

การจัดสรรค่าเผื่อและขนาดสำหรับเครื่องมือในกระบวนการเชื่อมติด
ของชิ้นงานแผ่นหัวอ่านเขียน



นาย พิวัฒน์ เนาวรัตน์กุลชัย

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-1046-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TOLERANCE AND DIMENSION ALLOCATION FOR TOOLING IN BONDING
PROCESS OF SLIDER BAR



Mr. Piwat Nowvaratkoolchai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-1046-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การจัดสรรค่าเผื่อและขนาดสำหรับเครื่องมือในกระบวนการเชื่อมติดของ
ชิ้นงานแผ่นหัวอ่านเขียน
โดย นายพิวัฒน์ เนาวรัตน์กุลชัย
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

----- คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

----- ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ธิวัตร)

----- อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร)

----- กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน)

----- กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตรา ฐิติการพานิช)

พิวัฒน์ เนาวรัตน์กุลชัย : การจัดสรรค่าเผื่อและขนาดสำหรับเครื่องมือในกระบวนการเชื่อมติดของชิ้นงานแผ่นหัวอ่านเขียน (TOLERANCE AND DIMENSION ALLOCATION FOR TOOLING IN BONDING PROCESS OF SLIDER BAR)

อ.ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร, 101 หน้า.

ISBN 974-17-1046-1

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ(1)ศึกษาวิธีการจัดสรรค่าเผื่อ และขนาดที่เหมาะสมสำหรับเครื่องมือในกระบวนการเชื่อมติดของชิ้นงานแผ่นหัวอ่าน-เขียน โดยมีระดับของของเสียที่ยอมรับได้ (2) สามารถลดของเสียอันมีสาเหตุมาจากปัจจัยค่าเผื่อ และ(3)สามารถประยุกต์ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบเครื่องมือนในกระบวนการเชื่อมติดของผลิตภัณฑ์ใหม่ ซึ่งมีความหนาแตกต่างกัน

ในการวิจัยนี้ศึกษาค่าความหนาเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแผ่นหัวอ่านเขียนและแผ่นกาวที่ใช้ในการผลิต จากนั้นศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะประกอบชิ้นงานกับของเสียโดยอาศัยแนวคิด Loss Function เพื่อทำการทดลองหาระยะประกอบที่เหมาะสมสำหรับการทำงานจริง จัดสรรค่าเผื่อและขนาดสำหรับออกแบบเครื่องมือ และวิเคราะห์ค่าเผื่อโดยเทคนิควิธี Worst Case Limits เทคนิควิธีทางสถิติ ได้แก่ วิธี Root sum of squares(RSS) และ วิธี Dynamic sum of squares (DRSS) และเทคนิควิธี Monte Carlo Simulation ด้วยโปรแกรมช่วยคอมพิวเตอร์ที่ชื่อ Crystal Ball หลังจากนั้นทำการสร้างแบบจำลองปัญหาเลียนแบบงานจริง และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างแบบจำลองปัญหากับงานจริง

ผลการวิจัย พบว่า (1)การจัดสรรค่าเผื่อและขนาดสำหรับชิ้นส่วนของเครื่องมือในกระบวนการเชื่อมติด เมื่อนำชิ้นส่วนต่างๆมาประกอบกันจะได้ระยะประกอบใหม่เท่ากับ 0.01270 ± 0.00294 นิ้ว ซึ่งมีผลแตกต่างกับระยะประกอบเก่าที่มีค่าเท่ากับ $0.01000 \pm .00330$ นิ้ว เท่ากับ 0.00270 ± 0.00036 นิ้ว ทำให้ค่าเผื่อและขนาดที่ถูกออกแบบใหม่ (2)สามารถลดของเสียอันเนื่องมาจากการมีระยะประกอบที่ไม่เหมาะสมนั้นลดลงคิดเป็นร้อยละ 82 เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนปรับปรุง (3)จากการพยากรณ์ของเสียที่เกิดขึ้นโดยใช้วิธีแบบจำลองปัญหาเทียบกับการปฏิบัติงานจริงพบว่า ค่าความแปรปรวนของของเสียไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ(α) เท่ากับ 0.05 แสดงว่าแบบจำลองปัญหาที่จัดทำขึ้นมาสามารถประยุกต์ใช้สำหรับการออกแบบเครื่องมือในกระบวนการเชื่อมติดของผลิตภัณฑ์ใหม่ได้

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2545 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... -.....

4371522321 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD : TOLERANCE ALLOCATION / TOLERANCE ANALYSIS / TOLERANCE
SIMULATION

PIWAT NAWARATKOOLCHAI : TOLERANCE AND DIMENSION ALLOCATION
FOR TOOLING IN BONDING PROCESS OF SLIDER BAR. THESIS ADVISOR :
ASSOCIATE PROFESSOR SOMCHAI PHOWJINDANAT, Ph.D. 101 pp. ISBN
974-17-1046-1

The main objectives of this research were (1) to study tolerance allocation and dimension for tooling in bonding process of slider bar to find optimal assembly gap for working at the accepted level of defects, (2) to reduce defects caused from tolerance, and (3) to apply as fundamental data in designing for tooling in bonding process of new slider bar which their thickness are different.

This research studied the average thickness and standard deviation of slider bar and adhesive sheet in manufacturing process. Then the relation between assembly workpiece and defect was studied using loss function to find out optimal gap for real work, tolerance and dimension allocation for tooling. The tolerance were analyzed by: Worst Case Limit Method, the Root Sum of Squares (RSS) and Dynamic Sum of Squares (DRSS), and the Monte Carlo Simulation using Crystal Ball's program. The result of the simulation and implementation were compared and analyzed.

The experiment revealed that (1) the new tolerance allocation and dimension for tooling in bonding process of slider bar created assembly workpiece at 0.01270 ± 0.00294 inches, while the existing one was 0.0100 ± 0.0033 inches. The different assembly workpiece was 0.00270 ± 0.00036 (2) the new tolerance allocation could remarkably reduce the defect by 82% compared with the old one (3) according to the forecast by comparing simulation and implementation, the variance of defect was not different with significant (α) of 0.05. It implied that the simulation could apply for tooling in bonding process of new slider bar.

Department/Program Industrial Engineering Student's signature

Field of study Industrial Engineering Advisor's signature

Academic year 2002 Co-advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์ของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รวมทั้ง รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย ธิวัณนิช ประธานกรรมการ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิตรา ฐักิจการพานิช กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าในการช่วยเหลือ ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ พร้อมทั้งตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของการวิจัยด้วยดีตลอดมา เพื่อความเหมาะสมและเป็นประโยชน์ในการศึกษาต่อไป

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณพระคุณ มารดา ตลอดจนสมาชิกในครอบครัว และ เพื่อนๆ ที่ได้ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจด้วยดีตลอดมา

ท้ายสุดนี้หวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ในการประยุกต์ใช้กับการทำงานในปัจจุบันด้านการออกแบบเครื่องมือไม่มากนักน้อย ความดีเหล่านี้ขอมอบแต่ทุกท่านที่มีส่วนสนับสนุนและให้การอนุเคราะห์ในการทำวิจัยครั้งนี้

นายพิวัฒน์ เนาวรัตน์กุลชัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2. หลักการพื้นฐานและสำรวจเอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 หลักการพื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับค่าเผื่อ.....	4
2.2 หลักการพื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ ค่าเผื่อกับของเสีย.....	9
2.3 เอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	10
3. กระบวนการเชื่อมติดและเครื่องมือเชื่อมติด.....	12
3.1 กระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียน.....	13
3.2 กระบวนการเชื่อมติด.....	15
3.3 การเลือกปัจจัยค่าเผื่อ.....	17
3.4 เครื่องมือเชื่อมติด.....	20
3.5 ค่าเผื่อและขนาดเดิมของเครื่องมือ.....	24
4. วิธีดำเนินการวิจัย.....	31
4.1 ข้อมูลชิ้นงานเริ่มต้น.....	31

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2 การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างระยะประกอบชิ้นงานกับของเสีย.....	37
4.3 ระยะประกอบที่เหมาะสมสำหรับการทำงานจริง.....	38
4.4 การจัดสรรค่าเผื่อและขนาดสำหรับการออกแบบเครื่องใหม่.....	44
4.5 การวิเคราะห์ค่าเผื่อโดยเทคนิควิธีต่างๆ.....	44
4.6 การสร้างแบบจำลองปัญหาเลียนแบบงานจริง.....	48
5. ผลการวิจัยดำเนินงาน.....	53
5.1 ผลของข้อมูลชิ้นงานเริ่มต้น.....	53
5.2 ผลของการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างระยะประกอบชิ้นงานกับ ของเสีย	60
5.3 ผลของระยะประกอบที่เหมาะสมสำหรับการทำงานจริง.....	60
5.4 ผลการจัดสรรค่าเผื่อและขนาดสำหรับการออกแบบเครื่องใหม่.....	67
5.5 ผลการวิเคราะห์ค่าเผื่อโดยเทคนิควิธีต่างๆ.....	69
5.6 ผลการสร้างแบบจำลองปัญหาเลียนแบบงานจริง.....	79
5.7 ผลการเปรียบเทียบของเสียที่ได้จากเครื่องใหม่.....	85
6. บทวิจารณ์และสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	87
6.1 บทวิจารณ์.....	87
6.2 สรุปผลโครงการวิจัย.....	88
6.3 ข้อเสนอแนะ.....	89
รายการอ้างอิง.....	90
ภาคผนวก.....	91
ภาคผนวก ก.....	92
ภาคผนวก ข.....	96
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	101

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
1	ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของสาเหตุแห่งปัจจัยจากคน(Man).....	18
2	ตารางที่ 3.2 แสดงรายละเอียดของสาเหตุแห่งปัจจัยจากวิธีการ (Method).....	18
3	ตารางที่ 3.3 แสดงรายละเอียดของสาเหตุแห่งปัจจัยจากวัสดุ (Material).....	19
4	ตารางที่ 3.4 แสดงรายละเอียดของสาเหตุแห่งปัจจัยจากเครื่องจักร (Machine).....	20
5	ตารางที่ 3.5 แสดงเครื่องมือเชื่อมติด (Bonding Tool) กับ ชุดเครื่องมือเชื่อมช่วยติด (Bonding Fixture).....	21
6	ตารางที่ 3.6 แสดงการบันทึกของเสียแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลอด.....	29
7	ตารางที่ 4.1 แสดงการบันทึกข้อมูลของเสียในระยะเวลาประกอบต่างๆ.....	43
8	ตารางที่ 4.2 แสดงแบบจำลองปัญหาแบบที่ 1.....	47
9	ตารางที่ 4.3 แสดงแบบจำลองปัญหาแบบที่ 2.....	47
10	ตารางที่ 4.4 แสดงแบบจำลองปัญหาแบบที่ 3.....	48
11	ตารางที่ 4.5 แสดงแบบจำลองปัญหาเลียนแบบงานจริง.....	50
12	ตารางที่ 4.6 แสดงการคำนวณการวิเคราะห์แบบจำลองปัญหา.....	52
13	ตารางที่ 5.1 แสดงการบันทึกค่าความหนา Slider Bar (หน่วยเป็น $\times 10^{-3}$ นิ้ว).....	54
14	ตารางที่ 5.2 แสดงการบันทึกค่าความหนา Slider Bar (หน่วยเป็น $\times 10^{-3}$ นิ้ว)(ต่อ).....	55
15	ตารางที่ 5.3 แสดงการบันทึกค่าความหนาของแผ่นกาว(หน่วยเป็นนิ้ว).....	58
16	ตารางที่ 5.4 แสดงผลของของเสียที่ได้มาจากระยะเวลาประกอบเดิม.....	61
17	ตารางที่ 5.5 แสดงการบันทึกระยะเวลาประกอบต่างๆกับของเสียที่เกิดขึ้น.....	62
18	ตารางที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบค่า L กับระยะเวลาประกอบต่างๆ และของแผ่นของเสียหัวอ่าน-เขียนหลอดกับระยะเวลาประกอบต่างๆ.....	65

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
19	ตารางที่ 5.7 แสดงการเปรียบเทียบการออกแบบขนาดกลางและค่าเผื่อของเครื่องมือเดิมและเครื่องมือใหม่.....	69
20	ตารางที่ 5.8 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าเผื่อด้วยเทคนิควิธี Worst Case Assembly.....	70
21	ตารางที่ 5.9 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าเผื่อด้วยเทคนิควิธี RSS (Root Sum of Squares).....	71
22	ตารางที่ 5.10 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าเผื่อด้วยเทคนิควิธี DRSS (Dynamic Root Sum of Squares).....	72
23	ตารางที่ 5.11 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าเผื่อแบบจำลองปัญหาแบบที่ 1....	73
24	ตารางที่ 5.12 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าเผื่อแบบจำลองปัญหาแบบที่ 2....	73
25	ตารางที่ 5.13 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าเผื่อแบบจำลองปัญหาแบบที่ 3....	74
26	ตารางที่ 5.14 แสดงผลสรุปค่าเฉลี่ยของระยะประกอบและค่าเผื่อของแบบจำลองปัญหาทั้ง 3 แบบ.....	76
27	ตารางที่ 5.15 แสดงผลสรุปการทำนายผลของของเสีย โดยการแทนค่าผลลัพธ์ระยะประกอบที่ได้จากการรันแบบจำลองปัญหาในสมการ Loss Function.....	77
28	ตารางที่ 5.16 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าเผื่อจากการออกแบบเครื่องมือใหม่ด้วย เทคนิควิธีต่างๆ.....	77
29	ตารางที่ 5.17 แสดงผลการกระจายข้อมูลของขนาด a b c d และ e.....	77
30	ตารางที่ 5.18 แสดงผลการวิเคราะห์แบบจำลองปัญหาเลียนแบบงานจริง.....	81
31	ตารางที่ 5.19 แสดงผลสรุปค่าเฉลี่ยของระยะประกอบและค่าเผื่อของแบบจำลองปัญหาเลียนแบบงานจริง.....	83
32	ตารางที่ 5.20 แสดงผลของเสียแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลุดที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติงานจริง.....	84
33	ตารางที่ 5.21 แสดงผลการเปรียบเทียบของเสียเดิม กับของเสียใหม่.....	85

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
1	รูปที่ 2.1 แสดงการสวมใส่แบบหลวม.....	4
2	รูปที่ 2.2 แสดงการสวมใส่แบบแน่น.....	5
3	รูปที่ 2.3 แสดงการสวมใส่แบบพอดี.....	5
4	รูปที่ 2.4 แสดงช่วงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ยอมรับได้.....	9
5	รูปที่ 2.5 แสดงกราฟ Quality-Loss Function.....	9
6	รูปที่ 3.1 แสดงกระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียน.....	13
7	รูปที่ 3.2 แสดงกระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียน(ต่อ).....	14
8	รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะการติระหว่างแผ่นหัวอ่าน-เขียน กับ เครื่องมือเชื่อมติดด้วยแผ่นกาว.....	15
9	รูปที่ 3.4 แสดงแผนภูมิเหตุและผลที่มีผลกระทบกับแผ่นหัวอ่าน-เขียน หลุด.....	17
10	รูปที่ 3.5 แสดงภาพของเครื่องมือเชื่อมติด(Bonding Tool) กับชุด เครื่องมือช่วยเชื่อมติด(Bonding Fixture).....	21
11	รูปที่ 3.6 แสดงขนาดของเครื่องมือที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานเชื่อมติด.....	24
12	รูปที่ 3.7 แสดงระยะช่องว่างประกอบ.....	27
13	รูปที่ 3.8 แสดงกราฟสัดส่วนของเสียแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลุด.....	30
14	รูปที่ 4.1 แสดงแผนผังขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย.....	32
15	รูปที่ 4.2 แสดงรูปร่างและลักษณะการทำงานของ Dial Indicator.....	34
16	รูปที่ 4.3 แสดงรูปร่างของไมโครมิเตอร์วัดด้านนอก.....	36
17	รูปที่ 4.4 แสดงการประกอบแผ่นหัวอ่าน-เขียนและแผ่นกาว.....	37
18	รูปที่ 4.5 แสดงเครื่องมือระยะประกอบ.....	38
19	รูปที่ 4.6 แสดงรูปร่างเกจวัดความหนา.....	40

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
20	รูปที่ 4.7 แสดงกราฟระยะช่องว่างประกอบที่เหมาะสมที่สุด.....	43
21	รูปที่ 4.8 แสดงการกำหนดขนาดโดยวิธี Displacement Vector.....	45
22	รูปที่ 4.9 แสดงตัวอย่างการกระจายข้อมูล a.....	49
23	รูปที่ 5.1 แสดงกราฟ Normal Probability Plot ของความหนาของแผ่นหัว อ่าน-เขียน.....	56
24	รูปที่ 5.2 แสดงกราฟ Histogram กับ Normal Curve ของความหนาของแผ่นหัวอ่าน-เขียน.....	56
25	รูปที่ 5.3 แสดงกราฟ Normal Probability Plot ของความหนาของแผ่นกาว.....	59
26	รูปที่ 5.4 แสดงกราฟ Histogram กับ Normal Curve ของความหนาของแผ่นกาว.....	59
27	รูปที่ 5.5 แสดงกราฟช่วงระยะประกอบที่เหมาะสมกับของเสียแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลุด.....	64
28	รูปที่ 5.6 แสดงกราฟเปรียบเทียบของเสียกับค่า ที่ระยะประกอบต่างๆ.....	66
29	รูปที่ 5.7 แสดงขนาดกลางและค่าเผื่อของเครื่องมือใหม่.....	67
30	รูปที่ 5.8 แสดงกรณีระยะช่องว่างแคบ และกว้างที่สุด.....	69
31	รูปที่ 5.9 แสดงความถี่ในการทำนายที่ช่วงระยะประกอบต่างๆ และการกระจายข้อมูลของการจำลองปัญหาแบบที่ 1 กับ Replicate ที่ 1.....	74
32	รูปที่ 5.10 แสดงความถี่ในการทำนายที่ช่วงระยะประกอบต่างๆ และการกระจายข้อมูลของการจำลองปัญหาแบบที่ 2 กับ Replicate ที่ 1.....	75
33	รูปที่ 5.11 แสดงความถี่ในการทำนายที่ช่วงระยะประกอบต่างๆ และการกระจายข้อมูลของการจำลองปัญหาแบบที่ 3 กับ Replicate ที่ 1.....	75
34	รูปที่ 5.12 แสดงการกระจายข้อมูลของขนาด a.....	79
35	รูปที่ 5.13 แสดงการกระจายข้อมูลของขนาด b.....	79
36	รูปที่ 5.14 แสดงการกระจายข้อมูลของขนาด c.....	79

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
37	รูปที่ 5.15 แสดงการกระจายข้อมูลของขนาด d	80
38	รูปที่ 5.16 แสดงการกระจายข้อมูลของขนาด e.....	80
39	รูปที่ 5.17 แสดงความถี่ในการทำนายที่ช่วงระยะประกอบต่างๆ และ การกระจายข้อมูลของการจำลองปัญหา Replicate ที่ 1	82
40	รูปที่ 5.18 แสดงกราฟสัดส่วนของเสียเปรียบเทียบกับแบบจำลองปัญหา เลียนงานจริงกับการปฏิบัติงานจริง.....	84
41	รูปที่ 5.19 แสดงกราฟสัดส่วนของเสียแสดงผลการเปรียบเทียบของเสีย เดิมกับของเสียใหม่และระดับของเสียที่ยอมรับได้.....	86

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการออกแบบเครื่องมือโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป มักจะไม่คำนึงถึงค่าเผื่อ(Tolerance) ในแต่ละชิ้นงาน เมื่อนำมาประกอบกันทำให้เกิดค่าเผื่อสะสม(Tolerance Stacking) ขึ้น ส่งผลให้การผลิตงานที่ไม่ได้คุณภาพ และไม่น่าเชื่อถือ ซึ่งอาจจะเสียเวลาและค่าใช้จ่ายที่สูงสูญเสียไปในการวิเคราะห์หาสาเหตุ ดังนั้นการจัดสรรค่าเผื่อ(Tolerance Allocation) ที่เหมาะสมจึงมีความจำเป็นอย่างมาก ผู้วิจัยจึงศึกษาหาขั้นตอนและวิธีการในการวิเคราะห์ค่าเผื่อที่เกิดขึ้น เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบการพิจารณาค่าเผื่อของเครื่องมือสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่

การประกอบชิ้นส่วน จะต้องกำหนดค่าเผื่อแก้มิตีทั้งหมดและประกอบกันของค่าเผื่อต้องไม่ฟิต หรือ หลวมจนเกินไป โดยมุ่งหวังให้ผลผลิตงานที่มีของเสียน้อยที่สุด โดยทั่วไปวิศวกรที่ออกแบบค่าเผื่อที่ได้มาจากทางทฤษฎี เมื่อนำมาปฏิบัติงานจริง อาจจะมีความคลาดเคลื่อนขึ้นมาได้ ดังนั้นผู้วิจัยได้ศึกษาความสัมพันธ์ของชิ้นงานผลิตภัณฑ์ที่นำมาประกอบเข้าด้วยกัน เพื่อหากระบวนการประกอบของผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม และนำมาซึ่งค่าเผื่อของชิ้นงานเครื่องมือแต่ละชิ้นได้

สำหรับรูปแบบในการวิเคราะห์ค่าเผื่อนี้มีหลายรูปแบบด้วยกัน เช่น รูปแบบ Worst case limits รูปแบบ Statistical รูปแบบ Monte Carlo Simulation โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยตรง เรื่องการจัดสรรค่าเผื่อที่เหมาะสมสำหรับเครื่องมือในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทย ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องมือชนิดอื่นๆได้

ปัญหาข้างต้นจึงเห็นการจัดสรรค่าเผื่อที่เหมาะสมในการออกแบบเครื่องมือ เพื่อที่จะผลิตงานที่มีคุณภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาการจัดสรรค่าเผื่อและขนาดที่เหมาะสมที่สุด สำหรับเครื่องมือในกระบวนการเชื่อมติดของชิ้นงานแผ่นหัวอ่าน-เขียน

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

การศึกษางานวิจัยนี้มีขอบเขต ข้อจำกัด และสมมติฐานดังนี้

1. ข้อมูลที่ใช้และนำมาวิเคราะห์ได้มาจากผลิตภัณฑ์หัวอ่าน-เขียน (Slider) ของกระบวนการเชื่อมติด(Bonding Process) และกระบวนการฝน(Lapping)

2. ในโรงงานตัวอย่างผลิตหัวอ่าน-เขียน มีกระบวนการเชื่อมติด(Bonding Process) ซึ่งประกอบด้วยสายการผลิตย่อย 11 สายการผลิต ซึ่งผู้วิจัยเก็บข้อมูลเบื้องต้นแผ่นหัวอ่าน-เขียน (Slider Bar) แผ่นกาว (Adhesive Sheet) และ ของเสียแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลุด (Debond Slider Bar Defect) เดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม 2544

3. งานวิจัยนี้ จะมุ่งความสนใจไปที่การหาค่าเผื่อและขนาดของเครื่องมือ ที่ส่งผลกระทบต่อของเสียที่เกิดขึ้นโดยตรงคือ ของเสียแผ่นหัวอ่านเขียนหลุดเท่านั้น และปัจจัยการผลิตอื่น ๆ มีค่าคงที่

4. การวิเคราะห์หาค่าเผื่อโดยใช้รูปแบบ Worst case Limits รูปแบบ Statistical ได้แก่ Root Sum of Squares (RSS) Dynamic Root Sum of Squares (DRSS) และ รูปแบบ Monte Carlo Simulation ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เท่านั้น ยอมให้ค่าเผื่อการประกอบยอมรับได้ที่ $\pm 3\sigma$

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัยมีดังต่อไปนี้

1. ค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย และสำรวจงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาสภาพปัจจุบันของกระบวนการเชื่อมติด
3. เก็บข้อมูลและหาค่าเฉลี่ย (Average) ค่า 3σ ของชิ้นงานประกอบเริ่มต้นและค่าเผื่อ (Tolerance) ระยะประกอบ (Assembly Gap) ของเครื่องมือประกอบเดิมในกระบวนการเชื่อมติด
 4. สร้างความสัมพันธ์ระหว่างสมการระยะประกอบชิ้นงานกับของเสีย
 5. ทำการหาระยะประกอบที่เหมาะสมสำหรับการทำงานจริง
 6. จัดสรรค่าเผื่อและขนาดที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องมือแต่ละชิ้น
 7. ทำการวิเคราะห์ค่าเผื่อโดยเทคนิควิธีต่างๆ
 8. สร้างเครื่องมือช่วยในกระบวนการเชื่อมติดของแผ่นหัวอ่าน-เขียนและสร้างแบบจำลองปัญหาค่าเผื่อเลียนแบบงานจริง
 9. เปรียบเทียบผลแบบจำลองปัญหากับของเสียหลังปรับปรุงและผลของของเสียก่อนและหลังปรับปรุงระยะประกอบใหม่
 10. สรุปผลจากงานวิจัยพร้อมข้อเสนอแนะ
 11. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถหาค่าเผื่อและขนาดที่เหมาะสมที่สุด ในการออกแบบเครื่องมือของกระบวนการเชื่อมติด โดยที่มีระดับของเสียที่ยอมรับได้
2. สามารถลดของเสียโดยตรงที่เกิดขึ้นจากการออกแบบเครื่องมือที่ค่าเผื่อที่ไม่เหมาะสม
3. สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน ในการออกแบบเครื่องมือของกระบวนการเชื่อมติด สำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ได้

บทที่ 2

หลักการพื้นฐานและสำรวจเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการพื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับค่าเผื่อ

ค่าเผื่อ (Tolerance) คือ ความแตกต่างระหว่างขีดจำกัดสูงสุดและขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถยอมรับได้ โดยอนุญาตให้มีความแปรปรวนเกิดขึ้นได้ในขนาดมิตินั้นๆ

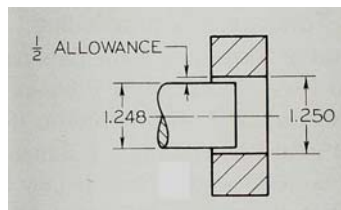
ตัวอย่าง ขนาด 1.625 ± 0.002 นิ้ว นั้นหมายความว่า อาจจะมีชิ้นงานที่มีขนาด 1.627 นิ้ว หรือ 1.623 นิ้ว หรือขนาดที่มีอยู่ในช่วงขีดจำกัดทั้งสองก็ได้

2.1.1 ลักษณะการสวมใส่

การสวมใส่ คือความสัมพันธ์ของส่วนที่สวมใส่ซึ่งกันและกัน (รูกับเพลลา, สลักกับร่องสลัก, มุมกับร่องมุม เป็นต้น) เวลาที่เส้นผ่านศูนย์กลางรูใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลาเรียกความต่างของเส้นผ่านศูนย์กลางทั้งสองว่า ช่องว่าง เรียกความต่างนี้เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางรูเล็กกว่าว่า ความแน่น สามารถแบ่งการสวมใส่ได้ 3 ประเภทคือ

1. การสวมใส่แบบหลวม (Clearance Fit)

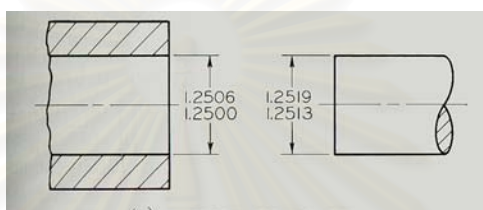
คือ การสวมใส่ที่ต้องมีช่องว่างระหว่างรูกับเพลลา ซึ่งขนาดที่ยอมรับได้ที่เล็กที่สุดของรูมากกว่า ขนาดที่ยอมรับได้ที่ใหญ่ที่สุดของเพลลา ตัวอย่างดังแสดงที่รูปที่ 2.1 กำหนดเพลลาที่ใหญ่ที่สุดเท่ากับ 1.248 นิ้ว และ รูที่เล็กที่สุดเท่ากับ 1.250 นิ้ว ซึ่งมีช่องว่างน้อยที่สุดคือ .002 นิ้ว



รูปที่ 2.1 แสดงการสวมใส่แบบหลวม (Clearance Fit)

2. การสวมใส่แบบแน่น (Interference Fit)

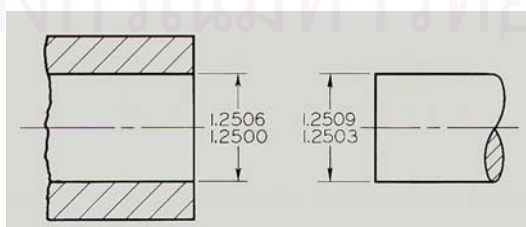
คือ การสวมใส่ที่ต้องมีความแน่นระหว่างรูกับเพลลา ซึ่งขนาดที่ยอมรับได้ที่ใหญ่ที่สุดของรู มากกว่าหรือเท่ากับ ขนาดที่ยอมรับได้ที่เล็กที่สุดของเพลลา ดังแสดงในรูปที่ 2.2 แสดงขนาดเพลลาเล็กที่สุดเท่ากับ 1.2513 นิ้ว และ รูใหญ่ที่สุดเท่ากับ 1.2506 นิ้ว ดังนั้นการสวมใส่จะแน่นอย่าง ที่ .0007 นิ้ว จนกระทั่งมากที่สุดถึง .0019 นิ้ว



รูปที่ 2.2 แสดงการสวมใส่แบบแน่น (Interference Fit)

3. การสวมใส่แบบพอดี (Transition Fit)

คือ การสวมใส่ที่ขนาดที่ยอมรับได้ที่เล็กที่สุดของรู น้อยกว่า ขนาดที่ยอมรับได้ที่ใหญ่ที่สุดของเพลลา และขนาดที่ยอมรับได้ที่ใหญ่ที่สุดของรู มากกว่า ขนาดที่ยอมรับได้ที่เล็กที่สุดของเพลลา ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดที่แท้จริงของชิ้นส่วนที่มาประกอบกันเป็นได้ทั้ง การสวมใส่แบบหลวม (Clearance Fit) และ การสวมใส่แบบแน่น (Interference Fit) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 แสดงขนาดเพลลาเท่ากับ 1.2503 นิ้ว สวมใส่กับ รูใหญ่ที่สุดเท่ากับ 1.2506 นิ้ว มีช่องว่าง .0003 นิ้ว และ เพลลาใหญ่ที่สุดเท่ากับ 1.2509 นิ้ว สวมใส่กับ รูเล็กที่สุดเท่ากับ 1.2500 นิ้ว มีความแน่นเท่ากับ .0009 นิ้ว



รูปที่ 2.3 แสดงการสวมใส่แบบพอดี (Transition Fit)

2.1.2 การวิเคราะห์ค่าเผื่อ

แนวทางและทฤษฎีในการวิเคราะห์ค่าเผื่อสำหรับชิ้นส่วนต่างๆที่ประกอบกัน ทำให้เกิดค่าเผื่อสะสม(Tolerance Stacking) มีหลายรูปแบบด้วยกัน แต่ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย และเชื่อถือได้ มีอยู่ 3 วิธีด้วยกันดังนี้

2.1.2.1 วิธี Worst Case Limits

วิธีนี้เป็นกรวิเคราะห์ ซึ่งเกิดขึ้นจากการรวมค่าเผื่อที่ประกอบกันในแต่ละชิ้นส่วนเป็นเส้นตรง เป็นการวิเคราะห์ในเชิงป้องกันและนิยมใช้กันมานาน สำหรับค่าเผื่อของส่วนประกอบแต่ละชิ้นจะถูกกำหนดขอบเขตขนาดที่ยอมรับได้ที่บนและล่างซึ่งเป็นขีดจำกัดสูงสุดหรือต่ำสุดเท่านั้น ซึ่งสมการการประกอบมีดังนี้

ขนาด Worst Case มากที่สุด หรือ WC_{max}

$$WC_{max} = \sum(Np_i + T_{p_i}) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.1)$$

ขนาด Worst Case น้อยที่สุด หรือ WC_{min}

$$WC_{min} = \sum(Np_i - T_{p_i}) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.2)$$

เมื่อ Np_i คือ ขนาดกลางหรือขนาดเป้าหมาย (Nominal Value)

T_{p_i} คือ ค่าเผื่อเริ่มต้น (Initial Tolerance)

สำหรับการพิจารณาค่าเผื่อประกอบของวิธี Worst Case Limits หรือ T_{wc} สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.3

$$T_{wc} = \sum T_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.3)$$

เมื่อ T_{wc} คือ ค่าเผื่อประกอบที่ได้มาจากวิธี Worst Case

T_i คือ ค่าเผื่อของชิ้นส่วนประกอบ

2.1.2.2 วิธีทางสถิติ (Statistical Method)

1. วิธี Root Sum Square(RSS)

ในการวิเคราะห์ค่าเผื่อ(Tolerance) ด้วยวิธีทางสถิติ เป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นวิธีที่เป็นเหตุเป็นผลเพราะมีการเก็บข้อมูลความน่าจะเป็นทั้งหมดของค่าเผื่อชิ้นงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นภายใต้การกระจายข้อมูลแบบนอร์มอล ซึ่งสมการพื้นฐานที่ใช้กันมีดังนี้

$$\sigma_{assy} = \left[\sum \sigma_i^2 \right]^{1/2} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.4)$$

