

การลดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งของแขนจับหัวอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์



นายขวัญชัย ห้วยลึก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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 University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEFECTIVE REDUCTION FROM BEND DEFECT OF SUSPENSION OF  
HARD DISK DRIVE

Mr. Khwanchai Huailuk



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 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การลดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งของแขน

จับหัวอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

โดย

นายขวัญชัย ห้วยลึก

สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัตตวงศ์ ไอสถศิลป์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัตตวงศ์ ไอสถศิลป์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมมาภรณ์พิลาศ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญวา ธรรมพิทักษ์กุล)

ขวัญชัย ห้วยลึก : การลดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโก่งของแขนจับหัวอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (DEFECTIVE REDUCTION FROM BEND DEFECT OF SUSPENSION OF HARD DISK DRIVE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.นภัสสร วงศ์ โอสถศิลป์, 114 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดร้อยละของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโก่งของแขนจับหัวอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยทำการประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า โดยระบุนิยามปัญหาได้ศึกษาสภาพปัญหา กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย ต่อมาในระหว่างการวัดทำการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบข้อมูลนับ และจัดทำแผนผังขั้นตอนการทำงานของกระบวนการเพื่อระบุปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อข้อบกพร่องประเภทการโก่ง หลังจากนั้นจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าและเลือกปรับปรุงโดยใช้เกณฑ์การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ หลังจากนั้นนำปัจจัยหลักที่สำคัญ มาทำการปรับปรุงดังนี้ 1) ออกแบบเหรียญใส่ชิ้นงานให้เหมาะสมและนำไปใช้ในกระบวนการเชื่อมด้วยเลเซอร์ กระบวนการตัด กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน กระบวนการตัดชิ้นงานออกเป็นตัว กระบวนการติดแฉกเปอร์ และกระบวนการปรับค่าพารามิเตอร์ 2) ปรับแต่งแม่พิมพ์การขึ้นรูปชิ้นงานที่กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน 3) ออกแบบเครื่องมือหยิบชิ้นงานให้เหมาะสม และนำไปใช้ในกระบวนการตัดชิ้นงานออกเป็นตัว และกระบวนการติดแฉกเปอร์ 4) สร้างและทบทวนเอกสารและอบรมพนักงานในกระบวนการเชื่อมด้วยเลเซอร์ และกระบวนการปรับค่าพารามิเตอร์ ซึ่งในระหว่างการควบคุม ได้จัดทำแผนควบคุมกระบวนการ ผลที่ได้หลังจากปรับปรุงพบว่าร้อยละของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโก่งลดลงจาก 15,649 PPM เป็น 9,263 PPM คิดเป็นมูลค่าความสูญเสียที่ลดลงเท่ากับ 5,360,254 บาทต่อปี

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อผู้เขียน.....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก.....

ปีการศึกษา 2557

# # 5570905321 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: BEND DEFECT / SUSPENSION / SIX SIGMA / DEFECTIVE REDUCTION

KHWANCHAI HUAILUK: DEFECTIVE REDUCTION FROM BEND DEFECT OF SUSPENSION OF HARD DISK DRIVE. ADVISOR: ASST. PROF.NAPASSAVONG OSOTHSILP, Ph.D.}, 114 pp.

The objective of this research is to reduce the defective rate from bending defects in hard disk drive suspensions by applying the six sigma method. The study first defined the problem, the project objective and scope. Then, the attribute agreement analysis was performed to ensure the reliability of the inspection results. The process input variables leading to bending defect were then listed using process mapping. Next, Key process input variables (KPIVs) were prioritized and selected to be improved using the criteria of the failure mode and effect analysis. The KPIVs were improved by changing tray design in laser welding, cutting, forming, final Trim, damper attachment and backend processes. The tooling die was modified in the forming process. The handling tool was modified in the final trim and damper attachment processes. Finally, the creation and revision of standard work instructions (Do/ Don't) were done and the operators were trained in the laser weld and backend processes. After that, a control plan was set up to control production processes. The results showed that the defective rate from bending defect was reduced from 15,649 PPM to 9,263 PPM leading to the cost saving of 5,360,254 baht per year.

Department: Industrial Engineering      Student's Signature .....

Field of Study: Industrial Engineering      Advisor's Signature .....

Academic Year: 2014

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยความช่วยเหลือและเสียสละเวลาให้คำแนะนำจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสดวงศ์ ไรจนโรวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ระหว่างการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดีโดยตลอด ผู้วิจัยขอถือโอกาสนี้กราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมมาภรณ์พิลาศ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญวาท ธรรมพิทักษ์กุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่อง ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณโรงงานกรณีศึกษาเป็นอย่างสูงที่ให้โอกาสในการเข้าไป เก็บข้อมูล และทำงานวิจัย รวมทั้งให้เข้าร่วมในการฝึกอบรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ยังให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลและการทำการทดลองเป็นอย่างดี และขอขอบพระคุณคณะทำงานที่ช่วยในการระดมสมองให้ความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และให้คำแนะนำจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่มีได้กล่าวไว้ในที่นี้ด้วย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ .....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา .....	2
1.2 ข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา.....	3
1.3 ที่มาและความสำคัญของปัญหา .....	7
1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	13
1.5 ขอบเขตการดำเนินงานวิจัย.....	13
1.6 ผลที่ได้รับ.....	13
1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ .....	13
1.8 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย .....	13
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	16
2.1 การปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา.....	16
2.2 การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Design of Experiment: DOE).....	23
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	28
บทที่ 3 การนิยามปัญหา (Define Phase).....	30
3.1 การจัดตั้งคณะทำงาน .....	30
3.2 การนิยามปัญหา.....	32

3.3 การกำหนดวัตถุประสงค์และเป้าหมายของงานวิจัย.....	34
3.4 การศึกษาสภาพปัญหา และกำหนดปัญหาที่ต้องการศึกษา .....	35
3.5 สรุปกระบวนการนิยามปัญหา .....	43
บทที่ 4 การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure Phase).....	46
4.1 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis).....	46
4.2 การวัดความสามารถของกระบวนการผลิตปัจจุบัน.....	52
4.3 การประเมินความสัมพันธ์ของตัวแปร เพื่อหาปัจจัยนำเข้าสู่ที่สำคัญ (Key Process Input Variable: KPIV) ที่อาจมีผลกระทบต่อปัญหา .....	53
4.4 สรุปกระบวนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา .....	67
บทที่ 5 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analyze Phase).....	69
5.1 ปัจจัยนำเข้าสู่ที่นำมาทดสอบความมีนัยสำคัญ และการตั้งสมมุติฐาน (Hypothesis Testing) .....	69
5.2 การคำนวณขนาดสิ่งตัวอย่าง .....	70
5.3 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง เพื่อทดสอบสมมุติฐาน.....	72
5.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบสมมุติฐานของแต่ละปัจจัยนำเข้าสู่.....	73
5.5 สรุปกระบวนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา .....	90
บทที่ 6 การปรับปรุง และการติดตามควบคุมกระบวนการ (Improve and Control Phase) .....	91
6.1 การปรับปรุงแก้ไข (Improve Phase).....	93
6.2 สรุปกระบวนการแก้ไขปรับปรุงกระบวนการ.....	104
6.3 ต้นทุนที่ใช้ในการปรับปรุง .....	106
6.4 การติดตามควบคุมกระบวนการ (Control Phase) .....	107
บทที่ 7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ .....	108
7.1 สรุปผลวิจัย .....	108



7.2 ข้อจำกัดและอุปสรรคในงานวิจัย.....	109
7.3 ข้อเสนอแนะ.....	109
รายการอ้างอิง.....	112
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	114



## สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 จำนวนของเสียตามประเภทข้อบกพร่อง จากปริมาณการผลิต 23,440,417 ชิ้น ตั้งแต่ มกราคม – กรกฎาคม 2556 .....	8
ตารางที่ 1.2 การประเมินมูลค่าความสูญเสียของข้อบกพร่องแต่ละประเภท .....	11
ตารางที่ 2. 1 ตัวอย่างแผนผังเหตุและผล (C&E Matrix).....	20
ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างแผนผังการวิเคราะห์ปัญหาและผลกระทบ .....	22
ตารางที่ 2.3 การกำหนดเงื่อนไขในแต่ละปัจจัยการทดลองแบบแฟคทอเรียล .....	26
ตารางที่ 3. 1 ข้อมูลของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งตั้งแต่ มกราคม – กรกฎาคม 2556.....	33
ตารางที่ 3.2 ผลการตรวจสอบชิ้นงานก่อนและหลัง ของแต่ละกระบวนการ .....	43
ตารางที่ 3.3 กฏบัตรโครงการ.....	45
ตารางที่ 4. 1 สรุปลำดับนำเข้าจากแผนผังขั้นตอนการทำงานย่อย .....	57
ตารางที่ 4.2 เกณฑ์ในการประเมินความรุนแรง (Severity: S).....	59
ตารางที่ 4.3 เกณฑ์ในการประเมินโอกาสการเกิดของสาเหตุข้อบกพร่อง (Occurrence: C).....	60
ตารางที่ 4.4 เกณฑ์ในการประเมินความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่อง (Detection: D).....	60
ตารางที่ 4.5 รายละเอียดการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ.....	62
ตารางที่ 4.6 สาเหตุของปัญหา และค่า RPN ที่ได้จากการวิเคราะห์ FMEA.....	64
ตารางที่ 4.7 ปัจจัยนำเข้าที่มีผล (KPIV) จากการวิเคราะห์ FMEA.....	66
ตารางที่ 5. 1 ผลการคำนวณขนาดตัวอย่างด้วยค่าอำนาจในการทดสอบ 0.8, 0.9 (power).....	71
ตารางที่ 5.2 ผลการคำนวณขนาดตัวอย่าง 1600 ชิ้น ด้วยโปรแกรม Minitab.....	72
ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองปัจจัยตำแหน่งการดูเพลกเซอร์ออกจากเทรย์ .....	74
ตารางที่ 5.4 ผลการทดลองปัจจัยระยะช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน .....	75
ตารางที่ 5.5 ผลการทดลองปัจจัยช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์ตัดชิ้นงาน .....	77
ตารางที่ 5.6 ผลการทดลองปัจจัยช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงาน .....	78

ตารางที่ 5.7 ผลการทดลองปัจจัยของกระบวนการตัด Final Trim .....	81
ตารางที่ 5.8 ผลการทดลองปัจจัยกระบวนการ Damper Attach.....	83
ตารางที่ 5.9 ผลการทดลองปัจจัยของกระบวนการ Backend.....	85
ตารางที่ 5.10 สรุปปัจจัยนำเข้าที่มาทำการทดสอบ.....	86
ตารางที่ 6. 1 แนวทางการปรับปรุงปัจจัยนำเข้าหลักที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ .....	91
ตารางที่ 6.2 สรุปแผนแนวทางการปรับปรุงของปัจจัยนำเข้าที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ.....	92
ตารางที่ 6.3 การเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณการผลิต ปริมาณและร้อยละของเสียที่เกิดจาก ข้อบกพร่องประเภทการโก่ง ก่อนและหลังการปรับปรุง .....	105
ตารางที่ 6.4 การเปรียบเทียบผลก่อน และหลังการปรับปรุง .....	106
ตารางที่ 6.5 ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง .....	106
ตารางที่ 6.6 แผนควบคุมกระบวนการ.....	107

## สารบัญภาพ

รูปที่ 1.1 ข้อมูล Trend Focus ปริมาณผลิต และส่งมอบสินค้า .....	1
รูปที่ 1.2 แขนจับหัวอ่านเขียน .....	2
รูปที่ 1.3 ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (ซ้าย) และชิ้นส่วน HSA ที่ถูกประกอบเข้าเป็นฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (ขวา) .....	3
รูปที่ 1.4 ชุด Voice Coil และหลักการทำงาน .....	4
รูปที่ 1.5 ตำแหน่งแขนจับหัวอ่านเขียน (Suspension) และระยะการบินของแขนจับหัวอ่านเขียน (Fly Height) .....	5
รูปที่ 1.6 ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์แขนจับหัวอ่านเขียน .....	6
รูปที่ 1.7 แขนจับหัวอ่านเขียนแบบ Single Stage Actuator (SSA) .....	6
รูปที่ 1.8 แผนภูมิเปรียบเทียบร้อยละของเสียโดยรวมของ รุ่น C และรุ่น S รวมกับรุ่น M .....	7
รูปที่ 1.9 แผนภูมิพาเรโตร้อยละของเสียของประเภทข้อบกพร่อง .....	10
รูปที่ 1.10 แผนภูมิเปรียบเทียบร้อยละของเสียจากข้อบกพร่อง 3 ประเภทหลัก .....	10
รูปที่ 1.11 แผนภูมิพาเรโตมูลค่าความสูญเสียต่อปี .....	12
รูปที่ 2. 1 ขั้นตอนของซิกซ์ ซิกม่า Mosaica (2007).....	17
รูปที่ 2.2 การออกแบบเชิงแพคทอเรียล 2 ปัจจัย (Montgomery D.C., 2001).....	26
รูปที่ 3. 1 แผนผังกระบวนการผลิตของแขนจับหัวอ่านเขียน (Suspension Process Flow) .....	32
รูปที่ 3.2 แผนภูมิร้อยละของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งเทียบกับปริมาณการผลิต .....	33
รูปที่ 3.3 ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability).....	34
รูปที่ 3.4 เกณฑ์การยอมรับ และไม่ยอมรับของรูปแบบการโค้ง.....	35
รูปที่ 3.5 การกำหนดขอบเขต (Zone) ของแขนจับหัวอ่านเขียน .....	36
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการตัดสินใจไม่สามารถยอมรับข้อบกพร่องประเภทการโค้งขอบเขตที่ 1 .....	36
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการตัดสินใจไม่สามารถยอมรับข้อบกพร่องประเภทการโค้งขอบเขตที่ 2 .....	37
รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการตัดสินใจข้อบกพร่องประเภทการโค้งขอบเขตที่ 3 .....	37

รูปที่ 3.9 ตัวอย่างการตัดสินใจไม่สามารถยอมรับข้อบกพร่องประเภทการโค้งขอบเขตที่ 4 .....	38
รูปที่ 3.10 แผนภูมิวงกลม (Pie Chart) ร้อยละของเสียจากข้อบกพร่อง ประเภทการโค้งของแต่ละขอบเขต .....	38
รูปที่ 3.11 แผนภูมิพาเรโตร้อยละของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งขอบเขต 1 .....	39
รูปที่ 3.12 แผนภูมิพาเรโตร้อยละของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งขอบเขต 3 .....	40
รูปที่ 3.13 แผนภูมิพาเรโตร้อยละของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งขอบเขต 4 .....	41
รูปที่ 4. 1 ผลลัพธ์ร้อยละการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานแต่ละคน .....	49
รูปที่ 4.2 ผลลัพธ์ร้อยละการวิเคราะห์ความถูกต้อง (ความไม่ bias ของการตรวจสอบ) .....	50
รูปที่ 4.3 ผลลัพธ์ร้อยละการวิเคราะห์ความฟุ้งกันของค่าวัดระหว่างพนักงาน .....	51
รูปที่ 4.4 ผลลัพธ์ร้อยละการวิเคราะห์ความฟุ้งกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงาน .....	51
รูปที่ 4.5 แสดงผลทางกราฟ Within Appraisers และ Appraiser vs Standard .....	52
รูปที่ 4.6 แผนผังขั้นตอนการทำงานย่อยระบุปัจจัยนำเข้าของกระบวนการ Laser Weld .....	54
รูปที่ 4.7 แผนผังขั้นตอนการทำงานย่อยระบุปัจจัยนำเข้าของกระบวนการ Cutting .....	54
รูปที่ 4.8 แผนผังขั้นตอนการทำงานย่อยระบุปัจจัยนำเข้าของกระบวนการ Forming .....	55
รูปที่ 4.9 แผนผังขั้นตอนการทำงานย่อยระบุปัจจัยนำเข้าของกระบวนการ Final Trim .....	55
รูปที่ 4.10 แผนผังขั้นตอนการทำงานย่อยระบุปัจจัยนำเข้าของกระบวนการ Damper .....	56
รูปที่ 4.11 แผนผังขั้นตอนการทำงานย่อยระบุปัจจัยนำเข้าของกระบวนการ Backend .....	56
รูปที่ 4.12 แผนภูมิพาเรโตของการวิเคราะห์ FMEA .....	65
รูปที่ 5. 1 กระบวนการทดสอบสมมติฐานของเกี่ยวกับสัดส่วนข้อบกพร่องแบบประชากรเดียว .....	70
รูปที่ 5.2 ผลการคำนวณขนาดตัวอย่างของการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab .....	72
รูปที่ 5.3 ขั้นตอนการดูเพลกเซอร์ออกจากเทอร์รี่ที่กระบวนการ Laser Weld .....	73
รูปที่ 5.4 ขั้นตอนการทดสอบปัจจัยที่กระบวนการ Laser Weld .....	75
รูปที่ 5.5 ขั้นตอนการทดสอบปัจจัยที่กระบวนการ Cutting .....	76

รูปที่ 5.6 ขั้นตอนการทดสอบปัจจัยที่กระบวนการ Forming .....	78
รูปที่ 5.7 ขั้นตอนการทดสอบปัจจัยที่กระบวนการ Final Trim .....	80
รูปที่ 5.8 ขั้นตอนการทดสอบปัจจัยที่กระบวนการ Damper Attach.....	82
รูปที่ 5.9 ขั้นตอนการทดสอบปัจจัยที่กระบวนการ Backend.....	84
รูปที่ 6. 1 (ก) แขนจับหัวอ่านเขียนอยู่บนเทรย์ใส่ชิ้นงาน (ข) เทรย์ใส่ชิ้นงานวางเรียงซ้อนกัน.....	93
รูปที่ 6.2 แขนจับหัวอ่านเขียนอยู่บนเทรย์ใส่ชิ้นงาน .....	94
รูปที่ 6.3 เทรย์ใส่ชิ้นงาน ที่ได้รับการออกแบบใหม่.....	94
รูปที่ 6.4 ตำแหน่งการขึ้นรูป (Forming) และตำแหน่งที่เกิดข้อบกพร่องการโค้ง.....	95
รูปที่ 6.5 ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ในการขึ้นรูปชิ้นงาน.....	95
รูปที่ 6.6 การปรับปรุงของชิ้นส่วนแม่พิมพ์ขึ้นรูป (ชิ้นส่วน Forming Die) .....	96
รูปที่ 6.7 การปรับปรุงของชิ้นส่วนแม่พิมพ์ขึ้นรูป (ชิ้นส่วน Die insert holder) .....	96
รูปที่ 6.8 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาของกระบวนการหยิบชิ้นงานด้วยเครื่องมือ .....	97
รูปที่ 6.9 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาของกระบวนการหยิบชิ้นงานด้วยเครื่องมือ .....	98
รูปที่ 6.10 การเปรียบเทียบก่อนและหลังแก้ไขเครื่องมือหยิบชิ้นงาน .....	98
รูปที่ 6.11 การปรับปรุงเครื่องมือหยิบชิ้นงานโดยการเปลี่ยนจากวงรี เป็นวงกลม .....	99
รูปที่ 6.12 การปรับปรุงเครื่องมือหยิบชิ้นงานโดยการเปลี่ยนจากวงรี เป็นวงกลม .....	99
รูปที่ 6.13 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาของการดูดจับชิ้นงานเฟลคเซอร์.....	100
รูปที่ 6.14 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาของการหยิบจับฟีกเจอร์ของกระบวนการ Backend .....	100
รูปที่ 6.15 การแก้ไขหยิบจับชิ้นงานให้ถูกตำแหน่ง (Do) ของกระบวนการ Laser.....	101
รูปที่ 6.16 การหยิบจับชิ้นงานที่ไม่ถูกต้องของกระบวนการ Laser.....	102
รูปที่ 6.17 การใช้เครื่องมือหยิบจับชิ้นงานที่ถูกต้องของกระบวนการ Laser.....	103
รูปที่ 6.18 การใช้เครื่องมือหยิบจับชิ้นงานไม่ถูกต้องของกระบวนการ Laser.....	103
รูปที่ 6.19 ตำแหน่งการจับฟีกเจอร์ที่ถูกต้องของกระบวนการ Backend.....	104

รูปที่ 6.20 ตำแหน่งการจับพิกเจอร์ที่ไม่ถูกต้องของกระบวนการ Backend ..... 104

รูปที่ 6.21 กราฟแนวโน้มร้อยละของเสียของข้อบกพร่องประเภทการโค้ง ..... 105



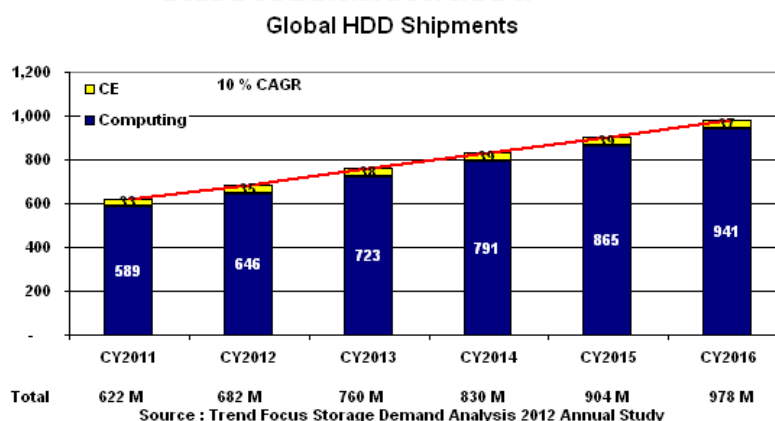
# บทที่ 1

## บทนำ

ในปัจจุบันฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีการประยุกต์ใช้งานในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กันอย่างแพร่หลาย เช่น กล้องถ่ายรูป อุปกรณ์ถ่ายบันทึกภาพ อุปกรณ์สื่อสาร คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์ เป็นต้น ซึ่งมีความต้องการการเก็บข้อมูลที่มากขึ้น อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จึงต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีในการเก็บรวมทั้งขนาดของฮาร์ดดิสก์ให้เล็กเพื่อสามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ได้หลากหลายขึ้น

จากความต้องการโดยรวมของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เนื่องจากต้นทุนต่อหน่วยความจำระดับกิกะไบต์ (GB) ซึ่งต่ำกว่าเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีการจัดเก็บข้อมูลอื่นๆ ทำให้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีส่วนสำคัญต่อโปรแกรมคอมพิวเตอร์ระบบดิจิทัลใหม่ๆ มากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์เพื่อการอุปโภค (Consumer Electronics: CE) ซึ่งส่งผลให้ปริมาณการส่งมอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์สูงเป็นประวัติการณ์ ในปี 2554 การเติบโตของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ลดลง 4.5% สาเหตุหลักเกิดจากมหอุทกภัยในประเทศไทย

ปริมาณผลิตและส่งออกสินค้า จากข้อมูลของ Trend Focus รูปที่ 1.1 พบว่าในปี 2554 อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้จัดส่งมอบฮาร์ดดิสก์ ไดรฟ์ 622 ล้านชิ้น และสำหรับปี 2555 คาดการณ์ว่า ปริมาณส่งมอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จะเพิ่มขึ้นเป็น 682 ล้านชิ้น ซึ่งเป็นผลมาจากความไม่แน่นอนสภาวะเศรษฐกิจโลก



รูปที่ 1.1 ข้อมูล Trend Focus ปริมาณผลิต และส่งออกสินค้า



ปัจจุบันอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์จะมีผู้ผลิตรายใหญ่ๆ ไม่กี่รายบางรายมีการควบรวมกิจการ แสดงให้เห็นว่าอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไตร์ฟจะมีผู้นำตลาดที่เป็นกลุ่มบริษัทที่มีฐานเงินทุน แข็งแกร่งที่สุด ซึ่งรวมถึงการจัดจำหน่าย การตลาด การบริหารจัดการสินค้าคงคลัง โครงสร้าง พื้นฐาน การเข้าถึงอุตสาหกรรม และแหล่งเงินทุน ผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไตร์ฟจำเป็นต้องมีความสามารถในด้านต่าง ๆ เพื่อความเป็นเลิศในตลาดที่มีการแข่งขันสูง

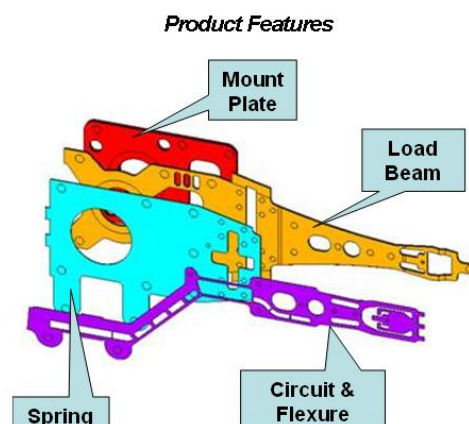
ความต้องการหัวบันทึกอ่านเขียนข้อมูล ขึ้นอยู่กับความต้องการฮาร์ดดิสก์ไตร์ฟเช่นเดียวกับ ความต้องการแขนจับหัวอ่านเขียน และเช่นเดียวกันอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ฮาร์ดดิสก์ ไตร์ฟและแขนจับหัวอ่านเขียน ผู้ผลิตหัวอ่านจำเป็นต้องเน้นที่ต้นทุนการผลิต ประสิทธิภาพการทำงาน ของสินค้า (ความเชื่อถือได้และความมีเสถียรภาพ) ทั้งด้านคุณภาพ ด้านราคา และด้านการบริการ ของกลุ่มผู้ส่งมอบ (Supplier) ส่งผลให้ทุกบริษัทพยายามหาวิธีการและแนวทางในการปรับปรุง คุณภาพ ให้ผลิตภัณฑ์ของตนมีคุณภาพสูงอยู่เหนือคู่แข่ง และมีต้นทุนที่มีศักยภาพในการแข่งขัน

งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาเพื่อลดต้นทุนการผลิต โดยการลดของเสียที่เกิดจากกระบวนการ ผลิตของแขนจับหัวอ่านเขียน เพื่อให้ได้สินค้าที่มีคุณภาพตามความต้องการของลูกค้า

### 1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา

บริษัทกรณีศึกษา เป็นผู้นำที่มีความเชี่ยวชาญในด้านการออกแบบพัฒนาผลิตภัณฑ์ และขาย แขนจับหัวอ่านเขียน และส่วนประกอบสำหรับฮาร์ดดิสก์ไตร์ฟ (HDD) และอุตสาหกรรม อิเล็กทรอนิกส์ บริษัทประกอบด้วยบริษัทย่อยหลายแห่งซึ่งมีความเชี่ยวชาญทางด้านการขึ้นรูป ขึ้นส่วนด้วยกรดเคมี และออกแบบแม่พิมพ์ เพื่อสนับสนุนธุรกิจหลักของบริษัท

ปัจจุบันบริษัทสามารถผลิตแขนจับหัวอ่านเขียนหลักๆ ได้ทุกชนิดตามความต้องการของ ลูกค้า รวมถึงเป็นการออกแบบเฉพาะตัวของบริษัท ดังตัวอย่างรูปที่ 1.2

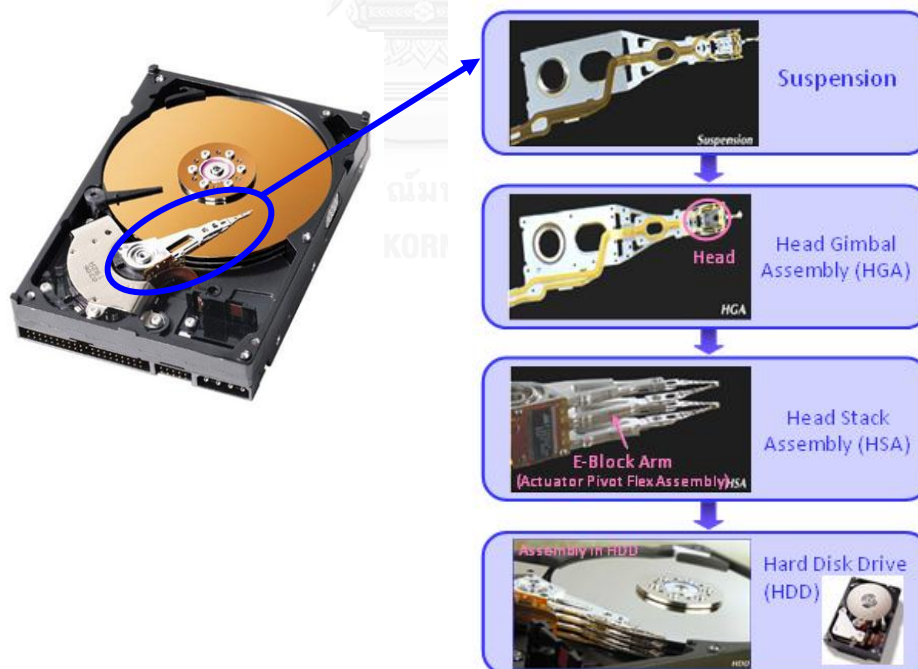


รูปที่ 1.2 แขนจับหัวอ่านเขียน

บริษัทได้จำหน่ายสินค้าโดยตรงให้แก่ผู้ผลิตหัวอ่านเขียน ซึ่งจะขายชุดหัวอ่านเขียนทั้งชุดให้แก่ผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ นอกจากนี้บริษัทยังจำหน่ายสินค้าโดยตรงให้แก่ผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ที่ผลิตหัวอ่านของตนเองอีกด้วย แม้ว่าบริษัทจะจำหน่ายสินค้าโดยตรงให้แก่ผู้ผลิตหัวอ่านเขียน ผู้จำหน่ายฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะคัดเลือกผู้ผลิตแขนจับหัวอ่านเขียน และทำงานร่วมกันอย่างใกล้ชิดกับบริษัทในช่วงของการออกแบบ ด้วยสาเหตุนี้ ธุรกิจของบริษัทจึงถูกขับเคลื่อนด้วยความสัมพันธ์และชื่อเสียงอันเป็นที่ยอมรับ ทั้งจากผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และผู้ผลิตหัวอ่านเขียน

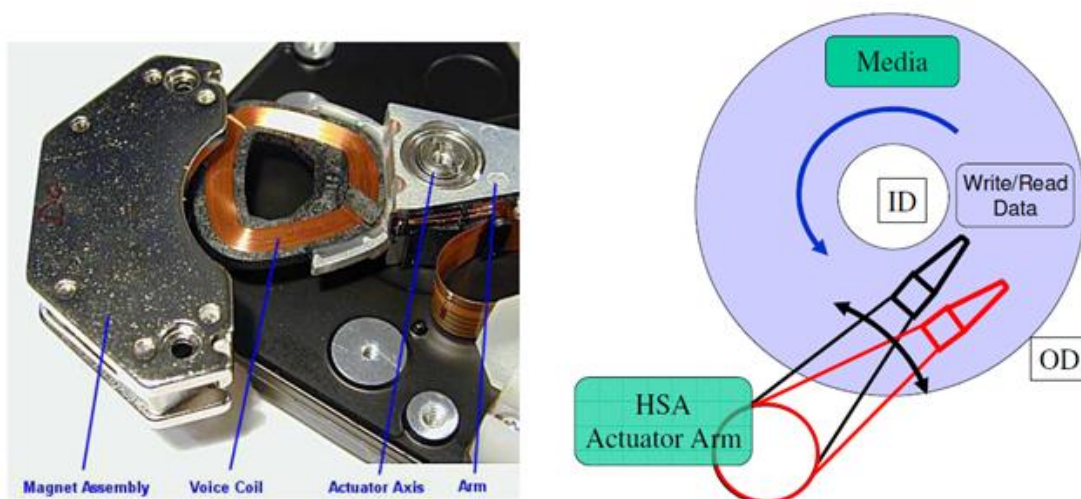
## 1.2 ข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา

ในอุปกรณ์บันทึกข้อมูล หรือฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ จะประกอบไปด้วย ชุดหัวอ่านสำเร็จ (Head Stack Assembly: HSA) ที่เกิดจากการประกอบชิ้นส่วนหัวอ่านเขียนประกอบสำเร็จ (Head Gimbal Assembly: HGA) หลายตัวเข้าด้วยกันบน E-Block (Actuator Pivot Flex Assembly) โดย HGA เป็นชิ้นส่วนที่ประกอบจากหลายชิ้นส่วนย่อย โดยมี Slider ติดอยู่บริเวณปลายของ HGA ทำหน้าที่อ่านและเขียนข้อมูลบนแผ่นดิสก์ ดังแสดงในรูปที่ 1.3



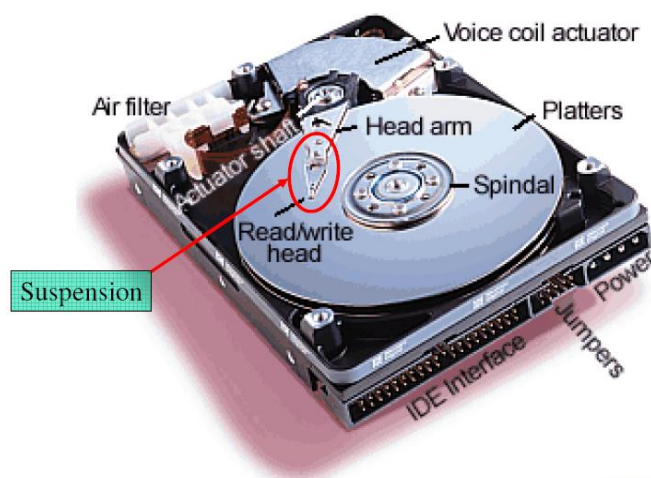
รูปที่ 1.3 ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (ซ้าย) และชิ้นส่วน HSA ที่ถูกประกอบเข้าเป็นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (ขวา)

โดยการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียน อาศัยการเคลื่อนที่ผ่าน HSA ซึ่งเป็นการขับเคลื่อนของ Voice Coil Motor (VCM) ที่เกิดจากสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำเมื่อได้รับกระแสไฟฟ้าจากชุดควบคุม (Controller) ไปที่จุดต่างๆของ Platters และใช้ Closed-loop Feedback System ที่เรียก Servo System เพื่อควบคุมให้ HSA ไปที่ tracks ที่ต้องการ ดังรูป 1.4



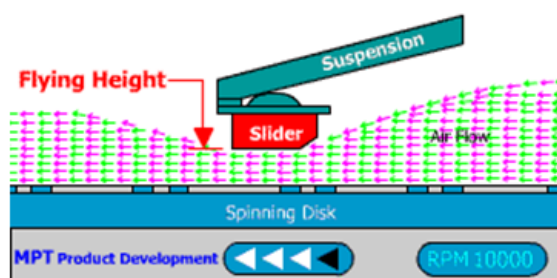
รูปที่ 1.4 ชุด Voice Coil และหลักการทำงาน

โดยธุรกิจหลักของบริษัท คือ การออกแบบ และผลิตแขนจับหัวอ่านเขียน (Suspension) และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับแขนจับหัวอ่านเขียนสำหรับใช้ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (HDDs) โดยแขนจับหัวอ่านเขียนเป็นส่วนหนึ่งของการผลิตกลไกของ Head-Gimbal ซึ่งเป็นตัวรองรับหัวอ่านและเขียนแผ่นดิสก์ นอกจากนี้แขนจับหัวอ่านเขียนยังช่วยรักษาระดับเพดานบิน (Flying Height) ให้คงที่เหนือแผ่นดิสก์ เพื่อให้หัวอ่านสามารถอ่านเขียนข้อมูลในดิสก์ได้อย่างแม่นยำ โดยหัวอ่านของดิสก์ไดรฟ์จะต้องไม่สัมผัสกับพื้นผิวของแผ่นดิสก์ที่หมุนอยู่ แต่จะลอยอยู่เหนือแผ่นดิสก์อย่างแม่นยำ ในระยะห่างที่ไม่สามารถมองได้ด้วยตาเปล่า กล่าวคือ แขนจับหัวอ่านช่วยให้หัวอ่านสามารถลอยเหนือพื้นผิวของดิสก์ที่หมุนอยู่ด้วยความเร็วระหว่าง 5,400 และ 20,000 รอบต่อนาที ในระยะห่างที่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของหนึ่งส่วนล้านนิ้ว (1 Micro-inch คือ 0.000001 ของ 1 นิ้ว และเพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจนขึ้น เส้นผมของมนุษย์เส้นหนึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3,000 Micro-inches) ดังรูปที่ 1.5



*Suspension Flying Height*

### Suspension Status - Take Off



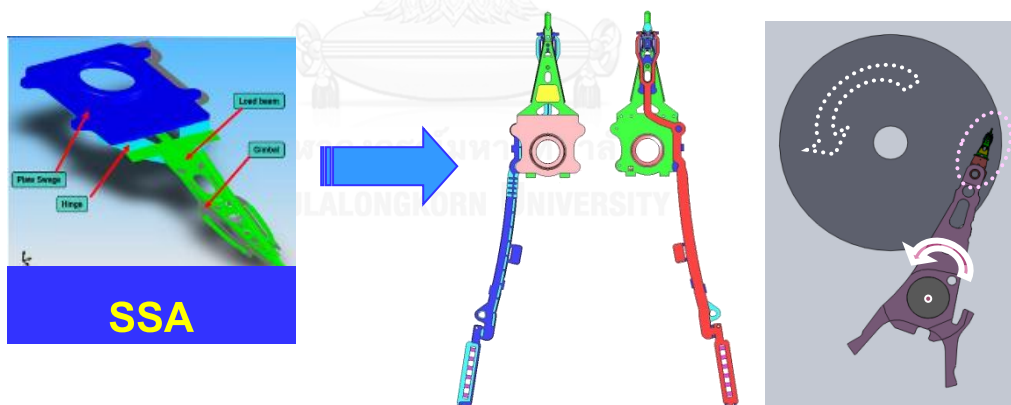
รูปที่ 1.5 ตำแหน่งแขนจับหัวอ่านเขียน (Suspension) และระยะการบินของแขนจับหัวอ่านเขียน (Fly Height)

โดยปกติแขนจับหัวอ่านเขียนจะรวมถึงส่วนประกอบต่างๆ เช่น เม้าท์เพลตหรือเบสเพลต (Mount Plate or Base Plate) คือแผ่นรองรับ โหลดบีมหรือสติฟฟิเนอร์ (Load Beam or Stiffener) คือก้านรับน้ำหนักแนวยาว แดมเปอร์ (Damper) คือตัวลดแรงสั่นสะเทือน เฟล็กเซอร์หรือเทรซจิมบอล (Flexure or Trace Gimbal: TG) คือแผงวงจรถังรูปที่ 1.6 โดยโหลดบีมจะถูกเชื่อมติดกันกับเม้าท์เพลตด้วยเลเซอร์ และส่วนที่ยื่นจากโหลดบีม คือ พื้นของสปริงเพื่อรองรับต่อการบิดตัวในระดับหนึ่ง ชิ้นส่วนโค้งที่ติดอยู่กับโหลดบีมจะรองรับโครงของอุปกรณ์หัวอ่าน เพื่อให้หัวอ่านสามารถยึดติดไปตามส่วนโค้งของผิวดิสก์ที่หมุนอยู่ได้ ซึ่งในระหว่างการทำงานของดิสก์ไดร์ฟ แขนจับหัวอ่านเขียนทั้งชุดได้ถูกออกแบบให้ทำงานร่วมกัน เพื่อรักษาหัวอ่านให้อยู่ในทิศทางที่เหมาะสมกับพื้นผิวของแผ่นดิสก์ที่หมุนอยู่



รูปที่ 1.6 ส่วนประกอบของผลิตภัณ์ท์แขนจับหัวอ่านเขียน

ผลิตภัณ์ท์แขนจับหัวอ่านเขียนมีลักษณะหน้าที่การทำงานสำหรับแบบ Single Stage Actuator: SSA) ซึ่งถูกออกแบบมาให้สามารถปรับตำแหน่งการเคลื่อนที่ของหัวอ่านเขียน จากการเคลื่อนที่ของ HSA ได้เพียงอย่างเดียว โดยตัวแขนจับหัวอ่านเขียนหรือ HGA ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปบนดิสก์ด้วยตัวเองได้ ดังรูปที่ 1.7



รูปที่ 1.7 แขนจับหัวอ่านเขียนแบบ Single Stage Actuator (SSA)



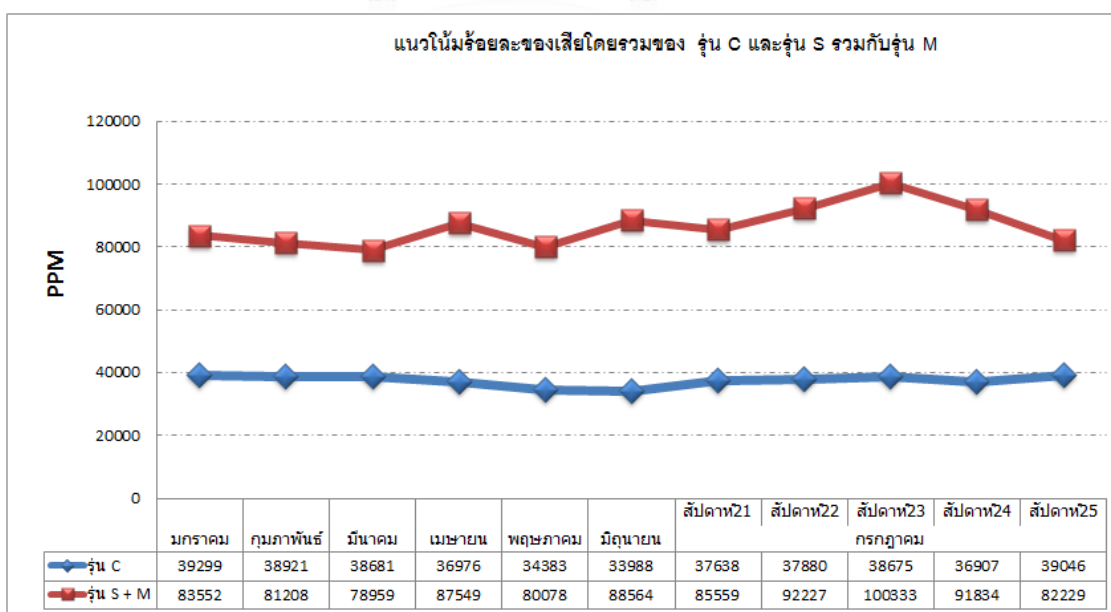
### 1.3 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาปัญหาเชิงคุณภาพ (Qualitative) เพื่อลดของเสียจากข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่านเขียน โดยพิจารณาจากร้อยละของเสียที่ผ่านการตรวจสอบชิ้นงานก่อนส่งมอบให้กับลูกค้า ซึ่งสามารถคำนวณจากจำนวนของเสียเทียบกับจำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ผลิต ดังสูตรคำนวณดังนี้

$$\text{สัดส่วนของเสีย (PPM)} = \frac{\text{จำนวนของเสีย}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมด}} \times 1,000,000$$

ทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาจากร้อยละของเสียโดยรวมของผลิตภัณฑ์แบบ SSA ซึ่งมีทั้งหมด 3 รุ่น คือ รุ่น (Model) S, M และ C โดยที่รุ่น S กับ M เป็นผลิตภัณฑ์ตระกูลเดียวกันจึงรวมข้อมูลร้อยละของเสียโดยรวมไว้ด้วยกัน

