมความคิดเห็นของทีมงานผู้เชี่ยวชาญพบว่า มีปัจจัยที่อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มอยู่ทั้งหมด 18 ปัจจัย ดังนั้นจึงมีการนำปัจจัยทั้งหมดนี้มาทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมโดยอาศัยการให้คะแนนตามหลักของตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล เพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่มีความสำคัญที่สุดที่ก่อให้เกิดข้อบกพร่องชนิดนี้ โดยการลงคะแนนนี้จะมีทีมงานผู้เชี่ยวชาญทั้ง 6 ท่านเป็นผู้ลงคะแนน ซึ่งผลที่ได้จากการลงคะแนนจะแสดงดังตารางที่ ก. 2 จะเห็นได้ว่า ปัจจัยที่ได้คะแนนมากที่สุด คือ แรงลมในการฉีดแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลทั้ง 3 จุดไม่เท่ากัน ได้คะแนนเท่ากับ 590 คะแนน รองลงมาคือ แรงลมในการดูดแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลทั้ง 3 จุดไม่เท่ากัน และแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลไม่ได้ระนาบ/ปูด ได้คะแนนเท่ากับ 580 และ 550 คะแนน ตามลำดับ และปัจจัยที่ได้คะแนนน้อยที่สุดคือ ปัจจัยแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลขนาดไม่ได้มาตรฐาน ได้คะแนนเท่ากับ 40 คะแนน

เมื่อนำปัจจัยทั้งหมดมาเรียงตามลำดับความสำคัญจากน้อยไปหามากดังแสดงในรูปที่ 4.10 พบว่า มีปัจจัยทั้งหมด 8 ปัจจัย ที่มีคะแนนรวมกันมากกว่า 80% ของคะแนนทั้งหมด ที่คาดว่ามีความสัมพันธ์กับการเกิดรอยจุดเป็นกลุ่มขึ้น โดยรายละเอียดของแต่ละปัจจัยจะสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ปัจจัยที่ 5 ได้แก่ แรงลมในการฉีดวางแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลทั้ง 3 จุดไม่เท่ากัน

ในการวางแผนค้นงานบันทึกข้อมูลเพื่อนำไปประกอบ เครื่องจะนำตัวหีบค้อยๆหย่อน แผ่นค้นงานบันทึกข้อมูลลงบนงานบันทึกข้อมูล เมื่อถึงระยะหนึ่งจะใช้แรงลมในการฉีดแผ่นค้นงานบันทึกข้อมูลเพื่อวางลงบนงานบันทึกข้อมูล โดยที่แรงลมที่ฉีดทั้ง 3 จุดนั้น ถ้ามีความแรงไม่เท่ากันจะทำให้แผ่นค้นงานบันทึกข้อมูลที่วางลงไปไม่ได้ระนาบและเกิดการกระทบกระเทือนหรือเสียดสีได้

2. ปัจจัยที่ 4 ได้แก่ แรงลมในการดูดหีบแผ่นค้นงานบันทึกข้อมูลทั้ง 3 จุดไม่เท่ากัน

ในการหีบแผ่นค้นงานบันทึกข้อมูลเพื่อนำไปประกอบ เครื่องจะนำตัวหีบค้อยๆหย่อนลงมาที่แผ่นค้นงานบันทึกข้อมูลทีละระยะหนึ่ง หลังจากนั้นจะใช้แรงลมในการดูดแผ่นค้นงานบันทึกข้อมูลไปยังตัวหีบ โดยแรงลมนี้จะมีทั้งหมด 3 จุด เพื่อให้แผ่นค้นงานบันทึกข้อมูลได้ระนาบและไม่เอียง แต่ถ้าแรงลมทั้ง 3 จุดของแผ่นค้นงานบันทึกข้อมูลไม่เท่ากันแผ่นค้นงานบันทึกข้อมูลที่ได้ก็จะไม่ได้ระนาบ เมื่อนำไปวางบนงานบันทึกข้อมูลอาจทำให้เกิดการกระทบหรือเกิดรอยขึ้นได้

3. ปัจจัยที่ 12 ได้แก่ แผ่นค้นงานบันทึกข้อมูลไม่ได้ระนาบหรือปูด

แผ่นค้นงานบันทึกข้อมูลที่ไม่ได้ระนาบหรือมีรอยปูดขึ้นนั้น เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดรอยจุดเป็นกลุ่มขึ้นบนงานบันทึกข้อมูลได้ เนื่องจากระนาบหรือรอยปูดนั้นอาจส่งผลให้เกิดการกระทบกระเทือนกับงานบันทึกข้อมูลแล้วเกิดข้อบกพร่องขึ้นได้

4. ปัจจัยที่ 8 ได้แก่ ลำดับการขันสกรูของแผ่นค้นงานบันทึกข้อมูล

หลังจากการใช้แรงลมในการฉีดเพื่อวางแผ่นค้นงานบันทึกข้อมูลแล้ว ก็มีการขันสกรูเพื่อยึดแผ่นค้นงานบันทึกข้อมูลกับงานบันทึกข้อมูล โดยการขันสกรูบนแผ่นค้นงานบันทึกข้อมูลจะมีทั้งหมด 3 รู ดังนั้นลำดับในการขันสกรูจึงมีความจำเป็นมาก เพื่อหลีกเลี่ยงการกระทบกระเทือนและแรงกระแทกที่เกิดขึ้นบนงานบันทึกข้อมูลให้น้อยที่สุด

5. ปัจจัยที่ 11 ได้แก่ ชั้นผิวของงานบันทึกข้อมูลมีความแข็งน้อย

เนื่องจากชั้นผิวของงานบันทึกข้อมูลมีผลต่อความแข็งของงานบันทึกข้อมูลและโอกาสที่จะทำให้เกิดข้อบกพร่องหรือรอยขีดข่วนบนงานบันทึกข้อมูล

6. ปัจจัยที่ 7 ได้แก่ ระยะเวลาของหัวอ่าน-เขียนตามแนวแกนตั้งไม่เหมาะสม

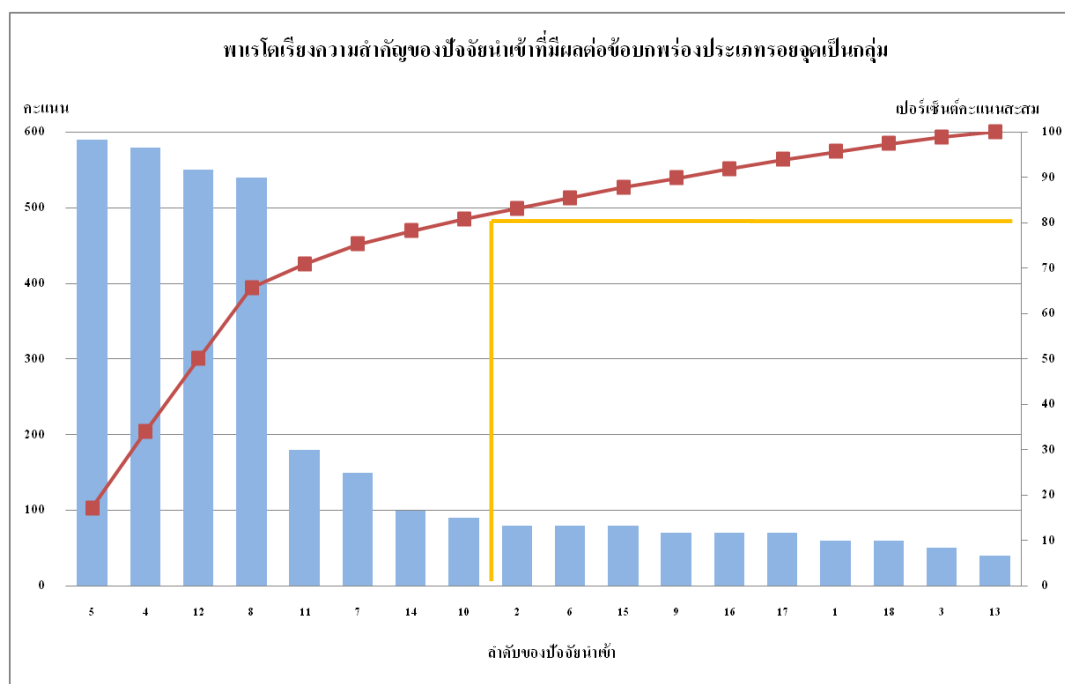
ถ้าหัวอ่าน-เขียนที่ทำการอ่าน-เขียนข้อมูลบนงานบันทึกข้อมูลมีการบิดเบี้ยวหรือไม่ได้ระนาบ อาจทำให้หัวอ่าน-เขียนมีการชนกับงานบันทึกข้อมูลในขณะที่ทำการอ่าน-เขียนข้อมูลได้

7. ปัจจัยที่ 14 ได้แก่ ขนาดช่องบรรจุงานบันทึกข้อมูลไม่พอดี

ช่องบรรจุงานบันทึกข้อมูลนั้นเป็นที่เก็บงานบันทึกข้อมูลก่อนการนำไปประกอบ ถ้าช่องบรรจุงานบันทึกข้อมูลหลวมเกินไป อาจเกิดการหลุดของงานบันทึกข้อมูลไปชนกับสิ่งอื่นได้ แต่ถ้าช่องบรรจุเล็กไปจะอาจก่อให้เกิดการขีดขูดบนงานบันทึกข้อมูล เกิดเป็นข้อบกพร่องขึ้นได้

8. ปัจจัยที่ 10 ได้แก่ งานบันทึกข้อมูลมีผิวขรุขระ

งานบันทึกข้อมูลที่มีพื้นผิวไม่เรียบนั้น อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดรอยจุดเป็นกลุ่มขึ้นบนงานบันทึกข้อมูลได้ เนื่องจากพื้นผิวที่ขรุขระนั้นอาจส่งผลให้เกิดการกระทบกระแทกกับงานบันทึกข้อมูลแล้วเกิดข้อบกพร่องขึ้นได้



รูปที่ 4.10 พารโตเรียงความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

จากการวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มจากคณะผู้เชี่ยวชาญ พบว่ามีปัจจัยจำนวน 18 ปัจจัยที่อาจจะส่งผลต่อข้อบกพร่องดังกล่าว

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยร่วมด้วย พบว่ามีปัจจัยจำนวน 8 ปัจจัย ที่มีความสำคัญคิดรวมมากกว่า 80% โดยปัจจัยจำนวน 8 ปัจจัยดังกล่าว แสดงในตารางที่ 4.12 จะถูกทดสอบทางสถิติว่าเป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มต่อไป

ตารางที่ 4.12 ปัจจัยนำเข้าที่นำมาทดสอบสมมติฐานสำหรับการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

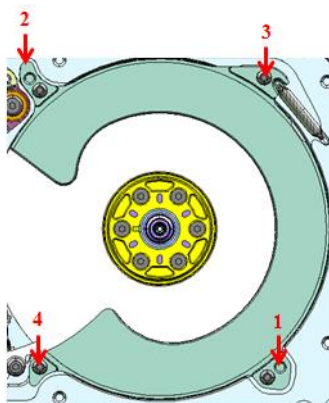
ลำดับที่	ปัจจัยนำเข้า
1	แรงลมในการฉีดวางแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล
2	แรงลมในการดูดหีบแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล
3	ลำดับการขันสกรูของแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล
4	ระนาบหรือรอยปลูกบนแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล
5	ความแข็งของชั้นผิวของงานบันทึกข้อมูล
6	ระนาบของหัวอ่าน-เขียนตามแนวแกนตั้ง
7	ขนาดของช่องบรรจุงานบันทึกข้อมูล
8	จำนวนข้อบกพร่องบนพื้นผิวของงานบันทึกข้อมูล

จากปัจจัยที่นำมาทดสอบสมมติฐานสำหรับข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มจำนวน 8 ปัจจัย ดังแสดงในตารางที่ 4.12 พบว่า ปัจจัยที่สามารถนำไปทำการทดสอบสมมติฐานมีจำนวน 6 ปัจจัย คือ แรงลมในการฉีดวางแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล แรงลมในการดูดหีบงานบันทึกข้อมูล ระนาบหรือรอยปลูกบนแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล ความแข็งของชั้นผิวของงานบันทึกข้อมูล ระนาบของหัวอ่านเขียนในแนวแกนตั้ง และจำนวนข้อบกพร่องพื้นผิวของงานบันทึกข้อมูล และปัจจัยที่ไม่สามารถนำมาทำการทดสอบสมมติฐานมีจำนวน 2 ปัจจัย คือ ลำดับการขันสกรูของแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล และขนาดของช่องบรรจุงานบันทึกข้อมูล ซึ่งมีรายละเอียดของปัจจัยและวิธีการควบคุมปัจจัย ดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 รายละเอียดของปัจจัยและวิธีการควบคุมปัจจัยของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

ลำดับที่	ปัจจัย	รายละเอียดของปัจจัย	วิธีการควบคุม
1	ลำดับการขันสกรูแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล	การขันสกรูของแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล ต้องมีลำดับที่เหมาะสมและความแน่นของสกรูที่พอดีจึงจะไม่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มจำนวนจุดที่ต้องขันสกรูของแผ่นคั่นงาน	ควบคุมการทำงานของเครื่องขันสกรูและลำดับการขันสกรูของแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล โดยเอกสารรับรองจากศูนย์

ลำดับที่	ปัจจัย	รายละเอียดของปัจจัย	วิธีการควบคุม
1	ลำดับการขันสกรูของแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล	บันทึกข้อมูลมีจำนวน 4 จุด โดยลำดับการขันสกรู ดังแสดงในรูปที่ 4.11 เป็นลำดับจุดที่ได้ทำการทดลองว่ามีความเหมาะสมที่สุด และมีความสมดุลที่สุด ที่ได้ออกแบบโดยศูนย์ออกแบบ (Design Center) การเปลี่ยนแปลงลำดับการขันสกรูนี้ต้องทำการทดลองและมีผลการทดลองที่น่าเชื่อถือเพื่อส่งไปให้ศูนย์ออกแบบพิจารณาก่อนทำการเปลี่ยนแปลงซึ่งมีความล่าช้าและยากต่อการเปลี่ยนแปลง	ออกแบบ
2	ขนาดของช่องบรรจุงานบันทึกข้อมูล	ขนาดของช่องบรรจุงานบันทึกข้อมูลที่แคบหรือกว้างจนเกินไปส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องทุกประเภท อาจทำให้เกิดการกระแทกบนงานบันทึกข้อมูลหรือการเสียดสีระหว่างงานบันทึกข้อมูลกับกล่องบรรจุ แต่งานบันทึกข้อมูลได้ถูกควบคุมการออกแบบผลิตภัณฑ์แล้วจึงยากต่อการเปลี่ยนแปลงและต้องใช้งบประมาณสูง	ควบคุมโดยใช้กล่องบรรจุงานบันทึกข้อมูลขนาด 5 เซนติเมตร จากผู้ส่งมอบเพียงรายเดียวเท่านั้นเพื่อป้องกันการส่งผลการทดลอง



รูปที่ 4.11 ลำดับการขันสกรูของแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล

บทที่ 5

ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ในบทนี้จะทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่ทำให้เกิดรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่ม โดยเป็นการนำเอาปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการทดสอบสมมติฐาน ว่าปัจจัยเหล่านั้นเป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มหรือไม่ หลังจากนั้นจึงนำปัจจัยที่ได้ทั้งหมด มาทำการออกแบบการทดลอง เพื่อหาระดับของปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องทั้ง 2 ประเภท

5.1 รูปแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองนี้จะเลือกการทดสอบสมมติฐานแบบสัดส่วนประชากรสองกลุ่มเพื่อทำการคัดเลือกปัจจัยที่ไม่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มออกก่อน แล้วจึงทำการทดลองเพื่อหาปัจจัยและระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในขั้นตอนต่อไป

เหตุผลในการเลือกการทดสอบสมมติฐาน เนื่องจากการทดสอบสมมติฐานเป็นการทดสอบเพื่อยืนยันว่าแต่ละปัจจัยมีผลต่อสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มหรือไม่ โดยทำการทดสอบทีละปัจจัยเพื่อดูผลของปัจจัยนั้นๆ ซึ่งในการทดสอบสมมติฐานสามารถวิเคราะห์ผลจากการทดลองได้เฉพาะผลของปัจจัยหลักเท่านั้น ซึ่งต่างจากการทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่สามารถวิเคราะห์ผลจากการทดลองได้ทั้งผลของปัจจัยหลักและผลของปัจจัยร่วม และเมื่อพิจารณาตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบสมมติฐานและการทดลองเชิงแฟคทอเรียล ดังแสดงในตารางที่ 5.1 พบว่า จำนวนตัวอย่างของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานและการทดลองเชิงแฟคทอเรียล เท่ากับ 29,808 และ 20,864 ตัวอย่าง ตามลำดับ และจำนวนตัวอย่างที่ใช้ของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มในการทดสอบสมมติฐานและการทดลองเชิงแฟคทอเรียล เท่ากับ 14,388 และ 12,128 ตัวอย่าง ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานมากกว่าจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเชิงแฟคทอเรียลไม่มาก ซึ่งจำนวนตัวอย่างที่มาก จะทำให้ผลการทดสอบสมมติฐานสำหรับปัจจัยที่ไม่มีผลมีความผิดพลาดน้อยกว่า (ความผิดพลาดประเภทที่ 2 หรือ Type II error) ดังนั้น เพื่อทำให้เกิดความผิดพลาดในการทดลองน้อยจึงเลือกการทดสอบสมมติฐานสำหรับการทดลองนี้

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบจำนวนการทดลองและขนาดตัวอย่างการทดลองของการทดสอบสมมติฐานและการทดลองเชิงแฟคทอเรียล

รูปแบบการทดลอง	จำนวนการทดลอง	ขนาดตัวอย่าง	ขนาดตัวอย่างที่ต้องใช้ทั้งหมด
ข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย			
การทดสอบสมมติฐาน	16	1,863	29,808
การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล	128	163	20,864
ข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม			
การทดสอบสมมติฐาน	12	1,199	14,388
การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล	32	379	12,128

5.2 การกำหนดขนาดตัวอย่างสำหรับวิธีการทดสอบสมมติฐาน

การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการทดสอบสมมติฐานสำหรับข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่ม โดยการทดสอบสมมติฐานเป็นการทดสอบสมมติฐานสำหรับสัดส่วนประชากรสองกลุ่ม เนื่องจากตัวแปรตอบสนอง เป็นสัดส่วนของเสียของประชากรที่มีการแจกแจงแบบทวินาม

จำนวนตัวอย่างสำหรับวิธีการทดสอบสมมติฐานสำหรับสัดส่วนประชากรสองกลุ่มสามารถคำนวณจำนวนตัวอย่างดังกล่าวได้จากสมการที่ 5.1 ดังนี้

$$n = \frac{(Z_{\alpha/2}\sqrt{p_1(1-p_1)} + Z_{\beta}\sqrt{p_2(1-p_2)})^2}{(p_2 - p_1)^2} \quad (5.1)$$

เมื่อ n = จำนวนตัวอย่าง

p_1 = สัดส่วนของเสียในปัจจุบัน

p_1 = สัดส่วนของเสียเป้าหมาย

α = ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 หรือระดับนัยสำคัญ (significant level)

β = ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 2

หรือจากโปรแกรม Minitab ในเมนูหลักชื่อ Stat เมนูย่อยชื่อ Power and Sample Size และเมนูสุดท้ายชื่อ Two Proportions โดยที่ Comparison Proportions (P_1) คือ สัดส่วนของเสียปัจจุบัน และ Baseline Proportion (P_2) คือ สัดส่วนของเสียเป้าหมาย

5.2.1 การหาขนาดตัวอย่างสำหรับข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

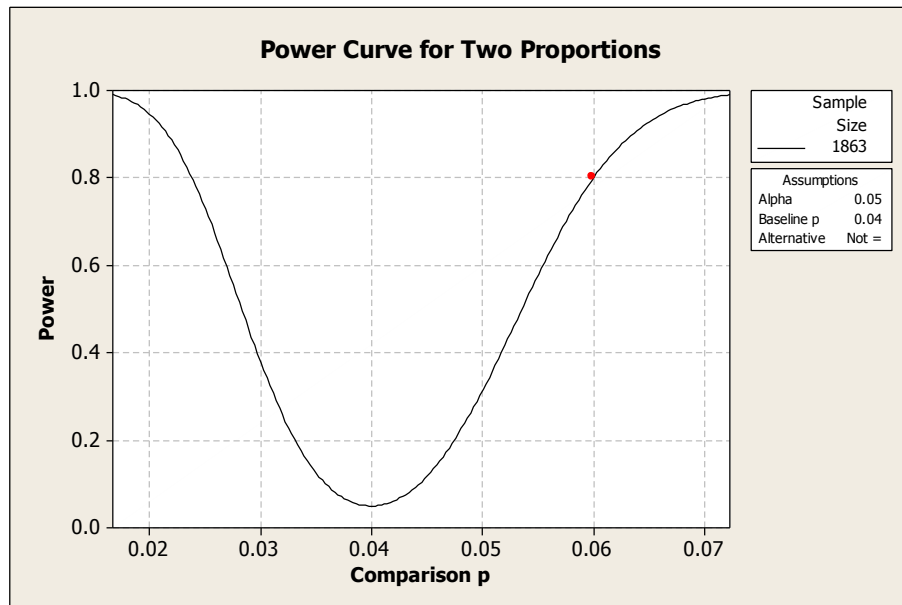
ในการหาขนาดตัวอย่างของข้อบกพร่องประเภทนี้ ได้กำหนดให้สัดส่วนของเสียที่เป็นสัดส่วนของเสียปัจจุบัน เท่ากับ 0.06 และสัดส่วนของเสียเป้าหมาย เท่ากับ 0.04 ซึ่งจะสามารถคำนวณขนาดของตัวอย่างได้จากสมการที่ 5.1 ดังนี้

$$n = \frac{(Z_{0.05/2} \sqrt{0.0603(1-0.0603)} + Z_{0.2} \sqrt{0.04(1-0.04)})^2}{(0.04 - 0.0603)^2} = 1863 \text{ ตัวอย่าง}$$

จากการคำนวณหาขนาดตัวอย่างของข้อบกพร่องประเภทนี้ด้วยวิธีการแทนค่าในสมการที่ 5.1 และวิธีการหาจากโปรแกรม Minitab ดังแสดงในรูปที่ 5.1 และ 5.2 ได้ผลของขนาดตัวอย่างตรงกัน ดังนั้น จึงใช้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 1863 ตัวอย่าง ในการทดสอบสมมติฐานของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

Power and Sample Size			
Test for Two Proportions			
Testing comparison p = baseline p (versus not =)			
Calculating power for baseline p = 0.04			
Alpha = 0.05			
	Sample	Target	
Comparison p	Size	Power	Actual Power
0.06	1863	0.8	0.800016
The sample size is for each group.			

รูปที่ 5.1 Power and Sample size ของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย



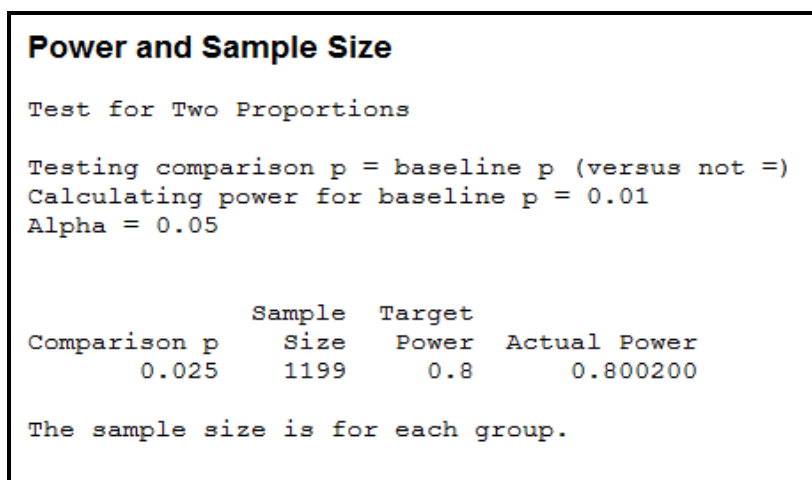
รูปที่ 5.2 Power Curve for Two Proportions ของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วันเป็นกันหอย

5.2.2 การหาขนาดตัวอย่างสำหรับข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

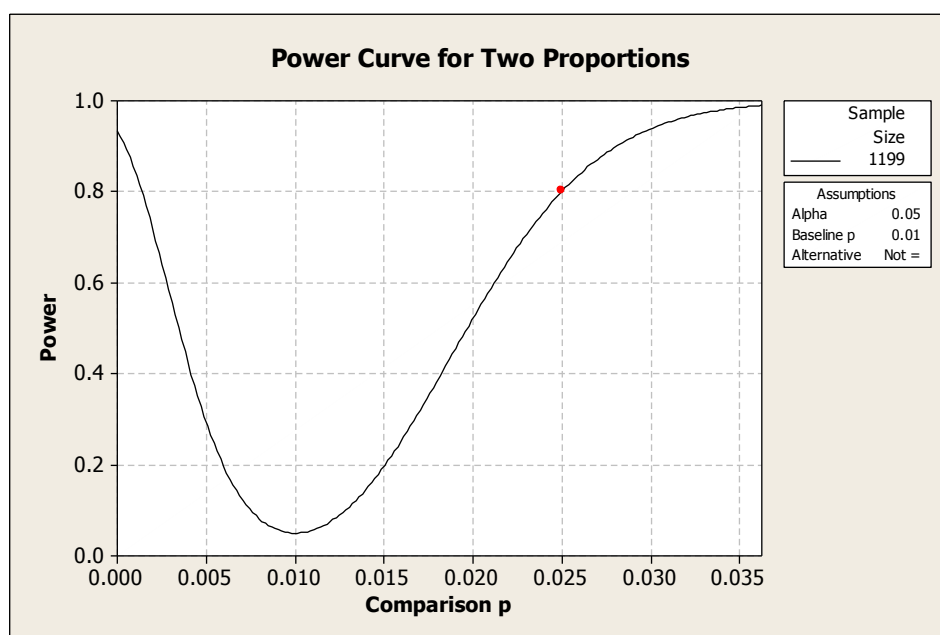
ในการหาขนาดตัวอย่างของข้อบกพร่องประเภทนี้ ได้กำหนดให้สัดส่วนของเสียที่เป็นสัดส่วนของเสียปัจจุบัน เท่ากับ 0.025 และสัดส่วนของเสียเป้าหมาย เท่ากับ 0.01 ซึ่งจะสามารถคำนวณขนาดของตัวอย่างได้จากสมการที่ 5.1 ดังนี้

$$n = \frac{(Z_{0.05/2} \sqrt{0.025(1-0.025)} + Z_{0.2} \sqrt{0.01(1-0.01)})^2}{(0.01 - 0.025)^2} = 1199 \text{ ตัวอย่าง}$$

จากการคำนวณหาขนาดตัวอย่างของข้อบกพร่องประเภทนี้ด้วยวิธีการแทนค่าในสมการที่ 5.1 และวิธีการหาจากโปรแกรม Minitab ดังแสดงในรูปที่ 5.3 และ 5.4 ได้ผลของขนาดตัวอย่างเหมือนกัน ดังนั้น จึงใช้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 1199 ตัวอย่าง ในการทดสอบสมมติฐานของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม



รูปที่ 5.3 Power and Sample size ของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม



รูปที่ 5.4 Power Curve for Two Proportions ของข้อบกพร่องประเภทจุดเป็นกลุ่ม

5.3 ปัจจัยและการกำหนดระดับของปัจจัยในการทดสอบสมมติฐาน

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลในขั้นตอนการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา พบปัจจัยนำเข้าที่สำคัญจำนวน 12 ปัจจัย สำหรับข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นกันหอย รายละเอียดแสดงในตารางที่ 5.2 และ 8 ปัจจัย สำหรับข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม รายละเอียดแสดงในตารางที่ 5.3 ดังนั้น จึงได้กำหนดระดับของปัจจัยเหล่านี้เป็น 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ (-) และระดับสูง (+) เพื่อนำไปทดสอบสมมติฐานว่าปัจจัยแต่ละปัจจัยมีผลต่อสัดส่วนของเสียอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

ตารางที่ 5.2 ปัจจัยและระดับของปัจจัยสำหรับข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

ลำดับ ที่	Area Cause	ปัจจัย	เหตุผลและวิธีการในการกำหนดระดับของปัจจัย	วิธีการทดสอบ สมมุติฐาน
1	Machines	ระยะ ระหว่าง ตัว หีบ กับ งาน บันทึก ข้อมูล	ระยะห่างระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูลมีผลต่อการเกิดการกระแทกระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูลและความคลาดเคลื่อนในการหีบงานบันทึกข้อมูล โดยตำแหน่งที่เลือกมาทดสอบจึงเป็นตำแหน่งที่กำหนดเพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อเกิดการเกิดข้อบกพร่องประเภทอื่นๆ ซึ่งเป็นระยะที่น้อยที่สุดและมากที่สุดที่เครื่องจักรสามารถทำงานได้	กำหนดระดับ ของระยะห่าง ระหว่างตัว หีบกับงาน บันทึกข้อมูล 2 ระดับคือ 3 และ 5 มิลลิเมตร
2	Materials	รูปแบบ ของ กล่อง บรรจุ ฝา ครอบ	เนื่องจากรูปแบบของกล่องบรรจุฝาครอบมีผลต่อการเกิดการเสียดสีระหว่างฝาครอบกับกล่องบรรจุ และรูปแบบของกล่องบรรจุที่ใช้มีเพียง 2 รูปแบบ ดังนั้น จึงเลือกทั้ง 2 รูปแบบนี้มาทำการทดสอบสมมุติฐาน	กำหนดรูปแบบ ของกล่องบรรจุ ฝาครอบเป็น 2 รูปแบบคือ รูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 ดังแสดงใน รูปที่ 5.5 และ 5.6 ตามลำดับ
3	Materials	ความ คม ของ ฝา ครอบ	เนื่องจากความคมของฝาครอบมีผลต่อการเกิดการเสียดสีระหว่างฝาครอบกับกล่องบรรจุ ถ้าความคมของฝาครอบมากมีโอกาทำให้เกิดการเสียดสีมาก แต่ถ้าความคมฝาครอบน้อยมีโอกาทำให้เกิดการเสียดสีน้อย โดยระดับความคมที่เลือก	กำหนดระดับ ความคมของฝา ครอบ 2 ระดับ คือ 0.002 และ 0.005 นิ้ว

ลำดับ ที่	Area Cause	ปัจจัย	เหตุผลและวิธีการในการกำหนด ระดับของปัจจัย	วิธีการทดสอบ สมมุติฐาน
3	Materials	ความคมของ	มาทดสอบเป็นระดับที่กำหนดเพื่อ	

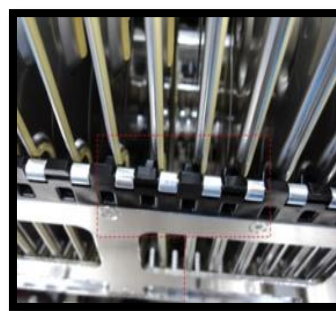
		ฝาครอบ	ไม่ให้กระทบต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทอื่น ซึ่งเป็นระดับความคมที่ ถูกวัดมาจากซัพพลายเออร์ที่ทาง บริษัทใช้ มี 2 ระดับคือ 0.002 และ 0.005 นิ้ว	
4	Materials	ระยะยกตัวของชุดหัวอ่าน-เขียน	เนื่องจากระยะยกตัวของชุดหัวอ่าน-เขียนมีผลต่อการอ่านและเขียน ข้อมูลบนจานบันทึกข้อมูล ในการอ่านเขียนข้อมูล ถ้าระยะยกตัวของชุดหัวอ่าน-เขียนต่ำ จะส่งผลให้การอ่าน-เขียนข้อมูลเกิดความผิดพลาด และถ้าระยะยกตัวของชุดหัวอ่าน-เขียนสูง จะส่งผลให้หัวอ่าน-เขียนกระทบลงบนจานบันทึกข้อมูลเกิดเป็นรอยขีดข่วนได้ ดังนั้น ระยะยกตัวของชุดหัวอ่าน-เขียนที่เลือกมาทดสอบเป็นระยะที่ความสามารถของหัวอ่านเขียนสามารถทำงานได้ และไม่ส่งผลต่อการเกิดของเสียประเภทอื่น	กำหนดระดับของระยะยกตัวของชุดหัวอ่านเขียน 2 ระดับคือ 0.008 กับ 0.01 นิ้ว
5	Methods	จำนวนการทดสอบ load/unload	เนื่องจากจำนวนการทดสอบ load/unload มีผลต่อการวัดประสิทธิภาพของหัวอ่าน-เขียน ถ้าจำนวนการทดสอบ load/unload มาก อาจส่งผลทำให้โอกาสในการที่หัวอ่าน-เขียนขีดข่วนบนจานบันทึกข้อมูลมีมาก แต่ถ้าจำนวนการ	กำหนดระดับของจำนวนการทดสอบ load/unload 2 ระดับ คือ 1,000 และ 10,000 ครั้ง
ลำดับที่	Area Cause	ปัจจัย	เหตุผลและวิธีการในการกำหนดระดับของปัจจัย	วิธีการทดสอบสมมุติฐาน
5	Methods	จำนวนการ	ทดสอบ load/unload น้อย จะไม่	

		ทดสอบ load/unload	สามารถทำให้วัดประสิทธิภาพของชุดหัวอ่าน-เขียน ได้ดีเท่าที่ควร ดังนั้น จำนวนการทดสอบ load/unload ที่เลือกมาทดสอบเป็นจำนวนที่ครอบคลุมผลของสาเหตุทั้งสองประการ ซึ่งการทดสอบ 1,000 ครั้ง ใช้เวลาในการทดสอบ 1 นาที และการทดสอบ 10,000 ครั้ง ใช้เวลาในการทดสอบ 10 นาที ถ้ากำหนดจำนวนครั้งในการทดสอบมากกว่า 10,000 ครั้ง จะส่งผลถึงเวลาในการทดสอบที่มากขึ้น ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่ออัตราการผลิตที่ลดลง	
6	Machines	ความเร็วในการขึ้นสกรูบนแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล	เนื่องจากการขึ้นสกรูบนแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลมีจำนวน 4 จุด ความเร็วในการขึ้นสกรูจึงมีผลต่อการเกิดรอยกระแทกของแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลบนงานบันทึกข้อมูลและเกิดการบิดเบี้ยวของแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลในกรณีที่ความเร็วในการขึ้นสกรูทั้ง 4 จุดไม่เท่ากัน ดังนั้น ความเร็วในการขึ้นสกรูที่เลือกมาทดสอบเป็นความเร็วที่เครื่องจักรสามารถทำงานได้	กำหนดระดับความเร็วในการขึ้นสกรู 2 ระดับ คือ 50 และ 100 มิลลิเมตร/วินาที
7	Machines	ค่าแรงบิดในการขึ้นสกรูบนแผ่นคั่น	เนื่องจากการขึ้นสกรูบนแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลมีจำนวน 4 จุด ค่าแรงบิดในการขึ้นสกรูจึงมีผลต่อการ	กำหนดระดับแรงบิดในการขึ้นสกรู 2 ระดับ คือ
ลำดับที่	Area Cause	ปัจจัย	เหตุผลและวิธีการในการกำหนดระดับของปัจจัย	วิธีการทดสอบสมมุติฐาน
7	Machines	ค่าแรงบิดใน	เกิดรอยกระแทกของแผ่นคั่นงาน	1.0 และ 1.6

		การขึ้นกรูบน แผ่นคั่นงาน บันทึกข้อมูล	บันทึกข้อมูลบนงานบันทึกข้อมูล และเกิดการบิดเบี้ยวของแผ่นคั่น งานบันทึกข้อมูลในกรณีที่ค่า แรงบิดในการขึ้นสกรูทั้ง 4 จุดไม่ เท่ากัน ดังนั้น ค่าแรงบิดในการขึ้น สกรูที่เลือกมากทดสอบเป็นค่า แรงบิดที่เครื่องจักรสามารถทำงาน ได้	ปอนด์นิ้ว
8	Materials	ความแข็ง ของชั้นผิว ของงาน บันทึกข้อมูล	เนื่องจากความแข็งของชั้นผิวของ งานบันทึกข้อมูลมีผลต่อ ความสามารถในการป้องกันการ เกิดการขีดข่วนบนงานบันทึก ข้อมูลได้ ถ้าความแข็งมาก ความสามารถในการขีดข่วนจะเกิด ได้น้อย แต่ถ้าความแข็งน้อย ความสามารถในการขีดข่วนจะเกิด ได้มาก และระดับความแข็งของ งานบันทึกข้อมูลที่ใช้มีเพียง 2 ระดับ ดังนั้น จึงเลือกระดับความ แข็งของงานบันทึกข้อมูลทั้ง 2 ระดับมาทดสอบ	กำหนดระดับของ ความแข็งของงาน บันทึกข้อมูล 2 ระดับคือ ความ แข็งของงาน บันทึกข้อมูลตาม ข้อกำหนดของ บริษัทที่ 1 และ บริษัทที่ 2 คือ - 0.15 และ -0.35 นาโนเมตร ตามลำดับ



รูปที่ 5.5 รูปแบบที่ 1 ของกล่องบรรจุฝาครอบ



รูปที่ 5.6 รูปแบบที่ 1 ของกล่องบรรจุฝาครอบ

ตารางที่ 5.3 ปัจจัยและระดับของปัจจัยสำหรับข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

ลำดับ ที่	Area Cause	ปัจจัย	เหตุผลและวิธีการในการกำหนด ระดับของปัจจัย	วิธีการทดสอบ สมมุติฐาน
1	Machines	แรงลมในการ ฉีดวางแผ่น คั่นงานบันทึก ข้อมูล	การปล่อยแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล ลงบนงานบันทึกข้อมูลต้องใช้ แรงลมจาก Ejector pin ในการผลัก เพื่อให้แผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล หลุดลงไปวางลงบนงานบันทึก ข้อมูล ถ้าแรงลมที่ไม่เหมาะสมจะ ส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของ ตำแหน่งแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล ที่วางบนงานบันทึกข้อมูล ดังนั้น แรงลมที่เลือกมาทดสอบเป็น แรงลมที่เครื่องจักรสามารถทำงาน ได้	กำหนดระดับของ แรงลมในการฉีด วางแผ่นคั่นงาน บันทึกข้อมูล 2 ระดับ คือ 1500 และ 2250 มิลลิเมตรปรอท
2	Machines	แรงลมในการ ดูดหีบแผ่น คั่นงานบันทึก ข้อมูล	การหีบแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล จากถาดบรรจุต้องใช้แรงลมจาก Vacuum pin ในการดูดเพื่อให้แผ่น คั่นงานบันทึกข้อมูลติดมากับตัว หีบเพื่อนำไปวางลงบนงาน บันทึกข้อมูล ถ้าแรงลมที่ไม่ เหมาะสมจะส่งผลต่อ	กำหนดระดับของ แรงลมในการดูด หีบแผ่นคั่นงาน บันทึกข้อมูล 2 ระดับ คือ 440 และ 480 มิลลิเมตรปรอท
ลำดับ ที่	Area Cause	ปัจจัย	เหตุผลและวิธีการในการกำหนด ระดับของปัจจัย	วิธีการทดสอบ สมมุติฐาน
2	Machines	แรงลมในการ ดูดหีบแผ่น คั่นงานบันทึก ข้อมูล	คลาดเคลื่อนของตำแหน่งแผ่นคั่น งานบันทึกข้อมูลที่วางบนงาน บันทึกข้อมูล ดังนั้น แรงลมที่เลือก มาทดสอบเป็นแรงลมที่เครื่องจักร สามารถทำงานได้	
3	Materials	ระนาบหรือ	ระนาบที่ไม่ได้มาตรฐานหรือการมี	กำหนดระดับของ

		รอยปลูกบน แผ่นคั่นงาน บันทึกข้อมูล	รอยปลูกเกิดขึ้นบนแผ่นคั่นงาน บันทึกข้อมูลอาจส่งผลกระทบต่อเกิดการเกิด การกระแทกบนงานบันทึกข้อมูล ทำให้เกิดเป็นข้อบกพร่องขนาดใหญ่ได้ ดังนั้น ระบายหรือรอยปลูก นี้จึงเลือกพิจารณาที่ค่า 0 และ 1 จุด เพราะว่าการมีระบายที่ไม่ได้ มาตรฐานหรือรอยปลูกเพียง 1 จุด แผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลนั้นก็ไม่สามารถนำมาใช้ได้	รอยปลูกบนแผ่นคั่น งานบันทึกข้อมูล 2 ระดับคือ 0 และ 1 จุด
4	Materials	ความแข็งของ ชั้นผิวของ งานบันทึก ข้อมูล	ความแข็งของชั้นผิวของงานบันทึก ข้อมูลมีผลต่อความสามารถในการ ป้องกันการเกิดการขีดข่วนบนงาน บันทึกข้อมูลได้ ถ้าความแข็งมาก ความสามารถในการขีดข่วนจะเกิด ได้น้อย แต่ถ้าความแข็งน้อย ความสามารถในการขีดข่วนจะเกิด ได้มาก และระดับความแข็งของ งานบันทึกข้อมูลที่ใช้มีเพียง 2 ระดับเท่านั้น ดังนั้น จึงเลือกระดับ ความแข็งของงานบันทึกข้อมูลทั้ง 2 ระดับมาทดสอบ	กำหนดระดับของ ความแข็งของงาน บันทึกข้อมูล 2 ระดับคือ ความ แข็งงานบันทึก ข้อมูลของบริษัทที่ 1 และบริษัทที่ 2 คือ -0.15 และ - 0.35 นาโนเมตร ตามลำดับ
ลำดับ ที่	Area Cause	ปัจจัย	เหตุผลและวิธีการในการกำหนด ระดับของปัจจัย	วิธีการทดสอบ สมมุติฐาน
5	Machines	ระนาบของ หัวอ่าน-เขียน ตามแนวแกน ตั้ง	เนื่องจากระนาบของชุดหัวอ่าน- เขียนมีผลต่อการอ่านและเขียน ข้อมูลบนงานบันทึกข้อมูล ในการ อ่านเขียนข้อมูล ถ้าระนาบของชุด หัวอ่าน-เขียนเอียง ไม่ได้มาตรฐาน จะส่งผลให้การอ่าน-เขียนข้อมูล	กำหนดระดับ ระนาบของ หัวอ่านเขียน 2 ระดับคือ 1.5 กับ 3.0 องศา

			เกิดความผิดพลาดและเกิดการขีด ข่วนลงบนงานบันทึกข้อมูล ดังนั้น ระนาบของของหัวอ่าน-เขียนที่ เลือกมาทดสอบเป็นระยะที่ ความสามารถของหัวอ่านเขียน สามารถทำงานได้และไม่ส่งผลต่อ การเกิดของเสียประเภทอื่น	
6	Materials	จำนวน ข้อบกพร่อง บนผิวของ งานบันทึก ข้อมูล (Incoming Defect)	จำนวนข้อบกพร่องบนผิวของงาน บันทึกข้อมูลมีผลอย่างมากต่อการ ทำให้เกิดข้อบกพร่องในหลาย ประเภทและอาจส่งผลต่อ ความสามารถในการอ่านเขียน ข้อมูลด้วย ดังนั้น ระดับของ จำนวนข้อบกพร่องที่เลือกมา พิจารณาเป็นระดับที่ใช้ใน โรงงานผลิตงานบันทึกข้อมูลเพื่อ แยกงานบันทึกข้อมูลดีและงาน บันทึกข้อมูลเสีย	กำหนดระดับของ จำนวน ข้อบกพร่องบนผิว ของงานบันทึก ข้อมูล 2 ระดับคือ น้อยกว่า 700 และ มากกว่า 700 จุด/ แผ่น

5.4 วิธีการทดสอบสมมติฐานและผลการทดสอบสมมติฐานของแต่ละปัจจัยนำเข้า

วิธีการทดสอบสมมติฐานของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่ม จะใช้การทดสอบสมมติฐานสำหรับสัดส่วนประชากรสองกลุ่ม โดยการทดลองจะทำการควบคุมปัจจัยนำเข้าแต่ละปัจจัยเพื่อทดสอบผลที่ได้ของแต่ละปัจจัยว่ามีความสำคัญต่อการเกิดข้อบกพร่องชนิดนั้นอย่างน้อยสำคัญหรือไม่ ซึ่งตัวอย่างในการทดสอบสมมติฐานและผลการทดสอบสมมติฐานสำหรับข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย แสดงดังต่อไปนี้

การทดสอบสมมติฐานสำหรับระยะระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูล โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคือ p_1 และ p_2 ซึ่งก็คือสัดส่วนของข้อบกพร่องที่พบจากการใช้ระยะห่างระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูล 3 และ 5 มิลลิเมตร

ขั้นตอนในการทดสอบสมมติฐาน มีดังนี้

$$\text{โดยกำหนดให้ } H_0 : p_1 = p_2$$

และ $H_1 : p_1 \neq p_2$

ค่าสถิติทดสอบ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5.2 ดังนี้

$$z = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\frac{p_1 q_1}{n_1} + \frac{p_2 q_2}{n_2}}} \quad (5.2)$$

ดังนั้น ค่าสถิติทดสอบของปัจจัยระยะระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูล เท่ากับ

$$z = \frac{0.015 - 0.025}{\sqrt{\frac{0.015 \times 0.985}{1863} + \frac{0.025 \times 0.975}{1863}}} = -2.11$$

จากการคำนวณค่าสถิติทดสอบของปัจจัยระยะระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูลจากสมการที่ 5.2 ได้ผลตรงกับการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐาน โดยโปรแกรม Minitab ซึ่งเท่ากับ -2.11 ดังรูปที่ 5.7

จากการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยดังกล่าว พบว่า สัดส่วนของเสียของระยะห่างระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูล 3 มิลลิเมตร เท่ากับ 0.015 หรือ 1.5% และสัดส่วนของเสียของระยะห่างระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูล 5 มิลลิเมตร เท่ากับ 0.025 หรือ 2.5% จึงได้ค่าสถิติทดสอบของปัจจัยนี้เท่ากับ -2.11 และค่า P-value เท่ากับ 0.034 ดังนั้น ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% สรุปได้ว่า ระยะระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูลมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

Test and CI for Two Proportions			
Sample	X	N	Sample p
1	28	1863	0.015030
2	46	1863	0.024691
Difference = p (1) - p (2)			
Estimate for difference: -0.00966184			
95% CI for difference: (-0.0186162, -0.000707476)			
Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = -2.11 P-Value = 0.034			

รูปที่ 5.7 ผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยระยะระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูล

ดังนั้น จึงได้นำการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยข้างต้นนี้มาใช้ในการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยอื่นๆ ตารางที่ 5.4 และ 5.5 สรุปผลการทดสอบสมมติฐานของแต่ละปัจจัยว่ามีผลต่อสัดส่วนของเสียประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามลำดับ

ตารางที่ 5.4 สรุปผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

ลำดับที่	ปัจจัย	Z-Test	P-Value	สรุปผลการทดสอบ
1	ระยะระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูล	-2.11	0.034	มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
2	รูปแบบของกล่องบรรจุฝาครอบ	1.54	0.124	ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
3	ความคมของฝาครอบ	-2.32	0.020	มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
4	ระยะยกตัวของชุดหัวอ่าน-เขียน	3.85	0.000	มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
5	จำนวนการทดสอบ load/unload	-2.98	0.030	มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
6	ความเร็วในการขันสกรูแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล	1.73	0.084	ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
7	ค่าแรงบิดในการขันกรูแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล	1.08	0.281	ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
8	ความแข็งของชั้นผิวของงานบันทึกข้อมูล	1.66	0.098	ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ

สรุปปัจจัยนำเข้าไปทำการออกแบบการทดลองที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย คือ ปัจจัยที่มีค่า P-value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จำนวน 4 ปัจจัย คือ ระยะระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูล ความคมของฝาครอบระยะยกตัวของชุดหัวอ่าน-เขียน และจำนวนการทดสอบ load/unload และปัจจัยนำเข้าไปที่ไม่นำไปทำการทดลอง คือ ปัจจัยที่มีค่า P-value มากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จำนวน 4 ปัจจัย คือ รูปแบบของกล่องบรรจุฝาครอบที่มีค่า P-value เท่ากับ 0.124 โดยสัดส่วนของเสียของกล่องบรรจุรูปแบบที่ 1 เท่ากับ 2.3% และกล่องบรรจุรูปแบบที่ 2 เท่ากับ 1.61% ซึ่งก่อให้เกิดข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยตรงตามการรวบรวมความคิดเห็นในบทที่ 4 แต่ในทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า กล่องบรรจุฝาครอบทั้ง 2 รูปแบบไม่มีผลทางสถิติ ความเร็วในการขันสกรูแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลมีค่า P-value

เท่ากับ 0.084 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ความเร็วในการชันสกรูไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ แต่ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 90% พบว่า ความเร็วในการชันสกรูมีผลอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งตรงกับการรวบรวมความคิดเห็นในบทที่ 4 แต่เพื่อความแม่นยำของข้อมูลที่มากขึ้นจึงเป็นผลทำให้ความเร็วในการชันสกรูไม่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย ค่าแรงบิดในการชันสกรู แผ่นกันจันบันทึกข้อมูลมีค่า P-value เท่ากับ 0.281 โดยสัดส่วนของเสียของค่าแรงบิดในการชันสกรู 1.0 ปอนด์นิ้ว เท่ากับ 1.71% และสัดส่วนของเสียของค่าแรงบิดในการชันสกรู 1.6 ปอนด์นิ้ว เท่ากับ 1.28% ซึ่งสัดส่วนของเสียของค่าแรงบิดในการชันสกรู 2 ระดับส่งผลต่อสัดส่วนของเสียในสัดส่วนที่ไม่ต่างกัน เนื่องจากในการชันสกรูนั้นจะขันโดยเครื่องจักรที่มีการตั้งค่าความเร็วและมุมที่คงที่ ดังนั้น ค่าแรงบิดในการชันสกรูที่ต่างกันจึงให้ผลของการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยไม่ต่างกัน และความแข็งของชั้นผิวของจันผิวของจันบันทึกข้อมูลมีค่า P-value เท่ากับ 0.098 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งไม่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย แต่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยที่ระดับความเชื่อมั่น 90% โดยจากสัดส่วนของเสียของความแข็งของจันบันทึกข้อมูล -0.15 นาโนเมตร เท่ากับ 3.0% และสัดส่วนของเสียของความแข็งของจันบันทึกข้อมูล -0.35 นาโนเมตร เท่ากับ 2.1% จากสัดส่วนของเสียนี้จะเห็นว่าความแข็งของจันบันทึกข้อมูลก่อให้เกิดข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยตรงตามการรวบรวมความคิดเห็นในบทที่ 4

ตารางที่ 5.5 สรุปผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดรอยจุดเป็นกลุ่ม

ลำดับที่	ปัจจัย	Z-Test	P-Value	สรุปผลการทดสอบ
1	แรงลมในการฉีควางแผ่นคั่นงาน บันทึกข้อมูล	-3.63	0.000	มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
2	แรงลมในการดูดหีบแผ่นคั่นงาน บันทึกข้อมูล	-3.37	0.001	มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
3	ระนาบหรือรอยบุคบนแผ่นคั่นงาน บันทึกข้อมูล	-6.96	0.000	มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
4	ความแข็งของชั้นผิวของงานบันทึก ข้อมูล	0.52	0.601	ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
5	ระนาบของหัวอ่าน-เขียนตาม แนวแกนตั้ง	0.9	0.369	ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
6	จำนวนข้อบกพร่องบนผิวของงาน บันทึกข้อมูล	-1.58	0.114	ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ

สรุปปัจจัยนำเข้าไปทำการออกแบบการทดลองที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม คือ ปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญที่ได้จากการทดสอบสมมติฐานมีจำนวน 3 ปัจจัย คือ แรงลมในการฉีควางแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลแรงลมในการดูดหีบแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล และระนาบหรือรอยบุคบนแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลแต่เนื่องด้วยปัจจัยระนาบหรือรอยบุคเป็นปัจจัยที่กำหนดค่าไว้ที่ ผ่านคือไม่พบจำนวนข้อบกพร่อง และไม่ผ่านคือพบจำนวนข้อบกพร่องมากกว่า 1 จุด ดังนั้นปัจจัยนี้จึงไม่นำมาใช้ในการทดลองด้วย เป็นเพียงปัจจัยที่ต้องควบคุมเท่านั้น ปัจจัยที่ส่งผลต่อข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มจึงมี 2 ปัจจัย คือ แรงลมในการฉีควางแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลและแรงลมในการดูดหีบแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล และปัจจัยนำเข้าไปไม่นำไปทำการทดลอง คือ ปัจจัยที่มีค่า P-value มากกว่า 0.05 จำนวน 2 ปัจจัย คือ ระนาบของหัวอ่านเขียนตามแนวแกนตั้งมีค่า P-value เท่ากับ 0.369 พบว่า ระนาบของหัวอ่านเขียนในแนวแกนตั้ง 1.5 องศา ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มไม่ต่างกับระนาบของหัวอ่านเขียน 3.5 องศา เนื่องจากในแต่ละตำแหน่งของการอ่าน-เขียนข้อมูลบนงานบันทึกข้อมูลมีการปรับเปลี่ยนมุมของหัวอ่านเขียน ดังนั้น ผลของการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มจึงแตกต่างกันตามตำแหน่งที่ได้ทำการอ่าน-เขียนข้อมูล และจำนวนข้อบกพร่องบนผิวของงานบันทึกข้อมูลมีค่า P-value เท่ากับ 0.114 พบว่าจำนวนข้อบกพร่องบนผิวของงานบันทึกข้อมูลน้อยกว่า 700 จุด/แผ่น ส่งผลต่อ

การเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม ไม่ต่างกับจำนวนข้อบกพร่องบนผิวของงานบันทึกข้อมูลมากกว่า 700 จุด/แผ่น เนื่องจากถ้ามีจำนวนข้อบกพร่องบนผิวของงานบันทึกข้อมูลมาก แต่เป็นรูปแบบอื่นที่ไม่ตรงกับข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มหรือจำนวนข้อบกพร่องที่พบมีลักษณะกระจัดกระจาย จะไม่ถือเป็นของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

ดังนั้น จากปัจจัยนำเข้าที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่ม สามารถกำหนดปัจจัยและระดับของปัจจัยของข้อบกพร่องทั้งสองได้ดัง ตารางที่ 5.6 และ 5.7 เพื่อใช้ในการออกแบบการทดลองในลำดับต่อไป

ตารางที่ 5.6 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยเพื่อการออกแบบการทดลอง

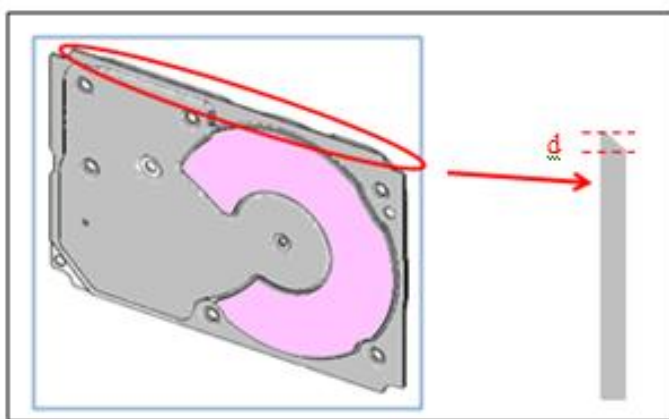
ลำดับที่	ปัจจัย	สัญลักษณ์	ประเภทของข้อมูล	ระดับของปัจจัย			
				ระดับต่ำ (-1)	ระดับกลาง (0)	ระดับสูง (+1)	หน่วย
1	ระยะระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูล	A	Variable Data	3	4	5	mm.
2	ความคมของฝาครอบ	B	Variable Data	0.002	0.0035	0.005	Inch
3	ระยะยกตัวของชุดหัวอ่าน-เขียน	C	Variable Data	0.008	0.09	0.01	Inch
4	จำนวนการทดสอบ load/unload	D	Variable Data	1,000	5,000	10,000	Times

จากตารางที่ 5.6 มีรายละเอียดของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย ดังนี้

1. ระยะห่างระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูล คือ ระยะห่างในแนวแกนตั้งระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูลก่อนที่ตัวหีบจะใช้แรงดูดสุญญากาศดูดงานบันทึกข้อมูล เพื่อนำไปประกอบในฮาร์ดดิสก์ ไดรฟ์ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

2. ความคมของฝาครอบคือ ความคมของขอบทั้ง 4 ด้านของฝาครอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ดังแสดงในรูปที่ 5.8 ซึ่งควบคุมมาจากซัพพลายเออร์

การวัดความคมของฝาครอบจะวัดด้วยเครื่องวัดสามแกน (Coordinate Measuring Machine หรือ CMM) ความคมคือ ระยะจากขอบของฝาครอบถึงส่วนที่ยื่นออกมาจากฝาครอบมีลักษณะเป็นมุมแหลม แสดงโดยระยะ d ในรูปที่ 5.8 มีหน่วยเป็นนิ้ว ซึ่งส่วนมุมแหลมนี้ถ้ามีความยาวมากเกินไป จะทำให้เกิดการเสียดสีกับกล่องบรรจุฝาครอบขณะที่นำเข้าบรรจุหรือออกจากกล่องบรรจุ เกิดเป็นเศษโลหะขึ้น อาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เนื่องจากเศษโลหะที่ติดอยู่ที่ฝาครอบ อาจติดเข้าไปในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เป็นผลให้เกิดของเสียดขึ้นในกระบวนการได้



รูปที่ 5.8 ฝาครอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

3. ระยะยกตัวของหัวอ่านเขียน คือ ระยะของการกดหรือยกของหัวอ่านเขียนเมื่อเทียบกับระนาบในแกนนอน มีหน่วยเป็นนิ้ว

4. จำนวนการทดสอบ load/unload คือ จำนวนรอบของการที่ชุดประกอบหัวอ่านเขียนเคลื่อนที่ขึ้นลงระหว่างตัวพักชุดประกอบหัวอ่านเขียนกับจานบันทึกข้อมูล โดยมีจุดประสงค์เพื่อวัดประสิทธิภาพของชุดประกอบหัวอ่านเขียนเมื่อต้องเคลื่อนที่ขึ้นลงเป็นจำนวนมาก มีหน่วยเป็นครั้ง

ตารางที่ 5.7 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มเพื่อการออกแบบการทดลอง

ลำดับที่	ปัจจัย	สัญลักษณ์	ประเภทของข้อมูล	ระดับของปัจจัย			
				ระดับต่ำ (-1)	ระดับกลาง (0)	ระดับสูง (+1)	หน่วย
1	แรงลมในการฉีด วางแผ่นคั่นงาน บันทึกข้อมูล	A	Variable Data	1500	1875	2250	mmHg
2	แรงลมในการดูด หีบแผ่นคั่นงาน บันทึกข้อมูล	B	Variable Data	440	460	480	mmHg

จากตารางที่ 5.7 มีรายละเอียดของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม ดังนี้

1. แรงในการผลักวางแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลคือ ความดันที่ Ejector pin ใช้ในขณะที่ผลักแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลเพื่อวางลงบนงานบันทึกข้อมูล มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท
2. แรงในการดูดหีบแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลคือ คือ ความดันที่ Vacuum pin ใช้ในขณะที่ดูดแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลจากถาดบรรจุเพื่อหีบไปประกอบในฮาร์ดดิสก์ ไดรฟ์ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท

บทที่ 6

ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ในบทนี้จะทำการหาค่าของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมที่สุดแต่ละตัวที่ส่งผลให้สัดส่วนของของเสียประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มลดลงมากที่สุด โดยการทำการออกแบบการทดลอง และการหาพื้นผิวตอบสนอง เพื่อเปรียบเทียบผลของแต่ละปัจจัยว่าตรงกันหรือไม่ และนำผลของแต่ละปัจจัยที่ได้ไปทดลองซ้ำเพื่อยืนยันผลและปรับปรุงกระบวนการต่อไป

6.1 การออกแบบการทดลอง

จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการทดสอบสมมติฐาน ในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาพบปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเกิดรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย 4 ปัจจัย และปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเกิดรอยจุดเป็นกลุ่ม 2 ปัจจัย จึงได้ทำการออกแบบการทดลองสำหรับข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย โดยใช้การทดลองแบบบล็อก-เบ้หันเคน ซึ่งเป็นการทดลองแบบ 3 ระดับการทดลองสำหรับพื้นผิวตอบสนอง เพื่อใช้ในการหาสมการถดถอยของความสัมพันธ์ของปัจจัย และการออกแบบการทดลองสำหรับข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม โดยใช้การทดลองแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ปัจจัย 3 ระดับ เพื่อทดลองหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่มีผลต่ออัตราของเสียทั้ง 2 ประเภท

6.1.1 การกำหนดจำนวนการทดลองสำหรับวิธีการออกแบบการทดลอง

การกำหนดจำนวนการทดลองของข้อบกพร่องทั้ง 2 ประเภทนี้ จะใช้ประเภทของวิธีการออกแบบการทดลองของแต่ละข้อบกพร่องเป็นตัวกำหนด ดังนี้

สำหรับข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย มีปัจจัยที่นำมาทำการทดลองทั้งหมด 4 ปัจจัย ระดับของปัจจัย 3 ระดับ คือ ระดับสูง (1) ระดับกลาง (0) และระดับต่ำ (-1) ซึ่งทั้ง 4 ปัจจัยนี้เป็นปัจจัยแปรผัน (Variable Data) ทั้งหมด เมื่อทำการออกแบบการทดลองโดยโปรแกรม Minitab โดยเลือกการทดลองแบบบล็อก-เบ้หันเคน จะได้จำนวนการทดลองทั้งหมด 27 การทดลอง (27 Runs) 1 การทดลองซ้ำ (1 Replicate) ซึ่งรายละเอียดของแต่ละระดับการทดลอง แสดงดังรูปที่ 6.1 และตารางที่ 6.1

Box-Behnken Design			
Factors:	4	Replicates:	1
Base runs:	27	Total runs:	27
Base blocks:	1	Total blocks:	1
Center points: 3			

รูปที่ 6.1 รายละเอียดของการทดลองแบบบล็อก-เบ้ที่ศูนย์กลางของขอบกล่องประเภท
รอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

ตารางที่ 6.1 ตารางการออกแบบการทดลองของขอบกล่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	C	D
10	1	2	1	1	0	0	-1
20	2	2	1	1	0	1	0
11	3	2	1	-1	0	0	1
16	4	2	1	0	1	1	0
7	5	2	1	0	0	-1	1
1	6	2	1	-1	-1	0	0
21	7	2	1	0	-1	0	-1
17	8	2	1	-1	0	-1	0
22	9	2	1	0	1	0	-1
5	10	2	1	0	0	-1	-1
25	11	0	1	0	0	0	0
9	12	2	1	-1	0	0	-1
15	13	2	1	0	-1	1	0
24	14	2	1	0	1	0	1
13	15	2	1	0	-1	-1	0
23	16	2	1	0	-1	0	1
4	17	2	1	1	1	0	0
2	18	2	1	1	-1	0	0

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	C	D
12	19	2	1	1	0	0	1
18	20	2	1	1	0	-1	0
19	21	2	1	-1	0	1	0
3	22	2	1	-1	1	0	0
26	23	0	1	0	0	0	0
8	24	2	1	0	0	1	1
27	25	0	1	0	0	0	0
6	26	2	1	0	0	1	-1
14	27	2	1	0	1	-1	0

สำหรับข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม มีปัจจัยที่นำมาทำการทดลองทั้งหมด 2 ปัจจัย ระดับของปัจจัย 3 ระดับ คือ ระดับสูง (1) ระดับกลาง (0) และระดับต่ำ (-1) ซึ่งทั้ง 2 ปัจจัยนี้เป็นปัจจัยแปรผัน (Variable Data) ทั้งหมด เมื่อทำการออกแบบการทดลองโดยโปรแกรม Minitab โดยเลือกการทดลองแบบเชิงแฟคทอเรียลจะได้จำนวนการทดลอง 9 การทดลอง (9 Runs) 2 การทดลองซ้ำ (2 Replicate) รวมเป็นทั้งหมด 18 การทดลอง ซึ่งรายละเอียดของแต่ละระดับการทดลอง แสดงดังรูปที่ 6.2 และตารางที่ 6.2

Multilevel Factorial Design			
Factors:	2	Replicates:	2
Base runs:	9	Total runs:	18
Base blocks:	1	Total blocks:	2
Number of levels: 3, 3			

รูปที่ 6.2 รายละเอียดของการทดลองแบบเชิงแฟคทอเรียลของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

ตารางที่ 6.2 ตารางการออกแบบการทดลองของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B
5	1	1	1	0	0
3	2	1	1	-1	1
1	3	1	1	-1	-1
4	4	1	1	0	-1
9	5	1	1	1	1
2	6	1	1	-1	0
8	7	1	1	1	0
7	8	1	1	1	-1
6	9	1	1	0	1
13	10	1	2	0	-1
18	11	1	2	1	1
14	12	1	2	0	0
15	13	1	2	0	1
10	14	1	2	-1	-1
12	15	1	2	-1	1
17	16	1	2	1	0
16	17	1	2	1	-1
11	18	1	2	-1	0

6.1.2 การกำหนดขนาดตัวอย่างสำหรับวิธีการออกแบบการทดลอง

จำนวนตัวอย่างสำหรับวิธีการออกแบบการทดลอง สำหรับกรณีที่ตัวแปรตอบสนองเป็นสัดส่วนของเสีย สามารถคำนวณหาความแตกต่างของข้อบกพร่องของตัวแปรตอบสนองเพื่อให้ค่าความแปรปรวนคงที่ได้จากสมการที่ 6.1 ดังนี้

$$\delta = \arcsin \sqrt{P_0 + \frac{\Delta}{2}} - \arcsin \sqrt{P_0 - \frac{\Delta}{2}} \quad (6.1)$$

เมื่อ δ = ค่าความแตกต่างของข้อบกพร่องของตัวแปรตอบสนอง

P_0 = สัดส่วนของเสียในปัจจุบัน

Δ = ค่าความต่างของสัดส่วนของเสียในปัจจุบันกับสัดส่วนของเสียเป้าหมาย
และนำค่าความแตกต่างนี้มาคำนวณขนาดของตัวอย่างในสมการที่ 6.2 ดังนี้

$$n = \frac{(Z_{1-\frac{\alpha}{2}} + Z_{1-\beta})^2}{N\delta^2} \quad (6.2)$$

เมื่อ n = จำนวนตัวอย่างในการทดลอง

ในการหาขนาดตัวอย่างของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย ได้กำหนดให้ สัดส่วนของเสียที่เป็นสัดส่วนของเสียปัจจุบัน เท่ากับ 0.0603 และสัดส่วนของเสียเป้าหมาย เท่ากับ 0.04 เช่นเดียวกับการหาขนาดตัวอย่างสำหรับวิธีการทดสอบสมมติฐาน กำหนดแอลฟา (α) เท่ากับ 0.05 เบต้า (β) เท่ากับ 0.2 และจำนวนการทดลอง 27 การทดลองที่ได้จากการคำนวณทางโปรแกรม Minitab ดังนั้น จะได้ผลของขนาดของตัวอย่าง ดังนี้

กำหนดแอลฟา เท่ากับ 0.05 และเบต้า เท่ากับ 0.2 แทนค่าในสมการที่ 6.1 จะได้

$$\begin{aligned} \delta &= \arcsin \sqrt{0.0603 + \frac{0.0203}{2}} - \arcsin \sqrt{0.0603 - \frac{0.0203}{2}} \\ \delta &= \arcsin 0.2645 - \arcsin 0.2236 = 0.0422 \end{aligned}$$

กำหนดจำนวนการทดลอง 27 การทดลอง แทนค่าในสมการที่ 6.2 จะได้

$$n = \frac{(Z_{0.975} + Z_{0.8})^2}{27(0.0422)^2} = 162.99 = 163$$

เพราะฉะนั้นจะได้ว่า ขนาดของตัวอย่างของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย สำหรับวิธีการออกแบบการทดลอง เท่ากับ 163 จำนวนตัวอย่าง

ในการหาขนาดตัวอย่างของข้อบกพร่องประเภทนี้ ได้กำหนดให้สัดส่วนของเสียที่เป็น สัดส่วนของเสียปัจจุบัน เท่ากับ 0.025 และสัดส่วนของเสียเป้าหมาย เท่ากับ 0.01 เช่นเดียวกับการ หาขนาดตัวอย่างสำหรับวิธีการทดสอบสมมติฐาน กำหนดแอลฟา เท่ากับ 0.05 เบต้า เท่ากับ 0.2 และจำนวนการทดลอง 9 การทดลองที่ได้จากการคำนวณทางโปรแกรม Minitab ดังนั้น จะได้ผล ของขนาดของตัวอย่าง ดังนี้

กำหนดแอลฟา เท่ากับ 0.05 และเบต้า เท่ากับ 0.2 แทนค่าในสมการที่ 6.1 จะได้

$$\delta = \arcsin \sqrt{0.025 + \frac{0.01}{2}} - \arcsin \sqrt{0.025 - \frac{0.01}{2}}$$

$$\delta = \arcsin 0.180 - \arcsin 0.132 = 0.0486$$

กำหนดจำนวนการทดลอง 27 การทดลอง แทนค่าในสมการที่ 6.2 จะได้

$$n = \frac{(Z_{0.975} + Z_{0.8})^2}{9(0.0486)^2} = 378.2 = 379$$

เพราะฉะนั้นจะได้ว่า ขนาดของตัวอย่างของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มสำหรับวิธีการออกแบบการทดลอง เท่ากับ 379 จำนวนตัวอย่าง

เปรียบเทียบขนาดของตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองระหว่างวิธีทดสอบสมมติฐานและวิธีออกแบบการทดลอง พบว่าวิธีการออกแบบการทดลองใช้ขนาดของตัวอย่างน้อยกว่า ดังตารางที่ 5.3 ดังนั้น จึงเลือกขนาดตัวอย่างของวิธีการออกแบบการทดลองมาใช้ในการทดลองสำหรับข้อบกพร่องทั้ง 2 ประเภท

ตารางที่ 6.3 เปรียบเทียบขนาดของตัวอย่างการทดลองระหว่างวิธีทดสอบสมมติฐานและวิธีออกแบบการทดลอง

ประเภทข้อบกพร่อง	ขนาดตัวอย่าง		จำนวนการทดลอง (N)
	การทดสอบสมมติฐาน (n)	การออกแบบการทดลอง (n)	
รอยขีดที่วนเป็นก้นหอย	1863	163	27
รอยจุดเป็นกลุ่ม	1199	379	9

6.2 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

หลังจากทำการออกแบบการทดลองและทดลองตามระดับของปัจจัยที่ได้กำหนดไว้ จะได้ผลของการทดลองและการวิเคราะห์ผลของการทดลองของข้อบกพร่องทั้ง 2 ประเภทดังนี้

6.2.1 ข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

จากการออกแบบการทดลองแบบบล็อก-เบ้เห็นเคนของปัจจัยทั้งหมด 4 ปัจจัยจะได้ผลการทดลองเป็นสัดส่วนของเสียบนงานบันทึกข้อมูลจากข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

(P-bar) เนื่องจากผลการทดลองเป็นสัดส่วนของเสียซึ่งมีความแปรปรวนของข้อมูลที่ไม่คงที่ เมื่อนำมาวิเคราะห์จะทำให้ผลที่ได้เกิดความคลาดเคลื่อน จึงได้ทำการแปลงข้อมูลเพื่อให้ความแปรปรวนคงที่ก่อนด้วยวิธีของ Bisgaard และ Fuller (1994) ด้วยวิธีของ Freeman and Turkey (F&T) ดังสมการที่ 6.3 ดังนี้

$$P(F\&T) = \frac{\arcsin \sqrt{\frac{n\hat{p}}{n+1}} + \arcsin \sqrt{\frac{n\hat{p}+1}{n+1}}}{2} \quad (6.3)$$

ตารางที่ 6.4 ผลการทดลองและผลการแปลงข้อมูลด้วยวิธีของ Freeman and Turkey ของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	C	D	P-bar	F&T
10	1	2	1	1	0	0	-1	0.064	0.261
20	2	2	1	1	0	1	0	0.055	0.243
11	3	2	1	-1	0	0	1	0.052	0.236
16	4	2	1	0	1	1	0	0.054	0.240
7	5	2	1	0	0	-1	1	0.062	0.257
1	6	2	1	-1	-1	0	0	0.042	0.213
21	7	2	1	0	-1	0	-1	0.052	0.236
17	8	2	1	-1	0	-1	0	0.054	0.240
22	9	2	1	0	1	0	-1	0.06	0.253
5	10	2	1	0	0	-1	-1	0.061	0.255
25	11	0	1	0	0	0	0	0.055	0.243
9	12	2	1	-1	0	0	-1	0.053	0.238
15	13	2	1	0	-1	1	0	0.044	0.218
24	14	2	1	0	1	0	1	0.051	0.234
13	15	2	1	0	-1	-1	0	0.046	0.223
23	16	2	1	0	-1	0	1	0.038	0.203
4	17	2	1	1	1	0	0	0.055	0.243
2	18	2	1	1	-1	0	0	0.048	0.227

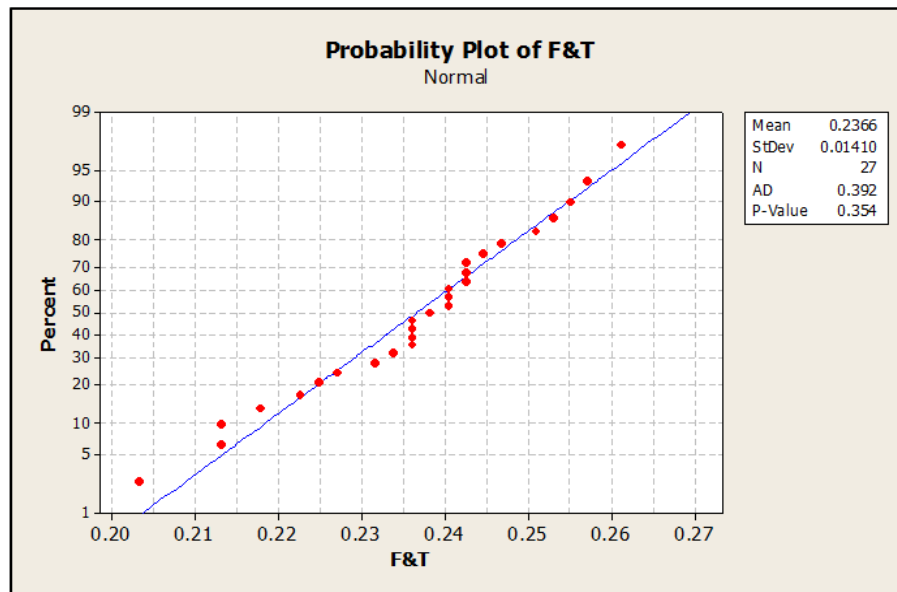
StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	C	D	P-bar	F&T
12	19	2	1	1	0	0	1	0.052	0.236
18	20	2	1	1	0	-1	0	0.057	0.247
19	21	2	1	-1	0	1	0	0.047	0.225
3	22	2	1	-1	1	0	0	0.05	0.232
26	23	0	1	0	0	0	0	0.054	0.240
8	24	2	1	0	0	1	1	0.042	0.213
27	25	0	1	0	0	0	0	0.052	0.236
6	26	2	1	0	0	1	-1	0.059	0.251
14	27	2	1	0	1	-1	0	0.056	0.245

ก่อนการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อสรุปผลของปัจจัยและระดับของปัจจัยที่มีค่าที่เหมาะสมที่สุดในการออกแบบการทดลองนี้ การตรวจสอบข้อกำหนดของแบบจำลอง จะทำการทดสอบว่าค่าตกค้างมีการแจกแจงปกติและค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ สามารถพิจารณาได้จากกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าตกค้างและการทดสอบสมมติฐานว่าค่าตกค้างมีการแจกแจงปกติ ด้วยค่าสถิติทดสอบ Anderson – Darling (AD)

จากการทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติของค่าตกค้างดังแสดงในรูปที่ 6.3 พบว่าค่าตกค้างมีการกระจายตัวเป็นปกติ คือ มีลักษณะการเรียงตัวของค่าตกค้างกระจายรอบๆเส้นตรง และเมื่อทดสอบสมมติฐานว่าค่าตกค้างมีการแจกแจงปกติหรือไม่ พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ไม่สามารถปฏิเสธได้ว่าค่าตกค้างมีการแจกแจงปกติ เนื่องด้วยค่าสถิติทดสอบ AD มีค่าเท่ากับ 0.392 ซึ่งมากกว่า 0.05

ค่าตกค้างต้องเป็นอิสระต่อกัน ไม่แปรผันตามปัจจัยหรือลำดับการทดลอง พิจารณาได้จากกราฟระหว่างค่าตกค้างกับลำดับการทดลอง

จากการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าตกค้างของสัดส่วนของเสียข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยตามลำดับการทดลองดังแสดงในรูปที่ 6.4 พบว่าค่าตกค้างมีการกระจายตัวที่มีรูปแบบเป็นอิสระต่อกัน ไม่มีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม หรือรูปแบบที่แน่นอน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกันตรงตามสมมติฐาน

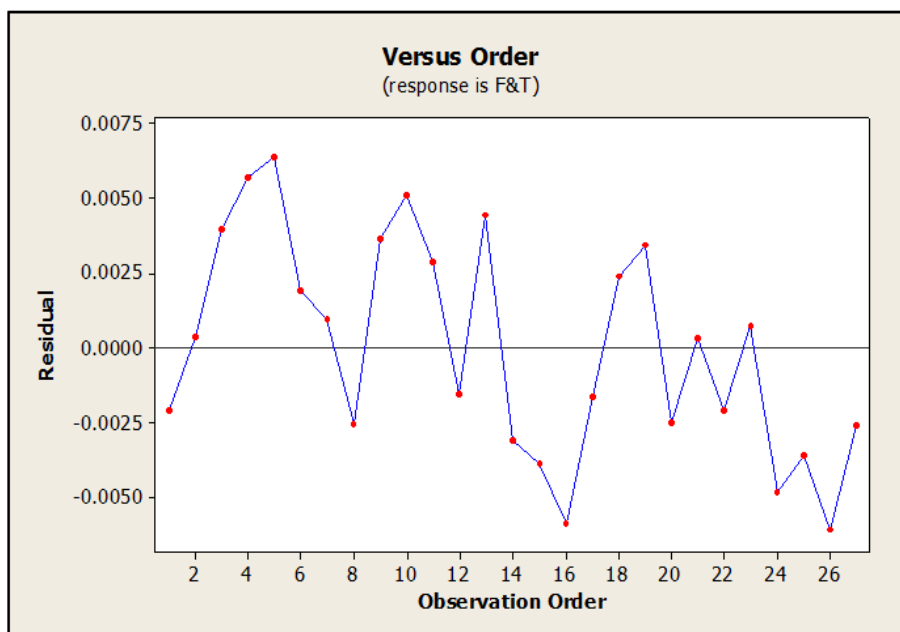


รูปที่ 6.3 ผลการทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

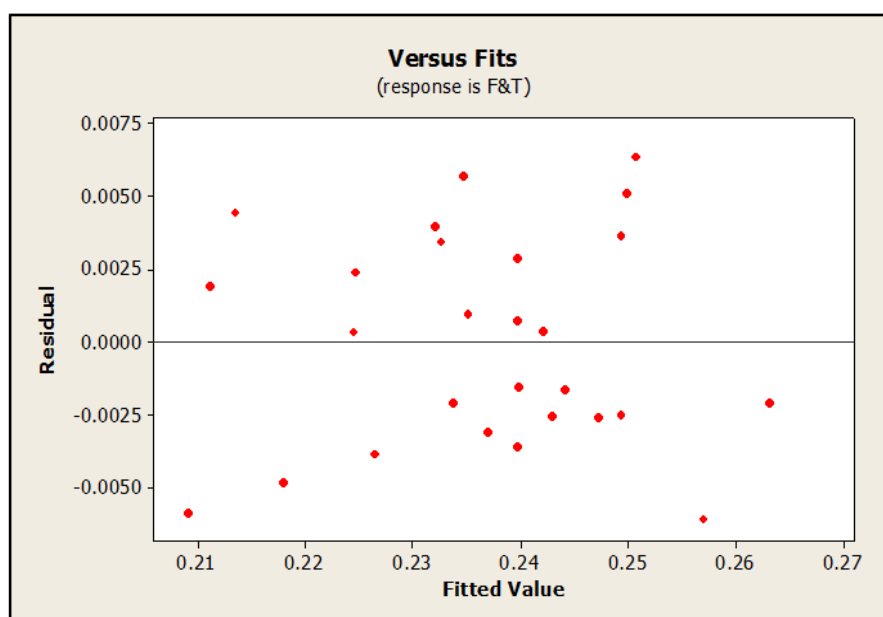
การทดสอบว่าค่าตักข้างมีความแปรปรวนคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามระดับของปัจจัยหรือขึ้นอยู่กับค่าพยากรณ์ของผลตอบ พิจารณาได้จากกราฟระหว่างค่าตักข้างกับค่าที่ถูกพิตต้องมีการกระจายแบบสุ่ม คืออยู่เหนือและใต้เส้นกึ่งกลางเท่ากัน