เมื่อ σ_{assy} คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานประกอบ

σ_i คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นส่วนประกอบ

วิธีการ RSS จะทำให้สามารถวิเคราะห์แต่ละชิ้นส่วน โดยที่คำนึงถึงความสามารถในการผลิต(Process Capability, Cp) ซึ่งทำให้การวิเคราะห์ค่าเผื่อ (Tolerance) มีความเป็นจริงมากที่สุด แต่วิธีนี้ก็ยังมีข้อด้อยเช่นกัน คือ ไม่ได้คำนึงถึงระยะเวลาของ ความสามารถในการกระบวนการผลิต(Short Term) สำหรับการประกอบชิ้นส่วนมีสมการดังนี้

$$\sigma_{Gap} = \sqrt{\left(\frac{T_e}{3Cp} \right)^2 + \sum_{i=1}^m \left(\frac{T_{pi}}{3Cp_i} \right)^2} \quad (2.5)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n$$

เมื่อ σ_{Gap} คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของช่องว่างประกอบ

T_e คือ ค่าเผื่อของชิ้นส่วนหลัก

T_{pi} คือ ค่าเผื่อเริ่มต้น(Initial Tolerance)

2. วิธี Dynamic Root Sum of Square (DRSS)

การวิเคราะห์ค่าเผื่อแบบ DRSS เป็นวิธีวิเคราะห์ทางสถิติเช่นเดียวกับ RSS แต่มีความแตกต่างกันที่วิธี DRSS ขึ้นอยู่กับความสามารถการผลิตระยะยาว (Long Term Process Capability, Cpk) ซึ่งถูกเลื่อนค่าเฉลี่ยออกไป 1.5 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (1.5σ) ดังสมการด้านล่างนี้

$$\sigma_{\text{Gap}} = \sqrt{\left(\frac{T_e}{3Cpk}\right)^2 + \sum_{i=1}^m \left(\frac{T_{pi}}{3Cpk_i}\right)^2} \quad \text{-----}(2.6)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n$$

เมื่อ σ_{Gap} คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของช่องว่างประกอบ
 T_e คือ ค่าเผื่อของชิ้นส่วนหลัก
 T_{pi} คือ ค่าเผื่อเริ่มต้น (Initial Tolerance)

2.1.3 วิธี Monte Carlo Simulation

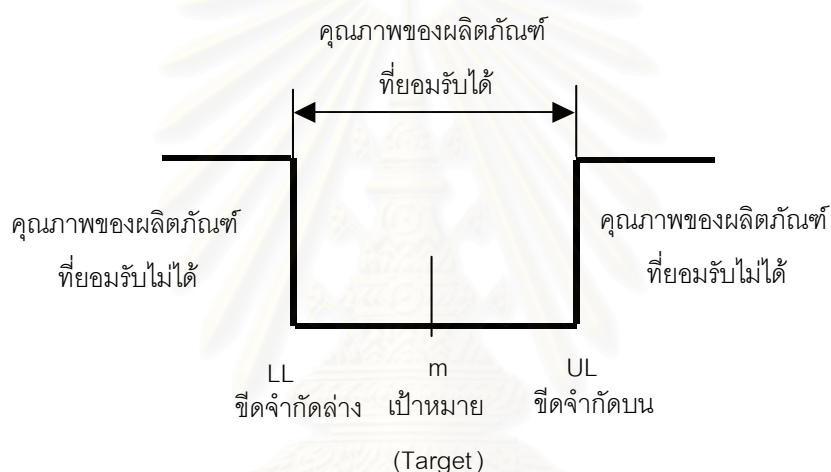
เป็นเทคนิควิธีในการวิเคราะห์ค่าเผื่อโดยการสุ่มตัวเลข (Random Number) ในโปรแกรมช่วยคอมพิวเตอร์ที่ชื่อ Crystal Ball ซึ่งการคำนวณจะรวบรวมความเป็นไปได้ของข้อมูลเข้า (Input Value) จะป้อนตัวเลขในแบบจำลองปัญหาโดยวิธี Monte Carlo Simulation จุดเด่นของวิธีนี้ มีความสามารถในการวิเคราะห์ค่าเผื่อที่มีความซับซ้อนมากๆ และป้อนจำนวนการรันหลายพันได้ ซึ่งแสดงผลการทำนายออกมาเป็นกราฟความถี่การกระจายข้อมูล และค่าประมาณข้อมูลขาออก (Output Value) ได้ ดังสมการนี้

$$y = f(x_i) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad \text{-----}(2.7)$$

เมื่อ y คือ ตัวแปรอิสระในการทำนาย
 x_i คือ ข้อมูลขาเข้า

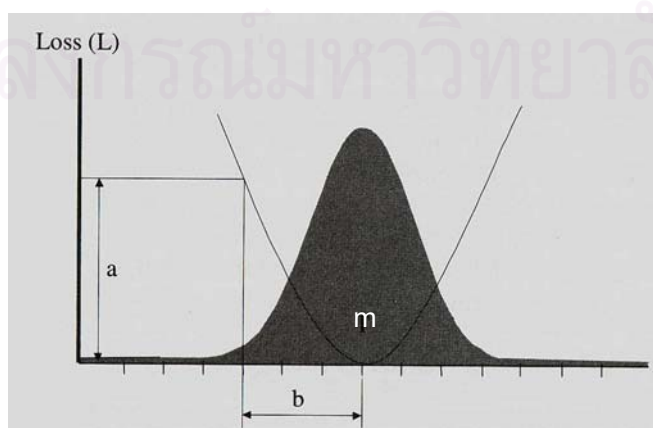
2.2 หลักการพื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของความสัมพันธ์ค่าเผื่อกับของเสีย

ในการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพกับค่าความสูญเสีย (Quality - Loss Function) มีวัตถุประสงค์เพื่อที่สร้างความสมดุลระหว่างค่าใช้จ่ายของผลิตภัณฑ์กับคุณภาพที่ยอมรับได้ ซึ่งในการผลิตโดยทั่วไปความคาดหวังว่าต้องผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามเป้าหมาย (Target) แต่ความเป็นจริงแล้วโอกาสที่เกิดค่าคลาดเคลื่อนในการผลิต (Deviation) ย่อมเกิดขึ้นได้ จึงเป็นสาเหตุให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายไปในคุณภาพที่อยู่นอกขีดจำกัดควบคุม (Control Limit) หรือคุณภาพที่ยอมรับไม่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงช่วงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ยอมรับได้

จากปรัชญา Loss function ของ Dr. Genichi Taguchi ได้นำเสนอสมการ Loss Function ดังสมการที่ 2.7



รูปที่ 2.5 แสดงกราฟ Quality-Loss Function

$$L = k (y - m)^2 \text{-----} (2.7)$$

เมื่อ

L คือ ค่าความสูญเสีย(Loss)

k คือ ค่าคงที่ของสัดส่วนระหว่างค่าความสูญเสียที่ยอมรับได้กับกำลังสองของระยะจากขีดจำกัดถึงค่าเผื่อเป้าหมาย (a / b^2)

y คือ ค่าเผื่อ(Tolerance)

m คือ ค่าเผื่อเป้าหมาย (Nominal Tolerance)

a คือ ค่าความสูญเสียที่ยอมรับได้

b คือ ระยะจากขีดจำกัดถึงค่าเผื่อเป้าหมาย

การหาค่าความสูญเสีย(L) ได้มาจากจุดตัดระหว่างค่าความสูญเสียที่ยอมรับได้ (a) กับขีดจำกัดของค่าเผื่อ(b) ดังนั้นสามารถทราบช่วงของค่าเผื่อที่มีค่าเผื่อเป้าหมาย (m) อยู่ตรงกลางของเส้นโค้งหงาย จากสมการนี้สามารถหาค่าความสูญเสียที่ค่าเผื่อ(y) ณ ตำแหน่งต่างๆบนเส้นโค้งนี้ได้ สำหรับพื้นที่ใต้เส้นโค้งนี้ แสดงความถี่ในการกระจายของข้อมูลแบบนอร์มอล นำมาซึ่งการหาค่าความสูญเสียรวมได้

2.3 เอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 รณชัย ศิริโรจนกุล , 2541

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการหาค่าเผื่อที่เหมาะสมที่สุด ที่มีต้นทุนการประกอบต่อชิ้นที่ต่ำที่สุด พร้อมทั้งเปรียบเทียบต้นทุนการประกอบของค่าเผื่อเดิมที่ออกแบบกับค่าเผื่อที่ทำการจัดสรรใหม่ และวิเคราะห์ความไวในกรณีคู่ค่าเผื่อกรณีต้นทุนแปรผันเปลี่ยนแปลง และความไวในกรณีคู่ค่าเผื่อเปลี่ยนแปลง โดยการหาค่าเผื่อที่เหมาะสมที่สุดจากชิ้นส่วนเพลลา และชิ้นส่วนประกอบเครื่องสูบน้ำมันรถยนต์ ให้อุปแบบฟังก์ชันต้นทุน-ค่าเผื่อในรูปแบบ Reciprocal และทำการจัดสรรค่าเผื่อโดยใช้วิธีลากรางจ์มัลติพลายเออร์

ผลการวิจัยพบว่าในการวิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบต้นทุนเมื่อค่าเผื่อเดิมถูกจัดสรรใหม่สามารถประหยัดต้นทุนได้ 16.13 บาท/คู่ ซึ่งเมื่อปริมาณการผลิตมากขึ้นก็จะทำให้ค่าเผื่อที่ถูกจัดสรรใหม่ประหยัดขึ้นโดยแปรผันสอดคล้องกับปริมาณการผลิต

2.3.2 K.W. Chase and W.H.Greenwood, 1987

K.W. Chase and W.H.Greenwood ได้กล่าวว่าการวิเคราะห์ค่าเผื่อเป็นเครื่องมือสำคัญในการลดต้นทุนการผลิตโดยการปรับปรุงกระบวนการผลิต ซึ่งวิธีการออกแบบค่าเผื่อมีด้วยกันหลายวิธี และในปัจจุบันวิธีการวิเคราะห์ค่าเผื่อได้ถูกพัฒนาและนำไปใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีความยืดหยุ่นมากกว่าวิธีทางวิศวกรรมพื้นฐาน เช่น สามารถใช้วิธีการทางสถิติ ควบคุมไปกับประกอบ worst case ในสายการผลิตเดียวกันได้ นอกจากนี้ยังมีการคำนึงถึงตัวแปรที่สำคัญในการผลิตซึ่งมักจะถูกมองข้าม เช่น ค่าเป้าหมายที่เลื่อนออกไป (nominal shifts) หรือ การกระจายที่มีอคติ (biased distributions)

บทที่ 3

กระบวนการเชื่อมติดและเครื่องมือเชื่อมติด

ภายในเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล(Personal Computer) จะมีอุปกรณ์หลักตัวหนึ่ง ที่เรียกว่าหน่วยเก็บข้อมูลอย่างถาวรที่เรียกว่า Disk Drive การเก็บข้อมูลและการดึงข้อมูลที่มีอยู่ แล้วออกมาใช้งาน จะต้องผ่านชิ้นส่วนที่สำคัญที่เรียกว่า หัวอ่าน-เขียน ซึ่งชิ้นส่วนที่สำคัญนี้ได้ถูกผลิตขึ้นที่โรงงานในประเทศไทย ขั้นตอนการผลิตหลักจะเริ่มต้นที่แผ่นเวเฟอร์ (wafer) ซึ่งมีหัวอ่านเขียนรวมกันอยู่มากกว่าหนึ่งหมื่นชิ้น เวเฟอร์จะถูกนำมาผ่านกระบวนการผลิต (Machining) การฝน(Lapping) และกระบวนการตรวจสอบ(Inspection) เพื่อผลิตหัวอ่าน-เขียน(Slider) หลังจากนั้น หัวอ่าน-เขียน(Slider) ก็จะถูกส่งไปประกอบรวมกับแกนหัวอ่าน-เขียน(Suspension) และสายไฟฟ้านาโนขนาดเล็ก(wire) เป็นหัวอ่านเขียนสำเร็จ(Head Stack Assembly)อีกขั้นตอนหนึ่ง เพื่อส่งให้ลูกค้า เพื่อการประกอบเป็น Disk Drive ต่อไป

หัวบันทึกข้อมูล เป็นชิ้นส่วนขนาดเล็กเท่ากับปลายปากกาใช้อ่านและเขียนข้อมูลจากหน่วยเก็บข้อมูลถาวรหรือสื่อเก็บข้อมูลอื่นเมื่อทำการเขียนหัวบันทึกนี้จะทำหน้าที่เป็นแม่เหล็กไฟฟ้าเล็กๆ ช่วงบวกลบของกระแสไฟฟ้าจะถูกแปลงเป็นขั้วแม่เหล็กกลับไปเป็นช่วงสัญญาณบวกและลบและช่วงสัญญาณบวกและลบนี้จะเป็นข้อมูลทางดิจิทัลเก็บลงแผ่นดิสก์ หัวบันทึกข้อมูลจะถูกติดตั้งบนกิมบอลซัสเพนชัน(Gimbal Suspension) ที่เป็นโลหะซึ่งเป็นแขนงเล็กๆ ที่ใช้จับยึดหัวบันทึกข้อมูลในตำแหน่งบน หรือ ล่างของแผ่นดิสก์ ที่เรียกว่า Head Gimbal Assembly หรือ HGA ชุดของ HGA จะเรียงซ้อนกันอยู่เพื่อใช้ติดตั้งในดิสก์ที่เรียกว่า Head Stack Assembly หรือ HSA

สำหรับโรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตชุดหัวอ่าน-เขียนสำเร็จ ซึ่งมีผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 3 ชนิดได้แก่

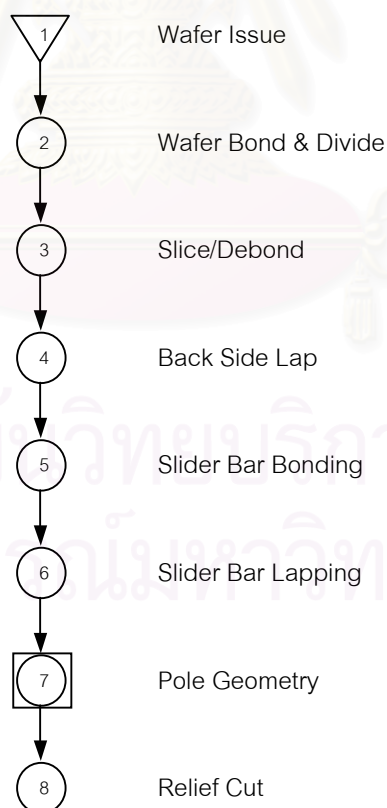
1. หัวอ่าน-เขียน (Slider) จะเป็นหัวอ่านสำหรับอ่านและบันทึกข้อมูลในหน่วยความจำแบบถาวร

2. **หัวอ่าน-เขียนสำเร็จ (Head Gimbals Assembly)** จะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตต่อจากหัวอ่าน เขียนอีกชั้นหนึ่ง คือจะเป็นขั้นตอนในการประกอบหัวอ่าน-เขียนเข้ากับ Suspension อีกทีหนึ่ง

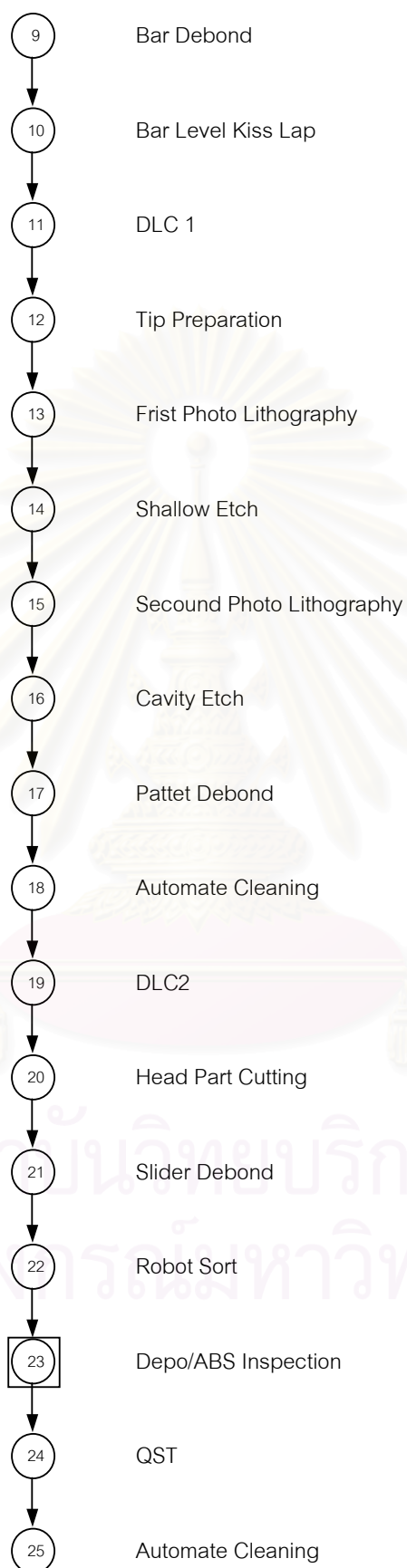
3. **ชุดหัวอ่าน-เขียนสำเร็จ (Head Stack Assembly)** จะเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายของอุปกรณ์ที่ใช้อ่าน-เขียนข้อมูลจากหน่วยเก็บข้อมูลอย่างถาวร

3.1 กระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียน (Slider Fabrication Process)

ในการผลิตหัวอ่าน-เขียน(Slider) จำเป็นต้องผ่านกระบวนการผลิตหลายขั้นตอน โดยเริ่มจากกระบวนการผลิตตัดแบ่งแผ่นเวเฟอร์(Wafer Machining) กระบวนการเชื่อมติดและฝน (Bonding/Lapping) กระบวนการผลิต Etching และ Coating และกระบวนการผลิต Back End/QST ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และ 3.2



รูปที่ 3.1 แสดงกระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียน

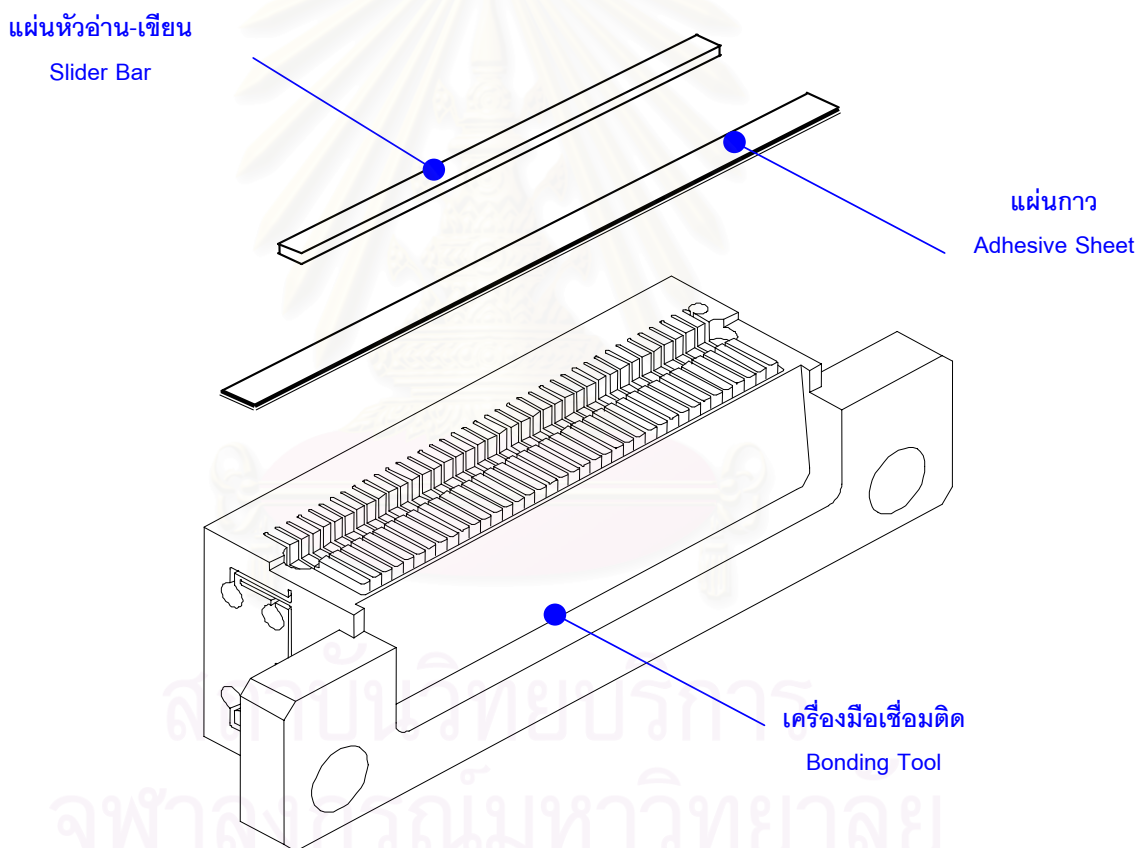


รูปที่ 3.2 แสดงกระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียน(ต่อ)

ในงานวิจัยนี้มุ่งสนใจกระบวนการเชื่อมติด (Slider Bar Bonding Process) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ 5 ของกระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียนดังแสดงในรูปที่ 3.1

3.2 กระบวนการเชื่อมติด (Slider Bar Bonding Process)

กระบวนการเชื่อมติด(Bonding Process) คือกระบวนการนำแผ่นหัวอ่าน-เขียน (Slider Bar) ติดบนเครื่องมือเชื่อมติด (Bonding Tool) โดยใช้แผ่นกาว(Adhesive Sheet) เป็นตัวประสาน ดังแสดงในรูปที่ 3.3 จากนั้นจะส่งต่อกระบวนการฝน(Lapping)



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะการติดระหว่างแผ่นหัวอ่าน-เขียน กับ เครื่องมือเชื่อมติด ด้วยแผ่นกาว

3.2.1 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

ขั้นตอนการปฏิบัติงานในกระบวนการเชื่อมติด มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 นำเครื่องมือเชื่อมติด(Bonding Tool) ใ้บ้นแผ่นความร้อนด้วย อุณหภูมิ 72-80 องศาเซลเซียส

ขั้นตอนที่ 2 จากนั้นนำเครื่องมือเชื่อมติด(Bonding Tool) ที่อุ่น มาติดแผ่นกาว

ขั้นตอนที่ 3 ประกอบเครื่องมือเชื่อมติด(Bonding Tool) ติดกับ Mount ของชุด เครื่องมือช่วยเชื่อมติด ด้วยสกรูแล้วแยกไว้

ขั้นตอนที่ 4 วางแผ่นหัวอ่าน-เขียนบนBase ของชุดเครื่องมือช่วยเชื่อมติด (Bonding Fixture) ซึ่งต่อท่อลมดูดแล้ว

ขั้นตอนที่ 5 หลังจากนั้นนำ Mount ประกอบกับ Base ของชุดเครื่องมือช่วยเชื่อม ติด (Bonding Fixture) ด้วยสกรู

ขั้นตอนที่ 6 นำชุดเครื่องมือช่วยเชื่อมติด(Bonding Fixture) ผ่านเครื่องทำความ ร้อน (Oven) แล้วปล่อยให้เย็นลง

ขั้นตอนที่ 7 ถอดเครื่องมือเชื่อมติด(Bonding Tool) ออกจาก ชุดเครื่องมือช่วย เชื่อมติด(Bonding Fixture)

ขั้นตอนที่ 8 นำเครื่องมือเชื่อมติด(Bonding Tool) ซึ่งติดแผ่นหัวอ่าน-เขียน(Slider Bar) เพื่อที่จะทำการฝน(Lapping) ต่อไป

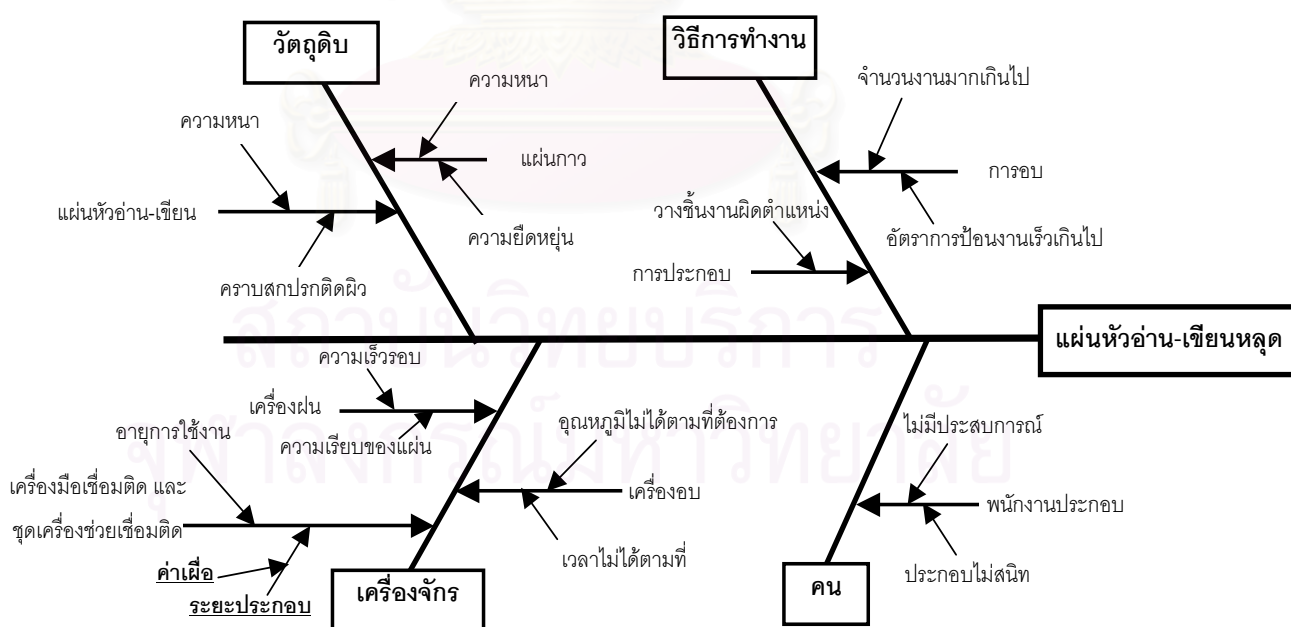
3.3 การเลือกปัจจัยค่าเผื่อ

3.3.1 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลอด

สาเหตุแห่งปัจจัยที่ทำให้ต่อแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลอด สามารถแสดงได้โดยแผนภูมิเหตุและผลดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยสาเหตุแห่งปัจจัยต่างๆได้จากการระดมความคิดของผู้ที่เกี่ยวข้องในแต่ละส่วนงานของโรงงานตัวอย่าง โดยเริ่มจากปัจจัยหลักประกอบด้วย

- ปัจจัยหลักเกิดจากคน (Man)
- ปัจจัยหลักเกิดจากเครื่องจักร (Machine)
- ปัจจัยหลักเกิดจากวิธีการทำงาน (Method)
- ปัจจัยหลักเกิดจากวัตถุดิบ (Material)

ในแต่ละปัจจัยหลักสามารถจำแนกเป็นสาเหตุย่อยๆได้โดยใช้แผนภูมิเหตุและผล (Cause-Effect Diagram) ได้ดังนี้



รูปที่ 3.4 แสดงแผนภูมิเหตุและผลที่มีผลกระทบกับแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลอด

จากการใช้แผนภูมิเหตุและผล (Cause-Effect Diagram) พบว่าสาเหตุแห่งปัจจัยที่ทำให้แผ่นหัวอ่าน-เขียนหลุดมีอยู่หลายสาเหตุ ซึ่งไม่สามารถทำการทดลองปัจจัยทั้งหมดได้ แต่อย่างไรก็ดี ปัจจัยอันเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียนั้น สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. ปัจจัยที่ได้ควบคุม
2. ปัจจัยที่ไม่ได้ควบคุม

จากการพิจารณาปัจจัยต่างๆแล้วพบว่า ปัจจัยค่าเผื่อเป็นปัจจัยเดียวที่ไม่ได้ควบคุม เนื่องจากไม่เคยทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระยะประกอบที่เหมาะสมที่สุด กับของเสียแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลุดอย่างจริงจังมาก่อน ทั้งที่เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อโดยตรง ดังนั้นจึงได้เห็นความสำคัญ และเป็นที่มาของงานวิจัยนี้

สำหรับปัจจัยที่ได้นำมาควบคุมแล้ว และไม่ได้เลือกมาทำการวิจัยในครั้งนี้สรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของสาเหตุแห่งปัจจัยจากคน (Man)

ปัจจัย	เหตุผลที่ไม่ได้ทำการเลือก	วิธีควบคุมเบื้องต้น
1.พนักงานประกอบที่ประกอบไม่สนิท	พนักงานเร่งรีบที่จะประกอบแผ่นหัวอ่าน-เขียน ทำให้การเชื่อมติดไม่ดีพอ	อบรมพนักงานให้ตระหนักถึงคุณภาพ
2.พนักงานประกอบไม่มีประสบการณ์	พนักงานไม่มีทักษะในการประกอบงาน ส่งผลให้การเชื่อมติดไม่มีประสิทธิภาพ	การทดสอบความเข้าใจในการปฏิบัติงานก่อนเข้าทำการปฏิบัติงานจริง

ตารางที่ 3.2 แสดงรายละเอียดของสาเหตุแห่งปัจจัยจากวิธีการ (Method)

ปัจจัย	เหตุผลที่ไม่ได้ทำการเลือก	วิธีควบคุมเบื้องต้น
1.วางชิ้นงานผิดตำแหน่งทำให้การประกอบไม่ดี	วางแผ่นหัวอ่าน-เขียนผิดตำแหน่ง ทำให้การเชื่อมติดไม่ทั่วทั้งแผ่น	กำหนดตำแหน่งที่ถูกต้อง โดยใช้เครื่องช่วยวางตำแหน่ง

2.จำนวนงานในการอบ	วิธีการอบงาน จะวางงานอยู่บนสายพานในแนวระนาบ จากนั้นมีการให้ความร้อนจากบนลงล่าง ดังนั้นจำนวนงานจะไม่มีผลต่อความร้อนที่ได้รับ	-
3.อัตราการป้อนงานในการอบ	วิธีการอบงาน จะวางงานอยู่บนสายพานในแนวระนาบ จากนั้นมีการให้ความร้อนจากบนลงล่าง ดังนั้นจำนวนงานจะไม่มีผลต่อความร้อนที่ได้รับ	-

ตารางที่ 3.3 แสดงรายละเอียดของสาเหตุแห่งปัจจัยจากวัตถุดิบ (Material)

ปัจจัย	เหตุผลที่ไม่ได้ทำการเลือก	วิธีควบคุมเบื้องต้น
1.ความหนาของและสม่ำเสมอ	ความหนาของ และสม่ำเสมอไม่ดี จะส่งผลต่อการยึดแน่นแผ่นหัวอ่าน-เขียนไม่ทั่วทุกจุด	ตรวจสอบคุณภาพให้อยู่ในช่วงค่าขีดจำกัดควบคุมก่อนนำเข้ามาทำการผลิต
2.ความยืดหยุ่นแผ่นกาว	ความยืดหยุ่นไม่ได้มาตรฐาน หรือเก่าหมดสภาพ ทำให้การยึดไม่มีประสิทธิภาพ	ตรวจสอบคุณภาพให้อยู่ในช่วงค่าขีดจำกัดควบคุมก่อนนำเข้ามาทำการผลิต
3.ความหนาของแผ่นหัวอ่าน-เขียน	ความหนาของแผ่นหัวอ่าน-เขียนมากหรือน้อย จะทำให้ระยะประกอปกว้างหรือแคบเกินไป ส่งผลให้การเชื่อมติดไม่ดีพอ	ตรวจสอบคุณภาพให้อยู่ในช่วงค่าขีดจำกัดควบคุมก่อนนำเข้ามาทำการผลิต
4.ความสกปรกติดบนผิวแผ่นหัวอ่าน-เขียน	การยึดเกาะแผ่นหัวอ่านไม่ดี	ตรวจสอบความสะอาดก่อนเข้าทำการผลิต

ตารางที่ 3.4 แสดงรายละเอียดของสาเหตุแห่งปัจจัยจากเครื่องจักร (Machine)