จากแผนภูมิเปรียบเทียบร้อยละของเสียโดยรวมระหว่างรุ่น C กับรุ่น S รวมกับรุ่น M ตั้งแต่เดือนมกราคม จนถึงเดือนกรกฎาคม ปี 2556 พบว่าของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่านเขียนของรุ่น S รวมกับรุ่น M มีร้อยละของเสียโดยรวมซึ่งมีแนวโน้มสูงคงที่มากกว่าร้อยละของเสียของรุ่น C ดังรูปที่ 1.8 ดังนั้นทางผู้วิจัยทำการเลือกปรับปรุงเพื่อลดของเสียโดยรวมของรุ่น S รวมกับรุ่น M



รูปที่ 1.8 แผนภูมิเปรียบเทียบร้อยละของเสียโดยรวมของ รุ่น C และรุ่น S รวมกับรุ่น M

ต่อมาจากร้อยละของเสียโดยรวมของรุ่น S รวมกับรุ่น M จะทำการพิจารณาของเสียจากแต่ละประเภทข้อบกพร่อง โดยสามารถจัดกลุ่มของเสียได้ทั้งหมด 2 กลุ่มหลัก ดังนี้

1. กลุ่มของเสียที่ไม่สามารถนำกลับมาทำซ้ำใหม่ (Non Reworkable) จำเป็นต้องทำลายทิ้งได้แก่ ของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้ง (Bend) ของเสียจากข้อบกพร่องประเภทเกิดจากการสัมผัสชิ้นงาน (Handling) และของเสียจากข้อบกพร่องประเภทเกิดจากกระบวนการเชื่อม (Laser Weld)
2. กลุ่มของเสียที่สามารถนำกลับมาทำซ้ำใหม่ได้ (Reworkable) ได้แก่ ของเสียจากข้อบกพร่องประเภทเกิดจากเครื่องมือและแม่พิมพ์ (Tool and Die) ของเสียจากข้อบกพร่องประเภทเกิดจากสิ่งปนเปื้อนบนชิ้นงาน (Contamination) ของเสียจากข้อบกพร่องประเภทเกิดจากตัวลดแรงสั่นสะเทือน (Damper) และของเสียจากข้อบกพร่องประเภทเกิดจากการปรับค่างาน (Gramload, PRSA)

จากกลุ่มของเสีย และประเภทข้อบกพร่องดังกล่าว สามารถจำแนกรายละเอียดข้อมูลได้ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 จำนวนของเสียตามประเภทข้อบกพร่อง จากปริมาณการผลิต 23,440,417 ชิ้น ตั้งแต่ มกราคม – กรกฎาคม 2556

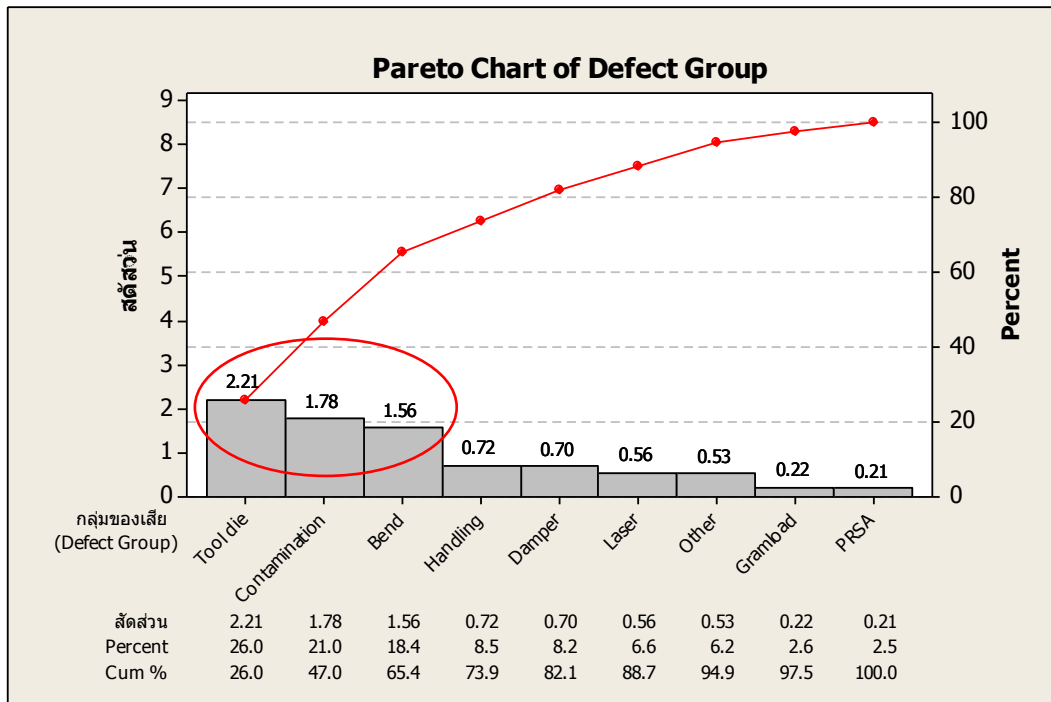
ลำดับที่	ประเภทข้อบกพร่อง	กลุ่มของเสีย	จำนวนของเสีย (ชิ้น)	ร้อยละของเสีย
1	เกิดจากเครื่องมือและแม่พิมพ์	ทำซ้ำใหม่ได้	519,193	2.21
2	เกิดจากสิ่งปนเปื้อนบนชิ้นงาน	ทำซ้ำใหม่ได้	417,796	1.78
3	การโค้ง	ไม่สามารถนำกลับมาทำซ้ำใหม่	366,822	1.56
4	เกิดจากการสัมผัสชิ้นงาน	ไม่สามารถนำกลับมาทำซ้ำใหม่	168,918	0.72

ตารางที่ 1.1 จำนวนของเสียตามประเภทข้อบกพร่อง จากปริมาณการผลิต 23,440,417 ชิ้น ตั้งแต่ มกราคม – กรกฎาคม 2556 (ต่อ)

ลำดับ ที่	ประเภทข้อบกพร่อง	กลุ่มของเสีย	จำนวนของเสีย (ชิ้น)	ร้อยละของเสีย
5	เกิดจากตัวลด แรงสั่นสะเทือน	ทำซ้ำใหม่ได้	163,751	0.70
6	เกิดจากกระบวนการ เชื่อม	ไม่สามารถนำ กลับมาทำซ้ำใหม่	131,217	0.56
7	อื่นๆ	ทำซ้ำใหม่ได้/ ไม่สามารถนำ กลับมาทำซ้ำใหม่	123,752	0.53
8	การปรับค่างาน Gramload	ทำซ้ำใหม่ได้	51,713	0.22
9	การปรับค่างาน PRSA	ทำซ้ำใหม่ได้	49,536	0.21
ปริมาณของเสียรวม			1,992,698	8.49

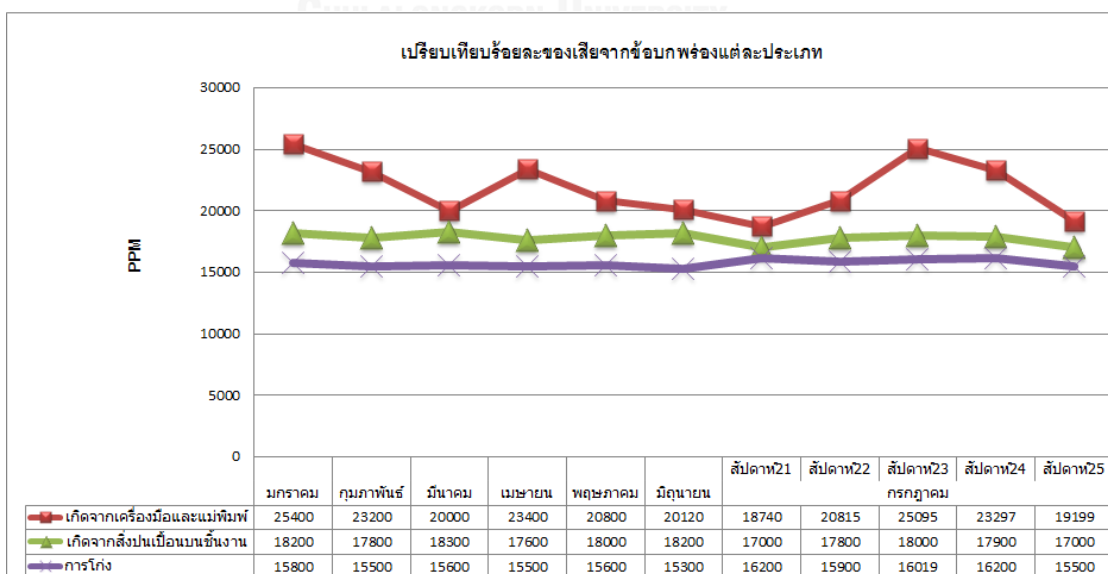
ลำดับถัดมา จากตารางที่ 1.2 นำมาวิเคราะห์เป็นแผนภูมิพาเรโตร้อยละของเสียของประเภทข้อบกพร่อง ดังรูปที่ 1.9 พบว่ามีร้อยละของเสียจากข้อบกพร่อง 3 ประเภทหลัก คือ ร้อยละของเสียจากข้อบกพร่องประเภทเกิดจากเครื่องมือและแม่พิมพ์สูงอันดับที่หนึ่งเท่ากับ 2.21 คิดเป็น 26.0% ของจำนวนของเสียทั้งหมด, รองลงมาคือ ร้อยละของเสียจากข้อบกพร่องประเภทเกิดจากสิ่งปนเปื้อนบนชิ้นงานเท่ากับ 1.78 คิดเป็น 21.0% ของจำนวนของเสียทั้งหมด และร้อยละของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งเท่ากับ 1.56 คิดเป็น 18.4% ของจำนวนของเสียทั้งหมด โดยของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งนี้จะถูกทำลายทิ้ง (Scrap) ทันทีเมื่อตรวจพบเพื่อป้องกันงานถูกส่งไปกระบวนการถัดไป หรือถูกส่งไปยังลูกค้า อีกทั้งไม่สามารถนำกลับมาทำซ้ำใหม่ได้





รูปที่ 1.9 แผนภูมิพาร์โตรี้อยละของเสียของประเภทข้อบกพร่อง

อีกทั้งยังสามารถพิจารณาแผนภูมิเปรียบเทียบแนวโน้มตามเวลาของร้อยละของเสียจากข้อบกพร่องทั้ง 3 ประเภทหลัก จะพบว่าข้อบกพร่องประเภทเกิดจากเครื่องมือและแม่พิมพ์มีแนวโน้มที่แกว่ง ส่วนข้อบกพร่องประเภทสิ่งปนเปื้อนบนชิ้นงาน และข้อบกพร่องประเภทการโค้ง มีแนวโน้มคงที่ ดังรูปที่ 1.10



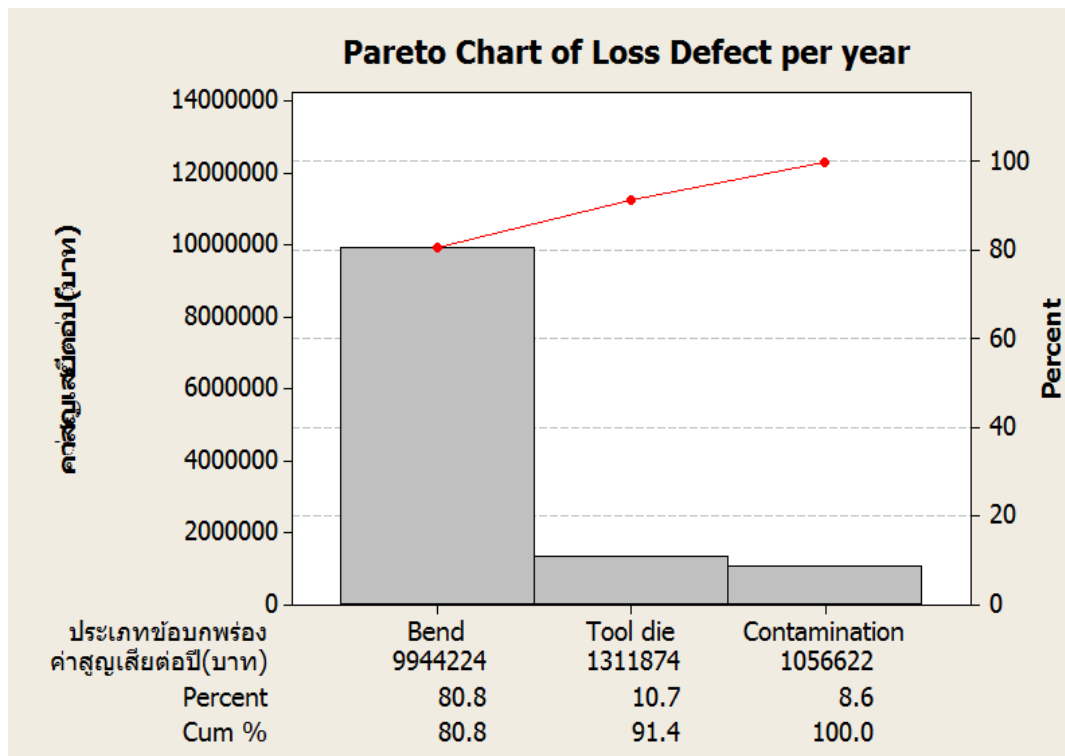
รูปที่ 1.10 แผนภูมิเปรียบเทียบร้อยละของเสียจากข้อบกพร่อง 3 ประเภทหลัก

หลังจากนั้นทำการประเมินมูลค่าความสูญเสีย โดยนำข้อมูลจากจำนวนสัปดาห์ที่ผู้วิจัยศึกษา ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงกรกฎาคม 2556 คิดเป็น 29 สัปดาห์ ซึ่งมีปริมาณการผลิต 23,440,417 ชิ้น เพื่อนำไปคำนวณปริมาณการผลิตต่อปี จะได้ประมาณ 38,797,931 ชิ้นต่อปี จากนั้นนำไปคำนวณหาจำนวนของเสียต่อปีเทียบกับร้อยละของเสียแต่ละประเภทข้อบกพร่อง พบว่าจำนวนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทเกิดจากเครื่องมือและแม่พิมพ์เท่ากับ 857,434 ชิ้นต่อปี จำนวนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทเกิดจากสิ่งปนเปื้อนบนชิ้นงานเท่ากับ 690,603 ชิ้นต่อปี และจำนวนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งเท่ากับ 605,248 ชิ้นต่อปี ต่อมานำจำนวนของเสียของข้อบกพร่องแต่ละประเภทคูณกับมูลค่าความสูญเสีย โดยที่มูลค่าความสูญเสียของชิ้นงานกลุ่มทำซ้ำใหม่มีค่าเท่ากับ 1.53 บาทต่อชิ้น และมูลค่าความสูญเสียกลุ่มไม่สามารถทำซ้ำใหม่มีค่าเท่ากับ 16.43 บาทต่อชิ้น ดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 การประเมินมูลค่าความสูญเสียของข้อบกพร่องแต่ละประเภท

ประเภทข้อบกพร่อง	ร้อยละของเสีย	จำนวนของเสีย (ชิ้นต่อปี)	มูลค่าความสูญเสีย (บาทต่อชิ้น)	มูลค่าความสูญเสียรวม (บาทต่อปี)
เกิดจากเครื่องมือและแม่พิมพ์	2.21	857,434	1.53	1,311,874
เกิดจากสิ่งปนเปื้อนบนชิ้นงาน	1.78	690,603	1.53	1,056,622
การโค้ง	1.56	605,248	16.43	9,944,224

สามารถพิจารณามูลค่าความสูญเสียของแต่ละประเภทจากรูปที่ 1.11 แผนภูมิพาเรโตมูลค่าความสูญเสียต่อปี พบว่าของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งมีมูลค่าความสูญเสียโดยรวมอยู่ที่ 9,944,224 บาทต่อปี มากกว่ามูลค่าความสูญเสียของเสียจากข้อบกพร่องประเภทเกิดจากเครื่องมือและแม่พิมพ์มีค่าเท่ากับ 1,311,874 บาทต่อปี และของเสียจากข้อบกพร่องประเภทเกิดจากสิ่งปนเปื้อนบนชิ้นงานเท่ากับ 1,056,622 บาทต่อปี ตามลำดับ อีกทั้งข้อบกพร่องประเภทการโค้งไม่สามารถนำกลับมาทำซ้ำใหม่ได้จะต้องทำลายทิ้งซึ่งมูลค่าการทำลายทิ้งสูงกว่าการนำกลับมาทำซ้ำใหม่



รูปที่ 1.11 แผนภูมิพาร์โตมูลค่าความสูญเสียต่อปี

ดังนั้นผู้วิจัยทำการเลือกของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้ง ซึ่งเป็นกลุ่มที่เมื่อเกิดของเสียแล้วจะต้องทำลายทิ้งมาทำการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อศึกษาหาสาเหตุของปัญหาที่ทำให้เกิดของเสีย และกำหนดแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ และจัดทำแผนการควบคุมเพื่อลดของเสียให้น้อยลง

จากข้อมูลทั้งหมดทางผู้วิจัยสรุปได้ว่าของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งจะส่งผลให้บริษัทแบกรับภาระต้นทุนที่เพิ่มขึ้นทั้งจากต้นทุนของชิ้นงานที่ต้องทำลายทิ้ง ต้นทุนแรงงาน และมีโอกาสที่ของเสียถูกส่งไปยังลูกค้า หากไม่ได้รับการปรับปรุงแก้ไขเพื่อลดจำนวนของเสียอย่างถาวร ดังนั้นจึงสมควรที่จะนำปัญหาดังกล่าวมาทำการปรับปรุงแก้ไขต่อไป

#### 1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อลดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งงอของแขนจับหัวอ่านเขียนจากกระบวนการผลิต

#### 1.5 ขอบเขตการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาวิจัยเฉพาะผลิตภัณฑ์แขนจับหัวอ่านเขียนแบบ SSA รุ่น S และ M เท่านั้น

#### 1.6 ผลที่ได้รับ

ผลที่ได้รับจากการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ มีดังต่อไปนี้

1. ปัจจัยหลักหรือกระบวนการหลักที่ส่งผลต่อของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งงอของผลิตภัณฑ์แขนจับหัวอ่านเขียนแบบ SSA
2. วิธีการปรับปรุงเพื่อลดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งงอของผลิตภัณฑ์แขนจับหัวอ่านเขียนแบบ SSA

#### 1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ

ประโยชน์ที่ได้รับจากการดำเนินงานวิจัย มีดังนี้

1. ลดต้นทุนความสูญเสียจากการทิ้งชิ้นงาน
2. สามารถนำวิธีการปรับปรุงจากการวิจัยนี้มาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการของผลิตภัณฑ์แขนจับหัวอ่านเขียนแบบ SSA รุ่นอื่นๆ ต่อไป

#### 1.8 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้เพื่อลดข้อบกพร่องประเภทการโค้งงอของผลิตภัณฑ์แขนจับหัวอ่านเขียนแบบ SSA เนื่องจากแนวทางของซิกซ์ ซิกมา เป็นระบบการดำเนินการที่มีเป้าหมายที่ชัดเจน มีโครงสร้างและขั้นตอนในการปฏิบัติที่มีการกำหนดรูปแบบที่ชัดเจน ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 5 ขั้นตอน ได้แก่ ระยะเวลาการนิยามปัญหา (Define Phase) ระยะเวลาวัดสภาพของปัญหา (Measure Phase) ระยะเวลาวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analyze Phase) ระยะเวลาปรับปรุง (Improve Phase) และระยะการติดตามควบคุมเพื่อรักษาสภาพภายหลังการปรับปรุง (Control Phase) โดยมีรายละเอียดการดำเนินการในแต่ละขั้นตอน ดังนี้

- 1) ศึกษาทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยทำการรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยและหนังสือต่างๆ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้
- 2) ระยะเวลาการนิยามปัญหา (Define Phase)
  - ก. ศึกษากระบวนการผลิต กระบวนการตรวจสอบชิ้นงาน และกระบวนการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องของแขนจับหัวอ่านเขียนแบบ SSA
  - ข. จัดตั้งคณะทำงานเพื่อเข้าร่วมในการช่วยกันระดมสมอง วิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อข้อบกพร่องประเภทการ โดยคัดเลือกจากผู้ที่มีความรู้และความชำนาญในแต่ละส่วนงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต SSA รุ่น S และ M
  - ค. กำหนดวัตถุประสงค์ และขอบเขตของโครงการ
- 3) ระยะเวลาการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)
  - ก. วิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA) โดยการวิเคราะห์ระบบการวัดด้วยข้อมูลนับ (Attribute Agreement Analysis)
  - ข. เก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องและศึกษาถึงปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อข้อบกพร่องประเภทการโค้ง
  - ค. ระดมสมองกับคณะทำงานเพื่อหา และกรองปัจจัยนำเข้า ที่ได้หามาข้างต้น กรองปัจจัยนำเข้าที่จะนำไปทดสอบความมีนัยสำคัญ โดยใช้เกณฑ์การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis: FMEA)
- 4) ระยะเวลาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)
 

นำปัจจัยนำเข้าที่ผ่านการกรองมา พิสูจน์ว่าปัจจัยนำเข้าใดมีนัยสำคัญต่อร้อยละของเสียที่มีข้อบกพร่องประเภทการโค้ง
- 5) ระยะเวลาปรับปรุงกระบวนการ (Improve Phase)
  - ก. นำปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญ ในขั้นตอนก่อนหน้า มากำหนดวิธีการปรับปรุง
  - ข. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
  - ค. นำวิธีการปรับปรุงไปทดลองใช้
- 6) ระยะเวลาติดตามควบคุม (Control Phase)
  - ก. ทำการทดสอบยืนยันผลการแก้ไขของปัจจัยที่ได้จากการออกแบบการทดลอง และทำการตรวจสอบผลด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง
  - ข. จัดทำและแก้ไขแผนควบคุม (Control Plan) และวิธีการตรวจเช็คการปฏิบัติงาน โดยพิจารณาถึงลักษณะและข้อจำกัดของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่จะทำการควบคุมด้วย

- ค. กำหนดวิธีการทำงาน รายละเอียดต่างๆ ที่ได้จากงานวิจัยในแผนควบคุมและมาตรฐานการปฏิบัติงาน (Working Instruction: WI) ที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการต่อไป
- ง. สรุปผลการปรับปรุงที่ได้ โดยพิจารณาเปรียบเทียบผลการปรับปรุงจากร้อยละที่สามารถลดลงได้ รวมทั้งเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการดำเนินการหลังการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

7) สรุปผลการวิจัยและระบุข้อจำกัดและข้อเสนอแนะของงานวิจัย

จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

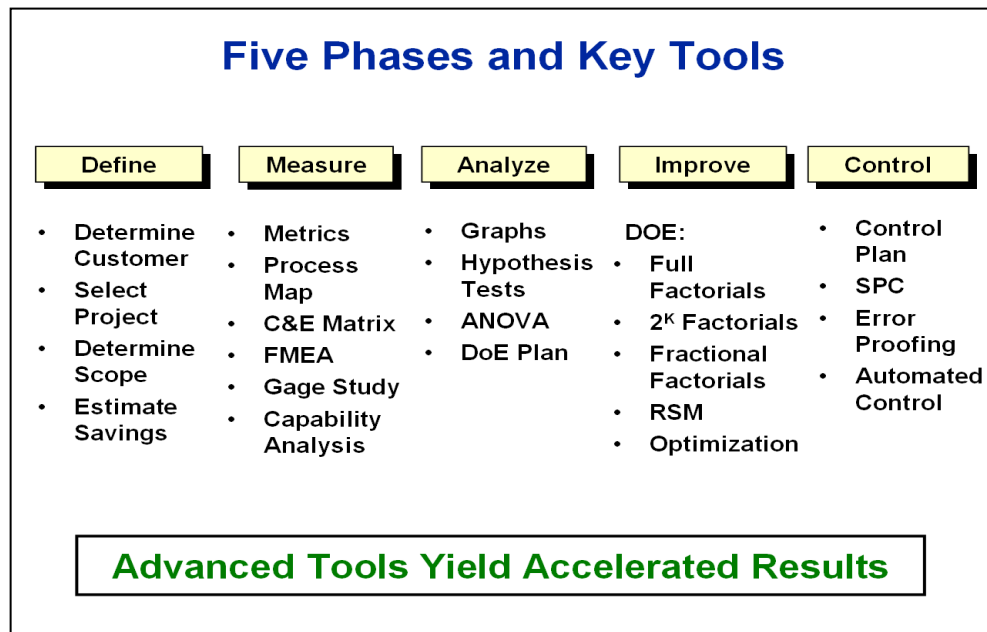
#### 2.1 การปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา

(Pande P. S., Neuman R. P. et al. 2000) ได้อธิบายไว้ว่าซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma) ถือเป็นระบบที่ครอบคลุมและมีความยืดหยุ่นเพื่อสนับสนุนให้เกิดความสำเร็จทางธุรกิจอย่างสูงสุด เป็นวิธีการผลักดันรวมกันโดยอาศัยความเข้าใจอย่างแท้จริงเกี่ยวกับความต้องการของลูกค้า, การใช้ข้อเท็จจริงอย่างมีวินัย, การอาศัยข้อมูลและการวิเคราะห์ทางสถิติ, การเอาใจใส่ในการจัดการและการพัฒนา รวมทั้งการสร้างสรรคกระบวนการทางธุรกิจใหม่ๆ ซึ่งประเภทของความสำเร็จทางธุรกิจในเชิงของซิกซ์ ซิกมา นั้นจะมีอยู่อย่างหลากหลาย ดังต่อไปนี้

- (1) การลดต้นทุน
- (2) การปรับปรุงประสิทธิภาพในการผลิต
- (3) การขยายส่วนแบ่งทางการตลาด
- (4) การรักษาความเชื่อมั่นของลูกค้า
- (5) การลดระยะเวลาในการผลิต
- (6) การลดของเสียในการผลิต
- (7) การพัฒนาผลิตภัณฑ์และบริการ

##### 2.1.1 ขั้นตอนของซิกซ์ ซิกมา

(Mosaica 2007) ได้ลำดับขั้นตอนของซิกซ์ ซิกมา รวมทั้งเครื่องมือที่สำคัญของขั้นตอนต่างๆ ไว้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2. 1 ขั้นตอนของซิกซ์ ซิกม่า Mosaica (2007)

โดยภาพรวมแล้วซิกซ์ ซิกม่า จะประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอนที่มีรายละเอียดที่สำคัญดังนี้

#### 1. ขั้นตอนการกำหนดปัญหา (Define Phase)

เป้าหมายหลักของขั้นตอนนี้ก็เพื่อที่จะระบุปัญหาที่พบและต้องการแก้ไขปรับปรุง, ขอบเขตของแผนงาน, ตรวจวัดระดับของปัญหาในปัจจุบัน, กำหนดเป้าหมายของแผนงาน และวิเคราะห์ต้นทุนที่เกิดขึ้นจากปัญหาและกำไรที่เกิดขึ้นจากการลดปัญหา ฯลฯ ซึ่งมีเครื่องมือที่สำคัญของขั้นตอนนี้

- ก. การระบุลูกค้า (Determine Customer)
- ข. การเลือกแผนงาน (Select Project)
- ค. การกำหนดขอบเขต (Determine Scope)
- ง. การประมาณการประหยัด (Estimate Saving)

#### 2. ขั้นตอนการวัดและหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

เป้าหมายหลักของขั้นตอนนี้ก็เพื่อที่จะศึกษากระบวนการในปัจจุบัน, ระบุสาเหตุของปัญหาที่เป็นไปได้, ศึกษาความสามารถของกระบวนการในปัจจุบัน และวิเคราะห์การอยู่ในการควบคุมของกระบวนการ ฯลฯ ซึ่งมีเครื่องมือที่สำคัญของขั้นตอนนี้



- ก. การระบุเครื่องมือชี้วัด (Metrics)
- ข. การสร้างแผนผังขั้นตอนการทำงาน (Process Map)
- ค. การสร้างแผนผังเหตุและผล (C&E Matrix)
- ง. การวิเคราะห์ปัญหาและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis)
- จ. การศึกษาระบบการวัด (Gage Study)
- ฉ. การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Capability Analysis)

### 3. ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)

เป้าหมายหลักของขั้นตอนนี้ก็เพื่อที่จะ วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่แท้จริงจากสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมด รวมทั้งการระบุความรุนแรงของแต่ละสาเหตุและช่วงของความเชื่อมั่น ฯลฯ ซึ่งมีเครื่องมือที่สำคัญของขั้นตอนนี้

- ก. การใช้แผนภูมิรูปภาพ (Graphs)
- ข. การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Tests)
- ค. การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)
- ง. การวางแผนการออกแบบการทดลอง (DOE Plan)

### 4. ขั้นตอนการปรับปรุงผล (Improve Phase)

เป้าหมายหลักของขั้นตอนนี้ก็เพื่อที่จะกำหนดความสัมพันธ์เชิงปริมาณระหว่างสาเหตุกับปัญหา (ผล) รวมทั้งการทำและยืนยันผลการปรับปรุงจากการปรับค่าของตัวแปรต้น (สาเหตุ) เพื่อให้ได้ค่าที่ต้องการของตัวแปรตาม (ผล) ฯลฯ ซึ่งมีเครื่องมือที่สำคัญของขั้นตอนนี้ก็คือการออกแบบการทดลอง ดังนี้

- ก. ฟูลแฟคทอเรียล (Full Factorial)
- ข. ทูเคแฟคทอเรียล ( $2^k$  Factorial)
- ค. แฟรคชันนอลแฟคทอเรียล (Fractional Factorial)
- ง. แบบจำลองพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Model)
- จ. การปรับปรุงให้ได้ผลที่ดีที่สุด (Optimization)

## 5. ขั้นตอนการควบคุม (Control Phase)

เป้าหมายหลักของขั้นตอนนี้ก็เพื่อที่จะวางรากฐานของการปรับปรุงและทำการควบคุมอย่างต่อเนื่อง, รักษาผลของการปรับปรุงที่ได้ รวมทั้งการยืนยันว่าผลประโยชน์ที่ได้จะเกิดขึ้นจริงในระยะยาว ฯลฯ ซึ่งมีเครื่องมือที่สำคัญของขั้นตอนนี้ก็คือการออกแบบการทดลองดังนี้

- ก. แผนการควบคุม (Control Plan)
- ข. การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (Statistical Process Control)
- ค. วิธีการป้องกันความผิดพลาด (Error Proofing)
- ง. แบบจำลองพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Model)
- จ. การควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ (Automated Control)

### 2.1.2 เครื่องมือที่สำคัญของซิกซ์ ซิกมาในการวัด วิเคราะห์ และควบคุมสาเหตุของปัญหา

#### 1. แผนผังเหตุและผล (C&E Matrix)

เป็นเครื่องมือหนึ่งที่สามารถช่วยในการจัดลำดับความสำคัญของตัวแปรหลักในกระบวนการผลิต (Key Process Input Variables) ซึ่งการจัดลำดับความสำคัญโดยกลุ่มคนนั้นจะช่วยให้การเลือกว่าสิ่งใดควรที่จะถูกตรวจสอบเพื่อระบุว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างเหตุ (Cause) และผล (Effect) เกิดขึ้น รวมทั้งการตัดสินใจว่าการควบคุมตัวแปรหลักต่างๆ มีความจำเป็น ซึ่งผลที่ได้จากการทำแผนผังเหตุและผลนี้นั้นสามารถนำไปสู่การวิเคราะห์ต่อเรื่องอื่นเช่น การวิเคราะห์ปัญหาและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis), แผนภาพการวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่างๆ (Multi-vari Charts), การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Correlation Analysis) และการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) (Breyfogle F. W. 2001) ลำดับขั้นตอนการสร้างตารางเหตุและผลไว้ดังต่อไปนี้

- ก. ระบุความต้องการหลักของลูกค้า หรือผลลัพธ์ (Outputs) จากแผนผังการทำงาน
- ข. จัดลำดับและใช้คะแนน 1 ถึง 10 ของผลลัพธ์แต่ละตัว
- ค. ระบุขั้นตอนความสัมพันธ์ของกระบวนการทั้งหมดและใช้ข้อมูลจากแผนผังการทำงาน
- ง. ประเมินความสัมพันธ์ของข้อมูลป้อนเข้าแต่ละตัว (Input) ไปสิ่งที่ลูกค้าต้องการ (Customer Need)
  - (1) คะแนนต่ำ เมื่อเปลี่ยนตัวแปรป้อนเข้า (Input Variable) เช่น ปริมาณ, คุณภาพ แล้วผลกระทบต่อผลลัพธ์น้อย
  - (2) คะแนนปานกลาง เมื่อเปลี่ยนตัวแปรป้อนเข้า (Input Variable)

แล้วผลกระทบต่อผลลัพธ์มีปานกลาง

(3) คะแนนสูง เมื่อเปลี่ยนตัวแปรป้อนเข้า (Input Variable) แล้ว  
ผลกระทบต่อผลลัพธ์มีมาก

จ. ทำการคูณตัวแปรป้อนเข้าแต่ละตัวกับคะแนนของผลลัพธ์ทีละคู่และนำมาบวกกันจะได้คะแนนรวมของแต่ละตัวแปรป้อนเข้า ซึ่งหลังจากเสร็จสิ้นการทำทุกขั้นตอนแล้วก็จะได้แผนผังเหตุและผลดังตัวอย่างตารางที่ 2.1 โดยตัวที่ได้คะแนนมากก็จะถูกนำเข้าสู่การวิเคราะห์ปัญหาและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis) ในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 2. 1 ตัวอย่างแผนผังเหตุและผล (C&E Matrix)

Cause and Effect Matrix																
		Rating of Importance to Customer														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		Requirement	Requirement	Requirement	Requirement	Requirement	Requirement	Requirement	Requirement	Requirement	Requirement	Requirement	Requirement	Requirement	Requirement	Requirement
Process Step	Process Input															Total
1																0
2																0
3																0
4																0
5																0
6																0
7																0
8																0
9																0
10																0
11																0
12																0
13																0
14																0
15																0
16																0
17																0
18																0
19																0
20																0
Total		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lower Spec																
Target																
Upper Spec																

ที่มา : บริษัท กรณีสึกษา 2005 (สัมพันธ์ วุฒิอิธิรสกล 2551)

2. การวิเคราะห์ปัญหาและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis)

เป็นเทคนิคหนึ่งที่ทำให้วิธีการในการอำนวยความสะดวกกับการปรับปรุง

กระบวนการผลิต ซึ่งการใช้วิธีการวิเคราะห์ปัญหาและผลกระทบนี้ทำให้องค์กรสามารถที่จะระบุและจำกัดปัจจัยที่อาจจะเกี่ยวข้องต่างๆได้ตั้งแต่ช่วงเริ่มแรกในการพัฒนากระบวนการผลิตหรือการออกแบบดังนี้ (Breyfogle F. W. 2001)

ก. เป็นเอกสารที่ถูกตรวจสอบและแก้ไขเป็นประจำตามระยะเวลาที่เหมาะสม

ข. เป็นเอกสารที่ถูกตรวจสอบและแก้ไขเป็นประจำตามระยะเวลาที่เหมาะสม

(1) ลดข้อบกพร่องที่เป็นไปได้ (Potential Failure Mode) ใน ขั้นตอนการออกแบบโดยการลดและจำกัดสาเหตุต่างๆของปัญหา

(2) ลดความรุนแรงของข้อบกพร่อง (Seriousness of Failure Mode) ในกรณีที่ไม่สามารถกำจัดสาเหตุของปัญหาได้

(3) ลดโอกาสในการเกิดข้อบกพร่อง (Occurrence of Failure Mode)

ลำดับหลักการในการวิเคราะห์ปัญหาและผลกระทบไว้ดังต่อไปนี้

ก. ระบุข้อบกพร่องที่อาจจะเป็นไปได้ (Potential Failure Mode) และอัตราความรุนแรง (Severity) ของผลกระทบเหล่านั้น (Potential Effect of Failure)

ข. ประเมินความถี่ของสาเหตุที่เกิดขึ้น (Occurrence) และความสามารถที่จะตรวจจับได้ (Detection) เมื่อสาเหตุนั้น (Potential Cause of Failure) เกิดขึ้น

ค. จัดเรียงลำดับคะแนน

ง. มุ่งเน้นการกำจัดผลิตภัณฑ์และกระบวนการที่เป็นภาระ และช่วยป้องกันปัญหาไม่ให้เกิดขึ้นซ้ำอีก

ซึ่งหลังจากเสร็จสิ้นการทำทุกขั้นตอนแล้วก็จะได้แผนผังการวิเคราะห์ปัญหาและผลกระทบ ดังตัวอย่างตารางที่ 2.2 โดยตัวที่ได้คะแนนมากก็จะถูกนำเข้าสู่การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) ในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างแผนผังการวิเคราะห์ปัญหาและผลกระทบ

(Failure Mode and Effect Analysis)

Process Step	Key Process Input	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	S E V	Potential Causes	O C C	Current Controls	D E T	R P N
Lwr. brg. To holder	DP-460	Incompletely cured	Both TIR and NRR to be over	9	Insufficient curing time and/or	2	Bond strength audit and visual	4	72
Shaft to lower brg.	DP-460	Insufficient or excessive amount.	Both TIR and NRR to be over	9	Deviation in setup of dispenser.	2	Calibrate every 20 minutes.	1	18
Shaft to lower brg.	DP-460	Incompletely cured	Both TIR and NRR to be over	9	Insufficient curing time and/or	2	Bond strength audit and visual	4	72
Shaft to lower brg.	Fixture	Misalignment	Both TIR and NRR to be over	7	Inadequate design and setup.	5	Visual inspection.	2	70
Set preload	Curing Frame	Varying compression force	NRR to be over spec.	6	Mechanism worn-out, Spring failure	4	Weekly PM, per PM002	7	168
Set preload	LJUL Fixture	Low over-gram force	NRR to be over spec.	5	Air pressure dropped	3	Monthly PM, per PM0012	9	135
Hot run-in	Run-in duration	Less than spec.	NRR to be over spec.	7	Run-in rack failure	2	Self check by software	1	14
Hot run-in	Temperature	Out of spec.	NRR to be over spec.	3	Oven failure	1	Calibration. Per STC# 21201	5	15

ที่มา: บริษัทกรณีศึกษา (2005)

### 3. การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

ในสถานการณ์ของการผลิตบ่อยครั้งเราต้องการที่จะตัดสินใจว่าตัวแปรต่างๆของผลลัพธ์ที่เราสนใจจำเป็นต้องมีค่าที่ถูกตั้งไว้อย่างเฉพาะเจาะจงหรือมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันหรือไม่ นั่นเป็นสิ่งที่ทำให้เราอาจจะต้องการทดสอบสมมติฐานว่าค่าเฉลี่ยหรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลลัพธ์นั้นมีค่าคงที่หรือค่าความแตกต่างของผลลัพธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งกระบวนการทดสอบสมมติฐานมีความเหมาะสมที่จะใช้ในการวิเคราะห์สถานการณ์เหล่านี้ (Breyfogle F. W. 2001)

ซึ่งทางด้าน (Mosaica 2007) ได้ลำดับขั้นตอนการทดสอบสมมติฐานไว้ดังต่อไปนี้

ก. ทำการตั้งสมมติฐานให้ตัวแปรต่างๆในแต่ละระดับ

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_k$$

(ค่าเฉลี่ยของตัวแปรนั้นๆไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละระดับ)

$H_1$ : มีอย่างน้อย 1 คู่ของค่าเฉลี่ยของตัวแปรนั้นๆ มีความแตกต่าง

ข. กำหนดค่าระดับนัยสำคัญ ( $\alpha$ ) และค่ากำลังในการตรวจสอบ ( $1-\beta$ ) ซึ่งโดยปกติจะกำหนดไว้ที่ 0.05 และ 0.8-0.95 ตามลำดับ

ค. กำหนดค่าความแตกต่างที่จะตรวจสอบ ( $\delta$ ) ซึ่งเป็นค่าที่ถือว่าเริ่มเกิดความแตกต่างขึ้นทางวิศวกรรม

- ง. ประเมินค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ
- จ. คำนวณค่าขนาดของกลุ่มตัวอย่าง
- ฉ. กำหนดแผนการเก็บรวบรวมข้อมูล
- ช. ทำการวิเคราะห์สมมติฐาน
- ซ. ทำการแปรผลการวิเคราะห์ที่ได้และสรุปผล โดยดูที่ค่าพีแวลู (P-Value) ถ้ามีค่าน้อยกว่า 0.05 ก็จะถือได้ว่าตัวแปรการผลิตนี้มีผลกับค่าผลลัพธ์

## 2.2 การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Design of Experiment: DOE)

จากเอกสารประกอบการสอนหลักการพื้นฐานของการออกแบบการทดลอง ประโยชน์ และการนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน (สันติชัย ชิวสุทธิศิลป์ 2547) มีใจความและสาระสำคัญดังนี้

### 1. การออกแบบและวางแผนการทดลอง (Experiment Design)

- ก. กลยุทธ์ในการออกแบบ การวางแผน และทำการทดลอง อย่างเป็นระบบแบบแผน และมีประสิทธิภาพ เพื่อศึกษาผลของปัจจัย
- ข. มีจุดประสงค์เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่มีความเที่ยงตรง แม่นยำ
- ค. สามารถนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ และใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และประสิทธิผล นอกจากนี้ยังสามารถประมาณค่าผลกระทบของปัจจัย โดยใช้ทรัพยากรในการทดลองที่มีอย่างจำกัดได้อย่างคุ้มค่า

### 2. หลักการพื้นฐานของการออกแบบการทดลอง

หลักการพื้นฐานที่สำคัญ 3 ประการที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลอง และเป็นหลักการเพื่อช่วยให้ผลการทดลองมีความถูกต้อง เที่ยงตรงและแม่นยำมากขึ้น

#### ก. การทดลองซ้ำ (Replication)

(1) คือการทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขการทดลองเดียวกันมากกว่า 1 ครั้งเพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับการทดลองมากขึ้น และยังทำการทดลองซ้ำจำนวนครั้งมากเท่าใด ก็จะได้ข้อมูลจากการทดลองเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น

(2) เพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องของผลการทดลองและเพิ่มความเที่ยงตรงแม่นยำของข้อมูลมากยิ่งขึ้น ซึ่งส่งผลให้การวิเคราะห์และผลสรุปจากการทดลองมีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น แต่มีข้อเสียคือจะสิ้นเปลืองทรัพยากรสำหรับการทดลองเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนครั้งที่ทำการทดลองซ้ำ

(3) ประโยชน์ คือ ช่วยให้ผู้ทดลองสามารถประมาณค่าความผิดพลาด (Errors, Random Noises) ในการทดลองได้

(4) ค่าประมาณความผิดพลาดเป็นหน่วยพื้นฐานใช้สำหรับเปรียบเทียบกับผลของปัจจัยที่สนใจศึกษา เพื่อวิเคราะห์ว่าปัจจัยที่สนใจศึกษามีผลต่อการทดลองอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ หรือผลลัพธ์ในการทดลองที่เปลี่ยนแปลงเกิดจากความผิดพลาดในการทดลอง (จากความแปรปรวนในระบบ หรือผลจากปัจจัยภายนอก)

ข. หลักการสุ่ม (Randomization)

(1) คือการจัดลำดับในการทดลองให้เป็นแบบสุ่ม เช่น ลำดับการวัด ลำดับการเลือกวัสดุหรืออุปกรณ์ ลำดับการทำการทดลอง