จากการทดสอบข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 6.5 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าตักข้างและค่าที่ถูกพิตของสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยมีการกระจายตัวเป็นแบบสุ่ม หรือไม่เป็นแบบกรวยปากเปิด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าค่าตักข้างมีความแปรปรวนคงที่ตรงตามสมมติฐาน

ผลการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย พบว่าข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ของการออกแบบการทดลองเป็นไปตามสมมติฐานทั้ง 3 ข้อ คือข้อมูลมีการแจกแจงปกติ ข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน และข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นสามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลในการขั้นตอนต่อไปได้



รูปที่ 6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตกค้างของสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยตามลำดับการทดลอง



รูปที่ 6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตกค้างและค่าที่ถูกฟิตของสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

การวิเคราะห์ผลการทดลองของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยด้วยการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง วิธีการพื้นผิวผลตอบสนองเป็นการนำเอาเทคนิคทางคณิตศาสตร์และสถิติมาช่วยในการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ปัญหา เมื่อผลตอบที่สนใจขึ้นอยู่กับตัวแปรหลาย

ตัว โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะหาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบนี้ มีงานวิจัยที่นำการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองมาใช้วิเคราะห์ผล อาทิเช่น การลดการปนเปื้อนของน้ำมัน (Angsumalin, Somkiat and Napassavong, 2009) การลดสัดส่วนของเสียในอุตสาหกรรมสบู่ (Angsumalin, 2010) การวิเคราะห์ผลการทดลองของข้อบกพร่องดังกล่าวข้างต้นด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองนี้ เพื่อหาผลตอบที่มีลักษณะเป็นส่วนโค้งที่มีค่าเหมาะสมที่สุด

เมื่อพิจารณาที่ค่า R-Sq จากสมการที่ 6.4 ได้ค่า R-Sq เท่ากับ 93.27% และจากรูปที่ 6.6 ได้ค่า R-Sq (adj) มีค่าเท่ากับ 85.46% ถือว่าค่า R-Sq อยู่ในเกณฑ์ที่ค่อนข้างสูง แสดงว่า ความแม่นยำของการนำสมการไปคาดคะเนผลลัพธ์มีค่าค่อนข้างสูง

$$\begin{aligned} \text{Defective rate (F\&T)} = & 0.239654 + 0.00598A + 0.010496B - 0.006393C - 0.009571D - \\ & 0.000955A^2 - 0.010237B^2 + 0.001022C^2 + 0.003214D^2 - \\ & 0.000779AB + 0.002822AC - 0.005712AD + 0.0001BC + \\ & 0.003405BD - 0.009955CD \end{aligned} \quad (6.4)$$

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ปัจจัยหลัก A B C D พจน์กำลังสองของ B (B*B) และ ปัจจัยร่วมของ C และ D (C*D) มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นมีผลต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยอย่างมีนัยสำคัญ

การวิเคราะห์ด้วย Response optimizer นี้จะได้ค่าสัดส่วนของเสียที่แปลงแล้ว (F&T) เท่ากับ 0.1846 เมื่อคำนวณกลับเป็นค่าสัดส่วนของเสียจะเท่ากับ 0.0309 หรือ 3.09% เมื่อมาพิจารณาจาก Surface Plot ดังสมการที่ 6.3 ดังรูปที่ 6.9 ซึ่งเป็นการแสดงความสัมพันธ์แบบ 3 มิติ ระหว่างค่าสัดส่วนของเสียที่แปลงแล้ว (F&T) กับปัจจัย 2 ปัจจัย จากรูปที่มุมบนด้านซ้าย แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนของเสียในรูปของ F&T บนแกน Z และระดับของปัจจัย A และ B บนแกน X และ Y ตามลำดับ และพิจารณาจาก Contour Plot ดังรูปที่ 6.10 จะเห็นว่า เป็นการแสดงการทำนายค่าของผลตอบสนองที่ได้ โดยแสดงไว้ที่กล่อง F&T ทางด้านขวา จะเห็นว่า ค่าของสัดส่วนของเสียที่แปลงแล้วที่น้อยที่สุด จะแสดงในค่าสีน้ำเงิน โดยกราฟแสดงความสัมพันธ์นี้แสดงให้เห็นว่า ระดับของปัจจัย A เท่ากับ 3 มิลลิเมตร ระดับของปัจจัย B เท่ากับ 0.002 นิ้ว ระดับของปัจจัย C เท่ากับ 0.01 นิ้ว และระดับของปัจจัย D เท่ากับ 10,000 ครั้ง

จากการทดลองนี้สามารถอธิบายผลของการปรับตั้งค่าสำหรับระดับที่เหมาะสมของปัจจัยที่ส่งผลต่อสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย ดังนี้ การปรับตั้งค่าระยะห่างระหว่างตัวหยิกกับจานบันทึกข้อมูลที่ระดับ 3 มิลลิเมตร ส่งผลให้ระดับแรงดูดสุญญากาศ

ที่ใช้จึงงานบันทึกข้อมูลเพื่อนำไปประกอบในฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟลดต่ำกว่าระยะ 5 มิลลิเมตร ส่งผลต่อการเกิดการเกิดการเสียดสีหรือการกระแทกระหว่างขอบของงานบันทึกข้อมูลกับตัวหีบที่ลดลง สำหรับการเปลี่ยนขนาดความคมของฝาครอบฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟลงจาก 0.005 นิ้ว เหลือ 0.002 นิ้ว ช่วยลดการเสียดสีระหว่างกล่องบรรจุฝาครอบกับฝาครอบ เนื่องจากความของฝาครอบ 0.005 นิ้ว เป็นค่าความคมที่สูงเกินไป ซึ่งอาจทำให้ฝาครอบมีโอกาสไปชูดกับกล่องบรรจุฝาครอบทำให้เกิดเศษพลาสติกจากกล่องบรรจุฝาครอบขึ้น เศษพลาสติกเหล่านี้อาจหลุดติดมากับฝาครอบ เมื่อนำไปประกอบเป็นฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟแล้วเข้ากระบวนการทดสอบ จะส่งผลให้เศษพลาสติกเหล่านี้ตกลงไปบนงานบันทึกข้อมูล เมื่อทำการอ่าน-เขียนข้อมูลในบริเวณที่มีเศษพลาสติกเหล่านี้ติดอยู่ อาจทำให้หัวอ่าน-เขียนลากเศษพลาสติกไปขีดข่วนลงบนงานบันทึกข้อมูลได้ ซึ่งระดับของความรุนแรงในการขีดข่วนนี้จะเกี่ยวเนื่องกับระยะยกตัวของหัวอ่าน-เขียน เนื่องจากระยะยกตัวของหัวอ่าน-เขียนคือ ระยะของการกดหรือยกของหัวอ่านเขียนเมื่อเทียบกับระนาบในแกนนอน โดยที่ค่าบวกหมายถึงหัวอ่านเขียนยกขึ้น ขณะที่ค่าลบหมายถึงหัวอ่านเขียนกดลงเมื่อเทียบกับระนาบ โดยระดับที่เหมาะสมคือ 0.01 นิ้ว ซึ่งหมายถึงมีระยะยกขึ้นมากกว่าเดิม ถ้าค่านี้ลดต่ำลงมากเกินไปอาจจะทำให้หัวอ่าน-เขียนกดลงมาก เป็นผลทำให้เมื่อต้องไปอ่านเขียนข้อมูลบนงานบันทึกข้อมูล ขณะที่งานบันทึกข้อมูลหมุนอยู่ อาจส่งผลให้หัวอ่านเขียนกดลงจนสัมผัสกับงานบันทึกข้อมูลได้ และการเปลี่ยนการทดสอบ load/unload จาก 1,000 เป็น 10,000 ครั้ง การเพิ่มจำนวนการทดสอบ load/unload จะเป็นการเพิ่มการตรวจสอบประสิทธิภาพของชุดประกอบหัวอ่านเขียนได้ดียิ่งขึ้น หากมีชุดประกอบหัวอ่านเขียนใดที่มีพารามิเตอร์ต่างๆ เช่นระยะยกตัว ระยะเอียง แรงกดไม่เหมาะสมก็จะสามารถตรวจพบได้ก่อน ซึ่งจะป้องกันไม่ให้ชุดประกอบหัวอ่าน-เขียนที่ไม่ได้ประสิทธิภาพนี้ถูกส่งไปยังลูกค้าได้

Response Surface Regression: F&T versus A, B, C, D

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for F&T

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.239654	0.003104	77.201	0.000
A	0.005982	0.001552	3.854	0.002
B	0.010496	0.001552	6.762	0.000
C	-0.006393	0.001552	-4.119	0.001
D	-0.009571	0.001552	-6.166	0.000
A*A	-0.000955	0.002328	-0.410	0.689
B*B	-0.010237	0.002328	-4.397	0.001
C*C	0.001022	0.002328	0.439	0.669
D*D	0.003214	0.002328	1.380	0.193
A*B	-0.000779	0.002688	-0.290	0.777
A*C	0.002822	0.002688	1.050	0.315
A*D	-0.005712	0.002688	-2.125	0.055
B*C	0.000100	0.002688	0.037	0.971
B*D	0.003405	0.002688	1.266	0.229
C*D	-0.009955	0.002688	-3.703	0.003

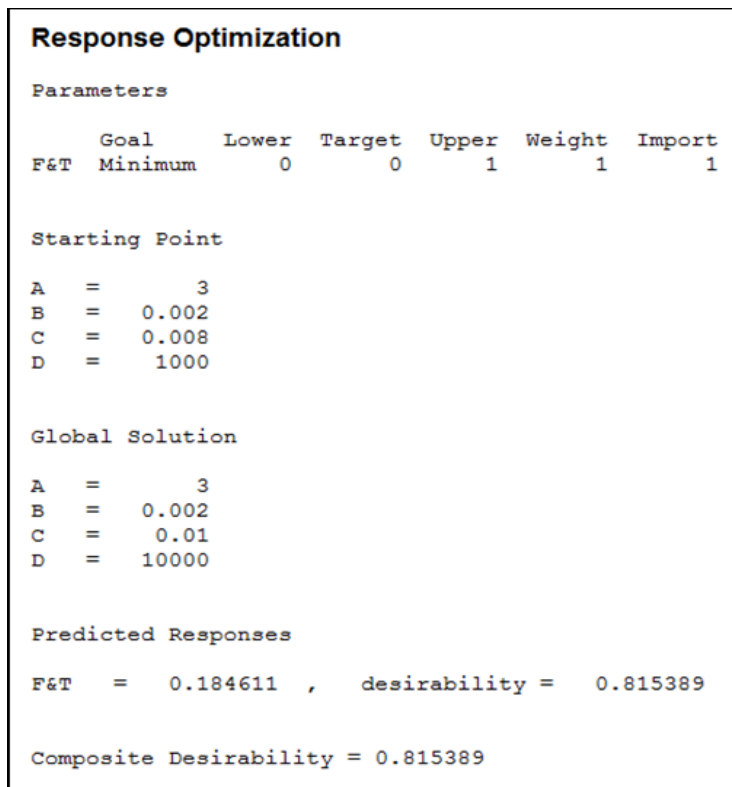
S = 0.00537679 PRESS = 0.00192175
R-Sq = 93.29% R-Sq(pred) = 62.81% R-Sq(adj) = 85.46%

Analysis of Variance for F&T

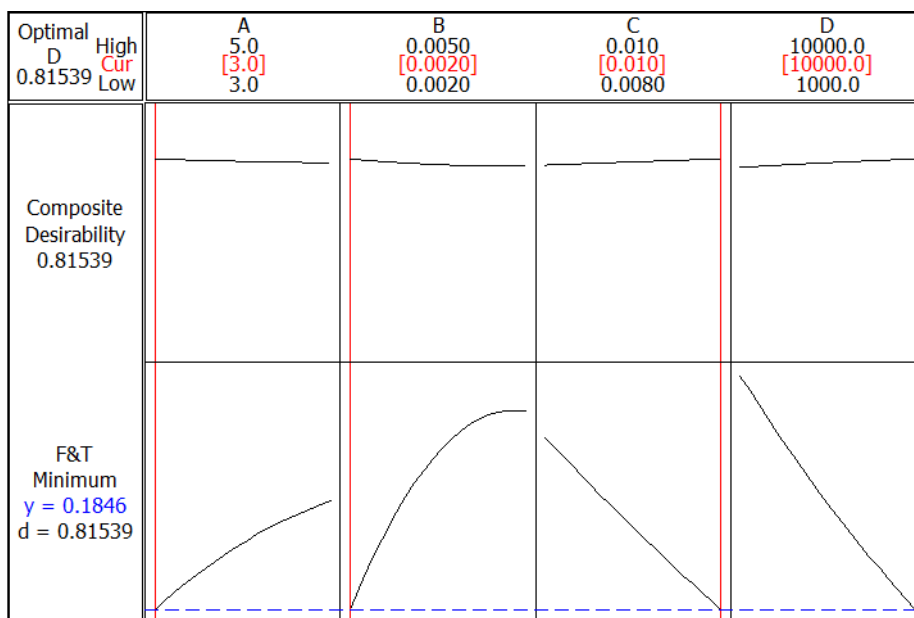
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	14	0.004821	0.004821	0.000344	11.91	0.000
Linear	4	0.003341	0.003341	0.000835	28.89	0.000
A	1	0.000429	0.000429	0.000429	14.85	0.002
B	1	0.001322	0.001322	0.001322	45.73	0.000
C	1	0.000490	0.000490	0.000490	16.96	0.001
D	1	0.001099	0.001099	0.001099	38.03	0.000
Square	4	0.000872	0.000872	0.000218	7.54	0.003
A*A	1	0.000000	0.000000	0.000000	0.17	0.689
B*B	1	0.000817	0.000559	0.000559	19.33	0.001
C*C	1	0.000000	0.000000	0.000000	0.19	0.669
D*D	1	0.000055	0.000055	0.000055	1.91	0.193
Interaction	6	0.000608	0.000608	0.000101	3.50	0.031
A*B	1	0.000002	0.000002	0.000002	0.08	0.777
A*C	1	0.000032	0.000032	0.000032	1.10	0.315
A*D	1	0.000131	0.000131	0.000131	4.51	0.055
B*C	1	0.000000	0.000000	0.000000	0.00	0.971
B*D	1	0.000046	0.000046	0.000046	1.60	0.229
C*D	1	0.000396	0.000396	0.000396	13.71	0.003
Residual Error	12	0.000347	0.000347	0.000029		
Lack-of-Fit	10	0.000325	0.000325	0.000033	2.98	0.277
Pure Error	2	0.000022	0.000022	0.000011		
Total	26	0.005168				

รูปที่ 6.6 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

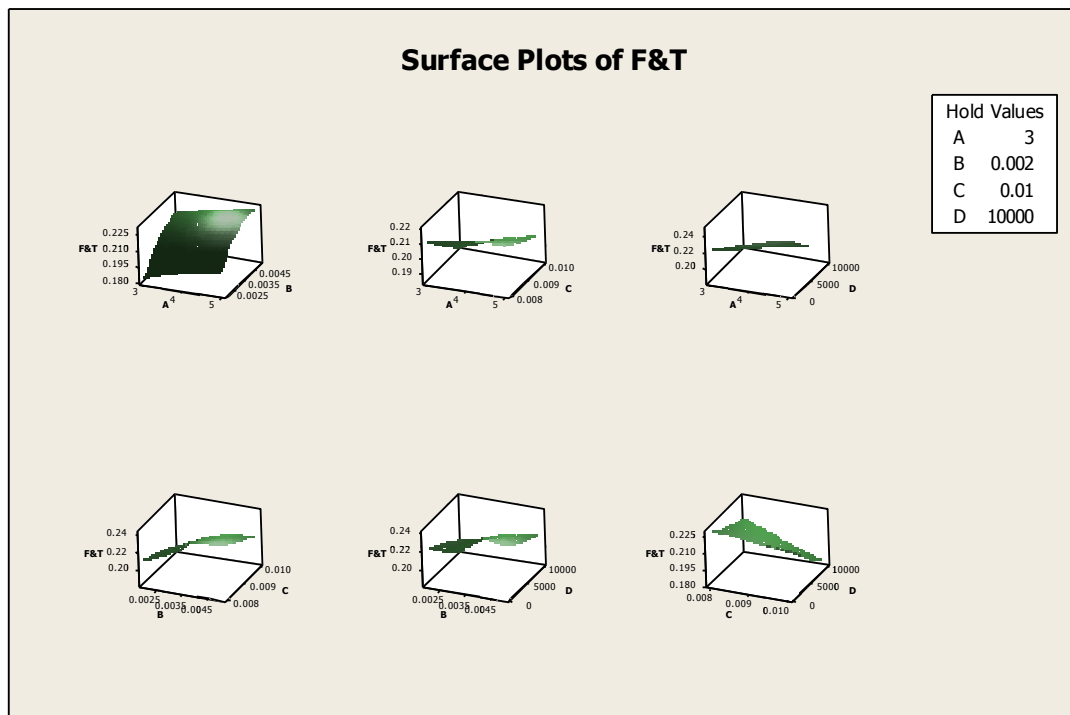
โดยโปรแกรม Minitab



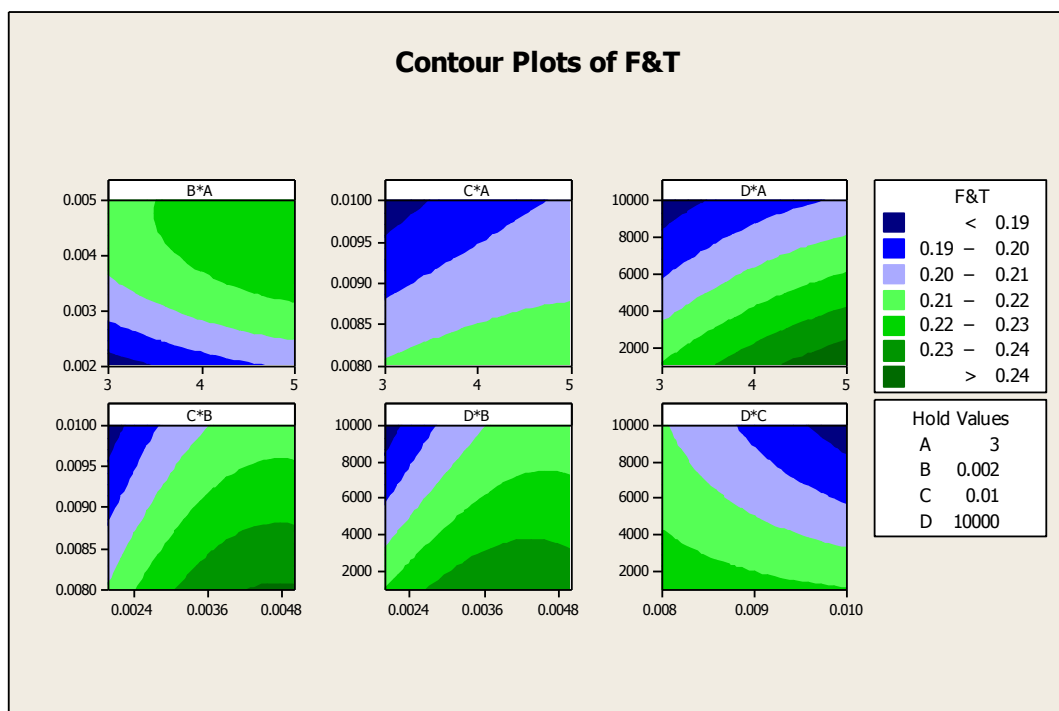
รูปที่ 6.7 ผลจากการรัน Response Optimizer ในโปรแกรม Minitab



รูปที่ 6.8 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จาก Response Optimizer



รูปที่ 6.9 Surface Plot จากการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง



รูปที่ 6.10 Contour Plot จากการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง

6.2.2 ข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

จากการออกแบบการทดลองแบบเชิงแฟคทอเรียลของปัจจัย 2 ปัจจัยได้ผลการทดลองเป็นสัดส่วนของเสียบนงานบันทึกข้อมูลจากข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มและได้ทำการแปลงข้อมูลเพื่อให้ความแปรปรวนคงที่ก่อนด้วยวิธีมาตรฐาน และวิธีของ Freeman and Turkey ดังตารางที่ 6.5

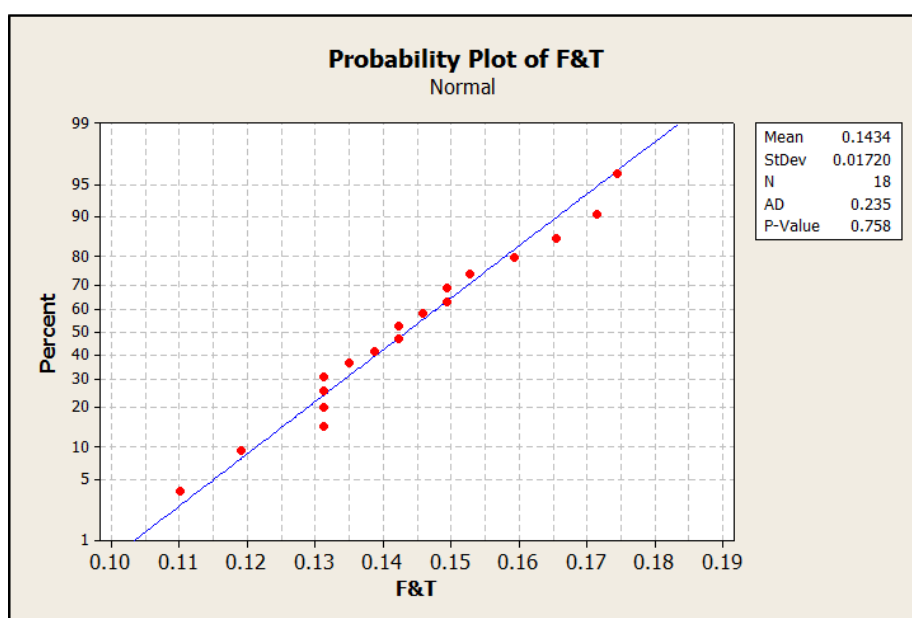
ตารางที่ 6.5 ผลการทดลองและผลการแปลงข้อมูลด้วยวิธีมาตรฐานและวิธีของ Freeman and Turkey ของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	P-bar	F&T
5	1	1	1	0	0	0.017	0.139
3	2	1	1	-1	1	0.027	0.172
1	3	1	1	-1	-1	0.018	0.142
4	4	1	1	0	-1	0.015	0.131
9	5	1	1	1	1	0.018	0.142
2	6	1	1	-1	0	0.023	0.159
8	7	1	1	1	0	0.015	0.131
7	8	1	1	1	-1	0.012	0.119
6	9	1	1	0	1	0.02	0.149
13	10	1	2	0	-1	0.016	0.135
18	11	1	2	1	1	0.019	0.146
14	12	1	2	0	0	0.015	0.131
15	13	1	2	0	1	0.021	0.153
10	14	1	2	-1	-1	0.02	0.149
12	15	1	2	-1	1	0.028	0.174
17	16	1	2	1	0	0.015	0.131
16	17	1	2	1	-1	0.01	0.110
11	18	1	2	-1	0	0.025	0.165

ก่อนการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อสรุปผลของปัจจัยและระดับของปัจจัยที่มีค่าที่เหมาะสมที่สุดในการออกแบบการทดลองนี้ การตรวจสอบข้อกำหนดของแบบจำลอง จะทำการ

ทดสอบว่าค่าตกค้างมีการแจกแจงปกติและค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ สามารถพิจารณาได้จากกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าตกค้างและการทดสอบสมมติฐานว่าค่าตกค้างมีการแจกแจงปกติ ด้วยค่าสถิติทดสอบ Anderson – Darling

จากการทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติของค่าตกค้างดังแสดงในรูปที่ 6.11 พบว่าค่าตกค้างมีการกระจายตัวเป็นปกติ คือ มีลักษณะการเรียงตัวของค่าตกค้างกระจายรอบๆเส้นตรง และเมื่อทดสอบสมมติฐานว่าค่าตกค้างมีการแจกแจงปกติหรือไม่ พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ไม่สามารถปฏิเสธได้ว่าค่าตกค้างมีการแจกแจงปกติ เนื่องด้วยค่าสถิติทดสอบ AD มีค่าเท่ากับ 0.235 ซึ่งมากกว่า 0.05

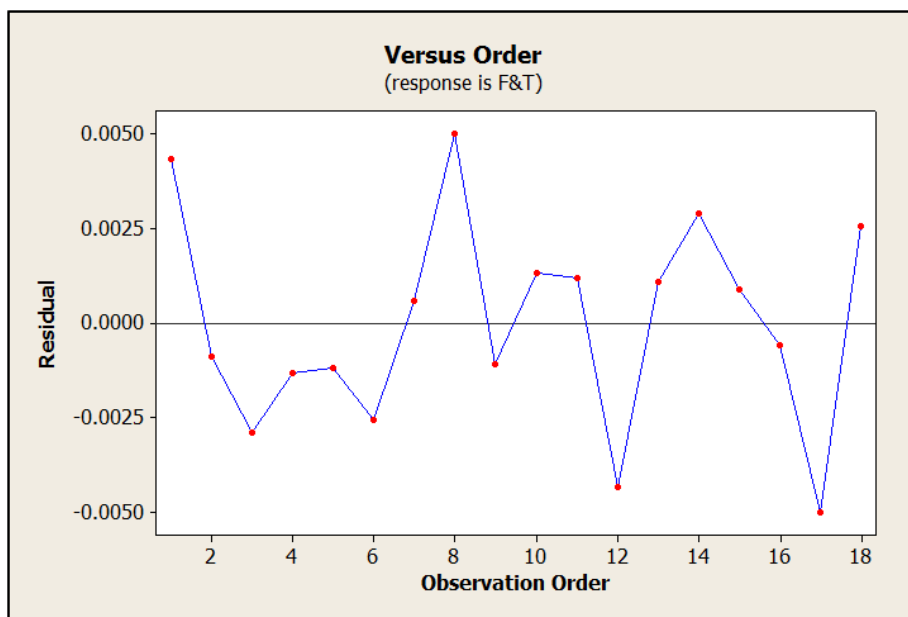


รูปที่ 6.11 ผลการทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

ค่าตกค้างต้องเป็นอิสระต่อกัน ไม่แปรผันตามปัจจัยหรือลำดับการทดลอง พิจารณาได้จากกราฟระหว่างค่าตกค้างกับลำดับการทดลอง

จากการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าตกค้างของสัดส่วนของเสียข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มตามลำดับการทดลองดังแสดงในรูปที่ 6.12 พบว่าค่าตกค้างมีการกระจายตัวที่มีรูปแบบเป็นอิสระต่อกัน ไม่มีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม หรือรูปแบบที่แน่นอน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกันตรงตามสมมติฐาน

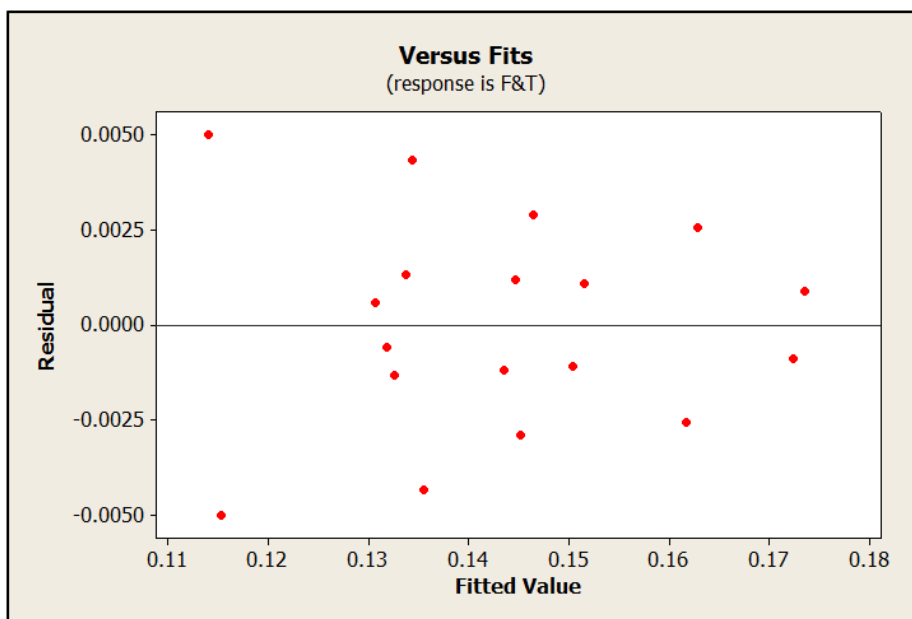
การทดสอบว่าค่าตกค้างมีความแปรปรวนคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามระดับของปัจจัยหรือขึ้นอยู่กับค่าพยากรณ์ของผลตอบ พิจารณาได้จากกราฟระหว่างค่าตกค้างกับค่าที่ถูกพิตต้องมีการกระจายแบบสุ่ม คืออยู่เหนือและใต้เส้นกึ่งกลางเท่ากัน



รูปที่ 6.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตกค้างของสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มตามลำดับการทดลอง

จากการทดสอบข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 6.13 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าตกค้างและค่าที่ถูกพิตของสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มมีการกระจายตัวเป็นแบบสุ่มหรือไม่เป็นแบบกรวยปากเปิด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าค่าตกค้างมีความแปรปรวนคงที่ตรงตามสมมติฐาน

ผลการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม พบว่าข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ของการออกแบบการทดลองเป็นไปตามสมมติฐานทั้ง 3 ข้อ คือข้อมูลมีการแจกแจงปกติ ข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน และข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นสามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลในการขั้นตอนต่อไปได้



รูปที่ 6.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตกค้างและค่าที่ถูกฟิตของสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

การวิเคราะห์ผลการทดลองของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มด้วยการวิเคราะห์วิธีเชิงเส้นทั่วไป วิธีเชิงเส้นทั่วไปเป็นการออกแบบการทดลองที่มีประสิทธิภาพ ใช้เมื่อตัวแปรผลตอบกับปัจจัยนำเข้ามีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้น การวิเคราะห์ผลการทดลองของข้อบกพร่องดังกล่าวข้างต้นด้วยวิธีเชิงเส้นทั่วไป สามารถวิเคราะห์ผลของแต่ละปัจจัยและความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยได้

จากรูปที่ 6.14 เมื่อพิจารณาที่ค่า R-Sq ที่ต้องมีค่าอยู่ที่ $0 \leq R-Sq \leq 1$ จะได้ว่าค่า R-Sq ของการทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 97.45% และค่า R-Sq (adj) มีค่าเท่ากับ 94.57% ถือว่าค่า R-Sq อยู่ในเกณฑ์ที่ค่อนข้างสูง แสดงว่าความแม่นยำของการนำสมการไปคาดคะเนผลลัพธ์มีค่าค่อนข้างสูง และที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ของปัจจัยหลัก A และ B มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นมีผลต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาผลของปัจจัยร่วม พบว่า ปัจจัยร่วม A และ B มีค่า P-Value เท่ากับ 0.133 มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าผลของปัจจัยร่วมคู่นี้ไม่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม ดังนั้นจึงทำการพิจารณาเพียงผลของปัจจัยหลัก

General Linear Model: F&T versus Blocks, A, B						
Factor	Type	Levels	Values			
Blocks	fixed	2	1, 2			
A	fixed	3	1500, 1875, 2250			
B	fixed	3	440, 460, 480			
Analysis of Variance for F&T, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	1	0.0000061	0.0000061	0.0000061	0.38	0.554
A	2	0.0028881	0.0028881	0.0014440	89.94	0.000
B	2	0.0018498	0.0018498	0.0009249	57.60	0.000
A*B	4	0.0001556	0.0001556	0.0000389	2.42	0.133
Error	8	0.0001284	0.0001284	0.0000161		
Total	17	0.0050281				
S = 0.00400702 R-Sq = 97.45% R-Sq(adj) = 94.57%						

รูปที่ 6.14 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม โดยโปรแกรม Minitab

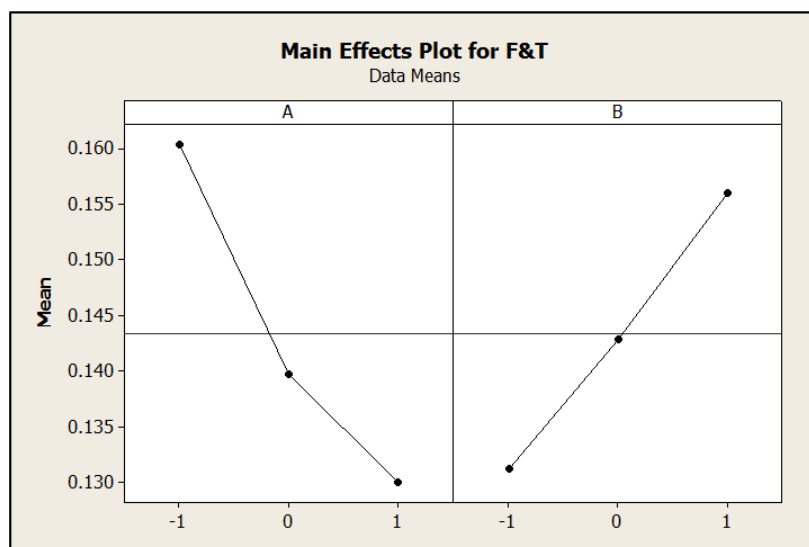
เมื่อพิจารณาผลของปัจจัยหลัก ดังแสดงในรูปที่ 6.15 พบว่า ที่ระดับต่ำ (-1) ของปัจจัย A จะให้ค่าสัดส่วนของเสียที่สูงที่สุด และที่ระดับสูง (1) ของปัจจัย A จะให้ค่าสัดส่วนของเสียที่ต่ำที่สุด ดังนั้นจึงใช้ระดับปัจจัย A เท่ากับ 1 ในการปรับปรุงกระบวนการ และที่ระดับต่ำ (-1) ของปัจจัย B จะให้ค่าสัดส่วนของเสียที่ต่ำที่สุด และที่ระดับสูง (1) ของปัจจัย B จะให้ค่าสัดส่วนของเสียที่สูงที่สุด ดังนั้นจึงใช้ระดับปัจจัย B เท่ากับ -1

ปัจจัยร่วม A และ B มีค่า P-value มากกว่า 0.05 แสดงว่าผลของปัจจัยร่วม A และ B ไม่มีผลต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 6.16 จะเห็นว่า แต่ละเส้นของระดับของปัจจัยร่วมไม่ตัดกัน และมีลักษณะขนานกัน จึงสอดคล้องกับผลของค่า P-value

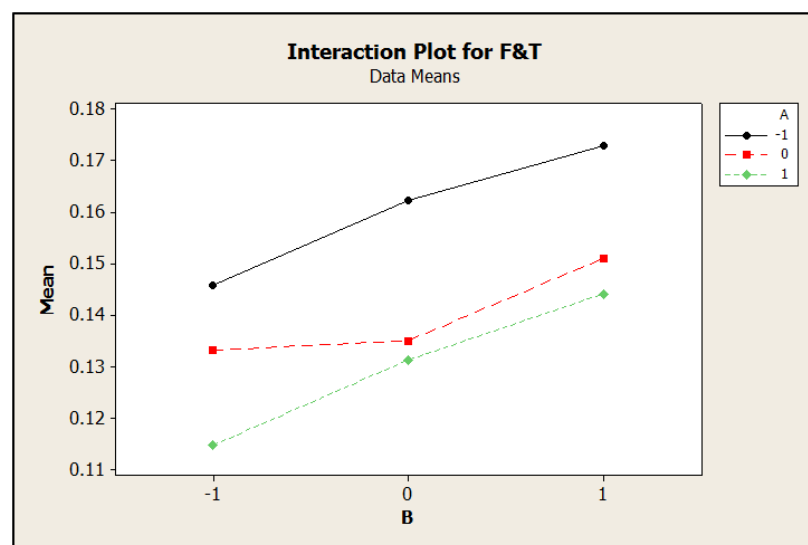
การวิเคราะห์ผลการทดลองนี้ จะได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้สัดส่วนของเสียประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มที่น้อยที่สุดคือ A เท่ากับ 2250 มิลลิเมตรปรอท และ B เท่ากับ 440 มิลลิเมตรปรอท ซึ่งให้ค่าสัดส่วนของเสียเพียง 0.01 หรือ 1.0%

จากการทดลองนี้สามารถอธิบายผลของการปรับตั้งค่าสำหรับระดับที่เหมาะสมของปัจจัยที่ส่งผลต่อสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม ดังนี้ การปรับตั้งค่าแรงลมในการฉีดวางแผ่นกันจางบนที่กข้อมูลี่ระดับ 2,250 มิลลิเมตรปรอท เป็นระดับแรงลมที่ ejector pin จะดันให้แผ่นกันจางบนที่กข้อมูลี่แรงดูดที่ vacuum pin ใช้ดูดจางบนที่กข้อมูลี่ในขณะหยิบแผ่น

คั่นงานบันทึกข้อมูลจากกล่องบรรจุมาประกอบเป็นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยแรงลมที่ใช้ในการดูดหีบงานบันทึกข้อมูลตั้งไว้ที่ระดับ 440 มิลลิเมตรปรอท เมื่อแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลเคลื่อนที่มาถึงจุดที่ต้องทำการปล่อยเพื่อประกอบลงบนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ vacuum pin จะทำการปิดแรงลมในการดูดแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลและ ejector pin จะปล่อยแรงลมออกมาเพื่อดันแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลให้วางลงบนชิ้นงานได้ตรงตำแหน่งและได้ระนาบที่เหมาะสม ซึ่งถ้าแรงลมในการดูดหีบและฉีดวางแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล มากหรือน้อยเกินไป จะทำให้การหีบแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลไม่ได้ระนาบ เมื่อวางลงบนชิ้นงานจะไม่ได้ตำแหน่งที่เหมาะสม อาจเกิดรอยขีดข่วนหรือการกระแทกลงบนงานบันทึกข้อมูลได้



รูปที่ 6.15 กราฟแสดงผลของปัจจัยหลักของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม



รูปที่ 6.16 กราฟแสดงผลของปัจจัยร่วมของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

บทที่ 7

ระยะการติดตามควบคุม

ในขณะนี้ จะทำการทดสอบและเก็บรวบรวมผลหลังการปรับปรุงกระบวนการเป็นระยะเวลา 1 เดือน โดยการปรับตั้งค่าของปัจจัยนำเข้าตามที่ได้กำหนดไว้ เพื่อตรวจสอบว่าสัดส่วนของเสียประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้หรือไม่ พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุง นอกจากนี้ยังทำแผนควบคุม เพื่อเป็นมาตรฐานหลังการปรับปรุงกระบวนการและป้องกันความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นอีกในภายหลัง

7.1 การทดสอบยืนยันผล

จากการวิเคราะห์หาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดที่ส่งผลให้สัดส่วนของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มน้อยที่สุด ได้ผลสำหรับแต่ละปัจจัยดังตารางที่ 7.1 และ 7.2 ตามลำดับ ระดับของปัจจัยเหล่านี้จะถูกนำมาปรับตั้งค่าเพื่อการทดสอบยืนยันผลหลังการปรับปรุงกระบวนการเป็นระยะเวลา 1 เดือน

ตารางที่ 7.1 ระดับปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

ลำดับที่	ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับ (Coded Units)	ระดับที่ เหมาะสม	หน่วย
1	ระยะระหว่างตัวหีบกับ งานบันทึกข้อมูล	A	-1	3	มิลลิเมตร
2	ความคมของฝาครอบ	B	-1	0.002	นิ้ว
3	ระยะยกตัวของชุด หัวอ่าน-เขียน	C	1	0.01	นิ้ว
4	จำนวนการทดสอบ load/unload	D	1	10,000	ครั้ง

ตารางที่ 7.2 ระดับปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

ลำดับที่	ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับ (Coded Units)	ระดับที่ เหมาะสม	หน่วย
1	แรงลมในการฉีดวางแผ่น คั่นงานบันทึกข้อมูล	A	1	2250	มิลลิเมตร ปรอท
2	แรงลมในการดูดหีบ แผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล	B	-1	440	มิลลิเมตร ปรอท

7.1.1 วิธีการทดลอง

ก่อนการทำการทดลองจะทำการเตรียมเครื่องมือและเครื่องจักรให้พร้อม และฝึกอบรมพนักงานให้มีความรู้ความเข้าใจในการปรับตั้งค่าของแต่ละปัจจัยนำเข้าที่ทำการควบคุม โดยวิธีการทดลองของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มจะมีขั้นตอนการทดลองเหมือนกัน แตกต่างกันที่ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ทำการควบคุม ขั้นตอนการทดลองมีดังนี้

1. เริ่มต้นด้วยการชิ้นส่วนต่างๆที่ได้มาจากผู้ผลิตและจากโรงงานผลิตเอง
2. ทำการตรวจสอบชิ้นส่วนต่างๆว่าเป็นไปตามเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้ของแต่ละชนิดหรือไม่
3. ทำการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยเครื่องจักรอัตโนมัติ
4. นำฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่ประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้วเข้ากระบวนการทดสอบ ซึ่งจำทำการทดสอบคุณสมบัติทางด้านไฟฟ้า เครื่องกล การอ่าน-เขียนข้อมูล และการทำงานในด้านต่างๆ
5. นำชิ้นงานเสียมาตรวจสอบประเภทของข้อบกพร่อง และบันทึกข้อมูล เพื่อทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง

การปรับตั้งค่าของปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่ม สามารถปรับได้ดังตารางที่ 7.3 และ 7.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 7.3 วิธีการปรับตั้งค่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

กระบวนการ	ปัจจัย	วิธีการควบคุม
กระบวนการประกอบงานบันทึกข้อมูล	ระยะห่างระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูล	ปรับระยะห่างระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูลที่ค่า 3 มิลลิเมตร ขณะหีบงานบันทึกข้อมูลทางโปรแกรมควบคุม หลังจากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องโดยใช้ Shim Gauge ซึ่งสามารถวัดระยะดังกล่าวได้
กระบวนการตรวจสอบชิ้นส่วน	ความคมของฝาครอบ	ความคมของฝาครอบนั้นถูกควบคุมมาจากซัพพลายเออร์ เราได้ให้ซัพพลายเออร์ทำการเปลี่ยนแปลงค่านี้จาก 0.005 เป็น 0.002 นิ้วโดยทางทีมงานตรวจสอบได้สุ่มชิ้นงานไปวัดค่าความคมด้วยเครื่อง CMM เพื่อยืนยันความถูกต้องก่อนนำไปใช้งานจริง
กระบวนการทดสอบความสามารถของชุดหัวอ่าน-เขียน	ระยะยกตัวของชุดหัวอ่าน – เขียน	จะมีการทดสอบค่านี้ผ่านเครื่อง Electrical Test โดยจะทำแบบสุ่ม 10% ของชุดหัวอ่าน-เขียนที่ผลิตทั้งหมด รวมทั้งสามารถทั้งชุดหัวอ่าน-เขียนนี้ ถ้าค่าระยะยกตัวของชุดหัวอ่าน – เขียนไม่อยู่ในข้อกำหนด (0.01 นิ้ว)
กระบวนการทดสอบความสามารถของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	จำนวนการทดสอบ load/unload	โดยการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ของ จำนวนการทดสอบ load/unload เป็น 10,000 ครั้ง ในโปรแกรมที่ได้กำหนดไว้

ตารางที่ 7.4 วิธีการปรับตั้งค่าปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

กระบวนการ	ปัจจัย	วิธีการควบคุม
กระบวนการประกอบงานบันทึกข้อมูล	แรงลมในการผลักวางแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล	ปรับค่าระดับความดันของ Ejector Pin ไปที่ 2,250 mmHg โดยสามารถตรวจสอบค่าด้วย Regulator ซึ่งแสดงเป็นตัวเลขดิจิทัลในขณะที่เครื่องทำงาน
กระบวนการประกอบงานบันทึกข้อมูล	แรงลมในการดูดหีบแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล	ปรับค่าระดับความดันของ Vacuum Pin ไปที่ 440 mmHg โดยสามารถตรวจสอบค่าด้วย Regulator ซึ่งแสดงเป็นตัวเลขดิจิทัลในขณะที่เครื่องทำงาน

7.1.2 การตรวจติดตามผลโดยใช้แผนภูมิควบคุม

ในการตรวจติดตามผลของขั้นตอนการขึ้นชั้นผลจะใช้แผนภูมิควบคุมในการวิเคราะห์ผลเนื่องด้วยงานวิจัยนี้มีผลตอบสนองเป็นสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่ม จึงใช้แผนภูมิควบคุมชนิดตามลักษณะ (Attribute Control Chart) ประเภทแผนภูมิ p ในการควบคุมสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ในส่วนของการกำหนดขนาดตัวอย่างในการทำการทดสอบขึ้นชั้นผลจะใช้ขนาดของตัวอย่างเท่ากับขนาดตัวอย่างในการทดสอบสมมติฐานสำหรับสัดส่วนประชากรสองกลุ่มสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5.1 ดังนั้นจะได้ขนาดตัวอย่างของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย เท่ากับ 1863 ตัวอย่าง และข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม 1199 ตัวอย่าง เพื่อยืนยันผลการทดลองเป็นระยะเวลา 1 เดือน

7.1.3 การวิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดสอบขึ้นชั้นผล

จากการทดสอบขึ้นชั้นผลได้ทำการทดลองเพื่อยืนยันผลเป็นระยะเวลา 1 เดือน คือ เดือนมกราคม พ.ศ.2556 โดยการปรับตั้งค่าปัจจัยควบคุมที่ได้จากระยะการปรับปรุงกระบวนการ โดยการเก็บข้อมูลจำนวนชิ้นงานเสียในทุกๆวันเป็นจำนวน 30 วัน เพื่อสร้างแผนภูมิควบคุมสำหรับควบคุมสัดส่วนของเสียในกระบวนการผลิต

1) แผนภูมิควบคุมของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

ข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยมีขนาดตัวอย่างในการขึ้นชั้นผลวันละ 1863 ตัวอย่าง ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการทดลองขึ้นชั้นผล เพื่อนำมาสร้างแผนภูมิควบคุมชนิดแผนภูมิ p ดังรูปที่ 7.1 สามารถคำนวณหาขีดจำกัดควบคุมบน (UCL) เส้นกึ่งกลาง (CL) และขีดจำกัดควบคุมล่าง (LCL) ได้ดังแสดงในสมการที่ 7.1 7.2 และ 7.3 ตามลำดับ ดังนี้

$$UCL = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (7.1)$$

$$CL = \bar{p} \quad (7.2)$$

และ

$$LCL = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (7.3)$$

เมื่อ \bar{p} = สัดส่วนของเสียเฉลี่ย

n = ขนาดตัวอย่างของแต่ละกลุ่ม

โดยสัดส่วนของเสียเฉลี่ยของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยหลังการปรับปรุงกระบวนการเท่ากับ 0.02804 ดังแสดงในตารางที่ ค.1 ดังนั้น ขีดจำกัดควบคุมบน เส้นกึ่งกลาง และขีดจำกัดควบคุมล่าง เท่ากับ

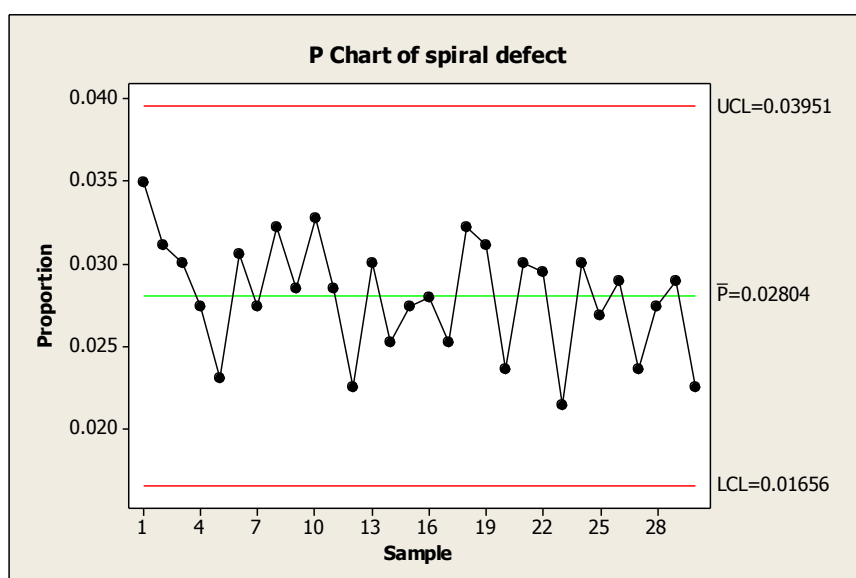
$$UCL = 0.02804 + 3 \sqrt{\frac{0.02804(1-0.02804)}{1863}} = 0.03951$$

$$CL = 0.02804$$

และ

$$LCL = 0.02804 - 3 \sqrt{\frac{0.02804(1-0.02804)}{1863}} = 0.01656$$

ดังแสดงในรูปที่ 7.1 จากแผนภูมิควบคุมจะเห็นว่า สัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยมีขีดจำกัดควบคุมอยู่ภายในกระบวนการควบคุม ไม่มีจุดใดอยู่นอกขีดจำกัดควบคุมบนและล่าง และสัดส่วนของเสียเฉลี่ยหลังการปรับปรุงกระบวนการ เท่ากับ 0.02804 มีค่าน้อยกว่าสัดส่วนเฉลี่ยก่อนการปรับปรุงกระบวนการ ที่มีค่าเท่ากับ 0.0603 แสดงว่าของเสียประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยในกระบวนการมีจำนวนลดลง ดังนั้น จึงนำปัจจัยและระดับของปัจจัยใหม่ไปปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการให้น้อยที่สุด



รูปที่ 7.1 แผนภูมิควบคุมของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

2) แผนภูมิควบคุมของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

ข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มมีขนาดตัวอย่างในการยื่นขึ้นผลวันละ 1199 ตัวอย่าง ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการทดลองยื่นขึ้นผล เพื่อนำมาสร้างแผนภูมิควบคุมชนิดแผนภูมิ p ดังรูปที่ 7.2 โดยสัดส่วนของเสียเฉลี่ยของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มหลังการปรับปรุงกระบวนการเท่ากับ 0.00998 ดังแสดงในตารางที่ ค.2 ดังนั้น สามารถคำนวณหาขีดจำกัดควบคุมบน เส้นกึ่งกลาง และขีดจำกัดควบคุมล่าง ได้จากสมการที่ 7.1 7.2 และ 7.3 ดังนี้

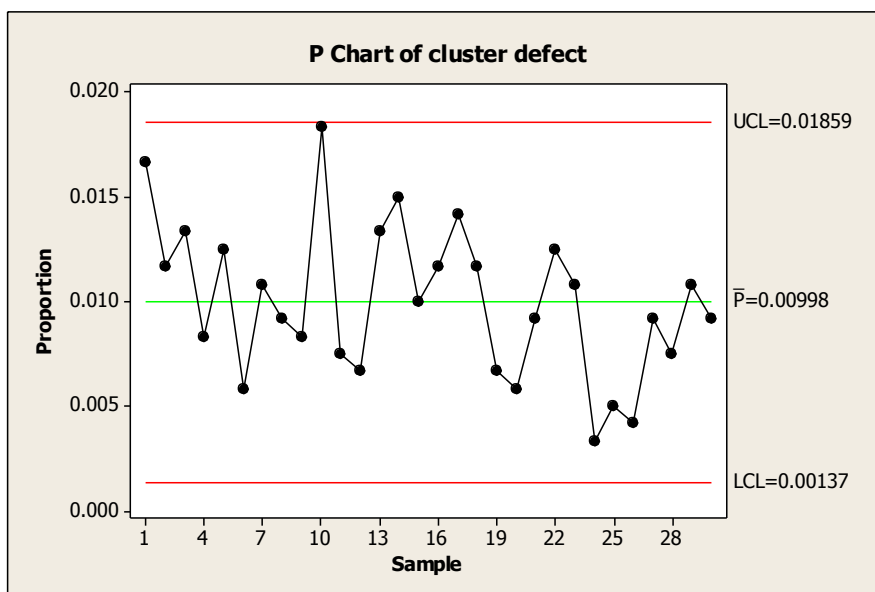
$$UCL = 0.00998 + 3\sqrt{\frac{0.00998(1-0.00998)}{1199}} = 0.01859$$

$$CL = 0.00998$$

และ

$$LCL = 0.00998 - 3\sqrt{\frac{0.00998(1-0.00998)}{1199}} = 0.00137$$

ดังแสดงในรูปที่ 7.2 จากแผนภูมิควบคุมจะเห็นว่า สัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มมีขีดจำกัดควบคุมอยู่ภายในกระบวนการควบคุม ไม่มีจุดใดอยู่นอกขีดจำกัดควบคุมบนและล่าง และสัดส่วนของเสียเฉลี่ยหลังการปรับปรุงกระบวนการ เท่ากับ 0.00998 มีค่าน้อยกว่าสัดส่วนเฉลี่ยก่อนการปรับปรุงกระบวนการ ที่มีค่าเท่ากับ 0.025 แสดงว่า ของเสียประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มในกระบวนการมีจำนวนลดลง ดังนั้น จึงนำปัจจัยและระดับของปัจจัยใหม่ไปปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการให้น้อยที่สุด