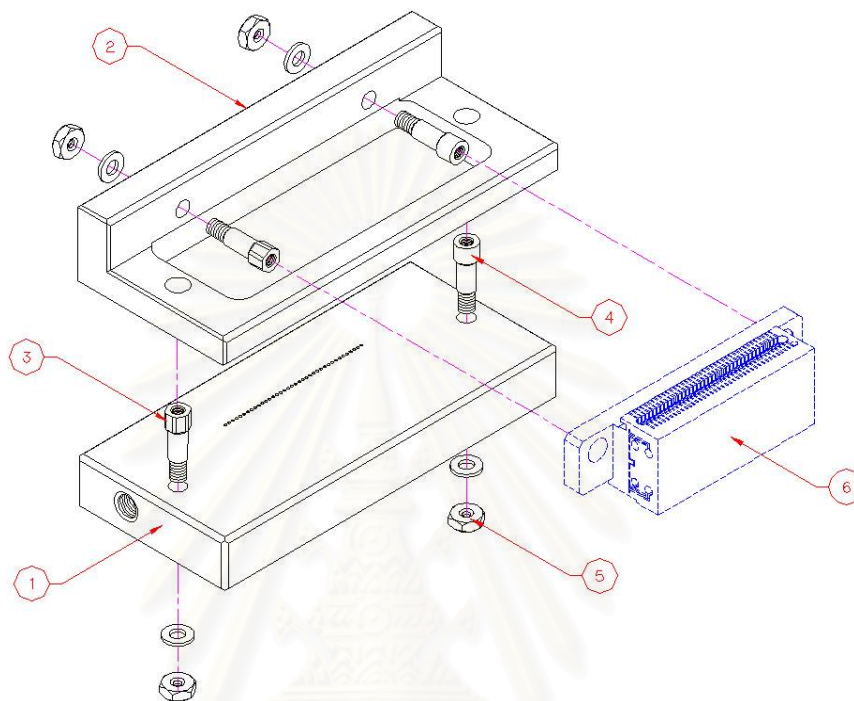
ปัจจัย	เหตุผลที่ไม่ได้ทำการเลือก	วิธีควบคุมเบื้องต้น
1.ความเร็วรอบของเครื่องฝน	ความเร็วรอบต่ำซึ่งไม่มีความสามารถเพียงพอที่ทำให้แผ่นหัวอ่าน-เขียนหลุด	-
2.ความเรียบผิวของแผ่นเครื่องฝน	ผิวที่ไม่เรียบ ทำให้เกิดการสะดุดขณะทำการฝน	ตรวจสอบความเรียบผิวของแผ่นก่อนนำเข้ามาทำการผลิต
3.อุณหภูมิภายในเครื่องอบ	อุณหภูมิภายในเครื่องอบ ซึ่งทำให้การหลอมละลายของกาวอย่างมีประสิทธิภาพ ได้ถูกกำหนดอุณหภูมิในแต่ละช่วงไว้แล้ว	-
4.เวลาการอบของเครื่องอบ	เวลาการอบของเครื่องอบ ทำให้การหลอมเหลวของกาว เพื่อที่จะเชื่อมติดแผ่นหัวอ่าน-เขียนเข้ากับเครื่องมือเชื่อมติดถูกกำหนดเวลาไว้แล้ว	-
5.อายุการใช้งานของเครื่องมือเชื่อมติดและเครื่องมือช่วยเชื่อมติด	การสึกกร่อนของเครื่องมือ ส่งผลให้เชื่อมติดไม่ดีพอ ในการประกอบเครื่องมือกับแผ่นหัวอ่าน-เขียน	ตรวจสอบสภาพการสึกกร่อนของเครื่องมือก่อนนำมาผลิตงาน

3.4 เครื่องมือเชื่อมติด

3.4.1 ส่วนประกอบของเครื่องมือ

เครื่องมือเชื่อมติด (Bonding Tool) คือ เครื่องมือที่ใช้ในการกระบวนการเชื่อมติด (Bonding Process) ซึ่งติดแผ่นหัวอ่าน—เขียน(Slider Bar) ด้วยกาว สำหรับในการประกอบนั้นมี ความจำเป็นที่ต้องอาศัยชุดเครื่องมือช่วยเชื่อมติด (Bonding Fixture) ดังแสดงดังรูปที่ 3.5 และ

รายละเอียดของส่วนประกอบของชุดเครื่องมือช่วยเชื่อมติด (Bonding Fixture) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.5 ซึ่งชิ้นส่วนที่ 1-5 เป็นชิ้นส่วนของชุดเครื่องมือช่วยเชื่อมติดและ ชิ้นส่วนที่ 6 เป็นชิ้นส่วนของเครื่องมือเชื่อมติด



รูปที่ 3.5 แสดงภาพของเครื่องมือเชื่อมติด (Bonding Tool) กับ ชุดเครื่องมือช่วยเชื่อมติด (Bonding Fixture)

ตารางที่ 3.5 รายละเอียดส่วนประกอบของชุดเครื่องมือช่วยเชื่อมติด(Bonding Fixture) และเครื่องมือเชื่อมติด(Bonding Tool)

ชิ้นส่วนที่	รายละเอียด	ประเภท	จำนวน	หน้าที่การทำงาน
1	Base	สั่งทำ	1	ฐานสำหรับวางแผ่นหัวอ่าน-เขียน
2	Mount	สั่งทำ	1	ส่วนประกอบเครื่องมือเชื่อมติด
3	Ellipse Pin	สั่งทำ	2	ตัวยึดตำแหน่งวาง Mount และ Bonding Tool
4	Round Pin	สั่งทำ	2	ตัวยึดตำแหน่งวาง Mount และ Bonding Tool
5	Hex Nut	สั่งซื้อ	4	ทำหน้าที่ล็อก Ellipse Pin และ Round Pin
6	Bonding Tool	สั่งทำ	1	เครื่องมือที่ช่วยการฝนแผ่นหัวอ่าน-เขียน

หมายเหตุ ชิ้นส่วนที่ 1-5 เป็นส่วนประกอบของชุดเครื่องมือช่วยเชื่อมติด(Bonding Fixture) และชิ้นส่วนที่ 6 เป็นเครื่องมือเชื่อมติด

3.4.2 คุณสมบัติของเครื่องมือ

3.4.2.1 เครื่องมือเชื่อมติด (Bonding Tool)

เป็นเครื่องมือชนิดหนึ่ง ที่ใช้สำหรับการฝน (Lapping) แผ่นหัวอ่าน-เขียน (Slider Bar) คุณลักษณะเป็นสปริง ซึ่งก่อนที่ผ่านการฝน จะต้องติดแผ่นหัวอ่าน-เขียนด้วยแผ่นกาว โดยอาศัยชุดเครื่องมือช่วยเชื่อมติด

Bonding Tool ทำมาจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม ชนิด 416 (416 Stainless Steel) คุณสมบัติแสดงไว้ข้างล่างนี้

คุณสมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิม ชนิด 416 (416 SST)

เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่ม Martensitic ส่วนประกอบของโครเมียม (12%-14%) ลักษณะที่โดดเด่นคือ ความต้านทานการสึกกร่อนสูง เป็นแม่เหล็ก (Magnetic) สามารถทำการรีดเย็น (Cold Work) ได้ ขึ้นรูป (Machining) ได้ง่ายพอสมควร ความเหนียว (Toughness) สูง ต้านทานการสึกกร่อนต่อสารเคมีบางประเภท

คุณสมบัติในสถานะ Annealing

Yield Strength	=	40-50 (1,000 psi min)
Ultimate Strength	=	60-80 (1,000 psi min)
Elongation	=	30-20 (% in 2 in. min)
Reduction in area	=	60-50 (% min)
Modulus of elasticity in tension	=	29.0 (10^6 psi)
Hardness	=	79-90 (Rockwell)

คุณสมบัติในสภาวะ Heat Treatment

Yield Strength	=	60-130 (1,000 psi min)
Ultimate Strength	=	90-160 (1,000 psi min)
Elongation	=	20-10 (% in 2 in. min)
Hardness	=	88-107 (Rockwell)

3.4.2.2 ชุดเครื่องมือช่วยเชื่อมติด (Bonding Fixture)

เป็นชุดเครื่องมือประกอบที่ใช้สำหรับกระบวนการเชื่อมติด ทำมาจากเหล็กกล้าไร้สนิม ชนิด 303 (303 Stainless Steel)

คุณสมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิม ชนิด 303 (303 SST)

เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่ม Austenitic ส่วนประกอบโครเมียมและนิกเกิลอย่างน้อย 23 เปอร์เซ็นต์ ไม่เป็นแม่เหล็ก (Non-Magnetic) สามารถทำการรีดร้อนและรีดเย็นได้ดีพอสมควร มีความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูงและการขยายตัวต่ำ

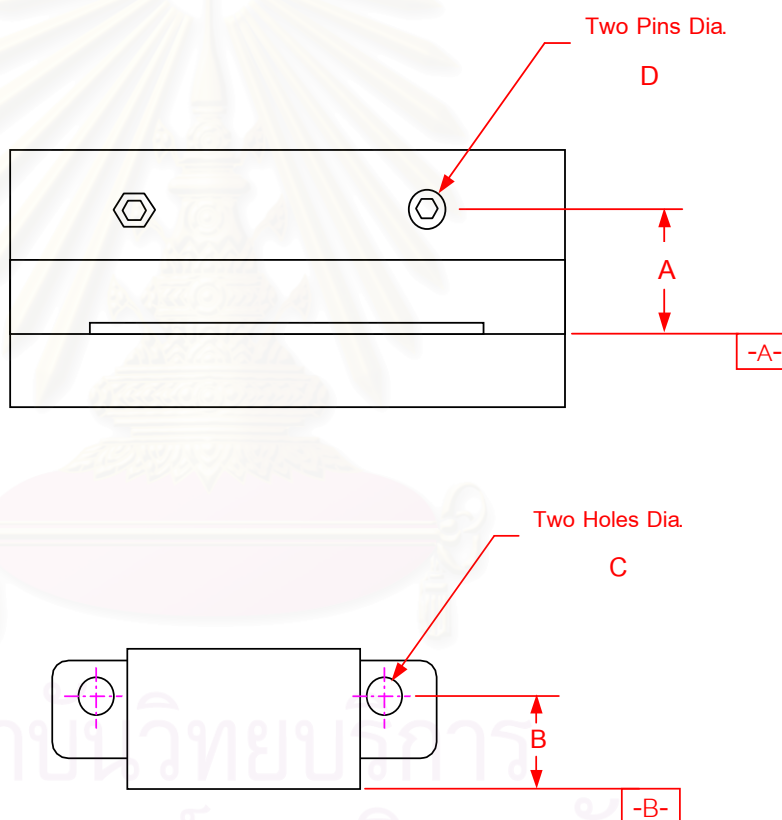
คุณสมบัติในสภาวะ Annealing

Yield Strength	=	30 (1,000 psi min)
Ultimate Strength	=	80 (1,000 psi min)
Elongation	=	50 (% in 2 in. min)
Reduction in area	=	60 (% min)
Modulus of elasticity in tension	=	29.0 (10^6 psi)
Hardness	=	90 max (Rockwell)

3.5 ค่าเผื่อและขนาดเดิมของเครื่องมือ

3.5.1 ค่าเผื่อและขนาดเดิมของเครื่องมือ

ในชิ้นส่วนประกอบต่างๆของเครื่องมือเชื่อมติดและชุดเครื่องมือช่วยเชื่อมติดดังแสดงในรูปที่ 3.5 ซึ่งแต่ละส่วนจะมีหน้าที่และจุดที่สำคัญในการเชื่อมติดแตกต่างกันออกไป ดังนั้นจำเป็นต้องกำหนดขนาดกลาง(Nominal Dimension) และค่าเผื่อ(Tolerance) ที่ส่งผลกระทบต่อ การเชื่อมติดโดยตรงเริ่มแรกไว้ แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงขนาดของเครื่องมือที่ส่งผลกระทบต่อ การเชื่อมติด

ขนาดที่ส่งผลกระทบต่อ การเชื่อมติดโดยตรง ซึ่งได้แก่

ขนาด A คือ ขนาดจากศูนย์กลางของพินถึงผิวด้านล่างของ Mount ของชุด เครื่องช่วยเชื่อมติด

- ขนาด B คือ ขนาดจากศูนย์กลางรูถึงผิวด้านล่าง ของเครื่องมือเชื่อมติด
- ขนาด C คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู ของเครื่องมือเชื่อมติด
- ขนาด D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิน ของชุดเครื่องมือช่วยเชื่อมติด

สำหรับขนาด A B C และ D มีส่วนเกี่ยวข้องกับชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องมือเชื่อมติด (Bonding Tool) และชุดเครื่องมือช่วยเชื่อมติด (Bonding Fixture) ได้แก่ ชิ้นส่วนที่ 2(Mount) ชิ้นส่วน 3(Ellipse Pin) ชิ้นส่วนที่ 4(Round Pin) และ ชิ้นส่วนที่ 6(Bonding Tool) ลักษณะรูปร่างของชิ้นส่วนที่กล่าวมาแสดงในรูปที่ 3.5

1. ชิ้นส่วนที่ 2 Mount

ขนาดจากศูนย์กลางของพินถึงผิวด้านล่าง หรือ ขนาด “A”

ขนาดกลางเดิม (Original Nominal Dimension) เท่ากับ 0.5600 นิ้ว

ค่าเผื่อเดิม (Original Tolerance) เท่ากับ ± 0.0005 นิ้ว

2. ชิ้นส่วนที่ 3 Ellipse Pin

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพินหกเหลี่ยม หรือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง “D”

จากมาตรฐาน American National standards Institute, ANSI กำหนดช่องว่างการสวมระหว่างรูกับเพลลาไว้ตามการใช้งาน คือ Locational Fits class 4,LC4

มาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา เท่ากับ 0.2500 นิ้ว

มาตรฐานค่าเผื่อเพลลา เท่ากับ $+ 0.000$ นิ้ว และ $- 0.0014$ นิ้ว

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพินหกเหลี่ยมเดิม(Original Nominal Diameter) เท่ากับ 0.2485 นิ้ว

ค่าเผื่อพินหกเหลี่ยมเดิม(Original Tolerance) เท่ากับ ± 0.0015 นิ้ว

3. ชิ้นส่วนที่ 4 Round Pin

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของพิณกลม หรือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง “D”

จากมาตรฐาน American National standards Institute, ANSI กำหนดช่องว่างการสวมระหว่างรูกับเพลลาไว้ตามการใช้งาน คือ Locational Fits class 4,LC4

มาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา เท่ากับ 0.2500 นิ้ว

มาตรฐานค่าเผื่อเพลลา เท่ากับ + 0.000 นิ้ว และ - 0.0014 นิ้ว

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิณกลมเดิม (Original Nominal Diameter) เท่ากับ 0.2485 นิ้ว

ค่าเผื่อพิณกลมเดิม (Original Tolerance) เท่ากับ ± 0.0015 นิ้ว

4. ชิ้นส่วนที่ 6 Bonding Tool

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู หรือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง “C”

จากมาตรฐาน American National standards Institute, ANSI กำหนดช่องว่างการสวมระหว่างรูกับเพลลาไว้ตามการใช้งาน คือ Locational Fits class 4,LC4

มาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู เท่ากับ 0.2500 นิ้ว

มาตรฐานค่าเผื่อรู เท่ากับ + 0.0022 นิ้ว และ - 0.0000 นิ้ว

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเดิม (Original Nominal Diameter) เท่ากับ 0.2503 นิ้ว

ค่าเผื่อรูเดิม เท่ากับ (Original Tolerance) ± 0.0003 นิ้ว

ขนาดจากศูนย์กลางรูถึงผิวด้านล่าง หรือ ขนาด “B”

ขนาดกลางเดิม (Original Nominal Dimension) เท่ากับ 0.5500 นิ้ว

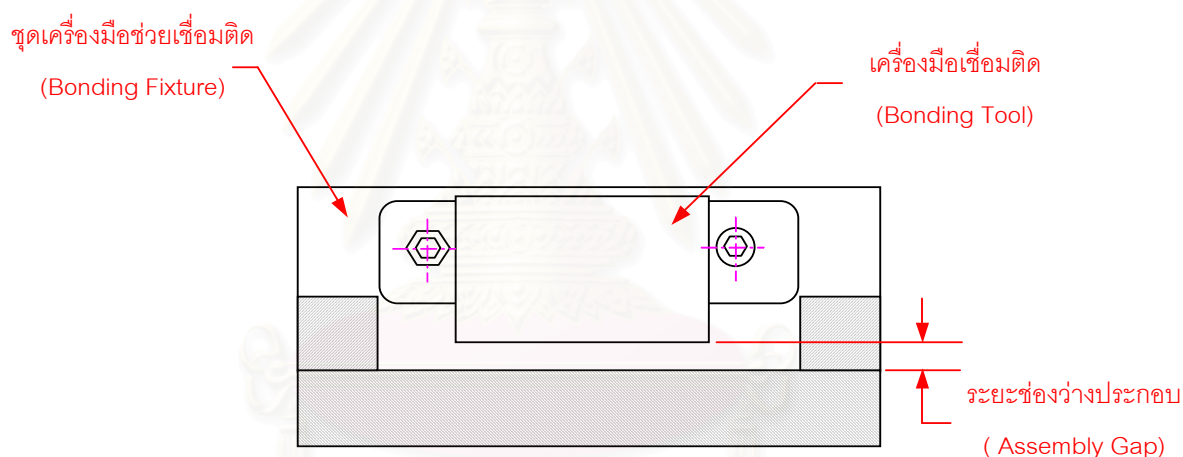
ค่าเผื่อเดิม (Original Tolerance) เท่ากับ ± 0.0010 นิ้ว

3.5.2 ระยะช่องว่างประกอบเดิม

ในการออกแบบของเครื่องมือเชื่อมติดและชุดเครื่องมือช่วยเชื่อมติด จะต้องมี

กำหนดขนาดกลางหรือขนาดเป้าหมาย(Nominal Dimension) และค่าเผื่อ(Tolerance) เพราะการขึ้นรูป (Machining) ชิ้นส่วนต่างๆ มุ่งหวังให้ได้ขนาดตรงตามความต้องการ แต่ความเป็นจริงแล้ว ย่อมเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นมาได้เนื่องจากประสิทธิภาพของเครื่องจักร และความชำนาญของพนักงานขึ้นรูป (Machining Operator) ดังนั้นค่าเผื่อ(Tolerance) ของเครื่องมือทั้งสอง เมื่อนำมาประกอบกันทำให้เกิดค่าเผื่อสะสม (Tolerance Stacking) ส่งผลให้เกิดระยะช่องว่างประกอบ (Assembly Gap) ที่มีระยะกว้างหรือแคบจนเกินไป เมื่อนำเครื่องมือไปผลิตในกระบวนการเชื่อมติดแล้ว ย่อมเกิดของเสียขึ้นอย่างแน่นอน ด้วยเหตุผลนี้เองทำให้ระยะประกอบมีความสัมพันธ์โดยตรงกับของเสียแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลุด สำหรับระยะประกอบเดิมแสดงการคำนวณโดยใช้วิธีแบบ

Worst Case Limits ได้ดังนี้



รูปที่ 3.7 แสดงระยะช่องว่างประกอบ

การคำนวณระยะช่องว่างประกอบ

1. ระยะระหว่างด้านล่างของBonding Tool กับ ด้านบนของฐาน Bonding Fixture

$$\begin{aligned} \text{Bonding Fixture} - \text{Bonding Tool} &= (.5600 \pm .0005) - (.5500 \pm .001) \\ &= .0100 \pm .0015 \text{ นิ้ว} \end{aligned}$$

2. ระยะช่องว่างพินกับรู

$$\text{ระยะช่องว่างพินกับรู} = (\text{ขนาดรู} - \text{ขนาดพิน})/2$$

$$\text{ขนาดรูโตสุด กับ ขนาดพินเล็กสุด } (.2506-.2470)/2 = .0036/2 = .0018 \text{ นิ้ว}$$

$$\text{ขนาดรูเล็กสุด กับ ขนาดพินโตสุด } (.2500-.2500)/2 = .0000/2 = .0000 \text{ นิ้ว}$$

สำหรับการคิดแบบวิธี Worst Case นี้ต้องนำช่องว่างมากที่สุดคือ .0018 นิ้ว มาคำนวณระยะช่องว่างประกอบ

ดังนั้น ระยะช่องว่างประกอบเดิม

$$\text{ระยะช่องว่างแคบสุด} = .010 - .0015 - .0018 = .0067 \text{ นิ้ว}$$

$$\text{ระยะช่องว่างกลาง} = .010 = .010 \text{ นิ้ว}$$

$$\text{ระยะช่องว่างกว้างสุด} = .010 + .0015 + .0018 = .0133 \text{ นิ้ว}$$

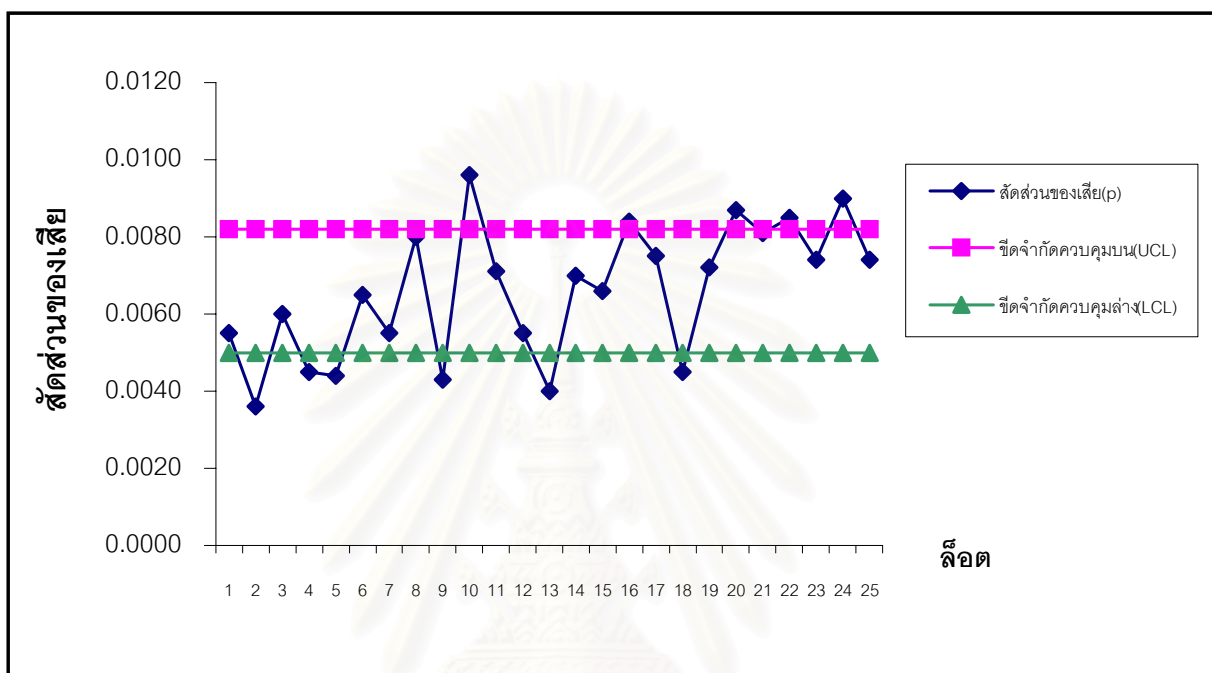
3.5.3 ข้อมูลของเสียแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลอดเริ่มต้น

เก็บข้อมูลของเสียแผ่นหัวอ่านเขียนหลอดช่วงเดือน พฤศจิกายน ถึง ธันวาคม 2544 พบว่าจำนวนตัวอย่าง เท่ากับ 553,239 ชิ้น ของเสีย เท่ากับ 3,646 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 0.66 หรือ 6590 ชิ้นต่อล้านชิ้น (PPM) ดังแสดงในตารางที่ 3.6 และรูปที่ 3.8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.6 แสดงการบันทึกของเสียแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลุด

ล็อตที่	จำนวน ตัวอย่าง(n)	จำนวน ของเสีย(np)	สัดส่วน ของเสีย(np)	ขีดจำกัด ควบคุม	
				UCL _p	LCL _p
1	22,102	122	0.0055	0.0082	0.0050
2	22,123	80	0.0036	0.0082	0.0050
3	22,099	132	0.0060	0.0082	0.0050
4	22,087	99	0.0045	0.0082	0.0050
5	22,078	98	0.0044	0.0082	0.0050
6	22,155	144	0.0065	0.0082	0.0050
7	22,200	123	0.0055	0.0082	0.0050
8	22,091	176	0.0080	0.0082	0.0050
9	22,199	96	0.0043	0.0082	0.0050
10	22,111	212	0.0096	0.0082	0.0050
11	22,008	156	0.0071	0.0082	0.0050
12	22,065	122	0.0055	0.0082	0.0050
13	22,008	87	0.0040	0.0082	0.0050
14	22,118	155	0.0070	0.0082	0.0050
15	22,004	145	0.0066	0.0082	0.0050
16	22,500	189	0.0084	0.0082	0.0050
17	22,312	167	0.0075	0.0082	0.0050
18	22,178	99	0.0045	0.0082	0.0050
19	22,002	159	0.0072	0.0082	0.0050
20	22,221	194	0.0087	0.0082	0.0050
21	22,100	178	0.0081	0.0082	0.0050
22	22,035	187	0.0085	0.0082	0.0050
23	22,114	163	0.0074	0.0082	0.0050
24	22,008	197	0.0090	0.0082	0.0050
25	22,321	166	0.0074	0.0082	0.0050
รวม	553,239	3,646	0.0066	0.0069	0.0063



รูปที่ 3.8 แสดงกราฟสัดส่วนของเสียแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลอด

จากรูปที่ 3.8 พบว่าของเสียแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลอดเริ่มต้น มีความแปรปรวนค่อนข้างสูงสังเกตได้จาก สัดส่วนของเสีย(p) อยู่นอกขีดจำกัดควบคุมบน (UCL) อีกทั้งระดับของเสียเดิม (6590 ชิ้นต่อล้านชิ้น) เกินกว่าระดับของเสียที่ยอมรับได้ (3295 ชิ้นต่อล้านชิ้น) หรือครึ่งหนึ่งของของเสียเดิม จึงมีความจำเป็นที่ต้องลดของเสียที่เกิดขึ้นจากสาเหตุที่ไม่ได้ควบคุมคือ สาเหตุจากปัจจัยค่าเผื่อ ซึ่งวิธีการดำเนินงานวิจัยในการจัดสรรค่าเผื่อและขนาดที่เหมาะสมที่สุด อยู่ในบทถัดไป

บทที่ 4

วิธีดำเนินการวิจัย

การจัดสรรค่าเผื่อและขนาดสำหรับการออกแบบเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการเชื่อมตานั้น จำเป็นต้องเก็บข้อมูลพื้นฐาน อันได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่า 3 σ ของชิ้นงานประกอบ จากนั้นทำการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างระยะประกอบชิ้นงานกับของเสียแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลุด เพื่อที่หาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพกับค่าใช้จ่ายที่สูญเสีย ดังนั้นสามารถทราบระยะประกอบที่เหมาะสมที่สุดที่มีระดับของเสียที่ยอมรับได้ ต่อมาทำการจัดสรรค่าเผื่อและขนาดสำหรับการออกแบบเครื่องมือ หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าเผื่อโดยเทคนิควิธีต่างๆได้แก่ รูปแบบ Worst Case Limits รูปแบบทางสถิติ (Statistical) รูปแบบ Monte Carlo Simulation ซึ่งสามารถทำนายของเสียที่เกิดขึ้น ถ้ายอมรับการจัดสรรค่าเผื่อและขนาดโดยการวิเคราะห์นั้นแล้ว ทำการสั่งทำเครื่องมือควบคู่ไปกับการจำลองปัญหา จากนั้นทำการสรุปผลแบบจำลองปัญหาเกี่ยวกับของเสียจากปฏิบัติงานจริง และผลของของเสียเดิมกับของเสียใหม่ ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 4.1

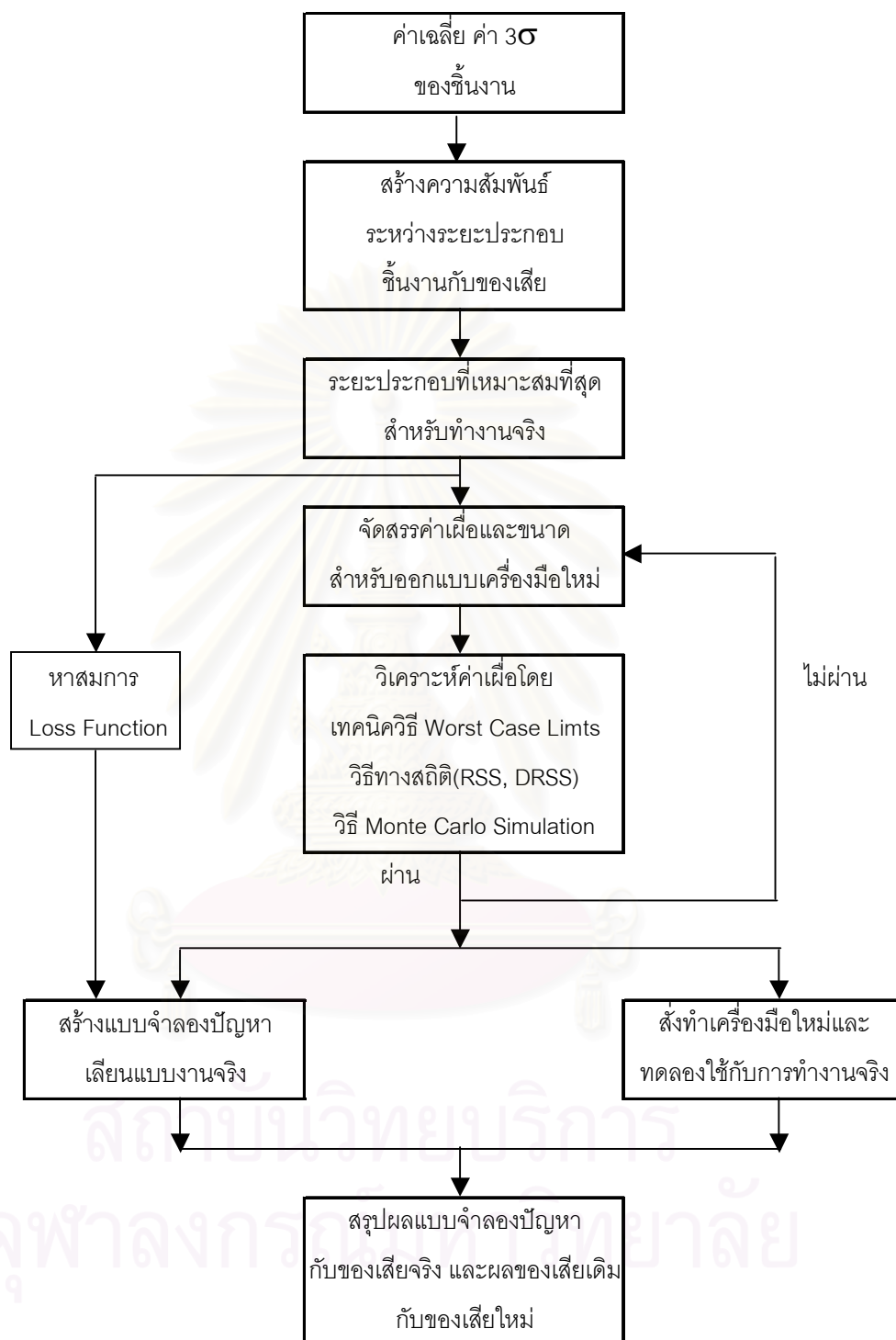
4.1 ข้อมูลชิ้นงานเริ่มต้น

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองสำหรับการหาค่าเผื่อชิ้นงานจากการปฏิบัติงานจริง มีดังต่อไปนี้

4.1.1 แผ่นหัวอ่าน-เขียน(Slider Bar)

แผ่นหัวอ่าน-เขียน(Slider Bar) เป็นวัตถุดิบหัวอ่านเขียน ซึ่งก่อนที่จะผ่านกระบวนการ Bonding ต้องนำมาตรวจสอบความหนา 100% ว่าคุณภาพยอมรับได้จากแผนกควบคุมคุณภาพ แล้ว สำหรับค่ามาตรฐานกำหนดคือ กว้าง 0.049 นิ้ว ยาว 1.855 นิ้ว หนา 0.012 นิ้ว ค่าความคลาดเคลื่อน ± 0.001 นิ้ว

มีส่วนประกอบ $Al_2O_3 + TiO_2 + Graphite$ หรือ $Al_2O_3 - TiC$ ลักษณะภายนอกเป็นสีน้ำตาลเข้ม แข็ง และแตกหักได้ง่าย



รูปที่ 4.1 แสดงแผนผังขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย

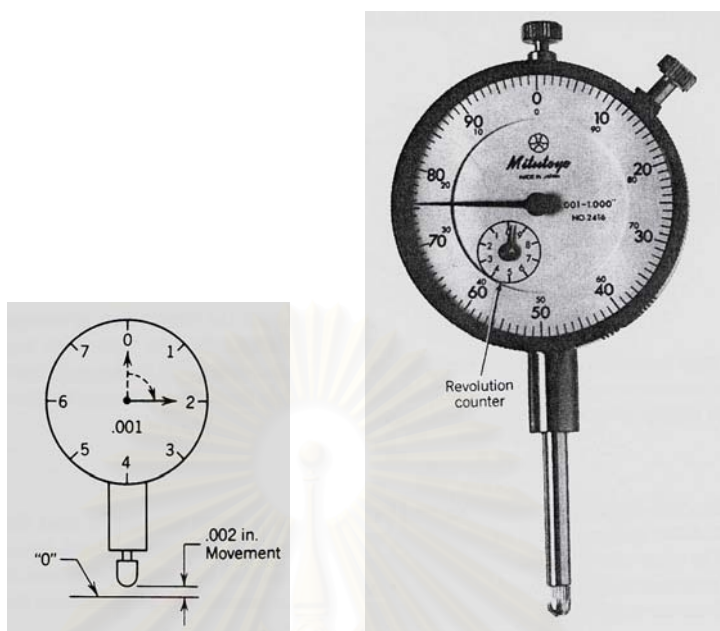
4.1.1.1 คุณสมบัติทั่วไปของ Al_2O_3 - TiC

1. ความต้านทานการสึกกร่อนสูง (High wear resistance)
2. ความแข็งแรงสูง (High strength)
3. การนำไฟฟ้าดี (Good electrical conductivity)
4. จุดหลอมละลายสูง (High melting point)

Density	=	4250-4300	Kg/m ³		
Vickers hardness at 20 c	=	2000-2200	G	p	a
Young's Modulus	=	400-490	Gpa		
Transverse rupture stress	=	1100	Mpa		
Coefficient of thermal expansion	=	7.5-8.0	10 ⁻⁶ /K		
Thermal conductivity	=	17	W / m . K		
Electrical resistivity	=	90	10 ⁻⁸ ohm.m		
Average grain size	=	1-3	Micron		
Bending strength : 3-point bending	=	780	Mpa		
Bending strength : 4-point bending	=	785	Mpa		
Fracture toughness : K_{1c}	=	4-4.5	Mpa.m ^{1/2}		