(2) วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติมักกำหนดว่าข้อมูล (หรือความผิดพลาด) จะต้องเป็นตัวแปรสุ่ม การใช้หลักการสุ่มจะสอดคล้องกับสมมติฐานนี้ นอกจากนี้การสุ่มยังช่วยลดความผิดพลาดในการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยการสุ่มจะช่วยกระจายความผิดพลาดในการทดลองที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ไปสู่ทุกๆ การทดลองด้วยโอกาสและขนาดเท่าๆกัน (สมดุลความผิดพลาด) เพื่อให้ความผิดพลาดในการวิเคราะห์ผลเกิดขึ้นน้อยที่สุด

ค. การบล็อกหรือการควบคุม (Blocking หรือ Control)

(1) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรง แม่นยำ (Precision) ในการทดลอง โดยป้องกันการรบกวนจากปัจจัยภายนอก (Noises, Nuisance Factors) และลดความผิดพลาดในการทดลอง

(2) บล็อกเดียวกันหมายถึง การควบคุมสภาพในการทดลองให้มีสภาพใกล้เคียงกันมากที่สุด เช่น วัสดุที่ใช้ทดลองควรมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน วิธีการทดลองวิธีเดียวกัน ช่วงเวลาทดลองใกล้เคียงกัน โดยเปลี่ยนแปลงเฉพาะเงื่อนไขของปัจจัยที่สนใจศึกษาเท่านั้น

### 3. ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

ก. เข้าใจและศึกษาปัญหาที่จะทำการทดลองอย่างละเอียด โดยศึกษาค้นคว้าจากตำรา งานวิจัย ผู้รู้ ผู้เกี่ยวข้องในงานนั้น ศึกษาจากการดูงาน บางครั้งต้องหาข้อมูลจากบุคคล หรือหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

ข. เขียนเป้าหมาย วัตถุประสงค์ และเหตุผลของการทดลองที่ศึกษาอย่างชัดเจน โดยอย่าตั้งขอบเขตของการทดลองกว้างเกินไป เช่น “ปรับปรุงคุณภาพวิธีการผลิต” ควรเขียนให้ชัดเจนว่าจะศึกษาวิธีการผลิตที่ขั้นตอนใด ผลิตอะไร ดัชนีชี้วัดคืออะไร

ค. เลือกผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่มีความสัมพันธ์กับเป้าหมาย วัตถุประสงค์ และเหตุผลของการทดลองที่ศึกษาที่ตั้งไว้ที่สุด (ในการทดลองหนึ่ง อาจวัดผลการทดลองมากกว่า 1 อย่างก็ได้ เช่น เปอร์เซ็นต์ของเสีย ขนาดของความแปรผัน ค่าเฉลี่ยดัชนีชี้วัด ฯลฯ แต่โดยปกติจะเลือกศึกษาเพียง 1 ผลลัพธ์จากการทดลอง

ง. กำหนดวิธีการทดลอง วิธีวัดผลการทดลองให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน และฝึกอบรมผู้ปฏิบัติการ

จ. ประชุม ปรีกษา ระดมความคิด เพื่อรวบรวมความคิดเห็น ข้อเสนอแนะต่างๆ ในการทดลอง

ฉ. เลือกเฉพาะปัจจัยที่สำคัญ หรือปัจจัยที่สนใจศึกษาในจำนวนที่เหมาะสม ส่วนปัจจัยอื่นๆที่เหลือ ต้องควบคุมให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม (คงที่) ตลอดการทดลอง

ช. เลือกระดับของแต่ละปัจจัย จำนวนที่ง่ายที่สุดคือ 2 ระดับ โดยขั้นแรกต้องเลือกช่วงของปัจจัยแต่ละตัว โดยช่วงของปัจจัยไม่ควรจะแคบเกินไป (เพราะอาจจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์เนื่องจากเปลี่ยนระดับของปัจจัย) หรือกว้างเกินไป

ฌ. จัดความผันแปรภายนอกจากแหล่งที่ไม่รู้ โดยวิธีการสุ่มและจากแหล่งที่รู้ โดยใช้หลักการควบคุม

ญ. หลังจากทำการทดลองจนครบ และเราได้วิเคราะห์ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ผู้ทดลองจะต้องหาข้อสรุป แนวทางปฏิบัติ และข้อแนะนำที่ได้จากผลการทดลอง และควรทำการทดลองซ้ำภายใต้เงื่อนไขที่ดีที่สุดเพื่อตรวจสอบผลการทดลอง

#### 4. การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial design)

เป็นการทดลองที่สามารถศึกษาผลของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น (Montgomery D. C. 2001) ประโยชน์คือทำให้สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดจากปัจจัยที่ส่งผลกระทบทำให้เกิดข้อสรุปที่ผิดพลาดและช่วยให้ได้ข้อสรุปที่สมเหตุสมผลในตลอดช่วงการทดลอง สำหรับการทดลองจะเลือกใช้การออกแบบทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^k$  เป็นการออกแบบการทดลองที่ใช้ปัจจัยที่เกี่ยวข้องจำนวน  $k$  ปัจจัย และแต่ละปัจจัยประกอบด้วยสองระดับ แทนด้วยระดับสูงและระดับต่ำโดยในการออกแบบจะแทนระดับสูงด้วยเครื่องหมาย “+” และแทนระดับต่ำด้วยเครื่องหมาย “-” ดังตารางที่ 2.3



ตารางที่ 2.3 การกำหนดเงื่อนไขในแต่ละปัจจัยการทดลองแบบแฟคทอเรียล  
(Montgomery D.C., 2001)

เงื่อนไขการทดลอง	ปัจจัยที่1	ปัจจัยที่2	ปัจจัยที่ n
1	-	-	
2	+	-	
3	-	+	
4	+	+	
.....n			

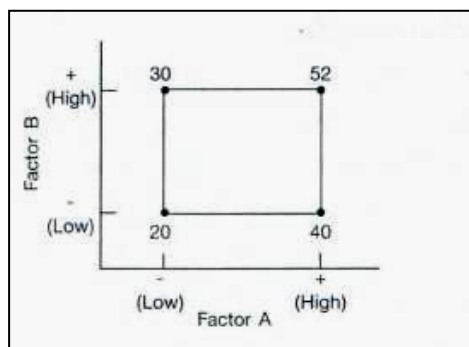
ที่มา: Montgomery D.C. (2001)

เช่น ตัวอย่างรูปที่ 2.3 ซึ่งเป็นการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย โดยที่แต่ละปัจจัยจะประกอบด้วย 2 ระดับ คือ ระดับ ต่ำ และสูง ซึ่งแทนด้วยเครื่องหมายลบ และบวก ตามลำดับ ผลหลักของปัจจัย A ในการทดลองนี้คือ ผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของผลตอบที่ระดับต่ำและระดับสูงของปัจจัย A ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$A = (40 + 52) / 2 - (20 + 30) / 2 = 21$$

หมายความว่า การเพิ่มขึ้นของปัจจัย A จากระดับต่ำไปสู่ระดับสูง จะทำให้ผลตอบเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 21 หน่วย ในทำนองเดียวกัน จะสามารถคำนวณหาค่าผลหลักของปัจจัย B ได้คือ

$$B = (30 + 52) / 2 - (20 + 40) / 2 = 11$$



รูปที่ 2.2 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย (Montgomery D.C., 2001)

การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการทดลองต่างๆที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่เราสนใจที่จะศึกษาซึ่งมีอยู่หลายตัว ซึ่งมีความจำเป็นที่เราจะต้องเข้าใจถึงผลกระทบร่วมกันของปัจจัยเหล่านั้นบนตัวแปรตามที่เราสนใจอยู่

ซึ่งสิ่งที่สำคัญที่สุดของการออกแบบการทดลองแบบ  $2^k$  คือ แต่ละปัจจัยจะมีอยู่ 2 ระดับ ซึ่งลักษณะของระดับเหล่านั้นอาจจะอยู่ในรูปของข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น ค่า 2 ระดับ ของอุณหภูมิ, เวลา หรืออาจจะอยู่ในรูปของข้อมูลเชิงคุณภาพ เช่น ระหว่างเครื่องจักร 2 เครื่อง, ระหว่างพนักงาน 2 คน, ระดับสูงและระดับต่ำของปัจจัยหนึ่งๆ, หรือในบางกรณี การมีหรือไม่มีของปัจจัยหนึ่งๆ

การออกแบบการทดลองแบบ  $2^k$  มีประโยชน์อย่างมากในกรณีของการทำการทดลองที่ยังอยู่ในช่วงเริ่มแรก ในกรณีซึ่งตัวแปรที่เกี่ยวข้องที่จะต้องถูกทำการศึกษามีอยู่มากมายหลายตัวด้วยกัน ซึ่งการทดลองแบบ  $2^k$  นั้นจะช่วยจำกัดจำนวนของการทดลองให้น้อยที่สุดโดยที่ตัวแปรทั้งหมดยังถูกทำการศึกษาอยู่ในการออกแบบการทดลองแบบนี้ ดังนั้นจึงถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางเพื่อช่วยในการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยหลัก (Factor Screening Experiment)

## 5. การสร้างแบบจำลองถดถอย (Regression Modeling)

แบบจำลองการถดถอยนำมาใช้บ่อยในการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองที่ไม่ได้มีการวางแผนล่วงหน้า ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นในกรณีการเก็บข้อมูลจากปรากฏการณ์ที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Unplanned) หรือจากสิ่งที่บันทึกไว้ในอดีต การวิเคราะห์การถดถอยมีประโยชน์อย่างมากต่อการทดลองที่ได้มีการออกแบบไว้ล่วงหน้าในกรณีที่ที่บางอย่าง เกิดการผิดพลาดไปได้เช่นกัน

## 6. การออกแบบทดลองสำหรับพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology: RSM) (Sigma Pro Material 2011)

การออกแบบการทดลองพื้นผิวผลตอบ เป็นการรวบรวมเอาเทคนิคทั้งทางคณิตศาสตร์และทางสถิติที่มีประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหาโดยที่ผลตอบที่สนใจขึ้นกับหลายตัวแปร และต้องการที่จะหาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบนี้

การฝึกและวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบจะทำได้ง่ายถ้าเราเลือกการออกแบบการทดลองที่เหมาะสม ซึ่งลักษณะของการออกแบบที่ต้องพิจารณาบางประการ คือ

- ทำให้เกิดการแจกแจงที่เหมาะสมของข้อมูลตลอดช่วงที่ทำการพิจารณา
- ทำให้สามารถตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลอง และ Lack of Fit ของข้อมูลได้
- ทำให้การทดลองสามารถเกิดขึ้นได้ในบล็อก (Block)
- ทำให้การออกแบบที่มีอันดับ (Order) สูงขึ้น สามารถสร้างขึ้นได้ตามลำดับ

- ให้ค่าประมาณภายในของความผิดพลาด
- ไม่ต้องรับการทดลองจำนวนมาก
- ไม่ต้องมีหลายระดับของตัวแปรอิสระ
- คำนวณพารามิเตอร์ในแบบจำลองได้ง่าย

### 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำไปประยุกต์ใช้ ของงานวิจัยครั้งนี้ สามารถสรุปข้อมูลได้ ดังนี้

(ชีวิรัตน์ กะฐินทอง 2551) งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ แกนหมุนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ในหน่วยงานขึ้นรูป โดยใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกมา ซึ่งปัญหาหลักที่เกิดขึ้นคือ รอยตำหนิจากการกระแทกที่ผิวของชิ้นงานที่เกิดขึ้นระหว่างการขึ้นรูป หลังทำการปรับปรุงสาเหตุของ ปัญหาสามารถลดจำนวนชิ้นงานที่มีรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ลดลงจากเดิม 47.76 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ สามารถลดต้นทุนในการผลิตลงได้

(เดโช บุญครอง 2546) งานวิจัยนี้ได้นำเสนอแนวทางในการออกแบบปัจจัยของแขนจับ หัวอ่านเขียนเพื่อเพิ่มคุณสมบัติการต้านทานชอร์ค เพื่อช่วยควบคุมการเคลื่อนไหวของ Gimbal ใน ผลิตภัณฑ์แขนจับหัวอ่านเขียน ให้มีความเร็วตกกระทบของหัวอ่านเขียนต่ำลงในขณะอยู่ในสถานะ ชอร์คเกินระดับค่า G-to-Lift off และ เกิด Head Slap โดยหลังการทดลองพบว่าความน่าเชื่อถือของ ข้อมูลจากไฟไนต์อีลิเมนต์ในเชิงดูแนวโน้มการออกแบบชิ้นงานได้ข้อสรุปเหมือนกับที่ได้จากการทดลอง แต่ไม่สามารถใช้ได้เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากไฟไนต์อีลิเมนต์มีค่าสูงกว่าการทดสอบ ผลิตภัณฑ์ต้นแบบจริงอย่างมีนัยสำคัญ

(นวลพรรณ ใจงาม 2541), งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางการลดของเสียที่เกิดจากการถ่ายเท กระแสไฟฟ้าสถิตย์ในกระบวนการประกอบหัวอ่านโดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา โดยหลังการดำเนินการ ปรับปรุงพบว่า อัตราส่วนข้อบกพร่องจากการถ่ายเทไฟฟ้าสถิตย์ลดลงจาก 31,600 DPPM เป็น 7,890 DPPM หรือเมื่อเทียบในค่าของ Sigma Quality Level สามารถปรับปรุงจากระดับ 3.36 ไป เป็นที่ระดับ 3.91 ทำให้ได้รับผลประโยชน์ตอบแทนจากการปรับปรุงคุณภาพได้ถึง 163,999 ดอลลาร์ สหรัฐ

(วัชรศักดิ์ ทวีสุข 2546), งานวิจัยนี้ศึกษาปัจจัยในกระบวนการผลิตชุดประกอบสำเร็จหัวอ่าน เขียนข้อมูล(HGA) ที่มีผลกระทบต่อค่าการโก่งของตัวหัวอ่านเขียนข้อมูล (โดยใช้เครื่อง Wyko ในการ วัดค่าโก่ง) เพื่อการลดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการโก่ง ให้อยู่ในระดับ 0.033 ส่วนในล้านส่วนของ หนึ่งนิ้ว โดยใช้แผนผังก้างปลาเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุ ได้ปัจจัย 6 ปัจจัย คือตำแหน่งของกาว

โครงสร้าง ตำแหน่งของกาวตัวนำไฟฟ้า ขนาดของกาวโครงสร้าง ขนาดของกาวตัวนำไฟฟ้า ระยะห่าง จากปลายท่อนำแสง UV ถึงตัวงาน และระยะเวลาในการให้แสง UV โดยใช้การออกแบบการทดลอง แบบแฟรคชันนอลแฟคทอเรียลพลันที่ได้จากการวิเคราะห์ที่ 4 ปัจจัย ที่ส่งผลกระทบต่อค่าการโก่งตัว โดยมีการปรับตั้งค่าของปัจจัย ส่งผลให้ผลการทดลองได้ค่ากับ เบี่ยงเบน มาตรฐานเท่ากับ 0.0309

(ปาริชาติ บุญเกลี้ยง 2552), งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางการปรับปรุงงานตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา เพื่อลดต้นทุนของเสียจากการทิ้งเทปที่เกิดปัญหาขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับของ เทปโพลีเอคริลิค ผลหลังการปรับปรุงพบว่า ค่าเฉลี่ย เข้าใกล้ค่าเป้าหมายมากขึ้นและค่าความ เบี่ยงเบนมาตรฐานลดลง ซึ่งส่งผลให้ค่า Cpk และ Cp ที่ได้ อยู่ที่ 1.87 และ 1.98 ตามลำดับ ซึ่ง ดีกว่าก่อนการปรับปรุงกระบวนการ ที่มีค่าอยู่ที่ 0.96 และ 1.07 ตามลำดับ และส่งผลให้ต้นทุนของ เสียลดลง 99.7 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นมูลค่าความสูญเสียที่ลดลงได้ 4,713,992 บาทต่อปี

สรุปจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ยังไม่มีงานวิจัยที่ทำเกี่ยวกับข้อบกพร่องประเภทการโก่ง (Bend) ที่ตรวจสอบด้วยสายตา (Attribute Data) แต่จะมีการโก่งที่เป็นลักษณะที่เป็นข้อมูลเชิง ปริมาณ(Variable Data) ซึ่งวัดด้วยเครื่องมือ Wyko

ส่วนงานวิจัยอื่นๆจะทำให้ผู้วิจัยนำองค์ความรู้ของแนวทางในเรื่องกระบวนการทำซิกซ์ ซิกมา

## บทที่ 3

### การนิยามปัญหา (Define Phase)

ขั้นตอนการนิยามปัญหาเป็นขั้นตอนแรกของการดำเนินโครงการซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) ตามกระบวนการดีเอ็มเอไอซี (DMAIC) ซึ่งจะช่วยให้ผู้วิจัยทราบแนวทางของการดำเนินงานวิจัย โดยทำการศึกษาสภาพปัญหาในปัจจุบัน ทำความเข้าใจนิยามของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้ง และจากการนำข้อมูลเบื้องต้นมาทำการประเมินเพื่อกำหนดขอบเขตของกระบวนการที่เกี่ยวข้อง โดยมีเป้าหมายของการดำเนินงานเพื่อจัดทำกฎบัตรโครงการ (Project Charter) ซึ่งจะประกอบไปด้วย การบ่งชี้ปัญหา (Problem Statement) ข้อความวัตถุประสงค์ (Objective Statement) ขอบเขตโครงการ (Project Scope) ตัวชี้วัดโครงการ (Project Metrics) ข้อจำกัดของโครงการ (Project constraints) สมมติฐานโครงการ (Project assumptions) สมาชิกในทีม (Team member) และ ระยะเวลา (Time line)

#### 3.1 การจัดตั้งคณะทำงาน

ในงานวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการจัดตั้งคณะทำงาน เพื่อช่วยในการดำเนินงานต่างๆ โดยสมาชิกในทีม ช่วยกันระดมสมองวิเคราะห์ เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อข้อบกพร่องประเภทการโค้งที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า ต่อมา ร่วมกันทำการวิเคราะห์คัดเลือกสาเหตุ เพื่อนำไปทำการทดลอง โดยสนับสนุนการเก็บข้อมูลในการศึกษา และดำเนินการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการหลังจากได้ข้อสรุปจากการออกแบบการทดลอง และจากผลการทดลอง ซึ่งสมาชิกในคณะทำงานจะถูกคัดเลือกมาจากผู้ที่มีความรู้และความชำนาญจากแต่ละส่วนงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์รุ่น S รวมกับรุ่น M โดยผู้ดำเนินการวิจัยอยู่ในตำแหน่งวิศวกรแบลคเบลต์ (Black Belt) ทำหน้าที่เป็นผู้นำในการปรับปรุงและรวบรวมข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ และสรุปผล ซึ่งสมาชิกของคณะทำงานมีดังนี้

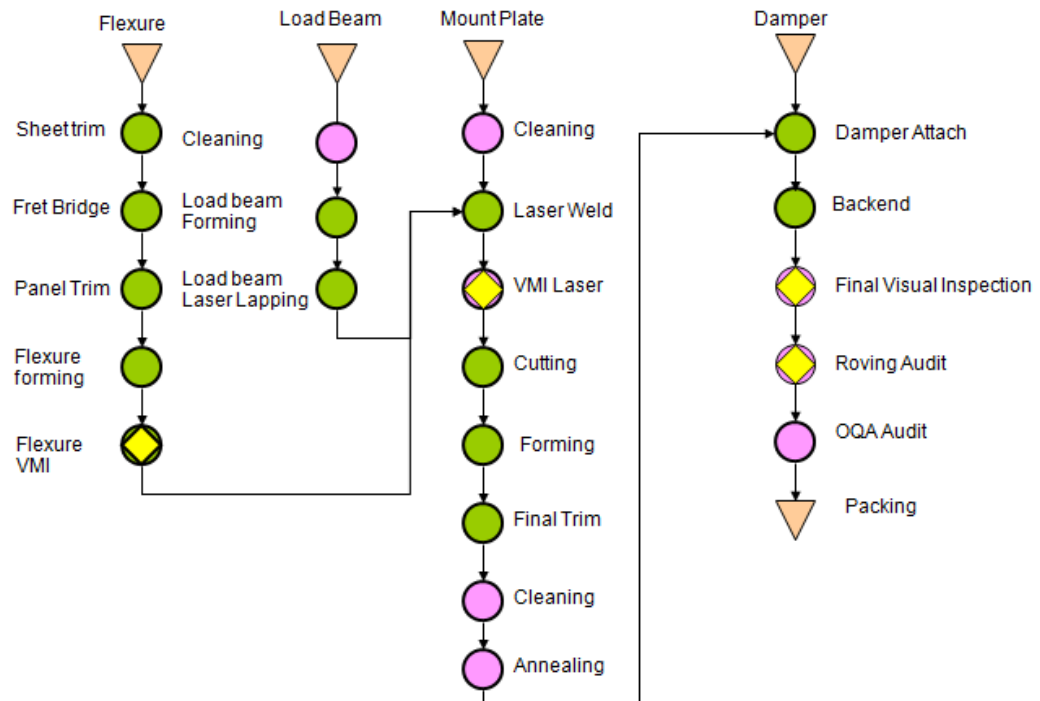
- วิศวกรฝ่ายพัฒนากระบวนการ (Process Development Engineer)
- วิศวกรฝ่ายกระบวนการผลิต (Process Engineer)
- วิศวกรฝ่ายเครื่องมือ (Tooling Engineer)
- วิศวกรฝ่ายอุปกรณ์ (Equipment Engineer)
- หัวหน้าพนักงานฝ่ายผลิต (Manufacturing Supervisor)
- พนักงานฝ่ายผลิต (Manufacturing Operator)

### 3.1 ศึกษาข้อมูลกระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่านเขียนรูน S รวมกับรูน M

กระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์แขนจับหัวอ่านเขียนของรูน S กับรูน M ที่ดำเนินการศึกษาในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยขั้นตอนผลิตและกระบวนการต่างๆ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. กระบวนการตรวจสอบขาเข้าของชิ้นงาน Flexure, Load Beam, Mount Plate และ Damper
2. กระบวนการตัดซีท Flexure (Sheet Trim)
3. กระบวนการตัดแยก Flexure ชั้นที่ 1 (Fret Bridge)
4. กระบวนการตัดแยก Flexure ชั้นที่ 2 (Panel Trim)
5. กระบวนการตัดแยก Flexure ชั้นสุดท้าย (Final Singulation) และการขึ้นรูป Flexure (Limiter and DCF Forming)
6. กระบวนการตรวจสอบชิ้นงาน Flexure ที่ผ่านการตัดแยก และขึ้นรูปแล้ว
7. กระบวนการล้าง Load Beam
8. กระบวนการขึ้นรูป Load Beam
9. กระบวนการทำให้ผิว Load Beam เรียบขึ้นโดยใช้เลเซอร์ (Laser Lapping)
10. กระบวนการล้าง Mount Plate
11. กระบวนการเชื่อมประกอบชิ้นส่วนให้ติดกันด้วยเลเซอร์ (Laser Welding)
12. กระบวนการตรวจสอบชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมประกอบ (Visual material Inspection)
13. กระบวนการตัดชิ้นงาน 4 ตำแหน่ง (Cutting)
14. กระบวนการขึ้นรูปค่าสปริง (Forming)
15. กระบวนการตัดชิ้นงานออกเป็นตัว (Final Trim)
16. กระบวนการล้าง (Cleaning)
17. กระบวนการอบ (Annealing)
18. กระบวนการติด Damper (Damper Attach)
19. กระบวนการ Backend , ปรับค่า Gram Load (Gram Load Adjustment : GL) และปรับค่า Static Attitude (Static Attitude Adjustment : SA)
20. กระบวนการตรวจสอบชิ้นงานที่ Final Visual Material Inspection (FVMI)
21. กระบวนการสุ่มตรวจสอบ (Roving Audit)
22. กระบวนการตรวจสอบชิ้นงานที่ Outgoing Quality Assurance (OQA Audit)
23. กระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์ (Packing)

โดยที่กระบวนการผลิตทั้งหมดข้างต้น สามารถสรุปเป็นแผนผังกระบวนการผลิตได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



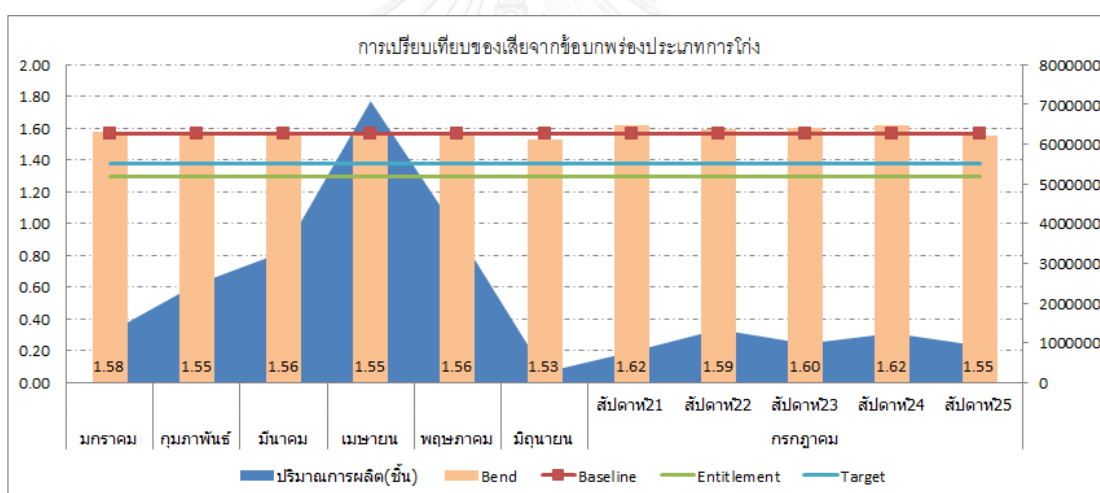
รูปที่ 3.1 แผนผังกระบวนการผลิตของแขนจับหัวอ่านเขียน (Suspension Process Flow)

### 3.2 การนิยามปัญหา

จากที่มาและความสำคัญของปัญหาในหัวข้อ 1.3 งานวิจัยที่ทำการศึกษานี้จะเกี่ยวข้องกับปัญหาเชิงคุณภาพ ซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่านเขียนในรุ่น S รวมกับรุ่น M โดยเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโก่ง มีร้อยละของเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.56 หรือ 15,649 ppm จากข้อมูลเดือนมกราคม ถึงกรกฎาคม 2556 ดังตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 ซึ่งนำไปสู่ค่าใช้จ่ายของต้นทุนคุณภาพ (Cost of Quality) เนื่องจากผลิตภัณฑ์ข้อบกพร่องประเภทการโก่งนี้ ไม่สามารถนำกลับมาทำซ้ำใหม่ได้ จะต้องนำไปทำลายทิ้ง โดยมีมูลค่าความสูญเสียเป็นเงินสูงถึง 9,944,224 บาท ต่อปี

ตารางที่ 3. 1 ข้อมูลของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งตั้งแต่ มกราคม – กรกฎาคม 2556

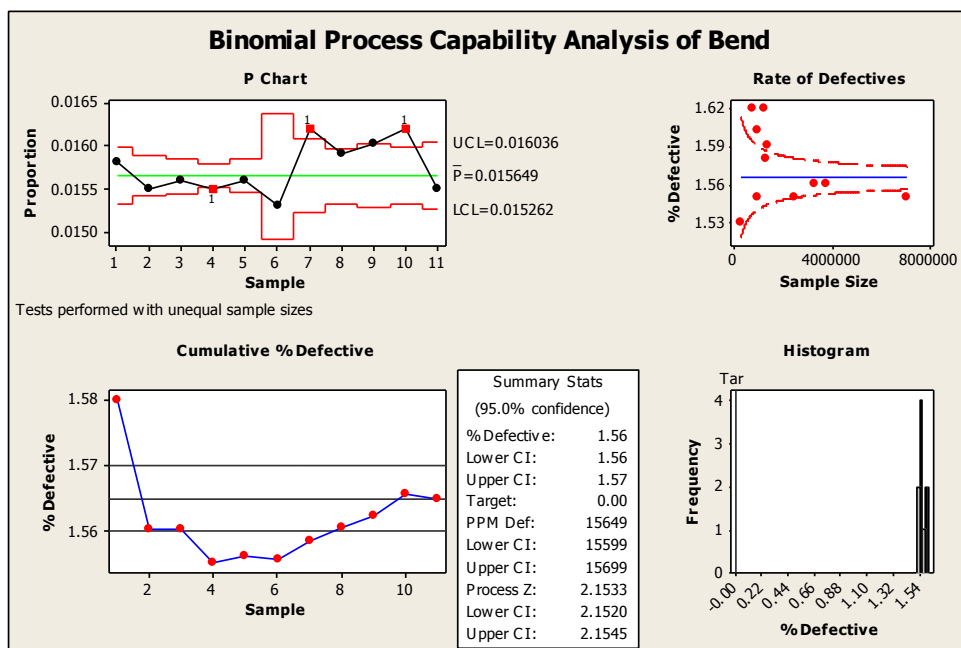
เดือน	ปริมาณการผลิต (ชิ้น)	จำนวนของเสีย	ร้อยละของเสีย
มกราคม	1,268,168	20,037	1.58
กุมภาพันธ์	2,477,678	38,404	1.55
มีนาคม	3,294,030	51,387	1.56
เมษายน	7,084,811	109,815	1.55
พฤษภาคม	3,788,762	59,105	1.56
มิถุนายน	260,243	3,982	1.53
กรกฎาคม	5,266,725	84,093	1.60
รวม	23,440,417	366,823	1.56



รูปที่ 3.2 แผนภูมิร้อยละของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งเทียบกับปริมาณการผลิต

และเมื่อพิจารณาจากความสามารถของกระบวนการ พบว่าค่า Z มีค่าเท่ากับ 2.1533 เพราะฉะนั้นความสามารถของกระบวนการ (Process Capability: Ppk) จะเท่ากับ  $Z/3 = 2.1533/3 = 0.7178$  ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งค่า Ppk นี้น้อยกว่ามาตรฐานค่าที่ยอมรับ คือ 1.33 เพราะฉะนั้นถ้าสามารถลดปริมาณผลิตภัณฑ์ของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งจะสามารถเพิ่มค่า Ppk และช่วยลดค่าใช้จ่ายในการทำलयชิ้นงานทิ้งลงได้





รูปที่ 3.3 ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability)  
 ของของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้ง

### 3.3 การกำหนดวัตถุประสงค์และเป้าหมายของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งของผลิตภัณฑ์รุ่น S รวมกับรุ่น M โดยมีเป้าหมายลดจาก 15,649 ppm เป็น 13,800 ppm คิดเป็นร้อยละ 70 ของความแตกต่างของร้อยละของเสียเฉลี่ยก่อนการปรับปรุง (Baseline) และร้อยละของเสียที่ต่ำที่สุด (Entitlement) ในช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล ช่วงเดือนมกราคม ถึงกรกฎาคม (ข้อมูลย้อนหลัง 7 เดือน) โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้ (ซีวรัตน์ กะฐินทอง 2551)

$$\text{Target} = \text{Baseline} - (\text{Baseline} - \text{Entitlement}) \times 0.7$$

โดยที่

Target คือ เป้าหมายของงานวิจัย

Baseline คือ ร้อยละของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งก่อนการปรับปรุง  
 (ข้อมูลย้อนหลัง 7 เดือน)

Entitlement คือ ร้อยละของเสียต่ำที่สุดจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งที่เคยทำได้

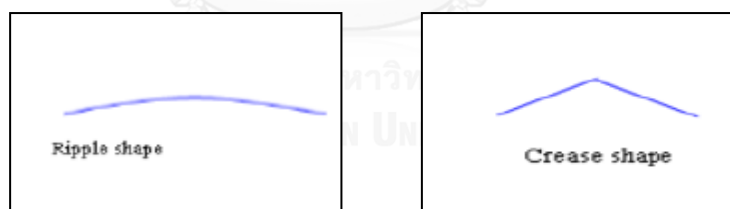
### 3.4 การศึกษาสภาพปัญหา และกำหนดปัญหาที่ต้องการศึกษา

ในการกำหนดปัญหาของงานวิจัยนี้ สิ่งแรกที่ต้องทำ คือทำความเข้าใจสภาพปัญหาปัจจุบัน โดยศึกษาข้อมูลจากนิยามของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโก่ง เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่อง ต่อมาทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อคัดเลือกกระบวนการผลิตที่เป็นปัญหาส่งผลกระทบต่อแผนจับหัวอ่านเขียนมาดำเนินการแก้ไข ซึ่งกระบวนการที่เลือกมานั้นส่งผลกระทบต่อวิกฤตคุณภาพ (Critical to Quality) ของข้อบกพร่องประเภทการโก่งของชิ้นงาน ซึ่งมีลำดับขั้นตอนดังนี้

#### 1. ทำความเข้าใจนิยามของข้อบกพร่องประเภทการโก่ง

ในขั้นตอนแรกจะทำการศึกษาข้อมูลของเสียที่มีข้อบกพร่องประเภทการโก่งซึ่งมีร้อยละของเสียเท่ากับ 1.56 หรือ คิดเป็น 18.4% ของของเสียทั้งหมด โดยทำความเข้าใจในนิยามลักษณะของเสียที่เกิดจากการโก่ง เพื่อที่จะเป็นแนวทางในการประเมินปัญหา และเข้าใจลักษณะอาการของข้อบกพร่องประเภทการโก่ง

นิยามข้อบกพร่องประเภทการโก่ง คือ การโก่งโค้งงอ ที่มีลักษณะต่างไปจาก Drawing ซึ่งเกิดจากการกระทำ หรือเครื่องมือ (Tool) ทำให้มีลักษณะเป็นรอยพับบนชิ้นงาน กรณีนี้ไม่รวมถึงรอยโค้งงอที่เกิดจากกระบวนการผลิตที่กำหนดไว้ในเอกสารการออกแบบ (Drawing) โดยจะมีเกณฑ์ลักษณะแบบที่ยอมรับได้ (Accept) คือมีรูปร่างแบบคลื่น (Ripple Shape) และแบบไม่สามารถยอมรับ (Reject) คือมีรูปร่างแบบรอยพับ (Crease Shape) ดังรูปที่ 3.4

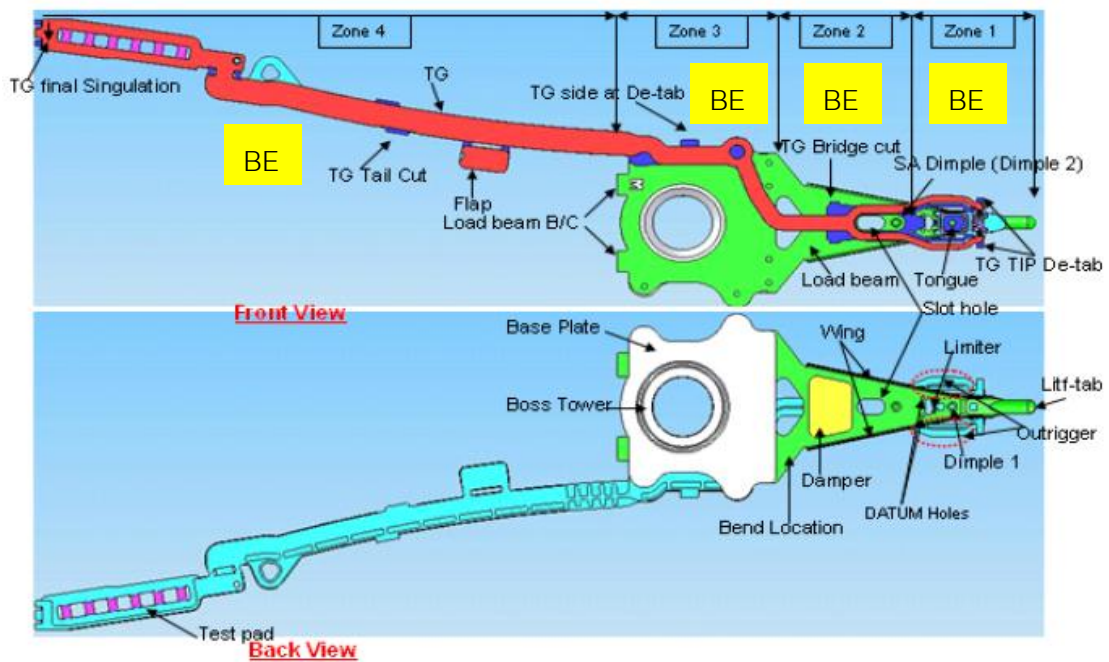


(ก.) การโก่งแบบยอมรับได้

(ข.) การโก่งแบบไม่สามารถยอมรับ

รูปที่ 3.4 เกณฑ์การยอมรับ และไม่ยอมรับของรูปแบบการโก่ง

โดยแผนจับหัวอ่านเขียนนั้น สามารถแบ่งขอบเขต (Zone) ของลักษณะการโก่งได้ 4 ขอบเขตตามชิ้นงาน คือ ขอบเขตที่ 1 (Zone1) พื้นที่ตั้งแต่ขอบจุดเชื่อมจุดบนสุดจนถึงปลายชิ้นงานของ lift tab ขอบเขตที่ 2 (Zone2) พื้นที่ตั้งแต่จุดเชื่อมจุดบนสุดจนถึงขอบของ เมทาลเพลตหรือเบสเพลต ขอบเขตที่ 3 (Zone3) พื้นที่ใต้ขอบของเบสเพลต ไปจนถึงปลายขอบของโหนดบีม detab และขอบเขตที่ 4 (Zone 4) พื้นที่ใต้ปลายของโหนดบีม detab ไปจนถึง detab สิ้นสุดท้ายของตัวงาน ซึ่งแสดงดังรูป 3.5

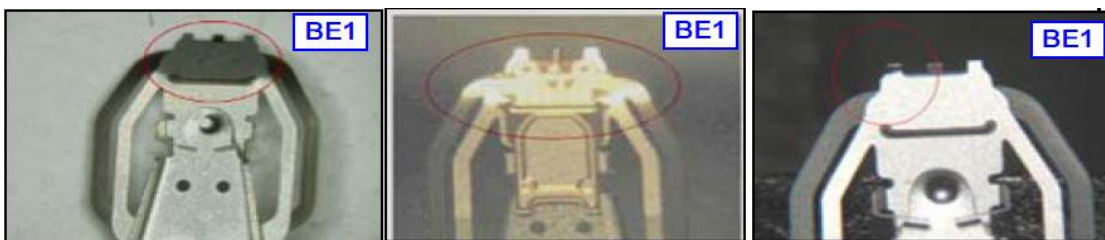


รูปที่ 3.5 การกำหนดขอบเขต (Zone) ของแขนจับหัวอ่านเขียน

#### ตัวอย่างเกณฑ์การตัดสินใจข้อบกพร่องประเภทการโค้งขอบเขตที่ 1 (BE1)

เป็นบริเวณพื้นที่ตั้งแต่ขอบจุดเชื่อมจุดบนสุดจนถึงปลายชิ้นงานของ lift tab ซึ่งเกณฑ์การไม่สามารถยอมรับ คือเมื่อสามารถมองเห็นด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 10 เท่า และมีการโค้งงอบริเวณ Bond pad และ Tongue ดังรูปที่ 3.6

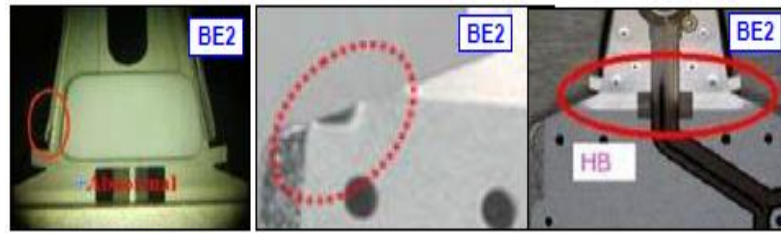
หมายเหตุ: รอยโค้งงอ อันเกิดจากการตัดค่า SA และการขึ้นรูปตามค่าแบบ Drawing ที่กำหนดสามารถยอมรับได้



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการตัดสินใจไม่สามารถยอมรับข้อบกพร่องประเภทการโค้งขอบเขตที่ 1

#### ตัวอย่างเกณฑ์การตัดสินใจข้อบกพร่องประเภทการโค้งขอบเขตที่ 2 (BE2)

สำหรับบริเวณนี้จะไม่สามารถยอมรับได้ เมื่อมองเห็นรอยพับเป็นสัน โดยทำการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ด้วยกำลังขยาย 10 เท่า ดังรูปที่ 3.7

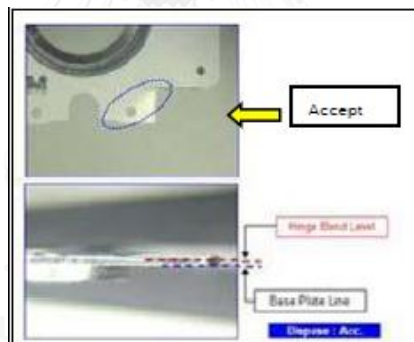


รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการตัดสินใจไม่สามารถยอมรับข้อบกพร่องประเภทการโค้งขอบเขตที่ 2

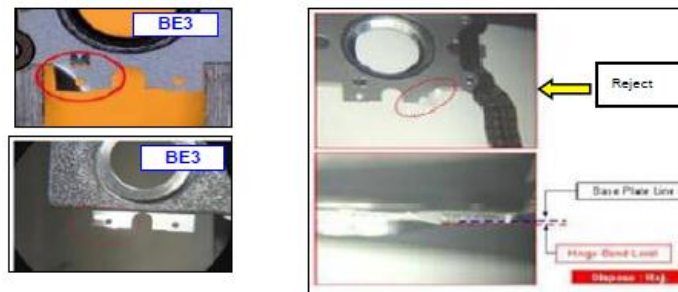
ตัวอย่างเกณฑ์การตัดสินใจข้อบกพร่องประเภทการโค้งขอบเขตที่ 3 (BE3)

เป็นบริเวณการโค้งที่ขา Load beam Bridge Cut สามารถพิจารณาได้ดังนี้

- กรณีพิบลงด้านล่างสามารถยอมรับได้ ถึงแม้การโค้งจะผ่านรูหรือไม่ผ่านรู แต่ต้องไม่โค้งลงเกินความหนาของเมททัล ดั่งรูป 3.8 (ก.)
- ในกรณีพิบลงด้านบนจะไม่สามารถยอมรับทุกกรณี ดั่งรูป 3.8 (ข.)