รูปที่ 7.2 แผนภูมิควบคุมของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

7.2 ผลการปรับปรุง

หลังจากการทำการปรับปรุงกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยการควบคุมปัจจัยนำเข้าของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วันเป็นกันหอย 4 ปัจจัย และข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม 2 ปัจจัย สามารถสรุปผลหลังการปรับปรุง ได้ดังนี้

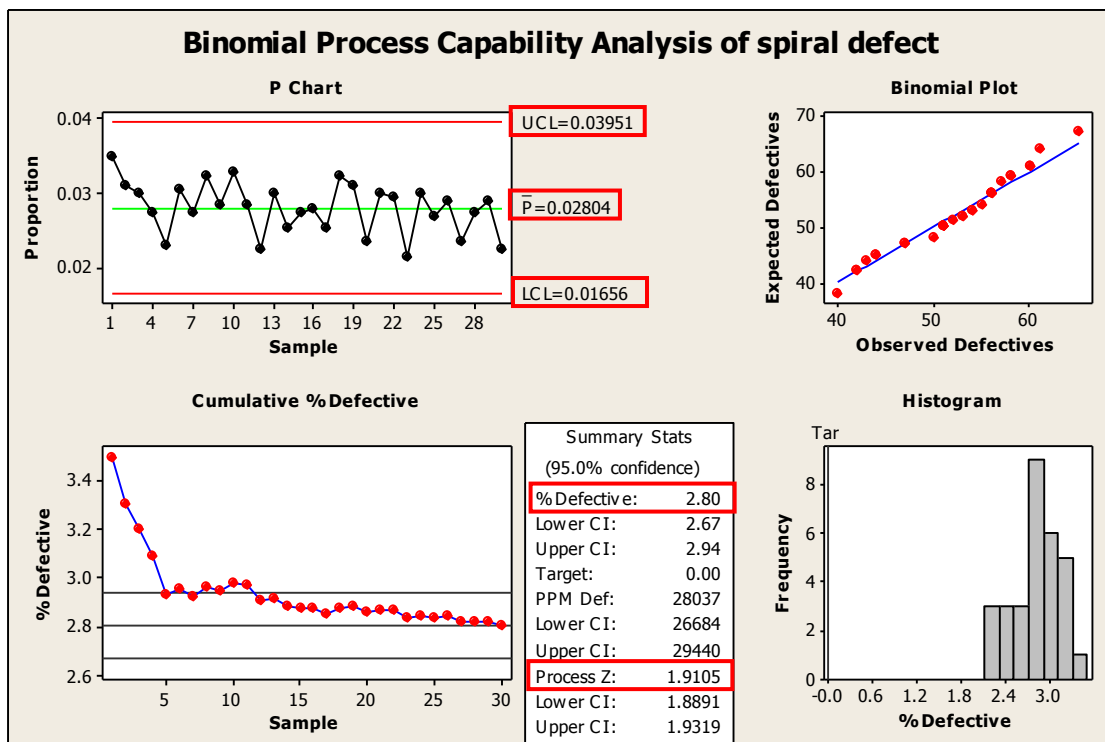
7.2.1 ผลการปรับปรุงสัดส่วนของเสีย

ผลการปรับปรุงสัดส่วนของเสียจะแบ่งการวิเคราะห์ผลแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นผลการปรับปรุงสัดส่วนของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วันเป็นกันหอย และส่วนที่สองเป็นผลการปรับปรุงสัดส่วนของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม ดังนี้

1) ผลการปรับปรุงสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วันเป็นกันหอย

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลสัดส่วนของเสียก่อนการปรับปรุงเป็นระยะเวลา 1 ปีตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2554 ถึงเดือนมิถุนายน 2555 พบว่าข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วันเป็นกันหอยมีสัดส่วนของเสียเฉลี่ยอยู่ที่ 6.03% และหลังจากการควบคุมปัจจัยนำเข้าทั้ง 4 ปัจจัย คือ ระยะเวลาห่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูล ความคมของฝาครอบ ระยะยกตัวของชุดหัวอ่าน-เขียน และจำนวนการทดสอบ load/unload พบว่าสัดส่วนของเสียเฉลี่ยอยู่ที่ 2.80% ดังรูปที่ 7.3 เมื่อ

เปรียบเทียบผลของสัดส่วนของเสียก่อนและหลังการทดลองสามารถลดของเสียประเภทรอยขีดที่
 วนเป็นก้นหอยได้ 53.56%



รูปที่ 7.3 Process capability analysis ของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย
 หลังการปรับปรุงกระบวนการ

เมื่อพิจารณาความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุง ดังตารางที่ 7.5 จะเห็นว่า
 สัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.80% หรือ 0.028
 จากข้อมูลเบื้องต้นนี้ สามารถคำนวณพิกัดข้อกำหนดเฉพาะระยะยาวและระยะสั้นได้จากสมการที่ 4.5
 และ 4.6 ตามลำดับ ดังนี้

Z_{LT} คือ ค่า Z^* ที่ได้จากสมการ $P(Z < Z^*) = 1 - 0.028$

จะได้ $Z_{LT} = 1.91$

และ $Z_{LT} = 1.91 + 1.5 = 3.41$

ดังนั้น ค่าดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการแบบระยะสั้นและแบบระยะยาว
 ของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดเป็นกลุ่ม เท่ากับ

$$C_{pk} = \frac{1}{3} \times 3.41 = 1.14$$

และ
$$P_{pk} = \frac{1}{3} \times 1.91 = 0.64$$

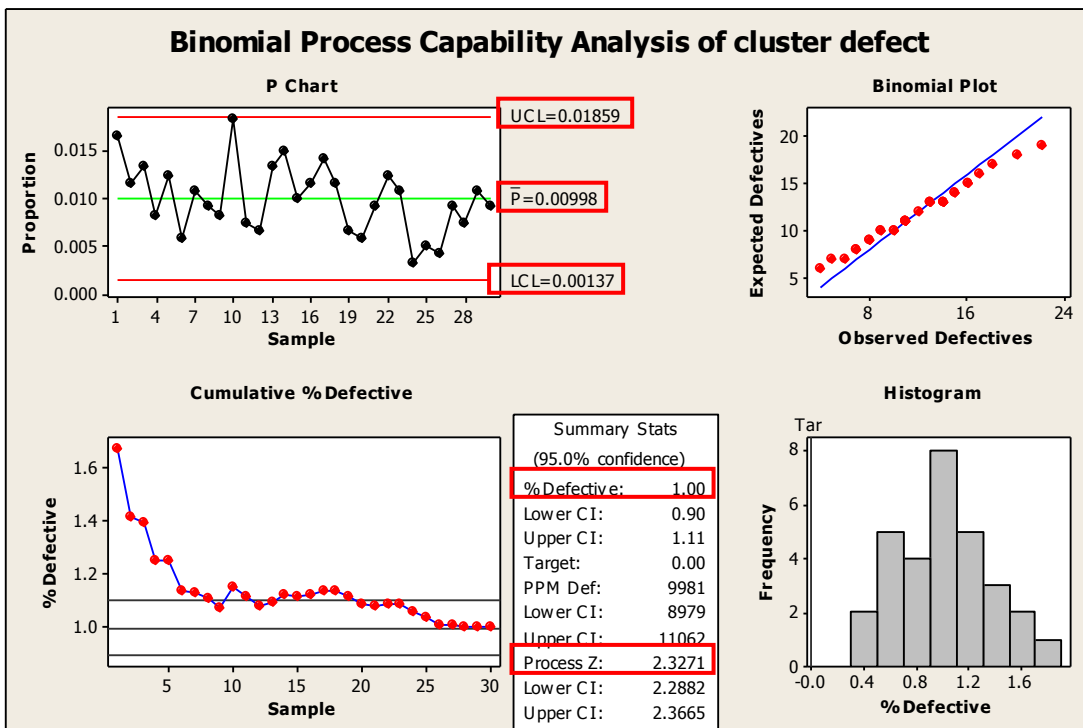
เมื่อพิจารณาค่าดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการแบบระยะยาวและแบบระยะสั้นของกระบวนการนี้ พบว่า ก่อนปรับปรุงกระบวนการเท่ากับ 0.52 และ 1.02 ตามลำดับ และหลังปรับปรุงกระบวนการเท่ากับ 0.64 และ 1.14 ตามลำดับ แสดงว่า ความสามารถของกระบวนการของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

ตารางที่ 7.5 การเปรียบเทียบผลของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยก่อนและหลังการปรับปรุง

ระยะการปรับปรุง	สัดส่วนของเสีย	จำนวนชิ้นงานเสีย ในหนึ่งล้านตัว (PPM)	Z_{LT}	Z_{ST}	P_{pk}	C_{pk}
ก่อนการปรับปรุง	0.0603	60,300	1.55	3.05	0.52	1.02
หลังการปรับปรุง	0.0280	28,000	1.91	3.41	0.64	1.14

2) ผลการปรับปรุงสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลสัดส่วนของเสียก่อนการปรับปรุงเป็นระยะเวลา 1 ปีตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2554 ถึงเดือนมิถุนายน 2555 พบว่าข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยมีสัดส่วนของเสียเฉลี่ยอยู่ที่ 2.53% และหลังจากการควบคุมปัจจัยนำเข้าทั้ง 2 ปัจจัย คือ แรงในการฉีด วางแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลและแรงในการดูดหีบแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลพบว่าสัดส่วนของเสียเฉลี่ยอยู่ที่ 0.01% ดังรูปที่ 7.4 เมื่อเปรียบเทียบผลของสัดส่วนของเสียก่อนและหลังการทดลองสามารถลดของเสียประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยได้ 60.55%



รูปที่ 7.4 Process capability analysis ของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม หลังการปรับปรุงกระบวนการ

เมื่อพิจารณาความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุง ดังตารางที่ 7.6 จะเห็นว่า สัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.00% หรือ 0.01 จาก ข้อมูลเบื้องต้นนี้ สามารถคำนวณพิกัดข้อกำหนดเฉพาะระยะยาวและระยะสั้นได้จากสมการที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ ดังนี้

Z_{LT} คือ ค่า Z^* ที่ได้จากสมการ $P(Z < Z^*) = 1 - 0.01$

จะได้ $Z_{LT} = 2.33$

และ $Z_{LT} = 2.33 + 1.5 = 3.83$

ดังนั้น สามารถคำนวณค่าดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการแบบระยะสั้น และแบบระยะยาวของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มจากสมการที่ 4.7 และ 4.8 ดังนี้

$$C_{pk} = \frac{1}{3} \times 3.83 = 1.28$$

และ $P_{pk} = \frac{1}{3} \times 2.33 = 0.78$

เมื่อพิจารณาค่าดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการแบบระยะยาวและแบบระยะสั้นของกระบวนการนี้ พบว่า ก่อนปรับปรุงกระบวนการเท่ากับ 0.65 และ 1.15 ตามลำดับ และหลังปรับปรุงกระบวนการเท่ากับ 0.78 และ 1.28 ตามลำดับ แสดงว่า ความสามารถของกระบวนการของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

ตารางที่ 7.6 การเปรียบเทียบผลของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มก่อนและหลังการปรับปรุง

ระยะการปรับปรุง	สัดส่วนของเสีย	จำนวนชิ้นงานเสีย ในหนึ่งล้านตัว (PPM)	Z _{LT}	Z _{ST}	P _{pk}	C _{pk}
ก่อนการปรับปรุง	0.0253	25,300	1.95	3.45	0.65	1.15
หลังการปรับปรุง	0.0100	10,000	2.33	3.83	0.78	1.28

จากการควบคุมปัจจัยนำเข้าของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มที่ส่งผลกระทบต่อสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สามารถลดของเสียในกระบวนการผลิตลงได้ 53.56% และ 60.55% ตามลำดับ ดังนั้น จึงได้สร้างแผนภูมิควบคุมขึ้นเพื่อควบคุมปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่ม ดังตารางที่ 7.5 และ 7.6 ดังนี้

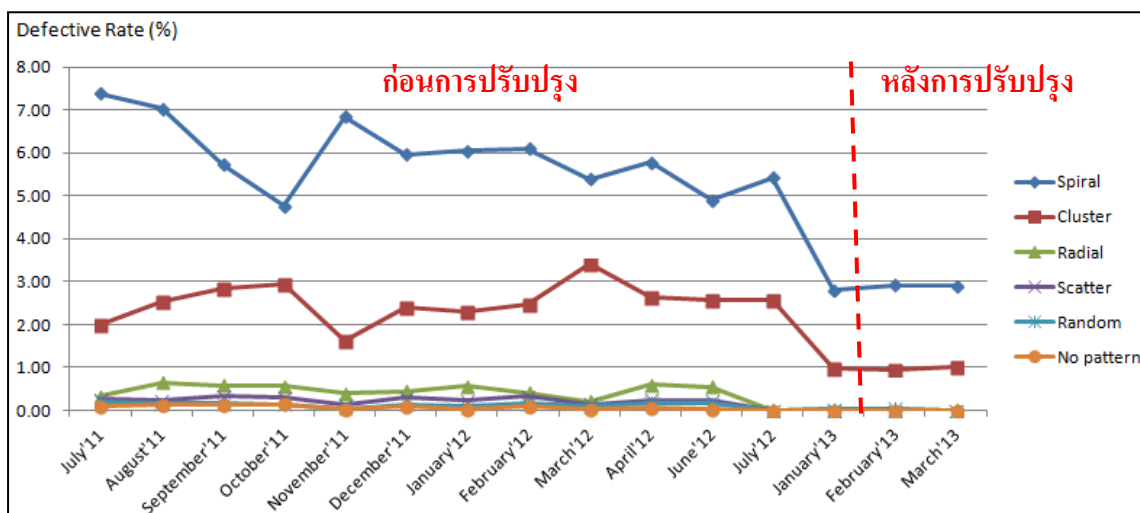
7.2.2 มูลค่าความเสียหายหลังการปรับปรุง

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลก่อนการปรับปรุงกระบวนการตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2554 ถึงเดือนมิถุนายน 2555 พบว่า มีสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มเฉลี่ยอยู่ที่ 6.03% และ 2.53% ตามลำดับ คิดเป็นจำนวนของเสียเฉลี่ยต่อเดือนอยู่ที่ 11,234 ตัว/เดือน และ 4,714 ตัว/เดือน ตามลำดับ และหลังการปรับปรุงกระบวนการพบว่า สัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยลดลงเหลือ 2.80% คิดเป็น 5,217 ตัว/เดือน ซึ่งคิดเป็นมูลค่าความเสียหายที่ลดลงเท่ากับ 777,998.1 บาท และสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มลดลงเหลือ 0.99% คิดเป็น 1,845 ตัว/เดือน ซึ่งคิดเป็นมูลค่าความเสียหายที่ลดลงเท่ากับ 370,961.7 บาท ดังนั้น มูลค่าความเสียหายรวมที่ลดลงหลังการปรับปรุงการทดลองเท่ากับ 1,148,959.8 บาท/เดือน ดังตารางที่ 7.7

7.3 ผลกระทบด้านต้นทุนและกำลังการผลิตหลังการปรับปรุงกระบวนการ

ภายหลังการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่ม โดยการตั้งระดับของปัจจัยใหม่จำนวน 6 ปัจจัย คือ ระยะห่างระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูล ความคมของฝาครอบ ระยะยกตัวของชุดหัวอ่านเขียน จำนวนการทดสอบ load/unload แรงลมในการผลักวางแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล และแรงลมในการดูดหีบแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านต้นทุนและกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้น พบว่าระยะห่างระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูล ระยะยกตัวของชุดหัวอ่านเขียน แรงลมในการผลักวางแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล และแรงลมในการดูดหีบแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล สามารถปรับระดับการทำงานได้จากการปรับตั้งค่าเครื่องจักรและไม่ส่งผลกระทบต่อเวลาในการผลิตที่เพิ่มขึ้น จึงไม่ส่งผลกระทบต่อทางด้านต้นทุนและกำลังการผลิต ในขณะที่ระดับความคมของฝาครอบที่ต้องการลดลงจากเดิมสามารถทำได้โดยการแจ้งไปยังผู้ผลิตฝาครอบ โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายเพิ่ม จึงไม่มีผลต่อต้นทุนการผลิต แต่จำนวนการทดสอบ load/unload ที่เพิ่มขึ้นจาก 1,000 เป็น 10,000 ครั้ง มีผลต่อเวลาที่ใช้เพิ่มจาก 1 นาที เป็น 10 นาที ต่อฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ 1 ชิ้นงาน โดยเวลาที่เพิ่มขึ้น 9 นาทีต่อชิ้นงาน มีผลกระทบต่อกำลังการผลิตน้อยมาก เนื่องจากการทดสอบทั้งหมดใช้เวลา 2 สัปดาห์หรือ 14 วัน

เมื่อพิจารณาผลของข้อบกพร่องประเภทอื่นหลังการตั้งค่าระดับปัจจัยใหม่ พบว่า การตั้งค่าปัจจัยที่ระดับเปลี่ยนแปลงไปไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของข้อบกพร่องชนิดอื่น ดังแสดงในรูปที่ 7.5 จะเห็นว่า เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ ข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มมีสัดส่วนของเสียที่ลดลง แต่ข้อบกพร่องประเภทอื่นมีสัดส่วนของเสียไม่ต่างไปจากเดิม



รูปที่ 7.5 เปรียบเทียบสัดส่วนของเสียแยกตามประเภทของข้อบกพร่องก่อนและหลังการปรับปรุง

ตารางที่ 7.7 แผนควบคุมปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วันเป็นก้นหอย

ลำดับ	กระบวนการ	จุดควบคุม	การควบคุม			บันทึกคุณภาพ	แผนการแก้ไข
			มาตรฐาน	ความถี่	ผู้รับผิดชอบ		
1	กระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	ระยะระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูล	3 มิลลิเมตร	ทุก 6 ชั่วโมง	วิศวกรซ่อมบำรุง	ใบตรวจสอบการตั้งค่าเครื่องจักร	แจ้งหัวหน้าและหยุดการผลิต
2	กระบวนการตรวจสอบวัตถุดิบ	ความคมของฝาครอบ	0.002 นิ้ว	10% ต่อล็อต	วิศวกรกระบวนการผลิต	ใบตรวจสอบชิ้นงาน	ส่งคืนผู้ผลิตและหาแนวทางแก้ไข
3	กระบวนการผลิตหัวอ่านสำเร็จรูป (HSA)	ระยะยกตัวของชุดหัวอ่าน-เขียน	0.01 นิ้ว	10% ต่อล็อต	วิศวกรกระบวนการผลิต	ใบตรวจสอบชิ้นงาน	ส่งคืนผู้ผลิตและหาแนวทางแก้ไข
4	กระบวนการทดสอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	จำนวนการทดสอบ load/unload	10,000 ครั้ง	ก่อนเริ่มการทดสอบและทุกครั้งที่มีการเปลี่ยน script	วิศวกรฝ่ายผลิต	ใบบันทึกค่าพารามิเตอร์	บันทึกสาเหตุและแก้ไขพารามิเตอร์ให้ถูกต้อง

ตารางที่ 7.8 แผนควบคุมปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

ลำดับ	กระบวนการ	จุดควบคุม	การควบคุม			บันทึกคุณภาพ	แผนการแก้ไข
			มาตรฐาน	ความถี่	ผู้รับผิดชอบ		
1	กระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	แรงลมในการฉีดวางแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล	2250 มิลลิเมตรปรอท	ทุก 6 ชั่วโมง	วิศวกรซ่อมบำรุง	ใบตรวจสอบการตั้งค่าเครื่องจักร	แจ้งหัวหน้าและหยุดการผลิต
2	กระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	แรงลมในการดูดหีบแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล	440 มิลลิเมตรปรอท	ทุก 6 ชั่วโมง	วิศวกรซ่อมบำรุง	ใบตรวจสอบการตั้งค่าเครื่องจักร	แจ้งหัวหน้าและหยุดการผลิต

ตารางที่ 7.9 เปรียบเทียบมูลค่าความเสียหายก่อนและหลังการปรับปรุงการทดลอง

ชนิดของข้อบกพร่อง	ก่อนการปรับปรุง			หลังการปรับปรุง			มูลค่าความเสียหายที่ลดลง (บาท/เดือน)
	สัดส่วนของเสีย (เปอร์เซ็นต์/เดือน)	จำนวนของเสีย (ตัว/เดือน)	มูลค่าความสูญเสีย (บาท/เดือน)	สัดส่วนของเสีย (เปอร์เซ็นต์/เดือน)	จำนวนของเสีย (ตัว/เดือน)	มูลค่าความสูญเสีย (บาท/เดือน)	
รอยขีดที่วนเป็นกันหอย	6.03	11,234	1,452,556.20	2.80	5,217	674,558.10	777,998.10
รอยจุดเป็นกลุ่ม	2.53	4,714	609,520.20	0.99	1,845	238,558.50	370,961.70

บทที่ 8 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อันเนื่องมาจากของเสียประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มที่เกิดขึ้นที่งานบันทึกข้อมูล โดยประยุกต์ใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมาในการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการ 5 ขั้นตอน คือ ระเบียบยามปัญหา ระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ และระยะการติดตามควบคุม บทสรุปและผลการดำเนินงานของแต่ละระยะ มีดังนี้

8.1 ระเบียบยามปัญหา

ในขณะนี้ จะทำการศึกษากระบวนการผลิตและสภาพปัญหาปัจจุบันของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ผลิตภัณฑ์ A ที่มีความจุ 2000 จิกะไบต์ ความเร็วการส่งข้อมูล 7200 รอบต่อนาทีเพื่อระบุปัญหาที่สำคัญ จากการเก็บรวบรวมข้อมูลของเสียรวมทั้งตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2554 ถึงมิถุนายน 2555 พบว่าของเสียประเภทงานบันทึกข้อมูลมีเปอร์เซ็นต์ของเสียเฉลี่ยสูงถึง 9.35 % ของเปอร์เซ็นต์ของเสียทั้งหมด เมื่อพิจารณาประเภทของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นบนงานบันทึกข้อมูล พบว่าของเสียที่ทำการปรับปรุงคือ ข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่ม ดังนั้น กำหนดเป้าหมายของการปรับปรุง คือ ลดเสียในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อันเนื่องมาจากของเสียประเภทข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มที่เกิดขึ้นที่งานบันทึกข้อมูล พร้อมทั้งจัดตั้งคณะทำงานเพื่อวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดปัญหา

8.2 ระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา

ในขณะนี้ จะทำการวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัด ซึ่งทำการตรวจสอบข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่ม โดยการสุ่มพนักงานมาทั้งหมด 3 คน ทำการตรวจสอบชิ้นงานละ 3 ครั้ง ชิ้นงานที่สุ่มตรวจสอบ 30 ชิ้นงาน จากการตรวจสอบ พบว่า ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำและการวิเคราะห์ความถูกต้องของการวัดของพนักงานละคน ได้ดังนี้ 93.33% 96.76% และ 93.33% ของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย และ 90% 100% และ 96.67% ของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม ซึ่งผลจากการ

วิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัดของทั้ง 2 ขอบกพร่องต่ำกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ คือ 100% จึงต้องทำการอบรมพนักงานใหม่อีกครั้ง จึงจะได้ผลอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

หลังจากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ ซึ่งวิเคราะห์จากสัดส่วนของเสียก่อนการปรับปรุงของขอบกพร่องทั้ง 2 ประเภท โดยขอบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย มีสัดส่วนของเสียเฉลี่ยก่อนการปรับปรุงเท่ากับ 6.03% และมีค่าพิคัดข้อจำกัดเฉพาะระยะยาวเท่ากับ 1.55 และพิคัดข้อจำกัดเฉพาะระยะสั้นเท่ากับ 3.05 โดยกระบวนการดังกล่าวมีค่าดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการแบบระยะสั้นและระยะยาวเท่ากับ 1.017 และ 0.52 ตามลำดับ และขอบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม มีสัดส่วนของเสียเฉลี่ยก่อนการปรับปรุงเท่ากับ 2.53% และมีค่าพิคัดข้อจำกัดเฉพาะระยะยาวเท่ากับ 1.96 และพิคัดข้อจำกัดเฉพาะระยะสั้นเท่ากับ 3.46 โดยกระบวนการดังกล่าวมีค่าดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการแบบระยะสั้นและระยะยาวเท่ากับ 1.15 และ 0.65 ตามลำดับ

การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า ทำโดยผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด 6 คน โดยการระดมนี้จะได้ผังสาเหตุและผลของขอบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่ม แล้วจึงนำข้อมูลจากผังสาเหตุและผลที่ได้จากการระดมสมองนี้ มาวิเคราะห์หาสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อมากที่สุดต่อขอบกพร่องทั้ง 2 ชนิด โดยใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลมาช่วยในการกรองปัจจัย จะได้ว่า ปัจจัยนำเข้าของขอบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย 12 ปัจจัย และปัจจัยนำเข้าของขอบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม 8 ปัจจัย

8.3 ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ในระบายนีจะนำปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล มาวิเคราะห์ทางสถิติว่าปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อสัดส่วนของเสียของขอบกพร่องอย่างมีนัยสำคัญ โดยการทดสอบสมมติฐานเป็นการทดสอบสมมติฐานสำหรับสัดส่วนประชากรสองกลุ่ม ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และอำนาจในการทดสอบ 80% เท่ากับจะได้ขนาดตัวอย่างของขอบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยเท่ากับ 1,863 ตัวอย่าง และรอยจุดเป็นกลุ่มเท่ากับ 1,199 ตัวอย่าง

โดยผลการทดสอบสมมติฐานที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อสัดส่วนของขอบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและจะนำไปทำการออกแบบการทดลองมีจำนวน 4 ปัจจัย คือ ระยะระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูล ความคมของฝาครอบระยะยกตัวของชุดหัวอ่าน-เขียน และจำนวนการทดสอบ load/unload และปัจจัยนำเข้าที่นำไปทำการออกแบบการ

ทดลองที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มมีจำนวน 3 ปัจจัย คือ แรงลมในการฉีดวางแผ่นกันงานบันทึกข้อมูลแรงลมในการดูดยิบแผ่นกันงานบันทึกข้อมูลและระนาบหรือรอยปูดบนแผ่นกันงานบันทึกข้อมูลแต่เนื่องด้วยปัจจัยระนาบหรือรอยปูดเป็นปัจจัยที่กำหนดค่าไว้ที่ผ่านคือไม่พบจำนวนข้อบกพร่อง และไม่ผ่านคือพบจำนวนข้อบกพร่องมากกว่า 1 จุด ดังนั้นปัจจัยนี้จึงไม่นำมาใช้ในการทดลองด้วย เป็นเพียงปัจจัยที่ต้องควบคุมเท่านั้น ดังนั้น ปัจจัยที่จะนำไปออกแบบการทดลองสำหรับข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มมีจำนวน 2 ปัจจัย คือ แรงลมในการฉีดวางแผ่นกันงานบันทึกข้อมูลและแรงลมในการดูดยิบแผ่นกันงานบันทึกข้อมูล