4.1.1.2 เครื่องมือวัด (Measured Instrument)

เครื่องมือวัด Dial Indicators ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดความหนาของแผ่นหัวอ่านเขียน มีความละเอียด ± 0.00005 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงรูปร่างและลักษณะการทำงานของ Dial Indicator

4.1.1.3 การวิเคราะห์ข้อมูลความหนาของแผ่นหัวอ่าน-เขียน

ในการวิเคราะห์ข้อมูลความหนาของแผ่นหัวอ่าน-เขียนด้วย Dial Indicator ซึ่งข้อมูลที่ได้มาจากสายการผลิตทั้งหมด 11 สายๆละ 30 ค่า โดยใช้โปรแกรม Minitab 13 และ ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1. ค่าความหนาของแผ่นหัวอ่าน-เขียนเฉลี่ย (\bar{T})
2. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความหนาของแผ่นหัวอ่าน-เขียน (σ)
3. ทดสอบการกระจายข้อมูลความหนาของแผ่นหัวอ่าน-เขียนว่าเป็นแบบนอร์มอลหรือไม่

ผลลัพธ์ทั้ง 3 ข้อดังกล่าวข้างต้นจะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการแทนค่าในสมการระยะประกอบผลิตภัณฑ์ต่อไป

4.1.2 แผ่นกาว (Adhesive sheet)

แผ่นกาว (Adhesive sheet) เป็นวัสดุชนิดหนึ่ง ใช้ติด (Bonding) ระหว่าง Slider Bar กับ Bonding Tool ในกระบวนการ Bonding หลังจากนั้นนำ Bonding Tool ติด Slider Bar แล้วไปทำการฝน (Lapping)

วัตถุดิบแผ่นกาว (Raw adhesive sheet) ทำมาจาก Polyurethane ซึ่งได้รับจากผู้จำหน่าย (Supplier) มีลักษณะเป็นม้วน สีขาว แข็ง จากนั้นทำการตัด (Cutting) ให้มีความยาวประมาณ 2.000 นิ้ว ต่อมาตรวจสอบความหนาแผ่นกาวทุกๆ ม้วน ม้วนละ 3 ตำแหน่ง

4.1.2.1 คุณสมบัติของ Polyurethane

Melting Range	=	265-285 F	(Kofter Bench)
Hardness (Shore A)	=	90 A	(D2240)
Specific Gravity	=	1.16	(ASTM D-792)
Modulus, 1.5 mil in MEK(TP-104)			
Tensile Strength	=	5900	PSI
Ultimate Elongation	=	640	%

4.1.2.2 เครื่องมือวัด (Measured Instrument)

เครื่องมือไมโครมิเตอร์วัดด้านนอก ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดความหนาของแผ่นกาว มีความละเอียด ± 0.00005 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงรูปร่างของไมโครมิเตอร์วัดด้านนอก

4.1.2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลความหนาแผ่นกาวด้วยเครื่องวัดไมโครมิเตอร์วัดด้านนอก ซึ่งข้อมูลที่ได้มาจากม้วนกาวทั้งหมด 50 ม้วนๆละ 3 ตำแหน่ง โดยใช้โปรแกรม Minitab 13 และได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

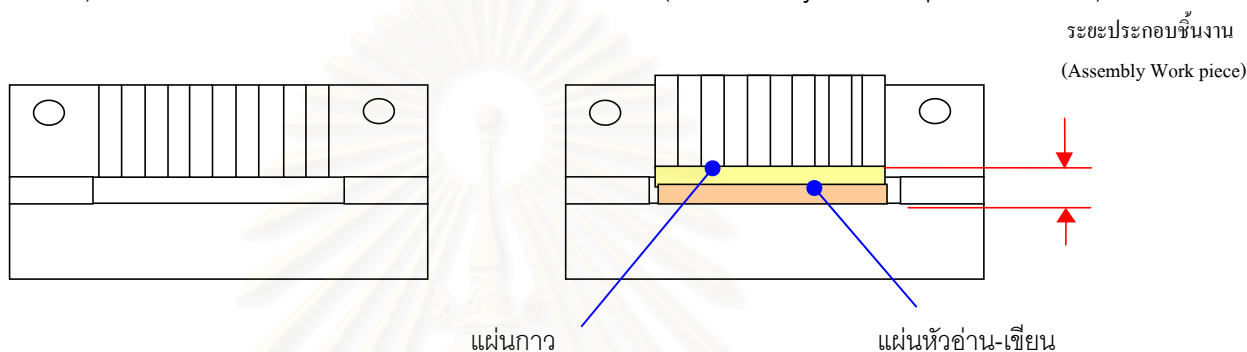
1. ค่าความหนาของแผ่นกาวเฉลี่ย(Tadhesive)
2. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความหนาของแผ่นกาว(σ adhesive)
3. การทดสอบการกระจายข้อมูลความหนาของแผ่นกาวว่าเป็นแบบนอร์

มอลหรือไม่

ผลลัพธ์ทั้ง 3 ข้อดังกล่าวข้างต้นจะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการแทนค่าในสมการระยะประกอบผลิตภัณฑ์ต่อไป

4.2 การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างระยะประกอบชิ้นงานกับของเสีย

ในการประกอบแผ่นหัวอ่าน-เขียน (Slider Bar) เข้ากับ Bonding Tool ดังแสดงในรูปที่ 4.4 จำเป็นต้องอาศัยแรงกดของตัวมันเอง เพื่อที่จะสร้างความแน่นเหนียวในการติด ดังนั้นระยะที่ใช้เชื่อมติดจะส่งผลกระทบต่อของเสียแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลุด (Debond Slider Bar Defect) เราเรียกระยะนี้ว่า ระยะประกอบชิ้นงาน (Assembly Work piece :AW.)



รูปที่ 4.4 แสดงการประกอบแผ่นหัวอ่าน-เขียนและแผ่นกาว

ความสัมพันธ์ระหว่างระยะประกอบชิ้นงานและของเสียแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลุดได้มาจากการทดลองปฏิบัติจริง โดยจัดทำระยะช่องว่างประกอบสมมุติ เพื่อที่จะหาของเสียที่เกิดขึ้น ณ ระยะช่องว่างประกอบนั้น

สมการของระยะประกอบได้ดังสมการข้างล่าง

$$AW. = Tbar + Tadheseive - Dspring$$

$$AW. = \text{ระยะประกอบชิ้นงาน (Assembly Work piece)}$$

$$Tbar = \text{ความหนาของแผ่นหัวอ่าน-เขียน(Slider Bar Thickness)}$$

$$Tadheseive = \text{ความหนาของกาว (Adhesive Sheet Thickness)}$$

$$Dspring = \text{ระยะหดสปริงของเครื่องมือเชื่อมติด(Bonding Tool)}$$

แต่ความเป็นจริงความหนาแผ่นหัวอ่าน-เขียน(Tbar)และ ความหนาแผ่นกาว (Tadhesive) มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังสมการข้างล่างนี้

$$AW. = Tbar + Tadhesive - Dspring \pm 3\sigma_{assy}$$

$$\text{เมื่อ } \sigma_{assy} = \sqrt{\sigma_{bar}^2 + \sigma_{adhesive}^2}$$

ระยะประกอบขึ้นงานกว้างสุด (AW. Max.) = Tbar + Tadhesive + 3σ_{assy}

ระยะประกอบขึ้นงานกลาง (AW.) = Tbar + Tadhesive

ระยะประกอบขึ้นงานแคบสุด (AW. Min.) = Tbar + Tadhesive - Dspring - 3σ_{assy}

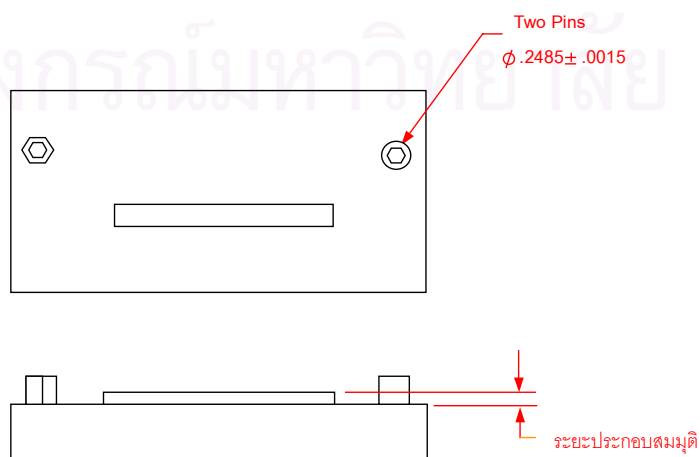
4.3 ระยะประกอบที่เหมาะสมสำหรับการทำงานจริง

4.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย

1. เครื่องมือระยะประกอบ(Assembly Tool)

เป็นเครื่องมือช่วยสำหรับเตรียมการเชื่อมติด ลักษณะคล้ายกับฐานชุดเครื่องช่วยเชื่อมติด แตกต่างที่ผิวด้านบนยื่นออกมาใกล้เคียงกับความหนาแผ่นหัวอ่าน-เขียน ซึ่งไว้กำหนดระยะช่องว่างประกอบก่อนปฏิบัติงานจริง มีค่าเผื่อ ± 0.0001 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงเครื่องมือระยะประกอบ

2. เครื่องมือเชื่อมติด(Bonding Tool)

เป็นเครื่องมือชนิดหนึ่ง ที่ใช้สำหรับการฝน (Lapping) แผ่นหัวอ่าน-เขียน (Slider Bar) คุณลักษณะเป็นสปริง ซึ่งก่อนที่ผ่านการฝน จะต้องติดแผ่นหัวอ่าน-เขียนด้วยแผ่นกาว โดยอาศัยชุดเครื่องมือช่วยเชื่อมติด

3. แผ่นกาว (Adhesive Sheet)

เป็นวัสดุชนิดหนึ่ง ใช้เชื่อมติดแผ่นหัวอ่าน-เขียนกับเครื่องมือเชื่อมติด มีการควบคุมความยืดหยุ่น(Elastic) และความหนาทุกแผ่น ว่าคุณภาพยอมรับได้จากแผนกคุณภาพแล้วก่อนนำมาทดลอง

4. เครื่องอบ (Oven)

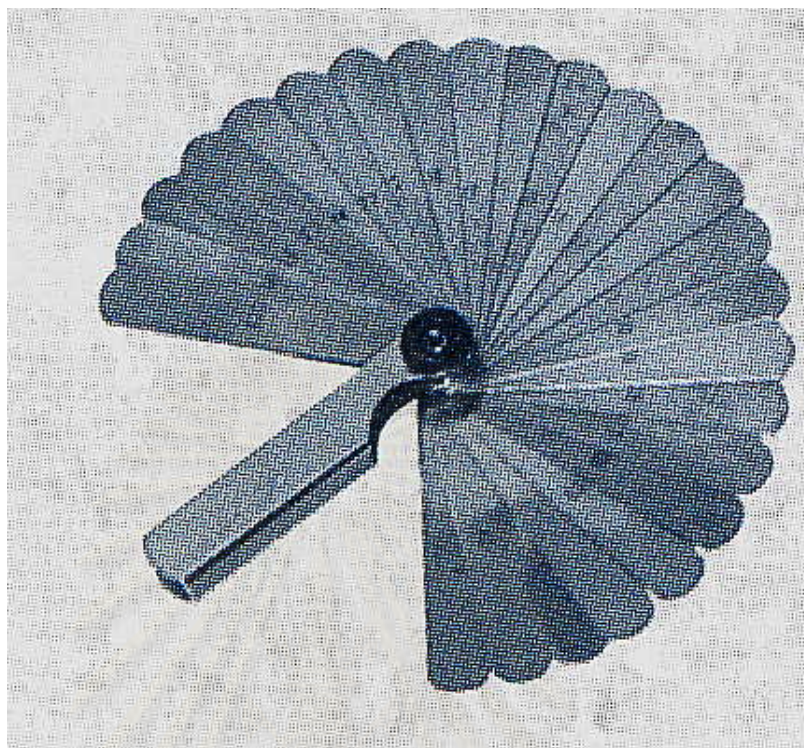
เป็นเครื่องให้ความร้อน มีการควบคุมเวลาในการอบและความเร็วของสายพาน ซึ่งความร้อนจะถูกนำพาจากบนลงล่าง ดังนั้นจะให้ความร้อนที่สม่ำเสมอในทุกๆจุดของสายพาน

5. แผ่นหัวอ่าน-เขียน (Slider Bar)

แผ่นหัวอ่าน-เขียน(Slider Bar) เป็นวัสดุหัวอ่านเขียน ซึ่งก่อนที่จะผ่านกระบวนการ Bonding ต้องนำมาตรวจสอบความหนา 100% ว่าคุณภาพยอมรับได้จากแผนกควบคุมคุณภาพแล้ว

4.3.2 เครื่องมือวัด(Measured Instrument)

เกจความหนา (Thickness Gage) ซึ่งเป็นเกจวัดระยะช่องว่างประกอบ มีความละเอียด $\pm .0015$ นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงรูปร่างเกจวัดความหนา

4.3.3 การทดลอง

ในการทดลองการหาค่าระยะประกอบที่เหมาะสมจากการปฏิบัติการจริงนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพิจารณาว่าในการผลิตจริงนี้ ความสัมพันธ์ระหว่างระยะประกอบชิ้นงานกับของเสียแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลุด มีการกระจายเป็นอย่างใด และจุดตัดของของเสียที่ยอมรับได้ที่กำหนดไว้กับเส้นความสัมพันธ์ สามารถหาค่าระยะประกอบที่กว้างหรือแคบกว่าเดิมหรือไม่ ซึ่งนำมาทำการจัดสรรค่าเผื่อของเครื่องมือใหม่ และปรับปรุงพัฒนาให้เหมาะสมกับกระบวนการเชื่อมติดต่อไป

จากสมการระยะประกอบ สามารถทราบโอกาสของชิ้นงานประกอบว่ากว้างและแคบที่สุดเท่าไร ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำเครื่องมือระยะประกอบสมมุติขึ้น โดยแบ่งช่วงระยะประกอบสมมุติที่ละ 10 เปอร์เซ็นต์ ทำการทดลองจำนวนกลุ่มตัวอย่างแผ่นหัวอ่าน-เขียนต่อหนึ่งระยะประกอบประมาณ 30000 ชิ้น (จำนวน 15 ล็อตๆละประมาณ 2000 ชิ้น) สำหรับของเสียที่ยอมรับได้นั้น ทางโรงงานตัวอย่างตั้งระดับของของเสียที่ยอมรับได้ที่ครึ่งหนึ่งของของเสียเดิมหรือ(6590 /2) เท่ากับ 3295 ชิ้นต่อล้านชิ้น(PPM)

4.3.3.1 วิธีการทดลอง

ในการหาระยะประกอบที่เหมาะสมที่สุด มีความจำเป็นต้องหาของเสียเดิมที่ได้มาจากระยะประกอบของการออกแบบเครื่องมือเดิม ภายใต้สภาวะการทดลองและกลุ่มตัวอย่างเท่ากันกับการหาระยะประกอบที่เหมาะสม เพื่อที่จะทำการเปรียบเทียบผลของของเสียสำหรับในขั้นตอนหาระยะประกอบที่เหมาะสมมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 สั่งทำเครื่องมือระยะประกอบ ซึ่งทราบว่าโอกาสระยะประกอบชิ้นงานที่กว้างและแคบที่สุดแล้วจากหัวข้อที่ 4.2 ดังนั้นทำการตั้งค่าระยะประกอบสมมติโดยแบ่งช่วงที่ละ 10 เปอร์เซ็นต์ ดังข้างล่างนี้

ขั้นตอนที่ 2 นำเครื่องมือเชื่อมติด(Bonding Tool) ไว้บนแผ่นความร้อนด้วยอุณหภูมิ 72-80 องศาเซลเซียส

ขั้นตอนที่ 3 จากนั้นนำเครื่องมือเชื่อมติด(Bonding Tool) ที่อุ่น มาติดแผ่นกาว

ขั้นตอนที่ 4 ประกอบเครื่องมือเชื่อมติด(Bonding Tool) ติดกับ Mount ของชุดเครื่องมือช่วยเชื่อมติด ด้วยสกรู(ขันสกรูไม่แน่นมากพอให้เครื่องมือเชื่อมติดขยับได้)

ขั้นตอนที่ 5 วาง Mount บนเครื่องมือระยะประกอบ(Assembly Tool) โดยให้ผิวล่างของเครื่องมือเชื่อมติด(Bonding Tool) แนบสนิทกับผิวบนเครื่องมือระยะประกอบจากนั้นขันสกรูที่ Mount ให้แน่น

ขั้นตอนที่ 6 วางแผ่นหัวอ่าน-เขียนบนBase ของชุดเครื่องมือช่วยเชื่อมติด ซึ่งต่อท่อ ลมดูดแล้ว

ขั้นตอนที่ 7 หลังจากนั้นนำ Mount ประกอบกับ Base ของชุดเครื่องมือช่วยเชื่อมติด ด้วยสกรู

ขั้นตอนที่ 8 ตรวจสอบระยะประกอบด้วยเกจความหนา

ขั้นตอนที่ 9 นำชุดเครื่องมือช่วยเชื่อมติด(Bonding Fixture) ผ่านเครื่องทำความร้อน (Oven) แล้วปล่อยให้เย็นลง

ขั้นตอนที่ 10 ถอดเครื่องมือเชื่อมติด(Bonding Tool) ออกจาก ชุดเครื่องมือช่วยเชื่อมติด(Bonding Fixture)

ขั้นตอนที่ 11 นำเครื่องมือเชื่อมติด(Bonding Tool) ซึ่งติดแผ่นหัวอ่าน-เขียน (Slider Bar) เพื่อที่จะทำการฝน (Lapping) ต่อไป

ขั้นตอนที่ 12 ทำการบันทึกค่าข้อมูลของเสียแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลุด ณ ระยะประกอบต่างๆ จำนวนกลุ่มตัวอย่างประมาณ 30000 ชิ้น (จำนวน 15 ล็อตๆละประมาณ 2000 ชิ้น)

ขั้นตอนที่ 13 ทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างของเสียกับระยะประกอบ

4.3.3.2 สภาวะแวดล้อมในการทดลอง

ในการวิจัยนี้ได้ทำการทดลองและรวบรวมข้อมูลภายใต้สภาวะแวดล้อมในกระบวนการเชื่อมติด มีดังต่อไปนี้

1. การประกอบเครื่องมือกับแผ่นหัวอ่าน-เขียนในสายการผลิตเดียวกัน
2. ได้กำหนดให้ประกอบ โดยมีพนักงานประกอบชุดเดียวกัน
3. ใช้เครื่องทำความร้อน (Oven) เครื่องเดียวกันและช่วงเวลาในกะเช้า

เหมือนกัน

4.3.4 การบันทึกและการเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลของเสียแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลุดที่เกิดขึ้น ในแต่ละระยะประกอบต่างๆ ทำการบันทึกข้อมูลของเสียที่ได้จากจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 15 ล็อตๆละ ประมาณ 2000 ชิ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.1

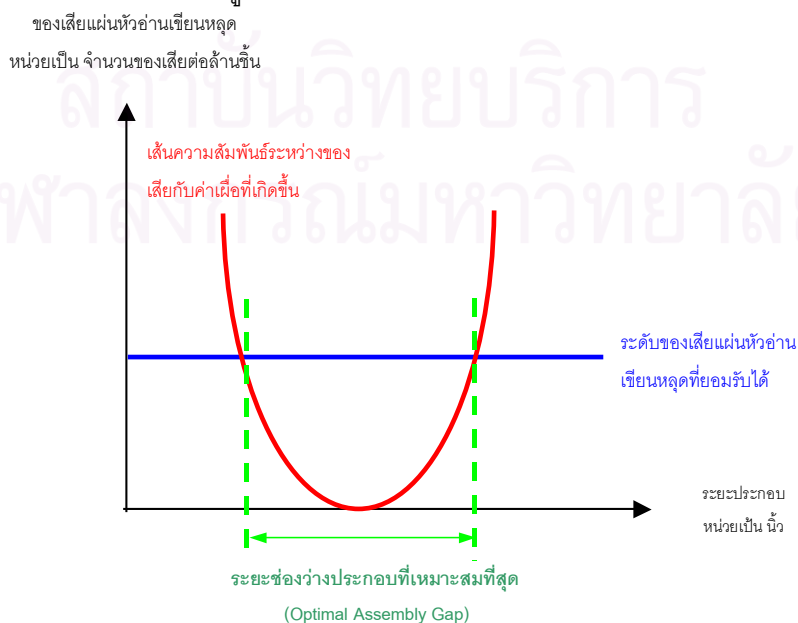
ตารางที่ 4.1 แสดงการบันทึกข้อมูลของเสียในระยะประกอบต่างๆ

ระยะประกอบเท่ากับ

	ล็อตที่															รวม	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
ของเสียแผ่นหัวอ่านเขียนหลุด (ชิ้น)																	
จำนวนชิ้นงานทั้งหมด (ชิ้น)																	
สัดส่วนของเสีย																	
ขีดจำกัดควบคุมบน																	
ขีดจำกัดควบคุมล่าง																	

4.3.5 การวิเคราะห์หาระยะประกอบที่เหมาะสมที่สุด

จากการทดลองระยะประกอบต่างๆที่แบ่งช่วงทีละ 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ทำให้เกิดของเสียขึ้น ซึ่งนำผลที่ได้มาสร้างเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะประกอบกับของเสียได้โดยให้แกน X แทนเป็น ระยะประกอบ(นิ้ว) และ แกน y แทนเป็น ของเสียแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลุด(ชิ้นต่อล้านชิ้น) จากนั้นลากเส้นระดับของเสียที่ยอมรับได้(3295 ชิ้นต่อล้านชิ้น) ดังนั้นสามารถทราบช่วงระยะประกอบที่เหมาะสมได้ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงกราฟระยะช่องว่างประกอบที่เหมาะสมที่สุด

หลังจากที่ทราบระยะประกอบที่เหมาะสม สามารถทำการสร้างสมการ Loss Function หรือ สมการที่ 2.7 ขึ้นมาได้

4.4 การจัดสรรค่าเผื่อและขนาดสำหรับการออกแบบเครื่องใหม่

4.4.1 วิธีการพิจารณาขนาดกลางและค่าเผื่อที่เปลี่ยนแปลงได้

1. ขนาด A สามารถเปลี่ยนแปลงขนาดกลางได้ เพราะเป็นขนาดของชุดเครื่องมือที่ใช้ช่วยในกระบวนการเชื่อมติดโดยตรง สำหรับค่าเผื่อไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากขีดจำกัดความสามารถในการขึ้นรูปของเครื่องจักร
2. ขนาด B สามารถเปลี่ยนแปลงค่าเผื่อได้ สำหรับขนาดกลางไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ เพราะเป็นขนาดของเครื่องมือเชื่อมติดที่ใช้ในกระบวนการฝนด้วย ถ้าเปลี่ยนแล้วส่งผลกระทบต่อพารามิเตอร์ต่างๆในการผลิตเป็นอย่างมาก
3. ขนาด C ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ เพราะเป็นขนาดกลางและค่าเผื่อของเส้นผ่านศูนย์กลางของเครื่องมือเชื่อมติด ซึ่งถูกกำหนดลักษณะการสวมโดยใช้มาตรฐาน ANSI
4. ขนาด D ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ เพราะเป็นขนาดกลางและค่าเผื่อของเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดเครื่องมือช่วยเชื่อมติด ซึ่งถูกกำหนดลักษณะการสวมโดยใช้มาตรฐาน ANSI

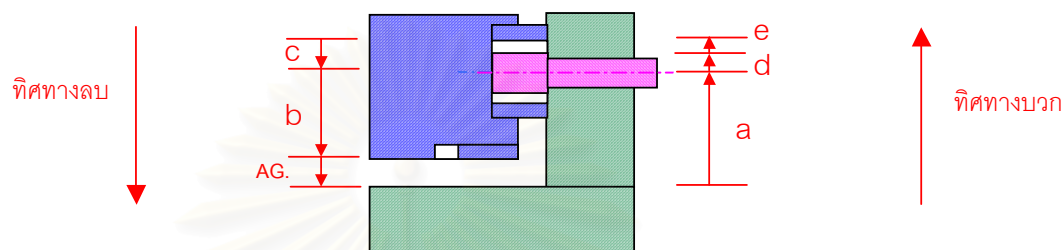
4.4.2 วิธีการจัดสรรค่าเผื่อและขนาด

ในการจัดสรรค่าเผื่อและขนาดสำหรับการออกแบบเครื่องมือใหม่นั้น ที่นิยมใช้กันมานานคือวิธี Worst Case Limits เพราะเป็นการออกแบบเชิงป้องกัน สำหรับขนาดที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานคือขนาด A B C และ D ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ในบทที่ 3

4.5 การวิเคราะห์ค่าเผื่อโดยเทคนิควิธีต่างๆ

ในการวิเคราะห์ค่าเผื่อนั้นได้กำหนดขนาดของเครื่องมือทั้งสองใหม่ เพื่อที่จะสะดวกในการวิเคราะห์ โดยเริ่มทำการวิเคราะห์ที่ขอบของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู้ด้านบนเป็นจุดเริ่มต้น จากนั้นได้บวกขนาดสะสมขึ้นไปจากขนาด a ถึง ขนาด e ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ในทิศทางตรงกัน

ข้าม ก็ทำเช่นเดียวกันบวกสะสมขนาดลงมาจาก c ถึง AG. ซึ่งขนาด AG.หรือขนาดช่องว่างประกอบ (Assembly Gap) เป็นขนาดที่ต้องการทราบ เรียกการกำหนดขนาดนี้ว่า “Displacement Vector”



กรณีระยะช่องว่างประกอบกลาง
(Nominal Assembly Gap Case)

ขนาด a คือ ขนาดจากศูนย์กลางของพินถึงผิวด้านล่างของ Mount ของชุดเครื่องมือช่วยเชื่อมติด

ขนาด b คือ ขนาดจากศูนย์กลางรูถึงผิวด้านล่าง ของเครื่องมือเชื่อมติด

ขนาด c คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู ของเครื่องมือเชื่อมติดจากนั้นนำมาหารสอง

ขนาด d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิน ของชุดเครื่องมือช่วยเชื่อมติดจากนั้นนำมาหารสอง

ขนาด e คือ ช่องว่างระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู ของเครื่องมือเชื่อมติดกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิน ของชุดเครื่องมือช่วยเชื่อมติด หรือ เท่ากับ $(c - d)$

รูปที่ 4.8 แสดงการกำหนดขนาดโดยวิธี Displacement Vector

4.5.1 การวิเคราะห์ค่าเผื่อด้วยเทคนิควิธี Worst Case Assembly
ดังแสดงในสมการที่ 2.3

4.5.2 การวิเคราะห์ค่าเผื่อด้วยเทคนิควิธีทางสถิติ (Statistical Method)

4.5.2.1 การวิเคราะห์ค่าเผื่อด้วยเทคนิควิธี RSS (Root Sum of Squares)

ดังแสดงในสมการที่ 2.5

4.5.2.2 การวิเคราะห์ค่าเผื่อด้วยเทคนิควิธี DRSS (Dynamic Root Sum of Squares) ดังแสดงในสมการที่ 2.6

4.5.3 การวิเคราะห์ค่าเผื่อด้วยวิธี Monte Carlo Simulation

4.5.3.1 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้ใช้โปรแกรมช่วยคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์ค่าเผื่อด้วยวิธี Monte Carlo Simulation โปรแกรมสำเร็จรูปนี้ที่ชื่อว่า Crystal Ball ซึ่งสามารถเพิ่มในโปรแกรม Microsoft Excel ได้

4.5.3.2 การตั้งปัญหา

ในการวิเคราะห์ค่าเผื่อจากการออกแบบของขนาด ทั้งหมดของเครื่องมือเชื่อมติด(Bonding Tool) และชุดเครื่องมือช่วยเชื่อมติด(Bonding Fixture) ถูกสร้างภายใต้เงื่อนไขในกรณีระยะช่องว่างประกอบกลาง(Nominal Assembly Gap Case) ที่มีขนาด a b c d และ e ซึ่งจะมีทิศทางของขนาดบวกหรือลบ แตกต่างกันไป ดังแสดงในรูปที่ 4.8 สำหรับค่าเผื่อที่ยอมรับในการประกอบยอมรับได้ที่ $\pm 3\sigma$

สำหรับจำนวนรันมากที่สุด (Maximum Number of Trials) เท่ากับ 2000 ซึ่งเป็นจำนวนที่ใกล้เคียงกับการปฏิบัติงานจริง และเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าเผื่อคือ Monte Carlo Simulation

4.5.3.3 ขอบข่ายของปัญหา

การจำลองปัญหาค่าเผื่อ(Tolerance Simulation) ในงานวิจัยนี้ ขนาดกลาง(Nominal) และ ค่าเผื่อ(Tolerance) ได้มาจากการออกแบบเครื่องมือใหม่ที่มีระยะประกอบที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้น ขนาด a b c d และ e ถูกกำหนดขีดจำกัดควบคุมบน (USL) หรือ Nominal

+ Tolerance และขีดจำกัดความคุมล่าง (LSL) หรือ Nominal - Tolerance สำหรับการกระจายข้อมูล (Distribution) ของขนาดต่างๆ และการคำนวณการวิเคราะห์แบบจำลองปัญหาดังแสดงตารางที่ 4.6 และสร้างแบบจำลองปัญหาด้วยกัน 3 แบบดังนี้

ตารางที่ 4.2 แบบจำลองปัญหาแบบที่ 1

ขนาด Dimension	ขนาดกลาง Nominal	ค่าเผื่อ Tolerance	1 Std.Dev.	ขีดจำกัดบน USL	ขีดจำกัดล่าง LSL	การกระจาย Distribution
a						Normal
b						Normal
c						Normal
d						Normal
e						Normal
AG						

ตารางที่ 4.3 แบบจำลองปัญหาแบบที่ 2

ขนาด Dimension	ขนาดกลาง Nominal	ค่าเผื่อ Tolerance	1 Std.Dev.	ขีดจำกัดบน USL	ขีดจำกัดล่าง LSL	การกระจาย Distribution
a						Uniform
b						Uniform
c						Normal
d						Normal
e						Normal
AG						

ตารางที่ 4.4 แบบจำลองปัญหาแบบที่ 3

ขนาด Dimension	ขนาดกลาง Nominal	ค่าเผื่อ Tolerance	1 Std.Dev.	ขีดจำกัดบน USL	ขีดจำกัดล่าง LSL	การกระจาย Distribution
a						Uniform
b						Uniform
c						Uniform
d						Uniform
e						Uniform
AG						

4.5.3.4 การวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการรันแบบจำลองปัญหาจากการออกแบบ

ในการวิเคราะห์การรันแบบจำลองปัญหาค่าเผื่อระยะประกอบ จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

1. ความถี่การกระจายข้อมูลและความน่าจะเป็นของโอกาสที่เกิดช่วงระยะประกอบต่างๆ โดยแสดงผลในรูปของกราฟฮิสโตแกรม
2. ค่าเฉลี่ยของระยะประกอบ(Average Assembly Gap)
3. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะประกอบ(σ)
4. การทำนายผลของของเสีย โดยการแทนค่าผลลัพธ์ระยะประกอบที่ได้จากการรันแบบจำลองปัญหาในสมการ Loss Function

4.6 การสร้างแบบจำลองปัญหาเลียนแบบงานจริง

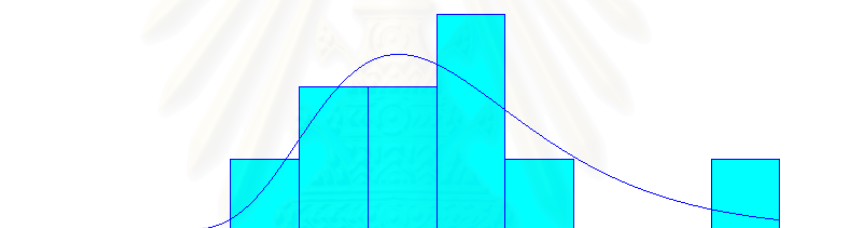
4.6.1 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการสร้างแบบจำลองปัญหา

การสร้างแบบจำลองปัญหาได้ใช้โปรแกรมช่วยคอมพิวเตอร์เช่นเดียวกันกับหัวข้อ

ข้อที่ 4.5.3.1

4.6.2 เก็บข้อมูลการกระจายจากการวัดงานจริง

ในขนาด a b c d และ e มีการกระจายข้อมูลที่แตกต่างกันไป โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลในแต่ละขนาดของชุดเครื่องมือ 10 ชุด และทำการทดสอบการกระจายของข้อมูลที่ได้ด้วยด้วยการทดสอบแบบ Kolmogorov-Smirnov รวมถึงค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่จำเป็น เช่น ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นต้น โดยใช้โปรแกรม Arena ในส่วนของ Input Analyzer ในการหาการกระจายที่เหมาะสม เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปทำการ Simulation ต่อไป ซึ่งรูปแบบกระจายที่เหมาะสม โปรแกรมจะพิจารณาค่า P-Value ที่สูงกว่า 0.15 และค่า Square Error ที่ต่ำที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงตัวอย่างการกระจายข้อมูล a