(ก.) การโค้งแบบยอมรับได้

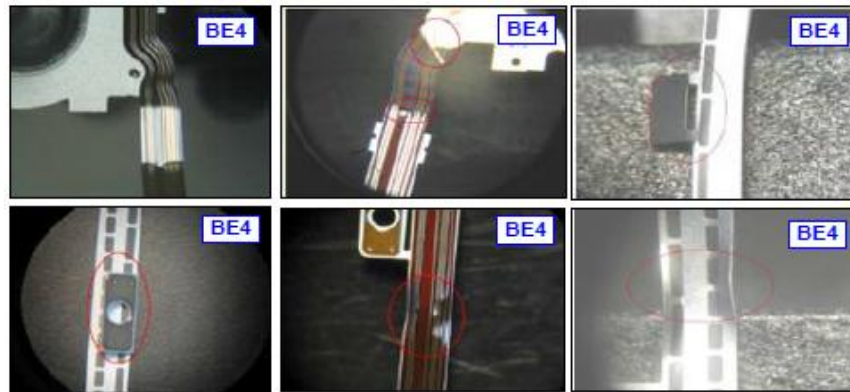


(ข.) การโค้งแบบไม่สามารถยอมรับ

รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการตัดสินใจข้อบกพร่องประเภทการโค้งขอบเขตที่ 3

### ตัวอย่างเกณฑ์การตัดสินใจข้อบกพร่องประเภทการโค้งขอบเขตที่ 4 (BE4)

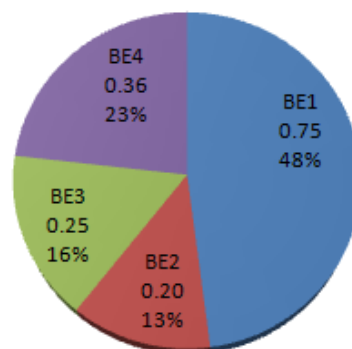
สำหรับบริเวณนี้จะไม่สามารถยอมรับ เมื่อมองเห็นรอยพับเป็น โดยทำการตรวจสอบด้วยด้วยตาเปล่า หรือเกินกว่าค่าที่กำหนดใน Drawing จากรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างการตัดสินใจไม่สามารถยอมรับข้อบกพร่องประเภทการโค้งขอบเขตที่ 4

จากนิยามของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้ง และการแบ่งขอบเขตของลักษณะการโค้ง ทำให้สามารถนำข้อมูลที่เก็บจากกระบวนการผลิตมาทำการวิเคราะห์ร้อยละของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งตามขอบเขต ดังรูป 3.10 จะได้ว่าของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งของแต่ละขอบเขต พบว่าร้อยละของเสียที่มีลักษณะการโค้ง ของขอบเขต 1 (BE1) เท่ากับ 0.75 ขอบเขต 2 (BE2) เท่ากับ 0.2 ขอบเขต 3 (BE3) เท่ากับ 0.25 และขอบเขต 4 (BE4) เท่ากับ 0.36

**Pie Chart Bend Defect by Zone**



รูปที่ 3.10 แผนภูมิวงกลม (Pie Chart) ร้อยละของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งของแต่ละขอบเขต

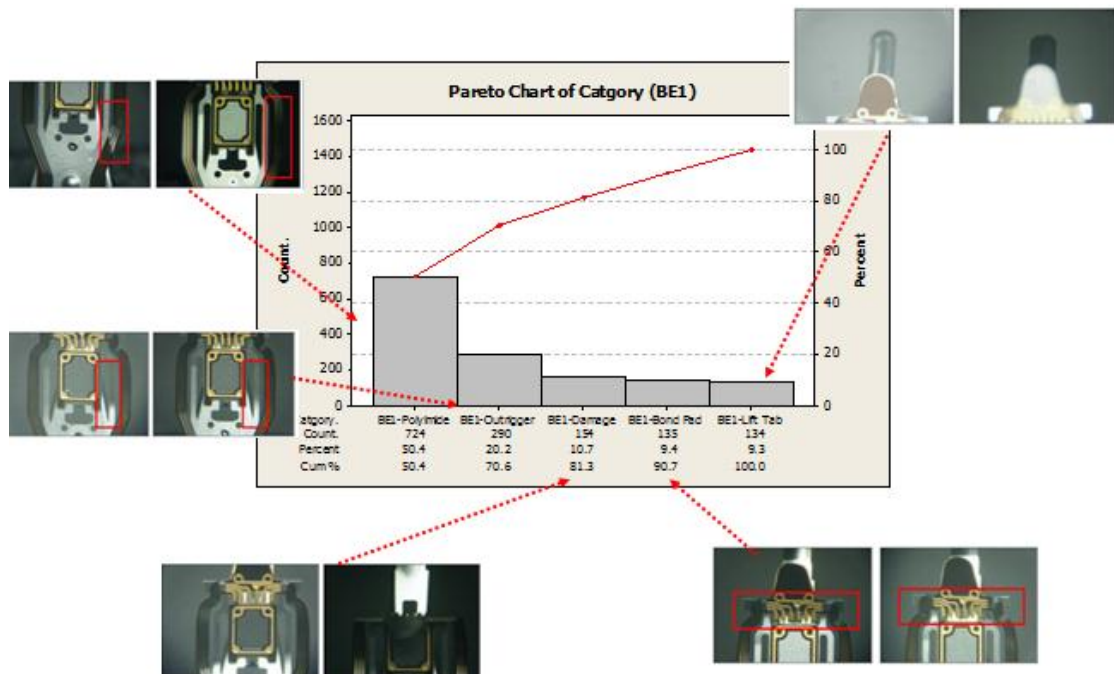


จากร้อยละของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งของแต่ละขอบเขต ทำการเลือก ขอบเขต 1 (BE1) ขอบเขต 3 (BE3) และขอบเขต 4 (BE4) ไปปรับปรุงเพื่อลดจำนวนของเสียประเภทการโค้ง ซึ่งคิดรวมเป็นร้อยละ 87 ของจำนวนของเสียทั้งหมด โดยที่ขอบเขต 2 (BE2) เป็นขอบเขตที่เกี่ยวข้องกับค่าวิกฤติคุณภาพของกระบวนการ (Critical to Quality) จึงไม่นำขอบเขตนี้ไปปรับปรุง

## 2. การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของแต่ละขอบเขตที่เลือกปรับปรุง

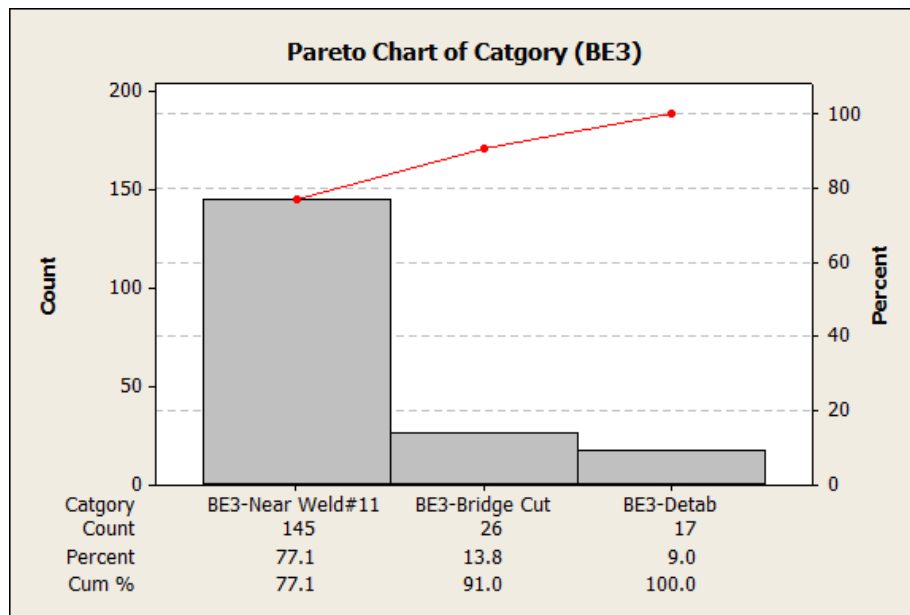
หลังจากที่ได้ทำการเลือกขอบเขตของข้อบกพร่องลักษณะการโค้ง ขั้นตอนนี้เป็น การวิเคราะห์โดยการนำชิ้นงานของเสียแต่ละขอบเขตมาตรวจสอบเพื่อแยกแยะลักษณะอาการการเกิดของเสียของแต่ละขอบเขตว่ามีลักษณะ ได้ดังนี้

ข้อบกพร่องประเภทการโค้งขอบเขต 1 จะมีลักษณะข้อบกพร่อง 5 แบบซึ่งโค้งที่บริเวณต่างกัน คือ BE1-Polyimide, BE1-Outrigger, BE1-Damage, BE1-Bond pad และ BE1-Lift tab จากข้อมูลพบว่าลักษณะร้อยละของเสียจากข้อบกพร่อง BE1-Polyimide เท่ากับ 50.4 ซึ่งมากที่สุดเมื่อเทียบกับลักษณะข้อบกพร่องแบบอื่นของขอบเขต 1 และลักษณะข้อบกพร่องนี้เกิดบริเวณแผงวงจรเพลกเซอร์ซึ่งสำคัญต่อชิ้นงาน จึงเลือกมาทำการวิเคราะห์ปรับปรุง แสดงได้ดังรูปที่ 3.11

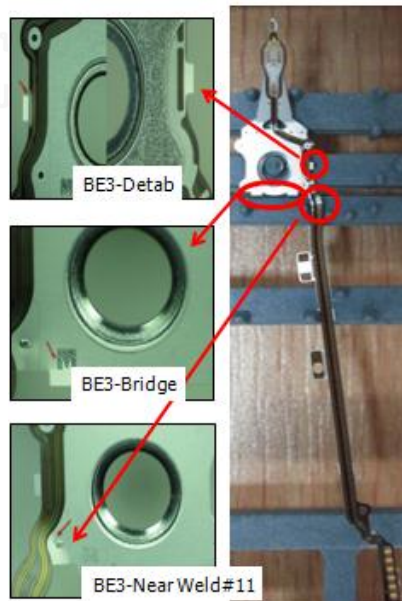


รูปที่ 3.11 แผนภูมิพาร์โตรี้อยละของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งขอบเขต 1

ข้อบกพร่องประเภทการโค้งขอบเขต 3 จะมีลักษณะข้อบกพร่อง 3 แบบซึ่งโค้งที่บริเวณต่างกัน คือ BE3-Near Weld#11, BE3-Bridge และ BE3-Detab จากข้อมูลพบว่าลักษณะร้อยละของเสียจากข้อบกพร่อง BE3-Near Weld#11 เท่ากับ 77.1 ซึ่งมากที่สุดเมื่อเทียบกับลักษณะข้อบกพร่องแบบอื่นของขอบเขต 3 และลักษณะข้อบกพร่องนี้เกิดบริเวณแผงวงจรเฟลทเซอร์ซึ่งสำคัญต่อชิ้นงาน จึงเลือกมาทำการวิเคราะห์ปรับปรุง แสดงได้ดังรูปที่ 3.12



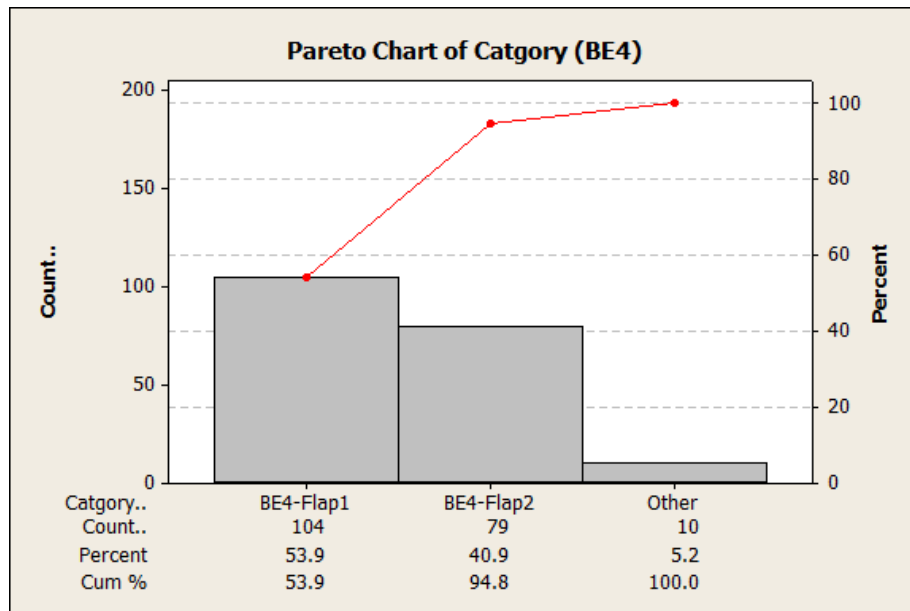
(ก)



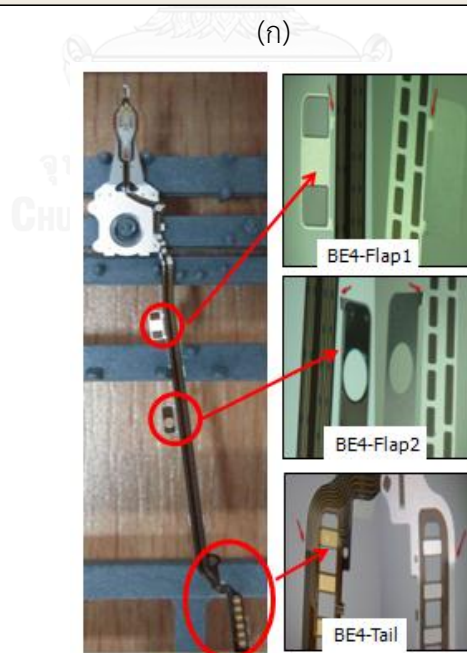
(ข)

รูปที่ 3.12 แผนภูมิพาเรโตร้อยละของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งขอบเขต 3

ข้อบกพร่องประเภทการโค้งขอบเขต 4 จะมีลักษณะข้อบกพร่อง 3 แบบซึ่งโค้งที่บริเวณต่างกัน คือ BE4-Flap1, BE4-Flap2 และแบบอื่นๆ (Other) จากข้อมูลพบว่าร้อยละของเสียจากข้อบกพร่อง BE4-Flap1 และ BE4-Flap2 รวมกันเท่ากับ 94.8 เมื่อเทียบกับลักษณะข้อบกพร่องแบบอื่นของขอบเขต 3 แสดงได้ดังรูปที่ 3.13



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.13 แผนภูมิพาเรโตร้อยละของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งขอบเขต 4



สรุปได้ว่าการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องทั้ง 3 ขอบเขต ซึ่งมีร้อยละของเสียของแต่ละขอบเขตมากที่สุด ดังนี้ คือ BE1-Polyimide ซึ่งจะมีลักษณะการโค้งบริเวณปลายเฟลคเซอร์ของชิ้นงาน BE3-Near Welded#11 ซึ่งจะมีลักษณะการโค้งบริเวณจุดเชื่อมที่ 11, BE4-Flap1 และ BE4-Flap2 ซึ่งจะมีลักษณะการโค้งบริเวณสายไฟเฟลคเซอร์ จากข้อมูลเบื้องต้นนี้ สามารถนำไปวิเคราะห์ต่อเพื่อหาสาเหตุว่ากระบวนการใดที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องลักษณะเหล่านี้

### 3. การวิเคราะห์หากระบวนการผลิตที่เป็นสาเหตุของการเกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้ง

ขั้นตอนนี้จะทำการวิเคราะห์หาว่ากระบวนการใด ที่ส่งผลทำให้แขนจับหัวอ่านเขียนมีลักษณะข้อบกพร่องประเภทการโค้งตามที่ได้คัดเลือกจากข้อ 2 โดยทำการตรวจสอบชิ้นงานก่อนและหลังเข้ากระบวนการผลิตตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการ Flexure Forming จนถึงกระบวนการตรวจสอบสุดท้าย (FVMI) ดังตารางที่ 3.2 ซึ่งผลการตรวจสอบชิ้นงานก่อน-หลัง ของแต่ละกระบวนการพบของเสียจากข้อบกพร่องการโค้งที่มีลักษณะต่างๆ ดังนี้ (1) แบบ BE1-Polyimide ตรวจพบกระบวนการ Forming (2) แบบ BE3-Near Weld#11 ตรวจพบที่กระบวนการ Laser Weld, Cutting, Forming, Final Trim, Damper Attach และ Backend (3) แบบ BE4-Flap1 และ BE4-Flap2 ตรวจพบที่กระบวนการ Laser Weld และ Damper Attach

ตารางที่ 3.2 ผลการตรวจสอบชิ้นงานก่อนและหลัง ของแต่ละกระบวนการ

กระบวนการ	จำนวนชิ้นงาน ตรวจสอบ		BE1	BE3	BE4	ทั้งหมด
Flexure Forming	1600	จำนวนของเสีย	0	0	0	0
		ร้อยละของเสีย	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Laser Weld	1600	จำนวนของเสีย	0	6	2	8
		ร้อยละของเสีย	0.00%	0.38%	0.13%	0.50%
Cutting	1592	ร้อยละของเสีย	0	6	0	6
		จำนวนของเสีย	0.00%	0.38%	0.00%	0.38%
Forming	1586	จำนวนของเสีย	6	7	0	13
		ร้อยละของเสีย	0.38%	0.44%	0.00%	0.82%
Final Trim	1573	ร้อยละของเสีย	0	2	0	2
		จำนวนของเสีย	0.00%	0.13%	0.00%	0.13%
Cleaning	1571	จำนวนของเสีย	0	0	0	0
		ร้อยละของเสีย	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Annealing	1571	ร้อยละของเสีย	0	0	0	0
		จำนวนของเสีย	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Damper Attach	1571	จำนวนของเสีย	0	12	3	15
		ร้อยละของเสีย	0.00%	0.76%	0.19%	0.95%
Backend	1556	ร้อยละของเสีย	0	1	0	1
		จำนวนของเสีย	0.00%	0.06%	0.00%	0.06%
FVMI	1555	จำนวนของเสีย	0	0	0	0
		ร้อยละของเสีย	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

จากข้อมูลนี้ทำให้สามารถทราบแนวทางที่จะนำไปศึกษา และวิเคราะห์ในระยะเวลาวัด (Measure phase) ต่อไปเพื่อทำการวิเคราะห์หาปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดของเสียในแต่ละกระบวนการที่พบของเสียนั้นๆ

### 3.5 สรุประยะการนิยามปัญหา

สำหรับระยะการนิยามปัญหาของงานวิจัยนี้ เริ่มต้นด้วยการจัดตั้งคณะทำงาน และศึกษากระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์แขนจับหัวอ่านเขียน รุ่น S รวมกับรุ่น M โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลของเสียในกระบวนการผลิตพบว่า กลุ่มของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งมีร้อยละของเสียโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.56 หรือ 15,649 ppm (ข้อมูลช่วงเดือนมกราคม ถึงกรกฎาคม) ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อต้นทุนในการผลิตโดยมีค่าใช้จ่ายในการทิ้งชิ้นงานสูงถึง 9,944,224 บาทต่อปี และเป็นประเภทข้อบกพร่องที่ก่อให้เกิดมูลค่าความสูญเสียสูงที่สุด โดยผู้วิจัยได้ทำการกำหนดเป้าหมายในวิจัยเพื่อลดร้อยละของเสียจาก 15,649 ppm เป็น 13,800 ppm หรือคิดเป็นร้อยละ 70 ของความแตกต่างของร้อยละของเสียเฉลี่ยก่อนการปรับปรุง และร้อยละของเสียที่ต่ำที่สุด

ต่อมาได้ทำการศึกษาสภาพปัญหา เพื่อกำหนดปัญหาที่ต้องการศึกษาโดยศึกษานิยามของข้อบกพร่องประเภทการโค้ง เพื่อใช้วิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่องของแต่ละขอบเขตที่เลือกปรับปรุง และนำมาวิเคราะห์หากระบวนการผลิตที่เป็นสาเหตุของการเกิดของเสียจากข้อบกพร่อง

ประเภทการโค้ง โดยพบว่าลักษณะข้อบกพร่องแบบ BE1-Polyimide เกิดขึ้นที่กระบวนการ Forming, แบบ BE3-Near Weld#1 เกิดขึ้นที่กระบวนการ Laser Weld, Cutting, Forming, Final Trim, Damper Attach และ Backend สุดท้ายแบบ BE4-Flap1 และ BE4-Flap2 เกิดขึ้นที่กระบวนการ Laser Weld และ Damper Attach จากนั้นผู้วิจัยได้สรุปโครงการเพื่อจัดทำเป็นฉบับตราโครงการ (Project Charter) เพื่อให้เกิดความเข้าใจตรงกันในทีมงาน ดังแสดงในตารางที่ 3.3



## ตารางที่ 3.3 กฎบัตรโครงการ

Project Charter																			
<b>Project Title:</b> การลดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งของแขนจับหัวอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์																			
<b>Business Case:</b> บริษัทที่ทำการวิจัยพบปัญหาของเสียของผลิตภัณฑ์แขนจับหัวอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์หลายรายการในกระบวนการผลิต โดยเฉพาะกลุ่มของเสียที่ไม่สามารถนำกลับมาทำซ้ำใหม่ได้ จำเป็นต้องทำลายทิ้ง (Scrap) ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งของเสียอาจถูกส่งไปยังกระบวนการถัดไป หรือถูกส่งไปยังลูกค้า ทำให้ลูกค้าไม่พึงพอใจ และเกิดการร้องเรียนจากลูกค้าได้	<b>Problem Statement:</b> จากข้อมูลรายงานการผลิตแขนจับหัวอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ของผลิตภัณฑ์รุ่น S รวมกับรุ่น M ตั้งแต่เดือนมกราคม จนถึงเดือนกรกฎาคม ปี 2556 มีร้อยละของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้ง 15,649 ppm ซึ่งเป็นของเสียจะถูกทำลายทิ้ง โดยมีมูลค่าความสูญเสียจากการทิ้งแขนจับหัวอ่านเขียนจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งเป็นเงิน 9,944,224 บาทต่อปี																		
<b>Objective Statement:</b> ลดร้อยละของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งจากกระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ลงจาก 15,649 ppm เป็น 13,800 ppm (ลด 70% จาก entitlement) ภายในเดือนธันวาคม 2556	<b>Team Member:</b> วิศวกรฝ่ายพัฒนากระบวนการ วิศวกรฝ่ายกระบวนการผลิต วิศวกรฝ่ายเครื่องมือ วิศวกรฝ่ายอุปกรณ์เครื่องจักร หัวหน้าพนักงานงานฝ่ายผลิต พนักงานฝ่ายผลิต ผู้วิจัย (Black Belt)																		
<b>Project Scope:</b> ขอบเขตการศึกษาคือ กระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่านเขียนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ รุ่น S รวมกับรุ่น M เท่านั้น	<b>Time Line:</b> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 60%;"></th> <th style="width: 20%; text-align: center;">แผนสิ้นสุด</th> <th style="width: 20%; text-align: center;">Actual</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Define Phase</td> <td style="text-align: center;">30 มิ.ย. 56</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td>Measure Phase</td> <td style="text-align: center;">31 ก.ค. 56</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td>Analysis Phase</td> <td style="text-align: center;">31 ส.ค. 55</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td>Improve Phase</td> <td style="text-align: center;">30 ก.ย. 56</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td>Control Phase</td> <td style="text-align: center;">31 ต.ค. 56</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> </tbody> </table>		แผนสิ้นสุด	Actual	Define Phase	30 มิ.ย. 56	_____	Measure Phase	31 ก.ค. 56	_____	Analysis Phase	31 ส.ค. 55	_____	Improve Phase	30 ก.ย. 56	_____	Control Phase	31 ต.ค. 56	_____
	แผนสิ้นสุด	Actual																	
Define Phase	30 มิ.ย. 56	_____																	
Measure Phase	31 ก.ค. 56	_____																	
Analysis Phase	31 ส.ค. 55	_____																	
Improve Phase	30 ก.ย. 56	_____																	
Control Phase	31 ต.ค. 56	_____																	
<b>Project Assumption:</b> - ได้รับการสนับสนุนโครงการจากผู้บริหาร (Champion) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่างๆ และทีมงานในระดับปฏิบัติการ ให้ความร่วมมือในการทำการทดลอง และปรับปรุงงานเต็มเวลา และนำผลที่ได้จากการดำเนินงานร่วมกันไปใช้อย่างจริงจังต่อไป - ทีมงานทุกคนเข้าร่วมประชุมความคืบหน้าอย่างน้อยหนึ่งครั้งต่อสัปดาห์	<b>Project Constraint:</b> ในขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไข หากมีความจำเป็นจะต้องมีการดัดแปลงเครื่องจักร หรือปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิต ต้องได้รับการอนุมัติจากผู้อำนวยการฝ่ายวิศวกรรม (Director of Engineering)																		

## บทที่ 4

### การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้วิเคราะห์แหล่งที่มาของปัญหาเพื่อกำหนดปัจจัยนำเข้าหลัก (Key Process Input Variable: KPIVs) ที่อาจมีผลกระทบต่อข้อบกพร่องประเภทการโค้งของชิ้นงาน โดยขั้นแรกต้องทำการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA) เพื่อเป็นหลักประกันความถูกต้องและความเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากระบบการวัด ในค่าข้อมูลที่นำมาใช้ในส่วนต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาดัชนีความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Index) หรือจากการเก็บข้อมูลจำนวนของเสียในขั้นตอนต่างๆ ต่อมาศึกษาแผนผังขั้นตอนการทำงาน (Process Mapping) โดยละเอียดของแต่ละกระบวนการเพื่อนำมาวิเคราะห์กำหนดปัจจัยนำเข้าหลักที่อาจมีผลกระทบต่อข้อบกพร่องประเภทการโค้ง จากนั้นทำการคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่สำคัญบางตัวที่มีผลกระทบสูงไปทดสอบความมีนัยสำคัญต่อไป โดยใช้เกณฑ์ของการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis: FMEA) ในการคัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่จะนำไปศึกษาต่อไป

#### 4.1 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis)

ในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ของข้อบกพร่องประเภทการโค้ง จะใช้เครื่องมือวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Micro Scope) โดยตรวจสอบด้วยสายตาภายใต้กล้องที่กำลังขยายต่ำสุด 10 เท่า ดังนั้นความแม่นยำและความถูกต้อง ในการตัดสินใจยอมรับหรือปฏิเสธในการตรวจสอบ จะขึ้นอยู่กับความแม่นยำ และความถูกต้องของกล้องจุลทรรศน์ อีกทั้งจะขึ้นอยู่กับความสามารถของพนักงานตรวจสอบ เพราะฉะนั้นผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์ระบบการวัดเป็น 2 หัวข้อ ดังนี้

##### 1. การสอบเทียบกล้องจุลทรรศน์ (Calibration)

กล้องจุลทรรศน์ต้องผ่านการสอบเทียบมาตรฐาน ซึ่งมีความถี่ในการสอบเทียบ 1 ครั้งต่อปี

##### 2. การทดสอบความแปรปรวนของระบบการวัดให้มีเสถียรภาพที่ดี (Gage Repeability and Reproducibility) จากการวัดซ้ำๆ โดยใช้ผู้วัดคนเดิม (Repeatability) หรือระหว่างคนวัดแต่ละคน (Reproducibility) ซึ่งเป็นการตรวจสอบด้วยคน มีข้อมูลเป็นแบบหน่วยนับจึงใช้ Attribute Agreement Analysis โดยทำตามขั้นตอนดังนี้

ก) เลือกตัวอย่างผลิตภัณฑ์แขนจับหัวอ่านเขียนรุ่น S รวมกับรุ่น M จากชิ้นงานในกระบวนการผลิต จำนวน 30 ตัวโดยใช้หลักเกณฑ์ในการเลือกตัวอย่างชิ้นงานดังนี้

- ตัวอย่างที่มีข้อบกพร่องประเภทการโก่ง ซึ่งไม่สามารถยอมรับได้ 12 ตัว
  - ตัวอย่างที่ไม่มีข้อบกพร่องประเภทการโก่ง 12 ตัว
  - ตัวอย่างที่มีข้อบกพร่องก้ำกึ่งสามารถยอมรับได้ 3 ตัว
  - ตัวอย่างที่มีข้อบกพร่องก้ำกึ่งไม่สามารถยอมรับได้ 3 ตัว
- ข) ทำการเลือกพนักงานมาทำการตรวจสอบชิ้นงาน ในที่นี้ได้ทำการทดสอบพนักงาน วัด 42 คน เนื่องจากต้องการทดสอบประชากรพนักงานตรวจสอบทั้งหมด
- ค) ให้พนักงานตรวจสอบทั้ง 42 คน ทำการตรวจสอบตัวอย่างงาน 30 ตัวอย่าง ที่ได้ คัดเลือก และให้ตรวจสอบคนละ 2 ครั้ง

เมื่อทำการตรวจสอบชิ้นงานครบทุกคนแล้วนำข้อมูลของพนักงานทั้ง 42 คน มาทำการวิเคราะห์เพื่อดูความสามารถในการตรวจซ้ำของพนักงานแต่ละคน และเปรียบเทียบความแม่นยำและถูกต้องในการตรวจสอบของพนักงานทั้ง 42 คนด้วย (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ 2549)

1. การวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำ หรือรีพีทเทบิลิตีของพนักงานแต่ละคน

ร้อยละรีพีทเทบิลิตีของพนักงานแต่ละคน = ร้อยละคะแนนของพนักงานวัดแต่ละคน  
(%Appraiser score)

$$= \frac{\text{จำนวนครั้งที่ตรวจสอบได้ผลเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}}$$

2. การวิเคราะห์ความถูกต้อง (ความไม่ไปอัสของการตรวจสอบ) ของการวัดของพนักงานแต่ละคน

ร้อยละคะแนนของค่าแอดทริบิวต์ = %Attribute score

$$= \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลการตรวจสอบเหมือนกัน และถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}}$$

3. การวิเคราะห์ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงาน

ร้อยละประสิทธิผลด้านรีพีทเทบิลิตี = %Screen effective score (Reproducibility)

$$= \frac{\text{จำนวนครั้งที่พนักงานตรวจสอบได้ผลเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}}$$

4. การวิเคราะห์ความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงาน

ร้อยละคะแนนของประสิทธิผลของค่าแอดทริบิวต์ (%Accuracy)

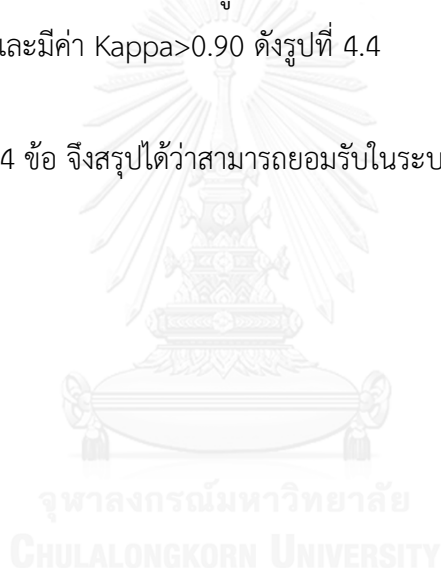
$$= \% \text{Attribute screen effective score}$$

$$= \frac{\text{จำนวนครั้งที่พนักงานทุกคนตรวจสอบได้ถูกต้องเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ตรวจสอบ}}$$

จากผลการวิเคราะห์จะได้ว่า พนักงานทั้งหมด 42 คน ที่คัดเลือกมาตรวจสอบชิ้นงานตัวอย่าง สามารถผ่านเกณฑ์การตรวจสอบ ดังนี้

1. การวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำ พบว่าพนักงานรหัส 16448 มีคะแนนต่ำสุดที่ร้อยละ 96.67 ส่วนพนักงานที่เหลือมีคะแนนเท่ากับร้อยละ 100 ดังรูปที่ 4.1
2. การวิเคราะห์ความถูกต้อง (ความไม่ไบอัสของการตรวจสอบ) ของการวัดของพนักงานแต่ละคน พบว่าพนักงานรหัส 14248, 16042, 13482 และ 16448 โดยมีคะแนนต่ำสุดที่ร้อยละ 96.67 ส่วนพนักงานที่เหลือมีคะแนนเท่ากับร้อยละ 100 ดังรูปที่ 4.2
3. การวิเคราะห์ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงาน มีคะแนนเท่ากับร้อยละ 90 และมีค่า  $Kappa > 0.90$  ดังรูปที่ 4.3
4. การวิเคราะห์ความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงาน มีคะแนนเท่ากับร้อยละ 90 และมีค่า  $Kappa > 0.90$  ดังรูปที่ 4.4

จากดัชนีทั้ง 4 ข้อ จึงสรุปได้ว่าสามารถยอมรับในระบบการตรวจสอบนี้ได้



**Within Appraisers**

**Assessment Agreement**

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
11897	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
15101	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
16087	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
16567	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
8468	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
10218	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
14982	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
15598	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
15704	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
16153	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
16434	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
14371	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
16035	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
16451	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
16505	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
16506	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
18822	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
16175	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
16359	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
14248	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
15455	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
15723	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
16042	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
18019	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
18197	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
18319	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
13482	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
14936	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
16442	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
16448	30	29	96.67	(82.78, 99.92)
16622	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
16634	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
17196	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
18042	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
18193	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
15805	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
15323	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
14712	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
15672	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
16038	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
16345	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
18729	30	30	100.00	(90.50, 100.00)

# Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

รูปที่ 4. 1 ผลลัพธ์ร้อยละการวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานแต่ละคน



### Each Appraiser vs Standard

#### Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
11897	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
15101	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
16087	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
16567	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
8468	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
10218	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
14982	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
15598	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
15704	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
16153	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
16434	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
14371	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
16035	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
16451	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
16505	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
16506	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
18822	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
16175	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
16359	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
14248	30	29	96.67	(82.78, 99.92)
15455	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
15723	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
16042	30	29	96.67	(82.78, 99.92)
18019	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
18197	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
18319	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
13482	30	29	96.67	(82.78, 99.92)
14936	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
16442	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
16448	30	29	96.67	(82.78, 99.92)
16622	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
16634	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
17196	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
18042	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
18193	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
15805	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
15323	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
14712	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
15672	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
16038	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
16345	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
18729	30	30	100.00	(90.50, 100.00)

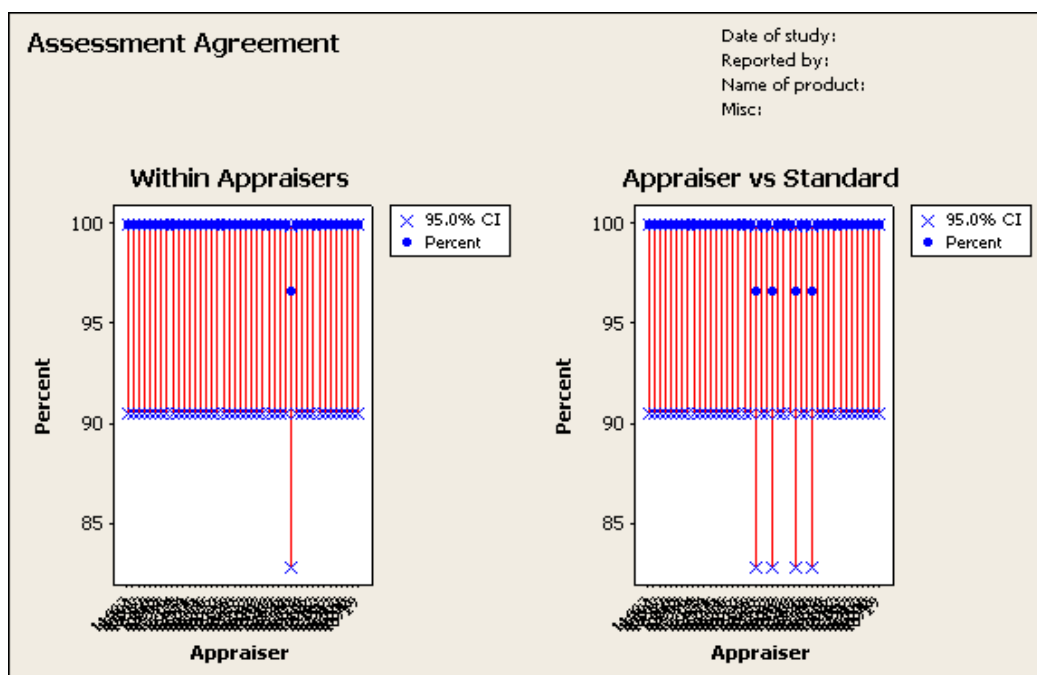
รูปที่ 4.2 ผลลัพธ์ร้อยละการวิเคราะห์ความถูกต้อง (ความไม่ไว้อัสของการตรวจสอบ)  
ของการวัดของพนักงานแต่ละคน

<b>Between Appraisers</b>				
<b>Assessment Agreement</b>				
<b># Inspected</b>	<b># Matched</b>	<b>Percent</b>	<b>95 % CI</b>	
30	27	90.00	(73.47, 97.89)	
<b># Matched: All appraisers' assessments agree with each other.</b>				
<b>Fleiss' Kappa Statistics</b>				
<b>Response</b>	<b>Kappa</b>	<b>SE Kappa</b>	<b>Z</b>	<b>P(vs &gt; 0)</b>
ACC	0.995276	0.0030923	321.861	0.0000
BE3A	0.975943	0.0030923	315.608	0.0000
BE3G	0.995114	0.0030923	321.808	0.0000
BE4G	0.989191	0.0030923	319.893	0.0000
Overall	0.991689	0.0020027	495.168	0.0000

รูปที่ 4.3 ผลลัพธ์ร้อยละการวิเคราะห์ความพ้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงาน

<b>All Appraisers vs Standard</b>				
<b>Assessment Agreement</b>				
<b># Inspected</b>	<b># Matched</b>	<b>Percent</b>	<b>95 % CI</b>	
30	27	90.00	(73.47, 97.89)	
<b># Matched: All appraisers' assessments agree with the known standard.</b>				
<b>Fleiss' Kappa Statistics</b>				
<b>Response</b>	<b>Kappa</b>	<b>SE Kappa</b>	<b>Z</b>	<b>P(vs &gt; 0)</b>
ACC	0.997616	0.0199205	50.0799	0.0000
BE3A	0.989610	0.0199205	49.6780	0.0000
BE3G	0.997662	0.0199205	50.0822	0.0000
BE4G	0.994266	0.0199205	49.9117	0.0000
Overall	0.995777	0.0129174	77.0882	0.0000

รูปที่ 4.4 ผลลัพธ์ร้อยละการวิเคราะห์ความพ้องกันและถูกต้องของค่าวัดระหว่างพนักงาน



รูปที่ 4.5 แสดงผลทางกราฟ Within Appraisers และ Appraiser vs Standard

#### 4.2 การวัดความสามารถของกระบวนการผลิตปัจจุบัน

จากที่ได้กล่าวในขั้นตอนการกำหนดปัญหาของผลิตภัณฑ์แขนจับหัวอ่านเขียนที่อาจมีผลกระทบต่อข้อบกพร่องประเภทการโค้งงอของรุ่น S รวมกับรุ่น M ด้วยอัตราร้อยละ 1.56 ซึ่งหลังจากทำการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis) ผ่านแล้วทำให้สามารถนำข้อมูลที่ได้จัดเก็บมาพิจารณาในด้านความสามารถของกระบวนการผลิตในช่วงระยะยาว พบว่าค่าดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Index, Ppk) ได้จากการคำนวณค่า Z จะได้ว่า Ppk มีค่าเท่ากับ 0.7178 ดังแสดงในรูป 3.3

โดยดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ จะถูกแทนด้วยสัญลักษณ์ Cpk และ Ppk ซึ่งทั้งสองสัญลักษณ์นี้ใช้แตกต่างกัน คือ Cpk เป็นดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการในระยะสั้น นั่นก็คือ เป็นการศึกษาความสามารถของกระบวนการในรอบระยะเวลาหนึ่ง คนงาน 1 คน เครื่องจักร 1 เครื่อง และชิ้นงานในกระบวนการ 1 ล็อต เป็นต้น ส่วน Ppk เป็นดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการในระยะยาวนาน คนงานมากกว่า 1 คน เครื่องจักรมากกว่า 1 เครื่อง และชิ้นงานในกระบวนการมากกว่า 1 ล็อต

ที่ระดับคุณภาพของซิกซ์ ซิกมา จะได้ว่าที่ Ppk=2.0 มีอัตราของเสียสูงสุดอยู่ที่ 3.4 ppm

เราจะพบว่าในปัจจุบันกระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่านเขียนมีค่าความสามารถของกระบวนการ  $Ppk=0.7178$  ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ยอมรับคือ  $Ppk>1.33$  นั้นแสดงให้เห็นว่ากระบวนการผลิตจะต้องทำการแก้ไขปรับปรุงเพื่อให้บรรลุเป้าหมาย

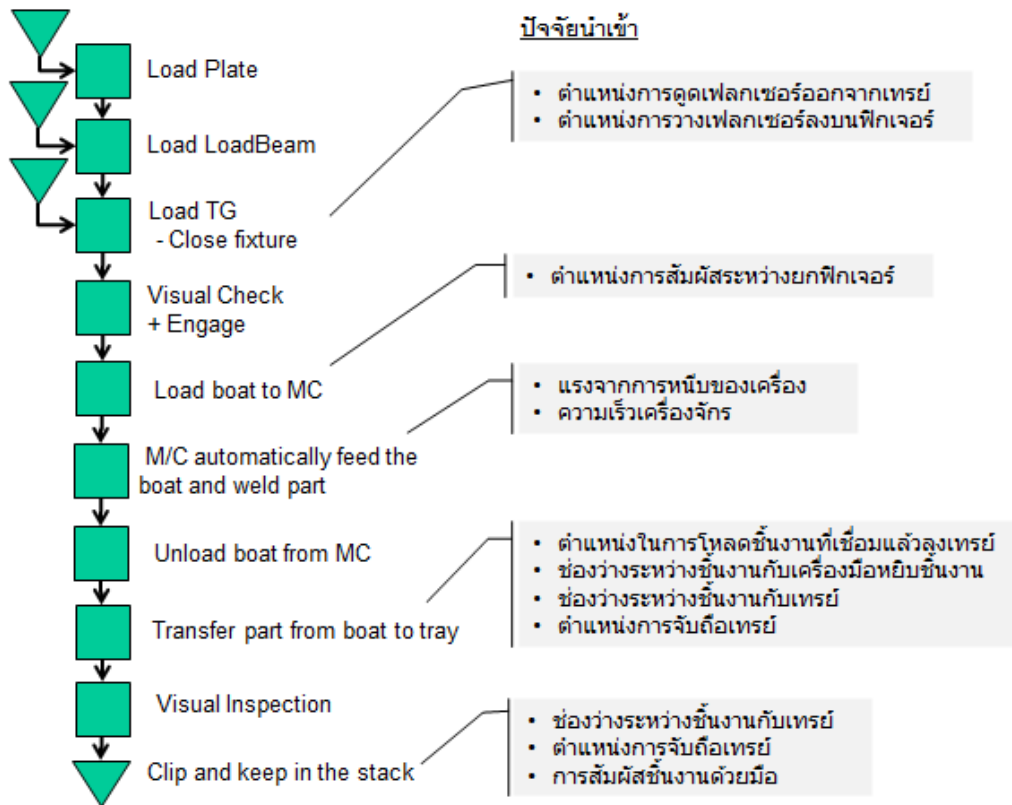
#### 4.3 การประเมินความสัมพันธ์ของตัวแปร เพื่อหาปัจจัยนำเข้าสู่ที่สำคัญ (Key Process Input Variable: KPIV) ที่อาจมีผลกระทบต่อปัญหา