8.4 ระยะเวลาปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ในระยะนี้จะทำการหาค่าของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง การออกแบบการทดลองสำหรับข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย โดยใช้ในการทดลองแบบบล็อก-เบ้หันเคน สำหรับ 4 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ จำนวน 27 การทดลอง และการออกแบบการทดลองสำหรับข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม โดยใช้ในการทดลองแบบเชิงแฟคทอเรียล สำหรับ 2 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ จำนวน 9 การทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองสำหรับข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย ได้ค่า R-Sq ของการวิเคราะห์เท่ากับ 93.27% และค่า R-Sq (adj) เท่ากับ 85.46% และที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ปัจจัยหลัก A B C และ D พจน์กำลังสองของ B (B*B) และ ปัจจัยร่วมของ C และ D (C*D) มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปัจจัยที่กล่าวข้างต้นมีผลต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาระดับที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย โดยใช้ Response optimizer จะได้ระดับของปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าสัดส่วนของเสียของการเกิดรอยขีดข่วนที่วนเป็นก้นหอยน้อยที่สุด คือ ระยะระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูลเท่ากับ 3 มิลลิเมตร ความคมของฝาครอบ เท่ากับ 0.002 นิ้ว ระยะยกตัวของชุดหัวอ่าน – เขียน เท่ากับ 0.01 นิ้ว และจำนวนการทดสอบ load/unload เท่ากับ 10,000 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 8.1 ซึ่งมีผลให้ค่าสัดส่วนของเสียเท่ากับ 3.09%

การวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยวิธีเชิงเส้นทั่วไปสำหรับข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม ได้ค่า R-Sq ของการวิเคราะห์เท่ากับ 97.45% และค่า R-Sq (adj) เท่ากับ 94.57% และที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ปัจจัยหลัก A และ B มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปัจจัยที่กล่าวข้างต้นมีผลต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาผลของ

ปัจจัยร่วม พบว่า ปัจจัยร่วม A-B มีค่า P-Value มากกว่า 0.05 แสดงว่าผลของปัจจัยร่วมที่กล่าวข้างต้นไม่มีผลต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม ดังนั้น จะได้ระดับของปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าสัดส่วนของเสียประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มที่น้อยที่สุดคือ แรงลมในการฉีดวางแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลเท่ากับ 2250 มิลลิเมตรปรอท และแรงลมในการดูดหีบแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลเท่ากับ 440 มิลลิเมตรปรอท ดังแสดงในตารางที่ 8.2 ซึ่งมีผลให้ค่าสัดส่วนของเสียเท่ากับ 1.0%

ตารางที่ 8.1 ระดับปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

ลำดับที่	ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับ (Coded Units)	ระดับที่เหมาะสม	หน่วย
1	ระยะระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูล	A	-1	3	มิลลิเมตร
2	ความคมของฝาครอบ	B	-1	0.002	นิ้ว
3	ระยะยกตัวของชุดหัวอ่าน-เขียน	C	1	0.01	นิ้ว
4	จำนวนการทดสอบ load/unload	D	1	10,000	ครั้ง

ตารางที่ 8.2 ระดับปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

ลำดับที่	ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับ (Coded Units)	ระดับที่เหมาะสม	หน่วย
1	แรงลมในการฉีดวางแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล	A	1	2250	มิลลิเมตรปรอท
2	แรงลมในการดูดหีบแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล	B	-1	440	มิลลิเมตรปรอท

8.5 ระยะเวลาติดตามควบคุม

ในระยะเวลานี้จะทำการทดลองเพื่อยืนยันผลของกระบวนการ โดยการควบคุมปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยจำนวน 4 ปัจจัย และรอยจุดเป็นกลุ่มจำนวน 2 ปัจจัย หลังการปรับปรุงกระบวนการพบว่า ข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยมีสัดส่วนของเสียลดลงจาก 6.03% เหลือ 2.80% หรือคิดเป็น 53.56% และข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มมีสัดส่วนของเสียลดลงจาก 2.53% เหลือ 1.0% หรือคิดเป็น 60.55% และคิดเป็นมูลค่าความเสียหายรวมที่ลดลงหลังการปรับปรุงเท่ากับ 1,148,959.8 บาท/เดือน พร้อมทั้งจัดทำแผนควบคุมและแผนภูมิควบคุม p โดยการเก็บข้อมูลในการติดตามและควบคุมผล สำหรับข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยวันละ 1,863 ตัวอย่าง และสำหรับข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่มวันละ 1,199 ตัวอย่าง เพื่อติดตามและควบคุมกระบวนการภายหลังการปรับปรุงให้อยู่ภายในขีดจำกัดควบคุม โดยที่ขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างสำหรับข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย เท่ากับ 0.03951 และ 0.01656 ตามลำดับ และขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่างสำหรับข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม เท่ากับ 0.01859 และ 0.00137 ตามลำดับ

8.6 สรุปผลการทำวิจัย

จากการทำวิจัยเพื่อลดของเสียประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่ม โดยใช้แนวคิดซิกมา ซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอน สามารถสรุปผลโดยสังเขปที่ได้จากการศึกษาและทดลองในแต่ละระยะของการดำเนินงานวิจัย ได้ดังตารางที่ 8.3

ตารางที่ 8.3 สรุปผลการดำเนินงานวิจัยโดยใช้แนวคิดซิกมา ซิกมา ในแต่ละระยะของการดำเนินงาน

ระยะ	ประเภทของข้อบกพร่อง	
	รอยขีดที่วนเป็นก้นหอย	รอยจุดเป็นกลุ่ม
ระยะนิยามปัญหา	$\bar{P} = 6.03\%$	$\bar{P} = 2.53\%$
ระยะวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา	- การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการก่อนการปรับปรุง ได้ดังนี้ $Z_{LT} = 1.55$ $Z_{ST} = 3.05$ $C_{pk} = 1.017$ และ $P_{pk} = 0.52$	- การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการก่อนการปรับปรุง ได้ดังนี้ $Z_{LT} = 1.96$ $Z_{ST} = 3.46$ $C_{pk} = 1.15$ และ $P_{pk} = 0.65$

ระยะ	ประเภทของข้อบกพร่อง	
	รอยขีดที่วันเป็นก้นหอย	รอยจุดเป็นกลุ่ม
ระยะวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา	- ปัจจัยนำเข้า 12 ปัจจัย	- ปัจจัยนำเข้า 8 ปัจจัย
ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา	ใช้การทดสอบสมมติฐานในการกรองปัจจัย ได้ 4 ปัจจัย คือ 1. ระยะระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูล 2. ความคมของฝาครอบ 3. ระยะยกตัวของชุดหัวอ่านเขียน 4. จำนวนการทดสอบ load/unload	ใช้การทดสอบสมมติฐานในการกรองปัจจัย ได้ 2 ปัจจัย คือ 1. แรงลมในการฉีดวางแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล 2. แรงลมในการดูดหีบแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล
ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ	การทดลองแบบบล็อกเบ้หันเคน โดยวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง ได้ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด ดังนี้ 1. ระยะระหว่างตัวหีบกับงานบันทึกข้อมูล 3 มม. 2. ความคมของฝาครอบ 0.002 นิ้ว 3. ระยะยกตัวของชุดหัวอ่าน-เขียน 0.01 นิ้ว 4. จำนวนการทดสอบ load/unload 10,000 ครั้ง	การทดลองแบบเชิงแฟคทอเรียล โดยวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงเส้นทั่วไป ได้ระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด 1. แรงลมในการฉีดวางแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล 2250 mmHg 2. แรงลมในการดูดหีบแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล 440 mmHg
ระยะติดตามควบคุม	- การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุงกระบวนการ ได้ดังนี้ $Z_{LT} = 1.91$	- การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุงกระบวนการ ได้ดังนี้ $Z_{LT} = 2.33$
ระยะติดตามควบคุม	$Z_{ST} = 3.41$ $C_{pk} = 1.14$ และ $P_{pk} = 0.64$ - สัดส่วนของเสียหลังการปรับปรุงกระบวนการ $\bar{P} = 2.84\%$	$Z_{ST} = 3.83$ $C_{pk} = 1.28$ และ $P_{pk} = 0.78$ - สัดส่วนของเสียหลังการปรับปรุงกระบวนการ $\bar{P} = 1.0\%$

ระยะ	ประเภทของข้อบกพร่อง	
	รอยขีดที่วนเป็นก้นหอย	รอยจุดเป็นกลุ่ม
สรุปผล	- ของเสียลดลง 53.56% - ค่าใช้จ่ายลดลง 777,998.10 บาท/ เดือน	- ของเสียลดลง 60.55% - ค่าใช้จ่ายลดลง 370,961.70 บาท/ เดือน

8.7 ข้อจำกัดในการทำวิจัย

1. งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เฉพาะ ความจุ 2000 กิกะไบต์ ขนาด 3.5 นิ้วเท่านั้น ดังนั้น ปัจจัยและระดับของปัจจัยในงานวิจัยนี้จึงเหมาะสำหรับการลดสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มของผลิตภัณฑ์ที่กล่าวข้างต้นเท่านั้น

2. ผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีต้นทุนที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นในการทดลองจึงมีการนำผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลองแรกมาใช้ในการทดลองต่อไป ในกรณีฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ดังกล่าวไม่เกิดข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มขึ้น

8.7 ข้อเสนอแนะ

1. ระดับของปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดเป็นกลุ่มนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการลดของเสียของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ผลิตภัณฑ์อื่นได้ เนื่องจากน่าจะมีปัจจัยของการเกิดข้อบกพร่องคล้ายคลึงกัน

2. ผลการทดลองของงานวิจัยนี้ เป็นผลของผลิตภัณฑ์ขนาด 3.5 นิ้ว ดังนั้น ถ้าต้องการลดสัดส่วนของเสียของส่งผลต่อข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอยและรอยจุดของผลิตภัณฑ์ขนาด 2.5 นิ้ว ควรมีการทดลองก่อนการปรับปรุงกระบวนการจริง

3. งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองเป็นข้อมูลแบบลักษณะ โดยการพิจารณาว่าของเสียผ่าน/ไม่ผ่านกระบวนการทดสอบ แล้วนำมาคิดเป็นสัดส่วนของเสียที่ลดลง อาจมีการพิจารณาผลตอบสนองเป็นข้อมูลแบบแปรผันได้ โดยพิจารณาจากเกณฑ์ของแต่ละข้อบกพร่อง เพื่อลดจำนวนหรือขนาดของข้อบกพร่องภายในงานบันทึกข้อมูลแต่ละแผ่นลง ทำให้งานบันทึกข้อมูลแผ่นนั้นๆสามารถผ่านกระบวนการทดสอบได้ ซึ่งก็เป็นผลให้สัดส่วนของของเสียลดลงได้เช่นกัน

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กันตา สุวรรณฤทธิ และณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย. 2554. การลดของเสียในกระบวนการเขียนสัญญาฉบับนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยใช้แนวคิดลีน ซิกซ์ ซิกมา. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ 13 (มีนาคม 2554): 47 – 60.
- กันยรัตน์ คมวัชระ. 2547. การนำ Six Sigma มาใช้ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพการศึกษา. วารสารประกันคุณภาพ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 5 (มกราคม – มิถุนายน 2547): 11.
- กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข. การทดลองทางวิศวกรรมอุตสาหกรรม เรื่อง Control Chart by Minitab [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา : <http://www.kmitl.ac.th/~kskittiw/kittiwat/control.pdf> [19 มีนาคม 2555]
- กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2551. สถิติสำหรับงานวิศวกรรมเล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น).
- จิรศักดิ์ ฐานหมั่น. 2553. ศึกษาวิธีการลดของเสียในกระบวนการถอดชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยขั้นตอน DMAIC กรณีศึกษา บริษัท ฮิตาชิ โกลบอล สตอเรจ เทคโนโลยี (ประเทศไทย). วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. สาขาวิชาการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ชัยพันธ์ พัทธิกุล และดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย. 2552. การลดของเสียจากการส่งมอบฐานรองรับมอเตอร์โดยใช้แนวทางซิกซ์ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธีรพร เสนพรหม. 2550. การลดแม่แบบแก้วเสียในกระบวนการผลิตเลนส์พลาสติกโดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ. การควบคุมคุณภาพ (Quality Control). กรุงเทพมหานคร : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554 (เอกสารไม่ตีพิมพ์)

- ปารเมศ ชูติมา. 2545. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พรรณนภา นุชจ้อย. 2553. การออกแบบการทดลองเพื่อลดจำนวนสิ่งสกปรก/ฝุ่นละอองจาก ส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาดุษฎีบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ภาณุพงษ์ เพิ่มพิมพ์. ประวัติความเป็นมาของ Six Sigma. [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา : <http://www.squared.chula.ac.th/articles/LeanSixsigma.pdf> [11 กุมภาพันธ์ 2555]
- วราภรณ์ ขำสนิท. 2551. การปรับปรุงค่าพารามิเตอร์สำหรับกระบวนการฉีดพลาสติกกรณีที่มี ข้อบกพร่องหลายชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาดุษฎีบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิศิษฐ์ศรี วิยะรัตน์ อนุชา วัฒนาภาและสิทธิชัย แก้วเกื้อกุล. การลดของเสียในกระบวนการผลิต ฮาร์ดดิสก์โดยเทคนิคซิกม่า. การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหการ (ตุลาคม 2551): 394-398.
- ศราวุธ เกนกุล และกิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การลดฝาครอบฮาร์ดดิสก์ไอร์แลนด์พบกพร่องจากการ ถอดประกอบฮาร์ดดิสก์ไอร์แลนด์. การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหการ (ตุลาคม 2551): 508-514.
- สารัชช ยมลง. 2550. การลดของเสียในการผลิต Fused Biconic Taper Coupler กรณีศึกษา Fabrinet Co., Ltd. ศูนย์ระดับภูมิภาคทางวิศวกรรมระบบการผลิต : คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย
- เสกสรร นกใหญ่. 2551. การลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไอร์แลนด์ กรณีศึกษา บริษัท พูจิตตี้ (ประเทศไทย) จำกัด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาดุษฎีบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรม การจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- อภิรัฐ ศิริธราธิวัตร. 2549. ผลการกายประจุไฟฟ้าสถิตในหัวบันทึก. พิมพ์ครั้งที่ 1. ปทุมธานี : ศูนย์ เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.

ภาษาอังกฤษ

- Automotive Industry Action Group (AIAG). 2002. Measurement System Analysis 3 edition. Michigan, USA.
- Bisgaard, S., and Fuller, H. T. 1994. Analysis of factorial experiments with defects or defectives as the response. Journal of Quality Engineering 7: 429-443.
- Heredia, L. A., Elvira, N. L., Montgomery, D. C., and Griffin, A. H. 2000. Optimization of a bonded leads process using statistically designed experiments. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 16(5): 377-382.
- Hines, W. W., and Montgomery, D. C. 1990. Probability and statistic in engineering and management science, 3rd ed. Singapore: John Wiley & Sons Inc.
- Kang, L., Steven, H., John, F., Rick, R., Zhengmao, Y., Gerard, S., Dwayne, L., Douglas, J. R., and Sreenivasan, S. V. 2010. Defect reduction of patterned media templates and disks, Yokohama, Japan, International Society for Optics and Photonics.
- Pete, A., Lean Six Sigma: The DMAIC Framework [Online]. 2010. Available from: <http://www.shmula.com/lean-six-sigma-the-dmaic-framework/2874/> [2012, February 11]
- Pipes, L., Mitchell, T., Gerard, Z., Amir, A. D., Matthew, C., Tony, M., and Jonathon, S. 2005. Characterization and reduction of a new particle defect mode in sub-0.25 μ m semiconductor process flows. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms 237(1-2): 330-335.
- Senjuntichai, A. 2010. Process setting through general linear model and response surface method. IEANG Transactions on Engineering Technologies. 5: 237-248.
- Senjuntichai, A., Tangjitsitcharoen, S., and Rojanarowan, N. 2009. Investigation of ultrasonic washing system on reduction of oil contamination on machining parts. International Symposium of Scheduling 2009: 111-116.
- Zhong, Z. W., and Gee, S. H., 2004. Failure analysis of ultrasonic pitting and carbon voids on magnetic recording disks. Ceramics International 30(7): 1619-1622.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

Cause & Effect Matrix ของปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง

ตารางที่ ก. 1 คะแนนความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วันเป็นก้นหอย

No.	Area Cause	Process Input		PE1	PE2	PD	ME	PC	QA	Score	Score x10	Percent (%)
1	Man	พนักงานไม่ล้าง เครื่องสำอางค์ก่อนเข้า	พนักงานตรวจสอบละเอียด การทำหน้าที่	1	3	2	3	2	2	13	130	2.41
2		Cleanroom	ไม่ทราบถึงผลกระทบที่ ตามมา	2	1	2	2	1	0	8	80	1.48
3		พนักงานแต่งตัวผิด	ความสะอาด	3	1	1	2	3	1	11	110	2.04
4		ข้อกำหนดความสะอาด	ขาดเจ้าหน้าที่ตรวจสอบ	3	2	3	1	2	0	11	110	2.04
5	Machines	เครื่องขึ้นสกรูขาด ประสิทธิภาพ	องศาในการขันไม่ เหมาะสม	3	2	4	3	3	2	17	170	3.15
6			ความเร็วในการขันไม่ เหมาะสม	2	2	3	3	2	3	15	150	2.78
7		เครื่องประกอบชุด หัวอ่าน-เขียนขาด ประสิทธิภาพ	แรงลมในการดันหัวอ่าน น้อยไป	3	2	1	2	1	0	9	90	1.67
8			ความถี่ในการทำความสะอาด เครื่องน้อยไป	2	2	3	4	1	3	15	150	2.78
9			ตำแหน่งหัวอ่านไม่ตรง ramp	2	1	2	0	1	2	8	80	1.48

No.	Area Cause	Process Input		PE1	PE2	PD	ME	PC	QA	Score	Score x10	Percent (%)
10	Machines	เครื่องประกอบงาน บันทึกข้อมูลก่อให้เกิด เศษฝุ่น	การเสียดสีระหว่างตัวหีบ กับงานบันทึกข้อมูล	9	10	9	10	10	10	58	580	10.74
11			ความถี่ในการทำ สะอาดเครื่องน้อยไป	8	7	7	8	8	9	47	470	8.70
12	Materials	ฝาครอบมีความคมมากเกินไป		8	8	7	8	7	7	45	450	8.33
13		การเสียดสีกันระหว่าง ตัวบรรจุฝาครอบกับฝา ครอบเอง	วัสดุที่ใช้ทำกล่องบรรจุไม่ เหมาะสม	10	9	9	9	10	9	56	560	10.37
14		ชุดหัวอ่าน-เขียนไม่ได้ ประสิทธิภาพ	ระยะยกตัวต่ำ	7	6	6	5	7	6	37	370	6.85
15			ความไม่สมดุลของระนาบ หัวอ่าน	3	1	2	2	2	3	13	130	2.41
16		งานบันทึกข้อมูลมีรอย ขีดข่วนร่องอยู่แล้ว	ชั้นผิวมีความแข็งน้อย	4	2	3	4	2	3	18	180	3.33
17			มีเศษฝุ่นติดอยู่ที่หัวอ่าน ขณะทดสอบที่โรงงานผลิต	5	5	6	6	7	5	34	340	6.30
18	Method	การทดสอบ	จำนวนการทดสอบมากเกินไป	6	5	6	7	5	5	34	340	6.30
19		load/unload ไม่ เหมาะสม	ความเร็วในการทำ load/unload สูงเกินไป	2	1	0	1	0	0	4	40	0.74

No.	Area Cause	Process Input	PE1	PE2	PD	ME	PC	QA	Score	Score x10	Percent (%)
20	Measurement	ความถูกต้องในการวัดซ้ำ	1	2	2	2	1	1	9	90	1.67
21		ความแม่นยำของผู้ตรวจสอบชิ้นงาน	1	2	1	2	2	2	10	100	1.85
22	Environment	แสงสว่าง	1	2	2	1	2	0	8	80	1.48
23		เศษฝุ่นในสายการประกอบ	10	9	8	10	8	8	53	530	9.81
24		อุณหภูมิ	1	2	1	0	1	2	7	70	1.30

ตารางที่ ก. 2 คะแนนความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

No.	Area Cause	Process Input		PE 1	PE 2	PD	ME	PC	QA	Score	Score x10	Percent (%)	
1	Man	พนักงาน ปฏิบัติงานผิด วิธี	ขาดทักษะและประสบการณ์		0	2	1	2	1	0	6	60	1.74
2			ขาดการฝึกอบรม		2	1	2	1	0	2	8	80	2.33
3		ประสิทธิภาพ การทำงาน	ความเมื่อยล้า		0	1	1	2	0	1	5	50	1.45
4	Machines	เครื่องประกอบ งานบันทึก ข้อมูลขาด ประสิทธิภาพ	หีบแผ่น คั่นงาน บันทึก ข้อมูลมา เอียง	แรงลมในการดูด แผ่นคั่นงานบันทึก ข้อมูลทั้ง 3 จุดไม่ เท่ากัน	10	10	9	9	10	10	58	580	16.86
5			วางแผ่น คั่นงาน บันทึก ข้อมูลเอียง	แรงลมในการฉีด แผ่นคั่นงานบันทึก ข้อมูลทั้ง 3 จุดไม่ เท่ากัน	10	10	9	10	10	10	59	590	17.15
6		เครื่องประกอบ หัวอ่าน-เขียน	แรงลมมากเกินไป		2	1	1	2	0	2	8	80	2.33
7	ขาด ประสิทธิภาพ	การจัดวางหัวอ่านเขียนไม่ดี		2	3	2	2	3	3	15	150	4.36	

No.	Area Cause	Process Input		PE	PE	PD	ME	PC	QA	Score	Score x10	Percent (%)
				1	2							
8	Methods	ขั้นตอนการประกอบ	ลำดับการขึ้นสกรูของแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล	10	8	9	10	9	8	54	540	15.70
9	Methods	วิธีการลำเลียงงานบันทึกข้อมูล	กล่องบรรจุกระทบกระเทือนรุนแรง	2	1	1	0	1	2	7	70	2.03
10	Materials	งานบันทึกข้อมูล	ผิวขรุขระ	1	2	0	2	3	1	9	90	2.62
11			ชั้นผิวมีความแข็งน้อย (Hysitron)	3	2	4	3	4	2	18	180	5.23
12		แผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล	ไม่ได้ระนาบ/ปูด	9	9	10	8	9	10	55	550	15.99
13			ขนาดไม่ได้มาตรฐาน	2	1	0	0	1	0	4	40	1.16
14		กล่องบรรจุงานบันทึกข้อมูล	ขนาดช่องบรรจุไม่พอดี	1	1	3	2	1	2	10	100	2.91
15			ช่องใส่มีรอยตำหนิ	1	2	2	1	2	0	8	80	2.33
16	Measurement	ขาดมาตรฐานของระบบการวัดแรงลม		1	2	0	1	1	2	7	70	2.03
17		ขาดความละเอียดในการตรวจสอบ		0	2	2	1	1	1	7	70	2.03
18	Environment	แสงสว่าง		2	1	0	0	1	2	6	60	1.74

ภาคผนวก ข

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง

การทดสอบสมมติฐานที่ ข - 1 รูปแบบของกล่องบรรจุฝาครอบ

การทดสอบสมมติฐานสำหรับรูปแบบของกล่องบรรจุฝาครอบโดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคือ p_1 และ p_2 ซึ่งก็คือสัดส่วนของข้อบกพร่องที่พบจากการใช้รูปแบบของกล่องบรรจุฝาครอบ แบบที่ 1 และ 2

ขั้นตอนในการทดสอบสมมติฐาน มีดังนี้

โดยกำหนดให้ $H_0 : p_1 = p_2$

และ $H_1 : p_1 \neq p_2$

จากการคำนวณค่าสถิติทดสอบของปัจจัยรูปแบบของกล่องบรรจุฝาครอบจากสมการที่ 5.2 ได้ผลตรงกับค่าวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานโดยโปรแกรม Minitab ซึ่งเท่ากับ 1.54 ดังรูปที่ ข.1

จากการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยดังกล่าว พบว่า สัดส่วนของเสียของรูปแบบของกล่องบรรจุฝาครอบแบบที่ 1 เท่ากับ 0.023 หรือ 2.3% และสัดส่วนของเสียของรูปแบบของกล่องบรรจุฝาครอบแบบที่ 2 เท่ากับ 0.016 หรือ 1.6% จึงได้ค่าสถิติทดสอบของปัจจัยนี้เท่ากับ 1.54 และค่า P-value เท่ากับ 0.124 ดังนั้น ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% สรุปได้ว่า รูปแบบของกล่องบรรจุฝาครอบไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

Test and CI for Two Proportions			
Sample	X	N	Sample p
1	43	1863	0.023081
2	30	1863	0.016103
Difference = p (1) - p (2)			
Estimate for difference: 0.00697799			
95% CI for difference: (-0.00191939, 0.0158754)			
Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = 1.54 P-Value = 0.124			

รูปที่ ข.1 ผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยรูปแบบของกล่องบรรจุฝาครอบ

การทดสอบสมมติฐานที่ ข-2 ความคมของฝาครอบ

การทดสอบสมมติฐานสำหรับความคมของฝาครอบโดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคือ p_1 และ p_2 ซึ่งก็คือสัดส่วนของข้อบกพร่องที่พบจากการใช้ความคมของฝาครอบ 0.002 และ 0.005 นี้ว
ขั้นตอนในการทดสอบสมมติฐาน มีดังนี้

$$\text{โดยกำหนดให้} \quad H_0 : p_1 = p_2$$

$$\text{และ} \quad H_1 : p_1 \neq p_2$$

จากการคำนวณค่าสถิติทดสอบของปัจจัยความคมของฝาครอบจากสมการที่ 5.2 ได้ผลตรงกับการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานโดยโปรแกรม Minitab ซึ่งเท่ากับ -2.32 ดังรูปที่ ข.2

จากการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยดังกล่าว พบว่า สัดส่วนของเสียของความคมของฝาครอบ 0.002 นี้ว เท่ากับ 0.023 หรือ 2.3% และสัดส่วนของเสียของความคมของฝาครอบ 0.005 นี้ว เท่ากับ 0.035 หรือ 3.5% จึงได้ค่าสถิติทดสอบของปัจจัยนี้เท่ากับ -2.32 และค่า P-value เท่ากับ 0.020 ดังนั้น ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% สรุปได้ว่า ความคมของฝาครอบมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

Test and CI for Two Proportions			
Sample	X	N	Sample p
1	43	1863	0.023081
2	67	1863	0.035963
Difference = p (1) - p (2)			
Estimate for difference: -0.0128824			
95% CI for difference: (-0.0237444, -0.00202045)			
Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = -2.32 P-Value = 0.020			

รูปที่ ข.2 ผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยความคมของฝาครอบ

การทดสอบสมมติฐานที่ ข-3 ระยะยกดตัวของชุดหัวอ่านเขียน

การทดสอบสมมติฐานสำหรับระยะยกดตัวของชุดหัวอ่านเขียน โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ คือ p_1 และ p_2 ซึ่งก็คือสัดส่วนของข้อบกพร่องที่พบจากการใช้ระยะยกดตัวของชุดหัวอ่านเขียน 0.008 และ 0.01 นี้ว