4.6.3 การตั้งปัญหา

ในการวิเคราะห์ค่าเผื่อจากการวัดขนาดจริงของชุดเครื่องมือเชื่อมติด (Bonding Tool) และชุดเครื่องมือช่วยเชื่อมติด (Bonding Fixture) ถูกสร้างภายใต้เงื่อนไขในกรณีระยะช่องว่างประกอบกลาง (Nominal Assembly Gap Case) ที่มีขนาด a b c d และ e ซึ่งจะมีทิศทางของขนาดบวกหรือลบ แตกต่างกันไป ดังรูปในรูปที่ 4.9 สำหรับค่าเผื่อที่ยอมรับในการประกอบยอมรับได้ที่ $\pm 3\sigma$

สำหรับจำนวนรันมากที่สุด (Maximum Number of Trials) เท่ากับ 2000 ซึ่งเป็นจำนวนที่ใกล้เคียงกับการปฏิบัติงานจริง และเทคนิคที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองปัญหาค่าเผื่อคือ Monte Carlo Simulation ด้วย โปรแกรมช่วย Crystal Ball

4.6.4 ขอบข่ายของปัญหา

การจำลองปัญหาค่าเผื่อ(Tolerance Simulation) ในงานวิจัยนี้ ขนาดเฉลี่ย(Mean) และ ค่าเผื่อ(Tolerance) ได้มาจากการวัดขนาดจริงของเครื่องมือใหม่ ดังนั้น ขนาด a b c d และ e ถูกกำหนดขีดจำกัดควบคุมบน (UCL) หรือ Mean + Tolerance และขีดจำกัดควบคุมล่าง (LCL) หรือ Mean - Tolerance สำหรับการกระจายข้อมูล (Distribution) ของขนาดต่างๆ ได้มาจากการวัดขนาดจริง และนำมาทดสอบการกระจายด้วยโปรแกรม Arena ในส่วน Input Analyzer ดังแสดงตารางที่ 4.5 และการคำนวณการวิเคราะห์แบบจำลองปัญหาดังแสดงตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 แบบจำลองปัญหาเลียนแบบงานจริง

ขนาด Dimension	ขนาดเฉลี่ย Mean	ค่าเผื่อ Tolerance	1 Std.Dev.	ขีดจำกัดบน UCL	ขีดจำกัดล่าง LCL	การกระจาย Distribution
a						ได้มาจาก โปรแกรม Arena ส่วน Input Analyzer
b						
c						
d						
e						
AG						

4.6.5 ผลลัพธ์จากการรันแบบจำลองปัญหาเลียนแบบงานจริง

ผลลัพธ์จากการรันแบบจำลองปัญหาค่าเผื่อระยะประกอบ โดยใช้ข้อมูลขนาดเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน การกระจายข้อมูลของการวัดขนาดงานจริงของเครื่องมือ 10 ชุด จะได้ผลลัพธ์ที่ได้เช่นเดียวกับกันหัวข้อที่ 4.5.3.4



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงการคำนวณการวิเคราะห์แบบจำลองปัญหา

ขนาด Dimension	ขนาดกลาง Nominal	ค่าเผื่อ Tolerance	1 Std.Dev.	ขีดจำกัดบน USL	ขีดจำกัดล่าง LSL	การกระจาย Distribution
a	+ a	$3\sigma_a$	σ_a	$a + 3\sigma_a$	$a - 3\sigma_a$	Distribution
b	- b	$3\sigma_b$	σ_b	$b + 3\sigma_b$	$b - 3\sigma_b$	Distribution
c	- c	$3\sigma_c$	σ_c	$c + 3\sigma_c$	$c - 3\sigma_c$	Distribution
d	+ d	$3\sigma_d$	σ_d	$d + 3\sigma_d$	$d - 3\sigma_d$	Distribution
e	+ e	$3\sigma_e$	σ_e	$e + 3\sigma_e$	$e - 3\sigma_e$	Distribution
AG	+ AG					

AG คือ ระยะช่องว่างประกอบ(Assembly Gap) หน่วยเป็น นิ้ว

σ_a คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาด a

σ_b คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาด b

σ_c คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาด c

σ_d คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาด d

σ_e คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาด e

บทที่ 5

ผลการดำเนินงานวิจัย

5.1 ผลของข้อมูลชิ้นงานเริ่มต้น

5.1.1 ผลของข้อมูลความหนาของแผ่นหัวอ่าน-เขียน

เมื่อทำการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลจากสายการผลิต 11 สาย สายละ 30 ค่า และใช้โปรแกรม Minitab13 แสดงผลของข้อมูลความหนาแผ่นหัวอ่าน-เขียนดังนี้

ความหนาแผ่นหัวอ่าน-เขียนเฉลี่ย(\bar{T}) มีค่าเท่ากับ .01197 นิ้ว

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(σ) มีค่าเท่ากับ .00017 นิ้ว

จากกราฟ Normal Probability Test แสดงให้เห็นว่ามีเส้นกราฟเป็นเส้นตรงเฉียงขึ้น แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายแบบนอร์มอล ดังนั้นข้อมูลของความหนาแผ่นหัวอ่าน-เขียนเป็นการกระจายแบบนอร์มอลดังแสดงในรูปที่ 5.1

จากกราฟ Histogram กับ Normal Curve แสดงให้เห็นความถี่ในช่วงความหนาของแผ่นหัวอ่านเขียน ดังแสดงในรูปที่ 5.2

สรุปผลการทดลอง

ค่าเฉลี่ยความหนาแผ่นหัวอ่าน-เขียน มีค่าเท่ากับ .01197 นิ้ว

ค่าเผื่อ ($\pm 3\sigma$) มีค่าเท่ากับ $\pm .00051$ นิ้ว

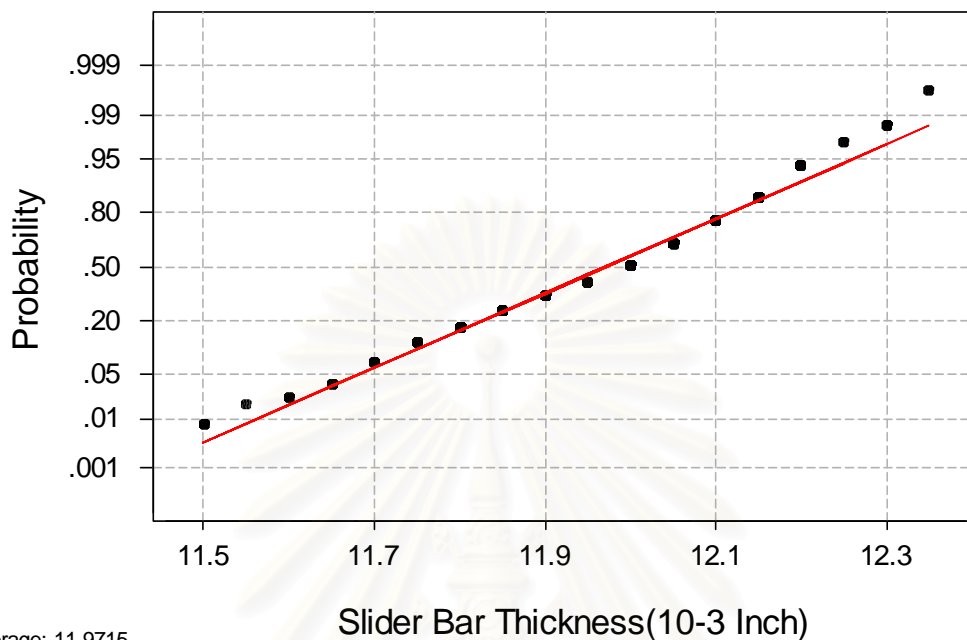
ตารางที่ 5.1 แสดงการบันทึกค่าความหนา Slider Bar (หน่วยเป็น $\times 10^{-3}$ นิ้ว)

ลำดับที่	สายการผลิตที่ 1	สายการผลิตที่ 2	สายการผลิตที่ 3	สายการผลิตที่ 4	สายการผลิตที่ 5	สายการผลิตที่ 6
1	11.70	12.20	12.10	11.75	12.05	11.95
2	11.55	12.00	12.05	11.85	11.95	11.95
3	11.50	12.15	12.05	11.75	11.70	11.95
4	11.75	12.10	12.05	11.75	11.90	11.85
5	11.70	12.15	11.95	11.85	11.85	12.00
6	11.80	12.10	12.10	12.00	11.85	12.00
7	11.85	12.10	12.15	12.00	11.85	11.95
8	11.70	12.15	12.00	12.00	11.75	12.10
9	11.70	12.10	12.05	11.95	11.75	11.85
10	11.65	12.15	12.15	12.05	11.95	12.05
11	11.60	12.15	12.05	11.85	11.80	12.05
12	11.65	12.05	12.05	11.95	11.70	11.90
13	11.65	12.30	12.00	11.95	11.90	12.00
14	11.80	12.20	12.20	11.90	11.80	11.95
15	11.70	12.20	12.20	11.90	11.95	11.95
16	11.70	12.15	12.05	12.05	11.85	11.90
17	11.75	12.20	12.15	12.05	12.30	11.85
18	11.70	12.20	12.15	12.05	11.75	11.75
19	12.15	12.10	12.10	11.95	11.90	11.95
20	12.00	12.15	12.10	11.95	11.80	12.10
21	12.00	12.10	12.15	12.05	11.85	12.00
22	12.10	12.15	12.15	11.75	12.05	11.85
23	11.90	12.10	12.15	11.75	11.95	11.80
24	12.00	12.10	12.15	11.95	11.95	11.85
25	12.10	12.15	12.15	12.05	12.05	12.05
26	11.95	12.05	12.15	11.95	11.75	11.90
27	12.05	12.10	12.20	11.95	11.80	12.05
28	12.05	12.25	12.15	12.00	11.95	11.90
29	12.05	12.35	12.00	12.10	11.95	12.00
30	12.05	12.35	12.15	12.05	11.95	12.25

ตารางที่ 5.2 แสดงการบันทึกค่าความหนา Slider Bar (หน่วยเป็น $\times 10^{-3}$ นิ้ว)(ต่อ)

ลำดับที่	สายการผลิตที่ 7	สายการผลิตที่ 8	สายการผลิตที่ 9	สายการผลิตที่ 10	สายการผลิตที่ 11
1	12.10	11.85	12.05	12.30	11.70
2	12.20	11.95	11.90	12.20	11.80
3	12.05	11.85	12.00	12.10	11.75
4	12.15	11.80	11.80	12.20	11.65
5	12.15	11.85	11.80	12.20	11.80
6	12.00	11.85	11.75	12.10	11.90
7	12.20	11.80	11.50	12.20	11.70
8	12.05	11.70	11.60	12.20	11.80
9	12.10	11.85	11.50	12.30	11.85
10	12.20	12.05	11.80	12.15	11.95
11	12.10	11.85	11.80	12.15	11.85
12	12.20	11.85	11.75	12.10	11.85
13	12.20	11.85	12.00	12.15	11.95
14	12.05	11.85	11.95	12.30	11.85
15	12.10	11.85	11.90	12.20	11.85
16	12.00	12.05	12.00	12.00	11.90
17	12.00	11.90	12.05	12.15	11.85
18	11.95	11.95	12.05	12.05	11.70
19	12.05	12.10	12.00	12.05	11.50
20	12.00	12.10	12.30	12.15	11.60
21	12.00	11.95	11.95	12.00	11.50
22	12.00	11.95	12.00	12.20	11.70
23	11.95	12.05	11.95	12.10	11.65
24	12.10	12.05	11.95	12.10	11.75
25	12.05	12.05	11.85	12.15	11.70
26	12.05	12.15	11.85	12.15	11.70
27	12.05	12.10	11.85	12.05	11.75
28	12.10	12.05	12.00	12.15	11.75
29	12.05	12.15	12.10	12.00	11.75
30	12.05	12.00	12.05	12.05	11.65

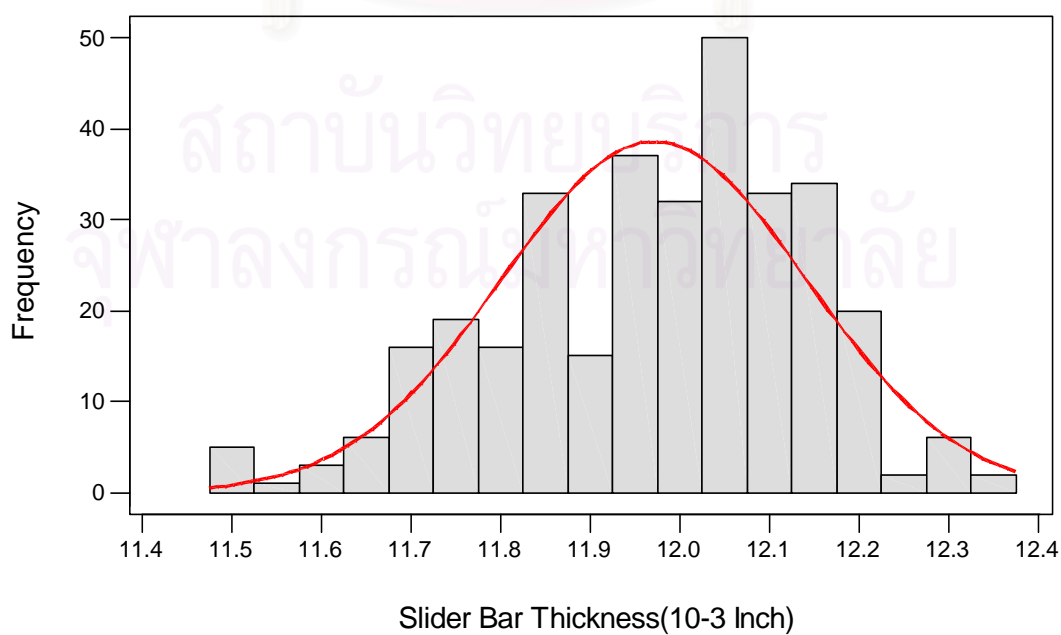
Normal Probability Plot



Average: 11.9715
StDev: 0.170662
N: 330

รูปที่ 5.1 แสดงกราฟ Normal Probability Plot ของความหนาของแผ่นหัวอ่าน-เขียน

Histogram of Slider Bar Thickness, with Normal Curve



รูปที่ 5.2 แสดงกราฟ Histogram กับ Normal Curve ของความหนาของแผ่นหัวอ่าน-เขียน

5.1.2 ผลของความหนาของแผ่นกาว

เมื่อทำการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลจากแผ่นกาวจำนวน 10 ม้วนๆ ละ 3 ตำแหน่ง และใช้โปรแกรม Minitab13 แสดงผลความหนาของแผ่นกาวที่เกิดขึ้นดังนี้

ความหนาของแผ่นกาวเฉลี่ย(Tadheseive)	มีค่าเท่ากับ .00457 นิ้ว
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(σ adheseive)	มีค่าเท่ากับ .00020 นิ้ว

จากกราฟ Normal Probability Test แสดงให้เห็นว่ามีเส้นกราฟเป็นเส้นตรงเฉียงขึ้น แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายแบบนอร์มอล ดังนั้นข้อมูลความหนาของแผ่นกาวเป็นการกระจายแบบนอร์มอลดังแสดงในรูปที่ 5.3

จากกราฟ Histogram กับ Normal Curve แสดงให้เห็นความถี่ในช่วงความหนาของแผ่นกาวดังแสดงในรูปที่ 5.4

สรุปผลการทดลอง

ค่าเฉลี่ยความหนาของแผ่นหัวอ่าน-เขียน	มีค่าเท่ากับ .00457 นิ้ว
ค่าเผื่อ ($\pm 3\sigma$ adheseive)	มีค่าเท่ากับ $\pm .0006$ นิ้ว

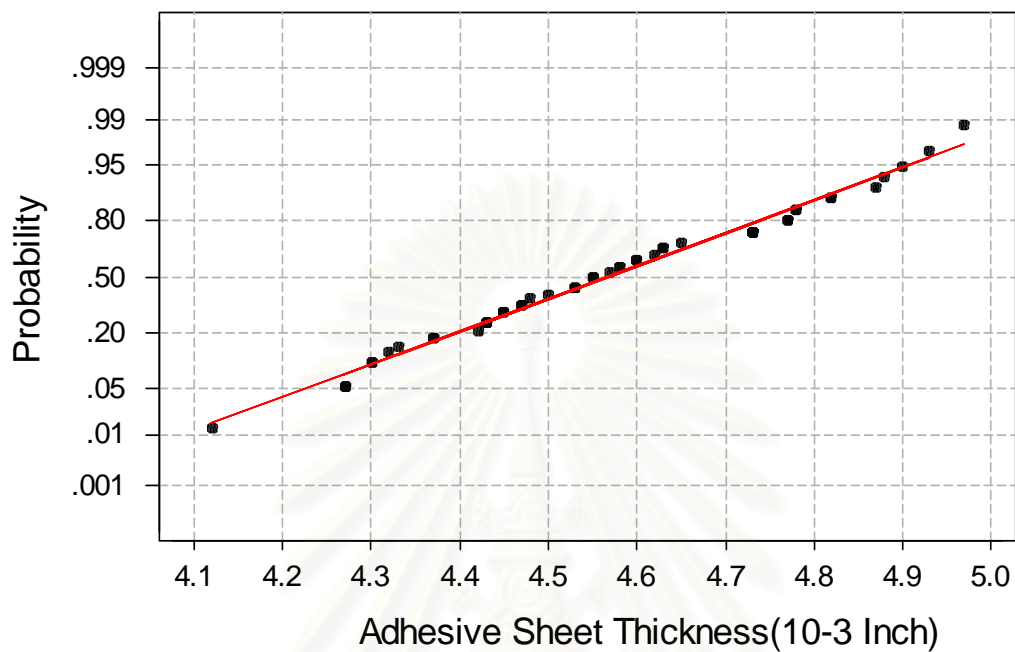
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.3 แสดงการบันทึกค่าความหนาของแผ่นกาว (หน่วยเป็น นิ้ว)

กล่องที่	ม้วนที่	ตำแหน่งที่			ค่าเฉลี่ย	กล่องที่	ม้วนที่	ตำแหน่งที่			ค่าเฉลี่ย
		1	2	3				1	2	3	
1	1	0.00465	0.00450	0.00460	0.00458	6	1	0.00445	0.00456	0.00450	0.00450
	2	0.00485	0.00480	0.00480	0.00482		2	0.00465	0.00465	0.00460	0.00463
	3	0.00475	0.00480	0.00480	0.00478		3	0.00475	0.00485	0.00475	0.00478
	4	0.00450	0.00440	0.00440	0.00443		4	0.00480	0.00475	0.00475	0.00477
	5	0.00430	0.00425	0.00435	0.00430		5	0.00440	0.00490	0.00490	0.00473
2	1	0.00430	0.00430	0.00430	0.00430	7	1	0.00445	0.00445	0.00440	0.00443
	2	0.00460	0.00465	0.00460	0.00462		2	0.00485	0.00485	0.00490	0.00487
	3	0.00455	0.00455	0.00455	0.00455		3	0.00470	0.00465	0.00460	0.00465
	4	0.00440	0.00440	0.00445	0.00442		4	0.00490	0.00490	0.00490	0.00490
	5	0.00430	0.00425	0.00425	0.00427		5	0.00500	0.00490	0.00490	0.00493
3	1	0.00410	0.00410	0.00415	0.00412	8	1	0.00455	0.00455	0.00455	0.00455
	2	0.00450	0.00455	0.00460	0.00455		2	0.00455	0.00445	0.00445	0.00448
	3	0.00455	0.00455	0.00450	0.00453		3	0.00445	0.00445	0.00445	0.00445
	4	0.00445	0.00445	0.00440	0.00443		4	0.00425	0.00430	0.00425	0.00427
	5	0.00460	0.00460	0.00460	0.00460		5	0.00450	0.00445	0.00445	0.00447
4	1	0.00475	0.00480	0.00475	0.00477	9	1	0.00465	0.00465	0.00460	0.00463
	2	0.00465	0.00485	0.00470	0.00473		2	0.00450	0.00400	0.00450	0.00433
	3	0.00500	0.00495	0.00495	0.00497		3	0.00480	0.00470	0.00470	0.00473
	4	0.00455	0.00460	0.00455	0.00457		4	0.00480	0.00470	0.00470	0.00473
	5	0.00425	0.00430	0.00425	0.00427		5	0.00455	0.00455	0.00450	0.00453
5	1	0.00455	0.00455	0.00450	0.00453	10	1	0.00445	0.00445	0.00445	0.00445
	2	0.00455	0.00460	0.00465	0.00460		2	0.00490	0.00495	0.00480	0.00488
	3	0.00440	0.00430	0.00440	0.00437		3	0.00440	0.00440	0.00460	0.00447
	4	0.00435	0.00440	0.00435	0.00437		4	0.00460	0.00455	0.00460	0.00458
	5	0.00430	0.00435	0.00430	0.00432		5	0.00480	0.00485	0.00480	0.00482

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

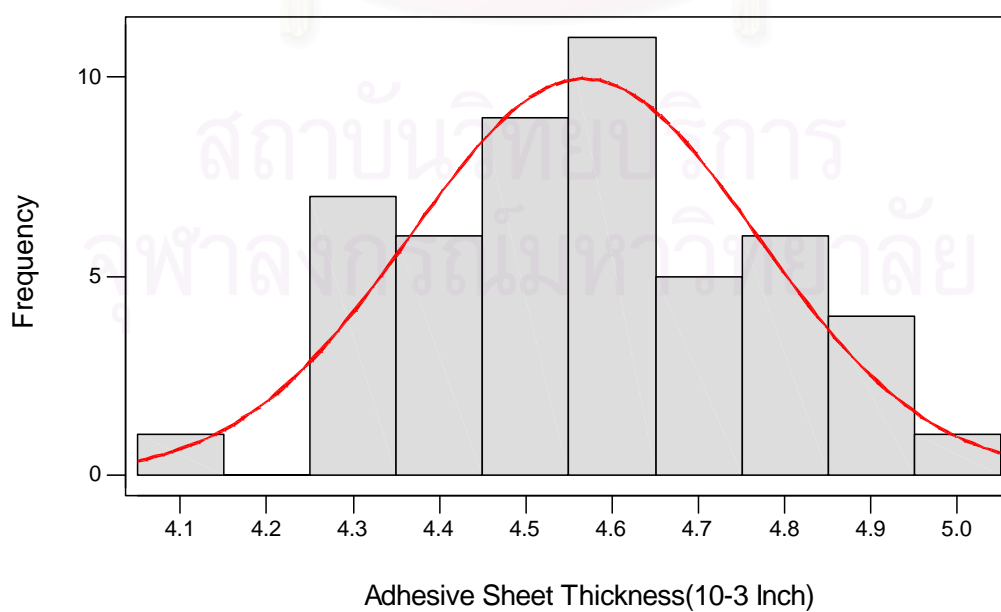
Normal Probability Plot



Average: 4.5672
StDev: 0.200276
N: 50

รูปที่ 5.3 แสดงกราฟ Normal Probability Plot ของความหนาของแผ่นกาว

Histogram of Adhesive Sheet Thickness, with Normal Curve



รูปที่ 5.4 แสดงกราฟ Histogram กับ Normal Curve ของความหนาของแผ่นกาว

5.2 ผลของการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างระยะประกอบชิ้นงานกับของเสีย

จากข้อมูลชิ้นงานเริ่มต้นหัวข้อที่ 5.1 ได้ทราบค่าความหนาแน่นหัวอ่านเขียน(Tbar) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความหนาแน่นหัวอ่านเขียน(σ bar) ค่าความหนาแน่นกาว (Tadhesive) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความหนาแน่นกาว (σ adhesive)

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร } \sigma_{assy} &= \sqrt{\sigma^2_{bar} + \sigma^2_{adhesive}} \\ &= \sqrt{(.00017)^2 + (.00020)^2} \\ &= .00026 \text{ นิ้ว} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ระยะประกอบชิ้นงานกว้างสุด (AW. Max.)} &= .01197 + .00457 + 3(.00026) \\ &= .01654 + .00078 = .0173 \text{ นิ้ว} \\ &= .0165 + 4.72\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ระยะประกอบชิ้นงานกลาง (AW.)} &= .01197 + .0046 \\ &= .01654 \text{ นิ้ว} = .0165 + 0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ระยะประกอบชิ้นงานแคบสุด (AW. Min.)} &= .01197 + .00457 - .0075 - 3(.00026) \\ &= .01654 - .00828 = .0083 \text{ นิ้ว} \\ &= .0165 - 50.06\% \end{aligned}$$

5.3 ผลของระยะประกอบที่เหมาะสมสำหรับการทำงานจริง

5.3.1 ผลการทดลอง

5.3.1.1 ผลการทดลองระยะประกอบเดิม

ผลการทดลองระยะประกอบเดิม ดังแสดงในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ผลของของเสียที่ได้มาจากระยะประกอบเดิม

ล็อตที่	จำนวน ตัวอย่าง (n)	จำนวน ของเสีย (np)	สัดส่วน ของเสีย (p)	ของเสีย (ขึ้นต่อล้านชิ้น)
1	2005	6	0.0030	2993
2	2000	8	0.0040	4000
3	2001	7	0.0035	3498
4	2005	6	0.0030	2993
5	2008	6	0.0030	2988
6	2003	6	0.0030	2996
7	2001	7	0.0035	3498
8	2000	8	0.0040	4000
9	2000	8	0.0040	4000
10	2007	6	0.0030	2990
11	2006	8	0.0040	3988
12	2004	6	0.0030	2994
13	2000	7	0.0035	3500
14	2007	7	0.0035	3488
15	2005	7	0.0035	3491
รวม	30052	103	0.0034	3427

จากตารางที่ 5.4 แสดงว่าของเสียที่ได้มาจากระยะประกอบของการออกแบบเครื่องมือเดิม ภายใต้สภาวะการทดลองและกลุ่มตัวอย่างเท่ากันกับการหาระยะประกอบที่เหมาะสม มีค่าเท่ากับ 3427 ชิ้นต่อล้านชิ้น และผลของของเสียในล็อตที่ 2, 3, 7, 8, 9, 11, 13, 14 และ 15 ที่เกินระดับของเสียที่ยอมรับได้ (3295 ชิ้นต่อล้านชิ้น)

5.3.1.2 ผลการทดลองการหาระยะประกอบที่เหมาะสม

ในการสั่งทำเครื่องมือระยะประกอบ ซึ่งทราบว่าโอกาสระยะประกอบผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นอยู่ในช่วงค่า .0083 ถึง .0173 นิ้ว ดังนั้นทำการตั้งค่าระยะประกอบสมมุติโดยแบ่งช่วงที่ละ 10 เปอร์เซ็นต์ ดังข้างล่างนี้

ระยะประกอบสมมุติ

หน่วยเป็น นิ้ว

.01654 + 4.72%(.0008)	.0173
.01654 + 0%(.0000)	.0165
.01654 - 10%(.00165)	.0149
.01654 - 20%(.00331)	.0132
.01654 - 30%(.00496)	.0116
.01654 - 40%(.00662)	.0099
.01654 - 50%(.00827)	.0087

ระยะประกอบสมมุติมีค่าเผื่อ $\pm .0001$ นิ้ว

ตารางที่ 5.5 แสดงการบันทึกที่ระยะประกอบต่างๆกับของเสียที่เกิดขึ้น

ระยะประกอบ (Inch)	จำนวนตัวอย่าง n	จำนวนของเสีย np	สัดส่วนของเสีย p	ของเสียต่อล้านชิ้น (PPM)
0.0087	30005	177	0.0059	5899
0.0099	30009	87	0.0029	2899
0.0116	30002	15	0.0005	500
0.0132	30000	5	0.0002	167
0.0149	29983	51	0.0017	1701
0.0165	29990	158	0.0053	5268
0.0173	-	-	-	-

หมายเหตุ ระยะประกอบที่ .0173 ไม่ได้แสดงผล เพราะผู้วิจัยได้เริ่มทำการวิจัยจากระยะประกอบที่ใกล้เคียงกับระยะเดิมคือ .0099 จากนั้นได้ดูผลของของเสีย พบว่าของเสียที่เกิดขึ้นเท่ากับ 2899 PPM หลังจากนั้นดำเนินการทดลองระยะประกอบที่ .0116, .0087, .0132, .0149, .0165 ตามลำดับ พบว่าระยะประกอบที่ .0165 มีของเสียที่เกินกว่าของเสียที่ยอมรับได้(3295 PPM) ดังนั้นจึงไม่ดำเนินการทดลองต่อไป

สำหรับกราฟสัดส่วนของเสียของระยะประกอบต่างๆ แสดงในภาคผนวก ก

5.3.2 ผลการคำนวณระยะประกอบ

จากการกำหนดของเสียที่ยอมรับได้ที่ 3295 ขึ้นต่อล้านชิ้น พบว่า

ระยะประกอบแคบที่สุด (Minimum Assembly Gap, AG.Min)

อยู่ในช่วงของระยะประกอบที่ .0087 กับ .0099 สามารถคำนวณหาได้ดังนี้
ดังนั้นระดับของของเสียที่ยอมรับได้(3295 PPM)

$$= \left[\frac{(.0099 - .0087) \times (3295 - 5899)}{(2899 - 5899)} \right] + .0087$$

$$= .00976 \text{ นิ้ว}$$

ระยะประกอบกว้างที่สุด (Maximum Assembly Gap, AG.Max)

อยู่ในช่วงของระยะประกอบที่ .0149 กับ .0165 สามารถคำนวณหาได้ดังนี้
ดังนั้นระดับของของเสียที่ยอมรับได้(3295 PPM)

$$= \left[\frac{(.0165 - .0149) \times (3295 - 1701)}{(5268 - 1701)} \right] + .0149$$

$$= .01563 \text{ นิ้ว}$$

ระยะประกอบกลาง (Nominal assembly Gap)

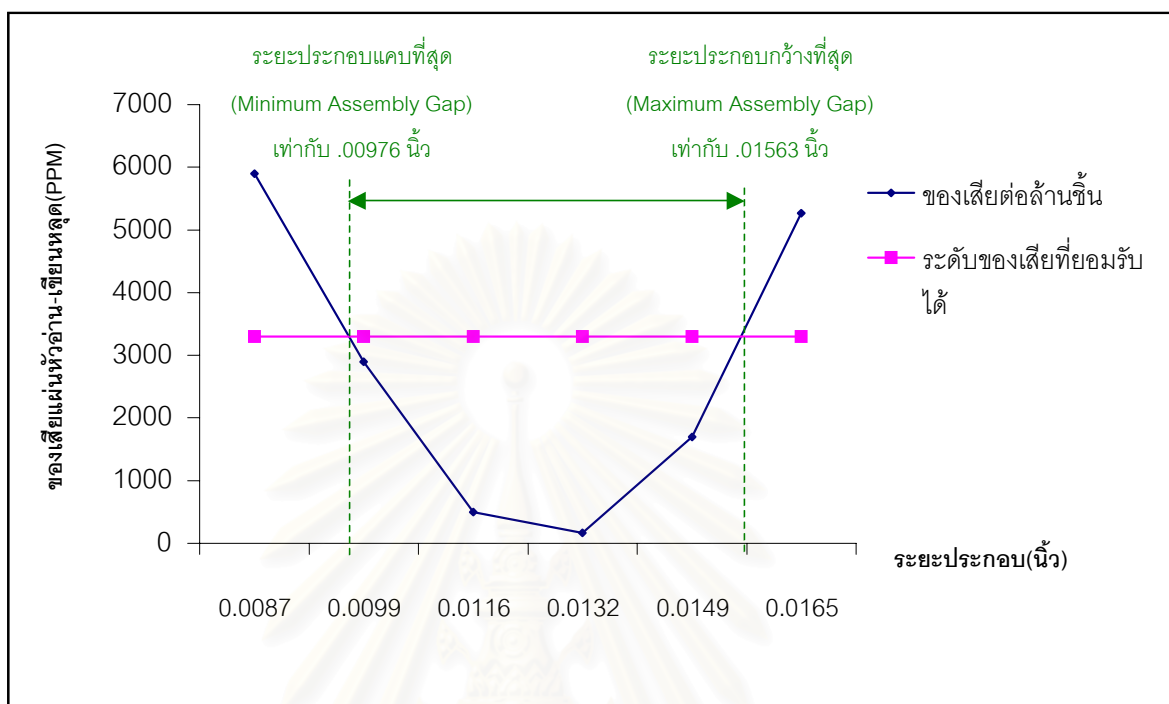
(ระยะประกอบกว้างที่สุด - ระยะประกอบแคบที่สุด) / 2

$$= (.01563 - .00976) / 2$$

$$= .01270 \text{ นิ้ว}$$

จากการคำนวณระยะประกอบแคบที่สุดและระยะประกอบกว้างที่สุด ดังกราฟใน

รูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 แสดงกราฟช่วงระยะประกอบที่เหมาะสมกับของเสียแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลุด

5.3.3 การสร้างสมการ Loss Function

จากผลการทดลองพบว่า

ระยะประกอบแคบที่สุด (Minimum Assembly Gap) มีค่าเท่ากับ .00976 นิ้ว

ระยะประกอบกลาง (Nominal assembly Gap) มีค่าเท่ากับ .01270 นิ้ว

ระยะประกอบกว้างที่สุด (Maximum Assembly Gap) มีค่าเท่ากับ .01563 นิ้ว

จากสูตรของ Taguchi Loss Function

$$L = k (y - m)^2$$

ได้มาจากตำแหน่งจุดตัดระหว่างของเสียที่ยอมรับได้(3295PPM) หรือ a กับ ระยะประกอบแคบที่สุด(.00976 นิ้ว) ถึงระยะประกอบเป้าหมาย(.01270 นิ้ว) หรือ b