จากหัวข้อ 3.5 การศึกษาสภาพปัญหา และกำหนดปัญหาที่ต้องการศึกษา จะนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อมาประเมินความสัมพันธ์ของตัวแปรปัจจัยนำเข้าสู่ที่อาจมีผลกระทบต่อปัญหา (Key Process Input Variable: KPIVs) กับตัวแปรปัญหาข้อบกพร่องประเภทการโค้ง (Key Process Output Variable: KPOVs) โดยทำการศึกษาแผนผังขั้นตอนการทำงาน (Process Mapping) อย่างละเอียดแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่านเขียนที่พบของเสียประเภทการโค้ง จากนั้นทำการวิเคราะห์เพื่อประเมินหาปัจจัยนำเข้าสู่ (Process Input) ที่อาจมีผลกระทบกับปัญหาที่ศึกษา โดยอาศัยเครื่องมือเพื่อวิเคราะห์ข้อบกพร่อง และผลกระทบของกระบวนการ โดยใช้ตารางการวิเคราะห์ข้อบกพร่อง และผลกระทบต่อปัญหา (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA) แล้วนำคะแนนอาพีเอ็น (RPN) มาทำการวิเคราะห์แผนภูมิพาเรโตอีกครั้ง เพื่อสรุปปัจจัยที่สำคัญที่จะนำไปทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

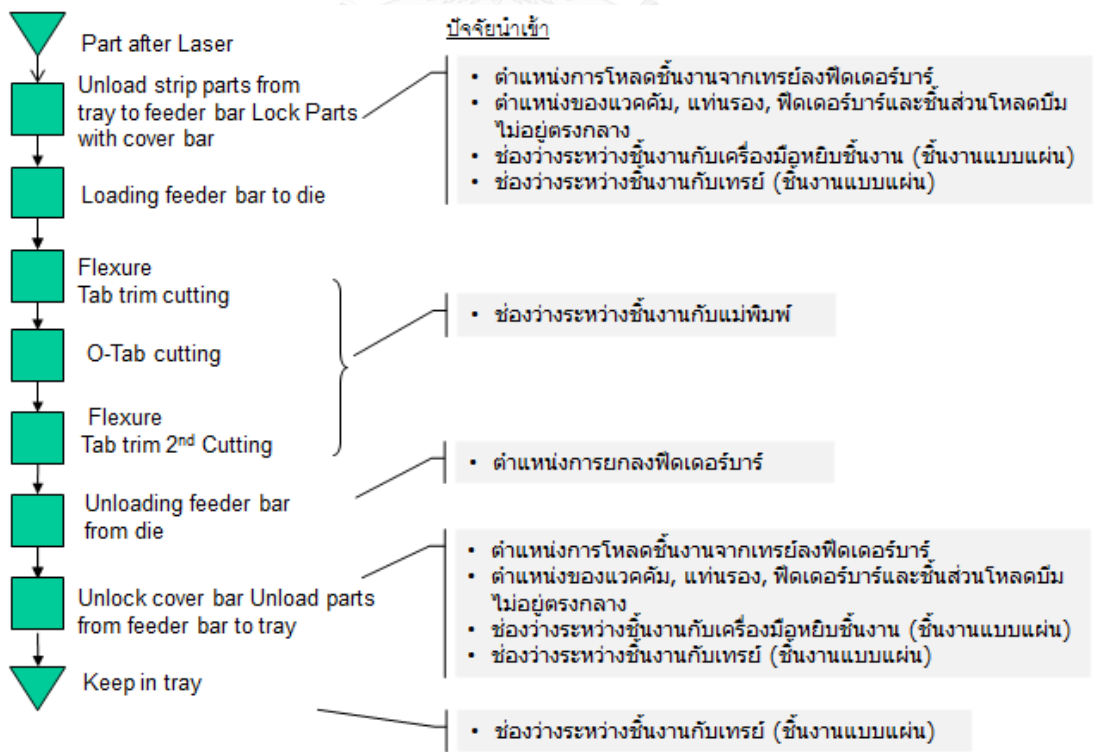
##### 4.3.1 แผนผังขั้นตอนการทำงาน (Process Mapping)

ในการสร้างแผนผังขั้นตอนการทำงานโดยทำการระดมสมองจากทีมงานที่ได้ทำการจัดตั้งขึ้นมา เพื่อนำข้อมูลและรายละเอียดที่สำคัญของแต่ละหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ และผลิตภัณฑ์แขนจับหัวอ่านเขียน รุ่น S รวมกับรุ่น M

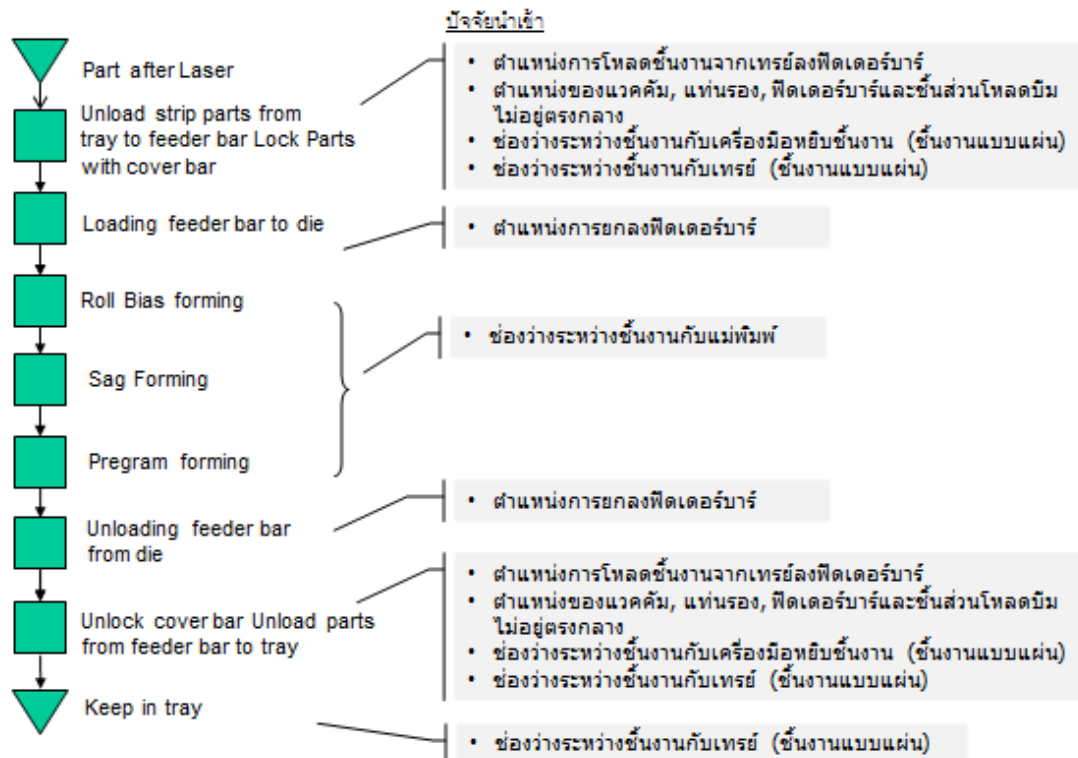
โดยจะทำการวิเคราะห์หาปัจจัยนำเข้าสู่ของกระบวนการผลิตที่เป็นสาเหตุหลักของการเกิดข้อบกพร่องประเภทการโค้ง ในหัวข้อที่ 3.5 ซึ่งจะมีอยู่ทั้งหมด 6 กระบวนการได้แก่ Laser Weld, Cutting, Forming, Final Trim, Damper Attach และ Backend ซึ่งจะนำข้อมูลนี้ไปประเมินหาปัจจัยนำเข้าสู่ จากกระบวนการที่พบข้อบกพร่อง โดยในขั้นตอนนี้เมื่อทราบกระบวนการที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องแบบต่างๆ จะใช้หลักการ 5M (Man, Machine, Method, Material, Measurement) เพื่อระบุปัจจัยนำเข้าสู่ที่เป็นไปได้โดยพิจารณาแผนผังขั้นตอนการทำงานย่อย (Micro Process Mapping) ของแต่ละกระบวนการ ดังรูปที่ 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, และ 4.11



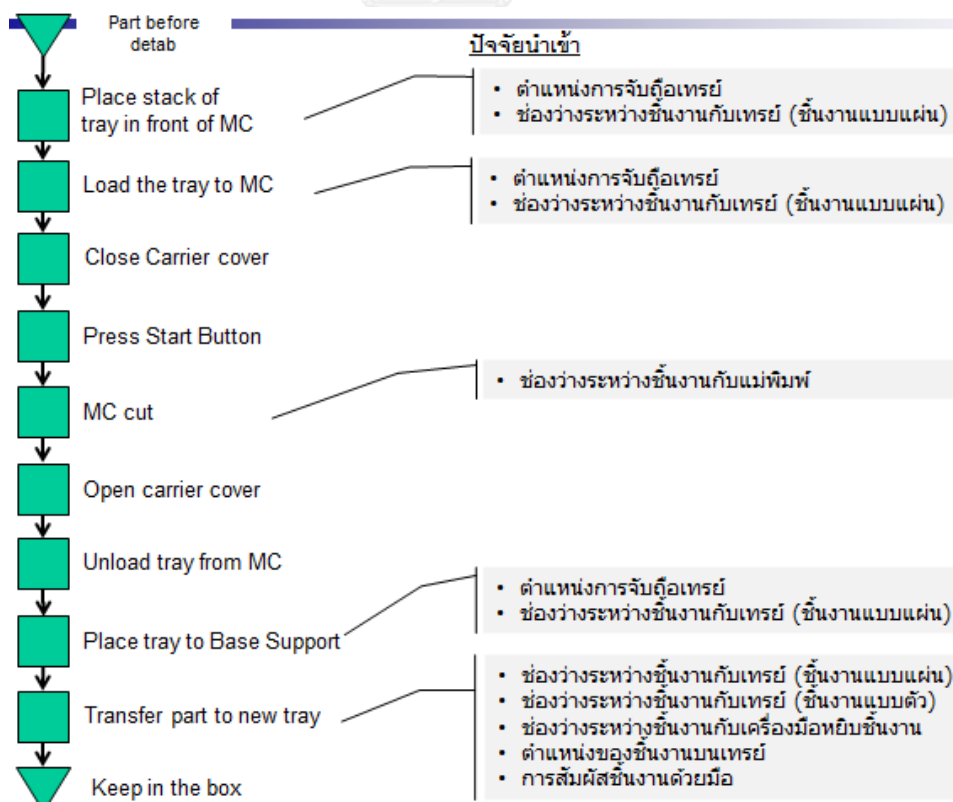
รูปที่ 4.6 แผนผังขั้นตอนการทำงานย่อยระบุปัจจัยนำเข้าของกระบวนการ Laser Weld



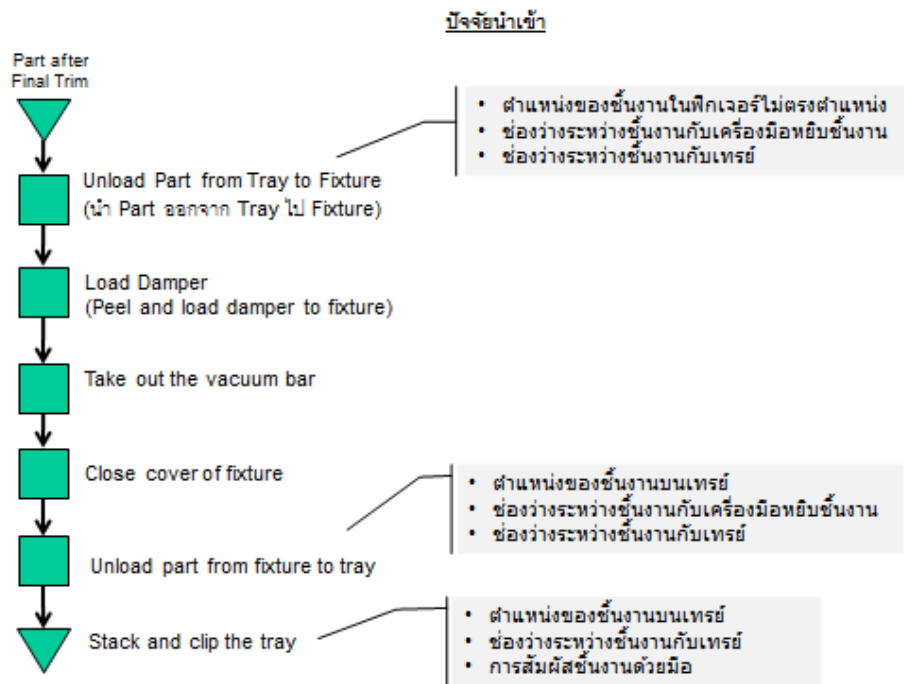
รูปที่ 4.7 แผนผังขั้นตอนการทำงานย่อยระบุปัจจัยนำเข้าของกระบวนการ Cutting



รูปที่ 4.8 แผนผังขั้นตอนการทำงานย่อยระบุปัจจัยนำเข้าของกระบวนการ Forming



รูปที่ 4.9 แผนผังขั้นตอนการทำงานย่อยระบุปัจจัยนำเข้าของกระบวนการ Final Trim



รูปที่ 4.10 แผนผังขั้นตอนการทำงานย่อยระบุปัจจัยนำเข้าของกระบวนการ Damper



รูปที่ 4.11 แผนผังขั้นตอนการทำงานย่อยระบุปัจจัยนำเข้าของกระบวนการ Backend

จากแผนผังขั้นตอนการทำงานย่อย (Micro process mapping) ข้างต้น สามารถสรุปปัจจัยนำเข้าทั้งหมดในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4. 1 สรุปปัจจัยนำเข้าจากแผนผังขั้นตอนการทำงานย่อย

กระบวนการ	ที่	ปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผลกระทบต่อปัญหา
Laser Weld	1	ตำแหน่งการดูเฟลกเซอร์ออกจากเทอร์ย์
	2	ตำแหน่งการวางเฟลกเซอร์ลงบนฟีกเจอร์
	3	ตำแหน่งการสัมผัสระหว่างยกฟีกเจอร์
	4	แรงจากการหนีบของเครื่อง
	5	ความเร็วเครื่องจักร
	6	ตำแหน่งในการโหลดชิ้นงานที่เชื่อมแล้วลงเทอร์ย์
	7	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน
	8	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทอร์ย์
	9	ตำแหน่งการจับถือเทอร์ย์
	10	การสัมผัสชิ้นงานด้วยมือ
Cutting	11	ตำแหน่งการโหลดชิ้นงานจากเทอร์ย์ลงฟีดเดอร์บาร์
	12	ตำแหน่งของแวกคัม, แท่นรอง, ฟีดเดอร์บาร์ และชิ้นส่วนโหลดบีบไม่อยู่ตรงกลาง
	13	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน (ชิ้นงานแบบแผ่น)
	14	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทอร์ย์ (ชิ้นงานแบบแผ่น)
	15	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์
	16	ตำแหน่งการยกลงฟีดเดอร์บาร์
Forming	17	ตำแหน่งการโหลดชิ้นงานจากเทอร์ย์ลงฟีดเดอร์บาร์
	18	ตำแหน่งของแวกคัม, แท่นรอง, ฟีดเดอร์บาร์และชิ้นส่วนโหลดบีบไม่อยู่ตรงกลาง
	19	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน (ชิ้นงานแบบแผ่น)
	20	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทอร์ย์ (ชิ้นงานแบบแผ่น)
	21	ตำแหน่งการยกลงฟีดเดอร์บาร์
	22	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์
Final Trim	23	ตำแหน่งการจับถือเทอร์ย์
	24	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทอร์ย์ (ชิ้นงานแบบแผ่น)
	25	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์



ตารางที่ 4.1 สรุปปัจจัยนำเข้าจากแผนผังขั้นตอนการทำงานย่อย (ต่อ)

กระบวนการ	ที่	ปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผลกระทบต่อปัญหา
Final Trim	26	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทอร์ย์ (ชิ้นงานแบบตัว)
	27	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน
	28	ตำแหน่งของชิ้นงานบนเทอร์ย์
	29	การสัมผัสชิ้นงานด้วยมือ
	30	สถานะของแม่พิมพ์
Damper attach	31	ตำแหน่งของชิ้นงานในฟิกเจอร์ไม่ตรงตำแหน่ง
	32	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน

ต่อมานำปัจจัยนำเข้าที่ได้จากการระดมสมองระบุมาทำการจัดลำดับความสำคัญโดยประยุกต์เกณฑ์ของการวิเคราะห์ข้อบกพร่อง และผลกระทบของกระบวนการ (FMEA) ในขั้นตอนถัดไป

#### 4.3.2 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ

##### FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)

ขั้นตอนนี้ นำข้อมูลตัวแปรที่ได้จากแผนผังขั้นตอนการทำงานมาทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง และผลกระทบ เพื่อจะเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัย โดยจะนำปัจจัยที่มีความสำคัญสูงๆ นำไปทดสอบยสำคัญต่อไป ซึ่งจะใช้เครื่องมือตารางการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบของกระบวนการ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA) โดยจะทำการพิจารณาความรุนแรง (Severity: S) ของข้อบกพร่อง โอกาสในการเกิดของสาเหตุข้อบกพร่อง (Occurrence: O) และความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่อง (Detection: D) ซึ่งจะทำให้การประเมินโดยการให้คะแนนความรุนแรงของความข้อบกพร่อง คะแนนโอกาสในการเกิดของสาเหตุข้อบกพร่อง และคะแนนความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่อง

โดยทั้งนี้ในการประเมินให้คะแนน ค่า S, O และ D ของการวิเคราะห์ FMEA สำหรับกระบวนการของงานวิจัยนี้ ได้อ้างอิงเกณฑ์ในการประเมินของ (FMEA Manual: Chrysler, Ford General Motors Supplier Quality Requirements Task Force) ((AIAG) 2001) ซึ่งถือเป็นเกณฑ์ที่ยอมรับของคณะทำงานที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ FMEA ของโรงงานกรณีศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 และต่อมาคำนวณค่าความสำคัญของความเสี่ยง (RPN) โดยค่านี้ได้มาจากผลคูณของค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัวคือ S X O X D

ผลการวิเคราะห์ FMEA ของกระบวนการที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภทการโค้งงอแสดงรายละเอียดไว้ในตารางการวิเคราะห์ FMEA ตารางที่ 4.5 และค่าคะแนน RPN ที่ได้จากการวิเคราะห์รวมทั้งเปอร์เซ็นต์ของคะแนนสะสมรวม แสดงไว้ในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.12 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 เกณฑ์ในการประเมินความรุนแรง (Severity: S)

ผลกระทบ	เกณฑ์ : ความร้ายแรงของผลกระทบ	จัดอยู่ในชั้น
เต็มไปด้วยอันตรายโดยปราศจากการเตือน	อาจทำให้เกิดอันตรายต่อเครื่องจักรหรือผู้ทำการประกอบมีระดับความร้ายแรงของปัญหาสูงเมื่อความเป็นไปได้ของความผิดพลาดมีผลกระทบกับความปลอดภัยของกระบวนการ และ / หรือไม่เป็นไปตามข้อบังคับทางราชการ ความผิดพลาดจะเกิดขึ้นโดยไม่มีการเตือน	10
เต็มไปด้วยอันตรายโดยปราศจากการเตือน	อาจทำให้เกิดอันตรายต่อเครื่องจักรหรือผู้ทำการประกอบมีระดับความร้ายแรงของปัญหาสูงเมื่อความเป็นไปได้ของความผิดพลาดมีผลกระทบกับความปลอดภัยของกระบวนการและ / ไม่เป็นไปตามข้อบังคับทางราชการ ความผิดพลาดจะเกิดขึ้นโดยมีการเตือนไว้แล้ว	9
สูงมาก	ความยุ่งยากส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในสายการผลิต โดย 100 % ของผลิตภัณฑ์ที่ต้องคัดออก เครื่องจักรไม่อาจใช้งานได้ เนื่องจากความสามารถการใช้งานเบื้องต้นสูญเสียไป ลูกค้านำไม่พอใจมาก	8
สูง	ความยุ่งยากส่วนน้อยที่เกิดขึ้นในสายการผลิต โดยผลิตภัณฑ์ที่ผลิตมีการคัดเลือกและทิ้ง (น้อยกว่า 100%) เครื่องจักรทำงานแต่ความสามารถในการปฏิบัติงานของเครื่องจักรจะมีระดับลดลง ลูกค้านำไม่พอใจ	7
พอสมควร	ความยุ่งยากส่วนน้อยที่เกิดขึ้นในสายการผลิต โดยบางส่วน(น้อยกว่า 100%) ของผลิตภัณฑ์ อาจถูกทิ้ง(ไม่มีการคัดเลือก) เครื่องจักรหรือชิ้นส่วนมีการทำงานแต่บางครั้งไม่สามารถทำงานได้สะดวก ลูกค้านำได้รับความไม่สะดวก	6
ต่ำ	ความยุ่งยากส่วนน้อยที่เกิดขึ้นในสายการผลิต โดย 100% ของผลิตภัณฑ์อาจต้องถูกทำใหม่ เครื่องจักร/ชิ้นส่วน มีการทำงานแต่บางครั้งความสะดวกในการทำงานมีระดับลดลง ลูกค้านำได้รับความไม่สะดวกในบางครั้ง	5
ต่ำมาก	ความยุ่งยากส่วนน้อยที่เกิดขึ้นในสายการผลิต โดยผลิตภัณฑ์ อาจจะต้องถูกคัดแยกและบางส่วน (น้อยกว่า 100% ) มีการทำใหม่ ชิ้นส่วนที่ผลิตออกมาไม่ได้ตามขนาดที่ต้องการ มีการร้องเรียนจากลูกค้าส่วนใหญ่	4
น้อย	ความยุ่งยากส่วนน้อยที่เกิดขึ้นในสายการผลิต โดยผลิตภัณฑ์ (น้อยกว่า 100% ) อาจจะมีการทำใหม่ในสายงาน แต่ไม่สามารถควบคุมคุณภาพได้ชิ้นส่วนที่ผลิตออกมาไม่ได้ตามขนาดที่ต้องการ มีการร้องเรียนจากลูกค้าบ้าง	3
น้อยมาก	ความยุ่งยากส่วนน้อยที่เกิดขึ้นในสายการผลิต โดยส่วน (น้อยกว่า 100% ) ของผลิตภัณฑ์ อาจจะมีการทำงานใหม่ในสายงาน แต่สามารถควบคุมคุณภาพ ชิ้นส่วนที่ผลิตออกมาไม่ได้ตามขนาดที่ต้องการ การร้องเรียนจากลูกค้าที่ช่างสังเกต	2
ไม่มี	ไม่มีผลกระทบ	1

ตารางที่ 4.3 เกณฑ์ในการประเมินโอกาสการเกิดของสาเหตุข้อบกพร่อง (Occurrence: C)

ความน่าจะเป็นของความผิดพลาด	ระดับความเป็นไปได้ของความผิดพลาด	จัดอยู่ในชั้น
สูงมาก: ความผิดพลาดนี้ส่วนใหญ่ไม่สามารถจะหลีกเลี่ยงได้	1 ใน 2 (มากกว่า 50%)	10
	1 ใน 3 (33.33 %)	9
สูง: โดยทั่วไปมีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการที่คล้ายกันจนถึงกระบวนการก่อนหน้านี้ซึ่งเกิดขึ้นบ่อย	1 ใน 8 (12.5 %)	8
	1 ใน 20 (5 %)	7
พอสมควร: โดยทั่วไปมีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการที่คล้ายกันจนถึงกระบวนการก่อนหน้านี้ซึ่งมีการเกิดขึ้นของความผิดพลาดแต่ไม่ใช่สัดส่วนที่มาก	1 ใน 80 (1.5 %)	6
	1 ใน 400 (0.25 %)	5
	1 ใน 2000 (0.05 %)	4
ต่ำ: ความผิดพลาดอย่างเดียวที่มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการที่คล้ายกัน	1 ใน 15,000 (0.0067 %)	3
ต่ำมาก: ความผิดพลาดเพียงหนึ่งเดียวที่มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการเหมือนกัน	1 ใน 150,000 (0.00067 %)	2
น้อยนิด: ความผิดพลาดที่ไม่น่าเป็นไปได้	1 ใน 1,500,000 (0.000067 %)	1

ตารางที่ 4.4 เกณฑ์ในการประเมินความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่อง (Detection: D)

การตรวจสอบ	เกณฑ์ : ข้อบกพร่องที่มีอยู่ในตอนนี้จะถูกตรวจสอบโดยกระบวนการควบคุมก่อนจะไปกระบวนการถัดไปหรือก่อนขึ้นชิ้นส่วนหรือส่วนประกอบออกจากสถานที่ทำการผลิตหรือประกอบ	จัดอยู่ในชั้น
เกือบจะเป็นไปไม่ได้	ไม่ทราบว่าจะหาการควบคุมใดมาป้องกันความเสียหาย	10
ไกลมาก	การควบคุมที่ใช้ในเวลานี้ยังอีกไกลมากที่จะป้องกันความผิดพลาด	9
ไกล	การควบคุมที่ใช้ในเวลานี้ยังอีกไกลที่จะป้องกันความผิดพลาด	8
ต่ำมาก	การควบคุมที่ใช้ในเวลานี้ยังอีกต่ำมากที่จะป้องกันความผิดพลาด	7
ต่ำ	การควบคุมที่ใช้ในเวลานี้ยังอีกต่ำที่จะป้องกันความผิดพลาด	6
พอสมควร	การควบคุมในตอนนี้มีพอสมควรที่จะป้องกันความผิดพลาด	5
สูงพอสมควร	การควบคุมในตอนนี้มีสูงพอสมควรที่จะป้องกันความผิดพลาด	4
สูง	การควบคุมในตอนนี้มีสูงที่จะป้องกันความผิดพลาด	3
สูงมาก	การควบคุมในตอนนี้มีสูงมากที่จะป้องกันความผิดพลาด	2
เกือบแน่นอน	การควบคุมตอนนี้ค่อนข้างแน่นอนที่ป้องกันความผิดพลาด และความน่าเชื่อถือของการควบคุมการป้องกันเป็นที่รู้จักในกระบวนการที่คล้ายคลึงกัน	1

อ้างอิงจาก FMEA Manual (Chrysler, Ford General Motors Supplier Quality Requirements Task Force)

เพื่อเป็นแนวทางให้กับสมาชิกของคณะทำงาน สำหรับการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบการโค้ง ในการให้คะแนนจึงได้กำหนดคะแนนเพื่อใช้หลักการร่วมกัน 4 ระดับเนื่องจากหากใช้เกณฑ์ 10 ระดับสมาชิกของคณะทำงานบอกความแตกต่างของระดับได้ยากเพราะระดับใกล้เคียงกันไป โดยมีระดับดังนี้

Severity: ความรุนแรงของของเสีย (Failure Effect)

- 10: ทำให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้ง  
ไม่สามารถนำกลับมาทำซ้ำใหม่ได้เลย
- 7: ทำให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้ง  
แต่สามารถนำกลับมาทำซ้ำใหม่ได้เป็นส่วนน้อย
- 4: ทำให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้ง  
แต่สามารถนำกลับมาทำซ้ำใหม่ได้เป็นส่วนใหญ่
- 1: ให้เกิดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้ง แต่สามารถยอมรับได้

Occurrence: โอกาสที่จะเกิดสาเหตุนี้ แล้วทำให้มีของเสียเกิดขึ้น

- 10: เกิดบ่อยมาก
- 7: เกิดบ่อย
- 4: เกิดน้อย
- 1: แทบไม่เกิด

Detection: สามารถป้องกันไม่ให้เกิดความผิดปกติที่สาเหตุ (ควบคุมไม่ให้ KPIV ผิดปกติ) หรือสามารถป้องกันไม่ให้ของเสียที่เกิดขึ้นส่งไปกระบวนการถัดไป (ตรวจสอบไม่ให้ของเสียหลุด)

- 10: ตรวจสอบป้องกันเกือบไม่ได้เลย
- 7: ตรวจสอบป้องกันได้ส่วนน้อย
- 4: ตรวจสอบป้องกันได้ส่วนใหญ่
- 1: ตรวจสอบป้องกันได้เกือบทั้งหมด

ตารางที่ 4.5 รายละเอียดการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis)

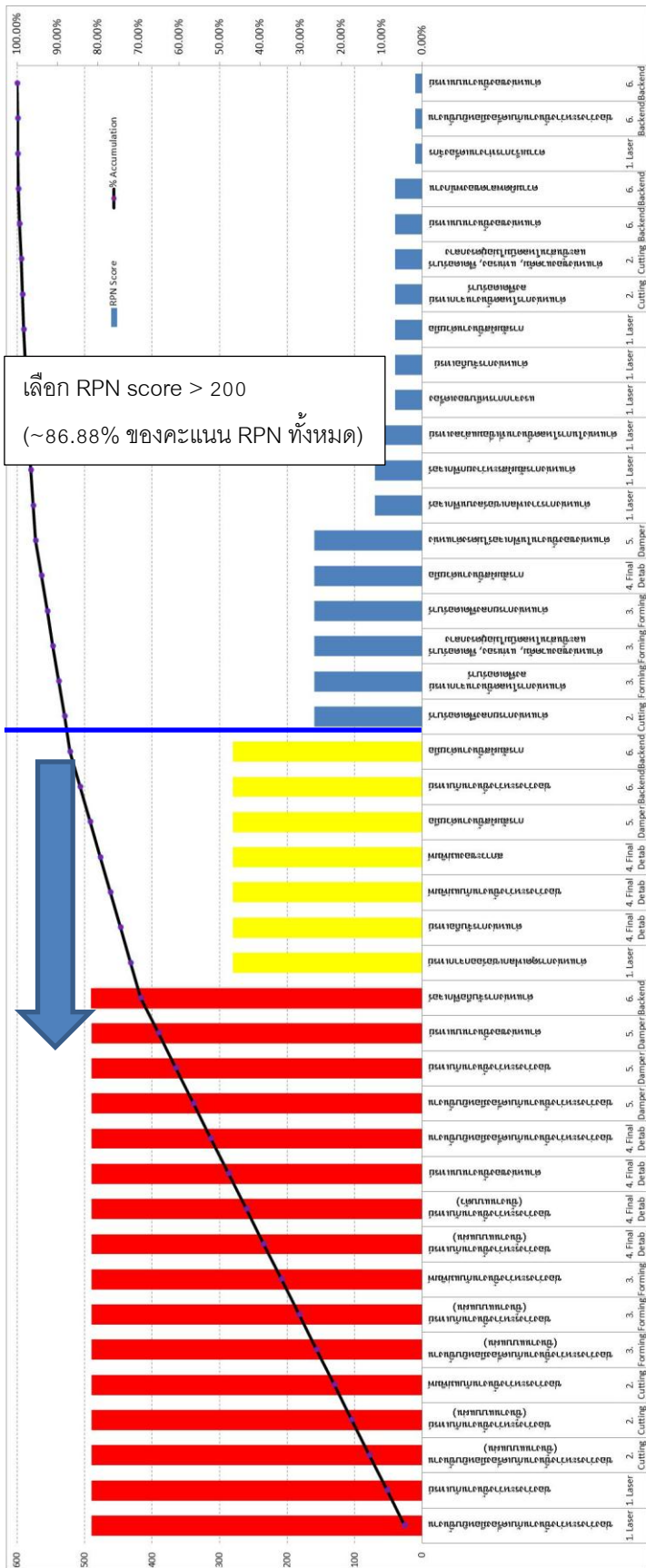
Process Step	Key Process Input	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	S E V	Potential Causes	O C C	Current Controls	D E F I	R P N
1. Laser	ตำแหน่งการตัดเหล็กออกจากเหรียญ	ขยับเขยื้อน	ขีปนาวุธระเบิด (Bend)	10	ความผิดพลาดจากพนักงาน / การออกแบบเหรียญไม่เหมาะสม	4	เอกสารวิธีการทำงาน	7	280
1. Laser	ตำแหน่งการวางเหล็กเซอร์ลงบนฟิวเจอร์ด้านข้าง	วางเหล็กเซอร์ผิดตำแหน่ง	ขีปนาวุธระเบิด (Bend)	10	ความผิดพลาดจากพนักงาน	1	เอกสารวิธีการทำงาน	7	70
1. Laser	ตำแหน่งการสัมผัสระหว่างยกฟิวเจอร์	สัมผัสชิ้นงาน	ขีปนาวุธระเบิด (Bend)	10	ความผิดพลาดของพนักงาน / การออกแบบฟิวเจอร์ไม่ให้ป้องกันอาการสัมผัสชิ้นงาน	1	เอกสารวิธีการทำงาน	7	70
1. Laser	แรงจากการทำงานของเครื่อง	สูงเกินไป	ขีปนาวุธระเบิด (Bend)	10	การตั้งค่าผิด	1	เอกสารวิธีการทำงาน	4	40
1. Laser	ความเร็วการทำงานเครื่องจักร	เร็วเกินไป	ขีปนาวุธระเบิด (Bend)	10	ชิ้นงานหลุดจากตำแหน่ง	1	เอกสารวิธีการทำงาน	1	10
1. Laser	ตำแหน่งในการไหลชิ้นงานที่เชื่อมและลงเหรียญ	ผิดตำแหน่ง	ขีปนาวุธระเบิด (Bend)	10	ความผิดพลาดของพนักงาน / เครื่องมือ ชิ้นงานผิดตำแหน่ง / การออกแบบเครื่องเชื่อมไม่เหมาะสม	1	เอกสารวิธีการทำงาน	7	70
1. Laser	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องเชื่อมชิ้นงาน	ไม่มีช่องว่าง	ขีปนาวุธระเบิด (Bend)	10	การออกแบบเหรียญไม่เหมาะสม	7	เอกสารวิธีการทำงาน	7	490
1. Laser	ตำแหน่งการจับเครื่อง	สัมผัสชิ้นงาน	ขีปนาวุธระเบิด (Bend)	10	ความผิดพลาดของพนักงาน / พนักงานไม่ปฏิบัติตาม	1	เอกสารวิธีการทำงาน	4	40
1. Laser	การสัมผัสชิ้นงานด้วยมือ	ไม่มีสัมผัสกับเหรียญ	ขีปนาวุธระเบิด (Bend)	10	ความผิดพลาดของพนักงาน / พนักงานไม่ปฏิบัติตาม	1	เอกสารวิธีการทำงาน	4	40
2. Cutting	ตำแหน่งการไหลชิ้นงานจากเหรียญลงฟิวเจอร์	ผิดตำแหน่ง	ขีปนาวุธระเบิด (Bend)	10	เอกสารวิธีการทำงาน / การออกแบบเหรียญไม่ป้องกัน	1	เอกสารวิธีการทำงาน	4	40
2. Cutting	ตำแหน่งของค้อน, แหรง, ฟิวเจอร์ และชิ้นส่วนไหลอยู่ในโต๊ะกลาง	ผิดตำแหน่ง	ขีปนาวุธระเบิด (Bend)	10	ความผิดพลาดของพนักงาน / ไม่มีเครื่องมือ ชิ้นงานพร้อมใช้	4	เอกสารวิธีการทำงาน	1	40
2. Cutting	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องเชื่อมชิ้นงาน	ไม่มีช่องว่าง	ขีปนาวุธระเบิด (Bend)	10	การออกแบบเครื่องเชื่อม ชิ้นงานไม่เหมาะสม	7	เอกสารวิธีการทำงาน	7	490
2. Cutting	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเหรียญ (ชิ้นงานแบบแผ่น)	ไม่มีช่องว่าง	ขีปนาวุธระเบิด (Bend)	10	การออกแบบเหรียญไม่เหมาะสม	7	เอกสารวิธีการทำงาน	7	490
2. Cutting	ตำแหน่งการไหลฟิวเจอร์	ผิดตำแหน่ง	ขีปนาวุธระเบิด (Bend)	10	ความผิดพลาดของพนักงาน / ไม่มีเครื่องมือ ชิ้นงานพร้อมใช้	4	เอกสารวิธีการทำงาน	4	160
3. Forming	ตำแหน่งของค้อน, แหรง, ฟิวเจอร์ และชิ้นส่วนไหลอยู่ในโต๊ะกลาง	ผิดตำแหน่ง	ขีปนาวุธระเบิด (Bend)	10	ความผิดพลาดของพนักงาน / ไม่มีเครื่องมือ ชิ้นงานพร้อมใช้	4	เอกสารวิธีการทำงาน	4	160
3. Forming	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องเชื่อมชิ้นงาน	ไม่มีช่องว่าง	ขีปนาวุธระเบิด (Bend)	10	การออกแบบเครื่องเชื่อม ชิ้นงานไม่เหมาะสม	7	เอกสารวิธีการทำงาน	7	490
3. Forming	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเหรียญ (ชิ้นงานแบบแผ่น)	ไม่มีช่องว่าง	ขีปนาวุธระเบิด (Bend)	10	การออกแบบเหรียญไม่เหมาะสม	7	เอกสารวิธีการทำงาน	7	490
3. Forming	ตำแหน่งการไหลฟิวเจอร์	ผิดตำแหน่ง	ขีปนาวุธระเบิด (Bend)	10	ความผิดพลาดของพนักงาน / ไม่มีเครื่องมือ ชิ้นงานพร้อมใช้	4	เอกสารวิธีการทำงาน	4	160
3. Forming	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเหรียญ	ไม่มีช่องว่าง	ขีปนาวุธระเบิด (Bend)	10	การออกแบบเหรียญไม่เหมาะสม	7	เอกสารวิธีการทำงาน	7	490

ตารางที่ 4.5 รายละเอียดการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (ต่อ)  
(Failure Mode and Effect Analysis)

Process Step	Key Process Input	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	S E V	Potential Causes	O C C	Current Controls	D E T	R P N
What is the process step	What is the Key Process Input?	In what ways does the Key Input go wrong?	What is the Impact on the Key Output Variables (Customer Requirements) or Internal requirements?	How Severe is the effect to the customer?	What causes the Key input to go wrong?	How often does cause of FM occur?	What are the existing controls (inspection and test) that prevent either the cause or the Failure Mode? <b>Should include an SOP number.</b>	How well can you detect cause of FM?	
4. Final Trim	ตำแหน่งการจับมือแพร่	ล้มล้มชิ้นงาน	ขอมกพร่องประเภท บัง (Bend)	10	ความผิดพลาดของพนักงาน/ไม่มีการผูกมัดเครื่องจักรส่วนดีชิ้นงาน	7	เอกสารวิธีการทำงาน	4	280
4. Final Trim	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแพร่ (ชิ้นงานแบบแผ่น)	ไม่มีช่องว่าง	ขอมกพร่องประเภท บัง (Bend)	10	การออกแบบแพร่ไม่เหมาะสม	7	เอกสารวิธีการทำงาน	7	490
4. Final Trim	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์	ไม่มีช่องว่าง	ขอมกพร่องประเภท บัง (Bend)	10	การออกแบบแม่พิมพ์ไม่เหมาะสม/ การตัดโค้งไม่ถูกต้อง	7	เอกสารวิธีการทำงาน	4	280
4. Final Trim	สภาวะของแม่พิมพ์	สภาวะของแม่พิมพ์ไม่ดี	ขอมกพร่องประเภท บัง (Bend)	10	ความผิดพลาดของกระบวนการร้องงาน(Feed)	7	เอกสารวิธีการทำงาน	4	280
4. Final Trim	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแพร่ (ชิ้นงานแบบตัว)	ไม่มีช่องว่าง	ขอมกพร่องประเภท บัง (Bend)	10	การออกแบบแพร่ที่ไม่เหมาะสม	7	เอกสารวิธีการทำงาน	7	490
4. Final Trim	ตำแหน่งของชิ้นงานบนแพร่	ผิดตำแหน่ง	ขอมกพร่องประเภท บัง (Bend)	10	เครื่องมือจับชิ้นงานผิดตำแหน่ง/ การออกแบบเครื่องมือจับชิ้นงาน ไม่เหมาะสม	7	เอกสารวิธีการทำงาน	7	490
4. Final Trim	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน	ไม่มีช่องว่าง	ขอมกพร่องประเภท บัง (Bend)	10	การออกแบบเครื่องมือจับชิ้นงานไม่เหมาะสม	7	เอกสารวิธีการทำงาน	7	490
4. Final Trim	การสัมผัสชิ้นงานด้วยมือ	นิ้วมือสัมผัสกับแพร่ ทำให้ชิ้นงานบิดงอ	ขอมกพร่องประเภท การโค้ง (Bend)	10	ความผิดพลาดของพนักงาน พนักงานไม่ปฏิบัติตามเอกสารวิธีการทำงาน/การออกแบบแพร่ที่ไม่ป้องกันนิ้ว	4	เอกสารวิธีการทำงาน	4	160
5. Damper Attach	ตำแหน่งของชิ้นงานในฟีกเจอร์โดยตรง	ผิดตำแหน่ง	ขอมกพร่องประเภท การโค้ง (Bend)	10	เครื่องมือจับชิ้นงานผิดตำแหน่ง/ การออกแบบเครื่องมือจับชิ้นงาน ไม่เหมาะสม	4	เอกสารวิธีการทำงาน	4	160
5. Damper Attach	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน	ไม่มีช่องว่าง	ขอมกพร่องประเภท บัง (Bend)	10	การออกแบบเครื่องมือจับชิ้นงานไม่เหมาะสม	7	เอกสารวิธีการทำงาน	7	490
5. Damper Attach	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแพร่	ไม่มีช่องว่าง	ขอมกพร่องประเภท บัง (Bend)	10	การออกแบบแพร่ที่ไม่เหมาะสม	7	เอกสารวิธีการทำงาน	7	490
5. Damper Attach	ตำแหน่งของชิ้นงานบนแพร่	ผิดตำแหน่ง	ขอมกพร่องประเภท บัง (Bend)	10	เครื่องมือจับชิ้นงานผิดตำแหน่ง/ การออกแบบเครื่องมือจับชิ้นงาน ไม่เหมาะสม	7	เอกสารวิธีการทำงาน	7	490
5. Damper Attach	การสัมผัสชิ้นงานด้วยมือ	นิ้วมือสัมผัสกับแพร่ ทำให้ชิ้นงานบิดงอ	ขอมกพร่องประเภท บัง (Bend)	10	ความผิดพลาดของพนักงาน/ พนักงานไม่ปฏิบัติตามเอกสารวิธีการทำงาน/การออกแบบแพร่ที่ไม่ป้องกันนิ้ว	7	เอกสารวิธีการทำงาน	7	490
6. Backend	ตำแหน่งของชิ้นงานบนแพร่	ผิดตำแหน่ง	ขอมกพร่องประเภท การโค้ง (Bend)	10	เครื่องมือจับชิ้นงานผิดตำแหน่ง/ การออกแบบเครื่องมือจับชิ้นงาน ไม่เหมาะสม	4	เอกสารวิธีการทำงาน	4	280
6. Backend	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน	ไม่มีช่องว่าง	ขอมกพร่องประเภท บัง (Bend)	10	การออกแบบเครื่องมือจับชิ้นงานไม่เหมาะสม	1	เอกสารวิธีการทำงาน	1	40
6. Backend	ตำแหน่งการจับฟีกเจอร์	ผิดตำแหน่ง	ขอมกพร่องประเภท บัง (Bend)	10	การออกแบบเครื่องมือจับชิ้นงานไม่เหมาะสม	1	เอกสารวิธีการทำงาน	1	10
6. Backend	ความผิดพลาดของพนักงาน	ชนกับแพร่หรือฟีกเจอร์	ขอมกพร่องประเภท การโค้ง (Bend)	10	การออกแบบฟีกเจอร์ไม่ดี/ เครื่องจับชิ้นงาน/ ความผิดพลาดของพนักงาน	7	เอกสารวิธีการทำงาน	7	490
6. Backend	ตำแหน่งของชิ้นงานบนแพร่	ผิดตำแหน่ง	ขอมกพร่องประเภท การโค้ง (Bend)	10	ความผิดพลาดของพนักงาน	4	เอกสารวิธีการทำงาน	1	40
6. Backend	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแพร่	ไม่มีช่องว่าง	ขอมกพร่องประเภท บัง (Bend)	10	ความผิดพลาดของพนักงาน	1	เอกสารวิธีการทำงาน	1	10
6. Backend	การสัมผัสชิ้นงานด้วยมือ	Finger put into the tray and bent the part	ขอมกพร่องประเภท บัง (Bend)	10	ความผิดพลาดของพนักงาน/ พนักงานไม่ปฏิบัติตามเอกสารวิธีการทำงาน/การออกแบบแพร่ที่ไม่ป้องกันนิ้ว	4	เอกสารวิธีการทำงาน	7	280
6. Backend			ขอมกพร่องประเภท บัง (Bend)	10	วิธีการทำงาน/การออกแบบแพร่ที่ไม่ป้องกันนิ้ว	7	เอกสารวิธีการทำงาน	4	280