ขั้นตอนในการทดสอบสมมติฐาน มีดังนี้

โดยกำหนดให้ $H_0 : p_1 = p_2$

และ $H_1 : p_1 \neq p_2$

จากการคำนวณค่าสถิติทดสอบของปัจจัยระยะยกดตัวของชุดหัวอ่านเขียน จากสมการที่ 5.2 ได้ผล ตรงกับการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานโดยโปรแกรม Minitab ซึ่งเท่ากับ 3.85 ดังรูปที่ ข.3

จากการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยดังกล่าว พบว่า สัดส่วนของเสียของระยะยกดตัวของชุดหัวอ่านเขียน 0.008 นี้ว เท่ากับ 0.033 หรือ 3.3% และสัดส่วนของเสียของระยะยกดตัวของชุดหัวอ่านเขียน 0.01 นี้ว เท่ากับ 0.014 หรือ 1.4% จึงได้ค่าสถิติทดสอบของปัจจัยนี้เท่ากับ 3.85 และค่า P-value เท่ากับ 0.000 ดังนั้น ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% สรุปได้ว่า ระยะยกดตัวของชุดหัวอ่านเขียนมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อ จำนวนข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

Test and CI for Two Proportions			
Sample	X	N	Sample p
1	63	1863	0.033816
2	27	1863	0.014493
Difference = p (1) - p (2)			
Estimate for difference: 0.0193237			
95% CI for difference: (0.00948389, 0.0291634)			
Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = 3.85 P-Value = 0.000			

รูปที่ ข.3 ผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยระยะยกดตัวของชุดหัวอ่านเขียน

การทดสอบสมมติฐานที่ ข-4 จำนวนการทดสอบ load/unload

การทดสอบสมมติฐานสำหรับจำนวนการทดสอบ load/unload โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ คือ p_1 และ p_2 ซึ่งก็คือสัดส่วนของข้อบกพร่องที่พบจากการใช้จำนวนการทดสอบ load/unload 1,000 และ 10,000 นี้

ขั้นตอนในการทดสอบสมมติฐาน มีดังนี้

โดยกำหนดให้ $H_0 : p_1 = p_2$

และ $H_1 : p_1 \neq p_2$

จากการคำนวณค่าสถิติทดสอบของปัจจัยจำนวนการทดสอบ load/unload จากสมการที่ 5.2 ได้ผลตรงกับกรวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานโดยโปรแกรม Minitab ซึ่งเท่ากับ -2.98 ดังรูปที่ ข.4

จากการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยดังกล่าว พบว่า สัดส่วนของเสียของจำนวนการทดสอบ load/unload 1,000 ครั้ง เท่ากับ 0.011 หรือ 1.1% และสัดส่วนของเสียของจำนวนการทดสอบ load/unload 10,000 ครั้ง เท่ากับ 0.024 หรือ 2.4% จึงได้ค่าสถิติทดสอบของปัจจัยนี้เท่ากับ -2.98 และค่า P-value เท่ากับ 0.003 ดังนั้น ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% สรุปได้ว่า จำนวนการทดสอบ load/unload มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

Test and CI for Two Proportions			
Sample	X	N	Sample p
1	21	1863	0.011272
2	45	1863	0.024155
Difference = p (1) - p (2)			
Estimate for difference: -0.0128824			
95% CI for difference: (-0.0213432, -0.00442172)			
Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = -2.98 P-Value = 0.003			

รูปที่ ข.4 ผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยจำนวนการทดสอบ load/unload

การทดสอบสมมติฐานที่ ข-5 ความเร็วในการขันสกรู

การทดสอบสมมติฐานสำหรับความเร็วในการขันสกรู โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคือ p_1 และ p_2 ซึ่งก็คือสัดส่วนของข้อบกพร่องที่พบจากการใช้ความเร็วในการขันสกรู 50 และ 100 มิลลิเมตร/วินาที

ขั้นตอนในการทดสอบสมมติฐาน มีดังนี้

โดยกำหนดให้ $H_0 : p_1 = p_2$

และ $H_1 : p_1 \neq p_2$

จากการคำนวณค่าสถิติทดสอบของปัจจัยความเร็วในการขันสกรู จากสมการที่ 5.2 ได้ผลตรงกับ การวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานโดยโปรแกรม Minitab ซึ่งเท่ากับ 1.73 ดังรูปที่ ข.5

จากการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยดังกล่าว พบว่า สัดส่วนของเสียของความเร็วในการขันสกรู 50 มิลลิเมตร/วินาที เท่ากับ 0.013 หรือ 1.3% และสัดส่วนของเสียของความเร็วในการขันสกรู 100 มิลลิเมตร/วินาที เท่ากับ 0.008 หรือ 0.8% จึงได้ค่าสถิติทดสอบของปัจจัยนี้เท่ากับ 1.73 และค่า P-value เท่ากับ 0.084 ดังนั้น ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% สรุปได้ว่า ความเร็วในการขันสกรูไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

Test and CI for Two Proportions			
Sample	X	N	Sample p
1	26	1863	0.013956
2	15	1863	0.008052
Difference = p (1) - p (2)			
Estimate for difference: 0.00590446			
95% CI for difference: (-0.000792085, 0.0126010)			
Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = 1.73 P-Value = 0.084			

รูปที่ ข.5 ผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยความเร็วในการขันสกรู

การทดสอบสมมติฐานที่ ข-6 ค่าแรงบิดในการขันสกรู

การทดสอบสมมติฐานสำหรับค่าแรงบิดในการขันสกรู โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคือ p_1 และ p_2 ซึ่งก็คือสัดส่วนของข้อบกพร่องที่พบจากการใช้ค่าแรงบิดในการขันสกรู 1.0 และ 1.6 ปอนด์นิ้ว ขั้นตอนในการทดสอบสมมติฐาน มีดังนี้

โดยกำหนดให้ $H_0 : p_1 = p_2$

และ $H_1 : p_1 \neq p_2$

จากการคำนวณค่าสถิติทดสอบของปัจจัยค่าแรงบิดในการขันสกรู จากสมการที่ 5.2 ได้ผลตรงกับ การวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานโดยโปรแกรม Minitab ซึ่งเท่ากับ 1.08 ดังรูปที่ ข.6

จากการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยดังกล่าว พบว่า สัดส่วนของเสียของค่าแรงบิดในการขันสกรู 1.0 ปอนด์นิ้ว เท่ากับ 0.017 หรือ 1.7% และสัดส่วนของเสียของค่าแรงบิดในการขันสกรู 1.6 ปอนด์นิ้ว เท่ากับ 0.012 หรือ 1.2% จึงได้ค่าสถิติทดสอบของปัจจัยนี้เท่ากับ 1.08 และค่า P-value เท่ากับ 0.281 ดังนั้น ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% สรุปได้ว่า ค่าแรงบิดในการขันสกรูไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อ จำนวนข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

Test and CI for Two Proportions			
Sample	X	N	Sample p
1	32	1863	0.017177
2	24	1863	0.012882
Difference = p (1) - p (2)			
Estimate for difference: 0.00429415			
95% CI for difference: (-0.00351805, 0.0121063)			
Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = 1.08 P-Value = 0.281			

รูปที่ ข.6 ผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยค่าแรงบิดในการขันสกรู

การทดสอบสมมติฐานที่ ข-7 ความแข็งของชั้นผิวของงานบันทึกข้อมูล

การทดสอบสมมติฐานสำหรับความแข็งของชั้นผิวของงานบันทึกข้อมูล โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคือ p_1 และ p_2 ซึ่งก็คือสัดส่วนของข้อบกพร่องที่พบจากการใช้ความแข็งของชั้นผิวของงานบันทึกข้อมูล -0.15 และ -0.35 นาโนเมตร
ขั้นตอนในการทดสอบสมมติฐาน มีดังนี้

โดยกำหนดให้ $H_0 : p_1 = p_2$

และ $H_1 : p_1 \neq p_2$

จากการคำนวณค่าสถิติทดสอบของปัจจัยความแข็งของชั้นผิวของงานบันทึกข้อมูล จากสมการที่ 5.2 ได้ผลตรงกับการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานโดยโปรแกรม Minitab ซึ่งเท่ากับ 1.66 ดังรูปที่ ข.7

จากการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยดังกล่าว พบว่า สัดส่วนของเสียของความแข็งของชั้นผิวของงานบันทึกข้อมูล -0.15 นาโนเมตร เท่ากับ 0.03 หรือ 3.0% และสัดส่วนของเสียของความแข็งของชั้นผิวของงานบันทึกข้อมูล -0.35 นาโนเมตร เท่ากับ 0.021 หรือ 2.1% จึงได้ค่าสถิติทดสอบของปัจจัยนี้ เท่ากับ 1.66 และค่า P-value เท่ากับ 0.098 ดังนั้น ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% สรุปได้ว่า ความแข็งของชั้นผิวของงานบันทึกข้อมูลไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

Test and CI for Two Proportions			
Sample	X	N	Sample p
1	56	1863	0.030059
2	40	1863	0.021471
Difference = p (1) - p (2)			
Estimate for difference: 0.00858830			
95% CI for difference: (-0.00158222, 0.0187588)			
Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = 1.66 P-Value = 0.098			

รูปที่ ข.7 ผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยความแข็งของชั้นผิวของงานบันทึกข้อมูล

การทดสอบสมมติฐานที่ ข-8 แรงลมในการฉีควางแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล

การทดสอบสมมติฐานสำหรับแรงลมในการฉีควางแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลโดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคือ p_1 และ p_2 ซึ่งก็คือสัดส่วนของข้อบกพร่องที่พบจากการใช้แรงลมในการฉีควางแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล 1500 และ 2250 มิลลิเมตรปรอท
ขั้นตอนในการทดสอบสมมติฐาน มีดังนี้

โดยกำหนดให้ $H_0 : p_1 = p_2$

และ $H_1 : p_1 \neq p_2$

จากการคำนวณค่าสถิติทดสอบของปัจจัยแรงลมในการฉีควางแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลจากสมการที่ 5.2 ได้ผลตรงกับค่าวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานโดยโปรแกรม Minitab ซึ่งเท่ากับ -3.63 ดังรูปที่ ข.8

จากการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยดังกล่าว พบว่า สัดส่วนของเสียของแรงลมในการฉีควางแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล 1500 มิลลิเมตรปรอท เท่ากับ 0.012 หรือ 1.2% และสัดส่วนของเสียของแรงลมในการฉีควางแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล 2250 มิลลิเมตรปรอท เท่ากับ 0.035 หรือ 3.5% จึงได้ค่าสถิติทดสอบของปัจจัยนี้เท่ากับ -3.63 และค่า P-value เท่ากับ 0.000 ดังนั้น ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% สรุปได้ว่า แรงลมในการฉีควางแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

Test and CI for Two Proportions			
Sample	X	N	Sample p
1	15	1199	0.012510
2	42	1199	0.035029
Difference = p (1) - p (2)			
Estimate for difference: -0.0225188			
95% CI for difference: (-0.0346793, -0.0103582)			
Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = -3.63 P-Value = 0.000			

รูปที่ ข.8 ผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยแรงลมในการฉีควางแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล

การทดสอบสมมติฐานที่ ข-9 แรงลมในการดูดยับแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล

การทดสอบสมมติฐานสำหรับแรงลมในการดูดยับแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคือ p_1 และ p_2 ซึ่งก็คือสัดส่วนของข้อบกพร่องที่พบจากการใช้แรงลมในการดูดยับแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล 440 และ 480 มิลลิเมตรปรอท
ขั้นตอนในการทดสอบสมมติฐาน มีดังนี้

$$\begin{aligned} \text{โดยกำหนดให้} \quad & H_0 : p_1 = p_2 \\ & \text{และ} \quad H_1 : p_1 \neq p_2 \end{aligned}$$

จากการคำนวณค่าสถิติทดสอบของปัจจัยแรงลมในการดูดยับแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลจากสมการที่ 5.2 ได้ผลตรงกับกรวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานโดยโปรแกรม Minitab ซึ่งเท่ากับ -3.37 ดังรูปที่ ข.9

จากการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยดังกล่าว พบว่า สัดส่วนของเสียของแรงลมในการดูดยับแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล 440 มิลลิเมตรปรอท เท่ากับ 0.02 หรือ 2.0% และสัดส่วนของเสียของแรงลมในการดูดยับแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล 480 มิลลิเมตรปรอท เท่ากับ 0.044 หรือ 4.4% จึงได้ค่าสถิติทดสอบของปัจจัยนี้เท่ากับ -3.37 และค่า P-value เท่ากับ 0.001 ดังนั้น ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% สรุปได้ว่าแรงลมในการดูดยับแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

Test and CI for Two Proportions			
Sample	X	N	Sample p
1	24	1199	0.020017
2	53	1199	0.044204
Difference = p (1) - p (2)			
Estimate for difference: -0.0241868			
95% CI for difference: (-0.0382655, -0.0101081)			
Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = -3.37 P-Value = 0.001			

รูปที่ ข.9 ผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยแรงลมในการดูดยับแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล

การทดสอบสมมติฐานที่ ข-10 ระบายหรือรอยปูนบนแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล

การทดสอบสมมติฐานสำหรับระบายหรือรอยปูนบนแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลโดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคือ p_1 และ p_2 ซึ่งก็คือสัดส่วนของข้อบกพร่องที่พบจากการใช้ระบายหรือรอยปูนบนแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล 0 และ 1 จุด

ขั้นตอนในการทดสอบสมมติฐาน มีดังนี้

โดยกำหนดให้ $H_0 : p_1 = p_2$

และ $H_1 : p_1 \neq p_2$

จากการคำนวณค่าสถิติทดสอบของปัจจัยระบายหรือรอยปูนบนแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลจากสมการที่ 5.2 ได้ผลตรงกับค่าวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานโดยโปรแกรม Minitab ซึ่งเท่ากับ -6.96 ดังรูปที่ ข.9

จากการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยดังกล่าว พบว่า สัดส่วนของเสียของระบายหรือรอยปูนบนแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล 0 จุด เท่ากับ 0.009 หรือ 0.9% และสัดส่วนของเสียของระบายหรือรอยปูนบนแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล 1 จุดเท่ากับ 0.061 หรือ 6.1% จึงได้ค่าสถิติทดสอบของปัจจัยนี้เท่ากับ -6.96 และค่า P-value เท่ากับ 0.000 ดังนั้น ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% สรุปได้ว่า ระบายหรือรอยปูนบนแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูลมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

Test and CI for Two Proportions			
Sample	X	N	Sample p
1	11	1199	0.009174
2	73	1199	0.060884
Difference = p (1) - p (2)			
Estimate for difference: -0.0517098			
95% CI for difference: (-0.0662807, -0.0371388)			
Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = -6.96 P-Value = 0.000			

รูปที่ ข.10 ผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยระบายหรือรอยปูนบนแผ่นคั่นงานบันทึกข้อมูล

การทดสอบสมมติฐานที่ ข-11 ความแข็งของชั้นผิวของงานบันทึกข้อมูล

การทดสอบสมมติฐานสำหรับความแข็งของชั้นผิวของงานบันทึกข้อมูล โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคือ p_1 และ p_2 ซึ่งก็คือสัดส่วนของข้อบกพร่องที่พบจากการใช้ความแข็งของชั้นผิวของงานบันทึกข้อมูล -0.15 และ -0.35 นาโนเมตร
ขั้นตอนในการทดสอบสมมติฐาน มีดังนี้

$$\text{โดยกำหนดให้} \quad H_0 : p_1 = p_2$$

$$\text{และ} \quad H_1 : p_1 \neq p_2$$

จากการคำนวณค่าสถิติทดสอบของปัจจัยความแข็งของชั้นผิวของงานบันทึกข้อมูล จากสมการที่ 5.2 ได้ผลตรงกับการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานโดยโปรแกรม Minitab ซึ่งเท่ากับ 0.52 ดังรูปที่ ข.11

จากการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยดังกล่าว พบว่า สัดส่วนของเสียของความแข็งของชั้นผิวของงานบันทึกข้อมูล -0.15 นาโนเมตร เท่ากับ 0.026 หรือ 2.6% และสัดส่วนของเสียของความแข็งของชั้นผิวของงานบันทึกข้อมูล -0.35 นาโนเมตร เท่ากับ 0.023 หรือ 2.3% จึงได้ค่าสถิติทดสอบของปัจจัยนี้เท่ากับ 0.52 และค่า P-value เท่ากับ 0.601 ดังนั้น ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% สรุปได้ว่า ความแข็งของชั้นผิวของงานบันทึกข้อมูลไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นกันหอย

Test and CI for Two Proportions			
Sample	X	N	Sample p
1	32	1199	0.026689
2	28	1199	0.023353
Difference = p (1) - p (2)			
Estimate for difference: 0.00333611			
95% CI for difference: (-0.00916583, 0.0158381)			
Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = 0.52 P-Value = 0.601			

รูปที่ ข.11 ผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยความแข็งของชั้นผิวของงานบันทึกข้อมูล

การทดสอบสมมติฐานที่ ข-12 ระบุว่าของหัวอ่านเขียนตามแนวแกนตั้ง

การทดสอบสมมติฐานสำหรับระบุว่าของหัวอ่านเขียนตามแนวแกนตั้ง โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคือ p_1 และ p_2 ซึ่งก็คือสัดส่วนของข้อบกพร่องที่พบจากการใช้ระบุว่าของหัวอ่านเขียนตามแนว PSA 1.5 และ 3.0 องศา

ขั้นตอนในการทดสอบสมมติฐาน มีดังนี้

โดยกำหนดให้ $H_0 : p_1 = p_2$

และ $H_1 : p_1 \neq p_2$

จากการคำนวณค่าสถิติทดสอบของปัจจัยระบุว่าของหัวอ่านเขียนตามแนวแกนตั้ง จากสมการที่ 5.2 ได้ผลตรงกับวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐาน โดยโปรแกรม Minitab ซึ่งเท่ากับ 0.90 ดังรูปที่ ข.12

จากการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยดังกล่าว พบว่า สัดส่วนของเสียของระบุว่าของหัวอ่านเขียนตามแนวแกนตั้ง 1.5 องศา เท่ากับ 0.01 หรือ 1.0% และสัดส่วนของเสียของระบุว่าของหัวอ่านเขียนตามแนวแกนตั้ง 3.0 องศา เท่ากับ 0.066 หรือ 6.6% จึงได้ค่าสถิติทดสอบของปัจจัยนี้เท่ากับ 0.90 และค่า P-value เท่ากับ 0.369 ดังนั้น ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% สรุปได้ว่า ระบุว่าของหัวอ่านเขียนตามแนว PSA ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

Test and CI for Two Proportions

Sample	X	N	Sample p
1	12	1199	0.010008
2	8	1199	0.006672

Difference = p (1) - p (2)

Estimate for difference: 0.00333611

95% CI for difference: (-0.00394256, 0.0106148)

Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = 0.90 P-Value = 0.369

รูปที่ ข.12 ผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยระบุว่าของหัวอ่านเขียนตามแนวแกนตั้ง

การทดสอบสมมติฐานที่ ข-13 จำนวนข้อบกพร่องบนผิวของงานบันทึกข้อมูล

การทดสอบสมมติฐานสำหรับจำนวนข้อบกพร่องบนผิวของงานบันทึกข้อมูล โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบคือ p_1 และ p_2 ซึ่งก็คือสัดส่วนของจำนวนข้อบกพร่องบนผิวของงานบันทึกข้อมูล น้อยกว่า 700 และมากกว่า 700 จุด/พื้นผิว

ขั้นตอนในการทดสอบสมมติฐาน มีดังนี้

$$\begin{aligned} \text{โดยกำหนดให้} \quad & H_0 : p_1 = p_2 \\ & \text{และ} \quad H_1 : p_1 \neq p_2 \end{aligned}$$

จากการคำนวณค่าสถิติทดสอบของปัจจัยจำนวนข้อบกพร่องบนผิวของงานบันทึกข้อมูล จากสมการที่ 5.2 ได้ผลตรงกับทวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานโดยโปรแกรม Minitab ซึ่งเท่ากับ -1.58 ดังรูปที่ ข.13

จากการวิเคราะห์การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยดังกล่าว พบว่า สัดส่วนของเสียของจำนวนข้อบกพร่องบนผิวของงานบันทึกข้อมูล น้อยกว่า 700 จุด/พื้นผิว เท่ากับ 0.01 หรือ 1.0% และสัดส่วนของเสียของจำนวนข้อบกพร่องบนผิวของงานบันทึกข้อมูล มากกว่า 700 จุด/พื้นผิว เท่ากับ 0.017 หรือ 1.7% จึงได้ค่าสถิติทดสอบของปัจจัยนี้เท่ากับ -1.58 และค่า P-value เท่ากับ 0.114 ดังนั้น ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% สรุปได้ว่า จำนวนข้อบกพร่องบนผิวของงานบันทึกข้อมูล ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

Test and CI for Two Proportions			
Sample	X	N	Sample p
1	12	1199	0.010008
2	21	1199	0.017515
Difference = p (1) - p (2)			
Estimate for difference: -0.00750626			
95% CI for difference: (-0.0168270, 0.00181451)			
Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = -1.58 P-Value = 0.114			

รูปที่ ข.13 ผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยจำนวนข้อบกพร่องบนผิวของงานบันทึกข้อมูล

ภาคผนวก ก
ผลการทดสอบยืนยันผล

ตาราง ก. 1 ผลการขึ้นชั้นผลของข้อบกพร่องประเภทรอยขีดที่วนเป็นก้นหอย

กลุ่มตัวอย่างที่	ขนาดตัวอย่าง (ตัว)	จำนวนของเสีย (ตัว)	%ของเสีย
1	1863	65	3.15
2	1863	58	3.09
3	1863	56	2.98
4	1863	51	2.75
5	1863	43	2.68
6	1863	57	3.05
7	1863	51	2.73
8	1863	60	2.84
9	1863	53	2.85
10	1863	61	2.99
11	1863	53	2.86
12	1863	42	3.11
13	1863	56	3.01
14	1863	47	3.07
15	1863	51	2.75
16	1863	52	2.78
17	1863	47	2.52
18	1863	60	3.21
19	1863	58	3.11
20	1863	44	3.03
21	1863	56	3.00
22	1863	55	2.95
23	1863	40	2.94
24	1863	56	3.03

กลุ่มตัวอย่างที่	ขนาดตัวอย่าง (ตัว)	จำนวนของเสีย (ตัว)	%ของเสีย
25	1863	50	2.67
26	1863	54	2.88
27	1863	44	2.94
28	1863	51	2.73
29	1863	54	2.91
30	1863	42	2.25

ตาราง ก. 2 ผลการทดสอบยืนยันผลของข้อบกพร่องประเภทรอยจุดเป็นกลุ่ม

กลุ่มตัวอย่างที่	ขนาดตัวอย่าง (ตัว)	จำนวนของเสีย (ตัว)	%ของเสีย
1	1199	20	1.67
2	1199	14	1.17
3	1199	16	1.33
4	1199	10	0.83
5	1199	15	1.25
6	1199	7	0.58
7	1199	13	1.08
8	1199	11	0.92
9	1199	10	0.83
10	1199	22	1.83
11	1199	9	0.75
12	1199	8	0.67
13	1199	16	1.33
14	1199	18	1.50
15	1199	12	1.00
16	1199	14	1.17
17	1199	17	1.42
18	1199	14	1.17
19	1199	8	0.67
20	1199	7	0.58
21	1199	11	0.92
22	1199	15	1.25
23	1199	13	1.08
24	1199	4	0.33

กลุ่มตัวอย่างที่	ขนาดตัวอย่าง (ตัว)	จำนวนของเสีย (ตัว)	%ของเสีย
25	1199	6	0.50
26	1199	5	0.42
27	1199	11	0.92
28	1199	9	0.75
29	1199	13	1.08
30	1199	11	0.92

ภาคผนวก ง
แบบฟอร์มรายการตรวจสอบ

ตารางที่ 1 – งบ ใบทตรวจสอบ (Check list) การตั้งค่าเครื่องจักรในกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

Hard Disk Drive Assembly Process				
Line : _____		Machine : _____		Technical : _____
Date : _____		Engineer : _____		
Time : _____				
Factor	Spec	Adjustment		Remark
		Before	After	
Paddle to disk space	3 mm			
DSP ejected pressure	2250 mmHg			
DSP vacuum pressure	440 mmHg			

ตารางที่ 2 – ง ใบตรวจสอบ (Check list) ความคมของฝาครอบในกระบวนการตรวจสอบวัตถุดิบ

Product : A

Top Cover edge sharpness Inspection

Date : _____ Time : _____ Operator : _____

No.	Serial no.	Spec (inch)	Top cover sharpness (inch)	No.	Serial no.	Spec (inch)	Top cover sharpness (inch)	No.	Serial no.	Spec (inch)	Top cover sharpness (inch)
1				21				41			
2				22				42			
3				23				43			
4				24				44			
5				25				45			
6				26				46			
7				27				47			
8				28				48			
9				29				49			
10				30				50			
11				31				51			
12				32				52			
13				33				53			
14				34				54			
15				35				55			
16				36				56			
17				37				57			
18				38				58			
19				39				59			
20				40				60			

ตารางที่ 3 – ง ใบตรวจสอบ (Check list) ระยะยกตัวของชุดหัวอ่าน – เขียนในกระบวนการผลิตหัวอ่านสำเร็จรูป

Process : Head Stack Assembly Proce:												Product : A							
Pitch Static Attritude																			
Date : _____				Time : _____				Operator : _____											
No.	Serial no.	Spec (inch)	PSA (inch)	No.	Serial no.	Spec (inch)	PSA (inch)	No.	Serial no.	Spec (inch)	PSA (inch)	No.	Serial no.	Spec (inch)	PSA (inch)	No.	Serial no.	Spec (inch)	PSA (inch)
1				21				41				61				81			
2				22				42				62				82			
3				23				43				63				83			
4				24				44				64				84			
5				25				45				65				85			
6				26				46				66				86			
7				27				47				67				87			
8				28				48				68				88			
9				29				49				69				89			
10				30				50				70				90			
11				31				51				71				91			
12				32				52				72				92			
13				33				53				73				93			
14				34				54				74				94			
15				35				55				75				95			
16				36				56				76				96			
17				37				57				77				97			
18				38				58				78				98			
19				39				59				79				99			
20				40				60				80				100			

ตารางที่ 4 – ง ไบบันทึกค่าพารามิเตอร์จำนวนการทดสอบ load/unload

Hard Disk Drive Test Process

Date : _____

Product : A

Time : _____

Engineer : _____

SBR : _____

Parameter	Spec	unit	Setting		Remark
			Before	After	
No. of load/unload ctcle	10,000	times			

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวอัญธิชา พงษ์ไตรรัตน์ เกิดวันที่ 17 ธันวาคม พ.ศ. 2529 ที่จังหวัดขอนแก่น สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น ในปีการศึกษา 2551 ภายหลังจากจบการศึกษาได้เข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกรฝ่ายผลิตภัณฑ์ในบริษัทผลิต ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แห่งหนึ่ง หลังจากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชา อุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553