หาค่า k

$$k = a / (b)^2$$

$$k = 3295 / (.00976 - .01270)^2$$

$$k = 3.812 \times 10^8$$

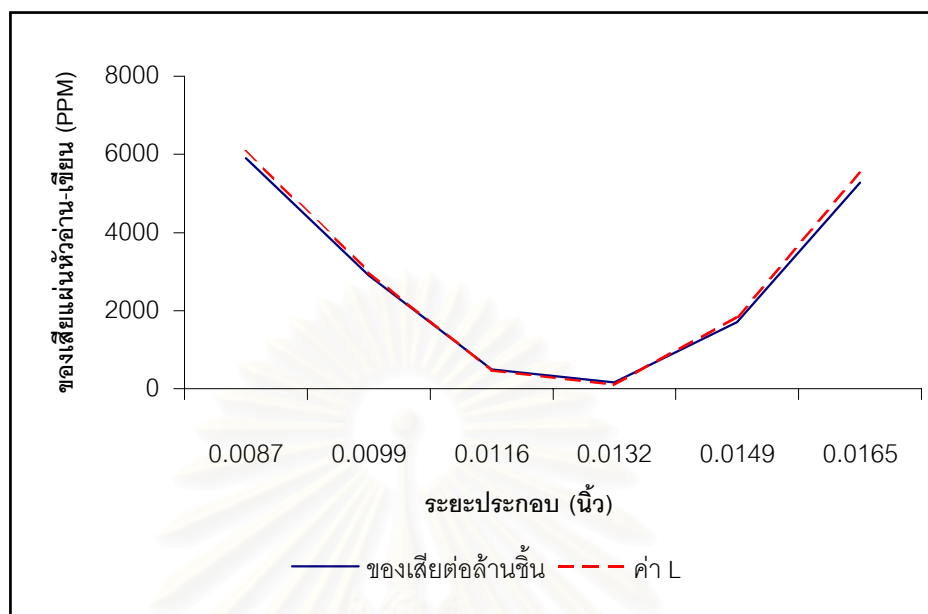
ดังนั้นได้สมการ

$$L = 3.812 \times 10^8 (y - .01270)^2$$

จากสมการข้างบน สามารถเปรียบเทียบค่า L กับ ระยะประกอบต่างๆ และ ของเสีย แผ่นหัวอ่าน-เขียนหลุดกับระยะประกอบต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 5.6 และรูปที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ตารางการเปรียบเทียบค่า L กับระยะประกอบต่างๆ และ ของเสียของแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลุดกับระยะประกอบต่างๆ

ระยะประกอบ (Inch)	ของเสียต่อล้านชิ้น (PPM)	ค่า L (PPM)
0.0087	5899	6099
0.0099	2899	2989
0.0116	500	461
0.0132	167	95
0.0149	1701	1845
0.0165	5268	5505



รูปที่ 5.6 แสดงกราฟเปรียบเทียบของเสียกับค่า L ที่ระยะประกอบต่างๆ

5.2.4 สรุปผลการหาระยะประกอบที่เหมาะสมสำหรับการทำงานจริง

จากผลการทดลองพบว่า

ระยะประกอบแคบที่สุด (Minimum Assembly Gap) มีค่าเท่ากับ .00976 นิ้ว

ระยะประกอบกลาง (Nominal assembly Gap) มีค่าเท่ากับ .01270 นิ้ว

ระยะประกอบกว้างที่สุด (Maximum Assembly Gap) มีค่าเท่ากับ .01563 นิ้ว

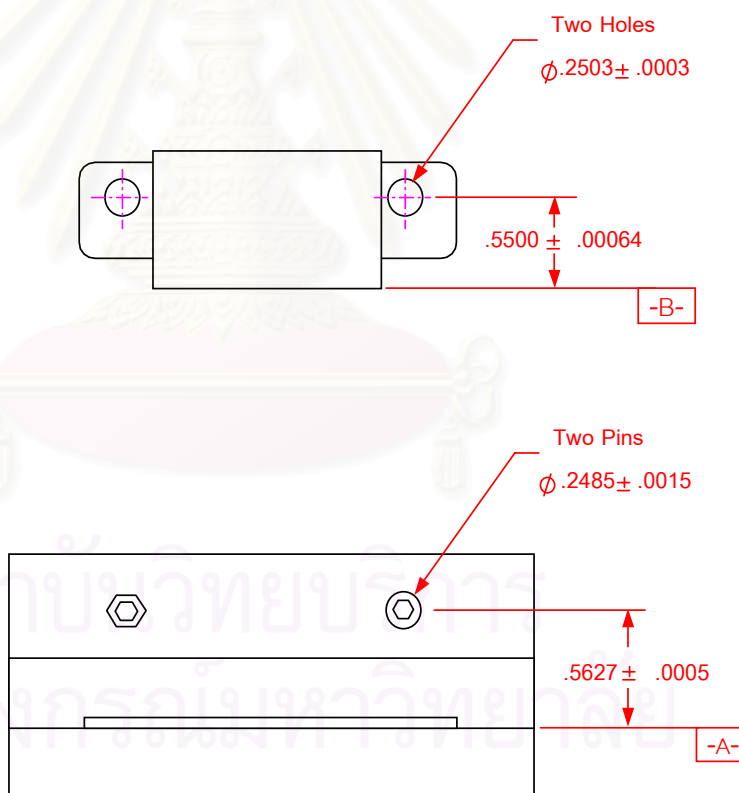
การเปรียบเทียบของเสียแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลุดกับค่า L ที่ ระยะประกอบต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 5.6 พบว่าเส้นกราฟของเสียแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลุดได้จากการปฏิบัติการจริงที่มีลักษณะคล้ายกับระฆังหงาย (Parabola) ซึ่งใกล้เคียงกับเส้นกราฟของ ค่า L เป็นอย่างมาก

ดังนั้น ค่า L สามารถเป็นตัวแทนของของเสียแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลุดจากการทำงานจริงได้

5.4 ผลการจัดสรรค่าเผื่อและขนาดสำหรับการออกแบบเครื่องมือใหม่

5.4.1 การออกแบบขนาดกลาง(Nominal Dimension) และค่าเผื่อ(Tolerance) ของเครื่องมือใหม่

ในการคำนวณหาขนาดกลางและค่าเผื่อใหม่ ผู้วิจัยทราบว่าขนาดกลางที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้มีเพียงขนาดจากศูนย์กลางของพินถึงผิวด้านล่างของ Mount ของชุดเครื่องช่วยเชื่อมติด หรือ ขนาด A และ ค่าเผื่อที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้คือ ค่าเผื่อของขนาดจากศูนย์กลางรูถึงผิวด้านล่าง ของเครื่องมือเชื่อมติด หรือ ขนาด B ซึ่งใช้วิธีแบบ Worst Case Limits ดังแสดงในรูปที่ 5.7 และเปรียบเทียบขนาดกลางและค่าเผื่อของเครื่องมือเดิมและเครื่องมือใหม่ดังตารางที่ 5.7



รูปที่ 5.7 แสดงขนาดกลางและค่าเผื่อของเครื่องมือใหม่

การคำนวณยืนยันระยะช่องว่างประกอบใหม่

1. ระยะระหว่างด้านล่างของ Bonding Tool กับ ด้านบนของฐาน Bonding Fixture

$$\begin{aligned} \text{Bonding Fixture} - \text{Bonding Tool} &= (.5627 \pm .0005) - (.5500 \pm .00064) \\ &= .01270 \pm .00114 \text{ นิ้ว} \end{aligned}$$

2. ระยะช่องว่างพินกับรู

$$\begin{aligned} \text{Bonding Tool (รู)} - \text{Bonding Fixture (พิน)} &= (.2503 \pm .0003) - (.2485 \pm .0015) \\ &= .0018 \pm .0018 \text{ นิ้ว} \end{aligned}$$

$$\text{ขนาดรูโตสุด กับ ขนาดพินเล็กสุด } (.2506 - .2470) / 2 = .0036 / 2 = .0018 \text{ นิ้ว}$$

$$\text{ขนาดรูเล็กสุด กับ ขนาดพินโตสุด } (.2500 - .2500) / 2 = .0000 / 2 = .0000 \text{ นิ้ว}$$

ดังนั้น ระยะช่องว่างประกอบใหม่

$$\text{ระยะช่องว่างแคบสุด} = .01270 - .00114 - .0018 = .00976 \text{ นิ้ว}$$

$$\text{ระยะช่องว่างกลาง} = .01270 = .01270 \text{ นิ้ว}$$

$$\text{ระยะช่องว่างกว้างสุด} = .01270 + .00114 + .0018 = .01563 \text{ นิ้ว}$$

การคำนวณด้านบนเป็นการยืนยันการออกแบบขนาดและค่าเผื่อของเครื่องมือใหม่ว่า
ขนาดและค่าเผื่อที่เปลี่ยนไป (.5627 และ .00064) เมื่อนำมาประกอบแล้วสามารถให้ค่าเท่ากับ
ระยะประกอบที่เหมาะสมที่สุด

ตารางที่ 5.7 ตารางเปรียบเทียบการออกแบบขนาดกลางและค่าเผื่อของเครื่องมือเดิมและเครื่องมือใหม่

ขนาด	ออกแบบเครื่องมือเดิม		ออกแบบเครื่องมือใหม่	
	ขนาดกลาง (นิ้ว)	ค่าเผื่อ (นิ้ว)	ขนาดกลาง (นิ้ว)	ค่าเผื่อ (นิ้ว)
A	0.5600	0.0005	0.5627	0.0005
B	0.5500	0.0010	0.5500	0.00064
C	0.2503	0.0003	0.2503	0.0003
D	0.2485	0.0015	0.2485	0.0015

5.5 ผลการวิเคราะห์ค่าเผื่อโดยเทคนิคต่างๆ

5.5.1 ผลการวิเคราะห์ค่าเผื่อด้วยเทคนิควิธี Worst Case Assembly



กรณีระยะช่องว่างประกอบแคบที่สุด
(Minimum Assembly Gap Case)

กรณีระยะช่องว่างประกอบกว้างที่สุด
(Maximum Assembly Gap Case)

รูปที่ 5.8 แสดงกรณีระยะช่องว่างแคบและกว้างที่สุด

ตารางที่ 5.8 ผลการวิเคราะห์ค่าเผื่อด้วยเทคนิควิธี Worst Case Assembly

ขนาด Dimension	ขนาดกลาง Nominal	ค่าเผื่อ Tolerance
a	+ 0.56270	± 0.00050
b	- 0.55000	± 0.00064
c	- 0.12515	± 0.00015
d	+ 0.12425	± 0.00075
e	+ 0.00090	± 0.00090
AG	+ 0.01270	± 0.00294

การคำนวณค่าเผื่อระยะประกอบ

$$\begin{aligned}
 T_{wc} \text{ ของระยะประกอบ} &= .00050 + .00064 + .00015 + .00075 + .00090 \\
 &= \pm .00294 \text{ นิ้ว}
 \end{aligned}$$

จากตารางที่ 5.8 พบว่าผลการวิเคราะห์ค่าเผื่อด้วยเทคนิควิธี Worst Case Assembly โดยการคำนวณค่าเผื่อระยะประกอบ มีค่าเท่ากับ $\pm .00294$ นิ้ว

5.5.2 การวิเคราะห์ค่าเผื่อด้วยเทคนิควิธีทางสถิติ(Statistical Method)

5.5.2.1 การวิเคราะห์ค่าเผื่อด้วยเทคนิควิธี RSS (Root Sum of Squares)

$$\text{ค่าความแปรปรวน (Variance)} = (\text{Tolerance} / 3 C_p)^2$$

เมื่อ $C_p = 1$ สำหรับการประกอบที่ยอมรับได้ที่ $\pm 3\sigma$

ตารางที่ 5.9 ผลการวิเคราะห์ค่าเผื่อด้วยเทคนิควิธี RSS (Root Sum of Squares)

ขนาด Dimension	ขนาดกลาง Nominal	(ค่าเผื่อ/3) ² (Tolerance/3) ²	ความแปรปรวน Variance
a	+ 0.56270	± (0.0005/3) ²	2.77778E-08
b	- 0.55000	± (0.00064/3) ²	4.55111E-08
c	- 0.12515	± (0.00015/3) ²	2.5E-09
d	+ 0.12425	± (0.00075/3) ²	6.25E-08
e	+ 0.00090	± (0.0009/3) ²	0.00000009
AG	+ 0.01270		± 0.00143

การคำนวณค่าเผื่อระยะประกอบ

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{gap}} &= \sqrt{\sum (\text{Variance})} \\ &= \sqrt{2.283\text{E-}07} \\ &= 4.778\text{E-}04\end{aligned}$$

$$\text{ค่าเผื่อระยะประกอบ} = \pm 3\sigma_{\text{gap}}$$

$$= \pm 0.00143 \text{ นิ้ว}$$

จากตารางที่ 5.9 พบว่าผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิธี RSS (Root Sum of Squares) โดยการคำนวณค่าเผื่อระยะประกอบ มีค่าเท่ากับ ± 0.00143 นิ้ว

5.5.2.2 ผลการวิเคราะห์ค่าเผื่อด้วยเทคนิควิธี DRSS (Dynamic Root Sum of Squares)

$$\text{ค่าความแปรปรวน (Variance)} = (\text{Tolerance} / 3 \text{ Cpk})^2$$

เมื่อ $Cpk = 1.5$ สำหรับการประกอบที่ยอมรับได้ที่ $\pm 3\sigma$

ตารางที่ 5.10 ผลการวิเคราะห์ค่าเผื่อด้วยเทคนิควิธี DRSS (Dynamic Root Sum of Squares)

ขนาด Dimension	ขนาดกลาง Nominal	(ค่าเผื่อ/4.5) ² (Tolerance/4.5) ²	ความแปรปรวน Variance
a	+ 0.56270	$\pm (0.0005/4.5)^2$	1.23457E-08
b	- 0.55000	$\pm (0.00064/4.5)^2$	2.02271E-08
c	- 0.12515	$\pm (0.00015/4.5)^2$	1.11111E-09
d	+ 0.12425	$\pm (0.00075/4.5)^2$	2.77777E-08
e	+ 0.00090	$\pm (0.0009/4.5)^2$	0.00000004
AG	+ 0.01270		± 0.00096

การคำนวณค่าเผื่อระยะประกอบ

$$\sigma_{\text{gap}} = \sqrt{\sum (\text{Variance})}$$

$$= \sqrt{1.0146\text{E-}07}$$

$$= 3.1853\text{E-}04$$

$$\text{ค่าเผื่อระยะประกอบ} = \pm 3\sigma_{\text{gap}}$$

$$= \pm 0.00096 \text{ นิ้ว}$$

จากตารางที่ 5.10 พบว่าผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DRSS (Dynamic Root Sum of Squares) โดยการคำนวณค่าเผื่อระยะประกอบ มีค่าเท่ากับ $\pm .00096$ นิ้ว

5.5.3 การวิเคราะห์ค่าเผื่อด้วยวิธี Monte Carlo Simulation

จากการวิเคราะห์ค่าเผื่อด้วยวิธี Monte Carlo Simulation แสดงผลทั้ง 3 แบบดังนี้

ตารางที่ 5.11 ผลการวิเคราะห์ค่าเผื่อแบบจำลองปัญหาแบบที่ 1

ขนาด Dimension	ขนาดกลาง Nominal	ค่าเผื่อ Tolerance	1 Std.Dev.	ขีดจำกัดบน USL	ขีดจำกัดล่าง LSL	การกระจาย Distribution
a	+ 0.56270	\pm 0.00050	\pm 0.000167	0.56320	0.56220	Normal
b	- 0.55000	\pm 0.00064	\pm 0.000213	0.55064	0.54936	Normal
c	- 0.12515	\pm 0.00015	\pm 0.000050	0.12530	0.12500	Normal
d	+ 0.12425	\pm 0.00075	\pm 0.000250	0.12500	0.12350	Normal
e	+ 0.00090	\pm 0.00090	\pm 0.000300	0.00180	0.00000	Normal
AG	+ 0.01270					

ตารางที่ 5.12 ผลการวิเคราะห์ค่าเผื่อแบบจำลองปัญหาแบบที่ 2

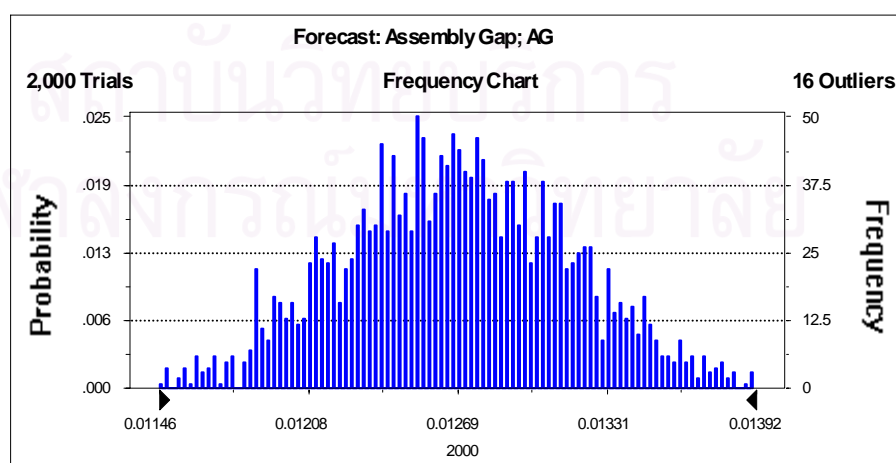
ขนาด Dimension	ขนาดกลาง Nominal	ค่าเผื่อ Tolerance	1 Std.Dev.	ขีดจำกัดบน USL	ขีดจำกัดล่าง LSL	การกระจาย Distribution
a	+ 0.56270	\pm 0.00050	\pm 0.000167	0.56320	0.56220	Uniform
b	- 0.55000	\pm 0.00064	\pm 0.000213	0.55064	0.54936	Uniform
c	- 0.12515	\pm 0.00015	\pm 0.000050	0.12530	0.12500	Normal
d	+ 0.12425	\pm 0.00075	\pm 0.000250	0.12500	0.12350	Normal
e	+ 0.00090	\pm 0.00090	\pm 0.000300	0.00180	0.00000	Normal
AG	+ 0.01270					

ตารางที่ 5.13 ผลการวิเคราะห์ค่าเผื่อแบบจำลองปัญหาแบบที่ 3

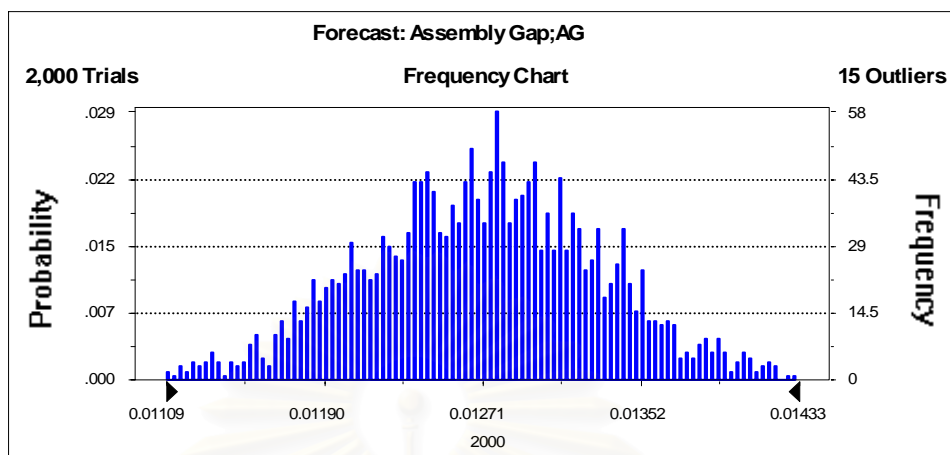
ขนาด Dimension	ขนาดกลาง Nominal	ค่าเผื่อ Tolerance	1 Std.Dev.	ขีดจำกัดบน USL	ขีดจำกัดล่าง LSL	การกระจาย Distribution
a	+ 0.56270	\pm 0.00050	\pm 0.000167	0.56320	0.56220	Uniform
b	- 0.55000	\pm 0.00064	\pm 0.000213	0.55064	0.54936	Uniform
c	- 0.12515	\pm 0.00015	\pm 0.000050	0.12530	0.12500	Uniform
d	+ 0.12425	\pm 0.00075	\pm 0.000250	0.12500	0.12350	Uniform
e	+ 0.00090	\pm 0.00090	\pm 0.000300	0.00180	0.00000	Uniform
AG	+ 0.01270					

5.5.3.1 ผลการรันแบบจำลองปัญหาค่าเผื่อ

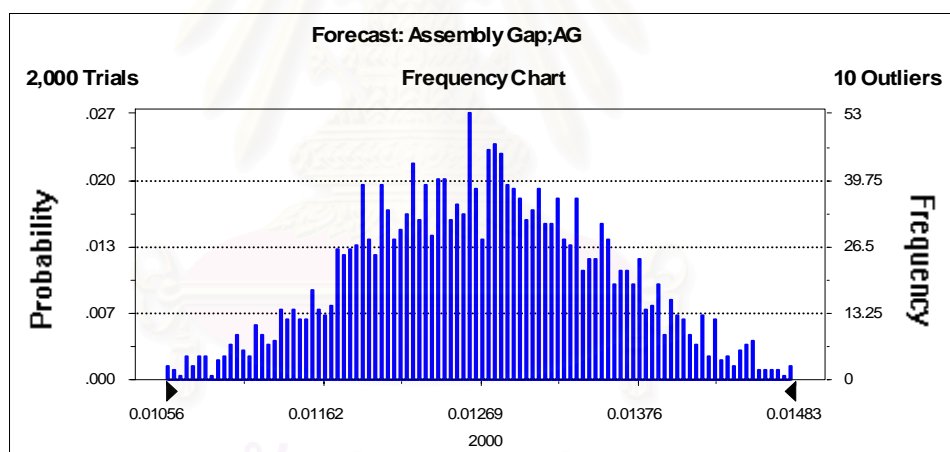
ผลการรันแบบจำลองปัญหาค่าเผื่อจากการออกแบบเครื่องใหม่ทั้ง 3 แบบจะรันแบบละ 10 ครั้ง (10 Replicate) เป็นอย่างน้อย เพื่อที่จะดูความแตกต่างของข้อมูลที่ได้มา หลังจากนั้นสามารถทราบระยะประกอบเฉลี่ย (Average Assembly Gap, Ave.AG.) ค่าเผื่อ ($\pm 3\sigma$) ความถี่ในการทำนายในช่วงระยะประกอบต่างๆ และการกระจายของข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 5.9 สามารถคำนวณของเสียแผ่นหัวอ่านเขียนหลุดโดยสมการ Loss Function หรือ ค่า L ได้ดังนี้



รูปที่ 5.9 แสดงความถี่ในการทำนายในช่วงระยะประกอบต่างๆและการกระจายข้อมูลของการจำลองปัญหาแบบที่ 1 กับ Replicate ที่ 1



รูปที่ 5.10 แสดงความถี่ในการทำนายในช่วงระยะประกอบต่างๆและการกระจายข้อมูลของการจำลองปัญหาแบบที่ 2 กับ Replicate ที่ 1



รูปที่ 5.11 แสดงความถี่ในการทำนายในช่วงระยะประกอบต่างๆและการกระจายข้อมูลของการจำลองปัญหาแบบที่ 3 กับ Replicate ที่ 1

จากรูปที่ 5.9 - 5.11 พบว่าผลการกระจายความถี่การกระจายข้อมูลและความน่าจะเป็นของโอกาสที่เกิดช่วงระยะประกอบต่างๆของ แบบจำลองปัญหาที่ 1 - 3 โดยแสดงผลในรูปแบบของกราฟฮิสโตแกรม

5.5.3.2 สรุปผลการรันแบบจำลองปัญหาค่าเฉลี่ย

จากผลการรันแบบจำลองปัญหาทั้ง 3 แบบ สามารถสรุปผลของค่าเฉลี่ย ระยะเวลาประกอบ และค่าเผื่อประกอบ ($\pm 3\sigma$) ซึ่งค่าเผื่อประกอบได้มาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคูณ ด้วยสาม ดังแสดงตารางที่ 5.14

จากนั้นนำผลการรันแบบจำลองปัญหาที่แสดงการทำนายโอกาสความถี่ ของจำนวนวันที่เกิดขึ้น ณ ระยะเวลาประกอบต่างๆ ซึ่งสามารถแทนค่าในสมการ ค่า L ($L = 3.812 \times 10^8 (y - 0.01270)^2$ เมื่อ y เท่ากับ ระยะเวลาประกอบต่างๆ) ดังแสดงตารางที่ 5.15

ตารางที่ 5.14 ผลสรุปค่าเฉลี่ยของระยะเวลาประกอบและค่าเผื่อของแบบจำลองปัญหาทั้ง 3 แบบ

Replicate ที่	แบบที่ 1		แบบที่ 2		แบบที่ 3	
	ขนาดเฉลี่ย (นิ้ว)	ค่าเผื่อ ($\pm 3\sigma$) (นิ้ว)	ขนาดเฉลี่ย (นิ้ว)	ค่าเผื่อ ($\pm 3\sigma$) (นิ้ว)	ขนาดเฉลี่ย (นิ้ว)	ค่าเผื่อ ($\pm 3\sigma$) (นิ้ว)
1	0.01269	0.00141	0.01271	0.00186	0.01269	0.00249
2	0.01271	0.00141	0.01271	0.00183	0.01268	0.00249
3	0.01270	0.00144	0.01271	0.00183	0.01270	0.00246
4	0.01269	0.00138	0.01272	0.00180	0.01273	0.00246
5	0.01269	0.00141	0.01270	0.00183	0.01270	0.00246
6	0.01272	0.00141	0.01270	0.00183	0.01270	0.00240
7	0.01269	0.00144	0.01271	0.00177	0.01270	0.00252
8	0.01271	0.00141	0.01272	0.00183	0.01266	0.00249
9	0.01272	0.00147	0.01271	0.00183	0.01268	0.00243
10	0.01271	0.00150	0.01271	0.00189	0.01270	0.00249
เฉลี่ย	0.01270	0.00143	0.01271	0.00183	0.01269	0.00247

ตารางที่ 5.15 ผลสรุปการทำนายผลของของเสีย โดยการแทนค่าผลลัพธ์ระยะประกอบที่ได้จากกา
รันแบบจำลองปัญหาในสมการ Loss Function

Replicate ที่	ของเสียแผ่นหัวอ่านเขียนหลุด(ค่า L) : ขึ้นต่อล้านชิ้น		
	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3
1	86	146	263
2	83	141	262
3	88	142	255
4	82	138	255
5	84	141	254
6	85	144	243
7	88	134	267
8	85	141	264
9	93	141	249
10	94	152	261
เฉลี่ย	87	142	257

5.5.4 สรุปผลการวิเคราะห์ค่าเผื่อจากการออกแบบเครื่องใหม่ด้วยเทคนิควิธีต่างๆ

จากผลการวิเคราะห์ค่าเผื่อจากการออกแบบเครื่องใหม่ด้วยเทคนิควิธีต่างๆ
สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 5.16

ตารางที่ 5.16 ผลการวิเคราะห์ค่าเผื่อจากการออกแบบเครื่องมือใหม่ด้วยเทคนิควิธีต่างๆ

ระยะประกอบ	ออกแบบ	Worst Case Assembly	สถิติ		Monte Carlo Simulation		
			RSS	DRSS	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3
ขนาดเฉลี่ย : นิ้ว	0.01270	0.01270	0.01270	0.01270	0.01270	0.01271	0.01269
ค่าเผื่อ : นิ้ว	0.00294	0.00294	0.00143	0.00096	0.00143	0.00183	0.00247
ของเสีย(ค่า L) : ขึ้นต่อล้านชิ้น	< 3295	< 3295	< 780	< 351	87	142	257

จากตารางที่ 5.16 สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ค่าเผื่อจากการออกแบบเครื่องมือใหม่ด้วยเทคนิควิธีต่างๆได้ดังนี้

1. การเรียงลำดับค่าเผื่อของระยะประกอบที่ได้มาจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิธีต่างๆ ดังนี้ DRSS RSS Worst case Assembly โดยเรียงจากน้อยไปหามาก พบว่า DRSS มีค่าเผื่อที่แคบที่สุด เพราะเนื่องจาก DRSS เป็นวิธีการคิดแบบสถิติที่คำนึงถึงระยะเวลาของความสามารถในกระบวนการผลิต (Long Term Process Capacity หรือ Cpk) ซึ่งถูกเลื่อนค่าเฉลี่ยออกไป 1.5 σ ส่งผลให้ช่วงค่าเผื่อแคบกว่า RSS เป็นวิธีการคิดแบบสถิติเช่นเดียวกัน แต่ไม่คำนึงถึงระยะเวลาของความสามารถในกระบวนการผลิต (Short Term Process Capacity หรือ Cp) ส่วนวิธี Worst Case Assembly เป็นวิธีเดียวกับการออกแบบ ซึ่งคิดในเชิงป้องกัน ดังนั้นจึงมีช่วงค่าเผื่อกว้างที่สุด สำหรับวิธี Monte Carlo Simulation ผลของของเสียจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการกำหนดข้อมูลการกระจาย

2. ค่าเผื่อของระยะประกอบที่ได้จากเทคนิควิธีต่างๆ มีค่าน้อยกว่าค่าเผื่อที่ได้จากการออกแบบ ดังนั้นส่งผลให้โอกาสการเกิดของเสียแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลุดน้อยด้วยเช่นกัน ดังตารางข้างบน จากวิธีต่างๆสามารถทราบแค่ช่วงการเกิดของเสีย ตัวอย่าง วิธี RSS โอกาสเกิดของเสีย น้อยกว่า 780 ยกเว้นวิธี Monte Carlo Simulation สามารถทราบทำนายของเสียที่เกิดขึ้นได้ เพราะวิธีนี้จะแจกแจงความถี่ ณ ระยะประกอบต่างๆ

3. ทดสอบความถูกต้องของการจำลองปัญหา (Validation) จากการสร้างการจำลองปัญหาแบบที่ 1 ได้ตั้งค่าการกระจายข้อมูลของขนาดต่างๆเป็นแบบนอร์มอลทั้งหมด ซึ่งผลการรันเท่ากับวิธี RSS อย่างมาก ในการหลักการของ RSS ทุกๆขนาดเป็นการกระจายแบบนอร์มอลเหมือนกัน ดังนั้นสรุปว่าแบบจำลองปัญหามีความถูกต้องอย่างแน่นอน

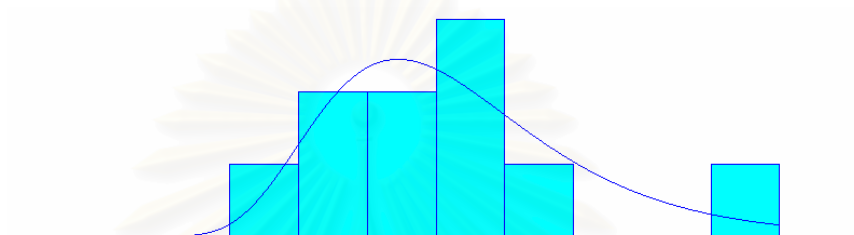
4. ผลของเสียที่มีความแตกต่างกันในแบบจำลองปัญหาแต่ละแบบ ในการสร้างแบบจำลองปัญหาในแต่ละแบบ จะมีการกระจายข้อมูลของขนาด a b c d และ d ไม่เหมือนกัน ซึ่งผลแสดงให้เห็นว่ากระจายข้อมูลจะมีผลต่อของเสียเป็นอย่างมาก ดังนั้นในความเป็นจริง การกระจายของข้อมูล (Distribution) ของขนาดต่างๆจะไม่เป็นการกระจายแบบนอร์มอล รวมถึงขนาดเฉลี่ยจะไม่เท่ากับขนาดกำหนด (Nominal) ที่ได้จากการออกแบบ ส่งผลให้ของเสียมากกว่าการวิเคราะห์ในข้างต้น

จากการวิเคราะห์ค่าเผื่อโดยเทคนิควิธีต่างๆ สามารถแน่ใจได้ว่าเมื่อนำค่าเผื่อและขนาดที่ถูกจัดสรรแล้วไปสั่งทำเครื่องมือใหม่ จะทำให้ผลผลิตของเสียน้อยกว่าระดับที่ยอมรับได้อย่างแน่นอน

5.6 ผลการสร้างแบบจำลองปัญหาเลียนแบบงานจริง

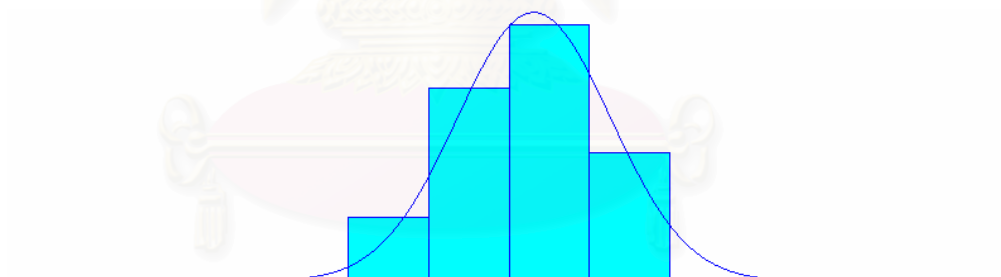
5.6.1 ผลการกระจายข้อมูลของขนาดต่างๆ

5.6.1.1 การกระจายข้อมูลของขนาด a



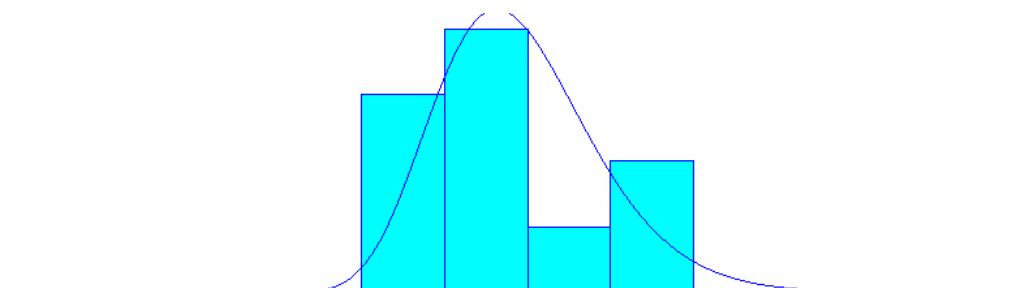
รูปที่ 5.12 แสดงการกระจายข้อมูลของขนาด a