ตารางที่ 4.6 สาเหตุของปัญหา และค่า RPN ที่ได้จากการวิเคราะห์ FMEA

ลำดับ	กระบวนการ	สาเหตุของปัญหา	คะแนน RPN	เปอร์เซ็นต์สะสม
1	1. Laser	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน	490	4.34%
2	1. Laser	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทรย์	490	8.69%
3	2. Cutting	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน (ชิ้นงานแบบแผ่น)	490	13.03%
4	2. Cutting	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทรย์ (ชิ้นงานแบบแผ่น)	490	17.38%
5	2. Cutting	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์	490	21.72%
6	4. Final Trim	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน (ชิ้นงานแบบแผ่น)	490	26.06%
7	3. Forming	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทรย์ (ชิ้นงานแบบแผ่น)	490	30.41%
8	3. Forming	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์	490	34.75%
9	4. Final Trim	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทรย์ (ชิ้นงานแบบแผ่น)	490	39.10%
10	4. Final Trim	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทรย์ (ชิ้นงานแบบตัว)	490	43.44%
11	4. Final Trim	ตำแหน่งของชิ้นงานบนเทรย์	490	47.78%
12	4. Final Trim	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน	490	52.13%
13	5. Damper	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน	490	56.47%
14	5. Damper	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทรย์	490	60.82%
15	5. Damper	ตำแหน่งของชิ้นงานบนเทรย์	490	65.16%
16	6. Backend	ตำแหน่งการจับถือฟีกเจอร์	490	69.50%
17	1. Laser	ตำแหน่งการตัดเฟลคเซอร์ออกจากเทรย์	280	71.99%
18	4. Final Trim	ตำแหน่งการจับถือเทรย์	280	74.47%
19	4. Final Trim	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์	280	76.95%
20	4. Final Trim	สภาวะของแม่พิมพ์	280	79.43%
21	5. Damper	การสัมผัสชิ้นงานด้วยมือ	280	81.91%
22	6. Backend	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทรย์	280	84.40%
23	6. Backend	การสัมผัสชิ้นงานด้วยมือ	280	86.88%
24	2. Cutting	ตำแหน่งการยกฟีดเดอร์บาร์	160	88.30%
25	3. Forming	ตำแหน่งการโหลดชิ้นงานจากเทรย์ลงฟีดเดอร์บาร์	160	89.72%
26	3. Forming	ตำแหน่งของแวกคัม, แท่นรอง, ฟีดเดอร์บาร์และชิ้นส่วนโหลดบีมไม่อยู่ตรงกลาง	160	91.13%
27	3. Forming	ตำแหน่งการยกฟีดเดอร์บาร์	160	92.55%
28	4. Final Trim	การสัมผัสชิ้นงานด้วยมือ	160	93.97%
29	5. Damper	ตำแหน่งของชิ้นงานในฟีกเจอร์ไม่ตรงตำแหน่ง	160	95.39%
30	1. Laser	ตำแหน่งการวางเฟลคเซอร์ลงบนฟีกเจอร์	70	96.01%
31	1. Laser	ตำแหน่งการสัมผัสระหว่างยกฟีกเจอร์	70	96.63%
32	1. Laser	ตำแหน่งในการโหลดชิ้นงานที่เชื่อมแล้วลงเทรย์	70	97.25%
33	1. Laser	แรงจากการหนีบของเครื่อง	40	97.61%
34	1. Laser	ตำแหน่งการจับถือเทรย์	40	97.96%
35	1. Laser	การสัมผัสชิ้นงานด้วยมือ	40	98.32%
36	2. Cutting	ตำแหน่งการโหลดชิ้นงานจากเทรย์ลงฟีดเดอร์บาร์	40	98.67%
37	2. Cutting	ตำแหน่งของแวกคัม, แท่นรอง, ฟีดเดอร์บาร์และชิ้นส่วนโหลดบีมไม่อยู่ตรงกลาง	40	99.02%
38	6. Backend	ตำแหน่งของชิ้นงานบนฟีกเจอร์	40	99.38%
39	6. Backend	ความผิดพลาดของพนักงาน	40	99.73%
40	1. Laser	ความเร็วการทำงานเครื่องจักร	10	99.82%
41	6. Backend	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน	10	99.91%
42	6. Backend	ตำแหน่งของชิ้นงานบนเทรย์	10	100.00%



รูปที่ 4.12 แผนภูมิพาเรโตของการวิเคราะห์ FMEA



จากแผนภูมิพาเรโตในรูปที่ 4.12 แผนภูมิพาเรโตของการวิเคราะห์ FMEA พบว่ามี 23 ปัจจัยหลักจาก 6 กระบวนการ ที่ทำให้เกิดความล้มเหลว (Failure) ที่จะส่งผลกระทบต่อข้อบกพร่องประเภทการโค้ง โดยเลือกจากค่า RPN มากกว่า 200 จะมีคะแนนรวมเท่ากับ 9,800 คะแนน จากทั้งหมด 11,280 คะแนน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 86.88 ของคะแนนทั้งหมดตามหลักการพาเรโตกฎ 80:20 ดังนั้นจึงได้เลือกเป็นปัจจัยนำเข้าที่มีผล เพื่อจะนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ปัจจัยนำเข้าที่มีผล (KPIV) จากการวิเคราะห์ FMEA

กระบวนการ	ที่	ปัจจัยนำเข้าหลักที่อาจมีผลกระทบต่อปัญหา
Laser Weld	1	ตำแหน่งการดูดเพลกเซอร์ออกจากเทอร์ย์
	2	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทอร์ย์
	3	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน
Cutting	4	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน (ชิ้นงานแบบแผ่น)
	5	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทอร์ย์ (ชิ้นงานแบบแผ่น)
	6	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์ตัดชิ้นงาน
Forming	7	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน (ชิ้นงานแบบแผ่น)
	8	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทอร์ย์ (ชิ้นงานแบบแผ่น)
	9	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงาน
Final Trim	10	ตำแหน่งการจับถือเทอร์ย์
	11	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทอร์ย์ (ชิ้นงานแบบแผ่น)
	12	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์
	13	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทอร์ย์ (ชิ้นงานแบบตัว)
	14	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน
	15	ตำแหน่งของชิ้นงานบนเทอร์ย์
	16	สถานะของแม่พิมพ์
Damper Attach	17	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทอร์ย์
	18	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน
	19	ตำแหน่งของชิ้นงานบนเทอร์ย์
	20	การสัมผัสชิ้นงานด้วยมือ

ตารางที่ 4.7 ปัจจัยนำเข้าที่มีผล (KPIV) จากการวิเคราะห์ FMEA (ต่อ)

กระบวนการ	ที่	ปัจจัยนำเข้าหลักที่อาจมีผลกระทบต่อปัญหา
Backend	21	ตำแหน่งการจับถือฟิวเจอร์
	22	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทอร์ย์
	23	การสัมผัสชิ้นงานด้วยมือ

จากตารางที่ 4.7 เมื่อพิจารณาสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้ง 23 สาเหตุ พบว่าสาเหตุที่เกิดร่วมกันทั้งในกระบวนการ Laser Weld, Cutting, Forming, Final Trim, Damper Attach และ Backend คือ ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทอร์ย์ ซึ่งเป็นระยะระหว่างชิ้นงานกับเทอร์ย์ใส่ชิ้นงานไม่เหมาะสมทำให้ชิ้นงานสัมผัสกับเทอร์ย์เกิดเป็นข้อบกพร่องประเภทการโค้งได้

#### 4.4 สรุประยะเวลาวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

ในระยะเวลาวัดนั้น ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยของปัญหา จะเริ่มต้นด้วยการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิตปัจจุบัน โดยคำนวณค่า Ppk ได้ 0.7178 จะได้ว่ากระบวนการผลิตจะต้องทำการแก้ไขปรับปรุงเพื่อเป้าหมายให้เข้าสู่กระบวนการผลิตระดับซิกซ์ ซิกมา โดยที่ระดับคุณภาพอัตราของเสียสูงสุดอยู่ที่ 3.4 ppm โดยมีค่า Ppk เท่ากับ 2.0 หรืออย่างน้อยต้องมี  $Ppk \geq 1.33$

ต่อมาทำการศึกษาวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA) โดยวิเคราะห์ความสามารถในการตรวจของพนักงาน จากการทดสอบพนักงานทั้งหมด 42 คน ผลที่ได้คือพนักงานทั้งหมดที่คัดเลือกมาตรวจสอบชิ้นงานตัวอย่าง สามารถผ่านเกณฑ์การตรวจสอบ สำหรับการตรวจสอบซ้ำ และตรวจสอบโดยเทียบกับตัวอย่าง โดยพิจารณาจากเกณฑ์คือ การวิเคราะห์ความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability) พบว่าพนักงานรหัส 16448 มีคะแนนต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 96.67 ส่วนพนักงานที่เหลือมีคะแนนเท่ากับร้อยละ 100, การวิเคราะห์ความถูกต้อง (attribute score) พบว่าพนักงานรหัส 14248, 16042, 13482 และ 16448 โดยมีคะแนนต่ำสุดที่ร้อยละ 96.67 ส่วนพนักงานที่เหลือมีคะแนนเท่ากับร้อยละ 100, การวิเคราะห์ร้อยละคะแนนประสิทธิผลด้านรีพีทเทบิลิตี้ (%Screen effective score reproducibility) มีคะแนนเท่ากับร้อยละ 90 และมีค่า  $Kappa > 0.90$  และการวิเคราะห์ร้อยละคะแนนของประสิทธิผลของค่าแอดทริบิวต์ (%Attribute

screen effective score) มีคะแนนเท่ากับร้อยละ 90 และมีค่า Kappa>0.90 จึงสรุปว่ายอมรับความสามารถของระบบการตรวจสอบได้

หลังจากนั้นทำการการระดมความคิดเพื่อระบุปัจจัยที่เป็นไปได้ที่มีผลกระทบต่อข้อบกพร่องประเภทการโค้ง โดยสร้างแผนผังขั้นตอนการทำงานเพื่อรวบรวมสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมด เพื่อนำไปทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบของกระบวนการซึ่งหลังจากนั้นให้คะแนนเพื่อคำนวณค่า RPN จะได้ว่ามี 23 ปัจจัย จาก 6 กระบวนการ ที่มีโอกาสส่งผลกระทบต่อข้อบกพร่องประเภทการโค้ง โดยปัจจัยที่เลือกทั้งหมดนี้ จะถูกนำไปวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาต่อไป



## บทที่ 5

### การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)

ในบทนี้จะทำการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหา โดยการนำปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (KPIVs) ที่ผ่านการระดมสมอง และจัดลำดับความสำคัญตามหลักการพาเรโต มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ

ในขั้นตอนการวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องประเภทการโค้ง ในผลิตภัณฑ์แขนจับหัวอ่านเขียน รุ่น S รวมกับรุ่น M นั้นเริ่มต้นจะทำการออกแบบฟอร์มการเก็บข้อมูล คำนวณขนาดสิ่งตัวอย่าง (Sample Size Determination) เพื่อใช้ในการทดลอง เพื่อสร้างความมั่นใจว่าสิ่งตัวอย่างเป็นตัวแทนของประชากรได้ หลังจากนั้นทำการทดลองตามแบบฟอร์มที่ได้ออกแบบไว้ ต่อมานำข้อมูลที่ได้มาทำการทดสอบสมมติฐานของแต่ละปัจจัย เพื่อทำการวิเคราะห์และสรุปผลว่า ปัจจัยใดเป็นปัจจัยหลักที่แท้จริงที่มีผลกระทบต่อข้อบกพร่องประเภทการโค้งของผลิตภัณฑ์แขนจับหัวอ่านเขียน รุ่น S รวมกับรุ่น M

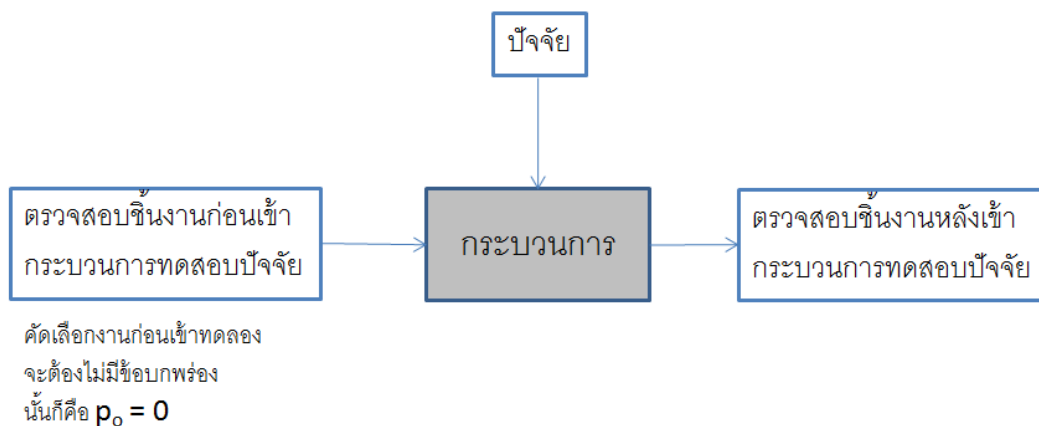
#### 5.1 ปัจจัยนำเข้าที่นำมาทดสอบความมีนัยสำคัญ และการตั้งสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

ปัจจัยนำเข้าที่นำมาทดสอบความมีนัยสำคัญมีทั้งหมด 23 ปัจจัย จาก 6 กระบวนการ ซึ่งได้จากการคัดกรองของระยะการวัดด้วยการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบตามตารางที่ 4.7 เพื่อที่จะชี้ว่าปัจจัยใดที่เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อข้อบกพร่องประเภทการโค้ง

โดยทำการทดลองปัจจัยของแต่ละกระบวนการที่ส่งผลต่อข้อบกพร่องประเภทการโค้ง ซึ่งการออกแบบการทดลองจะทดสอบทีละปัจจัยในช่วงเวลาหนึ่งๆ หรือ One Factor at a time (OFAT) เนื่องจากปัจจัยนำเข้าที่ผ่านการวิเคราะห์หานั้นเมื่อพิจารณาจากขั้นตอนการทำงานย่อยของแต่ละกระบวนการพบว่าปัจจัยในกระบวนการผลิตขั้นตอนต่างๆ เป็นอิสระกัน ไม่มีอันตรกิริยากัน การปรับค่าระดับปัจจัยต่างๆ ไปพร้อมกันทำได้ยาก และจากข้อมูลอยู่ในรูปคุณลักษณะเชิงคุณภาพ ซึ่งจะใช้ระบบการวัดด้วยสายตาทายใต้กล้องไมโครสโคป จึงใช้เครื่องมือทางสถิติในการทดสอบ คือ การทดสอบความมีนัยสำคัญของสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่อง (ประชากรเดียว) หรือ One Proportion Test

ในการทดสอบสมมติฐานแบบสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่อง (ประชากรเดียว) นี้จะเป็นทดสอบปัจจัยของกระบวนการโดยการตรวจสอบชิ้นงานก่อนเข้ากระบวนการทดสอบปัจจัยจะต้องไม่มีข้อบกพร่องนั่นก็คือ  $p_0=0$  ต่อมาหลังจากทำการทดลองปัจจัยของกระบวนการเสร็จแล้ว ผู้วิจัยได้ทำ

การตรวจสอบชิ้นงานอีกครั้งเพื่อดูว่าพบข้อบกพร่องหรือไม่ ดังรูปที่ 5.1 จากนั้นจะทดสอบสมมุติฐานว่าสัดส่วนข้อบกพร่องหลังกระบวนการนั้นมีค่าแตกต่างจากศูนย์อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่



รูปที่ 5. 1 กระบวนการทดสอบสมมุติฐานของเกี่ยวกับสัดส่วนข้อบกพร่องแบบประชากรเดียว

สมมุติฐานแบบทางเดียวที่จะทำการทดสอบแต่ละปัจจัยนำเข้าว่ากระบวนการที่ทำกาทดสอบมีผลต่อข้อบกพร่องประเภทการโก่งหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เป็นดังนี้

$$H_0: p = 0$$

$$H_a: p > 0$$

ซึ่งการใช้สถิติเพื่อการทดสอบนี้ เพื่อทดสอบว่าปัจจัยของการทดลองที่กระบวนการใดๆส่งผลกระทบต่อข้อบกพร่องประเภทการโก่งหรือไม่ นั่นก็คือ ถ้าสัดส่วนข้อบกพร่องประเภทการโก่งแตกต่างจากค่าศูนย์ อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงโดย  $P\text{-value} < \alpha = 0.05$  ก็จะสรุปได้ว่าปัจจัยนำเข้านั้นมีผลอย่างมีนัยสำคัญ

## 5.2 การคำนวณขนาดสิ่งตัวอย่าง

การคำนวณหาขนาดสิ่งตัวอย่างที่ต้องการนำมาทดสอบสำหรับการทดสอบสัดส่วนของประชากรเดียว หรือ One Proportion กำหนดให้ระดับนัยสำคัญ ( $\alpha$ ) เท่ากับ 0.05 และกำหนดให้ค่าอำนาจในการทดสอบ (Power of test หรือ  $\beta$ ) เท่ากับ 0.80 และ 0.90 ค่าความแตกต่างขั้นต่ำที่ต้องการตรวจจับ (Minimum difference) เท่ากับ 0.001 จะได้ว่าต้องการขนาดสิ่งตัวอย่าง (Sample Size) ที่ 708 ชิ้น และ 1641 ชิ้น ดังตารางที่ 5.1

เนื่องจากในกระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่านเขียน มีขนาดล็อตของชิ้นงาน 800 ชิ้น นั้นแสดงว่าหากมีการทดสอบสมมุติฐานด้วยขนาดสิ่งตัวอย่าง 800 ตัว จะมีค่าอำนาจในการทดสอบเท่ากับร้อยละ

ละ 81.46 ซึ่งมากกว่าร้อยละ 80 และเพื่อให้เกิดได้ค่าอำนาจในการทดสอบสูงขึ้น จึงคำนวณค่าขนาดตัวอย่างที่ 1600 ชิ้น (2 ล็อต) ซึ่งจะได้ค่าอำนาจในการทดสอบอยู่ที่ร้อยละ 89.7 ซึ่งนั่นเป็นการเพียงพอในการนำข้อมูลไปทำการทดสอบสมมุติฐาน ดังตารางที่ 5.2

แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดในการทดลองในแต่ละกระบวนการในการนำชิ้นงานไปทดสอบ เช่น เวลา, ความซับซ้อนของขั้นตอนการทดลองในการปรับตั้งค่ากระบวนการ เพราะฉะนั้นจำนวนขนาดตัวอย่างที่จะนำไปทดสอบนั้นสามารถเลือกได้ใช้ตามความเหมาะสม โดยกำหนดขนาดตัวอย่างตั้งแต่ 800-1600 ชิ้น ซึ่งจะอยู่ในช่วงของค่าอำนาจในการทดสอบมากกว่าร้อยละ 80 ดังรูปที่ 5.2

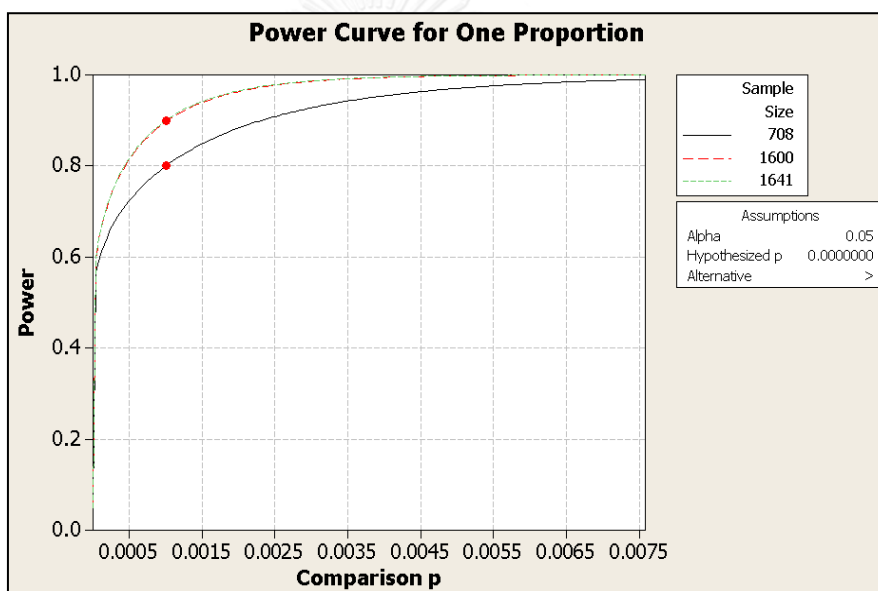
ตารางที่ 5. 1 ผลการคำนวณขนาดตัวอย่างด้วยค่าอำนาจในการทดสอบ 0.8, 0.9 (power)

ด้วยโปรแกรม Minitab

Power and Sample Size			
Test for One Proportion			
Testing p = 1.000000E-15 (versus > 1.000000E-15)			
Alpha = 0.05			
Comparison p	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.001	708	0.8	0.800063
0.001	1641	0.9	0.900018

ตารางที่ 5.2 ผลการคำนวณขนาดตัวอย่าง 1600 ขึ้น ด้วยโปรแกรม Minitab

Power and Sample Size		
Test for One Proportion		
Testing p = 1.000000E-16 (versus > 1.000000E-16)		
Alpha = 0.05		
	Sample	
Comparison p	Size	Power
0.001	1600	0.897162



รูปที่ 5.2 ผลการคำนวณขนาดตัวอย่างของการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab

### 5.3 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง เพื่อทดสอบสมมติฐาน

ในขั้นตอนการออกแบบการทดลองนั้น จะทำการทดลองโดยการทดสอบปัจจัยที่ได้คัดเลือกมา 23 ปัจจัย จาก 6 กระบวนการ ดังนี้

1. ในการทำการทดลอง จะทดลองแต่ละกระบวนการโดยศึกษาผลที่ละปัจจัยที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง
2. ออกแบบแบบฟอร์มในการบันทึกข้อมูลของการทดลองแต่ละปัจจัย

3. ทำการตรวจสอบชิ้นงานภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ก่อนทำการทดลอง ของแต่ละปัจจัยที่จะทดลอง โดยเลือกชิ้นงานที่ไม่มีข้อบกพร่องเท่านั้นก่อนนำไปทดลอง
4. ควบคุมค่าปัจจัยแต่ละปัจจัย โดยการคงที่ (Fix) ปัจจัยอื่น
5. ทำการตรวจสอบชิ้นงานภายใต้กล้องจุลทรรศน์ หลังทำการทดลองตามแผนการทดลองแต่ละปัจจัย
6. ทำการบันทึกข้อมูลลงในแบบฟอร์ม
7. ทำการวิเคราะห์ทางสถิติ ของการทดสอบสมมุติฐานแบบสัดส่วนของประชากรเดียวตามหัวข้อ 5.2

#### 5.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบสมมุติฐานของแต่ละปัจจัยนำเข้า

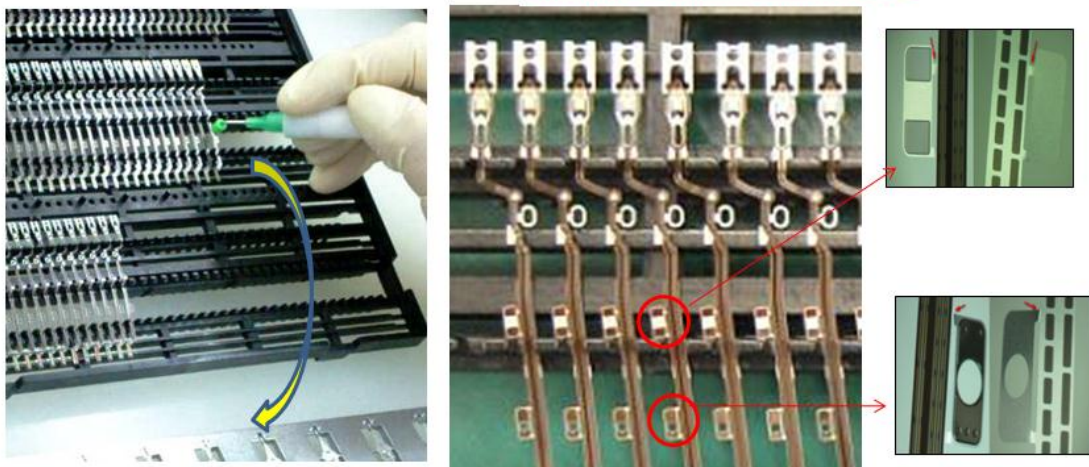
##### 1. กระบวนการ Laser Weld

##### ก. ปัจจัยตำแหน่งการดูดเฟลกเซอร์ออกจากเทรย์

ในการทดสอบสมมุติฐานปัจจัยตำแหน่งการดูดเฟลกเซอร์ออกจากเทรย์ (Tray) สำหรับใส่ชิ้นงาน เพื่อวางลงบนฟิกเจอร์ (Fixture) ของกระบวนการ Laser Weld นั้นมีแนวคิดคือ หากพนักงานดูดเฟลกเซอร์ตรงตำแหน่งบริเวณแฟลป (Flap) จะมีโอกาสทำให้เป็นข้อบกพร่องประเภทการโก่งได้ เนื่องจากชิ้นงานอยู่ใกล้กับเสาคันกลางระหว่างชิ้นงาน และชิ้นส่วนนี้อ่อนสามารถโก่งได้ง่าย ดังรูป 5.3

กระบวนการหยิบจับชิ้นงานจากกระบะ  
ชิ้นงาน(Tray) ไปยังฟิกเจอร์(Fixture)

ถ้าหากหยิบจับชิ้นงานตรงตำแหน่งนี้จะมีโอกาสทำให้  
เป็น Bend ได้เนื่องจากชิ้นงานอยู่ใกล้กับเสาคันกลาง  
ระหว่างชิ้นงาน และชิ้นส่วนนี้อ่อนสามารถโก่งได้ง่าย

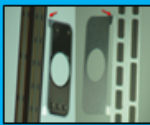


รูปที่ 5.3 ขั้นตอนการดูดเฟลกเซอร์ออกจากเทรย์ที่กระบวนการ Laser Weld



ผู้วิจัยได้ใช้ขนาดสิ่งตัวอย่างเท่ากับ 800 ชิ้น และได้ผลการทดสอบสมมุติฐานลงในตารางแบบฟอร์มการเก็บข้อมูล ดังตารางที่ 5.3 พบว่า เมื่อทำการดูดเฟลกเซอร์ออกจากเทอร์ย์วางลงบนฟีกเจอร์ พบของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งบริเวณขอบเขต 4 (BE4) จำนวน 3 ชิ้น โดยมีค่า P-value < 0.005 เพราะฉะนั้นสามารถสรุปได้ว่าตำแหน่งการดูดเฟลกเซอร์ออกจากเทอร์ย์ส่งผลต่อข้อบกพร่องประเภทการโค้ง

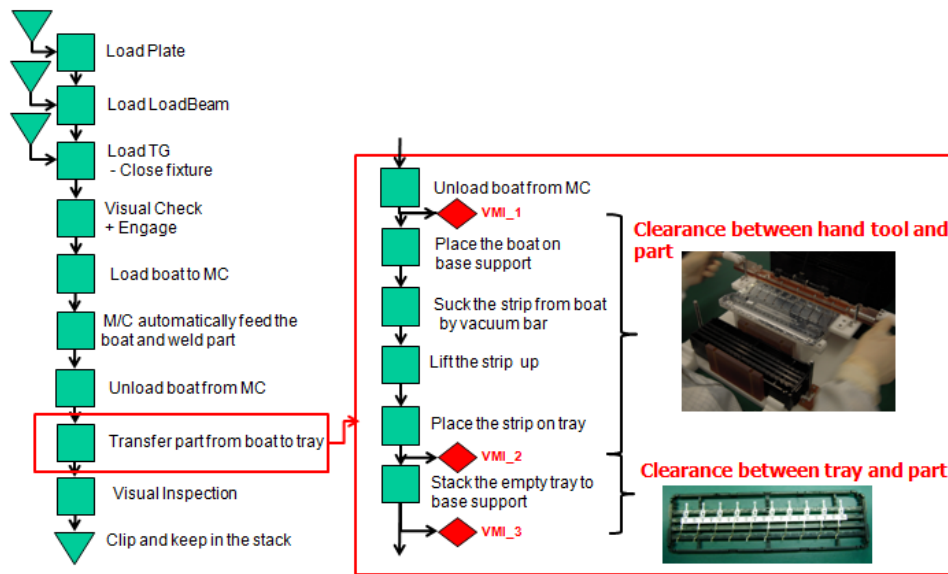
ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองปัจจัยตำแหน่งการดูดเฟลกเซอร์ออกจากเทอร์ย์

ปัจจัย	จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ	BE4G-Flap2	
			
ตำแหน่งการดูดเฟลกเซอร์ออกจากเทอร์ย์	800	จำนวนของเสีย	3
		ร้อยละของเสีย	0.38%
		p-value	< 0.005

#### ข. ปัจจัยระยะช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน และระยะระหว่างชิ้นงานกับเทอร์ย์

ในการทดสอบสมมุติฐานของกระบวนการย่อยในการเคลื่อนย้ายชิ้นงานจากโบ้ท (ฟีกเจอร์) ไปยังเทอร์ย์จะทำการออกแบบการทดสอบโดยการตรวจชิ้นงาน 3 ครั้ง ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยที่ครั้งที่ 1 (VMI\_1) คือขั้นตอนยกงานจากโบ้ท (ฟีกเจอร์) ครั้งที่ 2 (VMI\_2) คือ ขั้นตอนการวางชิ้นงานลงบนเทอร์ย์ และครั้งที่ 3 (VMI\_3) คือขั้นตอนที่หลังจากวางเทอร์ย์เปล่าที่ทับลงบนเทอร์ย์ที่ใส่ชิ้นงานแล้วของกระบวนการ Laser Weld

โดยขั้นตอนการตรวจสอบระหว่างครั้งที่ 1 กับครั้งที่ 2 เป็นการทดสอบปัจจัยระยะช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน และการตรวจสอบระหว่างครั้งที่ 2 กับครั้งที่ 3 เป็นการทดสอบปัจจัยระยะระหว่างชิ้นงานกับเทอร์ย์ ดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 ขั้นตอนการทดสอบปัจจัยที่กระบวนการ Laser Weld

ผู้วิจัยได้ใช้ขนาดสิ่งตัวอย่าง 1000 ชิ้น และได้ผลการทดสอบสมมุติฐานลงในตารางแบบฟอร์มการเก็บข้อมูล ดังตารางที่ 5.4 พบว่า ขั้นตอนการตรวจสอบระหว่างครั้งที่ 1 กับครั้งที่ 2 ไม่พบของเสีย แต่จะพบของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้ง บริเวณขอบเขต 3 (BE3) จำนวน 16 ชิ้น ในขั้นตอนการตรวจสอบระหว่าง ครั้งที่ 2 กับ ครั้งที่ 3 โดยมีค่า P-value < 0.005 เพราะฉะนั้นสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยระยะระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงานไม่ส่งผลต่อข้อบกพร่องประเภทการโค้ง ส่วนปัจจัยระยะระหว่างชิ้นงานกับเทรย์ส่งผลต่อข้อบกพร่องประเภทการโค้ง

ตารางที่ 5.4 ผลการทดลองปัจจัยระยะช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน และระยะระหว่างชิ้นงานกับเทรย์

ปัจจัย	จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ	BE3G-Near Weld#11	
		จำนวนของเสีย	
ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน VMI_1 to VMI_2	1000	จำนวนของเสีย	0
		ร้อยละของเสีย	0.00%
		p-value	~ 1.00
ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทรย์ VMI2 to VMI_3	1000	จำนวนของเสีย	16
		ร้อยละของเสีย	1.60%
		p-value	< 0.005

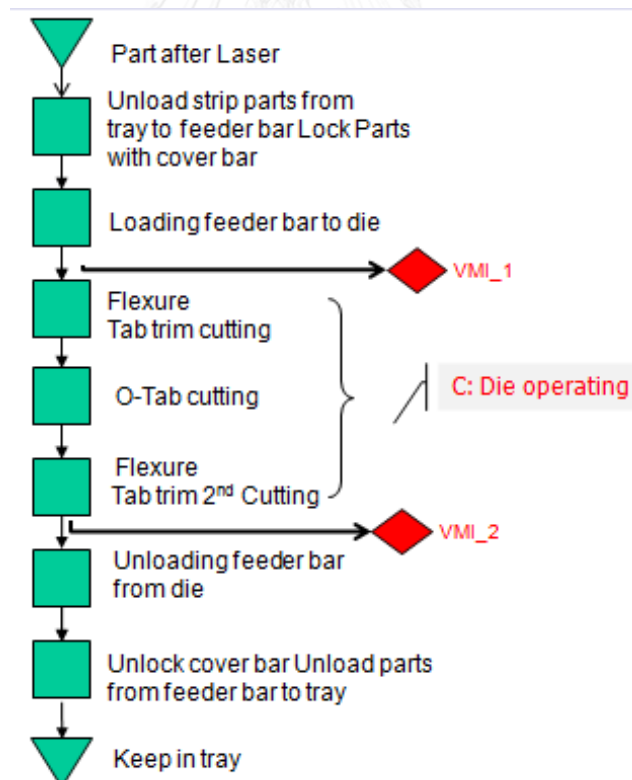
## 2. กระบวนการ Cutting และ กระบวนการ Forming

### ก. ปัจจัยระยะระหว่างชิ้นงานกับเทรย์ และระยะช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน

เนื่องจากกระบวนการ Cutting และ Forming มีปัจจัยนำเข้า คือระยะระหว่างชิ้นงานกับเทรย์ และระยะช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน ซึ่งเป็นปัจจัยที่เดียวกันกับที่กล่าวไว้และทำการทดสอบแล้วในกระบวนการ Laser Weld จึงสามารถอ้างอิงผลการทดสอบสมมติฐานที่กระบวนการ Laser Weld ข้อ ข. ได้

### ข. กระบวนการ Cutting : ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์ตัดชิ้นงาน

ในการทดสอบสมมติฐานของกระบวนการย่อยของการเคลื่อนย้ายชิ้นงาน เข้าไปในแม่พิมพ์ตัดชิ้นงาน (Cutting Die) เพื่อทำการตัดชิ้นงานจะทำการทดสอบด้วยการตรวจชิ้นงาน 2 ครั้ง ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยที่ครั้งที่ 1 (VMI\_1) คือขั้นตอนการนำชิ้นงานเข้าแม่พิมพ์ตัดชิ้นงาน (Cutting Die) เพื่อตัดชิ้นงาน และครั้งที่ 2 (VMI\_2) คือ ขั้นตอนการนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ตัดชิ้นงาน (Die) ดังรูป 5.5



รูปที่ 5.5 ขั้นตอนการทดสอบปัจจัยที่กระบวนการ Cutting

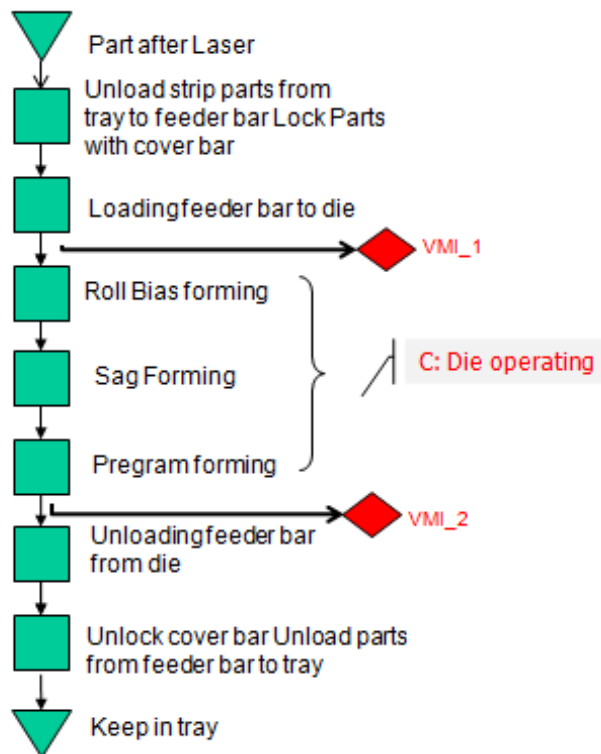
ผู้วิจัยได้ใช้ขนาดสิ่งตัวอย่าง 1600 ชิ้น และได้ผลการทดสอบสมมติฐานลงในตารางแบบฟอร์มการเก็บข้อมูล ดังตารางที่ 5.5 พบว่า ขั้นตอนการตรวจสอบระหว่างครั้งที่ 1 กับครั้งที่ 2 ซึ่งชิ้นงานผ่านการตัด ไม่พบของเสีย โดยมีค่า P-value เข้าใกล้ 1.0 เพราะฉะนั้นสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์ตัดชิ้นงานไม่ส่งผลต่อข้อบกพร่องประเภทการโค้ง

ตารางที่ 5.5 ผลการทดลองปัจจัยช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์ตัดชิ้นงาน

ปัจจัย	จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ		BE1	BE3	BE4
ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์ตัดชิ้นงาน (VMI 1 to VMI 2)	1600	จำนวนของเสีย	0	0	0
		ร้อยละของเสีย	0.00%	0.00%	0.00%
		p-value	~ 1.00	~ 1.00	~ 1.00

#### ค. กระบวนการ Forming : ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงาน

ในการทดสอบสมมติฐานเป็นการทดสอบสมมติฐานของกระบวนการย่อยในการเคลื่อนย้ายชิ้นงาน เข้าไปในแม่พิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงาน (Forming Die) เพื่อทำการขึ้นรูปชิ้นงาน โดยจะทำการทดสอบด้วยการตรวจสอบชิ้นงาน 2 ครั้ง ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยที่ครั้งที่ 1 (VMI\_1) คือขั้นตอนการตรวจสอบชิ้นงานก่อนแม่พิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงาน (Forming Die) และครั้งที่ 2 (VMI\_2) คือ ขั้นตอนการนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์หลังจากขึ้นรูปเสร็จแล้ว ดังรูป 5.6



รูปที่ 5.6 ขั้นตอนการทดสอบปัจจัยที่กระบวนการ Forming

ผู้วิจัยได้ใช้ขนาดสิ่งตัวอย่าง 1600 ชิ้น และได้ผลการทดสอบสมมุติฐานลงในตารางแบบฟอร์มการเก็บข้อมูล ดังตารางที่ 5.6 พบว่า ขั้นตอนการตรวจสอบระหว่างครั้งที่ 1 กับครั้งที่ 2 ซึ่งผ่านการขึ้นรูปของชิ้นงาน พบของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งบริเวณขอบเขต 1 (BE1) จำนวน 4 ชิ้น โดยมีค่า P-value < 0.005 เพราะฉะนั้นสามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงานส่งผลต่อข้อบกพร่องประเภทการโค้ง

ตารางที่ 5.6 ผลการทดลองปัจจัยช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงาน

ปัจจัย	จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ	BE1-Polyimide	
		จำนวนของเสีย	ร้อยละของเสีย
ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงาน (VMI_1 to VMI_2)	1600	จำนวนของเสีย	4
		ร้อยละของเสีย	0.25%
		p-value	< 0.005

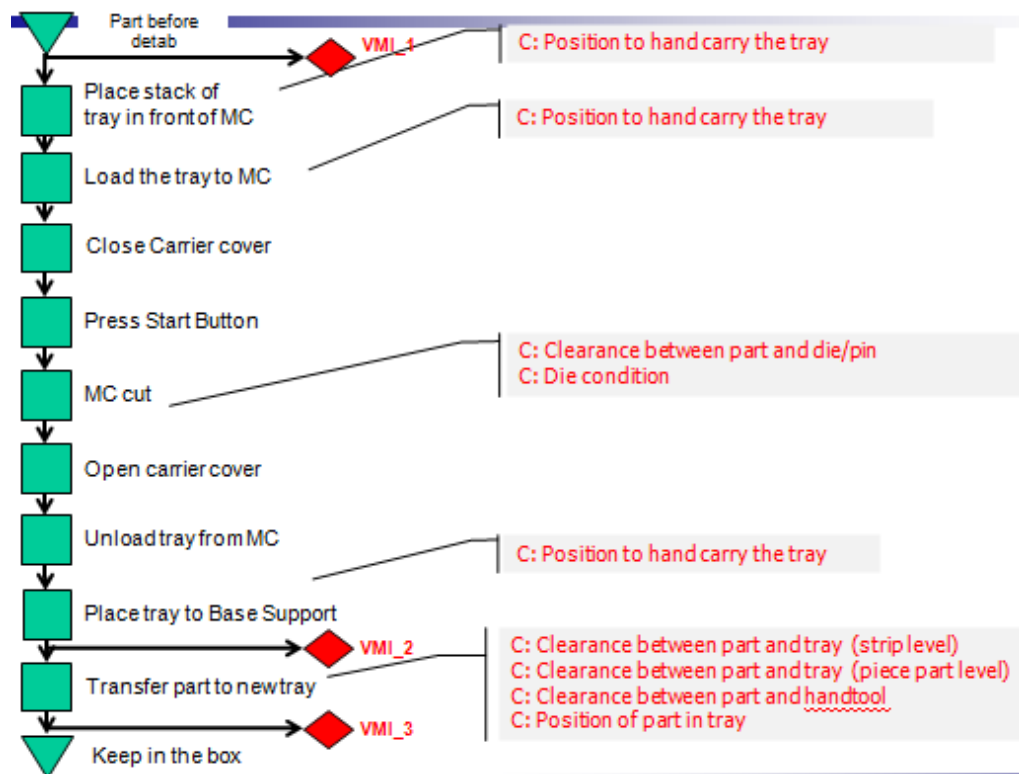
### 3. กระบวนการ Final Trim

ปัจจัยนำเข้าที่จะทำการทดสอบของกระบวนการตัด Final Trim ได้แก่

1. ตำแหน่งการจับถือเทอร์ย์
2. สภาพของแม่พิมพ์
3. ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์
4. ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทอร์ย์ (ชิ้นงานแบบแผ่น)
5. ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทอร์ย์ (ชิ้นงานแบบตัว)
6. ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน
7. ตำแหน่งของชิ้นงานบนเทอร์ย์

ในการทดสอบสมมติฐานของกระบวนการย่อยในการเคลื่อนย้ายชิ้นงานเพื่อนำเข้าไปในกระบวนการตัด (Final Trim) โดยจะทำการทดสอบด้วยการตรวจชิ้นงาน 3 ครั้ง ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยที่ครั้งที่ 1 (VMI\_1) คือขั้นตอนก่อนนำเข้าแม่พิมพ์ (Final Trim) ครั้งที่ 2 (VMI\_2) คือ ขั้นตอนหลังจากทำการตัดเสร็จ และครั้งที่ 3 (VMI\_3) ขั้นตอนการนำชิ้นงานใส่เทอร์ย์ ดังรูป 5.7

โดยแต่ละขั้นตอนที่จะทดสอบสมมติฐานของปัจจัยที่อยู่ในขั้นตอนการทำงานเดียวกันทางผู้วิจัยจะทำการทดลองที่ละปัจจัย จากการใช้สิ่งตัวอย่างแยกชุดกัน และคงที่ (Fix) ปัจจัยที่ไม่ได้ทำการทดสอบสมมติฐานไว้





รูปที่ 5.7 ขั้นตอนการทดสอบปัจจัยที่กระบวนการ Final Trim

ผู้วิจัยได้ใช้ขนาดสิ่งตัวอย่าง 800 ชิ้น ต่อปัจจัย และได้ผลการทดสอบสมมติฐานลงในตารางแบบฟอร์มการเก็บข้อมูล ดังตารางที่ 5.7 พบว่า ขั้นตอนการตรวจสอบระหว่างครั้งที่ 1 กับครั้งที่ 2 ไม่พบของเสีย โดยมีค่า P-Value เข้าใกล้ 1 เพราะฉะนั้นสรุปได้ว่าปัจจัยนำเข้า ตำแหน่งการจับถือเทอร์ย์ สภาพของแม่พิมพ์ และช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์ ไม่ส่งผลต่อข้อบกพร่องประเภทการโค้ง

แต่จะพบของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งบริเวณขอบเขต 3 (BE3) จำนวน 21 ชิ้น และบริเวณขอบเขต 4 (BE4) จำนวน 2 ชิ้น ในขั้นตอนการตรวจสอบระหว่างครั้งที่ 2 กับ ครั้งที่ 3 ดังตารางที่ 5.7 โดยมีค่า P-value < 0.005 เพราะฉะนั้นสามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยนำเข้าของช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทอร์ย์ ชิ้นงานแบบแผ่น, ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทอร์ย์ ชิ้นงานแบบตัว, ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน, ตำแหน่งของชิ้นงานบนเทอร์ย์ ส่งผลต่อข้อบกพร่องประเภทการโค้ง

ตารางที่ 5.7 ผลการทดลองปัจจัยของกระบวนการตัด Final Trim

ปัจจัย	จำนวน ชิ้นงาน ตรวจสอบ		BE3G-Near Weld#11	BE4G-Flap1	รวม
					
ตำแหน่งการจับถือเทอร์ย์	800	จำนวนของเสีย	0	0	0
		ร้อยละของเสีย	0.00%	0.00%	0.00%
		p-value	~ 1.00	~ 1.00	~ 1.00
สภาวะของแม่พิมพ์	800	จำนวนของเสีย	0	0	0
		ร้อยละของเสีย	0.00%	0.00%	0.00%
		p-value	~ 1.00	~ 1.00	~ 1.00
ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์	800	จำนวนของเสีย	0	0	0
		ร้อยละของเสีย	0.00%	0.00%	0.00%
		p-value	~ 1.00	~ 1.00	~ 1.00
ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทอร์ย์ (ชิ้นงานแบบแผ่น)	800	จำนวนของเสีย	2	2	4
		ร้อยละของเสีย	0.25%	0.25%	0.50%
		p-value	< 0.005	< 0.005	< 0.005
ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทอร์ย์ (ชิ้นงานแบบตัว)	800	จำนวนของเสีย	10	0	10
		ร้อยละของเสีย	1.25%	0.00%	1.25%
		p-value	< 0.005	1.00	< 0.005
ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน	800	จำนวนของเสีย	1	0	1
		ร้อยละของเสีย	0.13%	0.00%	0.13%
		p-value	< 0.005	1.00	< 0.005
ตำแหน่งของชิ้นงานบนเทอร์ย์	800	จำนวนของเสีย	8	0	8
		ร้อยละของเสีย	1.00%	0.00%	1.00%
		p-value	< 0.005	1.00	< 0.005



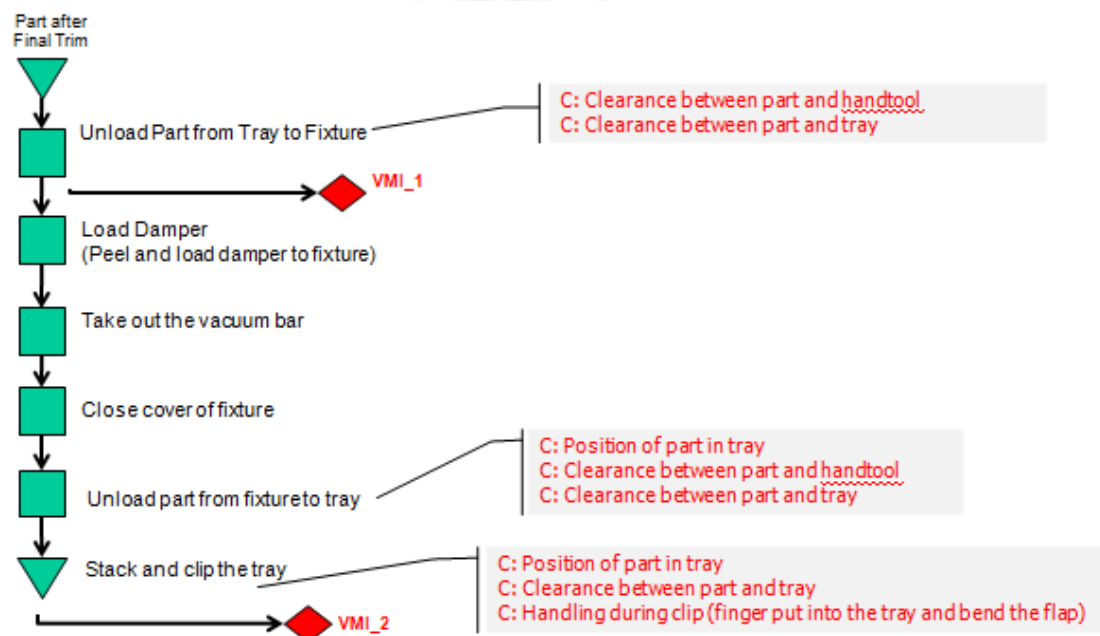
#### 4. กระบวนการ Damper Attach

ปัจจัยนำเข้าที่จะทำการทดสอบของกระบวนการ Damper Attach ได้แก่

1. ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน
2. ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทอร์ย์
3. ตำแหน่งของชิ้นงานบนเทอร์ย์
4. การสัมผัสชิ้นงานด้วยมือ

ในการทดสอบสมมติฐานของกระบวนการย่อยในการเคลื่อนย้ายชิ้นงานเพื่อนำเข้าไปในกระบวนการติดแดมเปอร์ โดยจะทำการทดสอบด้วยการตรวจชิ้นงาน 1 ครั้ง ภายใต้อุปกรณ์ โดยที่ครั้งที่ 1 (VMI\_1) คือขั้นตอนก่อนนำเข้าเครื่องจักรติดแดมเปอร์ ครั้งที่ 2 (VMI\_2) คือ ขั้นตอนหลังจากทำการติดแดมเปอร์ ดังรูป 5.8

โดยแต่ละขั้นตอนที่จะทดสอบสมมติฐานของปัจจัยที่อยู่ในขั้นตอนการทำงานเดียวกันทางผู้วิจัยจะทำการทดลองที่ละปัจจัย โดยการใช้สิ่งตัวอย่างคนละชุดกัน และ คงที่ปัจจัยที่ไม่ได้ทำการทดสอบสมมติฐาน






รูปที่ 5.8 ขั้นตอนการทดสอบปัจจัยที่กระบวนการ Damper Attach

ผู้วิจัยได้ใช้ขนาดสิ่งตัวอย่าง 800 ชิ้น ต่อปัจจัย และได้ผลการทดสอบสมมติฐานลงในตารางแบบฟอร์มการเก็บข้อมูล ดังตารางที่ 5.8 พบว่า ขั้นตอนการตรวจสอบระหว่างครั้ง

ที่ 1 กับ ครั้งที่ 2 ซึ่งผ่านการติดแอมเปอร์ พบของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้ง บริเวณขอบเขต 3 (BE3) จำนวน 14 ชิ้น และบริเวณขอบเขต 4 (BE4) จำนวน 2 ชิ้น โดยมีค่า P-value < 0.005 เพราะฉะนั้นสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทรย์ และตำแหน่งของชิ้นงานบนเทรย์ ส่งผลต่อข้อบกพร่องประเภทการโค้ง

ตารางที่ 5.8 ผลการทดลองปัจจัยกระบวนการ Damper Attach

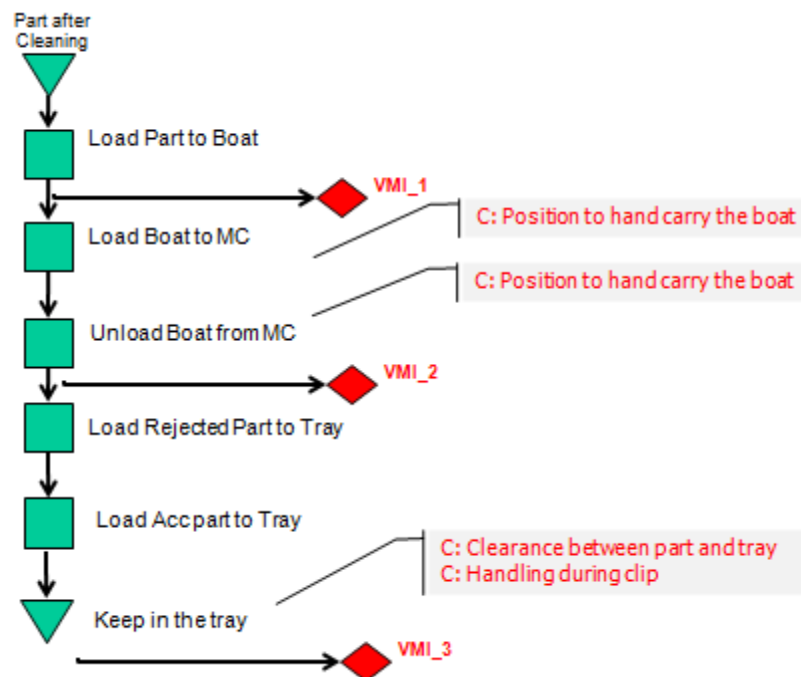
ปัจจัย	จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ		BE3-Bridge	BE3-Near Weld#11	BE4-Flap1	รวม
						
ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทรย์	800	จำนวนของเสีย	0	2	2	4
		ร้อยละของเสีย	0.00%	0.25%	0.25%	0.50%
		p-value	~ 1.00	< 0.005	< 0.005	< 0.005
ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน	800	จำนวนของเสีย	1	2	0	3
		ร้อยละของเสีย	0.13%	0.25%	0.00%	0.38%
		p-value	< 0.005	< 0.005	~ 1.00	< 0.005
การสัมผัสชิ้นงานด้วยมือ	800	จำนวนของเสีย	3	2	0	5
		ร้อยละของเสีย	0.38%	0.25%	0.00%	0.63%
		p-value	< 0.005	< 0.005	~ 1.00	< 0.005
ตำแหน่งของชิ้นงานบนเทรย์	800	จำนวนของเสีย	1	3	0	4
		ร้อยละของเสีย	0.13%	0.38%	0.00%	0.50%
		p-value	< 0.005	< 0.005	~ 1.00	< 0.005

## 5. กระบวนการ Backend

ปัจจัยนำเข้าที่จะทำการทดสอบของกระบวนการ Backend ได้แก่

1. ตำแหน่งของชิ้นงานบนเทรย์
2. ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทรย์
3. การสัมผัสชิ้นงานด้วยมือ

ในการทดสอบสมมติฐานของกระบวนการย่อยในการเคลื่อนย้ายชิ้นงานเพื่อนำเข้าไปในกระบวนการ Backend เพื่อทำการตัดค่า Gram Load (Gram Load Adjustment: GL) และตัด Static Attitude โดยจะทำการทดสอบด้วยการตรวจชิ้นงาน 3 ครั้ง ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ โดยที่ครั้งที่ 1 (VMI\_1) คือขั้นตอนก่อนนำเข้าเครื่องจักร Backend ครั้งที่ 2 (VMI\_2) คือ ขั้นตอนหลังจากออกจากเครื่อง Backend และครั้งที่ 3 (VMI\_3) หลังจากนำชิ้นงานวางในเทรย์ใส่ชิ้นงาน ดังรูป 5.9





รูปที่ 5.9 ขั้นตอนการทดสอบปัจจัยที่กระบวนการ Backend

ผู้วิจัยได้ใช้ขนาดสิ่งตัวอย่าง 800 ชิ้น ต่อปัจจัย และได้ผลการทดสอบสมมติฐานลงในตารางแบบฟอร์มการเก็บข้อมูล ดังตารางที่ 5.9 พบว่า ขั้นตอนการตรวจสอบระหว่างครั้งที่ 1 กับ ครั้งที่ 2 พบของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้งบริเวณขอบเขต 3 (BE3) จำนวน 2 ชิ้น และบริเวณขอบเขต 4 (BE4) จำนวน 2 ชิ้น โดยมีค่า P-value < 0.005 เพราะฉะนั้นจะได้ว่าปัจจัยนำเข้าตำแหน่งของชิ้นงานบนเทรย์ ส่งผลต่อข้อบกพร่องประเภทการโค้ง

ในขั้นตอนการตรวจสอบระหว่าง ครั้งที่ 2 กับครั้งที่ 3 ไม่พบของเสีย โดยมีค่า P-value เข้าใกล้ 1.0 เพราะฉะนั้นสามารถสรุปได้ว่าปัจจัย ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทรย์ และการสัมผัสชิ้นงานด้วยมือ ไม่ส่งผลต่อข้อบกพร่องประเภทการโค้ง

ตารางที่ 5.9 ผลการทดลองปัจจัยของกระบวนการ Backend

ปัจจัย	จำนวน ชิ้นงาน ตรวจสอบ		BE3-Near Weld#11	BE4-Flap1	รวม
					
ตำแหน่งการจับถือฟิกเจอร์	800	จำนวนของเสีย	2	2	4
		ร้อยละของเสีย	0.25%	0.25%	0.50%
		p-value	< 0.005	< 0.005	< 0.005
การสัมผัสชิ้นงานด้วยมือ	800	ข้อบกพร่อง	0	0	0
		ร้อยละ ข้อบกพร่อง	0.00%	0.00%	0.00%
		p-value	~ 1.00	~ 1.00	~ 1.00
ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับ เทรย์	800	ข้อบกพร่อง	0	0	0
		ร้อยละ ข้อบกพร่อง	0.00%	0.00%	0.00%
		p-value	~ 1.00	~ 1.00	~ 1.00

สรุปผลจากการวิเคราะห์การทดสอบสมมุติฐานของแต่ละปัจจัยนำเข้าไปนํามาทดสอบ 23 ปัจจัยจาก 6 กระบวนการ พบว่ามี 14 ปัจจัย จาก 6 กระบวนการ ส่งผลต่อของเสียจากข้อบกพร่อง ประเภทการโค้งที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังตาราง 5.10

ตารางที่ 5.10 สรุปปัจจัยนำเข้าที่ทำการทดสอบ

กระบวนการ	ลำดับ	ปัจจัยนำเข้าหลักที่อาจมีผลกระทบต่อปัญหา	การทดสอบสมมติฐาน	เครื่องมือวัด (Gage)	ตัวแปรตอบสนอง	P-Value	สรุปผล
Laser Weld	1	ตำแหน่งการดูดเฟล็กเซอร์ ออกจากเทอร์รี่	แบบสัดส่วน (Proportion)	ตรวจสอบด้วยสายตา	ข้อบกพร่องประเภทการโค้ง	<0.005	มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
	2	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทอร์รี่	แบบสัดส่วน (Proportion)	ตรวจสอบด้วยสายตา	ข้อบกพร่องประเภทการโค้ง	<0.005	มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
	3	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน	แบบสัดส่วน (Proportion)	ตรวจสอบด้วยสายตา	ข้อบกพร่องประเภทการโค้ง	~1.00	ไม่มีผล
Cutting	4	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน (ชิ้นงานแบบแผ่น)	แบบสัดส่วน (Proportion)	ตรวจสอบด้วยสายตา	ข้อบกพร่องประเภทการโค้ง	~1.00	ไม่มีผล
	5	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทอร์รี่ (ชิ้นงานแบบแผ่น)	แบบสัดส่วน (Proportion)	ตรวจสอบด้วยสายตา	ข้อบกพร่องประเภทการโค้ง	<0.005	มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
	6	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์	แบบสัดส่วน (Proportion)	ตรวจสอบด้วยสายตา	ข้อบกพร่องประเภทการโค้ง	~1.00	ไม่มีผล

ตารางที่ 5.10 สรุปปัจจัยนำเข้าที่ทำการทดสอบ (ต่อ)

กระบวนการ	ลำดับ	ปัจจัยนำเข้าหลักที่อาจมีผลกระทบต่อปัญหา	การทดสอบ	เครื่องมือวัด (Gage)	ตัวแปรตอบสนอง	P-Value	สรุปผล
Forming	7	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหีบชิ้นงาน (ชิ้นงานแบบแผ่น)	แบบสัดส่วน (Proportion)	ตรวจสอบด้วยสายตา	ข้อบกพร่องประเภทการโก่ง	~1.00	ไม่มีผล
	8	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทอร์รี่ (ชิ้นงานแบบแผ่น)	แบบสัดส่วน (Proportion)	ตรวจสอบด้วยสายตา	ข้อบกพร่องประเภทการโก่ง	<0.005	มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
	9	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์	แบบสัดส่วน (Proportion)	ตรวจสอบด้วยสายตา	ข้อบกพร่องประเภทการโก่ง	<0.005	มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
Final Trim	10	ตำแหน่งการจับถือเทอร์รี่	แบบสัดส่วน (Proportion)	ตรวจสอบด้วยสายตา	ข้อบกพร่องประเภทการโก่ง	~1.00	ไม่มีผล
	11	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทอร์รี่ (ชิ้นงานแบบแผ่น)	แบบสัดส่วน (Proportion)	ตรวจสอบด้วยสายตา	ข้อบกพร่องประเภทการโก่ง	<0.005	มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
	12	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์	แบบสัดส่วน (Proportion)	ตรวจสอบด้วยสายตา	ข้อบกพร่องประเภทการโก่ง	<0.005	ไม่มีผล

ตารางที่ 5.10 สรุปปัจจัยนำเข้าที่ทำการทดสอบ (ต่อ)

กระบวนการ	ลำดับ	ปัจจัยนำเข้าหลักที่อาจมีผลกระทบต่อบัญหา	การทดสอบสมมุติฐาน	เครื่องวัด (Gage)	ตัวแปรตอบสนอง	P-Value	สรุปผล
Final Trim	13	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทรย์ (ชิ้นงานแบบตัว)	แบบสัดส่วน (Proportion)	ตรวจสอบด้วยสายตา	ข้อบกพร่องประเภทการโก่ง	<0.005	มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
	14	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือเทียบชิ้นงาน	แบบสัดส่วน (Proportion)	ตรวจสอบด้วยสายตา	ข้อบกพร่องประเภทการโก่ง	<0.005	มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
	15	ตำแหน่งของชิ้นงานบนเทรย์	แบบสัดส่วน (Proportion)	ตรวจสอบด้วยสายตา	ข้อบกพร่องประเภทการโก่ง	<0.005	มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
Damper attach	16	สภาวะของแม่พิมพ์	แบบสัดส่วน (Proportion)	ตรวจสอบด้วยสายตา	ข้อบกพร่องประเภทการโก่ง	~1.00	ไม่มีผล
	17	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทรย์	แบบสัดส่วน (Proportion)	ตรวจสอบด้วยสายตา	ข้อบกพร่องประเภทการโก่ง	<0.005	มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
	18	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือเทียบชิ้นงาน	แบบสัดส่วน (Proportion)	ตรวจสอบด้วยสายตา	ข้อบกพร่องประเภทการโก่ง	<0.005	มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
	19	ตำแหน่งของชิ้นงานบนเทรย์	แบบสัดส่วน (Proportion)	ตรวจสอบด้วยสายตา	ข้อบกพร่องประเภทการโก่ง	<0.005	มีผลอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 5.10 สรุปปัจจัยนำเข้าที่ทำการทดสอบ (ต่อ)

กระบวนการ	ลำดับ	ปัจจัยนำเข้าหลักที่อาจมีผลกระทบต่อปัญหา	การทดสอบ	เครื่องมือวัด (Gage)	ตัวแปรตอบสนอง	P-Value	สรุปผล
Laser Weld	1	ตำแหน่งการดูเฟล็กเซอร์ออกจากเทอร์รี่	แบบสัดส่วน (Proportion)	ตรวจสอบด้วยสายตา	ข้อบกพร่องประเภทการโก่ง	<0.005	มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
	2	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทอร์รี่	แบบสัดส่วน (Proportion)	ตรวจสอบด้วยสายตา	ข้อบกพร่องประเภทการโก่ง	<0.005	มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
	3	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือยึดชิ้นงาน	แบบสัดส่วน (Proportion)	ตรวจสอบด้วยสายตา	ข้อบกพร่องประเภทการโก่ง	~1.00	ไม่มีผล
Cutting	4	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือยึดชิ้นงาน (ชิ้นงานแบบแผ่น)	แบบสัดส่วน (Proportion)	ตรวจสอบด้วยสายตา	ข้อบกพร่องประเภทการโก่ง	~1.00	ไม่มีผล
	5	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทอร์รี่ (ชิ้นงานแบบแผ่น)	แบบสัดส่วน (Proportion)	ตรวจสอบด้วยสายตา	ข้อบกพร่องประเภทการโก่ง	<0.005	มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
	6	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์	แบบสัดส่วน (Proportion)	ตรวจสอบด้วยสายตา	ข้อบกพร่องประเภทการโก่ง	~1.00	ไม่มีผล



## 5.5 สรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

สรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase) โดยการนำปัจจัยนำเข้าที่ได้จากระยะการวัดซึ่งมี 23 ปัจจัย จาก 6 กระบวนการ มาทำการทดสอบสมมุติฐานที่ละปัจจัยในช่วงเวลาหนึ่งๆ หรือ One Factor at a time (OFAT) ใช้เครื่องมือทางสถิติในการทดสอบ คือ การทดสอบความมีนัยสำคัญของสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่อง (ประชากรเดียว) หรือ One Proportion Test และการคำนวณขนาดตัวอย่างของการทดสอบสัดส่วนของประชากรเดียว หรือ One Proportion กำหนดให้ระดับนัยสำคัญ ( $\alpha$ ) เท่ากับ 0.05 ซึ่งจะได้ขนาดตัวอย่าง 800 ถึง 1600 ขึ้น โดยมีค่าอำนาจในการทดสอบ (Power of test หรือ  $\beta$ ) ตั้งแต่ 81.46% ถึง 89.7% ตามลำดับ ซึ่งขนาดตัวอย่างนี้จะสามารถนำมาใช้ในการทดสอบกับทุกปัจจัยของกระบวนการที่มีข้อจำกัดของการใช้ขนาดตัวอย่าง

จากนั้นจะใช้วิธีการตรวจสอบชิ้นงานภายใต้กล้องจุลทรรศน์เพื่อตรวจสอบของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโก่งก่อนและหลังกระบวนการทดสอบปัจจัย นำไปบันทึกในแบบฟอร์มที่ได้ออกแบบไว้ โดยชิ้นงานก่อนทดสอบจะต้องไม่มีข้อบกพร่องนั่นก็คือ  $p_0=0$  ซึ่งหากผลการทดสอบพบข้อบกพร่องประเภทการโก่งหลังกระบวนการทดสอบก็จะสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยนั้นส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

สรุปผลการทดสอบสมมุติฐานของแต่ละปัจจัยพบว่ามี 14 ปัจจัย จาก 6 กระบวนการที่มีผลต่อข้อบกพร่องประเภทการโก่งที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จากนั้นนำปัจจัยเหล่านี้ไปปรับปรุง ในขั้นตอนการปรับปรุง และการติดตามควบคุมกระบวนการ (Improve and Control Phase) ต่อไป

## บทที่ 6

### การปรับปรุง และการติดตามควบคุมกระบวนการ (Improve and Control Phase)

ในขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการนั้น เป็นการนำเอาปัจจัยนำเข้าที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง ก็คือข้อบกพร่องประเภทการโค้งซึ่งได้มาจากขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analyze Phase) มาทำการปรับปรุงแก้ไข โดยการระดมสมองกับคณะทีมงานหาแนวทางการปรับปรุงเพื่อให้ตัวแปรตอบสนอง ให้มีข้อบกพร่องประเภทการโค้งให้ต่ำลง และเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ จากนั้นเมื่อทำการปรับปรุงปัจจัยของกระบวนการแล้ว ก็จะเข้าสู่ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการเพื่อให้ได้มาตรฐานต่อไป

จากบทที่ 5 ระยะเวลาวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analyze Phase) สามารถระบุปัจจัยที่ส่งผลต่อข้อบกพร่องประเภทการโค้งอย่างมีนัยสำคัญ 14 ปัจจัย จาก 6 กระบวนการ จากนั้นทำการระดมสมองกับคณะทำงานเพื่อกำหนดแนวทางในการแก้ไขสาเหตุ ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6. 1 แนวทางการปรับปรุงปัจจัยนำเข้าหลักที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ

กระบวนการ	ลำดับ	ปัจจัยนำเข้าหลัก	แนวทางการปรับปรุง
Laser Weld	1	ตำแหน่งการดูดเฟลคเซอร์ออก จากเทรย์	แก้ไขวิธีการทำงาน
	2	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทรย์	ออกแบบเทรย์ชิ้นงานให้เหมาะสม
Cutting	3	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทรย์	ออกแบบเทรย์ชิ้นงานให้เหมาะสม
Forming	4	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทรย์	ออกแบบเทรย์ชิ้นงานให้เหมาะสม
	5	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับ แม่พิมพ์	ปรับแต่งแม่พิมพ์
Final Trim	6	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทรย์ (ชิ้นงานแบบแผ่น)	ออกแบบเทรย์ชิ้นงานให้เหมาะสม
	7	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทรย์ (ชิ้นงานแบบตัว)	ออกแบบเทรย์ชิ้นงานให้เหมาะสม
	8	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับ เครื่องมือหยิบชิ้นงาน	ออกแบบเครื่องมือหยิบชิ้นงานให้ เหมาะสม

ตารางที่ 6.1 แนวทางการปรับปรุงปัจจัยนำเข้าหลักที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ (ต่อ)

กระบวนการ	ลำดับ	ปัจจัยนำเข้าหลัก	แนวทางการปรับปรุง
Final Trim (ต่อ)	9	ตำแหน่งของชิ้นงานบนเทรย์	ออกแบบเครื่องมือหยิบชิ้นงานให้เหมาะสม
Damper attach	10	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทรย์	ออกแบบเทรย์ชิ้นงานให้เหมาะสม
	11	ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน	ออกแบบเทรย์ชิ้นงานให้เหมาะสม
	12	ตำแหน่งของชิ้นงานบนเทรย์	ออกแบบเทรย์ชิ้นงานให้เหมาะสม
	13	การสัมผัสชิ้นงานด้วยมือ	ออกแบบเทรย์ชิ้นงานให้เหมาะสม
Backend	14	ตำแหน่งการจับถือฟิกเจอร์	แก้ไขวิธีการทำงาน

จากตารางพบว่ามีปัจจัยนำเข้าหลักของแต่ละกระบวนการมีสาเหตุปัจจัยร่วมกัน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 สรุปแผนแนวทางการปรับปรุงของปัจจัยนำเข้าที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ

ลำดับ	แนวทางการปรับปรุง	กระบวนการ
1	ออกแบบเทรย์ชิ้นงานให้เหมาะสม	Laser, Cutting, Forming, Final Trim, Damper and Backend
2	ปรับแต่งแม่พิมพ์	Forming
3	ออกแบบเครื่องมือหยิบชิ้นงานให้เหมาะสม	Final Trim, Damper Attach
4	แก้ไขวิธีการทำงาน	Laser Weld, Backend

## 6.1 การปรับปรุงแก้ไข (Improve Phase)

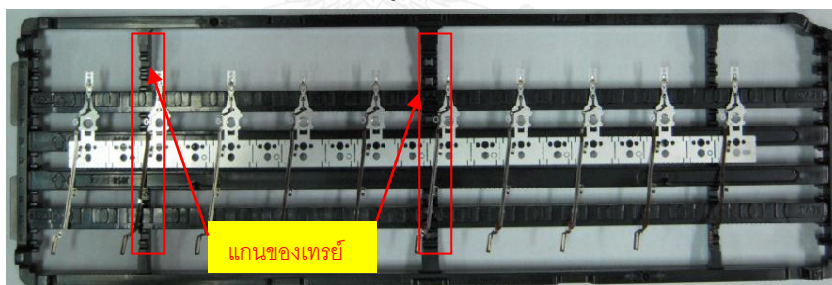
ในการปรับปรุงกระบวนการจะใช้แนวทางการปรับปรุงที่ผ่านการระดมสมองจากตารางที่ 6.2 โดยสมาชิกทีมงานในแต่ละแผนกที่เกี่ยวข้องดำเนินการแก้ไขสาเหตุเพื่อลดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทการโค้ง โดยทำตามขั้นตอนปรับปรุง ดังนี้

### 1. การปรับปรุงโดยการออกแบบเหรียญขึ้นงานให้เหมาะสม

- ก. ปัจจัย: ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเหรียญ
- ข. วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ในการจัดเก็บแขนจับหัวอ่านเขียนของกระบวนการผลิต เพื่อใช้ในการเคลื่อนย้ายงานระหว่างกระบวนการนั้น จะถูกจัดเก็บไว้ในเหรียญใส่ชิ้นงาน ซึ่งจะถูกล้างเรียงซ้อนกันและวางทับด้วยเหรียญเปล่าชั้นบนสุดให้ครบ 1 ล็อต (800 ชิ้น) ดังรูปที่ 6.1

โดยระหว่างขั้นตอนการทำงานในการนำแขนจับหัวอ่านเขียนไปวางลงบนเหรียญจะมีโอกาสทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภทการโค้ง ขณะที่เหรียญบนวางซ้อนทับบริเวณแกนกลางของเหรียญซึ่ง จะทำให้มีโอกาสสัมผัสโดยตรงกับชิ้นงาน และหากเมื่อวางเหรียญบนลงไปแล้ว มีการขยับระหว่างเหรียญบน และเหรียญล่าง เพราะมีช่องว่างระหว่างเหรียญ ก็จะทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภทการโค้งเช่นกัน ดังรูปที่ 6.2

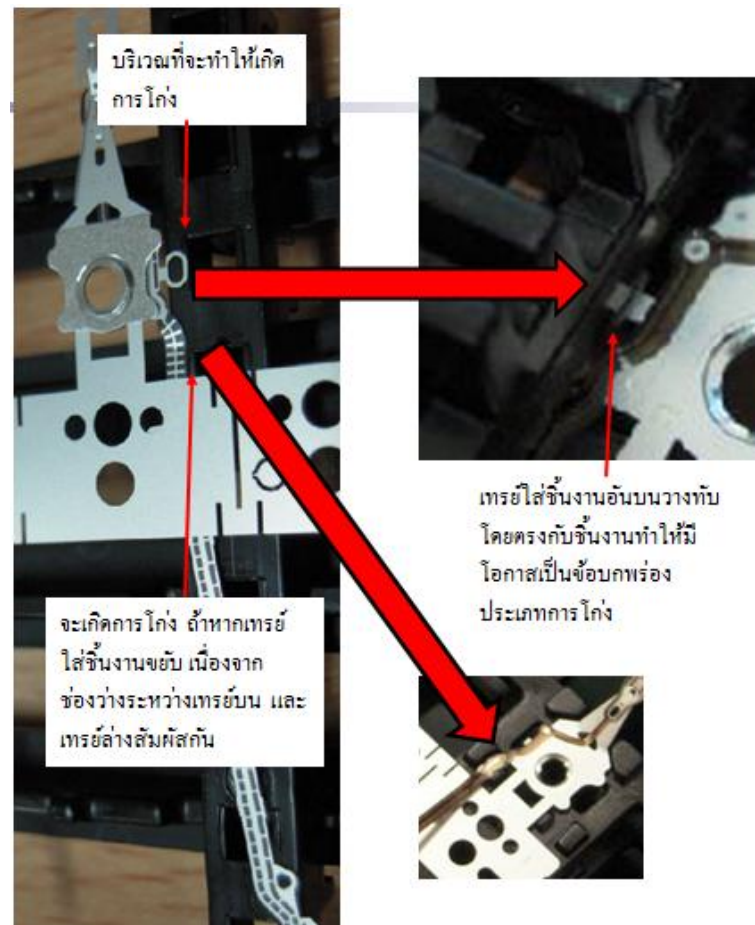


(ก)



(ข)

รูปที่ 6.1 (ก) แขนจับหัวอ่านเขียนอยู่บนเหรียญใส่ชิ้นงาน (ข) เหรียญใส่ชิ้นงานวางเรียงซ้อนกัน



รูปที่ 6.2 แขนจับหัวอ่านเขียนอยู่บนเทรย์ใส่ชิ้นงาน

### ค. การแก้ไขสาเหตุของปัญหา

ทำการแก้ไขโดยการออกแบบเทรย์ใส่ชิ้นงานใหม่ ไม่ให้แกนเทรย์อยู่ตรงกับชิ้นงาน เพื่อป้องกันการสัมผัสระหว่างชิ้นงานกับแกนกลาง และทำการปรับปรุงช่องว่างระหว่างเทรย์บนกับเทรย์ล่างให้เหมาะสมตามหลักการออกแบบให้เกิดการขยับน้อยที่สุดเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทการโก่งได้ดังรูปที่ 6.3



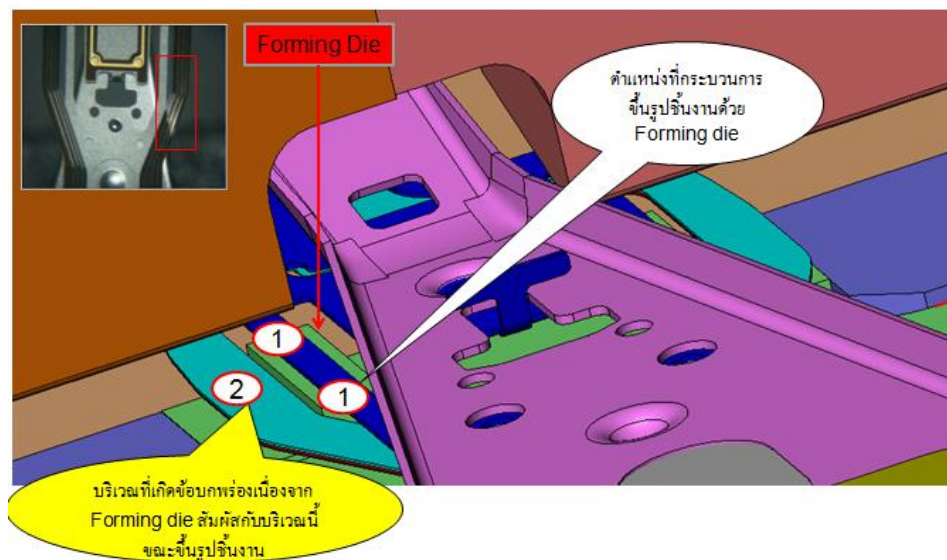
รูปที่ 6.3 เทรย์ใส่ชิ้นงาน ที่ได้รับการออกแบบใหม่

## 2. การปรับปรุงโดยการปรับแต่งแม่พิมพ์

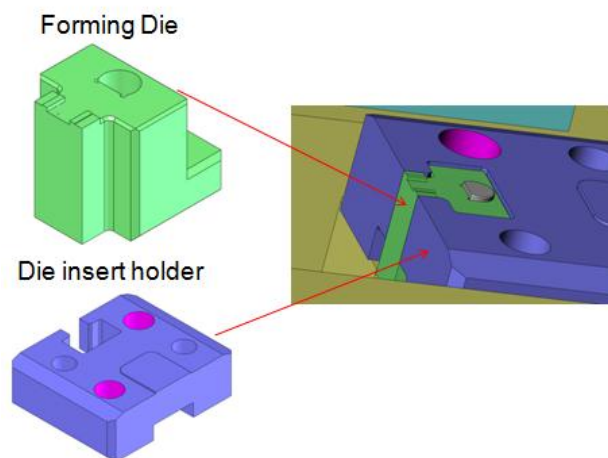
ก. ปัจจัย: ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์

ข. วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

เมื่อชิ้นงานเข้าสู่กระบวนการขึ้นรูป (Forming) โดยขั้นตอนการขึ้นรูปเกิดจากชิ้นส่วน Forming die กระทำการขึ้นรูปชิ้นงานบริเวณหมายเลข 1 เพื่อให้เกิดรอยพับตามแบบ (Drawing) โดยชิ้นส่วน Die insert holder จะทำหน้าที่จับชิ้นงานไว้ แต่เนื่องจากกระบวนการทำงานทำให้มีโอกาสที่ชิ้นส่วน Forming die สัมผัสกับชิ้นงานบริเวณหมายเลข 2 ทำให้ชิ้นงานบริเวณนี้เกิดข้อบกพร่องประเภทการโค้งได้ ดังรูปที่ 6.4 และ รูปที่ 6.5



รูปที่ 6.4 ตำแหน่งการขึ้นรูป (Forming) และตำแหน่งที่เกิดข้อบกพร่องการโค้ง

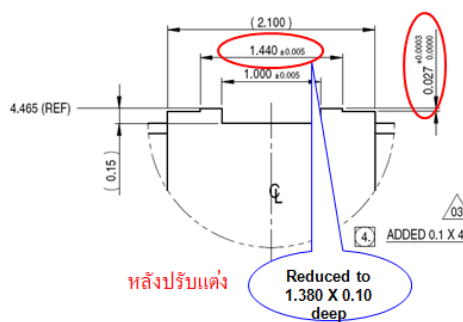
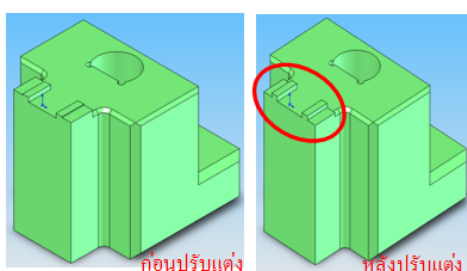


รูปที่ 6.5 ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ในการขึ้นรูปชิ้นงาน

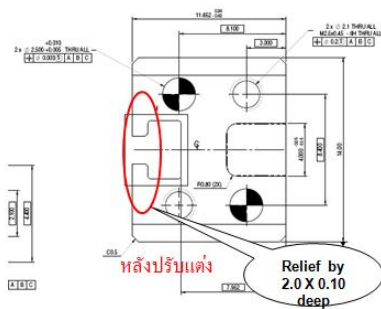
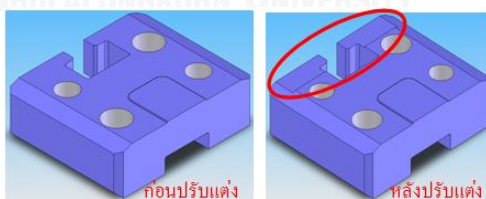
ค. การแก้ไขสาเหตุของปัญหา

ทำการปรับปรุงโดยการปรับแต่งแม่พิมพ์ในการขึ้นรูปของชิ้นส่วน Forming die โดยการลดขนาดความกว้างเดิม 1.440 ไมครอน เป็น 1.380 ไมครอน โดยให้ความลึกที่ 0.10 ไมครอน ดังรูปที่ 6.6 และปรับแต่งแม่พิมพ์ Die insert holder โดยการเอียงหลบชิ้นส่วนนี้ด้วยความกว้าง 2.0 ไมครอน และลึก 0.10 ไมครอน ดังรูปที่ 6.7 ซึ่งการปรับแต่งนี้เพื่อป้องกันขณะแม่พิมพ์ทำงานไม่ให้ชิ้นงานสัมผัสกับชิ้นส่วนแม่พิมพ์นี้โดยตรง

การปรับแต่งตามหลักการออกแบบแม่พิมพ์ โดยการปรับแต่งแม่พิมพ์จะต้องคำนึงไม่ให้ส่งผลกระทบต่อปัจจัยอื่นตามข้อจำกัดในการออกแบบของกระบวนการผลิต



รูปที่ 6.6 การปรับปรุงของชิ้นส่วนแม่พิมพ์ขึ้นรูป (ชิ้นส่วน Forming Die)



รูปที่ 6.7 การปรับปรุงของชิ้นส่วนแม่พิมพ์ขึ้นรูป (ชิ้นส่วน Die insert holder)

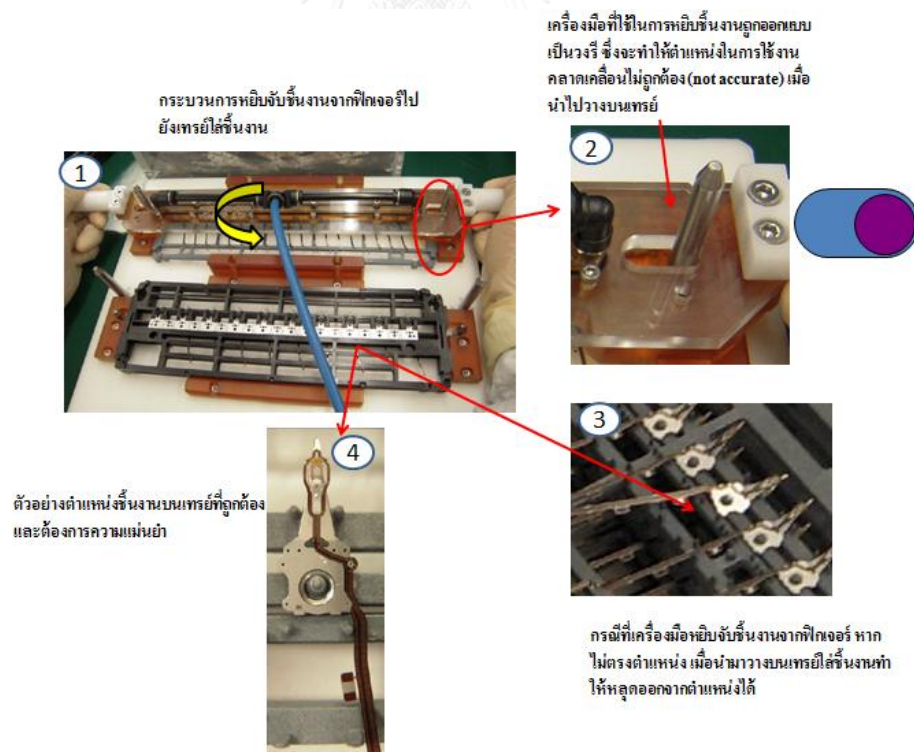


### 3. การปรับปรุงโดยการออกแบบเครื่องมือหยิบชิ้นงานให้เหมาะสม

- ก. ปัจจัย: - ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน  
- ตำแหน่งของชิ้นงานบนแทลย์
- ข. วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