5.6.1.2 การกระจายข้อมูลของขนาด b



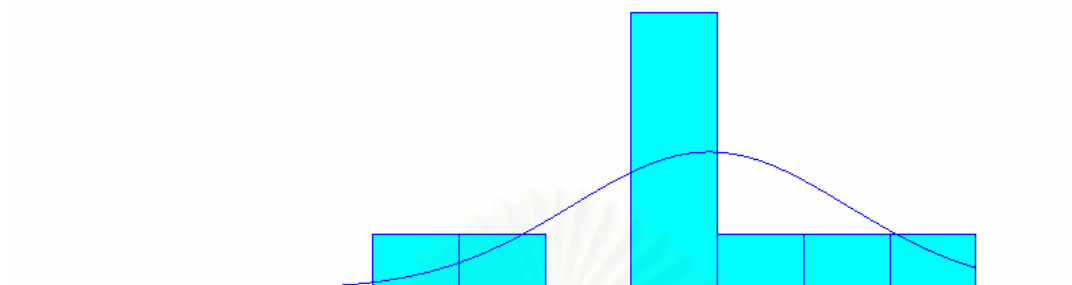
รูปที่ 5.13 แสดงการกระจายข้อมูลของขนาด b

5.6.1.3 การกระจายข้อมูลของขนาด c



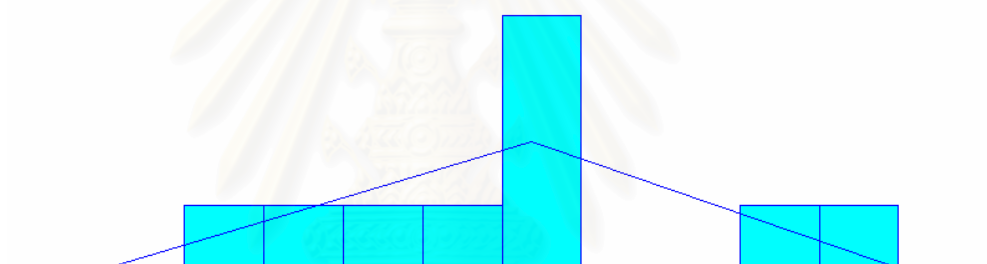
รูปที่ 5.14 แสดงการกระจายข้อมูลของขนาด c

5.6.1.4 การกระจายข้อมูลของขนาด d



รูปที่ 5.15 แสดงการกระจายข้อมูลของขนาด d

5.6.1.5 การกระจายข้อมูลของขนาด e



รูปที่ 5.16 แสดงการกระจายข้อมูลของขนาด e

ตารางที่ 5.17 ผลการกระจายข้อมูลของขนาด a b c d และ e

ขนาด	การกระจายข้อมูล Distribution	จำนวนตัวอย่าง (n)	ค่าเฉลี่ย Mean	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (σ)	KS Test P-Value
a	Lognormal	10	0.56311	0.000038	>0.15
b	Normal	10	0.54941	0.000040	>0.15
c	Lognormal	10	0.12515	0.000031	>0.15
d	Normal	10	0.12423	0.000422	>0.15
e	triangular	10	0.00092	0.000432	>0.15

5.6.2 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองปัญหาเลียนแบบงานจริง

จากผลการวิเคราะห์แบบจำลองปัญหาเลียนแบบงานจริงดังแสดงตารางที่ 5.18

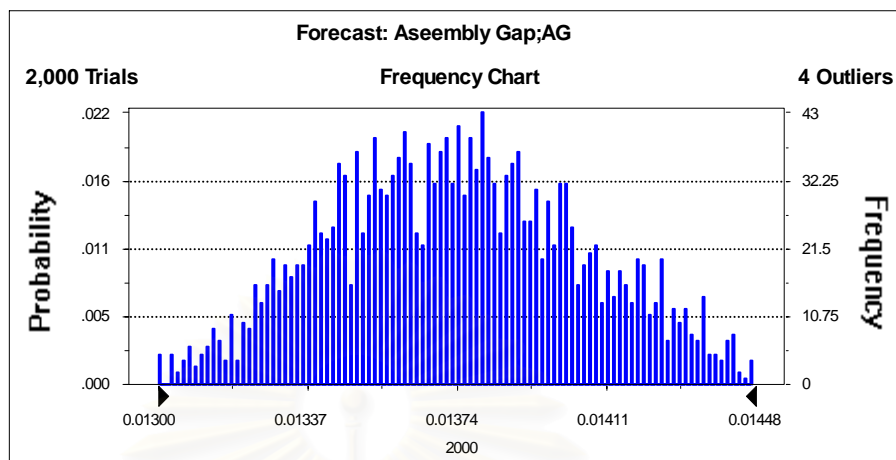
ตารางที่ 5.18 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองปัญหาเลียนแบบงานจริง

ขนาด Dimension	ขนาดเฉลี่ย Mean	ค่าเผื่อ Tolerance	1 Std.Dev.	ขีดจำกัดบน UCL	ขีดจำกัดล่าง LCL	การกระจาย Distribution
a	+ 0.56311	± 0.00011	± 0.000038	0.56322	0.56300	Log Normal
b	- 0.54941	± 0.00012	± 0.000040	0.54953	0.54929	Normal
c	- 0.12515	± 0.00009	± 0.000031	0.12524	0.12506	Log Normal
d	+ 0.12423	± 0.00127	± 0.000422	0.12550	0.12296	Normal
e	+ 0.00092	± 0.00130	± 0.000432	0.00222	-0.00038	Triangle
AG	+ 0.01370					

จากตารางที่ 5.19 พบว่าผลจากการวัดขนาดจากงานจริงสามารถทราบค่าขนาดเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(1Std.Dev.) การกระจายข้อมูล จากนั้นทำการคำนวณเพื่อที่จะหาระยะประกอบเฉลี่ย ค่าเผื่อ ขีดจำกัดบนและล่าง บน MS Excel

5.6.3 ผลการรันแบบจำลองปัญหาเลียนแบบงานจริง

การการรันแบบจำลองปัญหาค่าเผื่อจากการวัดขนาดจริงของเครื่องจะรันทั้งหมด 15 ครั้ง(15 Replicate) เป็นอย่างน้อย เพื่อที่จะดูความแตกต่างของข้อมูลที่ได้มา หลังจากนั้นผู้วิจัยสามารถทราบระยะประกอบเฉลี่ย(Average Assembly Gap, Ave.AG.) ค่าเผื่อ ($\pm 3\sigma$) ความถี่ในการทำนายในช่วงระยะประกอบต่างๆ และการกระจายของข้อมูล ซึ่งข้อมูลที่กล่าวมานี้ สามารถคำนวณของเสียผ่านหัวอ่านเขียนหลอดโดยสมการ Loss Function หรือ ค่า L ได้ดังนี้



รูปที่ 5.17 แสดงความถี่ในการทำนายในช่วงระยะประกอบต่างๆและการกระจายข้อมูลของการจำลองปัญหาเลียนแบบงานจริง Replicate ที่ 1

จากรูปที่ 5.17 พบว่าผลการกระจายความถี่การกระจายข้อมูลและความน่าจะเป็นของโอกาสที่เกิดช่วงระยะประกอบต่างๆของ แบบจำลองปัญหาเลียนแบบงานจริง Replicate 1 โดยแสดงผลในรูปของกราฟฮิสโตแกรม ผลการแบบจำลองปัญหา Replicate ที่ 2-15 แสดงที่ภาคผนวก ข

5.6.4 สรุปผลการรันแบบจำลองปัญหาเลียนแบบงานจริง

จากผลการรันแบบจำลองปัญหาเลียนแบบงานจริง สามารถสรุปผลของค่าเฉลี่ยระยะประกอบ และค่าเผื่อประกอบ($\pm 3\sigma$) ซึ่งค่าเผื่อประกอบได้มาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคูณด้วยสาม ดังแสดงตารางที่ 5.19

จากนั้นนำผลการรันแบบจำลองปัญหาเลียนแบบงานจริงที่แสดงการทำนายโอกาสความถี่ของจำนวนวันที่เกิดขึ้น ณ ระยะประกอบต่างๆ ซึ่งสามารถแทนค่าในสมการค่า L ($L = 3.812 \times 10^8 (y - 0.01270)^2$) เมื่อ y เท่ากับ ระยะประกอบต่างๆ) ดังแสดงตารางที่ 5.19

ตารางที่ 5.19 ผลสรุปค่าเฉลี่ยของระยะประกอบและค่าเผื่อของแบบจำลองปัญหาเลียนแบบงานจริง

Replicate ที่	ขนาดเฉลี่ย (นิ้ว)	ค่าเผื่อ ($\pm 3\sigma$) (นิ้ว)	ของเสีย (ค่า L) (ขึ้นต่อล้านชิ้น)
1	0.01374	0.00090	444
2	0.01373	0.00090	436
3	0.01373	0.00093	438
4	0.01373	0.00090	442
5	0.01374	0.00093	446
6	0.01376	0.00093	464
7	0.01375	0.00093	460
8	0.01374	0.00093	451
9	0.01373	0.00093	444
10	0.01375	0.00093	452
11	0.01374	0.00093	449
12	0.01373	0.00093	439
13	0.01374	0.00093	451
14	0.01373	0.00093	441
15	0.01372	0.00093	434
เฉลี่ย	0.01374	0.00092	446

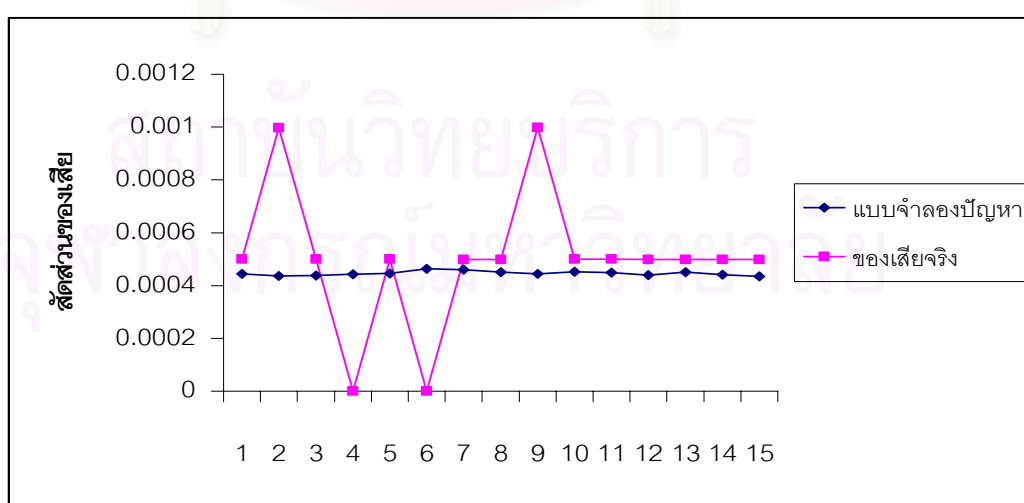
5.6.5 สรุปผลของของเสียที่ได้จากแบบจำลองปัญหาเลียนแบบงานจริงกับของเสียที่ได้ปฏิบัติงานจริง

เก็บข้อมูลของของเสียแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลุดที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติงานจริง ซึ่งได้มาจากการนำชุดเครื่องมือใหม่ไปประกอบแผ่นหัวอ่าน-เขียน มีจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 15 ล็อตๆ ละ ประมาณ 2000 ชิ้น สามารถแสดงดังตารางที่ 5.20 และเปรียบเทียบผลแบบจำลองปัญหาเลียนแบบงานจริงกับผลของเสียที่ได้จากปฏิบัติงานจริง ดังแสดงในรูปที่ 5.18

จากตารางที่ 5.20 พบว่าของเสียเฉลี่ยแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลุด ณ ปฏิบัติงานจริง ที่ได้จากการออกแบบเครื่องมือใหม่ที่มีระยะประกอบที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 499 ขึ้นต่อล้านชิ้น จำนวน 15 ล็อต เมื่อนำมาเปรียบเทียบผลของการรันแบบจำลองปัญหาจำนวน 15 replicate ที่มีค่าของเสีย(ค่า L) เฉลี่ย เท่ากับ 446 ขึ้นต่อล้านชิ้น

ตารางที่ 5.20 ผลของเสียแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลุดที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติงานจริง

ล็อตที่	จำนวน ตัวอย่าง (n)	จำนวน ของเสีย (np)	สัดส่วน ของเสีย (p)	ของเสีย (ขึ้นต่อล้านชิ้น)
1	2002	1	0.0005	500
2	2005	2	0.0010	998
3	2000	1	0.0005	500
4	2010	0	0.0000	0
5	2001	1	0.0005	500
6	2000	0	0.0000	0
7	2004	1	0.0005	499
8	2007	1	0.0005	498
9	2004	2	0.0010	998
10	2000	1	0.0005	500
11	2002	1	0.0005	500
12	2009	1	0.0005	498
13	2005	1	0.0005	499
14	2007	1	0.0005	498
15	2004	1	0.0005	499
รวม	30060	15	0.0005	499



รูปที่ 5.18 กราฟสัดส่วนของเสียเปรียบเทียบแบบจำลองปัญหาเสียนงานจริงกับการปฏิบัติงานจริง

หลังจากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ ANOVA ด้วยโปรแกรม Minitab 13 เพื่อวิเคราะห์ว่าทั้ง 2 กลุ่มแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือไม่ แสดงดังนี้

One-way ANOVA: Simulation, Actual

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	0.0000000	0.0000000	0.59	0.448
Error	28	0.0000010	0.0000000		
Total	29	0.0000010			

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev					
Level	N	Mean	StDev		
Simulati	15	4.46E-04	8.54E-06	(- - - - - * - - - - -)	
Actual	15	4.99E-04	2.67E-04	(- - - - - * - - - - -)	

Pooled StDev = 1.89E-04 0.000350 0.000420 0.000490 0.000560

จากผลข้างต้นค่า P-Value เท่ากับ 0.448 ซึ่งมากกว่า เลขนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงว่าแบบจำลองปัญหาที่จัดทำขึ้นมาสามารถแทนการปฏิบัติงานจริงได้

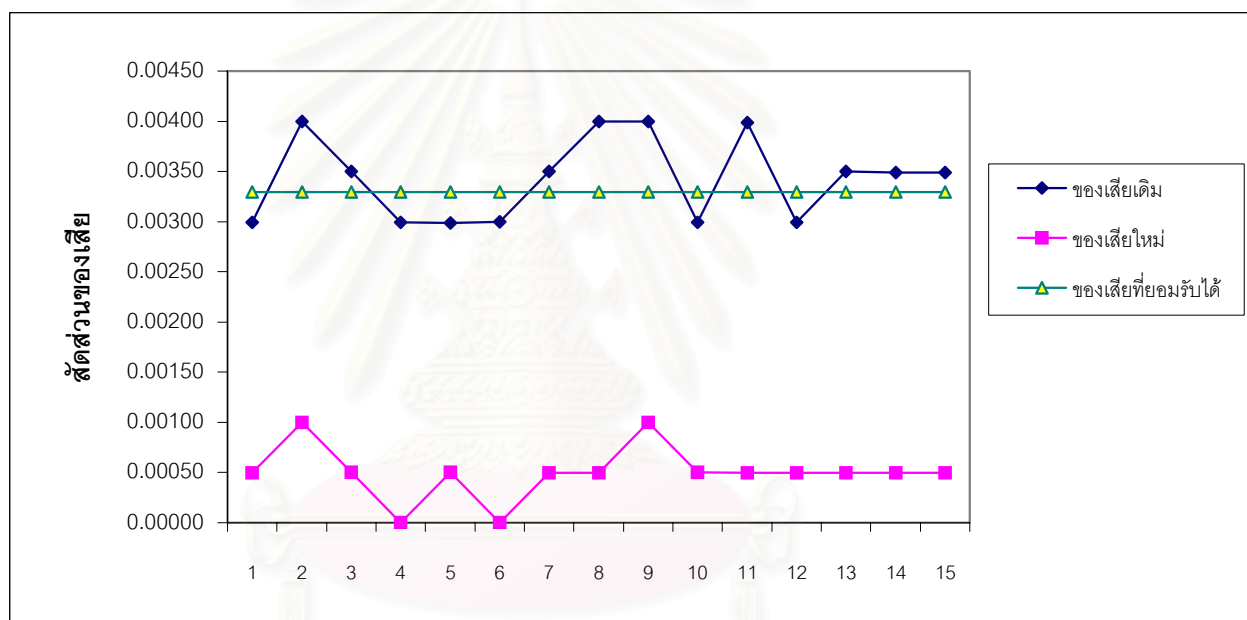
5.7 ผลการเปรียบเทียบของเสียที่ได้จากเครื่องมือใหม่

ผลของของเสียใหม่ที่ได้มาจากเครื่องมือใหม่ที่ถูกจัดสรรแล้ว ดังตารางที่ 5.21

ตารางที่ 5.21 ผลการเปรียบเทียบของเสียเดิมกับของเสียใหม่

ขนาด	ออกแบบเครื่องมือเดิม		ออกแบบเครื่องมือใหม่	
	ขนาดกลาง (นิ้ว)	ค่าเผื่อ (นิ้ว)	ขนาดกลาง (นิ้ว)	ค่าเผื่อ (นิ้ว)
A	0.5600	0.0005	0.5627	0.0005
B	0.5500	0.0010	0.5500	0.00064
C	0.2503	0.0003	0.2503	0.0003
D	0.2485	0.0015	0.2485	0.0015
ระยะประกอบ	0.0100	0.0033	0.0127	0.00294
ของเสีย (ชิ้นต่อลำชิ้น)	3427		499	

จากตารางที่ 5.21 พบว่าในการออกแบบเครื่องมือใหม่ของเครื่องมือเชื่อมติด(Bonding Tool) และชุดเครื่องมือช่วยเชื่อมติด(Bonding Fixture) ที่มีระยะประกอบที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 0.01270 นิ้ว ค่าเผื่อเท่ากับ 0.00294 นิ้ว ซึ่งสามารถจัดสรรค่าเผื่อของขนาดของเครื่องมือได้ ต่อมาเมื่อนำไปผลิตงานในการกระบวนการเชื่อมติด ผลของเสียแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลุดเท่ากับ 499 ชิ้นต่อล้านชิ้น และเปรียบเทียบกับผลของเสียเดิมเท่ากับ 3427 ชิ้นต่อล้านชิ้น สามารถลดของเสียได้ $((3427 - 499) \times 100) / 3427$ เท่ากับ 81.93 เปอร์เซ็นต์ ผลการเปรียบเทียบของเสียเดิมกับของเสียใหม่และระดับของเสียที่ยอมรับได้ ดังแสดงในรูปที่ 5.19



รูปที่ 5.19 กราฟสัดส่วนของเสียแสดงผลการเปรียบเทียบของเสียเดิมกับของเสียใหม่และระดับของเสียที่ยอมรับได้

บทที่ 6

บทวิจารณ์และสรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์ในการจัดสรรค่าเผื่อและขนาดที่เหมาะสมที่สุด ในการออกแบบเครื่องมือของกระบวนการเชื่อมติด อยู่ในระดับของเสียแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลอดที่ยอมรับได้ ซึ่งเป็นผลทำให้สามารถลดของเสียแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลอด และวัตถุประสงค์ต่อมา คือ เป็นข้อมูลพื้นฐาน ในการออกแบบเครื่องมือของกระบวนการเชื่อมติด สำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ได้

6.1 บทวิจารณ์

จากผลการวิจัยในครั้งนี้ อาจมีผลการวิจัยบางส่วนที่ตรงและไม่ตรงกับแนวคิดและทฤษฎี ซึ่งเป็นผลมาจากสาเหตุต่างๆ ดังนี้

6.1.1 ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของของเสียหัวแผ่นอ่าน-เขียนหลอด จากแผนภาพเหตุและผล ซึ่งได้มาจากการระดมความคิดของแต่ละส่วนงานในโรงงานตัวอย่าง ถือว่าเป็นข้อมูลที่เป็นลักษณะนามธรรม ซึ่งอาจจะเกิดข้อผิดพลาดขึ้นได้ เนื่องจากมีปัจจัยอื่นที่เป็นสาเหตุแต่ไม่ได้ทำการควบคุม ดังนั้นปัจจัยค่าเผื่ออาจไม่ได้เป็นตัวแปรเพียงตัวเดียวในการหาระยะประกอบที่เหมาะสม

6.1.2 จากการหาระยะประกอบที่เหมาะสม สามารถสร้างสมการ Loss Function ซึ่งเส้นกราฟที่ได้จากสมการกับการทดลองระยะประกอบ มีลักษณะใกล้เคียงกันมาก ดังแสดงในรูปที่ 5.6 อันเนื่องมาจากการแบ่งช่วงการทดลองระยะประกอบที่ละ 10 เปอร์เซ็นต์ และจำนวนตัวอย่างต่อหนึ่งระยะประกอบมีปริมาณมากพอสมควร ทำให้ลักษณะเส้นกราฟจากการทดลองจึงเป็นเส้นโค้งหงายเช่นเดียวกับสมการ Loss Function

6.1.3 เครื่องมือใหม่ที่นำมาใช้ในการปฏิบัติงานจริง ซึ่งถูกจัดสรรค่าเผื่อ และขนาดแล้ว มีจำนวนเพียง 10 ชุด ถือว่าเป็นจำนวนที่ค่อนข้างน้อย เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านค่าใช้จ่ายในการสั่งทำ ทำให้ผลของของเสียที่ได้อาจจะไม่ตรงกับความเป็นจริง เมื่อทำการผลิตปริมาณมาก (Mass Production) เพราะการกระจายข้อมูลของขนาดต่างๆ และค่าเฉลี่ยอย่างไม่เป็นที่แน่นอน

6.1.4 ผลของของเสียที่ได้จากแบบจำลองปัญหาเลียนแบบงานจริงมากกว่าผลของของเสียที่ได้มาจากการวิเคราะห์แบบจำลองปัญหาค่าเผื่อทั้ง 3 แบบ ก่อนการสั่งทำเครื่องมือใหม่ อันเนื่องมาจากข้อมูลขนาดเฉลี่ยของแบบจำลองปัญหาเลียนแบบงานจริง เมื่อนำไปคิดระยะประกอบแล้ว ระยะประกอบเฉลี่ยที่ได้มากกว่าระยะประกอบกลางของการออกแบบเครื่องมือซึ่งนำไปวิเคราะห์แบบจำลองปัญหาค่าเผื่อ

6.1.5 ผลของของเสียที่ได้จากเครื่องมือใหม่ พบว่าล็อตที่ 1-9 มีความแปรปรวน อันเนื่องมาจากพนักงานประกอบยังไม่คุ้นเคยกับเครื่องมือใหม่ ทำให้ระยะประกอบไม่คงที่ ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองปัญหาเลียนแบบงานจริง พบว่าแบบจำลองปัญหามีความแปรปรวนน้อยกว่าการปฏิบัติงานจริง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.18

6.1.6 จำนวนตัวอย่างในการทดลองโดยใช้เครื่องมือใหม่ที่ถูกจัดสรรค่าเผื่อและขนาดแล้วมีปริมาณน้อย เพียง 15 ล็อตๆ ละ 2,000 ชิ้นเท่านั้น อันเนื่องมาจากระยะเวลาในการวิจัยมีจำกัด และทำการทดลองเพียงสายการผลิตเดียว ดังนั้นหากทำการทดลองโดยใช้จำนวนตัวอย่างในปริมาณที่มากกว่านี้ จะทำให้ผลการทดลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

6.1.7 งานวิจัยนี้ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ค่าเผื่อที่ได้จากการวัดขนาดเครื่องใหม่ เพราะว่าจำนวนเครื่องมือมีเพียง 10 ชุด ซึ่งผลการกระจายข้อมูลไม่ได้เป็นแบบนอร์มอลทั้งหมด จึงไม่สามารถวิเคราะห์โดยเทคนิควิธีทางสถิติได้ เนื่องจากวิธี RSS และ DRSS การกระจายข้อมูลของขนาดต่างๆ จะต้องเป็นแบบนอร์มอล

6.1.8 งานวิจัยนี้ได้เก็บข้อมูลของของเสียแผ่นหัวอ่านเขียนหลอดเริ่มต้นช่วงเดือน พ.ย.-ธ.ค. 2544 พบว่ามีของเสีย 6590 ชิ้นต่อล้านชิ้น ต่อมาได้ทำการควบคุมปัจจัยอื่นๆ ให้คงที่ พบว่ามีของเสีย 3427 ชิ้นต่อล้านชิ้น เนื่องจากตัวแปรหลักที่เป็นสาเหตุของของเสียอันได้แก่ ความหนาแผ่นหัวอ่านเขียน ความหนาแผ่นกาวความยืดหยุ่นกาวถูกควบคุมให้อยู่ในขีดจำกัดก่อนทำการผลิตดังนี้

1. ความหนาแผ่นหัวอ่านเขียน อยู่ในขีดจำกัดควบคุม 0.01197 ± 0.00051 นิ้ว
2. ความหนาแผ่นกาว อยู่ในขีดจำกัดควบคุม 0.00457 ± 0.00060 นิ้ว
3. ความยืดหยุ่นกาว อยู่ในขีดจำกัดควบคุม 5900 ± 500 PSI

6.1.9 ในกรณีการพยากรณ์ของเสียที่เกิดขึ้นโดยใช้วิธีแบบจำลองปัญหาเทียบกับการปฏิบัติงานจริง มีค่าแตกต่างกัน เนื่องจากการปฏิบัติงานจริงมีปัจจัยการผลิตอื่น ๆ ที่อยู่ในสภาวะแปรเปลี่ยน (Transient) เช่น ความหนาแน่นของอากาศ เป็นต้น ดังนั้นต้องคัดข้อมูลช่วงของสภาวะแปรเปลี่ยนออกไป เลือกผลของของเสียที่อยู่ในสภาวะคงตัว (Steady State) มาพิจารณาเทียบกับแบบจำลองปัญหา ต่อมาทำการปรับเปลี่ยนสมการ Loss Function ให้ใกล้เคียงกับปฏิบัติงานจริง

6.2 สรุปผลโครงการวิจัย

6.2.1 ในการจัดสรรค่าเผื่อและขนาดสำหรับการออกแบบเครื่องมือในกระบวนการเชื่อมติด โดยเริ่มจากการทดลองระยะประกอบต่างๆจากการปฏิบัติการจริง ซึ่งสามารถหาระยะประกอบที่เหมาะสมที่สุด โดยมีผลของของเสียใหม่ที่ได้เท่ากับ 499 ชิ้นต่อล้านชิ้น ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจากเป็นระดับของเสียที่ต่ำกว่า ระดับของเสียที่ยอมรับได้ที่ 3,295 ชิ้นต่อล้านชิ้น

6.2.2 จากการทดลองการจัดสรรค่าเผื่อและขนาดสำหรับการออกแบบเครื่องมือในกระบวนการเชื่อมติด ภายใต้ปัจจัยค่าเผื่อที่ได้นำมาควบคุม พบว่าผลของเสียแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลุดที่เกิดขึ้นจากเครื่องมือใหม่ ลดจากของเสียเดิมคิดเป็นร้อยละ 81.93

6.2.3 ผลของของเสียที่ได้จากแบบจำลองปัญหาเลียนแบบงานจริง เปรียบเทียบกับผลของเสียที่ได้จากการปฏิบัติงานจริง พบว่าค่า P-value เท่ากับ 0.448 ซึ่งมากกว่าเลขนัยสำคัญที่ 0.05 แสดงว่าแบบจำลองปัญหาที่จัดทำขึ้นมาสามารถแทนการปฏิบัติงานจริงได้

6.2.4 เมื่อมีผลิตภัณฑ์ใหม่เข้ามาที่มีความหนาแตกต่างไปจากเดิม สามารถนำสมการดังกล่าวมาปรับเปลี่ยนเพื่อหาระยะประกอบใหม่และจัดสรรค่าเผื่อและขนาดของเครื่องมือใหม่ได้อีกทั้งสามารถใช้แบบจำลองปัญหาที่ถูกสร้างขึ้นโดยใช้โปรแกรมช่วยคอมพิวเตอร์ Crystal Ball ด้วยวิธี Monte Carlo Simulation ในการทำนายผลของของเสียที่เกิดขึ้นที่ได้มาจากสมการค่า L (Loss Function) ได้

6.3 ข้อเสนอแนะ

6.3.1 ของเสียแผ่นหัวอ่าน-เขียนหลุดที่เกินกว่าระดับที่ยอมรับได้เกิดขึ้นมาจากปัจจัยค่าเผื่อของเครื่องมือที่มีระยะประกอบที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นในการปฏิบัติการผลิตจริง ควรจะมีการตรวจสอบระยะประกอบของเครื่องมือก่อนทำการเชื่อมติดในกระบวนการเชื่อมติด

6.3.2 ในระบบกระบวนการเชื่อมติดจริง จะมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับของเสียแผ่นหัวอ่าน-เขียน นอกเหนือไปจากปัจจัยค่าเผื่อที่เป็นปัจจัยหลัก ซึ่งปัจจัยต่างๆไม่ว่าจะเป็นปัจจัยความยืดหยุ่นของกาว อุณหภูมิและเวลาในการเชื่อมติด เป็นต้น เป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ ดังนั้นต้องทำการควบคุมปัจจัยดังกล่าวให้คงที่ตลอด

6.3.3 วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เน้นการจัดสรรค่าเผื่อและขนาดของเครื่องมือ ซึ่งข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลทางสถิติและเปรียบเทียบผลกับการปฏิบัติจริงที่มีค่าใกล้เคียงกันมาก เมื่อนำไปประยุกต์ใช้จริงแล้วควรทำโปรแกรมขึ้นมาเพื่อสะดวกและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

6.3.4 ในกรณีผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีความหนาแตกต่างไปจากเดิม สามารถออกแบบเครื่องมือใหม่ได้ โดยเริ่มหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความหนาแผ่นหัวอ่านเขียนและความหนาแผ่นกาว จากนั้นหาระยะประกอบที่เหมาะสมที่มีระดับของของเสียที่ยอมรับได้ ทำการจัดสรรค่าเผื่อและขนาดของเครื่องมือใหม่ หลังจากนั้นสามารถพยากรณ์ของของเสียที่เกิดขึ้นโดยอาศัยแบบจำลองปัญหาที่เตรียมไว้แล้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ทรงพล พิเศษสู่วัฒนา. การประยุกต์การออกแบบการทดลองในการปรับปรุงคุณภาพของแรงดึงของหัวอ่านเขียนข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

รณชัย ศิโรเวฐนุกุล. การจัดสรรค่าเผื่อที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการประกอบชิ้นส่วนประกอบเพลลาและเครื่องสูบน้ำมันรถยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

ภาษาอังกฤษ

C.M. Creveling. Tolerance Design A Handbook for Developing Optimal Specifications. : Addison Wesley Longman, Inc, 1997

Frederick E. Giesecke. Technical Drawing. 8th edition. : Macmillan Publishing Company, 1987

Paul Drake, JR. Dimensioning and Tolerancing Handbook. : McGraw-Hill Company, 1999

Phillip J. Ross. Taguchi Techniques for Quality Engineering. 2nd edition. : McGraw-Hill Company, 1996

Douglas C. Montgomery. Design and Analysis of Experiments. 4th edition. : John Wiley & Sons, Inc, 2001



ภาคผนวก

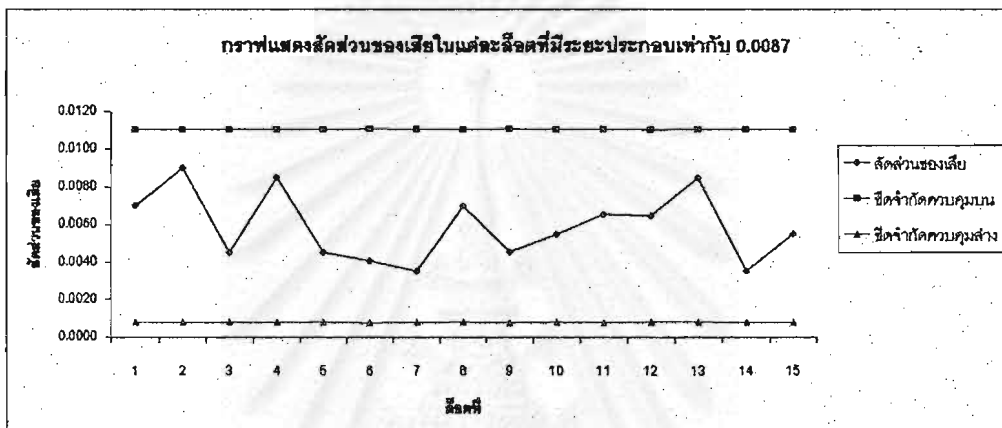
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก แสดงกราฟสัดส่วนของเสียแผ่นหัวถ่าน-เขียนหลุดที่ระยะประกอบต่างๆ