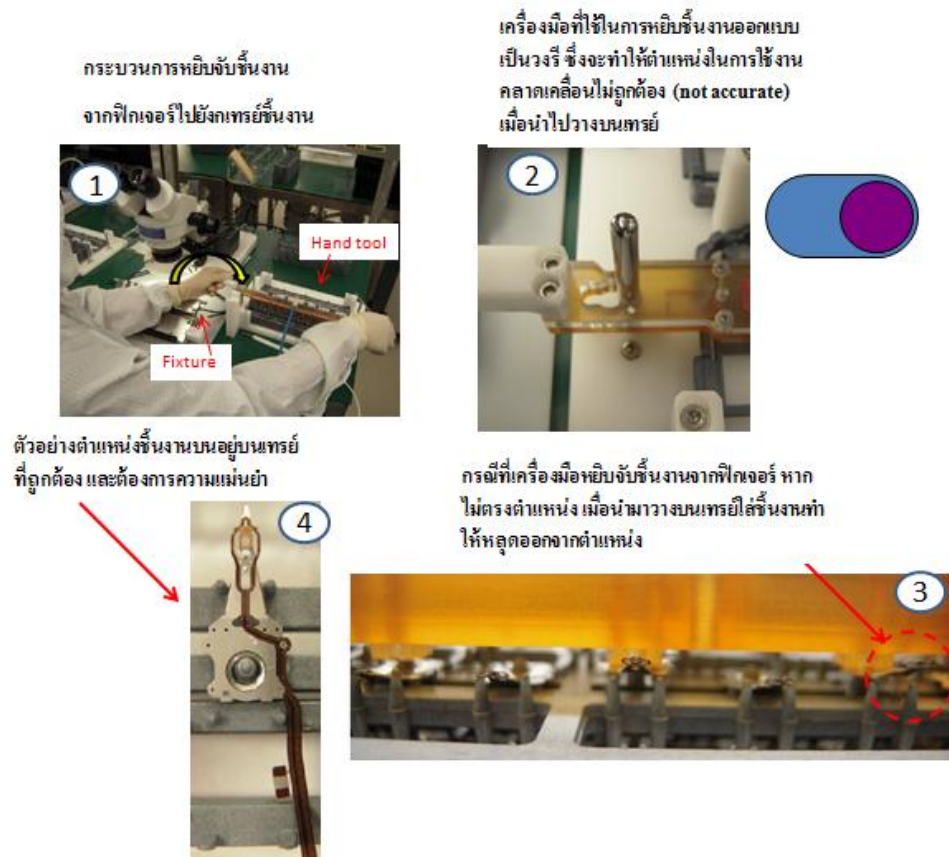
จากรูป 6.8 กระบวนการ Final Trim และรูป 6.9 กระบวนการ Damper Attach ในการหยิบจับชิ้นงานด้วยเครื่องมือจากฟิกเจอร์ไปยังแทลย์ชิ้นงาน (หมายเลข 1) สิ่งที่จะต้องควบคุมคือตำแหน่งของชิ้นงานจากฟิกเจอร์กับตำแหน่งชิ้นงานที่จะวางลงบนแทลย์ชิ้นงาน จะต้องอยู่ตำแหน่งเดียวกัน เพื่อป้องกันชิ้นงานหลุดออกจากตำแหน่งที่ถูกต้อง (หมายเลข 4 ชิ้นงานอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง) ซึ่งถ้าหากชิ้นงานไม่ตรงตำแหน่ง (หมายเลข 3 ชิ้นงานหลุดออกจากตำแหน่ง) เมื่อพนักงานนำแทลย์ใส่ชิ้นงานวางซ้อนทับจะทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภทการโค้ง

จากรูปที่ 6.8 (หมายเลข 2) และรูปที่ 6.9 (หมายเลข 2) วิเคราะห์หาสาเหตุพบว่า เครื่องมือที่ใช้ในการหยิบชิ้นงานถูกออกแบบเป็นวงรี ซึ่งจะทำให้ตำแหน่งในการใช้งานคลาดเคลื่อน (not accurate) ส่งผลให้ชิ้นงานจะหลุดออกจากตำแหน่งบนแทลย์ ซึ่งเมื่อนำแทลย์มาวางซ้อนกันจะทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภทการโค้งได้



รูปที่ 6.8 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาของกระบวนการหยิบชิ้นงานด้วยเครื่องมือจากฟิกเจอร์ไปยังแทลย์ของกระบวนการ Final Trim

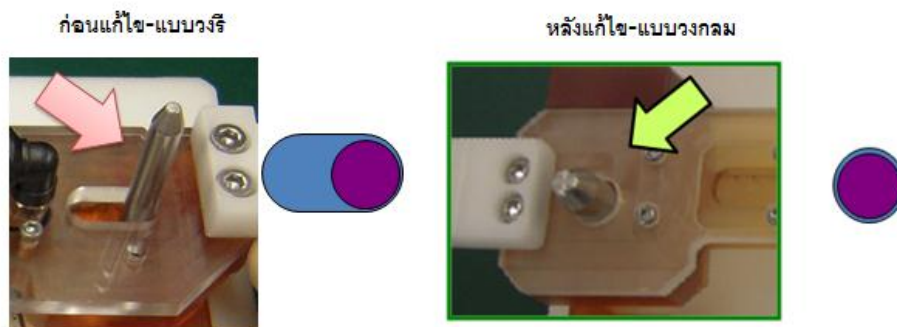




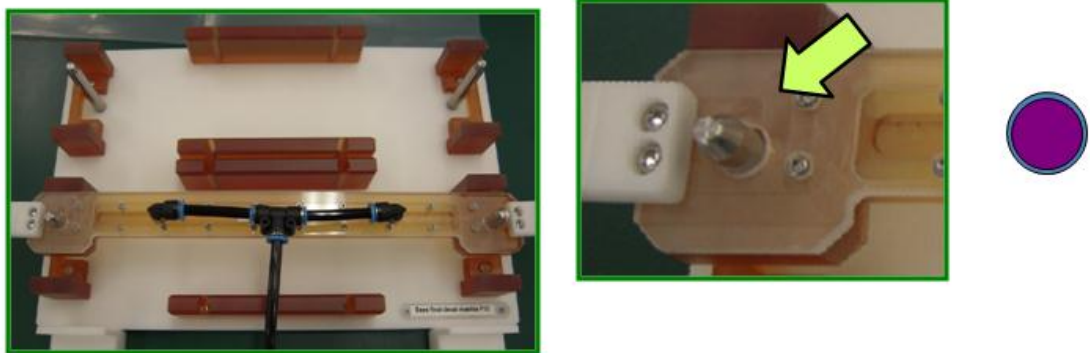
รูปที่ 6.9 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาของกระบวนการหยิบชิ้นงานด้วยเครื่องมือ  
จากฟิกเจอร์ไปยังเทรย์ใส่ชิ้นงานของกระบวนการ Damper Attach

ค. การแก้ไขสาเหตุของปัญหา

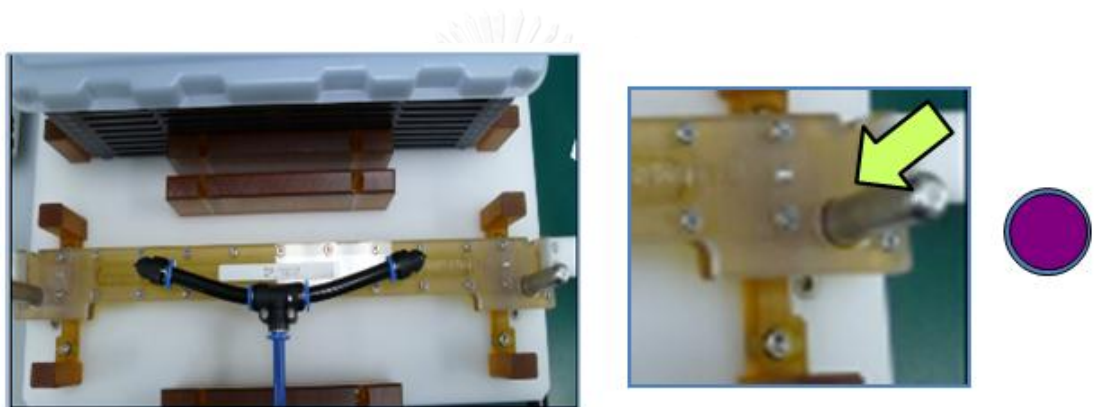
จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาพบว่าสาเหตุมาจากการออกแบบเครื่องมือหยิบ  
ชิ้นงานไม่เหมาะสม ซึ่งเป็นแบบวงรีทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนขณะใช้งาน จึงทำการ  
ออกแบบใหม่โดยให้เป็นแบบวงกลมเพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อน ทำให้ลดปัญหาความไม่  
แม่นยำในขั้นตอนกระบวนการทำงาน ดังรูปที่ 6.10, 6.11 และ 6.12



รูปที่ 6.10 การเปรียบเทียบก่อนและหลังแก้ไขเครื่องมือหยิบชิ้นงาน



รูปที่ 6.11 การปรับปรุงเครื่องมือหยิบชิ้นงานโดยการเปลี่ยนจากวงรี เป็นวงกลม  
ของกระบวนการ Final Trim



รูปที่ 6.12 การปรับปรุงเครื่องมือหยิบชิ้นงานโดยการเปลี่ยนจากวงรี เป็นวงกลม  
ของกระบวนการ Damper Attach

#### 4. ปรับปรุงโดยแก้ไขวิธีการทำงาน

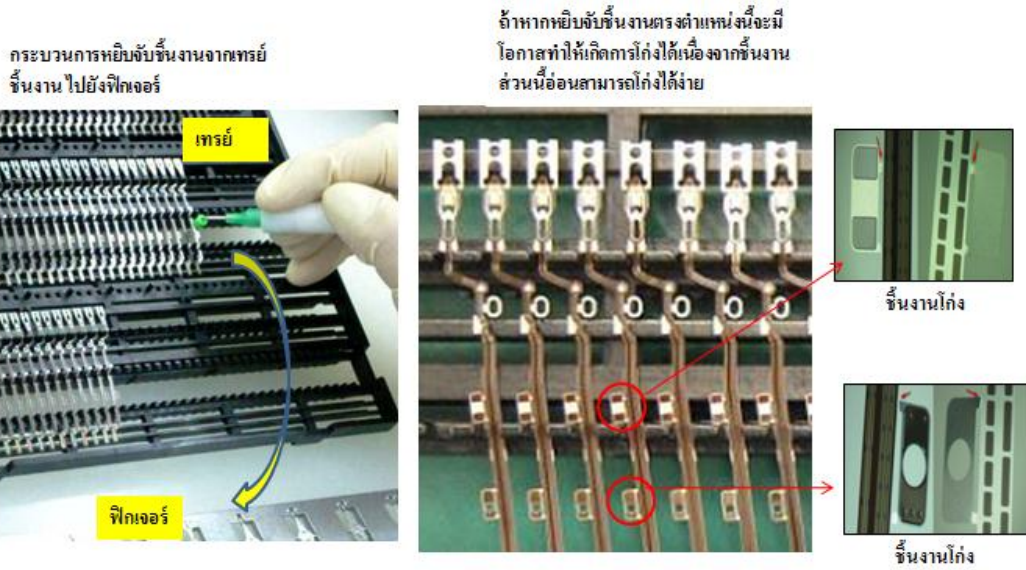
แก้ไขวิธีการทำงาน Revise Work instruction (Do Don't)

- ก. ปัจจัย: - ตำแหน่งการดูดเฟลคเซอร์ออกจากเทรย์ ของกระบวนการ Laser Weld  
- ตำแหน่งการจับถือฟิกเจอร์ ของกระบวนการ Backend

ข. วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

กระบวนการ Laser Weld

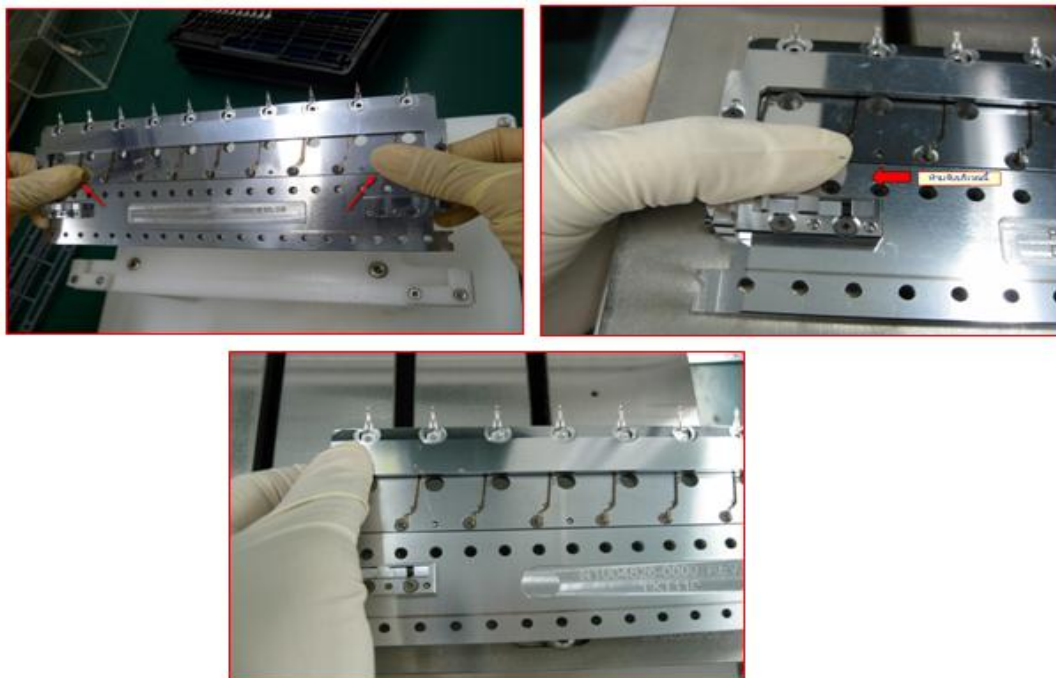
ในการดูดจับชิ้นงานด้วยแวกคัมเพน (Vacuum Pen) จากเทรย์ชิ้นงานวางลงบนฟิกเจอร์นั้นบางครั้งหากพนักงานใช้เครื่องมือหยิบผิดตำแหน่งบริเวณแฟลป (Flap) ทำให้เกิดการโค้งได้เนื่องจากชิ้นงานส่วนนี้อ่อนสามารถโค้งงอได้ง่าย จะทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภทการโค้งได้ดังรูป 6.13



รูปที่ 6.13 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาของการดูดจับชิ้นงานเฟลคเซอร์  
ของกระบวนการ Laser Weld

กระบวนการ Backend

ที่กระบวนการ Backend ในการหยิบจับฟีกเจอร์ซึ่งถ้าหากจับผิดตำแหน่งโดยนิ้วมือ  
ไปสัมผัสกับชิ้นงานที่อยู่บนฟีกเจอร์โดยตรงตามรูปที่ 6.14 จะทำให้มีโอกาสเกิดข้อบกพร่อง  
ประเภทการโก่งได้



รูปที่ 6.14 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาของการหยิบจับฟีกเจอร์ของกระบวนการ Backend

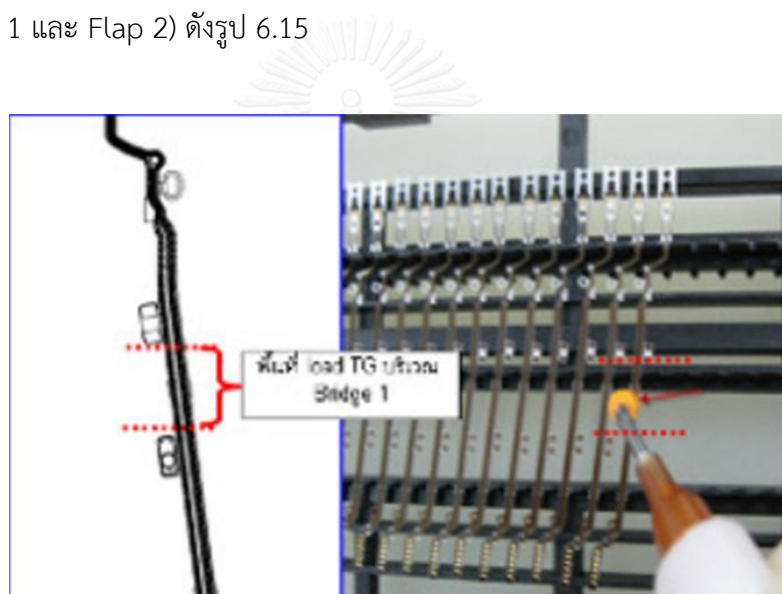
ค. การแก้ไขสาเหตุของปัญหา

ในการแก้ไขสาเหตุเนื่องจากเป็นขั้นตอนของกระบวนการทำงานซึ่งจะต้องใช้พนักงานในการทำงานเพื่อหยิบจับชิ้นงานโดยตรงเพราะฉะนั้น จึงทำการแก้ไขเอกสารในการทำงาน โดยระบุสิ่งที่ควรทำ และไม่ควรรทำ (Do Don't) ลงไป หลังจากนั้นนำไปอบรมให้กับพนักงาน ดังนี้

กระบวนการ Laser Weld

ข้อ 1. สิ่งที่ต้องทำ (Do) คือ

ใช้เครื่องมือในการหยิบจับ (Vacuum pen) จับเฟล็กเซอร์ยกออกจากเทรย์ใส่ชิ้นงาน โดยให้พนักงานใช้เครื่องมือในการหยิบจับจุดเฟล็กเซอร์บริเวณ Bridge1 (อยู่ระหว่าง Flap 1 และ Flap 2) ดังรูป 6.15



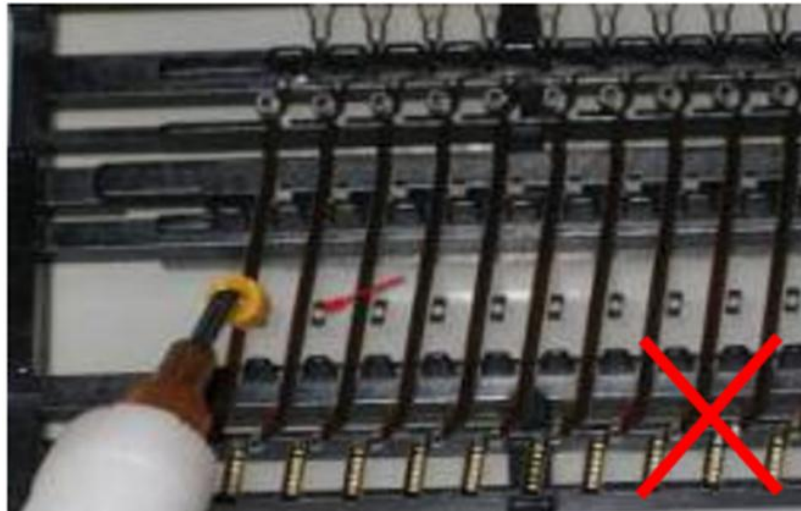
รูปที่ 6.15 การแก้ไขหยิบจับชิ้นงานให้ถูกตำแหน่ง (Do) ของกระบวนการ Laser

สิ่งที่ไม่ควรรทำ (Don't) คือ

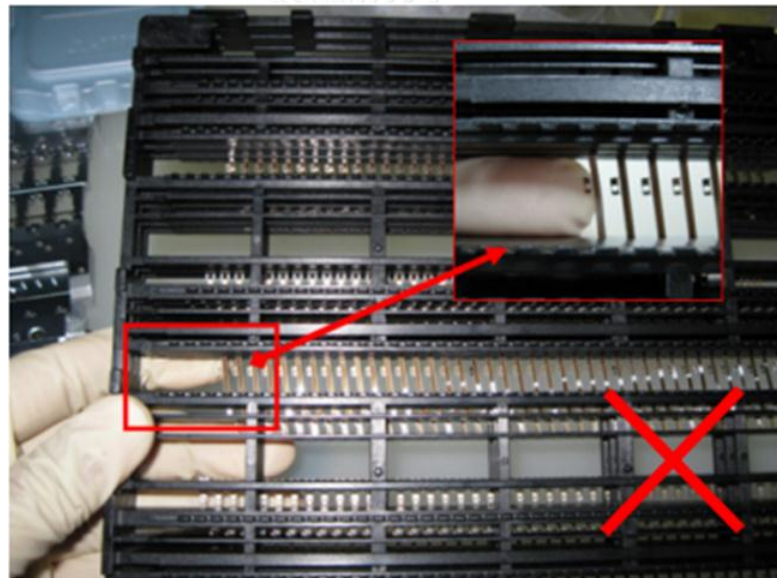
ห้ามใช้เครื่องมือในการหยิบจับจุดชิ้นงานเฟล็กเซอร์บริเวณ แฟลป (Flap) เพราะจะทำให้ชิ้นงานเสียรูปได้ ดังรูป 6.16 (ก)

และในการเคลื่อนย้าย หรือยกเฟล็กเซอร์เทรย์ ให้ระวังนิ้วมือสัมผัสตัวงานบริเวณ แฟลป (Flap) ดังรูป 6.16 (ข)





(ก)

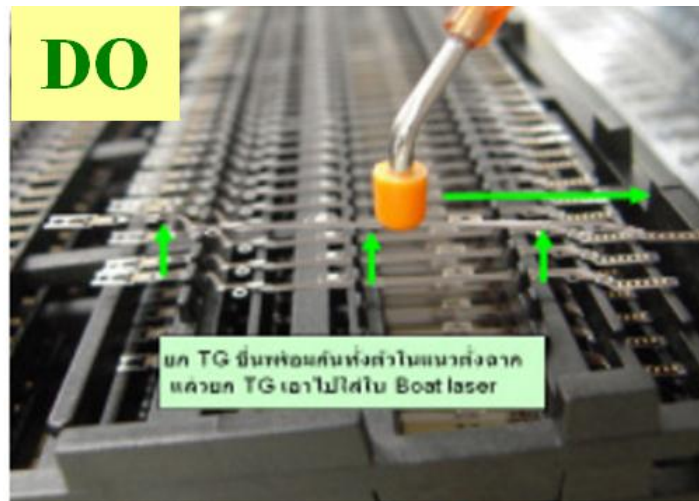


(ข)

รูปที่ 6.16 การหยิบจับชิ้นงานที่ไม่ถูกต้องของกระบวนการ Laser

ข้อ 2 สิ่งที่ต้องทำ (Do):

สำหรับการโหลดชิ้นงานเฟล็กเซอร์ใส่ฟิกเจอร์ ให้ใช้เครื่องมือในการหยิบจับจุดตัวงานเฟล็กเซอร์แล้วยกขึ้นพร้อมกันทั้งตัว จากนั้นจึงวางลงใส่ฟิกเจอร์ดังรูป 6.17



รูปที่ 6.17 การใช้เครื่องมือหยิบจับชิ้นงานที่ถูกต้องของกระบวนการ Laser

สิ่งที่ไม่ควรทำ (Don't) คือห้ามยกเฟล็กเซอร์ขึ้นส่วนใดส่วนหนึ่ง โดยที่ตัวงานถูกยกขึ้นไม่หมด แล้วยกเฟล็กเซอร์ใส่ในพิกเจอร์ เพราะทำให้ชิ้นงานเกิดข้อบกพร่องได้ ดังรูป 6.18



รูปที่ 6.18 การใช้เครื่องมือหยิบจับชิ้นงานไม่ถูกต้องของกระบวนการ Laser

### กระบวนการ Backend

ข้อ 1. สิ่งที่ต้องทำ (Do) คือ

ในการหยิบจับฟิกเจอร์ให้จับบริเวณที่ไม่สัมผัสชิ้นงานโดยตรงตามรูป 6.19



รูปที่ 6.19 ตำแหน่งการจับฟิกเจอร์ที่ถูกต้องของกระบวนการ Backend

สิ่งที่ไม่ควรทำ (Don't) คือ ห้ามหยิบจับฟิกเจอร์บริเวณที่มีชิ้นงาน ดังรูป 6.20



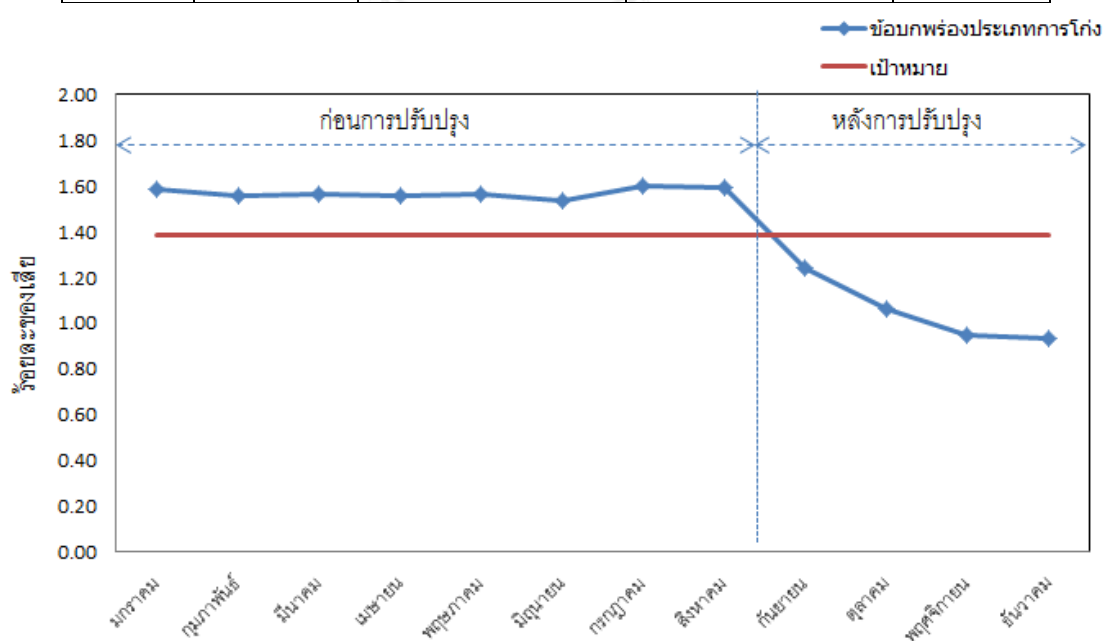
รูปที่ 6.20 ตำแหน่งการจับฟิกเจอร์ที่ไม่ถูกต้องของกระบวนการ Backend

## 6.2 สรุประยะเวลาการแก้ไขปรับปรุงกระบวนการ

ในการปรับปรุงปัจจัยนำเข้าหลัก (KPIVs) ของปัญหาข้อบกพร่องประเภทการโค้งงอของผลิตภัณฑ์แขนจับหัวอ่านเขียน รุ่น S รวมกับรุ่น M ได้ปรับปรุงกระบวนการทำงานที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องโดยกำหนดแนวทางการปรับปรุง จากการระดมสมองกับคณะทำงานจากทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตโดยตรง ซึ่งเมื่อนำแนวทางนี้ไปใช้ปรับปรุงกระบวนการพบว่าข้อบกพร่องประเภทการโค้งงอลดลงอย่างต่อเนื่องดังตารางที่ 6.3 และรูปที่ 6.21

ตารางที่ 6.3 การเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณการผลิต ปริมาณและร้อยละของเสียที่เกิดจาก  
ข้อบกพร่องประเภทการโก่ง ก่อนและหลังการปรับปรุง

ระยะ	เดือน	ปริมาณการผลิต (ชิ้น)	จำนวนของเสีย ประเภทการโก่ง	ร้อยละ
ก่อนการ ปรับปรุง	มกราคม	1,268,168	20,037	1.58
	กุมภาพันธ์	2,477,678	38,404	1.55
	มีนาคม	3,294,030	51,387	1.56
	เมษายน	7,084,811	109,815	1.55
	พฤษภาคม	3,788,762	59,105	1.56
	มิถุนายน	260,243	3,982	1.53
	กรกฎาคม	5,266,725	84,093	1.60
	สิงหาคม	6,721,057	106,659	1.59
หลังการ ปรับปรุง	กันยายน	3,127,116	38,826	1.24
	ตุลาคม	5,472,954	57,964	1.06
	พฤศจิกายน	4,071,823	38,440	0.94
	ธันวาคม	4,003,553	37,225	0.93



รูปที่ 6.21 กราฟแนวโน้มร้อยละของเสียของข้อบกพร่องประเภทการโก่ง



จากตารางที่ 6.4 หลังปรับปรุงพบว่าร้อยละของเสียประเภทการโก่งลดลงจากร้อยละ 1.56 เป็นร้อยละ 0.93 ซึ่งคิดเป็นมูลค่าความสูญเสียที่ลดลงเท่ากับ 5,360,254 บาทต่อปี โดยคิดมาจากผลต่างมูลค่าความสูญเสียก่อนและหลังการปรับปรุง โดยมูลค่าก่อนปรับปรุงคิดมาจากปริมาณการผลิตเท่ากับ 38,797,932 ชิ้นต่อปี และปริมาณการผลิตหลังปรับปรุง (ประมาณการ) เท่ากับ 30,000,000 ชิ้นต่อปี

ตารางที่ 6.4 การเปรียบเทียบผลก่อน และหลังการปรับปรุง

รายการ	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง (ประมาณการปริมาณการผลิต)	การปรับปรุง
ปริมาณการผลิต (ชิ้น)/ ปี	38,797,932	30,000,000	-
ร้อยละของเสีย	1.56	0.93	0.63
จำนวนของเสียการโก่ง (ชิ้น)	605,248	279,000	-
มูลค่าความสูญเสีย / ชิ้น (บาท)	16.43	16.43	-
มูลค่าความสูญเสีย / ปี (บาท)	9,944,224	4,583,970	5,360,254

### 6.3 ต้นทุนที่ใช้ในการปรับปรุง

ในการปรับปรุงนั้นจะมีค่าใช้จ่ายในทั้งหมดคิดเป็นเงิน 1,200,000 บาท ดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง

ลำดับ	การปรับปรุง	ค่าใช้จ่าย (บาท)	จำนวน	คิดเป็นเงิน (บาท)
1	ออกแบบเหรียญชิ้นงาน	ค่าแบบแม่พิมพ์ 800,000 บ.	1	800,000
		ค่าขึ้นรูปเหรียญ 40 บาท/ ชิ้น	10,000	400,000
2	ออกแบบเครื่องมือหยิบชิ้นงาน	ปรับปรุงโดยช่างเทคนิคไม่มีค่าใช้จ่าย		
3	ปรับแต่งแม่พิมพ์	ปรับปรุงโดยช่างเทคนิคไม่มีค่าใช้จ่าย		
4	แก้ไขวิธีการทำงาน	-	-	-
รวม				1,200,000

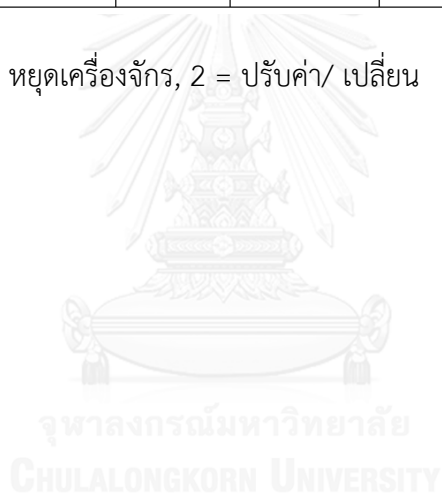
#### 6.4 การติดตามควบคุมกระบวนการ (Control Phase)

ในขั้นตอนการควบคุมกระบวนการนั้น ได้จัดทำแผนการควบคุมตามตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 แผนควบคุมกระบวนการ

กระบวนการ	วิธีการตรวจสอบ			แผนการสุ่ม		จุดเฝ้า		
	อุปกรณ์	คุณลักษณะ ตรวจสอบ	ข้อกำหนด	ขนาดสิ่งตัวอย่าง/ ความถี่	รับผิดชอบ โดย	จุดควบคุม	การ แก้ไข	รับผิดชอบโดย
LaserWeld, Cutting, Forming, Final Trim, Damper Attach and FVMI	โมโครสโคป กำลังขยาย 10 เท่า	ข้อบกพร่อง ประเภทการ โก่ง	อ้างอิง เอกสารการ ตรวจสอบ ชิ้นงาน	10 ตัว ต่อ 2 ล็อต	QC	ไม่ได้ตาม ข้อกำหนด	1,2	วิศวกร กระบวนการ/ วิศวกรซ่อมบำรุง

Legend: การแก้ไข: 1 = หยุดเครื่องจักร, 2 = ปรับค่า/ เปลี่ยน



## บทที่ 7

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิตขนมจับหัวอ่านเขียนตามแนวทางซิกซ์ ซิกมา เพื่อลดผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องประเภทการโค้ง โดยดำเนินการตามขั้นตอนกระบวนการดีเอ็มเอไอซี (DMAIC) โดยเริ่มจากขั้นตอนการกำหนดปัญหา การวัดสภาพปัญหา การวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นสาเหตุของปัญหา การปรับปรุงและควบคุมกระบวนการ

#### 7.1 สรุปผลวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมประกอบขนมจับหัวอ่านเขียน ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งผู้ผลิตจำเป็นต้องเน้นที่ต้นทุนการผลิต และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ได้ตามความต้องการของลูกค้า โดยในขั้นตอนการกำหนดปัญหาพบว่าข้อบกพร่องประเภทการโค้งมีร้อยละของเสียสูงที่สุดเท่ากับ 1.56 ซึ่งประเมินเป็นค่าสูญเสียโดยรวมเท่ากับ 9,944,224 บาทต่อปี ดังนั้นผู้วิจัยมีความสนใจที่จะทำการปรับปรุงปัญหานี้ ขั้นตอนต่อมาเป็นการตรวจวัด เพื่อค้นหาปัจจัยที่อาจเกิดผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ขนมจับหัวอ่านเขียน รุ่น S รวมกับรุ่น M ที่มีข้อบกพร่องประเภทการโค้ง โดยการระดมสมองจากคณะทำงานที่จัดตั้งซึ่งมีความรู้ความเข้าใจในกระบวนการที่ทำการวิจัย ซึ่งจะใช้เครื่องมือทางสถิติ และกราฟเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ดังนี้ แผนผังขั้นตอนการทำงาน (Process Mapping) การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบของกระบวนการ (FMEA) แผนภูมิพารेटอ (Pareto Chart) ซึ่งจากขั้นตอนการตรวจวัดนี้จะได้ปัจจัยที่อาจมีผลกระทบ 23 ปัจจัย จาก 6 กระบวนการ และยังได้ทำการประเมินความถูกต้องของระบบการวัดด้วยเครื่องมือ Attribute Agreement Analysis หลังจากได้ปัจจัยที่มีผลกระทบแล้ว นำมาวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบต่อข้อบกพร่องประเภทการโค้งของผลิตภัณฑ์ขนมจับหัวอ่านเขียนอย่างมีนัยสำคัญ โดยทำการทดลองและนำข้อมูลมาทดสอบสมมติฐานทางสถิติ (Hypothesis Testing)

เมื่อทำการทดสอบสมมติฐาน 23 ปัจจัย ได้ผลการทดลองว่ามีปัจจัยนำเข้า 14 ปัจจัยที่ผลกระทบต่อข้อบกพร่องประเภทการโค้ง อย่างมีนัยสำคัญ คือ คือ ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทอร์ย์ ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์ ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน ตำแหน่งของชิ้นงานบนเทอร์ย์ ตำแหน่งการดูเพลกเซอร์ออกจากเทอร์ย์ ตำแหน่งการจับถือฟีกเจอร์ ซึ่งหลังจากนั้นทำการปรับปรุงกระบวนการโดยระดมสมองกับคณะทำงานที่จัดตั้งเพื่อกำหนดวิธีการปรับปรุงปัจจัยเหล่านี้ ดังนั้นคือ ปัจจัยช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเทอร์ย์ปรับปรุงโดยออกแบบเทอร์ย์ชิ้นงานให้เหมาะสม (Design New tray) ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับแม่พิมพ์ปรับปรุงโดยปรับแต่งเครื่องจักรด้วยการปรับ

ระยะของแม่พิมพ์กับชิ้นงาน (Modify Die) ปักจี้ช่องว่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน และตำแหน่งของชิ้นงานบนเทรย์ปรับปรุงโดยทำการออกแบบกระบวนการทำงานให้เหมาะสม ระหว่างชิ้นงานกับเครื่องมือหยิบชิ้นงาน และเทรย์ใส่ชิ้นงาน (Design New Hand Tool) ปักจี้ ตำแหน่งการดูดเพลกเซอร์ออกจากเทรย์ และตำแหน่งการจับถือฟิกเจอร์ปรับปรุงโดยแก้ไขวิธีการทำงานวิธีการทำงาน (Do Don't)

เมื่อทำการปรับปรุงกระบวนการแล้ว ให้กำหนดแผนควบคุมกระบวนการให้เป็นมาตรฐานในการทำงาน โดยหลังจากทำการปรับปรุงพบว่าอัตราส่วนข้อบกพร่องลดลง จาก 15,649 PPM เป็น 9,263 PPM และค่าใช้จ่ายลดลง 4,583,970 บาทต่อปี

## 7.2 ข้อจำกัดและอุปสรรคในงานวิจัย

1. เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องคุณภาพ โดยปักจี้นำเข้าที่นำมาทดสอบนั้นเป็นการทดสอบปักจี้ของกระบวนการผลิตที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภทการโก่ง ซึ่งในแต่ละกระบวนการปักจี้ไม่ได้เกี่ยวข้องกัน ซึ่งในการปรับปรุงปักจี้ จะใช้เทคนิคการปรับปรุงจากคุณลักษณะสาเหตุของปัญหา แล้วปรับแก้ ซึ่งไม่สามารถทำการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) ได้

2. ในบางการทดลองมีอุปสรรคในเรื่องของการทดลอง เนื่องจากกระทบต่อแผนการผลิตจึงไม่สามารถทดลองงานได้ต่อเนื่อง ต้องอาศัยช่วงพัก หรือวันหยุดประจำสัปดาห์

## 7.3 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ในการวิจัยนี้ สามารถที่จะนำผลการทดลองและแนวทางการปรับปรุงกระบวนการไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์แขนจับหัวอ่านเขียนรุ่นที่มีลักษณะใกล้เคียงกันได้ แต่ควรที่จะต้องมีการทดสอบเพิ่มเติมถึงผลกระทบด้านอื่นๆ จากการทดลอง ก่อนนำไปปฏิบัติจริงในกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์รุ่นข้างเคียง

2. ในการเพิ่มความสามารถของกระบวนการผลิตเพื่อให้เป็นไปตามหลักกระบวนการซิกซ์ซิกม่านั้น จากข้อบกพร่องประเภทการโก่งของแขนจับหัวอ่านเขียน เป็นการปรับปรุงในกระบวนการผลิตซึ่งจะเห็นได้ว่าของเสียได้เกิดขึ้นแล้ว เพราะฉะนั้นควรที่จะทำการปรับปรุงไปที่ตัวผลิตภัณฑ์และการออกแบบมากกว่า โดยสามารถนำข้อมูลของผลิตภัณฑ์แขนจับหัวอ่านเขียน รุ่น S รวมกับรุ่น M ที่ได้รับการปรับปรุงกระบวนการป้อนกลับไปยังแผนกที่รับผิดชอบ คือแผนกออกแบบผลิตภัณฑ์ และออกแบบกระบวนการ ซึ่งในการออกแบบนั้นจำเป็นต้องพิจารณาปักจี้ต่างๆตั้งแต่วัตถุดิบ ข้อกำหนด

ของค่าพารามิเตอร์ และกระบวนการในการผลิต ซึ่งสามารถใช้หลักการ DFSS (Design for Six Sigma) ซึ่งถ้าหากมีการออกแบบที่ดีจะทำให้ลดต้นทุนในการผลิตที่เกิดจากข้อบกพร่อง และยังสามารถพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพื่อให้ระดับคุณภาพของกระบวนการอยู่ที่ระดับ Six Sigma นั่นคือมีสัดส่วนของเสีย 3.4 PPM



## ดัชนี

- การทดสอบสมมุติฐาน, 22
- การวิเคราะห์ระบบการวัด, 46
- การวิเคราะห์ระบบการวัดด้วยข้อมูลนับ, 46
- การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ, 58
- ข้อบกพร่องประเภทการโก่ง, 35
- แขนจับหัวอ่านเขียน, 4
- ความสามารถของกระบวนการ, 52
- ชิ้นส่วนหัวอ่านเขียนประกอบสำเร็จ, 3
- ชุดควบคุม, 4
- ชุดหัวอ่านสำเร็จ, 3
- ซิกซ์ ซิกม่า, 16
- แฉมเปอร์, 5
- ปัจจัยนำเข้าหลัก, 53
- แผนผังขั้นตอนการทำงาน, 53
- เพลกเซอร์ หรือเทอร์ซิมิบอล, 5
- เมาท์เพลตหรือเบสเพลต, 5
- ระดับเพดานบิน, 4
- โพลด์บีมหรือสตีฟไฟเนอร์, 5



## รายการอ้างอิง

(AIAG), A. I. A. G. (2001). Potential failure mode and effects analysis – Reference manual. 3<sup>rd</sup> ed. Michigan: Automotive Industry Action Group (AIAG)

Breyfogle F. W. (2001). Implementing SIX SIGMA Smarter Solutions Using Statistical Methods. New York: John Wiley & Sons

Montgomery D. C. (2001). Design and Analysis of Experiments. Hoboken, N.J. : John Wiley & Sons

Mosaica (2007). “Black Belt Training”. Six Sigma Overview

Pande P. S., et al. (2000). The SIX SIGMA Way How GE Motorola and Other Top Companies Are Honing Their Performance. New York: McGraw-Hill Book Company

Sigma Pro Material (2011). “Lean Six Sigma Black Belt”. Six Sigma

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2549). การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) ประมวลผลด้วย MINITAB. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

ชีวิรัตน์ กะฐินทอง (2551). การลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องในการผลิตแกนหมุนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ โดยใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

เดโช บุญครอง (2546). การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลสำหรับการศึกษาผลกระทบของแขนจับหัวอ่าน/เขียนในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นวลพรรณ ใจงาม (2541).การลดของเสียที่เกิดจากการถ่ายเทกระแสไฟฟ้าสถิตย์ในกระบวนการประกอบหัวอ่าน โดยใช้แนวทางของซิกซ์ ซิกม่า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปาริชาติ บุญเกลี้ยง (2552).การลดความผันแปรของขนาดหน้ากว้างของเทปโพลีเอทิลีนในกระบวนการตัดโดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกม่า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วัชรศักดิ์ ทวีสุข (2546).การศึกษาปัจจัยในกระบวนการการประกอบชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลฮาร์ดดิสก์ที่มีผลกระทบต่อการโค้งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลโดยใช้การออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สันติชัย ชิวสุทิตศิลป์ (2547).เอกสารประกอบการสอน, หลักการพื้นฐานของการออกแบบการทดลอง ประโยชน์ และการนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน. เชียงใหม่: ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สัมพันธ์ วุฒิมิตรสถล (2551). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายขวัญชัย ห้วยลึก เกิดเมื่อวันที่ 19 มีนาคม พ.ศ. 2524 ที่จังหวัดกระบี่ สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนัก วิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ในปีการศึกษา 2546 หลังจากนั้น ได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในภาคการศึกษาต้น ปีการศึกษา 2555