ระยะประกอบเท่ากับ 0.0087

	ล็อตที่															รวม
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
ของเสียแผ่นหัวถ่านเขียนหลุด (ชิ้น)	14	18	9	17	9	8	7	14	9	11	13	13	17	7	11	177
จำนวนชิ้นงานทั้งหมด (ชิ้น)	2003	2001	2002	2002	2005	1990	2000	2007	1985	2010	1990	2016	2004	1990	2002	30005
สัดส่วนของเสีย	0.0070	0.0090	0.0045	0.0085	0.0045	0.0040	0.0035	0.0070	0.0046	0.0055	0.0065	0.0065	0.0085	0.0036	0.0065	0.0059
ขีดจำกัดควบคุมบน	0.0110	0.0110	0.0110	0.0110	0.0110	0.0111	0.0110	0.0110	0.0111	0.0110	0.0110	0.0110	0.0110	0.0110	0.0110	
ขีดจำกัดควบคุมล่าง	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0007	0.0008	0.0008	0.0007	0.0008	0.0007	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	

จำนวนของเสียต่อชิ้นงาน (PPM) 5899

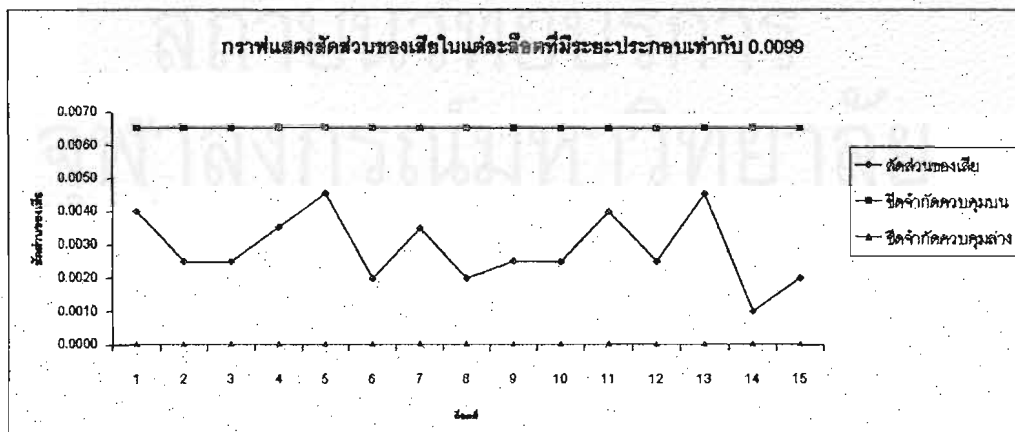


รูปแสดงกราฟสัดส่วนของเสียในแต่ละล็อตที่มีระยะประกอบเท่ากับ 0.0087

ระยะประกอบเท่ากับ 0.0099

	ล็อตที่															รวม
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
ของเสียแผ่นหัวถ่านเขียนหลุด (ชิ้น)	8	5	5	7	9	4	7	4	5	5	8	5	9	2	4	87
จำนวนชิ้นงานทั้งหมด (ชิ้น)	2005	2006	2008	1988	1985	2005	2007	2008	1995	2005	2003	2007	1990	1998	2001	30009
สัดส่วนของเสีย	0.0040	0.0025	0.0025	0.0035	0.0045	0.0020	0.0035	0.0020	0.0025	0.0025	0.0040	0.0025	0.0045	0.0010	0.0020	0.0029
ขีดจำกัดควบคุมบน	0.0065	0.0065	0.0065	0.0065	0.0065	0.0065	0.0065	0.0065	0.0065	0.0065	0.0065	0.0065	0.0065	0.0065	0.0065	
ขีดจำกัดควบคุมล่าง	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	

จำนวนของเสียต่อชิ้นงาน (PPM) 2899

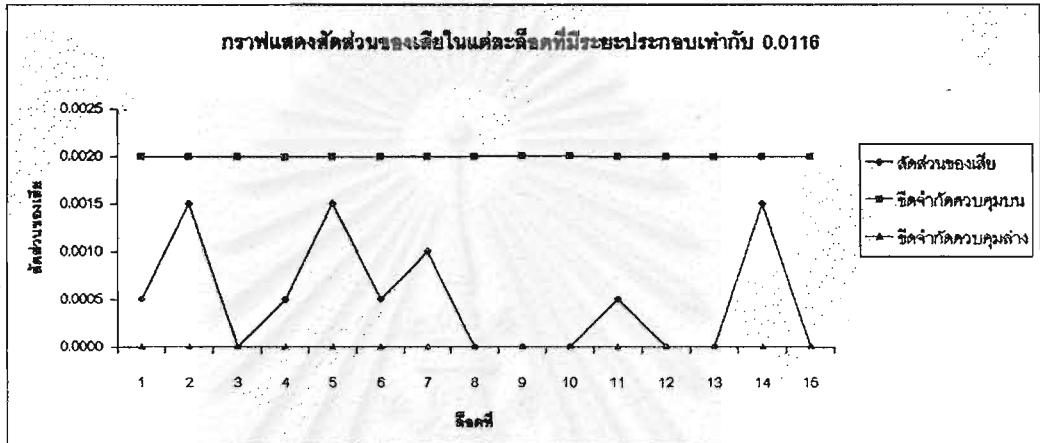


รูปแสดงกราฟสัดส่วนของเสียในแต่ละล็อตที่มีระยะประกอบเท่ากับ 0.0099

ระยะประกอบเท่ากับ 0.0116

	ลีดที่															รวม
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
ของเสียแบ่งไว้ขายเวียนหุด (ชิ้น)	1	0	0	1	3	1	2	0	0	0	1	0	0	3	0	15
จำนวนชิ้นงานทั้งหมด (ชิ้น)	2005	2002	2000	2010	2000	1995	2005	2000	1989	1985	2002	2001	2004	2004	2000	30002
สัดส่วนของเสีย	0.0005	0.0015	0.0000	0.0005	0.0015	0.0005	0.0010	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0015	0.0000	0.0005
ขีดจำกัดควบคุมบน	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	
ขีดจำกัดควบคุมล่าง	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	

จำนวนของเสียต่อชิ้น (PPM) 500

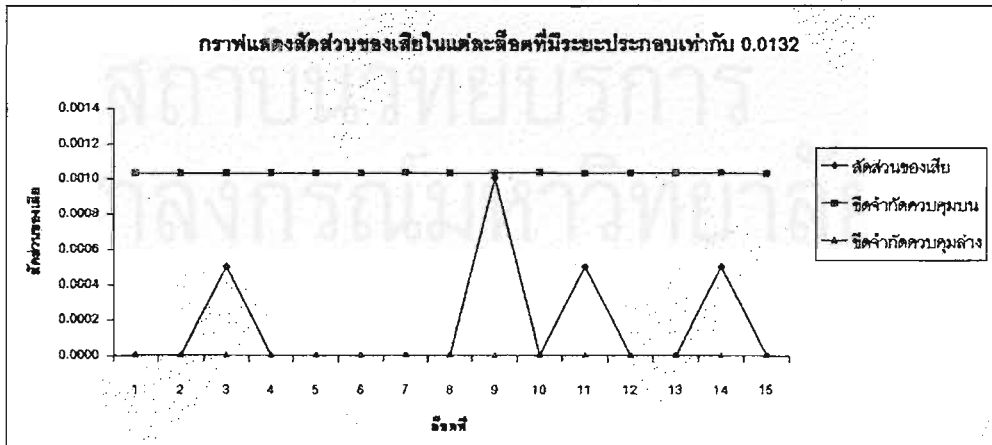


รูปแสดงกราฟสัดส่วนของเสียในแต่ละลีดที่มีระยะประกอบเท่ากับ 0.0116

ระยะประกอบเท่ากับ 0.0132

	ลีดที่															รวม
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
ของเสียแบ่งไว้ขายเวียนหุด (ชิ้น)	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	1	0	5
จำนวนชิ้นงานทั้งหมด (ชิ้น)	2000	2003	1998	2000	2005	2007	1990	2001	1989	1988	2005	2010	1997	1996	2012	30000
สัดส่วนของเสีย	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0010	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0002
ขีดจำกัดควบคุมบน	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	
ขีดจำกัดควบคุมล่าง	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	

จำนวนของเสียต่อชิ้น (PPM) 167

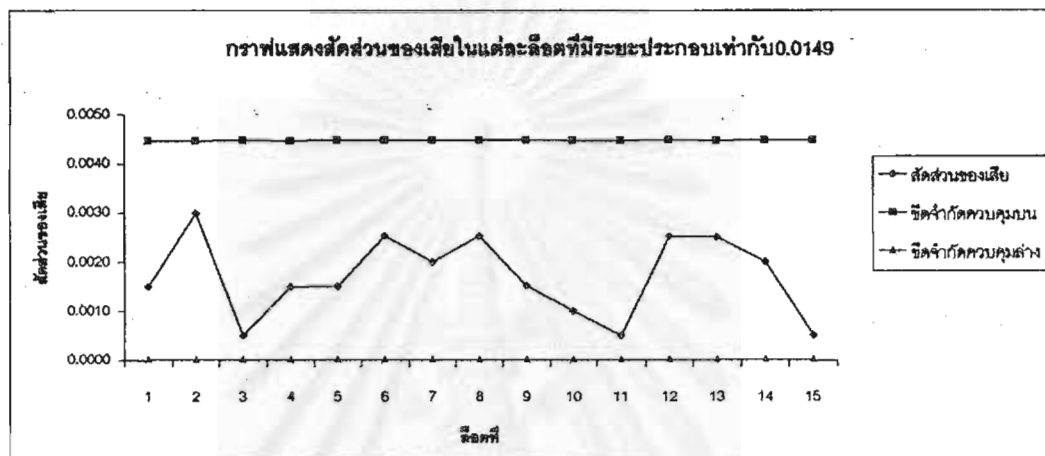


รูปแสดงกราฟสัดส่วนของเสียในแต่ละลีดที่มีระยะประกอบเท่ากับ 0.0132

ระยะประกอบเท่ากับ 0.0149

	ล็อตที่															รวม
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
ทองเสียบแผ่นหัวขานเรียนหลอด (ชิ้น)	3	6	1	3	3	5	4	5	3	2	1	5	5	4	1	51
จำนวนชิ้นงานทั้งหมด (ชิ้น)	2003	2010	2002	2006	2000	1985	2002	1985	1985	2007	2003	1996	2006	1995	2000	25983
สัดส่วนของเสีย	0.0015	0.0030	0.0005	0.0015	0.0015	0.0025	0.0020	0.0025	0.0015	0.0010	0.0005	0.0025	0.0025	0.0020	0.0005	0.0017
ขีดจำกัดความคุมบน	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	0.0045	
ขีดจำกัดความคุมล่าง	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	

จำนวนของเสียต่อล้านชิ้น (PPM) 1701

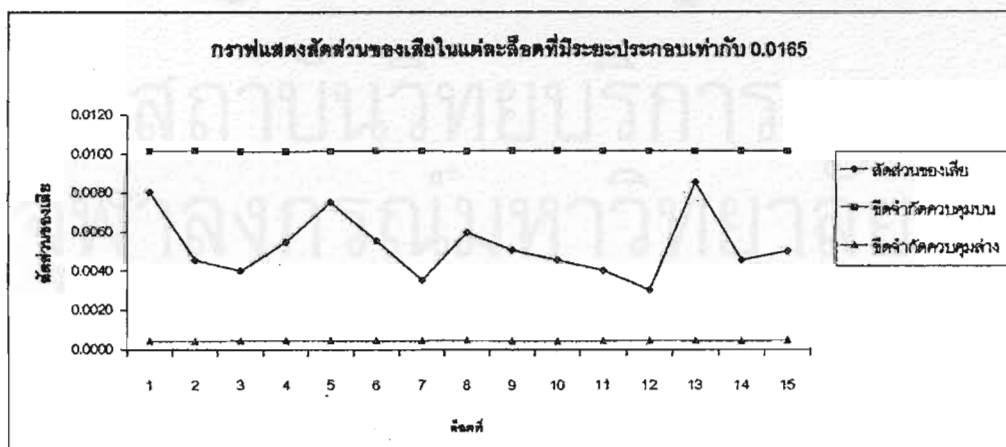


รูปแสดงกราฟสัดส่วนของเสียในแต่ละล็อตที่มีระยะประกอบเท่ากับ 0.0149

ระยะประกอบเท่ากับ 0.0165

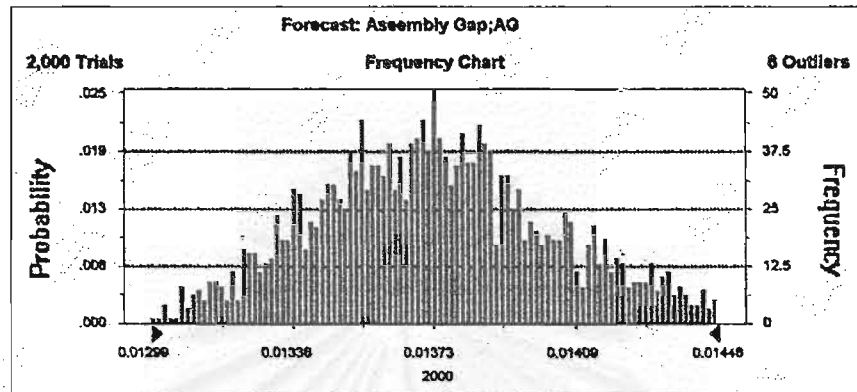
	ล็อตที่															รวม
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
ทองเสียบแผ่นหัวขานเรียนหลอด (ชิ้น)	16	9	8	11	15	11	7	12	10	9	8	6	17	9	10	158
จำนวนชิ้นงานทั้งหมด (ชิ้น)	1998	1980	2010	2015	1998	1995	2002	2021	1985	1989	2003	2004	1997	1988	2007	29990
สัดส่วนของเสีย	0.0080	0.0045	0.0040	0.0055	0.0075	0.0055	0.0035	0.0059	0.0050	0.0045	0.0040	0.0030	0.0085	0.0045	0.0050	0.0053
ขีดจำกัดความคุมบน	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	0.0101	
ขีดจำกัดความคุมล่าง	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	

จำนวนของเสียต่อล้านชิ้น (PPM) 5268

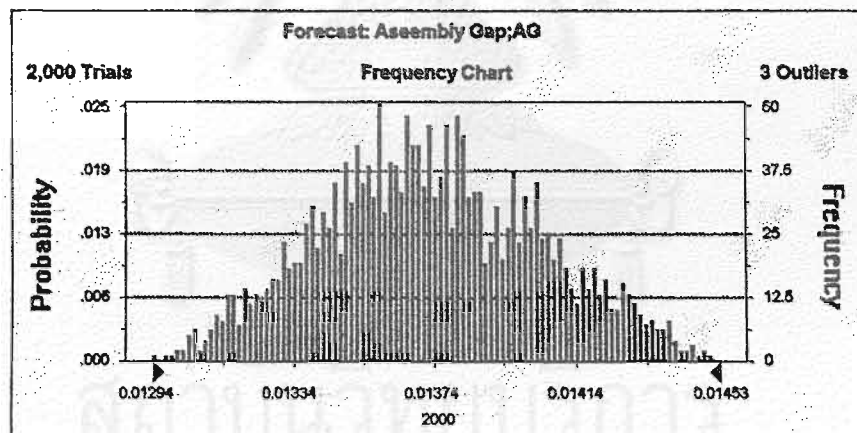


รูปแสดงกราฟสัดส่วนของเสียในแต่ละล็อตที่มีระยะประกอบเท่ากับ 0.0165

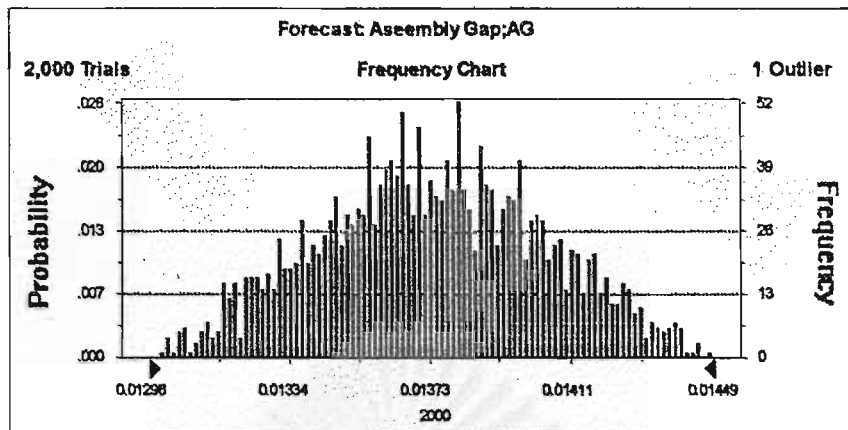
ภาคผนวก ข แสดงกราฟความถี่ในการทำนายที่ช่วงระยะประกอบต่างๆของเครื่องมือใหม่



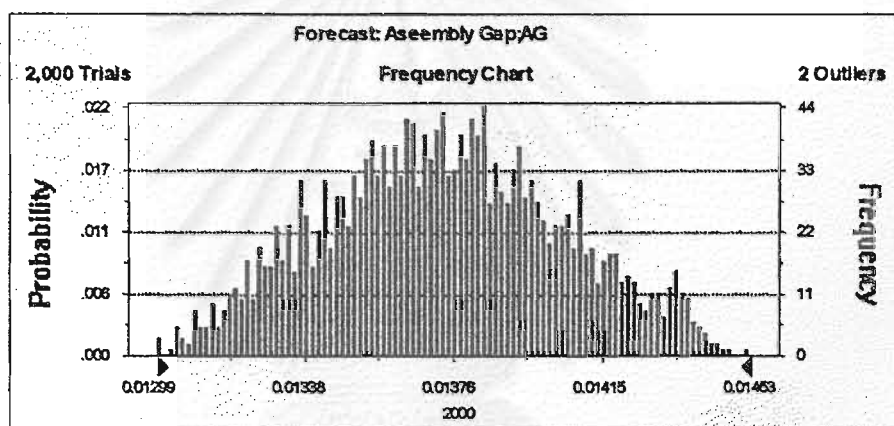
รูปแสดงความถี่ในการทำนายที่ช่วงระยะประกอบต่างๆและการกระจายข้อมูลของการจำลองปัญหาเลียนแบบงานจริง Replicate ที่ 2



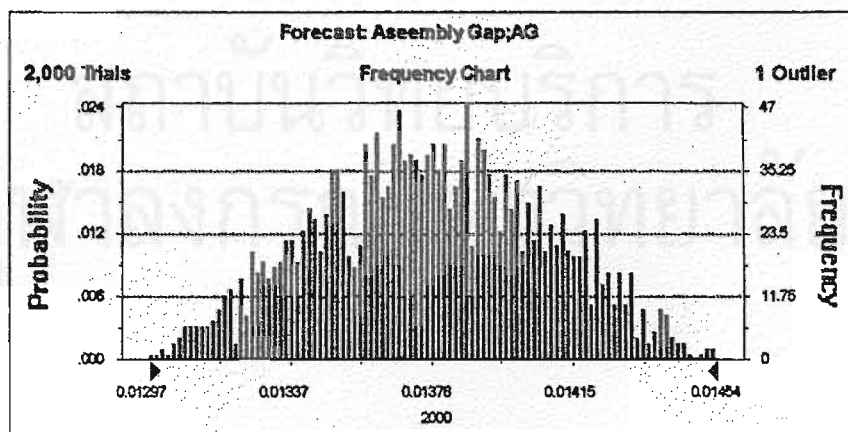
รูปแสดงความถี่ในการทำนายที่ช่วงระยะประกอบต่างๆและการกระจายข้อมูลของการจำลองปัญหาเลียนแบบงานจริง Replicate ที่ 3



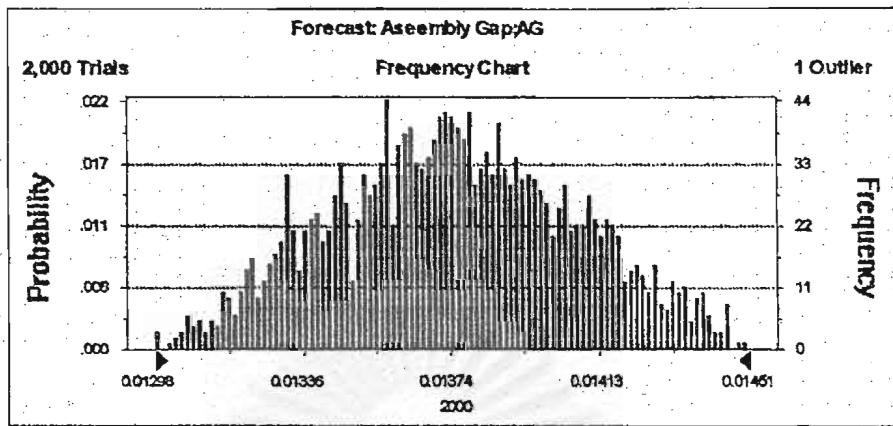
รูปแสดงความถี่ในการทำนายที่ช่วงระยะประกอบต่างๆและการกระจายข้อมูลของการจำลองปัญหา
เลียนแบบงานจริง Replicate ที่ 4



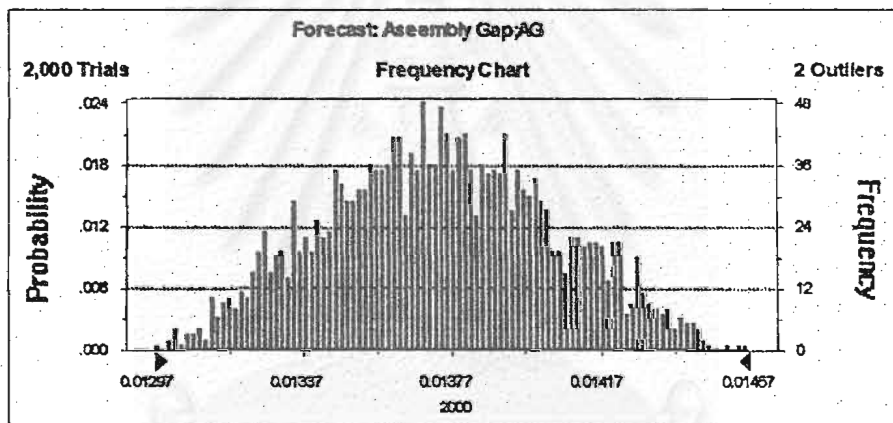
รูปแสดงความถี่ในการทำนายที่ช่วงระยะประกอบต่างๆและการกระจายข้อมูลของการจำลองปัญหา
เลียนแบบงานจริง Replicate ที่ 5



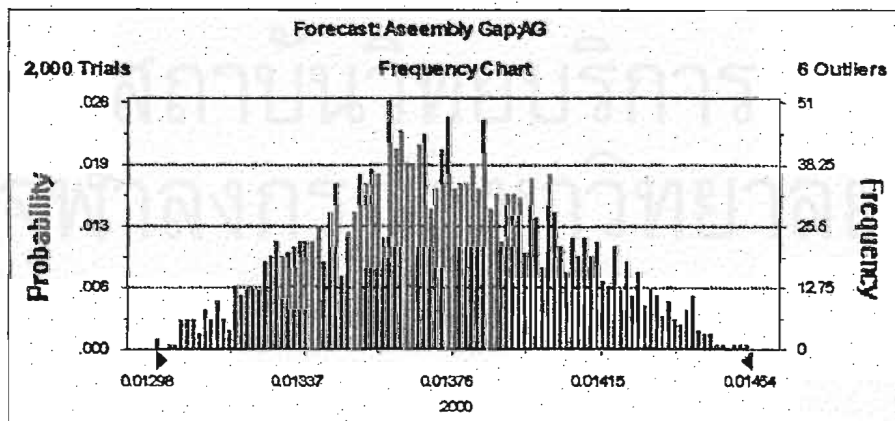
รูปแสดงความถี่ในการทำนายที่ช่วงระยะประกอบต่างๆและการกระจายข้อมูลของการจำลองปัญหา
เลียนแบบงานจริง Replicate ที่ 6



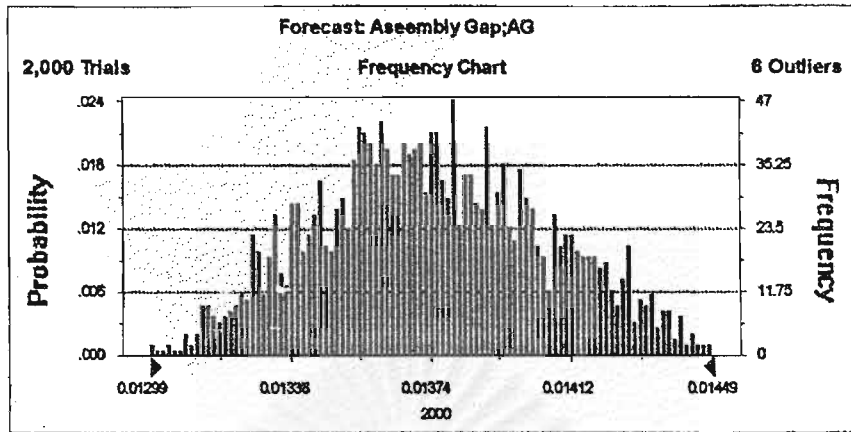
รูปแสดงความถี่ในการทำนายที่ช่วงระยะประกอบต่างๆและการกระจายข้อมูลของการจำลองปัญหา
เลียนแบบงานจริง Replicate ที่ 7



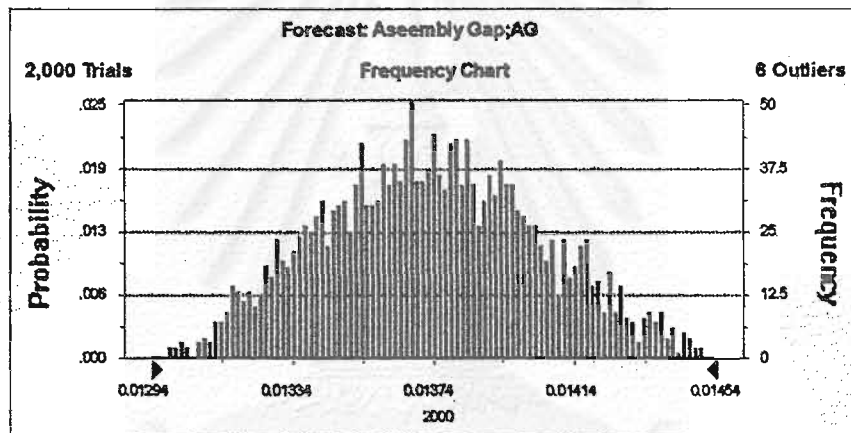
รูปแสดงความถี่ในการทำนายที่ช่วงระยะประกอบต่างๆและการกระจายข้อมูลของการจำลองปัญหา
เลียนแบบงานจริง Replicate ที่ 8



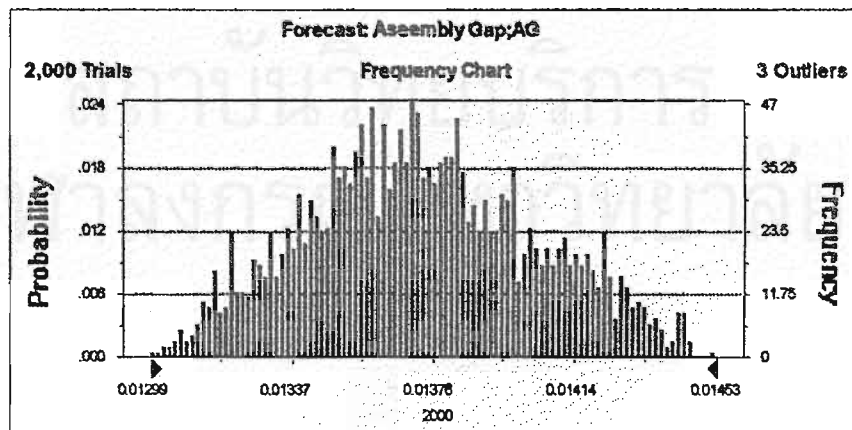
รูปแสดงความถี่ในการทำนายที่ช่วงระยะประกอบต่างๆและการกระจายข้อมูลของการจำลองปัญหา
เลียนแบบงานจริง Replicate ที่ 9



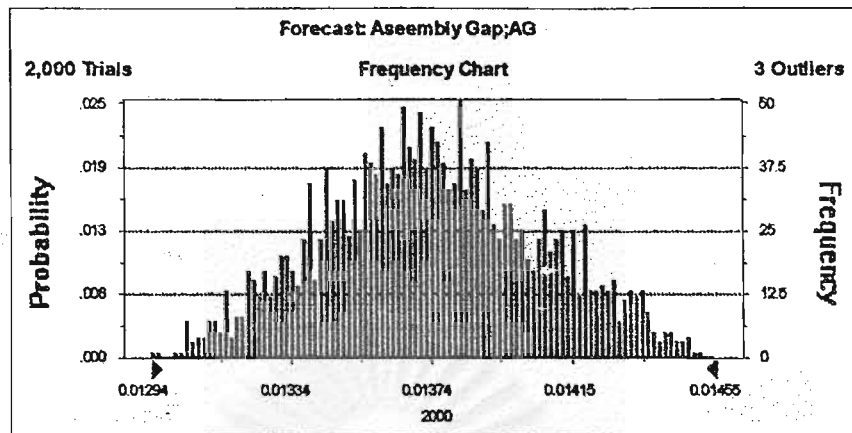
รูปแสดงความถี่ในการทำนายในช่วงระยะประกอบต่างๆและการกระจายข้อมูลของการจำลองปัญหา
เลียนแบบงานจริง Replicate ที่ 10



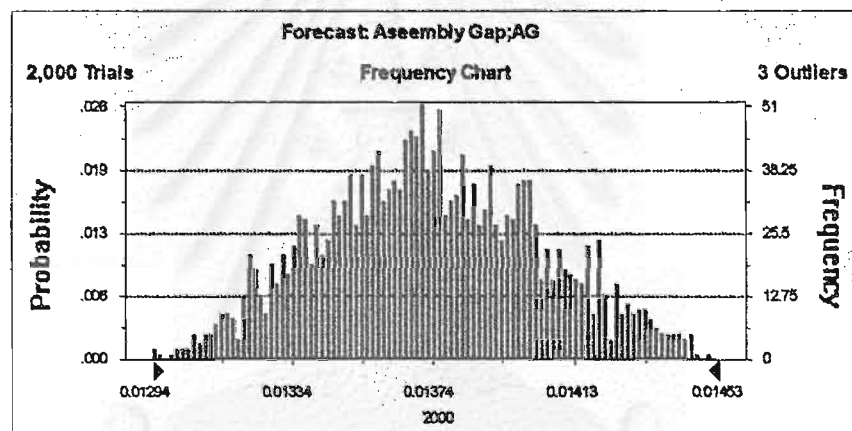
รูปแสดงความถี่ในการทำนายในช่วงระยะประกอบต่างๆและการกระจายข้อมูลของการจำลองปัญหา
เลียนแบบงานจริง Replicate ที่ 11



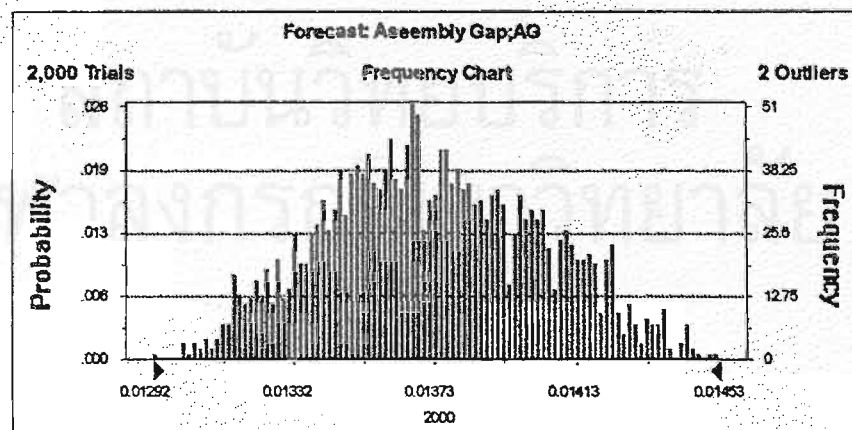
รูปแสดงความถี่ในการทำนายในช่วงระยะประกอบต่างๆและการกระจายข้อมูลของการจำลองปัญหา
เลียนแบบงานจริง Replicate ที่ 12



รูปแสดงความถี่ในการทำนายที่ช่วงระยะประกอบต่างๆและการกระจายข้อมูลของการจำลองปัญหา
เลียนแบบงานจริง Replicate ที่ 13



รูปแสดงความถี่ในการทำนายที่ช่วงระยะประกอบต่างๆและการกระจายข้อมูลของการจำลองปัญหา
เลียนแบบงานจริง Replicate ที่ 14



รูปแสดงความถี่ในการทำนายที่ช่วงระยะประกอบต่างๆและการกระจายข้อมูลของการจำลองปัญหา
เลียนแบบงานจริง Replicate ที่ 15

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายพิวัฒน์ เนาวรัตน์กุลชัย เกิดเมื่อวันที่ 9 ตุลาคม 2517 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ จากมหาวิทยาลัยมหิดล หลังจากนั้นได้เข้าทำงานในตำแหน่ง วิศวกร บริษัทรีท ไรท์ (ประเทศไทย) จำกัด ผู้เขียนได้เข้าศึกษาในระดับปริญญาโท หลักสูตรนอกระบบ ในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2543



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย