

การประยุกต์ใช้ซิกซ์ ซิกมาในการลดข้อบกพร่องจากการบินของผลิตภัณฑ์วงจรรวม

นายเสรี กุลปิยะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)

are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

APPLICATION OF SIX SIGMA IN DEFECT REDUCTION OF CHIPPED INTEGRATED
CIRCUIT PRODUCTS

Mr. Seri Kulpiya

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

Department of Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้ซิกซ์ ซิกมาในการลดข้อบกพร่องจากการบิน ของผลิตภัณฑ์วงจรรวม
โดย	นายเสรี กุลปิยะ
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังศุมาลิน เสนจันทร์ฉิมไชย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังศุมาลิน เสนจันทร์ฉิมไชย)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.โอฬาร กิตติธีรพรชัย)

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

เสรี กุลปิยะ : การประยุกต์ใช้ซิกซ์ ซิกมาในการลดข้อบกพร่องจากการบิ่นของ
ผลิตภัณฑ์วงจรรวม (APPLICATION OF SIX SIGMA IN DEFECT REDUCTION
OF CHIPPED INTEGRATED CIRCUIT PRODUCTS)

อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร.อังศุมาลิน เสนอจันทร์ฉวีไชย, 108 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดข้อเสียในกระบวนการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์วงจรรวม อันเนื่องมาจากข้อบกพร่องประเภทขนาดความกว้างของการบิ่นบนตัวผลิตภัณฑ์ออกนอกค่าการยอมรับ โดยการประยุกต์ใช้ 5 ขั้นตอนของเทคนิคซิกซ์ ซิกมา ในขั้นแรกได้เลือกข้อบกพร่องประเภทขนาดความกว้างของการบิ่นบนตัวผลิตภัณฑ์มาวิเคราะห์ เนื่องจากมีค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการค่อนข้างต่ำโดย Cpk เท่ากับ 0.66 ซึ่งระบุจากระยะการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา ถัดมาได้ทำการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลในระยะวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเพื่อระบุปัจจัยที่นำเข้าไปที่มีนัยสำคัญได้แก่ อุณหภูมิ น้ำ แรงดันน้ำ และความเร็วในการตัด ในระยะการปรับปรุงแก้ไขปัญหาได้ทำการออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน โดยผลที่ได้จากการออกแบบการทดลองจะใช้วิธีการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองถูกประยุกต์ใช้เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัจจัยจำนวนสามปัจจัยซึ่งจะทำให้ขนาดความกว้างของการบิ่นบนตัวผลิตภัณฑ์มีค่าน้อยที่สุด โดยค่าของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการคือ อุณหภูมิเท่ากับ 10 องศาเซลเซียส แรงดันน้ำเท่ากับ 2 ลิตรต่อนาที และความเร็วในการตัดเท่ากับ 30 มิลลิเมตรต่อวินาทีตามลำดับ เมื่อติดตามผลด้วยแผนภูมิควบคุม \bar{X} - R สำหรับข้อบกพร่องประเภทความกว้างของการบิ่น หลังการปรับปรุงพบว่าขนาดความกว้างของการบิ่นเป็นไปตามที่กำหนดไว้คือน้อยกว่า 2 mil และค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการของเพิ่มขึ้นเป็น 1.41 ซึ่งมากกว่าเกณฑ์การยอมรับด้านเดียวที่ 1.25

ภาควิชา.....วิศวกรรมอุตสาหกรรม.....ลายมือชื่อ.....

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

ปีการศึกษา.....2556

5471025121 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : SIX SIGMA / QUALITY IMPROVEMENT / DESIGN OF EXPERIMENTS /
RESPONSE SURFACE METHOD.

SERI KULPIYA : APPLICATION OF SIX SIGMA IN DEFECT REDUCTION OF
CHIPPED INTEGRATED CIRCUIT PRODUCTS.

ADVISOR : ASST.PROF. ANGSUMALIN SENJUNTICHAJ, D.Eng., 108 pp.

The objective of this study is to reduce the number of defects in Integrated Circuit (IC) manufacturing with respect to out of specification chipped IC by applying 5 phases; Define, Measure, Analyze, Improve and Control phases of Six Sigma approach. The response of the research identified in the define phase is the chipped width with process capability (Cpk) of 0.66 determined from the measure phase. The half-factorial experiments are implemented in the analyze phase to find the significant factors which are water temperature, water pressure and feed rate. In improve phase, the additional experiments are performed according to the Box-Behnken design in order to determine the non-linear relation between the chipped width and all mentioned factors. The optimal setting of each factors determined by applying the response surface optimizer are 10 °C for water temperature, 2 liter/min for water pressure and 30 mm./second for feed rate. In improve phase. Under the optimal setting, the control charts are used in the control phase to monitor the chipped width. The resulted Cpk of the response is increased to 1.41 which is greater than the one-sided acceptable process capability of 1.25.

Department : INDUSTRIAL ENGINEERING Student's Signature

Field of Study : INDUSTRIAL ENGINEERING Advisor's Signature

Academic Year : 2013.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี โดยความช่วยเหลือและเสียสละเวลาให้คำแนะนำจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังศุมาลิน เสนงันท์ชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้ความรู้ทางทฤษฎี หลักการ ตลอดจนคำแนะนำแก้ไขและชี้แนวทางในการทำวิทยานิพนธ์นี้เป็นอย่างดีมาโดยตลอด และขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา ประธานกรรมการ อาจารย์ ดร.โอฬาร กิตติธีรพรชัย และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญวา ธรรมพิทักษ์กุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจข้อบกพร่อง ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้อง สมบูรณ์และสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณผู้บริหารโรงงานกรณีศึกษา ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลรวมถึงการทำการทดลอง และขอขอบคุณคณะทำงานที่ช่วยกันในการระดมความคิด คำแนะนำและความช่วยเหลือที่เป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์นี้

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาและครอบครัว ที่สนับสนุนและให้กำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์นี้ รวมถึงความช่วยเหลือจากเพื่อนนิสิตทุกท่าน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	8
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	8
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	8
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	9
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	9
1.7 ตารางการดำเนินงาน.....	10
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	11
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
2.2 ความหมายของ ซิกซ์ ซิกมา.....	14
2.3 ความรู้เกี่ยวกับวงจรรวม.....	31
บทที่ 3 การนิยามปัญหา (Define Phase).....	33
3.1 สภาพปัญหาในปัจจุบัน (Problem Statement).....	33
3.2 การจัดตั้งคณะทำงาน.....	37
3.3 วัตถุประสงค์ เป้าหมาย และตัวชี้วัดของงานวิจัย.....	37
3.4 สรุปผลขั้นตอนระยะนิยามปัญหา.....	38

บทที่ 4 ระบบการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Measure phase).....	39
4.1 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis).....	39
4.2 การวัดความสามารถของกระบวนการ (Process Capability).....	43
4.3 การวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุของปัญหา (Cause & Effect Diagram).....	45
4.4 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA).....	50
4.5 สรุปผลขั้นตอนระยะการวัดและเก็บข้อมูลเพื่อหาสภาพปัญหา.....	53
บทที่ 5 ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis phase).....	55
5.1 ปัจจัยนำเข้าที่ทำการศึกษา.....	55
5.2 การออกแบบการทดลองเบื้องต้น.....	56
5.3 ตัวแปรตอบสนอง.....	59
5.4 การออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อความกว้างของลักษณะป็น.....	59
5.5 ผลการทดลอง.....	61
5.6 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง.....	63
5.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	65
บทที่ 6 การปรับปรุงแก้ไขปัญหา (Improve Phase).....	70
6.1 ปัจจัยนำเข้าที่ทำการศึกษา.....	70
6.2 ตัวแปรตอบสนอง.....	70
6.3 การออกแบบการทดลอง.....	71
6.4 ผลการทดลอง.....	73
6.5 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง.....	75
6.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	77
6.7 ค่าเงื่อนไขที่เหมาะสมจากการทดลอง.....	81
บทที่ 7 การติดตามควบคุมผล (Control Phase).....	83
7.1 การทดสอบยืนยันผล.....	83
7.2 การติดตามผลโดยการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม.....	84
7.3 มูลค่าความเสียหายหลังการปรับปรุง.....	86

บทที่ 8 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	88
8.1 สรุประยະนิยามปัญหา.....	88
8.2 สรุประยະการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา.....	88
8.3 สรุประยະวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา.....	89
8.4 สรุประยະการปรับปรุงแก้ไขปัญหา.....	90
8.5 สรุประยະการติดตามควบคุม.....	90
8.6 ข้อกำจัดในงานวิจัย.....	91
8.7 ข้อเสนอแนะ.....	91
รายการอ้างอิง.....	93
ภาคผนวก.....	95
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	108

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษา.....	2
1.2	กระบวนการประกอบของผลิตภัณฑ์ IC.....	3
1.3	แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน.....	10
2.1	เกณฑ์วัดระดับคะแนนของซีกซ์ ซีกมา.....	15
2.2	ค่าแนะนำสำหรับค่าขั้นต่ำของดัชนี Cpk.....	18
2.3	เกณฑ์การให้คะแนนระดับความถี่ของการเกิดปัญหา.....	22
2.4	เกณฑ์การให้คะแนนระดับความรุนแรงของผลกระทบ.....	22
2.5	เกณฑ์การให้คะแนนระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหา.....	23
3.1	สัดส่วนของเสียและมูลค่าความเสียหายเปรียบเทียบในแต่ละผลิตภัณฑ์ใน ระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2555 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2556.....	34
3.2	มูลค่าความเสียหายที่รับคืนจากการร้องเรียนจากลูกค้าที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ QFN ขนาด 3x3 มิลลิเมตร ระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2555 - มิถุนายน พ.ศ. 2556.....	35
4.1	ผลการวัดชิ้นงานของพนักงานคนที่ 1 และ พนักงานคนที่ 2.....	40
4.2	ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดค่าความกว้างของ ลักษณะบิ่น.....	41
4.3	การวิเคราะห์ปัญหาจากความสัมพันธ์สาเหตุและผล (Cause&Effect Matrix).	47
4.4	การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ.....	51
5.1	ปัจจัยนำเข้าที่คาดว่าจะมีอิทธิพลทำให้เกิดของเสียลักษณะบิ่น.....	56
5.2	ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน.....	57
5.3	กำลังและจำนวนซ้ำสำหรับการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล.....	58
5.4	เปรียบเทียบขนาดตัวอย่างระหว่างการทดสอบสมมติฐานและการออกแบบการ ทดลอง.....	59
5.5	การออกแบบการทดลองเมตริกซ์โดยโปรแกรม Minitab.....	61
5.6	ผลการทดลองวัดค่าเฉลี่ยความกว้างของลักษณะบิ่น.....	62

ตารางที่	หน้า	
5.7	ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองสำหรับค่าเฉลี่ยของความกว้างลักษณะ บิ้น.....	67
5.8	ตารางแสดงโครงสร้าง Alias จากแบบการทดลอง.....	69
6.1	ปัจจัยที่จะนำมาศึกษาในระยะปรับปรุงแก้ไขปัญหา.....	70
6.2	เปรียบเทียบการออกแบบการทดลองสำหรับพื้นผิวตอบสนอง.....	71
6.3	ผลลัพธ์จากออกแบบการทดลองวิธีพื้นผิวตอบสนองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน.....	72
6.4	การออกแบบการทดลองเมตริกซ์โดยโปรแกรม Minitab.....	73
6.5	ผลการทดลองค่าความกว้างของลักษณะบิ้นเพื่อปรับปรุงกระบวนการ.....	74
6.6	ผลการวิเคราะห์การทดลองพื้นผิวตอบสนองสำหรับความกว้างลักษณะบิ้น.....	78
6.7	ผลการวิเคราะห์การทดลองพื้นผิวตอบสนองสำหรับความกว้างลักษณะบิ้น (ใหม่)	79
6.8	ระดับของแต่ละปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสม.....	82
7.1	ระดับของแต่ละปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมทั้ง 3 ปัจจัย.....	83
7.2	สรุปเปรียบเทียบความสามารถของกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุง.....	86
7.3	สรุปเปรียบเทียบต้นทุนของเสียและการร้องเรียนก่อนและหลังการปรับปรุง.....	87

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ดัชนีผลผลิตอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ไทย.....	1
1.2	อัตราผลผลิตเปรียบเทียบแต่ละผลิตภัณฑ์.....	4
1.3	ภาพตัดขวางของผลิตภัณฑ์ QFN.....	5
1.4	ผลผลิตรวมในแต่ละผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษาในระหว่างเดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2555 - มิถุนายน พ.ศ. 2556.....	5
1.5	ลักษณะของเสียที่เกิดการบิ่นของผลิตภัณฑ์ QFN ขนาด 3x3.....	6
1.6	ความสามารถของกระบวนการของความกว้างของลักษณะบิ่น.....	6
2.1	แสดงความหมายของซิกซ์ ซิกมา.....	15
2.2	ภาพรวมของการศึกษาระบบการวัด.....	19
2.3	ผลของอิทธิพลของปัจจัยร่วมที่เกิดขึ้นต่อผลการทดสอบ.....	26
2.4	การออกแบบ CCD เมื่อ $k = 2$ และ $k = 3$	28
2.5	การออกแบบบอกรี – เบห์นเคนสำหรับสามตัวแปร.....	29
3.1	อัตราผลผลิตเปรียบเทียบแต่ละผลิตภัณฑ์.....	33
3.2	ปริมาณของเสียเฉลี่ยต่อเดือนของผลิตภัณฑ์ QFN ขนาด 3x3 ระหว่างเดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2555 - มิถุนายน พ.ศ. 2556.....	36
3.3	ความสามารถของกระบวนการของความกว้างของลักษณะบิ่น.....	37
4.1	การประเมินความผันแปรของการวัดค่าความกว้างของลักษณะบิ่น.....	41
4.2	ความสามารถของกระบวนการของความกว้างของลักษณะบิ่นเบื้องต้น.....	44
4.3	ความสามารถของกระบวนการของความกว้างของลักษณะบิ่น.....	45
4.4	แผนภาพก้างปลาแสดงถึงสาเหตุต่าง ๆ ที่น่าจะส่งผลให้เกิดปัญหาการบิ่นของ ผลิตภัณฑ์ QFN ขนาด 3x3.....	46
4.5	สาเหตุที่ส่งผลต่อของเสียลักษณะบิ่น.....	49
4.6	แผนภาพพาเรโตของค่า RPN จากการวิเคราะห์ด้วย FMEA.....	53
5.1	ผลการทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ.....	63
5.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับของการเก็บข้อมูล.....	64

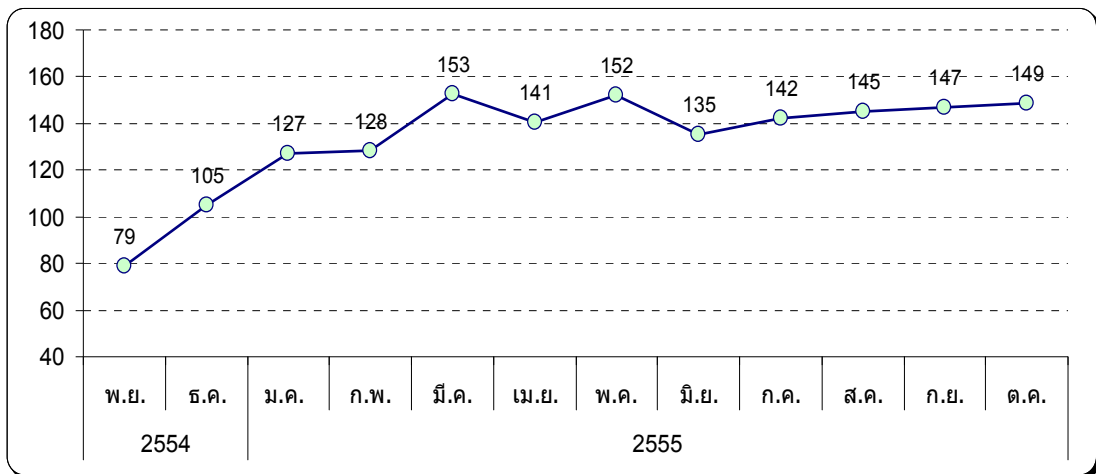
รูปที่		หน้า
5.3	ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับ Fitted Value.....	64
5.4	กราฟ Normal Probability ของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ยของความกว้างลักษณะป็น.....	65
5.5	พาเรโตแสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ยของความกว้างลักษณะป็น.....	66
5.6	กราฟแสดงผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีต่อค่าเฉลี่ยของความกว้างลักษณะป็น	68
5.7	กราฟแสดงผลกระทบของปัจจัยร่วมที่มีต่อค่าเฉลี่ยของความกว้างลักษณะป็น	69
6.1	ผลการทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ.....	75
6.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับของการเก็บข้อมูล.....	76
6.3	ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับ Fitted Value.....	76
6.4	โครงร่างระหว่างปัจจัย B*A C*A และ C*B.....	80
6.5	พื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัย B*A C*A และ C*B.....	80
6.6	ผลการวิเคราะห์ระดับของปัจจัยที่เหมาะสม.....	82
6.7	ผลการวิเคราะห์ระดับของปัจจัยที่เหมาะสมเมื่อใช้ค่าที่ปรับได้จริง.....	82
7.1	ความสามารถของกระบวนการหลังปรับปรุงของความกว้างลักษณะป็น.....	84
7.2	แผนภูมิควบคุม - R ของความกว้างลักษณะป็น.....	85
7.3	ความสามารถของกระบวนการในขั้นตอนการติดตามผล.....	86

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากปัจจุบันนี้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หลายชนิดเช่น โทรศัพท์มือถือ โน้ตบุ๊ก และ กล้องดิจิตอล นั้นได้กลายเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ก่อให้เกิดความต้องการในตลาดที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังจะเห็นได้จากดัชนีอุตสาหกรรมการผลิตส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ไทยที่มีแนวโน้มสูงขึ้น 70 กว่าจุด ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนตุลาคมปี พ.ศ. 2555 ดังแสดงในรูปที่ 1.1 ส่งผลให้ชิ้นส่วนประกอบทางอิเล็กทรอนิกส์ที่นำมาประกอบอุปกรณ์ต่าง ๆ นั้นมีความต้องการสูงไปด้วย



รูปที่ 1.1 ดัชนีผลผลิตอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ไทย

บริษัทกรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ตั้งอยู่ที่นิคมอุตสาหกรรมบ้านหว้า อำเภอบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา และผลิตวงจรรวม (Integrated circuit, IC) โดยผลิตภัณฑ์หลักที่ผลิตจำนวน 5 ผลิตภัณฑ์ มีรายละเอียดแสดงตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษา

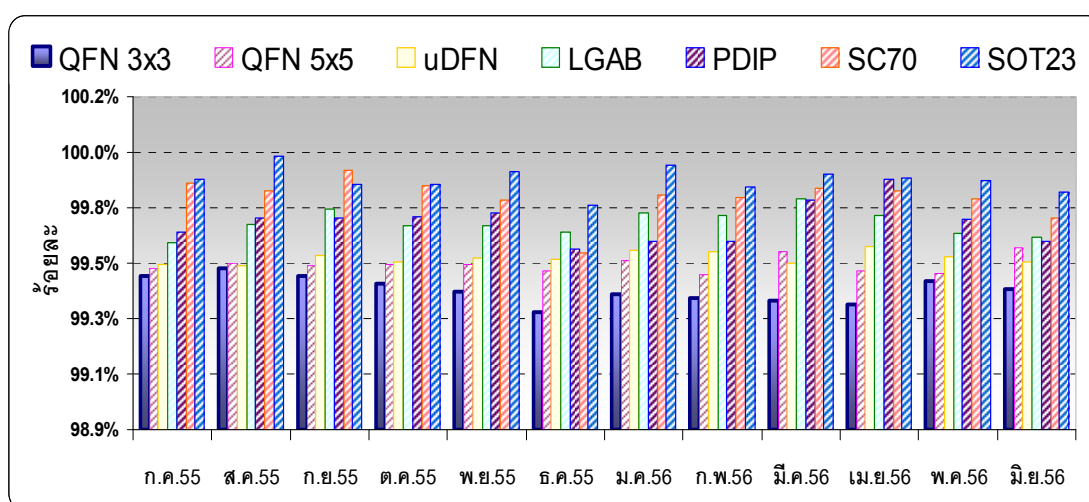
ผลิตภัณฑ์	รูปภาพ
1. Quad Flat No Lead (QFN) คือผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็ก มีรูปทรงเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ไม่มีกระบวนการในการขึ้นรูปขางาน) แต่ขางานนั้นอยู่ด้านใต้และมีอยู่ทั้ง 4 ด้านของตัวผลิตภัณฑ์	
2. Dual Flat No Lead (DFN) คือผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กมีรูปทรงเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ไม่มีกระบวนการในการขึ้นรูปขางาน) แต่ขางานนั้นอยู่ด้านใต้และมีอยู่เพียง 2 ด้านของตัวผลิตภัณฑ์	
3. Land grid array (LGA) คือผลิตภัณฑ์ที่ใช้โลหะเป็นขางานสำหรับเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าภายนอก โดยขาที่เป็นโลหะนั้นได้เรียงกันเป็นตารางที่ด้านล่างของผลิตภัณฑ์ซึ่งทำให้มีจำนวนขามากกว่าผลิตภัณฑ์อื่น	
4. Plastic Dual Inline Package (PDIP) คือผลิตภัณฑ์ที่มีรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าและมีขายื่นออกมาจากทั้งสองด้านของผลิตภัณฑ์ตลอดแนวยาว	
5. Small Outline Transistor (SOT23 , SC70) คือผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กมากและราคาไม่แพงและใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์อย่างแพร่หลายโดยมี 2 ชนิดคือ SC70 และ SOT23	

กระบวนการประกอบของผลิตภัณฑ์ IC นั้นแสดงในตารางที่ 1.2 ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการหลักที่สำคัญของกระบวนการประกอบของผลิตภัณฑ์ IC

ตารางที่ 1.2 กระบวนการประกอบของผลิตภัณฑ์ IC

กระบวนการ	รูปภาพ
<p>1. กระบวนการ Die Attach คือการติดวงจรไฟฟ้า บนลีดเฟรมที่เป็นตัวฐานของผลิตภัณฑ์</p>	
<p>2. กระบวนการ Wire Bond คือการเชื่อมลวดทองระหว่างวงจรไฟฟ้ากับลีดเฟรมเพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านครบวงจร</p>	
<p>3. กระบวนการ Mold คือการหุ้มชิ้นงานโดยใช้เรซินสังเคราะห์ ฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์เพื่อไม่ให้แผงวงจรภายในได้รับความเสียหายขณะนำไปใช้งาน</p>	
<p>4. กระบวนการ Laser Mark คือการทำสัญลักษณ์ให้กับผลิตภัณฑ์โดยการทำเครื่องหมายเพื่อบอกถึงชนิด วัน เดือน ปี ที่ผลิต เป็นต้น</p>	
<p>5. กระบวนการ Singulation คือกระบวนการตัดแยกงานที่ติดกันอยู่ในลีดเฟรม เป็นตัวชิ้นงาน</p>	

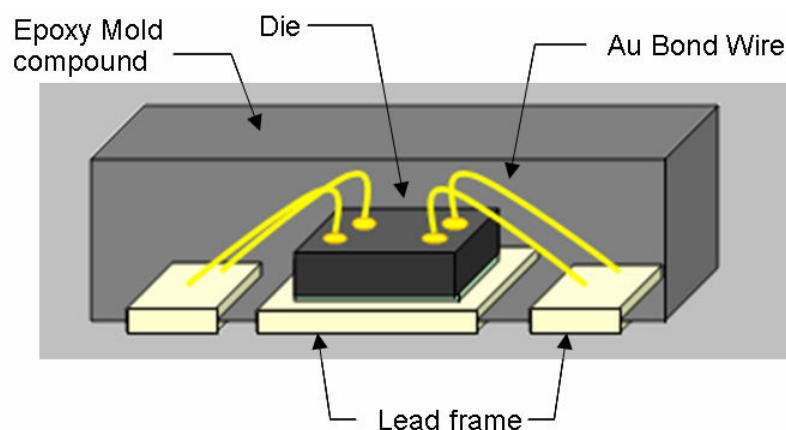
เนื่องด้วยความต้องการในตลาดที่สูงขึ้นนั้นก็ต้องมีผู้ผลิตจำนวนมากที่จะแข่งขันกันเพื่อให้ได้ส่วนแบ่งทางการตลาด โดยใช้กลยุทธ์ทางด้านราคาที่ถูกกว่าคู่แข่งและคุณภาพของสินค้าที่ดีกว่าหรือใกล้เคียงกัน การลดต้นทุนเพื่อให้ได้ราคาที่สามารถแข่งขันกับคู่แข่งได้นั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่นการลดเวลาในการทำงานที่สูญเปล่า การหาวัสดุที่ราคาถูกกว่าโดยที่คุณภาพใกล้เคียงกัน เป็นต้นเนื่องจากของเสียในบริษัทกรณีศึกษานั้นของเสียที่เกิดขึ้นจะต้องทำลายทิ้งทั้งชิ้นและแต่ละชิ้นมีราคาสูง การลดของเสียในกระบวนการผลิตนั้นเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถเริ่มทำได้ทันทีซึ่งวิธีนี้ส่งผลให้ปริมาณผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปเพิ่มขึ้น ในขณะที่การใช้ทรัพยากรเท่าเดิม จากการรวบรวมข้อมูลของบริษัทกรณีศึกษาตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2555 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2556 พบว่าผลผลิตของบริษัทสำหรับผลิตภัณฑ์ QFN ขนาด 3x3 มิลลิเมตร มีค่าต่ำกว่าผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ดังแสดงรูปที่ 1.2 โดยมีค่าผลผลิตเฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับร้อยละ 99.41 และต่ำกว่าเกณฑ์ของบริษัท ที่ตั้งไว้คือร้อยละ 99.5



รูปที่ 1.2 อัตราผลผลิตเปรียบเทียบแต่ละผลิตภัณฑ์

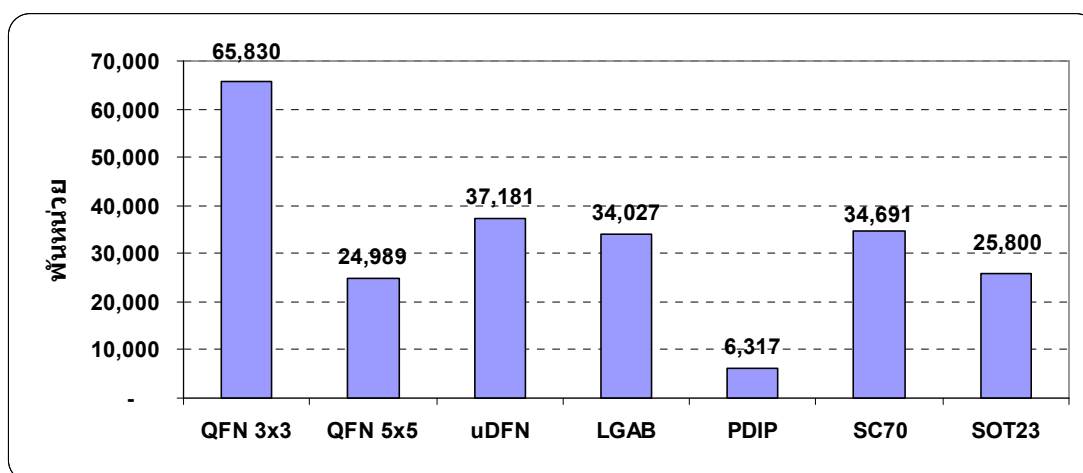
ผลิตภัณฑ์ QFN คือ เป็นชิ้นส่วนของอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์ชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติความหลากหลายของหน้าที่การใช้งานและมีจุดเด่นเช่น ขนาดที่เล็ก มีขนาดบางและน้ำหนักเบา

รูปที่ 1.3 แสดงภาพตัดขวางของผลิตภัณฑ์ QFN



รูปที่ 1.3 ภาพตัดขวางของผลิตภัณฑ์ QFN

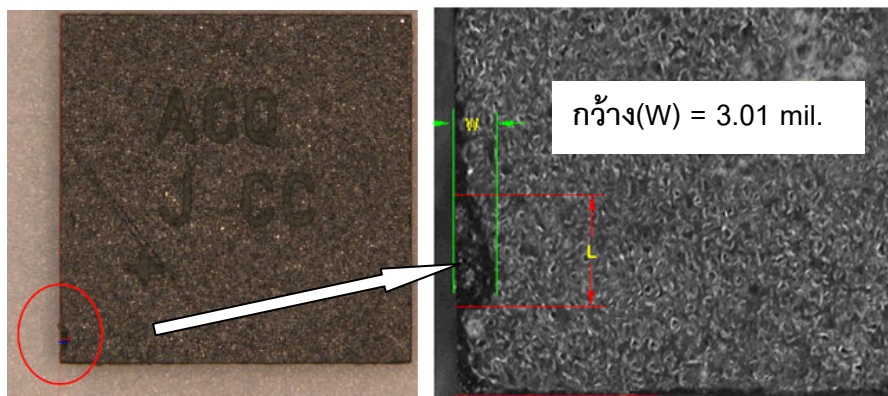
จากลักษณะเด่นดังกล่าวส่งผลให้มีความต้องการในผลิตภัณฑ์ชนิดนี้เป็นจำนวนมาก ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 1.4 ซึ่งแสดงปริมาณการผลิตรวมทั้งเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2555 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2556 ของผลิตภัณฑ์ QFN ขนาด 3x3 มิลลิเมตร ที่มีมากกว่าผลิตภัณฑ์ IC ประเภทอื่น ๆ ของบริษัทกรณีศึกษา



รูปที่ 1.4 ผลผลิตรวมในแต่ละผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษาในระหว่างเดือน

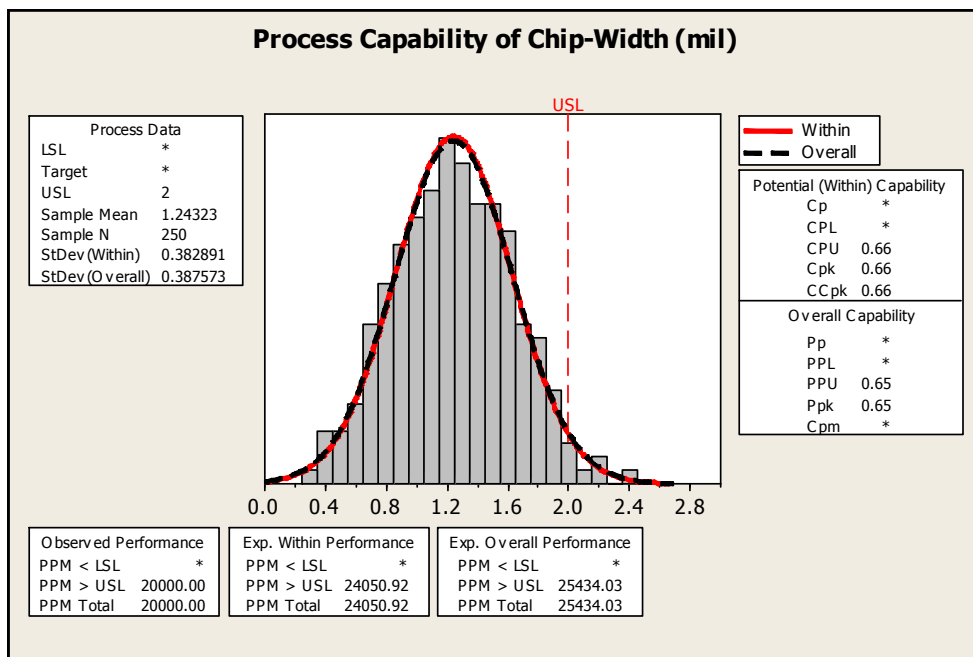
กรกฎาคม พ.ศ. 2555 - มิถุนายน พ.ศ. 2556

ของเสียที่เกิดการบิ่นคือชิ้นงาน IC ที่ขอบของ IC มีลักษณะบิ่นหรือถูกกระแทกออกและเมื่อวัดขนาดของรอยบิ่นโดยใช้หน่วย 1/1000 นิ้ว (mil) มีขนาดเกิน 2 mils ในด้านกว้างโดยไม่พิจารณาในด้านยาว ดังแสดงในรูปที่ 1.5 ลักษณะของเสียที่เกิดการบิ่นของผลิตภัณฑ์ QFN ขนาด 3x3 มิลลิเมตร



รูปที่ 1.5 ลักษณะของเสียที่เกิดการบิ่นของผลิตภัณฑ์ QFN ขนาด 3x3

ในการศึกษาดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ หรือ Cpk สำหรับกระบวนการ Singulation ที่มีตัวแปรตอบสนองคือความกว้างของลักษณะบิ่นของผลิตภัณฑ์ QFN ขนาด 3x3 มิลลิเมตร ดังแสดงให้เห็นดังรูปที่ 1.6 มีค่า Cpk เท่ากับ 0.66 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์การยอมรับด้านเดียวที่ 1.25 (Montgomery, D.C. 2009.) จึงสรุปได้ว่าค่าความกว้างของลักษณะบิ่นมีการกระจายตัวกว้างและความผันแปรของกระบวนการสูงเกินค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ และค่าความกว้างของลักษณะบิ่นมีค่าบางส่วนที่มากกว่าค่าเป้าหมายคือมากกว่า 2 mil จึงต้องทำการปรับปรุงเพื่อเพิ่มความสามารถของกระบวนการในงานวิจัยนี้



รูปที่ 1.6 ความสามารถของกระบวนการของความกว้างของลักษณะบิ่น

ในการปรับปรุงเพื่อเพิ่มความสามารถของกระบวนการนี้จะใช้หลักการของซิกซ์ ซิกมา เนื่องจากหลักการซิกซ์ ซิกมา เป็นหลักการที่มีขั้นตอนในการดำเนินงานที่ชัดเจน 5 ขั้นตอนคือ การนิยามปัญหา (Define phase) การวัดและเก็บข้อมูลเพื่อหาสภาพปัญหา (Measure phase) การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analysis Phase) การปรับปรุงแก้ไขปัญหา (Improvement phase) และการติดตามควบคุม (Control Phase) และมีการประยุกต์ใช้หลักการทางสถิติในแต่ละขั้นตอน หลักการซิกซ์ ซิกมาได้รับความนิยมแพร่หลายในการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการดังจะเห็นได้จากการลดของเสียในระบบการวัดความสั้นสะเทือนของสปินเดิลมอเตอร์ที่เป็นงานวิจัยเรื่อง การปรับปรุงคุณภาพระบบการวัดความสั้นสะเทือนของสปินเดิลมอเตอร์โดยผ่านแนวทางซิกซ์ ซิกมา (ชิต เหล่าวัฒนา และ ณัฐพงศ์ วุฒิมกร, 2544) ได้ใช้การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis ; MSA) ไปอธิบายความผันแปรของกระบวนการ สรุปโดยการกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อระดับความสั้นสะเทือนของสปินเดิลมอเตอร์ อีกทั้งยังมีการออกแบบการทดลองแบบสองกำลังแฟกทอเรียลเพื่อประเมิน และวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความผันแปรที่เกิดขึ้นต่อความสั้นสะเทือนของสปินเดิลมอเตอร์ และกำหนดระดับปัจจัยใหม่ที่สามารถควบคุมค่าความสั้นสะเทือนให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ อีกทั้งงานวิจัยเรื่อง การลดความผันแปรของขนาดหน้ากว้างของเทปโม่อะคริลิกในกระบวนการตัดโดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา (ปาริชาติ บุญเกลี้ยง, 2552) ได้ประยุกต์หลักการซิกซ์ ซิกมาเข้ามาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการตัดเทปโม่อะคริลิก ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนของเสียจากปัญหาขนาดหน้ากว้างออกนอกค่าการยอมรับ โดยผลหลังการปรับปรุงตามหลักการของซิกซ์ ซิกมานั้นพบว่าค่า Cpk เพิ่มขึ้นจาก 0.96 เป็น 1.87 และ Cp เพิ่มจาก 1.07 เป็น 1.98 ซึ่งดีกว่าเกณฑ์การยอมรับที่ Cpk และ Cp มาตรฐานที่ 1.33 และรอบการผลิตผลิตภัณฑ์ต่อม้วนนั้นเร็วขึ้นกว่าก่อนมีการปรับปรุงคือจาก 6.26 วินาทีต่อม้วน เป็น 6.18 วินาทีต่อม้วน สรุปได้ว่าจำนวนม้วนของเสียนั้นลดลงจาก 4.0% เป็น 0.01% โดยแปลเป็นจำนวนม้วนของเสียที่ลดลงได้คือ 48,623 ม้วน และคิดเป็นมูลค่าความสูญเสียที่ลดลงได้เท่ากับ 4,847,690 บาทต่อปี และจากการประยุกต์ใช้หลักการทั้ง 5 ขั้นตอนของซิกซ์ ซิกมา เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตเนื่องจากข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่าการรับน้ำหนักกดของชุดหัวอ่านสำเร็จ จากงานวิจัยเรื่อง การลดของเสียที่เกิดจากค่าการรับน้ำหนักกดของชุดหัวอ่านสำเร็จไม่ได้ตามข้อกำหนดในกระบวนการประกอบหัวอ่าน โดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา (ภัทรา อายุวัฒน์, 2546) โดยที่ศึกษาปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 4 ปัจจัย ไปทำการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการของพินิวตอบสนอง เพื่อกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าทั้งหมด และใช้วิธีการ

เชิงสถิติในการควบคุมปัจจัยนำเข้าทั้ง 4 สรุปได้ว่าหลังจากการปรับปรุงของเสียลดลงจาก 8,872 PPM เป็น 720 PPM หรือคิดเป็นร้อยละ 91.88 ของจำนวนของเสียก่อนการปรับปรุงกระบวนการ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพิ่มดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการของความกว้างจากการบิ่นในกระบวนการผลิต IC

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาเฉพาะผลิตภัณฑ์ QFN ขนาด 3x3 มิลลิเมตร ของโรงงานกรณีศึกษาเท่านั้น

1.3.2 ดัชนีชี้วัดคือดัชนีความสามารถของกระบวนการของความกว้างจากการบิ่นของผลิตภัณฑ์ QFN ขนาด 3x3 มิลลิเมตร

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การลดของเสียสำหรับกระบวนการผลิต IC นั้นได้ดำเนินการตามแนวทางของซิกซ์ ซิกมา ซึ่งประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอนดังนี้

1.4.1 การนิยามปัญหา (Define phase)

- ศึกษากระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ IC
- รวบรวมข้อมูลเพื่อระบุความสำคัญของปัญหา
- กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัยรวมถึงการตั้งเป้าหมาย
- กำหนดแผนภูมิเวลาในการทำวิจัย

1.4.2 การวัดและเก็บข้อมูลเพื่อหาสภาพปัญหา (Measure phase)

- วิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงของระบบวัด
- เก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจากกระบวนการผลิตโดยใช้แผนภูมิแก๊งปลา การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ และแผนภูมิพาเรโต้

1.4.3 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

- ใช้เครื่องมือการวิเคราะห์ทางสถิติเช่นการทดสอบสมมติฐาน การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบนัยสำคัญของปัจจัย

- ออกแบบการทดลองสำหรับปัจจัยที่มีนัยสำคัญ

1.4.4. การปรับปรุงแก้ไขปัญหา (Improvement phase)

- ทำการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยนำเข้าที่ทำให้ค่าความกว้างของลักษณะบิ่นน้อยที่สุด
- สรุปโดยเลือกระดับปัจจัยที่ให้ผลที่ดีที่สุดเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิต

1.4.5 การติดตามควบคุม (Control Phase)

- ทำการทดลองอีกครั้งเพื่อยืนยันผลจากขั้นตอนก่อนหน้านี้
- สร้างแผนควบคุม (Control plan) เพื่อกำหนดมาตรฐานของกระบวนการผลิต
- สรุปผลการทำวิจัยและข้อเสนอแนะ
- รูปเล่มรายงานเพื่อเตรียมนำเสนอ

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงปัจจัยต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตที่ส่งผลกระทบต่อของเสียประเภทการบิ่นของผลิตภัณฑ์ IC

1.5.2 ระดับของปัจจัยนำเข้าที่ทำให้ดัชนีความสามารถของกระบวนการเพิ่มขึ้นมากที่สุด

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ลดจำนวนของเสียที่เกิดจากการบิ่นที่เกิดบน IC

1.6.2 ลดต้นทุนที่ใช้ในกระบวนการผลิต IC

1.6.3 เป็นตัวอย่างและแนวทางในการแก้ไขปัญหามา เพื่อใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตอื่น

1.6.4 ผู้ทำวิจัยมีความเข้าใจและสามารถนำความรู้เรื่องซิกซ์ ซิกมาไปพัฒนากระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.7 ตารางการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.3 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

ลำดับ	ขั้นตอนการดำเนินงาน	ปี 2556								
		มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน
1	ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	■								
2	ระบายนิยามปัญหา (Define phase)		■							
3	ระยะการวัดและเก็บข้อมูลเพื่อหาสภาพปัญหา (Measure phase)			■						
4	ระยะวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)					■				
5	ระยะปรับปรุงแก้ไขปัญหา (Improvement phase)						■			
6	ระยะติดตามควบคุม (Control Phase)							■		
7	สรุปผลการวิจัยและเรียบเรียงบทความ								■	
8	จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์									■

บทที่ 2

งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้กล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ความรู้ทางด้านสถิติในเรื่องต่าง ๆ และทฤษฎีที่นำมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินงานวิจัย เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น และดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวทางของกระบวนการซิกซ์ ซิกมา รวมถึงทฤษฎี และความรู้ด้านเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานที่ใช้ในงานวิจัย ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่นำวิธีการซิกซ์ ซิกมา มาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหา ตามขั้นตอนที่ชัดเจนจำนวน 5 ขั้นตอนคือ DMAIC ดังนี้

1. การนิยามปัญหา (Define phase)
2. การวัดและเก็บข้อมูลเพื่อหาสภาพปัญหา (Measure phase)
3. การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)
4. การปรับปรุงแก้ไขปัญหา (Improvement phase)
5. การติดตามควบคุม (Control Phase)

ประกอบกับการเลือกใช้เครื่องมือที่ถูกต้องและเหมาะสมในแต่ละขั้นตอน ส่งผลให้สามารถที่จะทราบสาเหตุของปัญหาที่แท้จริงและกำจัดปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังแสดงจากงานวิจัยเรื่อง Reducing operation defect using Six Sigma Tools (Hilmi Hussin, Ainul Akmar Mokhtar และ Patrick Sebastian, 2005) ซึ่งเป็นงานวิจัยเพื่อลดของเสียจากการบันทึกที่หัวอ่านในกระบวนการเซมิคอนดักเตอร์ โดยการดำเนินงานตามขั้นตอน 5 ขั้นตอนดังที่ได้อธิบายไปก่อนหน้านี้แล้ว โดยในแต่ละขั้นตอนของ DMCA นั้นได้มีการนำเครื่องมือด้านคุณภาพและวิธีการทางสถิติต่าง ๆ มาใช้ในการแก้ปัญหาเช่น แผนภูมิกระบวนการ การวิเคราะห์สาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA) เพื่อระบุสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียโดยการพิจารณาวิธีการแก้ไขก่อนที่จะเกิดปัญหาซึ่งสามารถที่จะทราบสาเหตุที่เป็นไปได้ของปัญหาได้ถูกต้องยิ่งขึ้น และแผนภาพก้างปลา เพื่อที่จะระบุปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการ การทดสอบสมมติฐาน และเทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment, DOE) มาวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการผลิต และสุดท้ายได้มีการนำการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (Statistical Process Control, SPC) มาควบคุมกระบวนการหลังจากการ

ปรับปรุง ซึ่งผลหลังการปรับปรุงตามแนวคิดของซิกซ์ ซิกมานั้นแสดงให้เห็นว่าสามารถลดของเสียประเภทรอยขีดข่วนบน Pole tip จาก 1.38% เหลือเพียง 0.96% และสามารถลดต้นทุนในการทำลายทิ้งของผลิตภัณฑ์เป็นจำนวนเงิน 9,000 ดอลลาร์สหรัฐ อีกทั้งแนวทางของซิกซ์ ซิกมานั้นยังได้มีการนำมาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมฮาร์ดไดรฟ์ ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยเรื่อง การลดการปนเปื้อนจากกระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียนสำหรับคอมพิวเตอร์ (ศิริวดี เอื้ออรัญโชติ, 2546) งานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือด้านคุณภาพและวิธีการทางสถิติดังเช่น การวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด (Gauge Repeatability and Reproducibility, GR&R) การวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผล (Cause & Effect Diagram) ด้วยตารางสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) ส่งผลให้ลดปัจจัยนำเข้าจาก 43 ปัจจัยเป็น 19 ปัจจัย จากนั้นวิเคราะห์โดย FMEA ร่วมกับแผนภูมิพาเรโตในการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัย ซึ่งพบว่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีแนวโน้มกับการเกิดของเสียมีอยู่ทั้งสิ้น 9 ปัจจัยจาก 19 ปัจจัย และการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลสามารถลดจำนวนปัจจัย 9 ปัจจัยให้เหลือเพียงแค่ 5 ปัจจัยที่มีผลต่อการปรับปรุงกระบวนการผลิต และเมื่อทราบถึงปัญหาที่แท้จริงแล้วได้มีการทดลองเพื่อยืนยันผลและจัดทำกรป้องกันและควบคุม เพื่อลดสัดส่วนของเสียเนื่องจากทราบสกรปรก โดยผลลัพธ์ภายหลังปรับปรุงกระบวนการผลิตสามารถลดปริมาณของเสียลงจาก 166,070 DPPM เหลือเพียง 79,083 DPPM และสามารถลดความสูญเสียที่เกิดจากการซ่อมงานได้ทั้งสิ้น 8,091 ดอลลาร์สหรัฐ

จากการศึกษางานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการลดของเสียประเภทที่มีลักษณะเป็นในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่เป็นผลิตภัณฑ์เซมิคอนดักเตอร์ พบว่ามีการประยุกต์ใช้วิธีการของซิกซ์ ซิกมาในการปรับปรุงกระบวนการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ในอุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์ ดังแสดงจากงานวิจัย Wafer dice process improvement using Six Sigma approach (Z. Jamaluddin, A. M. Razali และ Z. Mustafa, 2011) เพื่อลดความแปรปรวนในกระบวนการผลิตและลดจำนวนผลิตภัณฑ์ป็นหลังจากการตัดเวเฟอร์ งานวิจัยนี้มีการใช้ Gauge Repeatability & Reproducibility (GR&R) เพื่อเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ความถูกต้องของระบบการวัด การทดสอบสมมติฐานแบบ 2 Sample T-test และการออกแบบการทดลอง โดยสามารถระบุ ปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการผลิตอย่างมีนัยสำคัญจำนวน 3 ปัจจัยคือ รูปแบบในการตัด ความเร็วในการตัด และความเร็วรอบของมอเตอร์ ซึ่งหลังจากที่มี การปรับปรุงกระบวนการโดยการตั้งค่าปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัยให้เหมาะสมแล้ว พบว่าของเสียสามารถลดลงร้อยละ 50 ของของเสียก่อนการปรับปรุง และยังมีอีกหลายงานวิจัยที่ได้มีการนำเครื่องมือที่ใช้กันอย่างแพร่หลายของซิกซ์ ซิกมา คือการ

ออกแบบการทดลองไปใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ในอุตสาหกรรม เซมิคอนดักเตอร์เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต ดังเช่น งานวิจัยเรื่อง Reducing chipping defects during GaAs wafer dicing with a four-point diamond tool (Jason Chou, Chang-Hwang Hua, Sen Yang และ Ping-Wei Chen, 2008) ได้มีการใช้ทฤษฎี การออกแบบการทดลองเพื่อลดของเสียที่มีลักษณะบิ่นในกระบวนการตัดเวเฟอร์ชนิด GaAs โดย มีการกรองปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการจากทั้งหมด 6 ปัจจัยได้แก่ ความลึกในการตัด แรงในการ ตัด ความเร็วในการตัด ความดันของการหยุด ความสูงของการหยุด และขนาดของผลิตภัณฑ์ หลังจากที่มีการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีทั้งหมดพบว่ามีเพียงแค่ 2 ปัจจัย ที่มีนัยสำคัญต่อกระบวนการ ผลิตคือ แรงและความเร็วในการตัด เมื่อนำปัจจัย 2 ปัจจัยนี้ไปทำการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง โดยมีเปอร์เซ็นต์ของชิ้นงานลักษณะบิ่นเป็นตัวแปรตอบสนอง ทำให้สามารถเพิ่มผลผลิตใน กระบวนการตัดเวเฟอร์ GaAs มากกว่า 90% โดยจากเดิมคือประมาณ 86% ยังมีงานวิจัยเรื่อง Analysis backside chipping issues of the die at wafer saw (Martin Vagues, 2003) ได้ วิเคราะห์ปัจจัยที่มีนัยสำคัญของการบิ่นจากการตัดเวเฟอร์ ในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรม เซมิคอนดักเตอร์ คือ ชนิดของใบมีด ความเร็วในการตัด สภาวะการยึดของใบมีด และความเรียบ ของวัสดุที่ยึดใบมีด โดยชนิดของใบมีดและความเร็วในการตัดมีผลร่วมกันต่อจำนวนของเสียใน ขณะที่สภาวะการยึดของใบมีดและความเรียบของวัสดุที่ยึดใบมีดมีผลร่วมกันเช่นกัน โดยที่วัสดุที่ มีผิวเรียบจะช่วยลดปัญหาความไม่สมดุลและสั่นของใบมีดขณะตัดเวเฟอร์ ซึ่งหลังจากที่ได้มีการ ออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อกระบวนการ และได้มีการควบคุมปัจจัยคือได้มี การเลือกใบมีดและค่าพารามิเตอร์และสภาวะการยึดของใบมีดที่เหมาะสมแล้ว พบว่าปริมาณของ เสียที่มีลักษณะบิ่นจากกระบวนการตัดเวเฟอร์นั้นลดลงอย่าง จาก 700 PPM เป็น 70 PPM

หลักการซิกซ์ ซิกมาเป็นที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลายในการลดของเสียในกระบวนการผลิต ต่าง ๆ ของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยเรื่องการลดการปนเปื้อนจาก กระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียนสำหรับคอมพิวเตอร์โดยการประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกมา (ศิริวิดี เอื้ออรุณโชติ, 2546) ได้วิจัยเกี่ยวกับ การลดคราบสกปรกบนชิ้นงานจากกระบวนการผลิตหัวอ่าน- เขียน สำหรับคอมพิวเตอร์ ซึ่งใช้แนวทางในการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีทางซิกซ์ ซิกมา และมีการใช้ เครื่องมือและวิธีการทางสถิติต่าง ๆ มาใช้เพื่อแก้ไขปัญหาเช่น ฮีสโตแกรม การวิเคราะห์ความ ผิดพลาดของกระบวนการ (FMEA) แผนภูมิพาเรโต และการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยการ ออกแบบการทดลองเป็นแบบแฟคทอเรียล โดยสามารถถ่วงน้ำหนักปัจจัยทั้งหมด 43 ปัจจัยให้เหลือ เพียงแค่ 5 ปัจจัยที่มีผลต่อการปรับปรุงกระบวนการผลิต และภายหลังปรับปรุงกระบวนการผลิต

สามารถลดปริมาณของเสียลงจาก 166,070 Defect Part Per Million (DPPM) เป็น 79,083 DPPM และคิดเป็นความสูญเสียที่เกิดจากการซ่อมงานได้ทั้งสิ้น 8,091 ดอลลาร์สหรัฐ การประยุกต์ใช้แนวทางลีนมาใช้กับซิกซ์ ซิกมาทั้ง 5 ขั้นตอนก็สามารถที่จะแก้ปัญหาโดยลดของเสียในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ได้เช่นกัน จากงานวิจัยเรื่อง การลดของเสียในกระบวนการเขียนสัญญาณบนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยใช้แนวคิดลีน ซิกซ์ ซิกมา (กันตา สุวรรณฤทธิ์, 2554) ทำการหาสาเหตุและกิจกรรมที่ไม่เป็นประโยชน์ซึ่งก่อให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิต จากนั้นประยุกต์ใช้ระบบคัมบังและแนวคิด ECRS (Eliminate Combine Rearrange and Simplify) เพื่อพัฒนาปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้งหมด ซึ่งกระบวนการหลังการปรับปรุงพบของเสียจากกระบวนการผลิตรวมลดลงจาก 45,420 DPPM

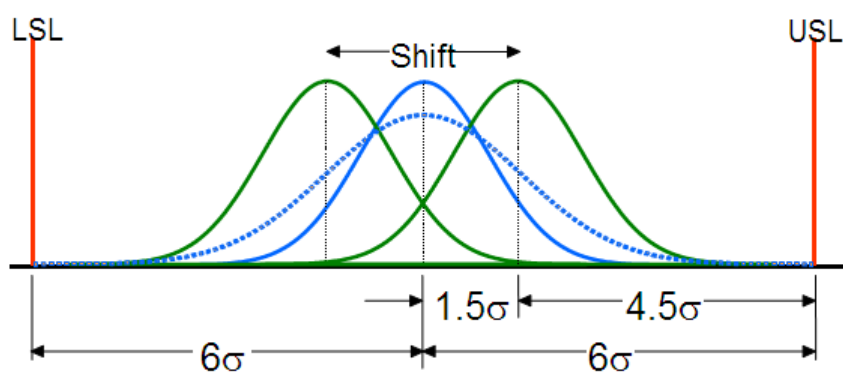
จากงานวิจัยที่ได้ข้างถึงมาทั้งหมดนั้นสามารถสรุปได้ว่าวิธีการซิกซ์ ซิกมานั้นเป็นวิธีการที่กระบวนการแก้ปัญหาที่เป็นระบบและชัดเจนตามวิธีขั้นตอน DMAIC อีกทั้งการเลือกใช้เครื่องมือที่ถูกต้องและเหมาะสมในแต่ละขั้นตอนดังเช่นการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลในกระบวนการผลิตให้เกิดของเสียน้อยที่สุด โดยงานวิจัยเพื่อลดของเสียที่เกิดลักษณะบิ่นที่เกิดขึ้นที่ผลิตภัณฑ์วงจรรวมนี้ จะทำการลดของเสียที่เกิดลักษณะบิ่นโดยใช้วิธีซิกซ์ ซิกมา มาเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหา ซึ่งเมื่อทำการศึกษางานวิจัยอื่น ๆ แล้วยังไม่พบว่ามีการวิจัยใดที่ทำการลดของเสียที่เกิดลักษณะบิ่นในกระบวนการซิงกูเรชั่นของผลิตภัณฑ์วงจรรวม โดยมีแต่งงานวิจัยลักษณะเดียวกันคือลดของเสียที่มีลักษณะบิ่นในกระบวนการตัดเวเฟอร์ ซึ่งผู้ทำวิจัยได้นำมาเป็นแนวทางเพื่อที่จะลดของเสียที่เกิดลักษณะบิ่น ในกระบวนการซิงกูเรชั่นของผลิตภัณฑ์วงจรรวม

2.2 ความหมายของ ซิกซ์ ซิกมา

ซิกซ์ ซิกมา เป็นวิธีการเพื่อการพัฒนากระบวนการที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่งในปัจจุบัน โดยได้มีการพัฒนาและประยุกต์ใช้ในบริษัทโมโตโรล่า ในช่วงปี ค.ศ. 1980 โดยที่มุ่งเน้นที่การลดต้นทุนการผลิตและปรับปรุงกระบวนการทำงานให้สอดคล้องกับกลยุทธ์ของบริษัทที่วางไว้ เช่น กระบวนการเพื่อลดความผิดพลาด (Defect) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการต่างๆ โดยมุ่งเน้นให้เกิดความผิดพลาดในระดับที่น้อยที่สุดและมีความสูญเสียได้ไม่เกิน 3.4 หน่วยในหนึ่งล้านหน่วย (part per million) หรือแสดงถึงความสูญเสียมีโอกาสเหลือเพียง 3.4 หน่วย ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของคุณภาพการผลิตที่แม่นยำและมีความน่าเชื่อถือ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 เทณฑ์วัดระดับคะแนนของซิกซ์ ซิกมา และรูปที่ 2.1 แสดงความหมายของซิกซ์ ซิกมา

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์วัดระดับคะแนนของซิกซ์ ซิกมา

ขอบเขตของคุณสมบัติ	เปอร์เซ็นต์	ของเสียต่อ 1 ล้านชิ้น
$\pm 1 \sigma$	30.23	697,700
$\pm 2 \sigma$	69.13	308,700
$\pm 3 \sigma$	93.32	66,810
$\pm 4 \sigma$	99.3790	6,210
$\pm 5 \sigma$	99.97670	233
$\pm 6 \sigma$	99.999660	3.4



รูปที่ 2.1 แสดงความหมายของซิกซ์ ซิกมา

แนวทางในการปฏิบัติที่เป็นที่นิยมเพื่อให้บรรลุถึงวัตถุประสงค์ของซิกซ์ ซิกมา ในกระบวนการและเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 5 ขั้นตอนคือ การนิยามปัญหา (Define phase) การวัดและเก็บข้อมูลเพื่อหาสภาพปัญหา (Measure phase) การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analysis Phase) การปรับปรุงแก้ไขปัญหา (Improvement phase) และการติดตามควบคุม (Control Phase) โดยขั้นตอนการดำเนินการแต่ละขั้นตอนดังนี้

1. การนิยามปัญหา (Define phase) คือขั้นตอนการระบุและคัดเลือกหัวข้อเพื่อการดำเนินการตามโครงการ ซิกซ์ ซิกมา ในองค์กร มีการกำหนดปัญหาและเป้าหมายอย่างชัดเจน ว่าอะไร ส่วนไหน ที่จำเป็นต้องปรับปรุง และจะปรับปรุงให้ถึงระดับไหน โดยมีขั้นตอนการคัดเลือกโครงการ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 โครงการนั้นต้องสอดคล้องกับเป้าหมายหลักขององค์กร (Business Goal)

ขั้นตอนที่ 2 มอบหมายให้ฝ่ายต่างๆ ที่เสนอโครงการไปพิจารณาหากกลยุทธ์ (Strategy) ในการดำเนินงานที่สอดคล้องกับเป้าหมายหลักขององค์กร

ขั้นตอนที่ 3 แต่ละฝ่ายนำเสนอกลยุทธ์ในการดำเนินการให้ผู้บริหารทราบ และเมื่อผู้บริหารเห็นชอบแล้ว ให้กลับไปกำหนดพื้นที่ดำเนินงาน (High Potential Area)

ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนสุดท้าย หลังจากกำหนดพื้นที่ที่จะดำเนินการได้แล้ว ให้แต่ละฝ่ายกลับไปพิจารณาหัวข้อย่อยที่จะใช้ในการดำเนินการ

2. การวัดและเก็บข้อมูลเพื่อหาสภาพปัญหา (Measure phase) เป็นขั้นตอนการวัดความสามารถของกระบวนการที่เป็นข้อมูลจริงในปัจจุบัน เป็นสิ่งที่ทำให้เข้าใจถึงสภาพของระบบและกระบวนการที่มีหรือที่อยู่ในปัจจุบัน ในขณะที่เดียวกันการวัด ต้องมีความเข้าใจว่าจะวัดอะไร วัดอย่างไร วัดที่ไหน และวัดเมื่อไหร่ จึงจะเป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์หลังจากที่ได้กำหนดปัญหาที่เป็นเป้าหมายไว้อย่างชัดเจน ขั้นตอนการวัดจะแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 5 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอน Plan Project with Metric คือ การวางแผนและดำเนินการคัดเลือกตัวชี้วัดที่เหมาะสมในการดำเนินการโครงการ

ขั้นตอน Baseline Project คือการวัดค่าความสามารถของกระบวนการที่เป็นจริงในปัจจุบัน โดยวัดผ่านตัวชี้วัดต่างๆ ที่เลือกสรรมาจากขั้นตอน Plan Project with Metric

ขั้นตอน Consider Lean Tools คือ วิธีการปรับปรุงกระบวนการด้วยการใช้เทคนิคต่างๆ ของวิศวกรรมอุตสาหกรรม

ขั้นตอน Measurement System Analysis (MSA) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญมากเป็นขั้นตอนการตรวจสอบเครื่องมือหรืออุปกรณ์ในการทำงานว่ามีความปกติหรือไม่ก่อนจะลงมือปฏิบัติงาน

ขั้นตอน Organization Experience หมายถึง ขั้นการนำประสบการณ์ที่ผ่านมาขององค์กร จะช่วยคิดในการแก้ไขปัญหา

3. การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase) คือ การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาหลัก โดยการเอาข้อมูลทางตัวเลขที่ได้จากการวัดวิเคราะห์ที่หาสาเหตุ ที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนและการเปลี่ยนแปลงแบบหลากหลาย โดยขั้นตอนการวิเคราะห์ในเชิงสถิติเพื่อระบุสาเหตุหลักที่ส่งผลกระทบต่อปัญหานั้น ซึ่งเรียกสาเหตุหลักนี้ว่า KPIV (Key Process Input Variable) ซึ่งต้องสามารถระบุให้ชัดเจนว่า อะไรคือ KPIV ของปัญหาและต้องสามารถเชื่อมโยงกับปัจจัยหลักของกระบวนการ หรือที่เรียกว่า KPOV (Key Process Output Variable)

ให้ได้ หลักการสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ การตรวจสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) ผังการกระจาย (Scattering Diagram) และการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

4. การปรับปรุงแก้ไขปัญหา (Improvement phase) คือการพัฒนาหรือการปรับปรุงสมรรถนะและประสิทธิภาพของกระบวนการ เป็นการพัฒนาวิธีที่จะขจัดปัญหา การปรับตั้งค่าสาเหตุหลัก (KPIV) เพื่อจุดประสงค์เพื่อให้ผลลัพธ์ของกระบวนการเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ด้วยการใช้เทคนิคการออกแบบทดลอง (Design of Experiment : DOE) เพื่อค้นหาและปรับตั้งค่าสภาวะต่างๆของกระบวนการให้เป็นไปตามความต้องการ รวมไปถึงการสร้างระเบียบแบบแผนของการจัดการเพื่อลดปัญหา

5. การติดตามควบคุม (Control Phase) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งต้องดำเนินการออกแบบระบบที่ควบคุมคุณภาพของกระบวนการเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่ากระบวนการที่ปรับปรุงนั้นจะไม่ย้อนกลับไปเกิดปัญหาในลักษณะเดิมอีก ปรับปรุงให้คงอยู่ในระดับที่น่าพอใจตลอดไป และเป็นข้อมูลในการวางแผนดำเนินการพัฒนาให้ได้ผลลัพธ์ที่ดียิ่งขึ้นต่อไป

2.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการคุณภาพ

2.2.1.1 แผนภูมิแท่งการจัดลำดับ (Pareto Diagram) เป็นแผนภูมิทางสถิติที่นำมาใช้เป็นเครื่องมือในการควบคุมคุณภาพของการผลิต โดยอาศัยหลักการจัดเรียงลำดับความสำคัญของปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในการผลิต เพื่อจะได้พิจารณาเลือกเรื่องที่มีความสำคัญมาก มาทำการแก้ไขปรับปรุงก่อนเป็นลำดับแรก

2.2.1.2 ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) อาจจะเรียกย่อ ๆ ว่า ผังก้างปลา หรือถ้าเรียกเป็นภาษาอังกฤษอาจจะใช้ตัวย่อว่า CE Diagram ซึ่งมีนิยามปรากฏในมาตรฐานของญี่ปุ่น หรือ JIS Standards (Japanese Industrial Standards) ในมาตรฐาน JIS ได้ระบุนิยามของ CE Diagram ไว้ดังนี้คือ ผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางคุณภาพกับปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง คำอธิบายคุณสมบัติหรือคุณลักษณะทางคุณภาพ (Quality Characteristics) คือผลที่เกิดขึ้นจากเหตุ ซึ่งก็คือปัจจัยต่าง ๆ ที่เป็นต้นเหตุของคุณลักษณะอันนั้น หรืออาจจะกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า เป็นแผนผังที่ใช้ในการวิเคราะห์ค้นหาสาเหตุต่าง ๆ ว่า มีอะไรบ้างที่มาเกี่ยวข้องกัน สัมพันธ์ต่อเนื่องกันอย่างไรจึงทำให้ผลปรากฏตามมาในขั้นสุดท้าย โดยวิธีการระดมความคิดอย่างเป็นอิสระของทุกคนในกลุ่มกิจกรรมด้านการควบคุมคุณภาพ

2.2.1.3 การวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการ (Process Capability Analysis: PCA) เป็นเทคนิคและเครื่องมือทางสถิติอันหนึ่งที่ใช้ในการควบคุมและปรับปรุงกระบวนการในการผลิต รวมทั้งใช้เป็นเครื่องมือในการวัด ตรวจสอบ ระดับคุณภาพของกระบวนการผลิตเพื่อความเชื่อถือได้ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิต ความสามารถของกระบวนการเป็นตัวบ่งบอกว่ากระบวนการผลิตของโรงงานมีความสามารถที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ได้ตามข้อกำหนดของลูกค้าหรือไม่ ดังนั้นการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการประกอบด้วย การวิเคราะห์ความเสถียรภาพของกระบวนการ (Stability) การวิเคราะห์ความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ (Potential Capability, Cp) การวิเคราะห์ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการด้วยค่าความถูกต้องและค่ากลาง (Performance Capability, Cpk , Cpm) ทำให้เป็นเครื่องมือที่บริษัทจะสามารถนำมาประเมิน และหาสาเหตุของปัญหาในการผลิตและปรับปรุงคุณภาพได้อย่างต่อเนื่อง

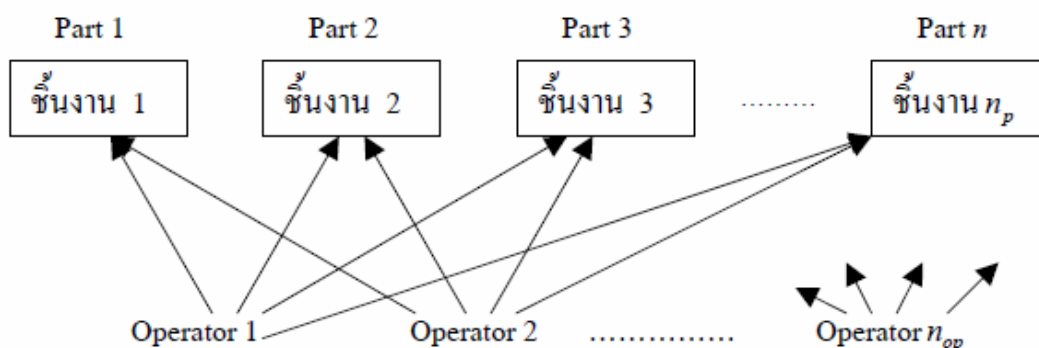
ดัชนีความสามารถของกระบวนการด้านสมรรถนะที่กระบวนการเบี่ยงเบนไป การหาค่าดัชนี Cpk (Performance Capability Indices) ดัชนีความสามารถของกระบวนการด้านสมรรถนะระยะสั้นนั้น เป็นดัชนีที่อยู่ในแนวคิดที่ว่า การผลิตตามเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ (Acceptability Concept) หรือตามค่าพิสัยของข้อกำหนดนั่นเอง ค่า Cpk ตัว “k” มาจาก Katayori มีความหมายว่าความเบี่ยงเบนหรือเลื่อนออกไป โดยค่า Cpk ที่เหมาะสมต่อ กระบวนการแบบต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ค่าแนะนำสำหรับค่าขั้นต่ำของดัชนี Cpk

ตารางที่ 2.2 ค่าแนะนำสำหรับค่าขั้นต่ำของดัชนี Cpk

ประเภทกระบวนการ	ระดับคุณภาพ	ค่าดัชนี Cpkขั้นต่ำ	
		กรณี ข้อกำหนดเฉพาะสองด้าน	กรณี ข้อกำหนดเฉพาะด้านเดียว
กระบวนการทั่วไป ใช้ยูเดิม	4 σ	1.33	1.25
กระบวนการทั่วไป ใหม่	4.5 σ	1.50	1.45
กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับความ ปลอดภัย แบบใช้ยูเดิม	4.5 σ	1.50	1.45
กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับความ ปลอดภัย ใหม่	5 σ	1.67	1.60

2.2.1.4 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA) การวัดคือพื้นฐานของระบบควบคุมโดยทั่วไป เพื่อนำข้อมูลจากการวัดไปปรับปรุงคุณภาพ เพราะการควบคุมเพื่อนำไปปรับปรุงนั้น ต้องอาศัยข้อมูลที่ได้จากการวัดที่ถูกต้องไปใช้ในการวิเคราะห์ผลและหาสาเหตุ ปัจจัย เพื่อใช้ในการแก้ปัญหา และทำการตัดสินใจ โดยต้องอยู่บนพื้นฐานของข้อมูล ซึ่งต้องผ่านการวิเคราะห์เพื่อให้การตัดสินใจนั้นไปในทางที่ถูกต้องเหมาะสม โดยต้องใช้ข้อมูลที่มีความเที่ยงตรง แม่นยำ ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในเครื่องมือวัด วิธีการวัด และผู้วัด โดยการวัด (Measurement) ประกอบไปด้วย ความถูกต้อง (Validity) ความละเอียดของเครื่องมือวัด (Resolution) ความเที่ยงตรง (Precision) และความแม่นยำ (Accuracy) โดยที่ความถูกต้องเป็นพื้นฐานสำคัญของระบบการวัด (Measurement system) และวิธีการวัดต้องสามารถแสดงจำนวนหรือปริมาณที่ผู้ทำการวัดสนใจได้ ความละเอียดของเครื่องมือวัดต้องสามารถวัดได้มากกว่าหน่วยที่ต้องการวัด เช่น ถ้าต้องการวัดน้ำหนักของชิ้นงานที่มีความแตกต่างในหน่วยของกรัม ความละเอียดของเครื่องมือวัดที่วัดได้ต้องละเอียดสามารถวัดได้มากกว่าหน่วยกรัม คือต้องละเอียดถึงการวัดทศนิยมของหน่วยกรัมได้

การศึกษาระบบการวัด (Gauge R & R measurement system) คือการศึกษาระบบการวัด เพื่อศึกษาความแม่นยำ (Precision) และความเที่ยงตรง (Precision) ของระบบการวัดโดยให้ข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับสาเหตุของ “ความผิดพลาดจากการวัด” (Measurement errors) โดยใช้ผู้วัด (Operators) หลายคน แต่ใช้เครื่องมือและระบบการวัดเดียวกัน และผู้วัดแต่ละคนวัดชิ้นงานแต่ละชิ้นซ้ำทั้งสิ้นจำนวน n_m ครั้ง โดยใช้เครื่องมือวัด วิธีวัดวิธีเดียวกันโดยชิ้นงานที่ถูกวัดมีทั้งสิ้นจำนวน n_p ชิ้น และผู้วัดมีทั้งสิ้น n_{op} คน ดังแสดงดังรูปที่ 2.2 ภาพรวมของการศึกษาระบบการวัด



รูปที่ 2.2 ภาพรวมของการศึกษาระบบการวัด

ซึ่งผู้วัดแต่ละคนจะวัดชิ้นงานแต่ละชิ้นซ้ำทั้งสิ้น n_M ครั้งโดยใช้เครื่องมือวัดและวิธีวัดเดียวกันโดย วิธีการศึกษา “Gauge repeatability and reproducibility”

1. เครื่องมือวัดควรมีการบำรุงรักษา (Maintenance) และการปรับแต่ง (Calibration) ตรวจสอบอยู่เป็นประจำ

2. การติดเครื่องหมาย สัญลักษณ์เพื่อแสดงหมายเลขชิ้นงาน (Number the parts) ไม่ควรให้ผู้ทำการวัดรู้ว่า ชิ้นงานที่กำลังวัดคือชิ้นงานหมายเลขใด เพราะอาจเกิดความลำเอียง บิดเบือนข้อมูลที่วัดได้จริง เนื่องจากผู้วัดต้องวัดชิ้นงานซ้ำหลายครั้ง แต่อาจใส่ข้อมูลเดิมทุกครั้ง (หมายเลขชิ้นงาน $1, 2, 3, \dots, n_p$)

3. ผู้วัดแต่ละคนจะวัดชิ้นงานทั้งหมดตาม “ลำดับแบบสุ่ม” (Random order) จนครบทุกชิ้นงานตัวอย่างโดยไม่รู้ว่าชิ้นงานใดมาก่อนหรือหลัง จนครบ 1 รอบ (ไม่วัดเรียงตามลำดับเลข $1, 2, 3, \dots, n_p$)

4. หลังจากวัดชิ้นงานตัวอย่างจนครบทุกชิ้น ให้บันทึกค่าที่วัดได้ และเริ่มวัดตามวิธีในข้อ 3 จนครบจำนวนครั้ง หรือรอบ (Repeat the cycle) ที่ต้องการวัดซ้ำ (n_M) สำหรับแต่ละชิ้นงานแล้วเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ผล ซึ่งข้อมูลที่ได้นั้น จะนำมาวิเคราะห์ผล ดังนี้

ความสามารถของการวัดซ้ำ (Gauge repeatability) คือความสามารถของการวัดซ้ำ หรือความผันแปรภายในเงื่อนไขของระบบการวัด หมายถึง ความผันแปรของค่าวัดในแต่ละรอบ ค่าที่ควรจะเป็น (Expected value) ของระบบการวัดที่ทำการวัด โดยการใช้ ผู้วัดคนเดียว อุปกรณ์วัดชิ้นเดียวกัน เพื่อการวัดงานชิ้นเดียวกันซ้ำๆ ซึ่งโดยทั่วไป ในอุตสาหกรรมการผลิต หมายถึง ความผันแปรของอุปกรณ์ (Equipment Variation; EV) ทั้งนี้เพราะความผันแปรภายในเงื่อนไขเดียวกันของระบบการวัดมักจะมีผลมาจากตัวอุปกรณ์ ความสามารถในการวัดซ้ำ โดยใช้ผู้วัดคนเดียวกัน ใช้เครื่องมือวัดชุดเดียวกัน วัดชิ้นงานชิ้นเดียวกันซ้ำหลายครั้ง และเปรียบเทียบความสามารถของการวัดซ้ำของผู้วัดแต่ละคนโดยพิจารณาจากขนาดความผันแปร หรือค่าพิสัย

ความสามารถในการทำซ้ำ (Gauge reproducibility) คือ ความสามารถในการทำซ้ำ หรือความผันแปรระหว่างเงื่อนไขของระบบวัด หมายถึง ความผันแปรที่แสดงถึงค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากการใช้อุปกรณ์วัดเดียวกันในการวัดชิ้นงานเดียวกันด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน ซึ่งในอุตสาหกรรมทั่วไปมักจะหมายถึง ความแตกต่างระหว่างพนักงานวัด ความสามารถในการทำซ้ำ โดยใช้ผู้วัดหลายคนเพื่อวัดชิ้นงานเดียวกัน โดยใช้เครื่องมือวัดชุดเดียวกัน ใช้วิธีวัดเดียวกัน วัด

ความสามารถการทำซ้ำ โดยพิจารณาความผันแปร ที่เกิดจากความแตกต่างระหว่างผู้วัด (จำนวนผู้วัด n_{op} คน)

การประเมินผล Repeatability และ Reproducibility ซึ่งมีทั้งหมด 3 วิธี คือ

- วิธีอาศัยค่าพิสัย (Range method) ซึ่งเหมาะกับกรณีการทดลองในช่วงสั้นๆ และไม่มี การวัดซ้ำ ข้อดีของวิธีการนี้คือ วิเคราะห์ผลได้ง่าย แต่มีข้อเสียที่สำคัญคือ ไม่สามารถแยก Repeatability ออกจาก Reproducibility ได้

- วิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and range method) ซึ่งเหมาะสมกับการทดลองซ้ำ ในแต่ละสิ่งตัวอย่างของพนักงานวัดแต่ละคน ซึ่งวิธีการนี้ทำให้สามารถแยก Repeatability ออกจาก Reproducibility ได้ แต่ไม่สามารถแยกความผันแปรจากสาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดออกจากค่า Repeatability ได้

- วิธีอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) ซึ่งเหมาะกับการวิเคราะห์ผลการศึกษาที่ได้มาจากการออกแบบการทดลอง เพื่อพิจารณาว่าผู้วัดชิ้นงาน และ ชิ้นงานเป็นสาเหตุความผันแปรอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ และวิธีการนี้จะสามารถแยกความผันแปร จากสาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดออกจากค่า Repeatability ได้ แต่อย่างไรก็ดีวิธีการ นี้มีข้อเสียตรงที่ความยุ่งยากในการคำนวณจึงต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (MINITAB) ช่วยใน การคำนวณ

การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis, FMEA) เพื่อเป็นการศึกษาลักษณะของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจากสาเหตุต่าง ๆ อีกทั้งพิจารณา ผลกระทบที่เกิดขึ้นและกลั่นกรองให้เหลือแต่สาเหตุที่มีความสำคัญต่อปัญหา ในการทำ FMEA เพื่อวิเคราะห์ข้อขัดข้องและผลกระทบนั้นสามารถสรุปได้จากการคำนวณค่าความเสี่ยงคือ (Risk Priority Number, RPN) ซึ่งค่า RPN นั้นสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$RPN = S \times O \times N$$

โดย

- O = Occurrence คือระดับความถี่ของการเกิดปัญหาความล้มเหลวหรือความ ผิดพลาดซึ่งเกณฑ์การให้คะแนนแสดงตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์การให้คะแนนระดับความถี่ของการเกิดปัญหา

โอกาสเกิด	จำนวนครั้งต่อรายการ	ระดับ
สูงมาก	100 ต่อ 1,000 / 1 ใน 10	10
สูง	50 ต่อ 1,000 / 1 ใน 20	9
	20 ต่อ 1,000 / 1 ใน 50	8
	10 ต่อ 1,000 / 1 ใน 100	7
ปานกลาง	2 ต่อ 1,000 / 1 ใน 500	6
	0.5 ต่อ 1,000 / 1 ใน 2000	5
	0.1 ต่อ 1,000 / 1 ใน 10000	4
ต่ำ	0.01 ต่อ 1,000 / 1 ใน 100000	3
	≤ 0.001 ต่อ 1,000 / 1 ใน 1000000	2
ต่ำมาก	ข้อบกพร่องไม่เกิดขึ้นเนื่องจากมีระบบป้องกัน	1

- S = Seveity คือระดับความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหาขึ้นซึ่งเกณฑ์การให้คะแนนแสดงตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 เกณฑ์การให้คะแนนระดับความรุนแรงของผลกระทบ

ผลกระทบ	เกณฑ์ความรุนแรงของผลกระทบต่อกระบวนการผลิต	ระดับ
ผลกระทบต่อความปลอดภัยและ/หรือกฎหมาย	มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้และ/หรือขัดต่อกฎหมายโดยไม่มี การเตือนล่วงหน้า	10
	มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้และ/หรือขัดต่อกฎหมายโดยมีการเตือนล่วงหน้า	9
ผลกระทบสูงมาก	ผลิตภัณฑ์อาจเสียทั้ง 100% ต้องหยุดกระบวนการผลิตหรือไม่สามารถส่งของได้เลย	8
ผลกระทบสูง	ผลิตภัณฑ์บางส่วนต้องถูกคัดแยก / กำจัดทิ้ง	7
	กระบวนการเกิดความเบี่ยงเบนรวมถึงความเร็วของการผลิตลดลง หรือต้องเพิ่มอัตรากำลัง	

ตารางที่ 2.4 เกณฑ์การให้คะแนนระดับความรุนแรงของผลกระทบ (ต่อ)		
ผลกระทบปานกลาง	ผลิตภัณฑ์ 100% อาจจะต้องถูก Rework ภายหลัง และ	6
	ผลิตภัณฑ์บางส่วน อาจจะต้องถูก Rework ภายหลัง และ ตรวจสอบซ้ำ	5
	ผลิตภัณฑ์ 100% อาจจะต้องถูก Rework ระหว่างกระบวนการ	4
	ผลิตภัณฑ์บางส่วน อาจจะต้องถูก Rework ระหว่างกระบวนการ	3
ผลกระทบเล็กน้อย	เกิดความไม่สะดวกต่อกระบวนการ, การทำงาน หรือ	2
ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบที่สังเกตเห็นได้	1

- D = Detecting คือระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหานั้นก่อนที่จะส่งมอบงานหรือผลิตภัณฑ์ไปให้ลูกค้า ซึ่งเกณฑ์การให้คะแนนแสดงตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 เกณฑ์การให้คะแนนระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหา

โอกาสในการตรวจพบ	เกณฑ์โอกาสในการตรวจพบปัญหา	ระดับ	ความถี่ในการตรวจพบ
ไม่มีโอกาสตรวจพบ	ไม่มีการควบคุมการในปัจจุบัน ไม่สามารถตรวจจับ หรือแยกแยะได้เลย	10	แทบจะเป็นไปไม่ได้เลย
ตรวจพบแทบจะไม่ได้	ข้อบกพร่อง และ/หรือสาเหตุของปัญหาไม่ง่ายในการตรวจจับ (เช่น ใช้การสุ่มตรวจอยู่)	9	เป็นไปได้ยากมาก
ปัญหาถูกตรวจจับได้ที่กระบวนการ	ข้อบกพร่องถูกตรวจจับได้ที่กระบวนการ ถัดไป โดยผู้ปฏิบัติงาน โดยตรวจสอบด้วยสายตา การสัมผัส การฟังเสียง	8	เป็นไปได้ยาก
ปัญหาถูกตรวจจับได้ระหว่างกระบวนการ	ข้อบกพร่องถูกตรวจจับได้ระหว่างกระบวนการโดยผู้ปฏิบัติงานโดยตรวจสอบด้วยสายตา การสัมผัส การฟังเสียง หรือที่กระบวนการถัดไป โดยใช้ Attribute Gauge	7	ต่ำมาก

ตารางที่ 2.5 เกณฑ์การให้คะแนนระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหา (ต่อ)			
ปัญหาถูกตรวจจับได้ที่กระบวนการ ถัดไป	ข้อบกพร่องถูกตรวจจับได้ที่กระบวนการ ถัดไป โดยผู้ปฏิบัติงาน	6	ต่ำ
ปัญหาถูกตรวจจับได้ระหว่าง	ข้อบกพร่องถูกตรวจจับได้ระหว่างกระบวนการ โดยผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งตรวจจับผลิตภัณฑ์ที่มีปัญหา และแจ้งให้ผู้ปฏิบัติงาน	5	ปานกลาง
ปัญหาถูกตรวจจับได้ที่กระบวนการ ถัดไป	ข้อบกพร่องถูกตรวจจับได้ที่กระบวนการ ถัดไป โดยระบบอัตโนมัติ ซึ่งจะคัดแยกผลิตภัณฑ์ที่มี ปัญหา และกักผลิตภัณฑ์ เพื่อป้องกันการเข้าสู่ กระบวนการถัดไปนั้น	4	ค่อนข้างสูง
ปัญหาถูกตรวจจับได้ระหว่าง	ข้อบกพร่องถูกตรวจจับได้ระหว่างกระบวนการ โดยระบบอัตโนมัติ ซึ่งจะคัดแยกผลิตภัณฑ์ที่มี ปัญหา และกักผลิตภัณฑ์	3	สูง
มีระบบป้องกันการเกิดปัญหา	มีระบบตรวจจับสาเหตุในระหว่างกระบวนการ โดยระบบอัตโนมัติ ซึ่งจะตรวจจับความผิดปกติ และป้องกัน	2	สูงมาก
ไม่ต้องตรวจจับ มีระบบป้องกัน ข้อบกพร่อง	มีระบบป้องกันจากสาเหตุ ซึ่งเป็นผลมาจากการออกแบบ Fixture เครื่องจักร หรือ ผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ที่มีปัญหาไม่สามารถเกิดขึ้นได้ เพราะป้องกันไว้ตั้งแต่การออกแบบกระบวนการ / ผลิตภัณฑ์แล้ว	1	เกือบจะมี ความแน่นอน

ในการให้คะแนนของทั้ง 3 พารามิเตอร์ของ S O และ D ข้างต้นนั้น จะทำการวิเคราะห์ และให้คะแนนในแต่ละพารามิเตอร์ โดยการระดมความคิดจากทีมงานเดียวกันกับการวิเคราะห์ ปัญหาจากความสัมพันธ์สาเหตุและผล แล้วคำนวณค่า RPN เพื่อที่จะถ่วงน้ำหนักให้เหลือเฉพาะสาเหตุที่มีความสำคัญต่อปัญหาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในขั้นตอนอื่นต่อไป

2.2.1.6 การตั้งสมมติฐานในการตรวจสอบ (Hypothesis Testing) จากที่กล่าวมาแล้วในลำดับขั้นตอนการออกแบบการทดลองว่า ในการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้วิธีทางสถิติ นั้น จะมีความเสี่ยงเข้ามาเกี่ยวข้องอยู่เสมอ ดังนั้นการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูล จึงต้องอยู่ภายใต้ความเสี่ยงดังกล่าว

การตั้งสมมติฐานในการตรวจสอบ จะตั้งสมมติฐานใน 2 ทางเลือก คือ

Ho: ระดับของปัจจัยไม่มีผลต่อกระบวนการผลิต

H1: ระดับของปัจจัยมีผลต่อกระบวนการผลิต

ทั้งนี้ภายใต้ความเสี่ยง 2 ตัวคือ α และ β

α หมายถึง ความเสี่ยงในการไม่ยอมรับสมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) ทั้งที่สมมติฐานหลักเป็นจริงหมายถึง ความเสี่ยงในการยอมรับสมมติฐานหลัก ทั้งที่สมมติฐานหลักไม่เป็นจริงจากความเสี่ยงของทั้ง 2 แบบนี้เอง จึงต้องมีการกำหนดจำนวนซ้ำที่ใช้ในการทดลอง เพื่อให้มีความเชื่อมั่นหรือมีความเสี่ยงตามที่กำหนดไว้ และในการทำการวิเคราะห์ ก็มักจะให้ค่าของ α คงที่ และ ให้ค่า β น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

2.2.1.7 การออกแบบการทดลอง (Design of experiments) ทำเพื่อตรวจสอบว่าปัจจัย (Factor) ใดหรือตัวแปร (Input Variable) ใดที่มีผลต่อสิ่งที่ให้ความสำคัญ (หรือความสนใจ) ในผลิตภัณฑ์ที่ออกมา (Output Response) ปัจจัย (Factor) ในการผลิตสามารถแบ่งได้เป็น

- ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการผลิต
- ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการผลิต

หลักในการออกแบบการทดลอง

(1) การทำแบบสุ่ม (Randomization) คือ การให้โอกาสในการเก็บข้อมูลของข้อมูลแต่ละตัวเท่า ๆ กันเพื่อกระจายผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ให้กับทุกระดับที่ศึกษาให้เท่า ๆ กัน การทำแบบสุ่มยังสามารถแบ่งออกได้อีกเป็น 3 วิธี คือ

- การทำแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete randomization)
- การทำแบบสุ่มอย่างง่าย (Simple randomization)
- การทำแบบสุ่มแบบสมบูรณ์ภายในบล็อก (Complete randomization within blocks)

(2) การทำซ้ำ (Replication) คือ การทำการทดลองซ้ำในแต่ละข้อมูล เพื่อกำจัดเอาผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ออก

(3) การบล็อก (Blocking) คือ การจัดกลุ่มทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วง เพื่อลดผลจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ แต่ไม่จำเป็นที่จะต้องมีการทำเสมอไป

การเลือกแบบการทดลองแบ่งได้เป็น 3 กรณี ได้แก่

1. แผนการทดลองแบบสมบูรณ์ (Complete Randomized Design) ใช้กับการทดลองปัจจัยเดียว (Single factor experiment) หรือปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ที่มีขนาดไม่มากนัก และไม่มีปัจจัยรบกวน ซึ่งการทดลองจะทำโดยยึดหลักการทดลองแบบสุ่ม (Randomization) และการดำเนินการซ้ำ (Replication)

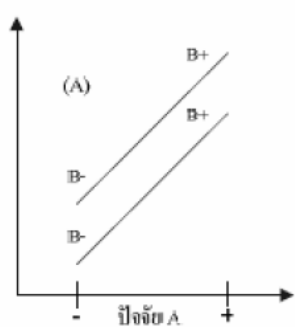
2. แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่ม (Randomized Complete Block Design) ใช้กับการทดลองที่มีปัจจัยเดียว และทราบว่ามีปัจจัยรบกวน (Nuisance factor) อยู่ใน การทดลองมีหลักการคือ

2.1 ทำการสุ่มทดลองทุกครั้ง (Random)

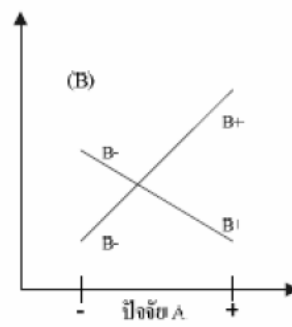
2.2 ทำการทดลองซ้ำตามจำนวนซ้ำที่กำหนด (Replicate)

2.3 ทำการบล็อก (Blocking) เพื่อลดปัจจัยรบกวน ซึ่งอาจจะทำการบล็อกมากกว่าหนึ่งบล็อกก็ได้ขึ้นกับรูปแบบของการทดลอง

3. แผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial Design) ใช้กับการทดลองที่มีปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัย ซึ่งเป็นการทดลองที่มีหลายปัจจัย (Multiple factor experiment) ดังนั้นนอกจากจะเกิดอิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main effect) ยังอาจเกิดอิทธิพล (effect) ของอีกปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงด้วย ตัวอย่างการเกิดอิทธิพลของปัจจัยร่วมหรือปฏิสัมพันธ์ ดังรูปที่ 2.3 ผลของอิทธิพลของปัจจัยร่วมที่เกิดขึ้นต่อผลการทดสอบ



1. ไม่มีผลของอิทธิพลของปัจจัยร่วม



2. มีผลของอิทธิพลของปัจจัยร่วม

รูปที่ 2.3 ผลของอิทธิพลของปัจจัยร่วมที่เกิดขึ้นต่อผลการทดสอบ

แผนการทดลองแบบแฟกทอเรียลทั่วไป (Factorial Design) มีรูปแบบต่างๆ ไป คือ $A \times B \times C \times \dots$ แฟกทอเรียล เช่น $3 \times 2 \times 2$ แฟกทอเรียล รูปแบบของแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียลที่สำคัญ ได้แก่

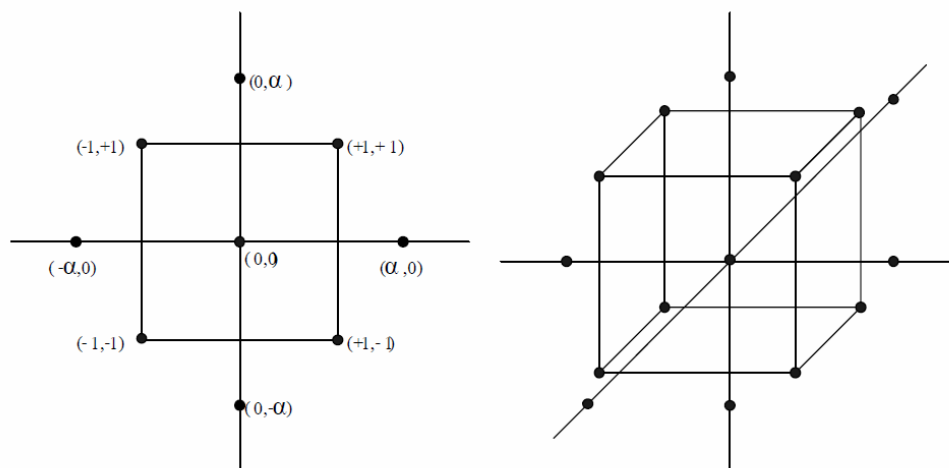
1. 2^k แฟกทอเรียล ใช้กับการทดลองหลายปัจจัย ที่กำหนดระดับของปัจจัยเพียงแค่ 2 ระดับในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย เช่น 2^2 แฟกทอเรียล, 2^3 แฟกทอเรียล เป็นต้น
2. 3^k แฟกทอเรียล ใช้กับการทดลองหลายปัจจัย ที่กำหนดระดับของปัจจัยไว้เพียง 3 ระดับ ในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย เช่น 3^2 แฟกทอเรียล, 3^3 แฟกทอเรียล เป็นต้น เหตุที่ใช้ เนื่องจากการทดลองแบบ 2^k แฟกทอเรียล นั้นเหมาะสมกับรูปแบบ (Model) ที่มีความเป็นเส้นตรง (Linearity) จึงมีความถูกต้องในการตีความข้อมูลได้อย่างถูกต้อง
3. การออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับที่เป็น $1/2$ ของการออกแบบ 2^k เป็นการทดลองที่ใช้ในกรณีเมื่อการทดลองมีหลายปัจจัยทำให้ต้องเสียเวลาในการเก็บข้อมูลมาก โดยจะทำให้ความสัมพันธ์ของทรีเมนต์บางตัวถูกตัดออกไปโดยอาศัยหลักการของการคอนฟาวด์ซึ่งจะทำให้จำนวนหน่วยการทดลองนั้นลดลง ตัวอย่างเช่นเมื่อทดสอบผลของ 3 ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ แต่เนื่องด้วยไม่สามารถที่จะทำการทดลองร่วมปัจจัยทั้งหมด $2^3 = 8$ การทดลองได้เพราะว่าทรัพยากรที่มีอยู่สามารถทดลองได้เพียง 4 การทดลองเท่านั้น เพราะว่าการออกแบบประกอบด้วย การทดลองร่วมปัจจัยจำนวน $2^{3-1} = 4$ การทดลอง ซึ่งก็คือ $1/2$ ของการออกแบบ 2^3 หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเป็นการออกแบบ 2^{3-1}

2.2.1.8 Response Surface Methodology (RSM) คือ เทคนิคที่เกิดจากการรวมเทคนิคทางคณิตศาสตร์ และสถิติที่ใช้สร้างตัวแบบ และวิเคราะห์ปัญหาซึ่งตัวแปรตอบสนองได้รับอิทธิพลจากตัวแปรหลายๆตัวแปร และมีวัตถุประสงค์ในการหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมของตัวแปรเหล่านั้น ซึ่งจะใช้การทดลองที่มีการออกแบบจำลองอันดับที่สอง แต่เนื่องจากการออกแบบแบบจำลองอันดับที่สองไม่สามารถใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลได้ ดังนั้นในการออกแบบการทดลองจึงเติมการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลให้มีจุดเพียงพอที่จะหาแบบจำลองอันดับที่สองได้ ซึ่งการออกแบบลักษณะนี้มีหลายประเภทดังต่อไปนี้

การออกแบบส่วนผสมกลาง (Central Composite Design: CCD)

โดยทั่วไป CCD จะประกอบไปด้วย 2^k แฟกทอเรียลที่มี n_f รัน, 2^k รันในแนวแกนหรือในแนวรูปดาว (Star) และ n_c รันที่จุดศูนย์กลางการพัฒนา CCD ในทางปฏิบัติส่วนมากจะเกิดจากการทดลองแบบเป็นอันดับ นั่นคือ การออกแบบ 2^k ถูกนำมาใช้เพื่อฟิตแบบจำลองอันดับหนึ่ง แล้วพบว่า

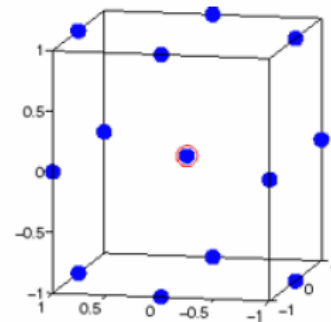
แบบจำลองนี้ไม่เหมาะสมกับข้อมูลนี้ ดังนั้นจึงได้มีการรันเพิ่มขึ้นในแนวแกน เพื่อให้สามารถใส่พจน์ควอดราติกลงในแบบจำลองได้ CCD เป็นการออกแบบที่มีประสิทธิภาพมากในการฟิตแบบจำลองอันดับที่สอง มีพารามิเตอร์อยู่สองตัวในการออกแบบที่จะต้องถูกกำหนด นั่นคือระยะทาง α ของการรันในแนวแกนของจุดศูนย์กลางในการออกแบบ และจำนวนของจุดศูนย์กลาง n_c แสดงดังรูปที่ 2.4 การออกแบบ CCD เมื่อ $k = 2$ และ $k = 3$



รูปที่ 2.4 การออกแบบ CCD เมื่อ $k = 2$ และ $k = 3$

การออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box – Behnken Design) เป็นการออกแบบสามระดับสำหรับพื้นผิวผลตอบ การออกแบบถูกสร้างขึ้นจากการรวมเอาการออกแบบแฟกทอเรียล 2^k กับการออกแบบบล็อกไม่บริบูรณ์ ผลของการออกแบบมีประสิทธิภาพมากในด้านจำนวนของการรันที่ต้องการ และการออกแบบนี้ยังมีความสามารถในการหมุน หรือเกือบหมุนได้อีกด้วย

Run	x1	x2	x3
1	-1	-1	0
2	-1	1	0
3	1	-1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	-1	0	1
7	1	0	-1
8	1	0	1
9	0	-1	-1
10	0	-1	1
11	0	1	-1
12	0	1	1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0



รูปที่ 2.5 การออกแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคนสำหรับสามตัวแปร

จากรูปที่ 2.5 การออกแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคนสำหรับสามตัวแปร แสดงให้เห็นถึงการออกแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคนที่มีตัวแปร 3 ตัวแปร รูปทางเรขาคณิตของการออกแบบ จะสังเกตเห็นว่าการออกแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคนเป็นการออกแบบรูปทรงกลม ที่ทุกจุดวางอยู่บนรูปทรงกลมรัศมี $\sqrt{2}$ นอกจากนี้ การออกแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคนไม่ได้รวมเอาจุดใดๆ ที่เป็นจุดยอดของรูปลูกบาศก์ที่สร้างจากขึ้นจากขีดจำกัดบนและล่างของแต่ละตัวแปรเอาไว้ การกระทำเช่นนี้เป็นประโยชน์อย่างมากเมื่อจุดที่อยู่บนมุมของลูกบาศก์ คือ การรวมของปัจจัยระดับ (Factor Level Combination) ที่แพงมากหรือเป็นไปได้ที่จะทำการทดลอง เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านกายภาพของกระบวนการ

2.2.1.8 แผนภูมิควบคุม (Control Chart) คือ เครื่องมือที่ใช้เพื่อตรวจจับหาข้อบกพร่องที่เป็นแบบเรื้อรังและแบบเฉียบพลัน เป็นการตรวจจับจุดค่าวัดเกิดขึ้นทันทีทันใด ณ เวลาใดๆ ที่ผิดไปจากค่าขอบเขตควบคุม และเป็นการจับแนวโน้ม (Trend) หรือ วัฏจักรการเกิดความผิดปกติต่างๆจึงทำให้สามารถติดตามผลที่เกิดขึ้นในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งของกระบวนการได้ตลอดเวลา และสามารถวิเคราะห์หาสาเหตุเพื่อแก้ไขได้ทันที่

แผนภูมิควบคุมเป็นแผนภูมิที่มีโครงสร้างประกอบด้วยเส้นควบคุม 3 เส้น ได้แก่ เส้นค่ากลาง (Center Line : CL) คือเส้นที่แสดงจำนวนหรือขนาดของข้อกำหนดหรือเป้าหมายการผลิต และเส้นควบคุมอีก 2 เส้นได้แก่ ขีดจำกัดควบคุมบน (Upper Control Limit : UCL) และขีดจำกัดควบคุมล่าง (Lower Control Limit : LCL) คือเส้นขอบเขตของการควบคุมค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดที่ยอมให้เกิดขึ้น ถ้าผลผลิตที่ได้มีค่าที่กำหนดอยู่ภายในขอบเขตการควบคุมระหว่าง 2 เส้นนี้แสดง

ว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ หากว่าค่าดังกล่าวอยู่นอกขอบเขตการควบคุม จะถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับไม่ได้และต้องมีการวิเคราะห์สาเหตุเพื่อปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องดังกล่าวต่อไป

แผนภูมิควบคุมเชิงปริมาณหรือ เป็นข้อมูลที่ได้จากการวัด เรียกว่า Variable Control Chart โดยทั่วไปนิยมใช้กัน 2 อย่างคือ แผนภูมิ \bar{X} - R chart สำหรับข้อมูลแบบกลุ่ม และ X-MR สำหรับข้อมูลเชิงเดี่ยว

1. แผนภูมิ \bar{X} เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมตรวจสอบและบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ว่าอยู่ในสภาพปกติหรือไม่

2. แผนภูมิ R chart เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมตรวจสอบและบอกถึงการเปลี่ยนแปลงค่าพิสัย (Range) ของผลิตภัณฑ์ว่าอยู่ในสภาพปกติหรือไม่

3. แผนภูมิ X chart เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมคุณสมบัติที่วัดได้จากผลิตภัณฑ์

4. แผนภูมิ MR chart เป็นแผนภูมิที่ใช้เพื่อควบคุมค่าการกระจายของคุณสมบัติที่วัดด้วยค่าพิสัย

แผนภูมิควบคุมเชิงคุณลักษณะ หรือเป็นข้อมูลที่ได้จากการตรวจนับ เรียกว่า Attribute Chart โดยแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

1. แผนภูมิควบคุมสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสีย P chart และแผนภูมิควบคุมจำนวนผลิตภัณฑ์เสีย NP chart เป็นแผนภูมิที่ตรวจสอบโดยการสุ่มตัวอย่าง แล้วระบุจำนวนของดีหรือของเสียในกระบวนการผลิตว่าอยู่ในสภาพปกติหรือไม่

2. แผนภูมิควบคุมจำนวนตำหนิ C chart เป็นแผนภูมิที่ใช้ตรวจสอบโดยการนับจำนวนข้อตำหนิที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์นั้นมีความซับซ้อนหรือมีข้อกำหนดมากมาย การที่จะระบุว่าเป็นของดีหรือของเสียทำได้ยากหรือมีค่าใช้จ่ายสูง สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูง แผนภูมิจำนวนตำหนิ ได้แก่ แผนภูมิ C chart เมื่อจำนวนตัวอย่างกลุ่มย่อยที่มีค่าคงที่และเท่ากับ 1 หน่วย และ U Chart ใช้ในกรณีที่จำนวนหน่วยตัวอย่างของกลุ่มย่อยมีค่ามากกว่า 1 หน่วย

สรุปลักษณะที่สำคัญของแผนภูมิควบคุมมีลักษณะคล้ายกราฟเส้นตรง แต่เนื่องมาจากมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเฝ้าติดตามดูความผันแปรของค่าของข้อมูล จึงมีองค์ประกอบเพิ่มเติม ได้แก่

1. เส้นพิกัดด้านบน (Upper Control Limit: UCL)
2. เส้นพิกัดด้านล่าง (Lower Control Limit: LCL)
3. เส้นกลาง (Center Line: CL)

สิ่งที่สำคัญที่สุดของการควบคุมคุณภาพโดยใช้แผนภูมิ คือ การอ่านหรือตีความหมายจาก

ภาพที่ปรากฏบนแผนภูมิ เพื่อโยงเหตุผลไปที่สภาวะของกระบวนการผลิต ซึ่งได้ผลิตข้อมูลที่เราได้นำมาเขียนเป็นแผนภูมิควบคุมเพราะอาการผิดปกติต่างๆในกระบวนการผลิตที่จะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะแสดงออกให้เป็นรูปธรรมที่แผนภูมิควบคุมนี้เอง และเมื่อเราตรวจพบความผิดปกติของกระบวนการผลิตโดยอ่านจากแผนภูมิควบคุมนี้แล้ว เราได้ไปทำการแก้ไขที่สาเหตุของความผันแปรใด ๆ ในกระบวนการผลิตนั้น เพื่อปรับสภาพกระบวนการผลิตให้กลับสู่สภาวะที่อยู่ในควบคุม (In Controlled) ได้ต่อไปเมื่อการอ่านแผนภูมิควบคุมอยู่นอกการควบคุมจะพบได้อย่างชัดเจน คือ มีจุดในแผนภูมิปรากฏอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุมเรียกว่า จุดอยู่นอกควบคุม (Out of Control) อาจอยู่นอกค่าสูงหรือค่าต่ำก็ได้ ถ้าข้อมูลอยู่ภายใต้ความผันแปรตามธรรมชาติข้อมูลจะมีพฤติกรรมแบบสุ่มรอบๆเส้นกลางและมีขนาดของความผันแปรอยู่ภายใต้พิสัยด้านบนและพิสัยด้านล่าง

2.3 ความรู้เกี่ยวกับวงจรรวม

Integrated Circuit หมายถึง วงจรรวม โดยการนำเอา ไดโอด ทรานซิสเตอร์ ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และองค์ประกอบวงจรต่าง ๆ มาประกอบรวมกันบนแผ่นวงจรรขนาดเล็ก ในปัจจุบันแผ่นวงจรรนี้จะทำด้วยแผ่นซิลิคอน บางทีอาจเรียก ชิพ (Chip) และสร้างองค์ประกอบวงจรต่าง ๆ ฝังอยู่บนแผ่นผลึกนี้ ส่วนใหญ่เป็นชนิดที่เรียกว่า Monolithic การสร้างองค์ประกอบวงจรรบนผิวผลึกนี้ จะใช้กรรมวิธีทางด้านภาพถ่ายอย่างละเอียด ผสมกับขบวนการทางเคมีทำให้ลายวงจรรมีความละเอียดมากๆ สามารถบรรจุองค์ประกอบวงจรรได้จำนวนมาก ความหนาแน่นขององค์ประกอบวงจรร ที่บรรจุลงใน IC นี้ มีตั้งแต่หลายสิบตัวซึ่งเรียกว่า SSI (Small Scale Integrated) จนกระทั่งถึงหลายสิบล้านตัว ซึ่งเรียกว่า ULSI (Ultra Large Scale Integrated)

ข้อดีของ IC คือ ไอซีจะรวมวงจรรที่ซับซ้อนเข้ามาเป็นวงจรรเดียวกัน ทำให้มีขนาดเล็กลง ซึ่งจะทำให้เครื่องอิเล็กทรอนิกส์มีขนาดเล็กและเบาลงมาก วงจรรในเครื่องจะถูกแบ่งเป็นบล็อกที่มีหน้าที่หลักเฉพาะ วงจรรในแต่ละบล็อกจะถูกทำเป็น IC ทำให้การประกอบวงจรรทั้งหมดทำได้ง่าย โดยเพียงต่อ บล็อกหรือ IC เหล่านี้เข้าด้วยกันเท่านั้น จึงทำให้การต่อสายน้อยลง จุดบัดกรีน้อยลง และจุดเสียที่จะเกิดก็น้อยลงด้วย การผลิต IC ชนิด Monolithic ซึ่งสร้างองค์ประกอบวงจรรทั้งหมดลงบนแผ่นผลึกแผ่นเดียว ก็สามารถทำได้พร้อมกันหลายร้อยหลายพันตัวบนแผ่นผลึก เวเฟอร์ (Wafer) แผ่นเดียว โดยการสร้างแบบ IC ที่เหมือน ๆ กันลงบนแผ่นเวเฟอร์ทีเดียว แล้วจึงตัดแบ่งเป็น IC แต่ละตัวในภายหลัง ทำให้สามารถ ผลิต IC ได้เป็นจำนวนมากในเวลาเดียวกันและราคาของ IC ก็จะถูกลงมาก IC อาจจะไม่สามารถรวมเอาองค์ประกอบวงจรร ทุกชนิดเข้ามาใน

ตัวมัน ได้หมด วงจรที่มีองค์ประกอบของวงจรมหาศาล เช่น คอยล์ หรือ ทรานซิสเตอร์ตัวใหญ่ที่ใช้ในการขับกระแสขนาดใหญ่ก็ต้องนำมาต่อที่ด้านนอก ของ IC อีกครั้งเพื่อให้วงจรทั้งหมดทำงานได้อย่างถูกต้อง

IC แต่ละตัวจะมีพื้นที่ในการสร้างวงจรมหาศาล 20-200 ตารางมิลลิเมตร บน IC นี้จะรวมเอา ไดโอด ทรานซิสเตอร์ ตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุประกอบกันบนพื้นที่ขนาดเล็ก ๆ จำนวนองค์ประกอบของวงจรมหาศาลจะเพิ่มขึ้นตามการพัฒนาของเทคโนโลยี ถ้าจำนวนของวงจรมหาศาลมีจำนวนตั้งแต่ 1,000 ถึง 100,000 ตัว ก็เป็น LSI (Large Scale Integration) ถ้าจำนวนตั้งแต่ 100,000 ถึง 10,000,000 ตัวก็เป็น VLSI (Very Large Scale Integration) ซึ่งเป็นได้แก่หน่วยความจำที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ถ้าจำนวนมากกว่า 10 ล้านตัวก็เป็น ULSI โดย IC หน่วยความจำชนิด D-RAM ขนาด 16 M bit จะมีจำนวนองค์ประกอบของวงจรมหาศาล 3.5 ล้านตัว และชนิด D-RAM ขนาด 64 M bit ซึ่งมีความหนาแน่นที่สุดในปัจจุบัน จะมีจำนวนองค์ประกอบประมาณ 140 ล้านตัว

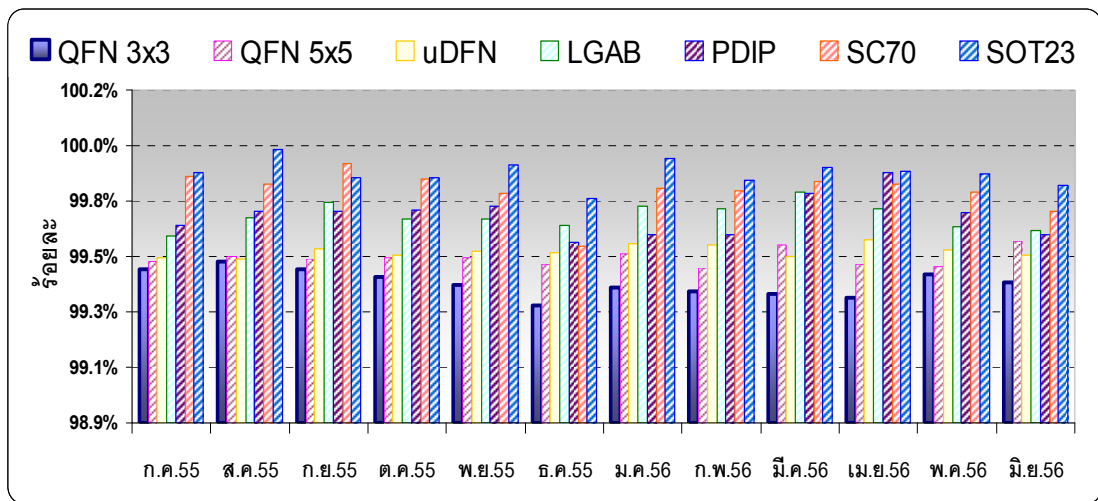
บทที่ 3

การนิยามปัญหา (Define Phase)

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนแรกที่เป็นจุดเริ่มต้นตามวิธีการของซิกม่า ซิกมา ที่จะนำมาประยุกต์ใช้งาน เพื่อกำหนดขอบเขตและเป้าหมายของงานวิจัย และนำไปสู่การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตวงจรรวม ที่จะทำการศึกษาสำหรับงานวิจัยนี้

3.1 สภาพปัญหาในปัจจุบัน

จากการรวบรวมข้อมูลผลผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษาตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2555 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2556 พบว่าผลผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์ QFN ขนาด 3x3 มิลลิเมตร มีค่าต่ำกว่าผลิตภัณฑ์อื่น ๆ โดยมีค่าผลผลิตเฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับร้อยละ 99.41 และต่ำกว่าเกณฑ์ของบริษัทที่ตั้งไว้คือร้อยละ 99.5 ดังแสดงรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 อัตราผลผลิตเปรียบเทียบแต่ละผลิตภัณฑ์

จากการพิจารณาด้านทุนที่เกิดจากของเสียนั้นมีสองลักษณะคือ มูลค่าความเสียหายที่เกิดจากของเสียในกระบวนการผลิตและมูลค่าความเสียหายที่เกิดจากข้อร้องเรียนจากลูกค้า จากการศึกษาข้อมูลจากเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2555 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2556 ดังแสดงมูลค่าความเสียหายดังนี้

1. มูลค่าความเสียหายที่เกิดจากของเสียในกระบวนการผลิต โดยมูลค่าความเสียหายเปรียบเทียบในแต่ละผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษาดังแสดงตารางที่ 3.1 พบว่าผลิตภัณฑ์ QFN ขนาด 3x3 มิลลิเมตรนั้นก็ยังมีสัดส่วนของเสียและมูลค่าความสูญเสียมากที่สุดซึ่งเท่ากับ 681,596 บาทต่อปี

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนของเสียและมูลค่าความเสียหายเปรียบเทียบในแต่ละผลิตภัณฑ์ในระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2555 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2556

ผลิตภัณฑ์	ผลผลิตรวม (ชิ้น)	PPM ของเสียเฉลี่ยต่อเดือน	มูลค่าความสูญเสีย(บาทต่อพันหน่วย)	มูลค่าความเสียหายเฉลี่ย (บาทต่อปี)
QFN 3x3	65,830,295	5,883	1,760	681,596
QFN 5x5	24,988,655	4,634	2,080	240,862
uDFN	37,180,892	4,276	1,280	203,487
LGAB	34,026,765	2,898	1,376	135,702
PDIP	6,317,078	3,026	704	13,457
SC70	34,691,347	2,352	864	70,505
SOT23	25,799,852	1,523	928	36,460

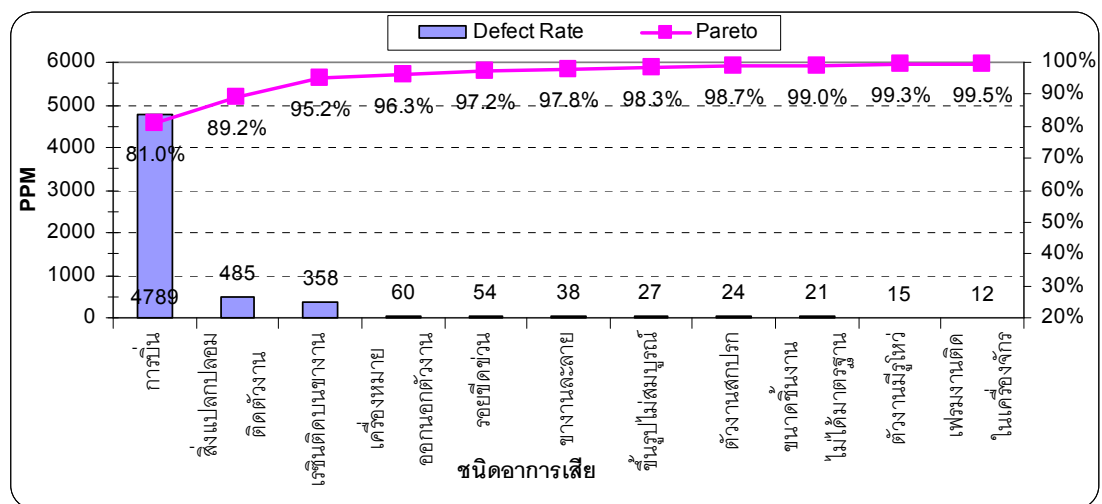
2. มูลค่าความเสียหายที่เกิดจากข้อร้องเรียนจากลูกค้า โดยข้อมูลการร้องเรียนจากลูกค้าที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ QFN ขนาด 3x3 มิลลิเมตร ของบริษัทกรณีศึกษาดังแสดงตารางที่ 3.2 พบว่ามีข้อร้องเรียนซึ่งเกิดจากการคืนทั้งล็อตและต้องทำลายทิ้ง จากกรณีลูกค้าตรวจพบของเสียเป็นจำนวนร้องเรียนทุกลักษณะของผลิตภัณฑ์ QFN 3x3 ทั้งหมด 11 ครั้ง ซึ่งมีมูลค่าความเสียหาย 561,028 บาทต่อปี

ตารางที่ 3.2 มูลค่าความเสียหายที่รับคืนจากการร้องเรียนจากลูกค้าที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ QFN ขนาด 3x3 มิลลิเมตร ระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2555 - มิถุนายน พ.ศ. 2556

เดือน	จำนวนการร้องเรียน	จำนวนผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่รับคืนจากการร้องเรียนของลูกค้า (ชิ้น)	มูลค่าความเสียหายจากการร้องเรียน (บาท)
ก.ค.55	1	34,183	60,162
ส.ค.55	1	33,345	58,687
ก.ย.55	0	0	0
ต.ค.55	1	29,462	51,853
พ.ย.55	2	62,180	109,437
ธ.ค.55	0	0	0
ม.ค.56	1	0	0
ก.พ.56	0	0	0
มี.ค.56	2	58,510	102,978
เม.ย.56	1	31,742	55,866
พ.ค.56	2	69,344	122,045
มิ.ย.56	0	0	0
รวม	11	318,766	561,028

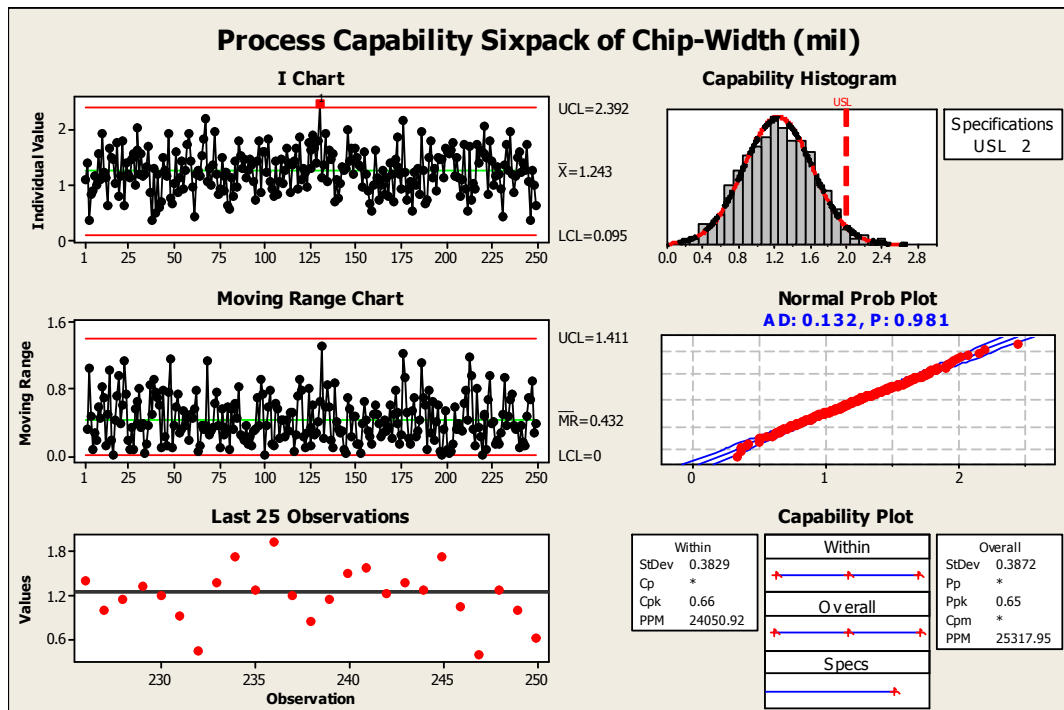
จากข้อมูลในรูปที่ 3.1 ตารางที่ 3.1 และ 3.2 นั้นนำไปสู่ความสนใจที่จะนำผลิตภัณฑ์ QFN ที่มีขนาด 3x3 มิลลิเมตร มาวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหาและทำการแก้ไข โดยพิจารณาของเสียที่เกิดขึ้นสำหรับผลิตภัณฑ์ QFN ที่มีขนาด 3x3 มิลลิเมตร พบว่ามีของเสียหลายลักษณะเช่น การบิน (Package Chip) สิ่งแปลกปลอมติดบนตัวงาน (Foreign Material) เเรชินติดบนขางาน (Bleed out on lead) เครื่องหมายออกนอกตัวงาน (Mark out of package) ขึ้นรูปไม่สมบูรณ์ (Incomplete mold) รอยขีดข่วน (Scratch package) ตัวงานสกปรก (Contamination) เป็นต้น จากการนำปริมาณของเสียทุกชนิดมาสรุปในรูปที่ 3.2 พบว่าปริมาณของเสียที่เกิดจากการผลิตชิ้นงาน 1 ล้านชิ้น (Part per million, PPM) แยกตามลักษณะของเสียของผลิตภัณฑ์ QFN ขนาด 3x3 มิลลิเมตร ระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2555 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2556 เป็นของ

เสียที่เกิดการบิ่นมากที่สุดเท่ากับ 4,789 PPM ต่อเดือน คิดเป็น 81.0% ของของเสียทุกลักษณะ โดยมีมูลค่าเฉลี่ยของของเสียที่เกิดจากการบิ่นและต้องทำลายทิ้งเมื่อเทียบกับมูลค่าความสูญเสียของของเสียทุกลักษณะเท่ากับ 551,964 บาทต่อปี ด้วยหลักการพาเรโตหรือการวิเคราะห์ด้วยกฎ 80/20 นั้น จะพิจารณาหาชนิดของเสียที่มีมากกว่า 80 % จากของเสียทั้งหมดไปทำการวิเคราะห์หาสาเหตุ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้เลือกของเสียที่เกิดลักษณะบิ่นมาเป็นกรณีศึกษาเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุและทำการปรับปรุง



รูปที่ 3.2 ปริมาณของเสียเฉลี่ยต่อเดือนของผลิตภัณฑ์ QFN ขนาด 3x3 ระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2555 - มิถุนายน พ.ศ. 2556

การศึกษาดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ หรือ Cpk ในกระบวนการ Singulation ที่มีตัวแปรตอบสนองคือความกว้างของลักษณะบิ่น โดยความสามารถของกระบวนการของความกว้างของลักษณะบิ่นในผลิตภัณฑ์ QFN ขนาด 3x3 มิลลิเมตร ดังแสดงรูปที่ 3.3 พบว่ามีค่าค่อนข้างต่ำโดยพิจารณาจาก Cpk มีค่าเท่ากับ 0.66 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์การยอมรับด้านเดียวที่ 1.25 (Montgomery, D.C. 2009.) จึงสรุปได้ว่าค่าความกว้างของลักษณะบิ่นมีการกระจายตัวกว้างและความผันแปรของกระบวนการสูงเกินค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ และค่าเฉลี่ยความกว้างของลักษณะบิ่นมีค่าบางส่วนที่มากกว่าค่าเป้าหมายคือ มากกว่า 2 mils ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องแก้ปัญหาดังกล่าวโดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา มาใช้เพื่อปรับปรุงและเพิ่มความสามารถกระบวนการในงานวิจัยนี้



รูปที่ 3.3 ความสามารถของกระบวนการของความกว้างของลักษณะป็น

3.2 การจัดตั้งคณะทำงาน

ในการดำเนินงานวิจัยนี้ ได้มีการจัดตั้งทีมงานของงานวิจัยนี้โดยคัดเลือกจากผู้มีประสบการณ์ และมีความรู้ในกระบวนการผลิตที่มาจากส่วนงานต่าง ๆ ดังประกอบไปด้วย

- ผู้จัดการฝ่ายผลิต (Production Manager)
- ผู้จัดการฝ่ายซ่อมบำรุง (Maintenance Manager)
- ผู้จัดการฝ่ายควบคุมการผลิต (Process Engineer Manager)
- หัวหน้างานฝ่ายผลิต (Production Supervisor)
- วิศวกรควบคุมการผลิต (Process Engineer)
- วิศวกรควบคุมการผลิต (Process Engineer)
- วิศวกรฝ่ายประกันคุณภาพ (QA Engineer)

3.3 วัตถุประสงค์ เป้าหมาย และตัวชี้วัดของงานวิจัย

จากสภาพปัญหาที่ได้แสดงไว้ข้างต้นนั้นจึงได้มีการกำหนดปัญหาเพื่อที่จะทำการปรับปรุงคือการเพิ่มดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการของความกว้างจากการป็นในกระบวนการผลิต

IC โดยให้มีค่าอยู่ภายในข้อกำหนดของลูกค้ำคือ น้อยกว่า 2 mil และส่งผลให้ความสามารถของกระบวนการ Cpk มีค่าสูงขึ้นจากปัจจุบันเท่ากับ 0.66 โดยกำหนดเป้าหมายที่ 1.25

3.4 สรุปผลขั้นตอนระยะนิยามปัญหา

ในขั้นตอนนิยามปัญหานี้หลังจากที่มีการศึกษาและพิจารณากระบวนการผลิตและสภาพปัญหาในปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษาพบว่า ปัญหาของเสียเนื่องจากลักษณะการบิ่นของผลิตภัณฑ์ QFN ขนาด 3x3 ออกนอกมากกว่าขนาดความกว้างข้อกำหนดของลูกค้ำ โดยการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิตนี้สามารถทำได้โดยการเพิ่มดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการของความกว้างจากการบิ่นในกระบวนการผลิต IC โดยที่เป้าหมายคือการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการ Cpk จากปัจจุบันเท่ากับ 0.66 ให้เพิ่มเป็น 1.25 โดยที่ต้องไม่เกิดผลกระทบต่อปัญหาของเสียชนิดอื่น ๆ ที่สัมพันธ์กันของกระบวนการ

บทที่ 4

ระบบการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Measure phase)

หลังจากกระทำการนิยามปัญหาในบทก่อนหน้าไปแล้ว วัตถุประสงค์ของบทที่ 4 คือการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหา โดยใช้เครื่องมือคุณภาพและสถิติมาประยุกต์ในการศึกษาสาเหตุของปัญหา เริ่มจากการวิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงตรงของระบบการวัดความกว้างของลักษณะบิ่น ก่อนทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหา หลังจากนั้นได้รวบรวมความคิดจากทีมงานที่ได้แต่งตั้งขึ้นตั้งแต่ระยะนิยามปัญหา ซึ่งเป็นผู้ที่มีประสบการณ์และความชำนาญในกระบวนการผลิตที่นำมาพิจารณา เพื่อคัดเลือกปัจจัยนำเข้าไปที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อของเสียลักษณะบิ่นมาทำการวิเคราะห์ในระลอกขั้นตอนต่อไป

4.1 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis)

ระบบการวัดมีความสำคัญมากในการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนในระบบการวัด โดยการจำแนกค่าที่ได้จากการวัดเป็น ค่าจริง ค่าคลาดเคลื่อนเชิงระบบ ค่าคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัด และค่าคลาดเคลื่อนอื่น ๆ โดยค่าคลาดเคลื่อนจากการวัดนั้นประกอบด้วยค่าคลาดเคลื่อนที่สามารถกำจัดได้ และกำจัดไม่ได้ ดังนั้นเพื่อให้ระบบการวัดมีมาตรฐาน จึงจำเป็นที่จะกำจัดค่าคลาดเคลื่อนที่สามารถควบคุมได้ก่อน จากนั้นจึงทำการสอบเทียบเครื่องมือเพื่อกำจัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ

ในงานวิจัยนี้ ตัวแปรตอบสนองที่ศึกษาคือความกว้างของลักษณะบิ่นของผลิตภัณฑ์ QFN ขนาด 3x3 มิลลิเมตร ที่ได้จากการกระบวนการ Singulation ซึ่งการวัดความกว้างดังกล่าวทำได้โดยใช้กล้องไมโครสโคป ซึ่งเกณฑ์ในการยอมรับขนาดความกว้างของลักษณะบิ่นคือน้อยกว่า 2 mil โดยไม่พิจารณาในด้านยาว และในกรณีความเที่ยงของเครื่องมือวัดนั้นอนุমানได้ว่ามีความถูกต้องอยู่แล้วเนื่องจากบริษัทกรณีศึกษาได้รับการรับรองมาตรฐาน ISO9000 ซึ่งมีการสอบเทียบเครื่องมือวัดตามกำหนดเวลา ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการพิจารณาคุณสมบัติทางด้านความแม่นยำของระบบการวัดซึ่งเกิดจากความแตกต่างของพนักงาน ดังแสดงผลการวิเคราะห์ผลดังนี้

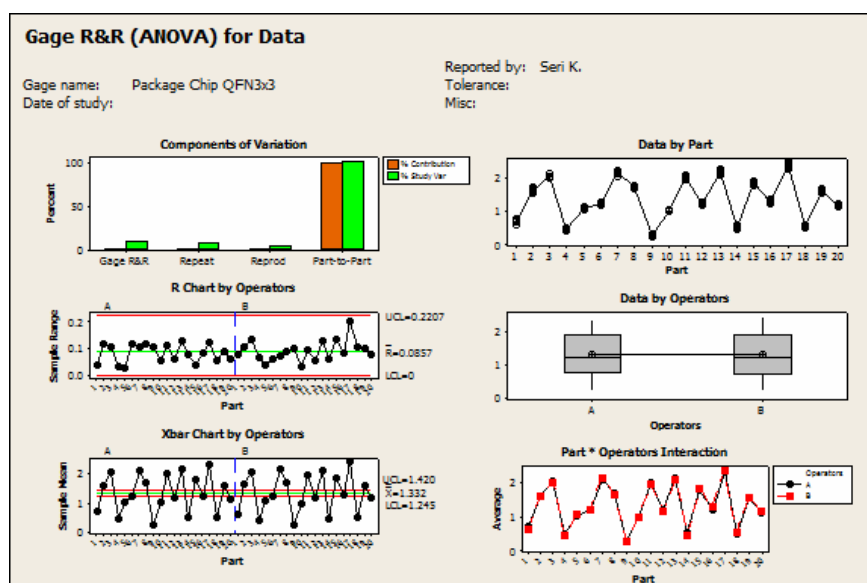
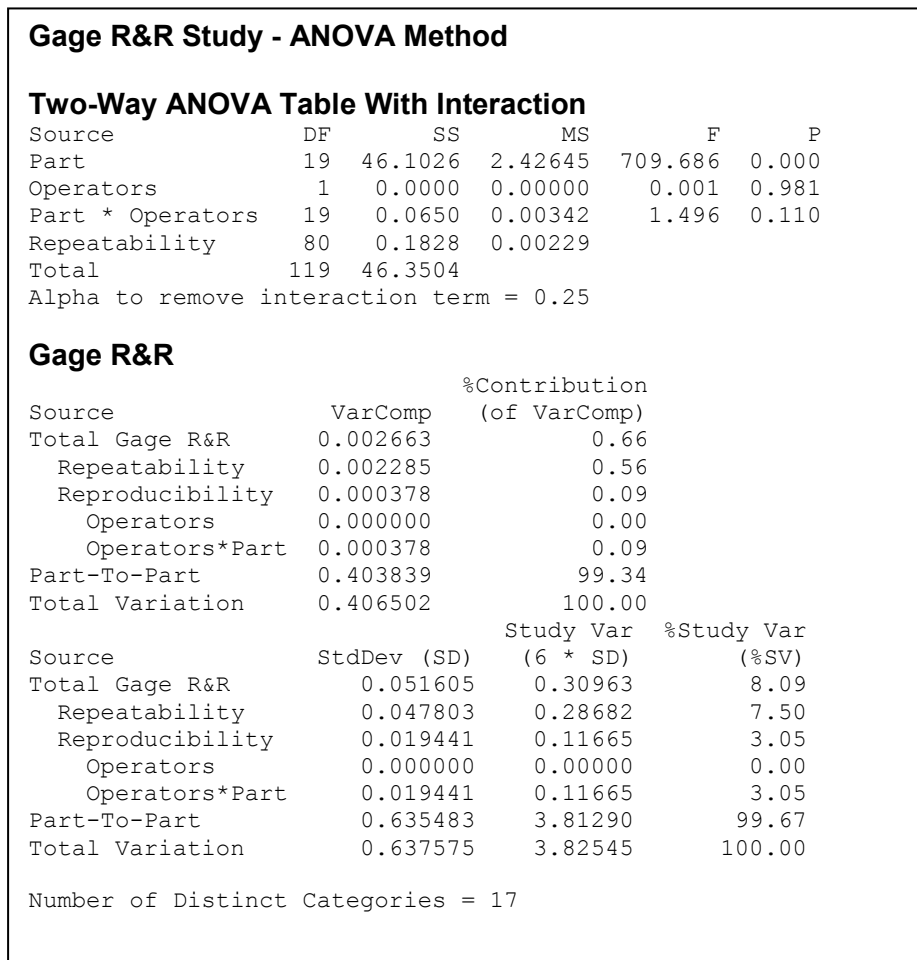
4.1.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัดโดยใช้การประมาณค่า (Gauge Repeatability and Reproducibility, GR&R) ผู้วิจัยและทีมงานทำการทดสอบระบบวัดเพื่อวิเคราะห์การเก็บข้อมูลจากการวัดเพื่อให้ได้ผลที่ถูกต้องที่สุด โดยทำการทดสอบระบบวัดของแผน GR&R ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ตามขั้นตอนดังนี้

- มีการฝึกอบรมผู้วัดเป็นอย่างดีและทำหน้าที่ในการวัด เพื่อการยอมรับหรือปฏิเสธผลิตภัณฑ์ จำนวน 2 คน แนะนำผู้วัด 2-3คน (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2549)
- ใช้กล้องไมโครสโคปที่ผ่านการสอบเทียบแล้วเพียงเครื่องเดียวในการวัดสำหรับคนวัดทั้ง 2 คน
- จำนวนผลิตภัณฑ์ที่จะวัดเพื่อศึกษาจำนวน 20 ชิ้นเพื่อให้ครอบคลุมช่วงความผันแปรของกระบวนการ แนะนำขั้นต่ำที่ 10 ตัวอย่าง (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2549)
- จำนวนการวัดซ้ำสำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละชิ้น กำหนดให้วัด 3 ครั้ง แนะนำที่ 2-4 ครั้งต่อชิ้นงานแต่ละชิ้น(กิตติศักดิ์ พลอย พานิชเจริญ, 2549)

ตารางที่ 4.1 ผลการวัดชิ้นงานของพนักงานคนที่ 1 และ พนักงานคนที่ 2

ชิ้นงาน	พนักงาน (A)			พนักงาน (B)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.7
2	1.6	1.6	1.5	1.7	1.6	1.6
3	2.0	2.0	2.1	2.1	2.0	2.0
4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.4
5	1.0	1.0	1.1	1.1	1.1	1.1
6	1.1	1.2	1.3	1.2	1.2	1.2
7	2.1	2.1	2.0	2.2	2.2	2.1
8	1.6	1.7	1.8	1.6	1.7	1.7
9	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2
10	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
11	2.0	2.0	2.1	2.0	1.9	2.0
12	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
13	2.1	2.2	2.1	2.2	2.1	2.1
14	0.5	0.6	0.5	0.4	0.5	0.4
15	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.8
16	1.2	1.3	1.2	1.3	1.3	1.3
17	2.3	2.2	2.4	2.4	2.5	2.3
18	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6
19	1.6	1.6	1.5	1.5	1.6	1.6
20	1.1	1.2	1.1	1.2	1.1	1.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดค่าความกว้างของลักษณะบิ่น



รูปที่ 4.1 การประเมินความผันแปรของการวัดค่าความกว้างของลักษณะบิ่น

ผลจากการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดค่าความกว้างของลักษณะบิ้น ด้วยโปรแกรม MINITAB จากตารางที่ 4.2 สรุปได้ดังนี้

- ความสามารถในการแยกความแตกต่างของข้อมูล (Number of Distinct Categories) มีค่าเท่ากับ 17 สรุปได้ว่าระบบการวัดที่ทำการศึกษาชิ้นได้ทำการแยกข้อมูลที่วัดออกเป็น 17 ประเภทที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งเพียงพอที่นำไปใช้ในการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดได้
- ผลความผันแปรของระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ พบว่า ถ้าค่าความผันแปรของกระบวนการผลิตจากค่าวัดทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 100 หน่วย จะเป็นความผันแปรจากสาเหตุของกระบวนการผลิต 99.34 หน่วย และความผันแปรจากระบบการวัดเท่ากับ 0.66 หน่วย แสดงให้เห็นว่าระบบการวัดนั้นมีความผันแปรน้อยมาก
- ผลการวิเคราะห์ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าชิ้นงานที่วัดทั้งหมด 20 ชิ้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดย $p\text{-value} = 0.000$ ความสามารถของผู้วัดทั้งสองไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดย $p\text{-value} = 0.981$ และผู้วัดกับชิ้นงานที่วัดไม่มีผลกระทบซึ่งกันอย่างมีนัยสำคัญโดย $p\text{-value} = 0.110$
- ค่าระบบการวัด (Total GR&R) เท่ากับ 8.09 % และสรุปว่ายอมรับได้ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 10 % โดยมีความแปรผันจากเครื่องมือวัด (Repeatability) เท่ากับ 7.50 % และค่าแปรผันมาจากผู้ทำการทดลอง (Reproducibility) เท่ากับ 3.05 %

ผลจากการวิเคราะห์การประเมินความผันแปรของการวัดค่าความกว้างของลักษณะบิ้น ด้วยโปรแกรม MINITAB จากรูปที่ 4.1 สามารถสรุปได้ดังนี้

- แผนภูมิค่าความกว้างของลักษณะบิ้นแต่ละชิ้นงาน (Data by part) มีความแตกต่างกันสำหรับชิ้นงานแต่ละชิ้นงานที่นำมาทำการวัดซึ่งสอดคล้องกับผลของการวิเคราะห์ ANOVA ข้างต้น
- แผนภูมิค่าความกว้างของลักษณะบิ้นเปรียบเทียบคนวัด (Data by Operators) นั้นมีความแตกต่างกันน้อยมากสำหรับคนวัดทั้งสองคนซึ่งสอดคล้องกับผลของการวิเคราะห์ ANOVA ข้างต้น
- แผนภูมิควบคุมค่าพิสัย (R Chart) พบว่าข้อมูลทั้งหมดมีค่าแตกต่างกันน้อยและอยู่ในเส้นควบคุมซึ่งแสดงว่าคนวัดทั้งสองมีความสามารถในการวัดซ้ำที่ยอมรับได้

- แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย (Xbar Chart) พบว่าข้อมูลส่วนมากอยู่นอกเหนือเส้นควบคุมซึ่งแสดงความสามารถของคนวัดทั้งสองในการแยกแยะความแตกต่างกันของชิ้นงานได้
- แผนภูมิผลกระทบซึ่งกันและกันของชิ้นงานกับพนักงาน (Part*Operators Interaction) แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานกับพนักงานที่ทำการวัดไม่มีผลกระทบซึ่งกันและกัน

สรุปได้ว่าระบบการวัดนี้มีความสามารถในการแยกความแตกต่างของค่าวัดได้ละเอียด ดังนั้นสามารถยอมรับความสามารถของระบบการวัดนี้ได้ว่า ระบบการวัดมีความแม่นยำเพียงพอที่จะนำไปใช้ในขั้นต่อไป

4.2 การวัดความสามารถของกระบวนการ (Process Capability)

การทำการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ เพื่อประเมินและวิเคราะห์ความผันแปรของกระบวนการที่เกิดขึ้น โดยนำมาเพื่อศึกษาความสามารถของกระบวนการและหาแนวทางลดความผันแปรที่เกิดขึ้นในกระบวนการ ในการศึกษาดังนี้ชี้วัดความสามารถของกระบวนการ หรือ Cpk สำหรับกระบวนการ Singulation ที่มีตัวแปรตอบสนองคือความกว้างของลักษณะบิ่น ของผลิตภัณฑ์ QFN ขนาด 3x3 มิลลิเมตร

จำนวนตัวอย่างสำหรับใช้วัดความสามารถของกระบวนการดังกล่าวสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.1 (Chin-Chuan Wu และ Hsin-Lin Kuo, 2004)

$$n = Z_{\alpha}^2((1/9\hat{C}_{pk}^2) + 0.5)/(1 - C_{pk} / \hat{C}_{pk})^2 \quad (4.1)$$

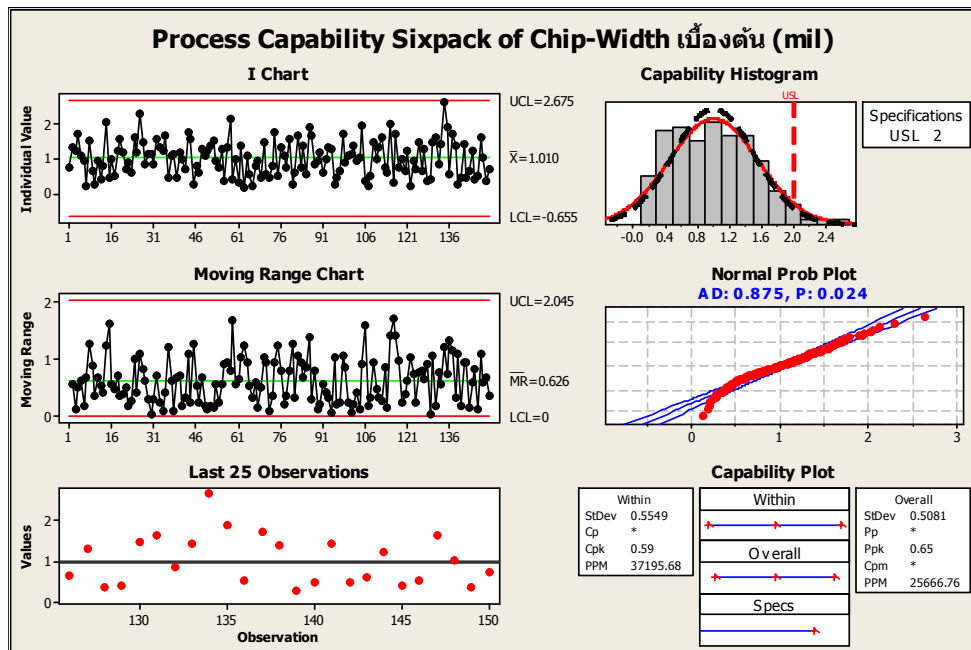
โดย n คือ จำนวนตัวอย่าง

α คือ ระดับนัยสำคัญ

\hat{C}_{pk} คือ ค่าความสามารถของกระบวนการของกลุ่มตัวอย่าง

C_{pk} คือ ค่าความสามารถของกระบวนการ

จากการเก็บข้อมูลเบื้องต้น กำหนดให้พนักงานวัดคนเดียวและเครื่องวัดเครื่องเดียวกัน ตลอดระยะเวลาการเก็บข้อมูล ได้ค่าความสามารถของกระบวนการเบื้องต้น หรือ \hat{C}_{pk} เท่ากับ 0.59 จากจำนวนตัวอย่าง 150 ตัวอย่าง ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ความสามารถของกระบวนการของความกว้างของลักษณะปิ่นเบื้องต้น

ในการกำหนดขนาดตัวอย่างตามสมการ 4.1

กำหนดให้ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95 % ของดัชนี C_{pk}

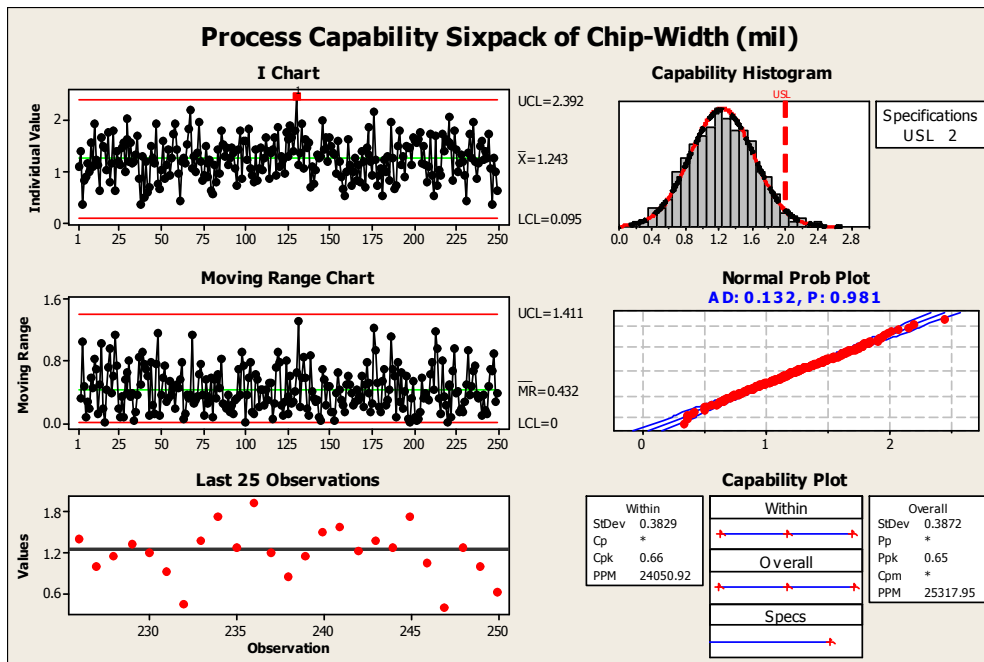
และกำหนด C_{pk} / \hat{C}_{pk} เท่ากับ 0.9 โดยค่า $\hat{C}_{pk} = 0.59$

ดังนั้น $n = 1.645^2 \left(\frac{1}{(9 \times 0.59^2)} + 0.5 \right) / (1 - 0.9)^2$

$$n = 2.22 / 0.01$$

$$n = 222 \text{ ตัวอย่าง}$$

ดังนั้นจำนวนตัวอย่างที่ใช้ควรมีน้อย 222 ตัวอย่างในการเก็บข้อมูลเพื่อประเมินค่า C_{pk} ของกระบวนการ ดำเนินการเก็บข้อมูลโดยทำการเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 ชั่วโมง ชั่วโมงละ 10 ตัวอย่าง รวม 25 ชั่วโมง ได้ตัวอย่างทั้งหมด 250 ตัวอย่างซึ่งมากกว่าจำนวนตัวอย่างขั้นต่ำคือ 222 ตัวอย่าง โดยที่ความสามารถของกระบวนการดังแสดงให้เห็ดังรูปที่ 4.3 มีค่า C_{pk} เท่ากับ 0.66 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์การยอมรับด้านเดียวที่ 1.25 (Montgomery, D.C. 2009.) จึงสรุปได้ว่าค่าความกว้างของลักษณะปิ่นมีการกระจายตัวกว้าง และความผันแปรของกระบวนการสูงเกินค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ และค่าความกว้างของลักษณะปิ่นมีค่าบางส่วนที่มากกว่าค่าที่ยอมรับได้คือ มากกว่า 2 mil จึงต้องทำการปรับปรุงเพื่อเพิ่มความสามารถของกระบวนการในงานวิจัยนี้



รูปที่ 4.3 ความสามารถของกระบวนการของความกว้างของลักษณะป็น

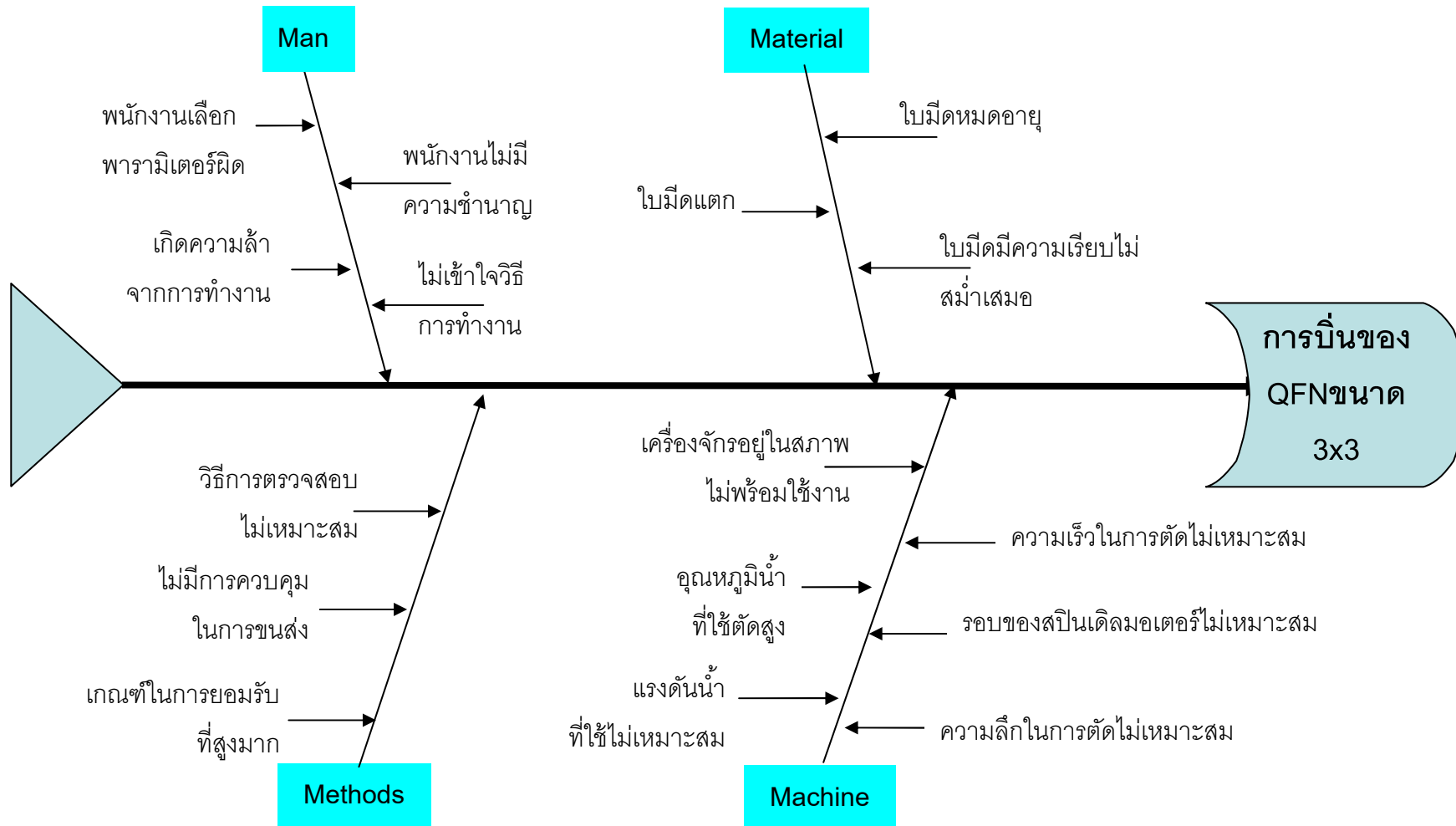
4.3 การวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุของปัญหา

ในการหาสาเหตุที่มีผลต่อการเกิดลักษณะป็น เพื่อนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปัจจัยนำเข้าที่เป็นไปได้ โดยสรุปเป็นแผนภูมิแกว่งปลาวิเคราะห์หาสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดของเสียลักษณะป็นดังรูปที่ 4.4 จากผู้ที่มีประสบการณ์และเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตได้แก่ ฝ่ายวิจัย (1 คน) ฝ่ายผลิต (5 คน) ฝ่ายช่างเทคนิค (2 คน) และฝ่ายควบคุมคุณภาพ (2 คน) ได้รวบรวมความคิดเห็นและให้คะแนนความสำคัญของแต่ละสาเหตุ ซึ่งคะแนนจะมีค่าระหว่าง 0 – 10 โดยใช้เกณฑ์ในการตัดสินดังนี้

0 = ไม่มีความสำคัญต่อการป็นของผลิตภัณฑ์

10 = มีความสำคัญต่อการป็นของผลิตภัณฑ์อย่างยิ่ง

จากเกณฑ์การให้คะแนนนั้น กำหนดสมาชิกแต่ละคนในกลุ่มให้คะแนนสาเหตุที่มีผลต่อการเกิดของเสียลักษณะป็นแต่ละสาเหตุในช่วง 0 – 10 คะแนน โดยคะแนนรวมจากสมาชิกในกลุ่มทั้งหมด 10 คนนั้นจะเท่ากับ 100 คะแนนสำหรับแต่ละสาเหตุ จากความสัมพันธ์ของการให้คะแนนของสาเหตุและผลและการควบคุมกระบวนการดังแสดงตารางที่ 4.3



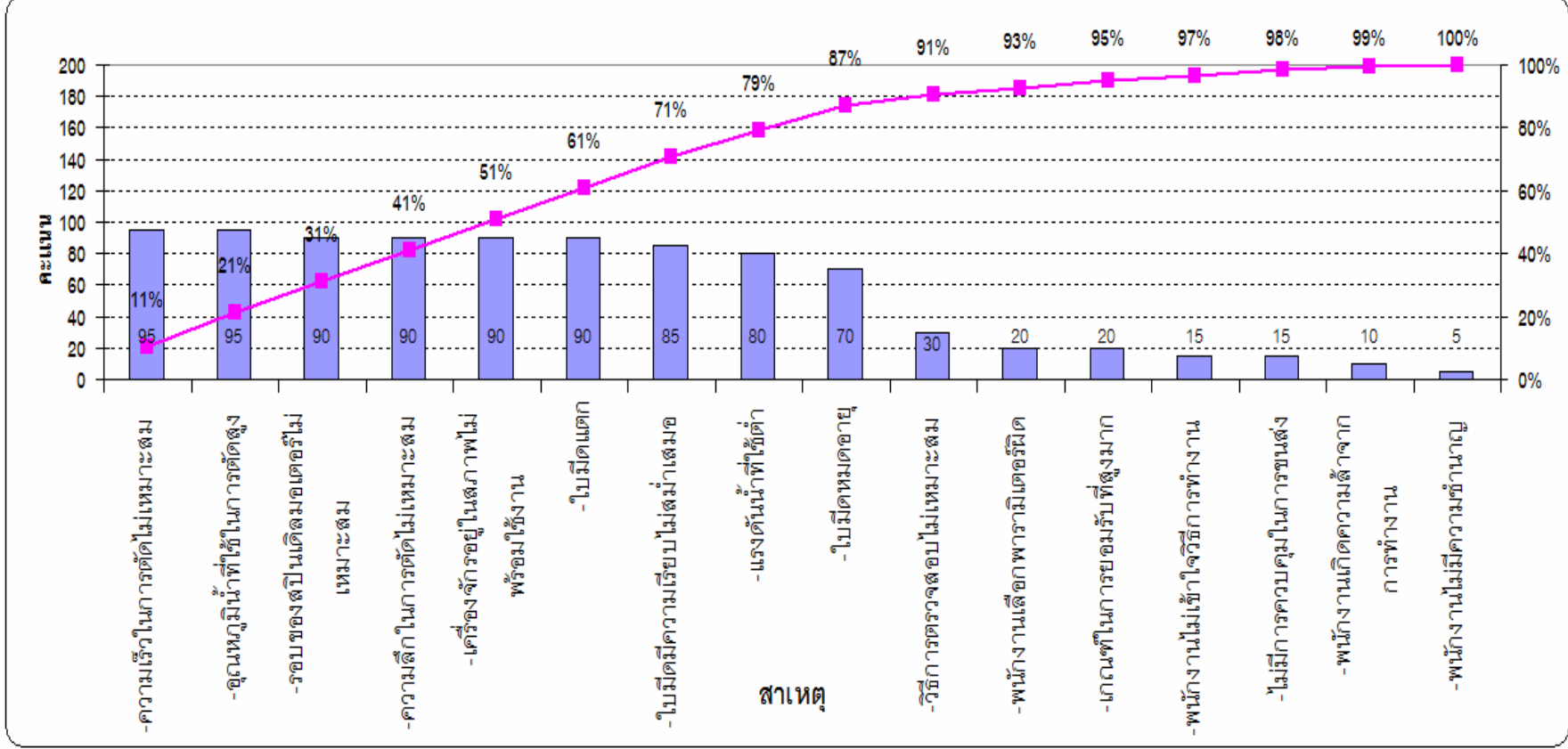
รูปที่ 4.4 แผนภาพก้างปลาแสดงถึงสาเหตุต่าง ๆ ที่น่าจะส่งผลให้เกิดปัญหาการบิ่นของผลิตภัณฑ์ QFN ขนาด 3x3

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ปัญหาจากความสัมพันธ์สาเหตุและผล

ลำดับ	จำแนกตามสาเหตุ	สาเหตุ	ข้อบกพร่องของสาเหตุที่มีโอกาสเกิด	คะแนนรวม
1	Man	พนักงานเลือกพารามิเตอร์ผิด	พารามิเตอร์ที่เลือกใช้ไม่เหมาะสมกับงานที่ตัด	20
2	Man	พนักงานไม่มีความชำนาญ	พนักงานไม่มั่นใจในการตรวจสอบความผิดปกติของงาน	5
3	Man	พนักงานเกิดความล้าจากการทำงาน	ความเกิดความผิดพลาดในการทำงาน	10
4	Method	พนักงานไม่เข้าใจวิธีการทำงาน	พนักงานสับสนในกรณีที่ไม่เข้าใจการปฏิบัติงานโดยไม่มีแหล่งอ้างอิง	15
5	Machine	ความเร็วในการตัดไม่เหมาะสม	ความเร็วในการตัดอาจเร็วหรือช้าเกินไป	95
6	Machine	รอบของสปินเดิลมอเตอร์ไม่เหมาะสม	ความเร็วรอบของสปินเดิลมอเตอร์ในการตัดอาจเร็วหรือช้าเกินไปทำให้เกิดการบิ่น	90
7	Machine	ความลึกในการตัดไม่เหมาะสม	ความลึกในการตัดขึ้นงานต้นหรือว่าลึกเกินไป	90
8	Machine	แรงดันน้ำที่ใช้ต่ำ	แรงดันน้ำที่ใช้หล่อเย็นขณะตัดไม่เหมาะสม	80
9	Machine	อุณหภูมิน้ำที่ใช้ในการตัดสูง	อุณหภูมิน้ำที่ใช้หล่อเย็นขณะตัดสูง	95
10	Machine	เครื่องจักรอยู่ในสภาพไม่พร้อมใช้งาน	ผลทำให้ประสิทธิภาพในส่วนควบคุมต่างๆไม่มีประสิทธิภาพ	90
11	Material	ใบมีดแตก	ไม่มีความสม่ำเสมอของใบมีดในการตัด	90
12	Material	ใบมีดมีความเรียบไม่สม่ำเสมอ	ส่งผลต่อลักษณะการตัดที่ไม่สม่ำเสมอ	85
13	Material	ใบมีดหมดอายุ	คุณสมบัติของใบมีดเปลี่ยนหลังจากการผลิต	70
14	Method	วิธีการตรวจสอบไม่เหมาะสม	อาจทำให้เกิดผลไม่ตรงจากความเป็นจริงโดยที่ตัดสินของดีเป็นของเสีย	30
15	Method	เกณฑ์ในการยอมรับที่สูงมาก	มีการกำหนดการยอมรับที่ยอมให้เกิดการบิ่นได้น้อยมาก	20
16	Method	ไม่มีการควบคุมในการขนส่ง	เกิดการกระแทกในขณะการขนส่ง	15

จากการวิเคราะห์สาเหตุและคะแนนที่ได้จากแผนภูมิแกงปลา มาสรุปเป็นแผนภูมิพาเรโต เพื่อหาสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อของเสียลักษณะบิ่นมากที่สุด เรียงตามลำดับความสำคัญดังแสดงในรูปที่ 4.5 พบว่าสาเหตุ 9 สาเหตุแรกมีคะแนนรวมเท่ากับ 87 % จากการวิเคราะห์ด้วยกฎ 80/20 ของ พาเรโต คาดว่าสาเหตุทั้ง 9 สาเหตุนี้มีความสัมพันธ์ที่ก่อให้เกิดของเสียลักษณะบิ่น ได้แก่

- ความเร็วในการตัดไม่เหมาะสม
- อุณหภูมิน้ำที่ใช้ในการตัดสูง
- รอบของสปินเดิลมอเตอร์ไม่เหมาะสม
- ความลึกในการตัดไม่เหมาะสม
- เครื่องจักรอยู่ในสภาพไม่พร้อมใช้งาน
- ใบมีดแตก
- ใบมีดมีความเรียบไม่สม่ำเสมอ
- แรงดันน้ำที่ใช้ต่ำ
- ใบมีดหมดอายุ



รูปที่ 4.5 สาเหตุที่ส่งผลต่อของเสียลักษณะป็น

4.4 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ

จากผลของการวิเคราะห์ปัญหาจากความสัมพันธ์สาเหตุและผล การพิจารณาเพื่อวิเคราะห์สาเหตุที่ส่งผลต่อของเสียลักษณะปีนั้น จะเห็นว่าสาเหตุ 9 สาเหตุแรกมีคะแนนรวมเท่ากับ 87 % สำหรับในขั้นตอนนี้จึงนำสาเหตุทั้ง 9 ลำดับแรก มาทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis, FMEA) เพื่อศึกษาลักษณะของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจากสาเหตุต่าง ๆ อีกทั้งพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นและกลับกรองให้เหลือแต่สาเหตุที่มีความสำคัญต่อปัญหา

ในการทำ FMEA เพื่อวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบนั้น สามารถสรุปได้จากการคำนวณค่าความเสี่ยงคือ (Risk Priority Number, RPN) ซึ่งค่า RPN นั้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.2

$$RPN = S \times O \times N \quad (4.2)$$

ในการให้คะแนนของทั้ง 3 พารามิเตอร์ของ S O และ D ข้างต้นนั้น จะทำการวิเคราะห์และให้คะแนนในแต่ละพารามิเตอร์ โดยการระดมความคิดจากทีมงานเดียวกันกับการวิเคราะห์ปัญหาจากความสัมพันธ์สาเหตุและผล แล้วคำนวณค่า RPN เพื่อที่จะกลับกรองให้เหลือเฉพาะสาเหตุที่มีความสำคัญต่อปัญหาดังแสดงตารางที่ 4.7

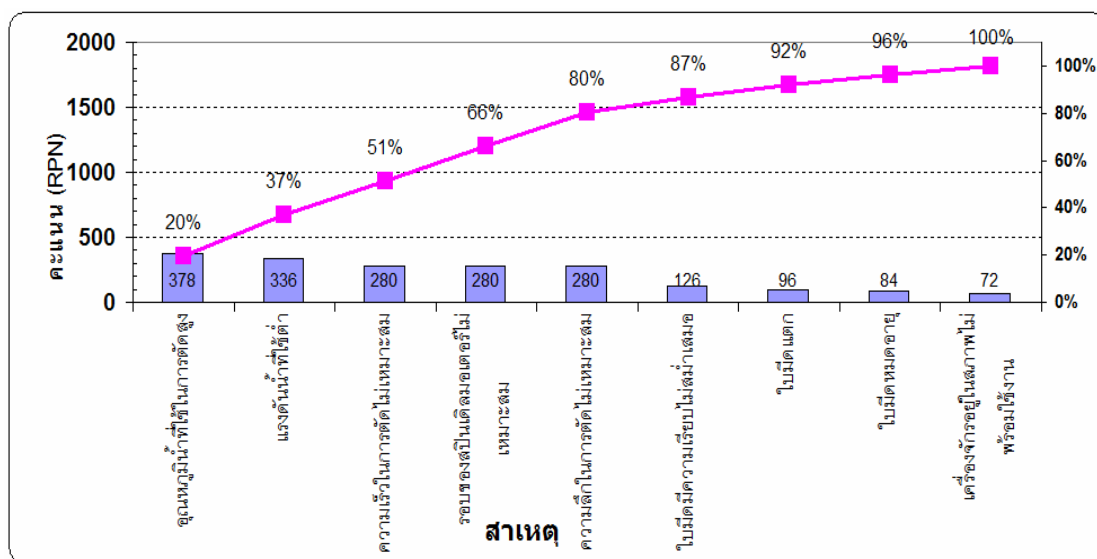
ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ

Process/Product Failure Modes and Effects Analysis									
ลำดับ	ปัจจัยนำเข้าหลังที่ได้จากขั้นตอน C&E	ข้อบกพร่องของปัจจัยนำเข้าที่มีโอกาสเกิด	ผลกระทบต่อการเกิดลักษณะบิ่น	S	สาเหตุที่เป็นไปได้ที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องบนปัจจัยนำเข้า	O	การควบคุมในปัจจุบัน	D	RPN
1	ความเร็วในการตัดไม้เหมาะสม	ความเร็วในการตัดอาจเร็วหรือช้าเกินไป	เกิดความร้อนขึ้นสูงขณะตัด	7	มีการตั้งค่าที่แน่นอนแต่ยังไม่ทราบความเร็วที่เหมาะสม	5	มีการตั้งค่าตามข้อกำหนดของกระบวนการแต่ยังไม่ทราบความเร็วที่เหมาะสม	8	280
2	อุณหภูมิน้ำที่ใช้ในการตัดสูง	อุณหภูมิน้ำที่ใช้หล่อเย็นขณะตัดสูง	การระบายความร้อนไม่ดีขณะตัด	7	ไม่มีมาตรฐานการตั้งอุณหภูมิ	6	ไม่มีการควบคุมในปัจจุบัน	9	378
3	ความเร็วรอบของสปีนเดิลมอเตอร์ไม่เหมาะสม	ความเร็วรอบของสปีนเดิลมอเตอร์ในการตัดอาจเร็วหรือช้าเกินไปทำให้เกิดการบิ่น	เกิดความร้อนขึ้นสูงขณะตัด	7	มีการตั้งค่าที่แน่นอนแต่ยังไม่ทราบความเร็วที่เหมาะสม	5	มีการตั้งค่าตามข้อกำหนดของกระบวนการแต่ยังไม่ทราบความเร็วรอบที่เหมาะสม	8	280
4	ความลึกในการตัดไม้เหมาะสม	ความลึกในการตัดชิ้นงานต้นหรือว่าลึกเกินไป	เกิดความร้อนขึ้นสูงขณะตัด	7	มีการตั้งค่าที่แน่นอนแต่ยังไม่ทราบความเร็วที่เหมาะสม	5	มีการตั้งค่าตามข้อกำหนดของกระบวนการแต่ยังไม่ทราบความลึกที่เหมาะสม	8	280
5	เครื่องจักรอยู่ในสภาพไม่พร้อมใช้งาน	ส่วนควบคุมต่าง ๆ เสียก่อนถึงรอบกำหนด PM	ส่วนควบคุมต่าง ๆ ไม่ทำงาน	8	ระบบการบำรุงรักษาเครื่องจักรไม่มีประสิทธิภาพ	3	มีการตรวจสอบส่วนสำคัญและบันทึกสภาพของเครื่องจักรเป็นประจำก่อนเริ่มทำงานทุกกะ	3	72

ตารางที่ 4.7 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (ต่อ)

Process/Product Failure Modes and Effects Analysis									
ลำดับ	ปัจจัยนำเข้าหลังที่ได้จากขั้นตอน C&E	ข้อบกพร่องของปัจจัยนำเข้าที่มีโอกาสเกิด	ผลกระทบต่อการเกิดลักษณะบิ่น	S	สาเหตุที่เป็นไปได้ที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องบนปัจจัยนำเข้า	O	การควบคุมในปัจจุบัน	D	RPN
6	ใบมีดแตก	ไม่มีความสม่ำเสมอในการตัด	ปริมาณการกินเนื้อคอมปาวด์ไม่เหมาะสมขณะตัด	8	ไม่มีการตรวจวัตถุดิบก่อนนำไปใช้	6	มีระบบควบคุมอัตโนมัติโดยเครื่องจักรจะหยุดทันทีเมื่อพบใบมีดแตก	2	96
7	ใบมีดมีความเรียบไม่สม่ำเสมอ	ส่งผลต่อลักษณะการตัดที่ไม่สม่ำเสมอ	ปริมาณการกินเนื้อคอมปาวด์ไม่เหมาะสมขณะตัด	7	ไม่มีการตรวจวัตถุดิบก่อนนำไปใช้	6	มีการตรวจสอบและบันทึกสภาพของใบมีดเป็นประจำก่อนที่จะติดตั้ง	3	126
8	แรงดันน้ำที่ใช้ต่ำ	แรงดันน้ำที่ใช้หล่อเย็นขณะตัดไม่พอ	ปริมาณน้ำไม่พอในการระบายความร้อน	7	มีขอบเขตในการตั้งค่าที่กว้าง สามารถตั้งได้หลายค่าโดยที่ไม่ออกนอกข้อกำหนด	6	มีระบบควบคุมอัตโนมัติแต่ยังไม่ทราบแรงดันน้ำที่เหมาะสม	8	336
9	ใบมีดหมดอายุ	คุณสมบัติของใบมีดเปลี่ยนหลังจากการผลิต	การสึกของใบมีดผิดปกติ	7	ไม่มีการตรวจวัตถุดิบก่อนนำไปใช้	4	มีระบบควบคุมอายุของใบมีดในสินค้าคงคลัง	3	84

จากการวิเคราะห์ผลกระทบต่อการเกิดลักษณะบิ่นในกระบวนการ โดยผลคูณของค่าความรุนแรงกับความถี่ในการเกิดและความสามารถในการตรวจจับนั้น สรุปเป็นค่า RPN ที่สามารถบอกระดับสาเหตุที่มีผลต่อของเสียลักษณะบิ่น โดยการนำค่าเปอร์เซ็นต์ความสัมพันธ์ไปทำการสร้างแผนภาพพาเรโต ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แผนภาพพาเรโตของค่า RPN จากการวิเคราะห์ด้วย FMEA

เมื่อพิจารณาจากแผนภาพพาเรโต ดังรูปที่ 4.6 จากหลักพาเรโต 80-20 ในการตัดสินใจพบว่าสาเหตุทั้งหมด 9 สาเหตุ นั้น มีเพียง 5 สาเหตุที่มีค่า RPN สูงรวมกันเท่ากับ 80 % ของคะแนนของสาเหตุทั้งหมด ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการตัดสูง แรงดันน้ำที่ใช้ต่ำ ความเร็วในการตัดไม่เหมาะสม รอบของสปินเดิลมอเตอร์ไม่เหมาะสม และความลึกในการตัดไม่เหมาะสม เพราะฉะนั้นสาเหตุทั้ง 5 สาเหตุนี้จะนำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

4.5 สรุปผลขั้นตอนระยะการวัดและเก็บข้อมูลเพื่อหาสภาพปัญหา

- ในขั้นตอนแรกของระยะการวัดเพื่อหาสภาพปัญหา ได้นำการวิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงของระบบการวัด ซึ่งข้อมูลได้จากการวัดจากเครื่องไมโครสโคป โดยทดสอบพนักงานวัดทั้งหมด 2 คน วัดชิ้นงานทั้งหมด 20 ชิ้นและวัดซ้ำคนละ 3 ครั้ง สรุปผลได้ว่าระบบการวัดผ่านเกณฑ์และสามารถยอมรับความผันแปรของกระบวนการวัดได้

- จากการศึกษาความสามารถของกระบวนการ และทำการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความกว้างของลักษณะป็น โดยทำการบันทึกจากพนักงานวัดและเครื่องมือวัดเดียวกัน จำนวน 250 ตัวอย่าง พบว่ากระบวนการในปัจจุบันนั้นมีความสามารถของกระบวนการค่อนข้างต่ำคือ Cpk เท่ากับ 0.66 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์การยอมรับด้านเดียวที่ 1.25
- การระดมความคิดเห็นจากผู้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต ในการวิเคราะห์ปัญหา และสาเหตุของปัญหาจากหลักของพาเรโตพบว่ามี 9 สาเหตุที่มีความสัมพันธ์ที่ก่อให้เกิดของเสียลักษณะป็น ได้แก่ พารามิเตอร์ไม่เหมาะสมจากความเร็วในการตัด อุณหภูมิน้ำที่ใช้ในการตัดสูง พารามิเตอร์ไม่เหมาะสมจากรอบของสปินเดิลมอเตอร์ พารามิเตอร์ไม่เหมาะสมจากความลึกในการตัด เครื่องจักรอยู่ในสภาพไม่พร้อมใช้งาน ไบมีดแตก ไบมีดมีความเรียบไม่สม่ำเสมอ แรงดันน้ำที่ใช้ต่ำ และไบมีดหมดอายุ หลังจากนั้นนำสาเหตุเหล่านี้มาวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ ซึ่งปัจจัยหลักที่มีค่า RPN สูงสุดตามหลักพาเรโตเท่ากับ 80 % คืออุณหภูมิน้ำที่ใช้ในการตัดสูง แรงดันน้ำที่ใช้ต่ำ พารามิเตอร์ไม่เหมาะสมจากความเร็วในการตัด พารามิเตอร์ไม่เหมาะสมจากรอบของสปินเดิลมอเตอร์ และพารามิเตอร์ไม่เหมาะสมจากความลึกในการตัด ที่จะนำไปวิเคราะห์ในระยะต่อไป

บทที่ 5

ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis phase)

จากการที่ได้พิจารณาในการวิเคราะห์ระบบการวัด การหาความสามารถของกระบวนการ และการระดมความคิดจากผู้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต จัดทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่มีผลกระทบต่อปัญหา ในขั้นตอนการวัดและเก็บข้อมูลเพื่อหาสภาพปัญหา สามารถสรุปสาเหตุหลักที่อาจจะมีผลต่อความกว้างของลักษณะบิ่นได้ 5 สาเหตุ คือ อุณหภูมิน้ำที่ใช้ในการตัดสูง แรงดันน้ำที่ใช้ต่ำ พารามิเตอร์ไม่เหมาะสมจากความเร็วในการพารามิเตอร์ไม่เหมาะสมจากรอบของสปินเดิลมอเตอร์ และพารามิเตอร์ไม่เหมาะสมจากความลึกในการตัด โดยในขั้นตอนนี้จะนำสาเหตุทั้ง 5 สาเหตุมาวิเคราะห์ทางสถิติต่อว่าสาเหตุใดบ้างที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความกว้างของลักษณะบิ่น เพื่อที่จะนำไปวิเคราะห์หาระดับของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละสาเหตุในระยะการปรับปรุงของกระบวนการต่อไป

5.1 ปัจจัยนำเข้าที่ทำการศึกษา

จากขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาที่คาดว่าจะมีอิทธิพลทำให้เกิดของเสีย ลักษณะบิ่นสามารถสรุปได้ 5 สาเหตุ เพื่อที่จะนำไปกำหนดปัจจัยในการออกแบบการทดลองดังนี้

1. อุณหภูมิน้ำที่ใช้ในการตัด
2. แรงดันน้ำที่ใช้ตัด
3. ความเร็วในการตัด
4. ความเร็วรอบของสปินเดิลมอเตอร์
5. ความลึกในการตัด

ซึ่งระดับของแต่ละปัจจัยที่จะนำไปใช้ในการออกแบบการทดลองนั้น มีการพิจารณาโดยอาศัยค่าสูงสุดและต่ำสุดที่อยู่ในช่วงการทำงาน โดยค่ากลางคือค่าการทำงานปัจจุบัน ซึ่งกำหนดโดยวิศวกรที่ควบคุมการผลิตหรือ ข้อกำหนดของเครื่องจักรดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ปัจจัยนำเข้าที่คาดว่าจะมีอิทธิพลทำให้เกิดของเสียลักษณะบิ่น

ปัจจัยนำเข้า	สัญลักษณ์	ระดับ			หน่วย
		ต่ำ	กลาง	สูง	
อุณหภูมิในน้ำ	A	8	16.5	25	องศาเซลเซียส
แรงดันน้ำ	B	1	1.5	2	ลิตรต่อนาที
ความเร็วในการตัด	C	20	50	80	มิลลิเมตรต่อนาที
ความเร็วรอบของสปินเดิลมอเตอร์	D	6000	9000	12000	รอบต่อนาที
ความลึกในการตัด	E	70	105	140	um.

5.2 การออกแบบการทดลองเบื้องต้น

ในการทดลองนี้วัตถุประสงค์คือการทดลองเบื้องต้น หรือการวิเคราะห์หาสาเหตุที่คาดว่าจะมีอิทธิพลทำให้เกิดของเสียลักษณะบิ่น โดยการเลือกรูปแบบการทดลอง ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบหาขนาดตัวอย่างเพื่อใช้ในการพิจารณาถึงระยะเวลา ทรัพยากร และจำนวนตัวอย่างในการทำการทดลอง ระหว่างการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) แบบ 2 sample t-test คือการทดสอบสมมติฐานความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่มตัวอย่าง กับการออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Fractional Factorial Design with Center Point) คือ การทดลองหาปัจจัยที่มีอิทธิพลเบื้องต้นจากตัวแปรตอบสนองของปัจจัยทั้งหมด ดังนี้

การทดสอบสมมติฐาน แบบ 2 sample t-test สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์หาปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองออกไปก่อนที่จะทำการปรับปรุงกระบวนการในขั้นตอนต่อไป ซึ่งก่อนทำการทดสอบนั้นต้องมีการกำหนดขนาดตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดสอบสมมติฐาน กำหนดให้มีการยอมรับที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ถูกสันนิษฐานเท่ากับ 0.38 ซึ่งอ้างอิงจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความกว้างของลักษณะบิ่นในการหาความสามารถของกระบวนการของบทที่ 4 โดยผลการคำนวณขนาดตัวอย่างจากโปรแกรม MINITAB แสดงดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

2-Sample t Test			
Testing mean 1 = mean 2 (versus not =)			
Calculating power for mean 1 = mean 2 + difference			
Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 0.38			
	Sample	Target	
Difference	Size	Power	Actual Power
0.19	86	0.90	0.903230
<u>0.19</u>	<u>105</u>	<u>0.95</u>	<u>0.950129</u>
0.19	130	0.98	0.980114
0.38	23	0.90	0.912498
0.38	27	0.95	0.950077
0.38	34	0.98	0.982243

The sample size is for each group.

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่า Difference หรือค่าที่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของสองกลุ่มที่ต้องการทดสอบเท่ากับครึ่งหนึ่งของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความกว้างของลักษณะบีนซึ่งเท่ากับ 0.19 และระดับความเชื่อมั่นที่มากกว่า 95% พบว่าขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานควรมีอย่างน้อย 105 ตัวอย่าง โดยค่ากำลัง (Power of Test : $1-\beta$) ของการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.950129 ซึ่งมากกว่า 0.9500

การออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลนั้น ได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการรองรับปัจจัยหรือการหาปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง อีกทั้งยังใช้ขนาดตัวอย่างที่ไม่มากสำหรับการศึกษาปัจจัยหลาย ๆ ปัจจัยในเวลาเดียวกัน และสามารถทราบถึงอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยได้อีกด้วย การกำหนดขนาดตัวอย่างในการทำซ้ำ (Replication) ที่ใช้ในการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลของปัจจัยนำเข้าสำหรับงานวิจัยนี้ กำหนดค่า Effect คือค่าที่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยที่ต้องการทดสอบ ซึ่งกำหนดให้เท่ากับ 0.19 นั่นคือครึ่งหนึ่งของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าความสามารถของกระบวนการ

เบื้องต้นในระหว่างการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา และกำหนดค่ากำลังของการทดสอบที่อย่างน้อยเท่ากับ 0.95 โดยผลการคำนวณขนาดตัวอย่างจากโปรแกรม MINITAB แสดงดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 กำลังและจำนวนซ้ำสำหรับการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล

Power and Sample Size					
2-Level Factorial Design					
Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 0.38					
Factors: 5 Base Design: 5, 16					
Blocks: none					
Including a term for center points in model.					
Center Points	Effect	Reps	Runs	Total Power	Target Power
3	0.19	11	179	0.90	0.909378
3	0.19	14	227	0.95	0.961178
3	0.19	17	275	0.98	0.984133

จากตารางที่ 5.3 สรุปได้ว่าจำนวนซ้ำ ในการเก็บข้อมูลสำหรับการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบมีจุดศูนย์กลางนั้นควรมีจำนวนอย่างน้อย 14 ครั้ง โดยมีค่ากำลังในการทดสอบเท่ากับ 0.961178 ซึ่งมากกว่าค่ากำลังในการทดสอบที่กำหนดไว้คือ 0.9500

เมื่อเปรียบเทียบขนาดตัวอย่างของรูปแบบการทดลอง 2 แบบข้างต้นในตารางที่ 5.4 พบว่า ขนาดตัวอย่างที่ต้องใช้สำหรับการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางนั้นน้อยกว่าการทดสอบสมมติฐานแบบ 2 sample t-test ประมาณ 4 เท่า ซึ่งเป็นการประหยัดทรัพยากรและลดเวลาในการทดลองเป็นอย่างมาก อีกทั้งการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลยังสามารถทราบถึงอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยและการมีความโค้งของผลตอบสนอง (Curvature) ของปัจจัยได้อีกด้วย ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงเลือกการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลที่มีจุดศูนย์กลางในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อความกว้างของลักษณะบั้น โดยกำหนดให้ในแต่ละการทดลองทำซ้ำจำนวน 15 ครั้ง

ตารางที่ 5.4 เปรียบเทียบขนาดตัวอย่างระหว่างการทดสอบสมมติฐานและการออกแบบการทดลอง

ชนิดการทดลอง	จำนวนการทดลอง	ขนาดตัวอย่างต่อ 1 การทดลอง	ตัวอย่างที่ใช้ทั้งหมด
การทดสอบสมมติฐานแบบ 2 sample t-test	10	105	1,050
การออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง	19	14	266

5.3 ตัวแปรตอบสนอง

ในขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะพิจารณาปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบต่อขนาดความกว้างลักษณะบิ่นที่ได้จากกระบวนการของผลิตภัณฑ์ QFN ขนาด 3x3 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องมือคือกล้องไมโครสโคปในการวัดค่า โดยมีตัวแปรตอบสนองในการศึกษาคือค่าความกว้างของลักษณะบิ่นที่ได้จากการวัด

5.4 การออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อความกว้างของลักษณะบิ่น

การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล เป็นการออกแบบการทดลองที่ลดจำนวนการทดลองลงที่สามารถทำได้จริง โดยแต่ละการทดลองที่ทำนั้นอยู่ในชุดการทดลองของตัวแบบ Full Factorial ซึ่งในกรณีที่ไม่ได้ทำการทดลองของทุกปัจจัยครบทุกเงื่อนไขจะทำให้เกิดผลที่เรียกว่าคอนฟาวด์ (Confounded) หมายถึงอิทธิพลของปัจจัยที่ไม่สามารถทำการประเมินค่าแยกออกมาได้เดี่ยว ๆ หรืออาจเรียกว่า Alias โดยโปรแกรม Minitab จะแสดงตารางของ Alias ที่อยู่ในรูปของคอนฟาวด์ เนื่องจากการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลนั้นมีอิทธิพลบางตัวที่ไม่สามารถหาค่าได้ ดังนั้นการใช้ความรู้เฉพาะเกี่ยวกับกระบวนการและผลิตภัณฑ์ในการประกอบการตัดสินใจจะได้รับการทดลองที่ดีที่สุดและได้ผลลัพธ์ที่น่าไปใช้งานได้

การเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Center point) ของการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลนั้นเป็นการลดจำนวนในการทดลองและประหยัดเวลาโดยมีสมมติฐานเชิงเส้น (Linearity) ของตัวแปร

ตอบสนองที่ 2 ระดับของปัจจัย ดังนั้นการเพิ่มจุดศูนย์กลางจะทำให้สามารถทดสอบการมีความโค้งของตัวแปรตอบสนองของปัจจัยได้

การสุ่ม (Randomization) เป็นการเรียงลำดับการทดลองอย่างสุ่ม ซึ่งทำให้ผลการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกันอีกทั้งยังสามารถที่จะกระจายความผันแปรภายนอกที่ไม่ได้เกิดจากสาเหตุโดยธรรมชาติออก ซึ่งทำให้ผลของการทดลองมีความถูกต้องยิ่งขึ้น

การออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองในหัวข้อนี้ ได้เลือกการออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Half-Fractional Factorial Design with Center Point) โดยใช้โปรแกรม Minitab ในการสร้างเมตริกซ์การออกแบบ (Matrix Design) ที่มีการศึกษาปัจจัยจำนวน 5 ปัจจัย รวมมีการทดลองเท่ากับ 2^{5-1} หรือ 16 การทดลอง มีการสุ่มของลำดับการทดลองเพื่อให้ผลการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกันและได้เพิ่มการทดลองที่จุดศูนย์กลางอีก 3 การทดลอง ดังนั้นจำนวนการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 19 การทดลองและกำหนดจำนวนทดลองซ้ำเท่ากับ 15 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 การออกแบบการทดลองเมตริกซ์โดยโปรแกรม Minitab

StdOrder	RunOrder	CenterPt	A	B	C	D	E
18	1	0	16.5	1.5	50	9000	105
10	2	1	25	1	20	12000	140
14	3	1	25	1	80	12000	70
4	4	1	25	2	20	6000	140
3	5	1	8	2	20	6000	70
16	6	1	25	2	80	12000	140
12	7	1	25	2	20	12000	70
19	8	0	16.5	1.5	50	9000	105
2	9	1	25	1	20	6000	70
17	10	0	16.5	1.5	50	9000	105
13	11	1	8	1	80	12000	140
9	12	1	8	1	20	12000	70
5	13	1	8	1	80	6000	70
15	14	1	8	2	80	12000	70
1	15	1	8	1	20	6000	140
6	16	1	25	1	80	6000	140
8	17	1	25	2	80	6000	70
7	18	1	8	2	80	6000	140
11	19	1	8	2	20	12000	140

5.5 ผลการทดลอง

จากการเก็บข้อมูลของตารางการทดลองเมตริกซ์ในตารางที่ 5.5 ที่มีลำดับการทดลองแบบสุ่มของการทดลองทั้งหมด 19 การทดลอง ซึ่งผลลัพธ์ของการทดลองวัดค่าความกว้างของลักษณะป็นเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อของเสียลักษณะป็นดังแสดงตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ผลการทดลองวัดค่าความกว้างของลักษณะป็น

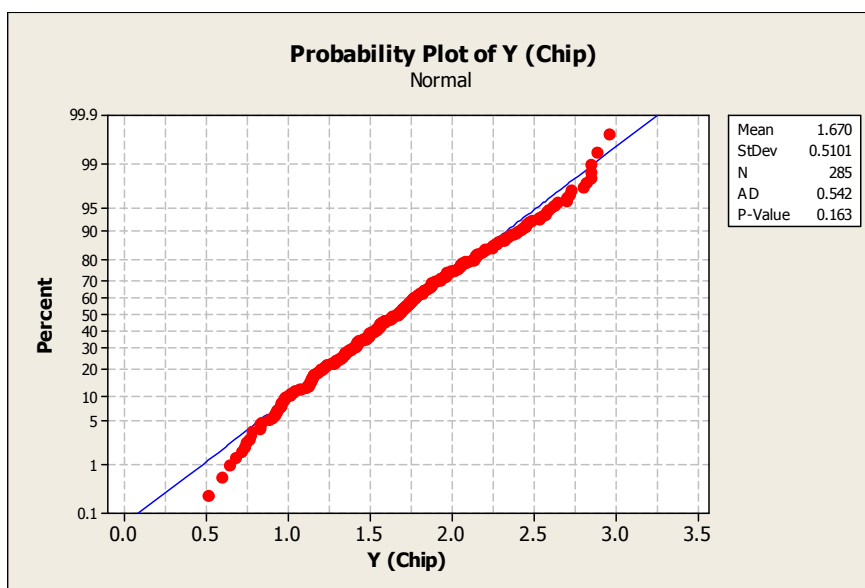
StdOrder	RunOrder	CenterPt	A	B	C	D	E	Ybar	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12	Y13	Y14	Y15
18	1	0	16.5	1.5	50	9000	105	1.330	0.905	1.342	0.980	1.571	1.182	1.238	0.940	1.490	1.720	1.330	1.737	1.677	1.225	1.686	0.928
10	2	1	25	1	20	12000	140	1.923	2.424	1.535	2.162	1.667	1.492	1.820	2.401	2.173	1.850	1.590	1.560	2.269	1.845	1.868	2.190
14	3	1	25	1	80	12000	70	2.407	2.620	2.366	2.720	1.930	2.567	2.202	1.640	2.310	2.798	2.696	2.480	1.870	2.454	2.877	2.582
4	4	1	25	2	20	6000	140	1.873	2.023	1.560	1.927	1.955	1.758	2.057	1.778	1.931	2.255	1.969	1.689	1.618	2.371	1.550	1.661
3	5	1	8	2	20	6000	70	1.053	1.130	1.014	0.988	1.107	0.716	0.970	1.187	1.041	0.677	0.771	1.307	1.164	1.235	1.227	1.262
16	6	1	25	2	80	12000	140	2.297	2.639	2.531	2.548	1.930	2.132	2.134	2.245	2.840	2.413	2.195	2.097	2.442	2.052	1.820	2.441
12	7	1	25	2	20	12000	70	1.578	1.338	1.554	1.883	1.670	2.154	1.918	1.860	1.515	1.966	1.464	1.374	1.288	0.885	1.282	1.520
19	8	0	16.5	1.5	50	9000	105	1.289	1.182	1.873	1.381	0.512	1.715	1.369	1.716	1.562	1.965	0.972	1.356	0.919	0.825	0.962	1.028
2	9	1	25	1	20	6000	70	1.794	2.246	1.686	1.185	1.979	1.615	1.801	1.629	1.493	1.855	2.313	2.142	1.503	1.872	2.270	1.328
17	10	0	16.5	1.5	50	9000	105	1.392	2.010	1.156	0.946	1.564	1.538	1.504	0.957	1.156	1.691	1.690	1.518	1.520	1.343	1.332	0.955
13	11	1	8	1	80	12000	140	1.449	1.418	1.896	1.008	1.708	1.136	2.048	1.480	1.595	1.433	1.535	1.138	1.365	1.675	1.562	0.743
9	12	1	8	1	20	12000	70	1.400	1.415	1.483	1.461	1.119	1.076	1.644	1.972	0.738	1.013	1.487	1.422	1.322	1.670	1.749	1.423
5	13	1	8	1	80	6000	70	1.610	1.411	1.752	1.755	1.410	1.072	1.764	1.738	1.544	1.710	1.755	1.422	1.557	1.736	1.772	1.746
15	14	1	8	2	80	12000	70	1.512	1.122	1.820	1.445	1.941	1.848	1.498	1.755	1.146	1.151	1.396	1.792	1.782	1.414	1.410	1.164
1	15	1	8	1	20	6000	140	1.443	1.631	1.127	1.672	1.803	1.632	1.769	1.695	0.838	1.826	1.390	1.622	0.924	1.136	1.296	1.283
6	16	1	25	1	80	6000	140	2.420	2.815	2.031	1.989	2.696	2.467	2.842	2.244	1.862	2.710	2.047	2.336	2.954	2.185	2.273	2.847
8	17	1	25	2	80	6000	70	2.196	2.125	2.387	2.146	1.875	2.600	2.312	1.787	2.340	2.137	2.077	2.575	2.039	1.960	2.056	2.527
7	18	1	8	2	80	6000	140	1.652	1.585	1.143	2.043	1.489	1.889	1.348	1.343	1.738	1.825	1.146	1.961	2.141	1.330	1.721	2.073
11	19	1	8	2	20	12000	140	1.106	1.433	1.203	0.770	0.594	0.832	0.824	1.471	1.216	1.293	1.826	1.588	0.642	0.926	0.765	1.213

5.6 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ก่อนที่จะนำข้อมูลของผลการทดลองที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ผล จะต้องมีการตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) โดยทำการตรวจสอบด้วยวิธีการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual) ซึ่งประกอบด้วย การทดสอบสมมติฐาน 3 ข้อดังนี้ 1. สมมติฐานของการแจกแจงปกติ (Normality) 2. สมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independence) และ 3. สมมติฐานของความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) โดยนำข้อมูลผลการทดลองวัดค่าความกว้างของลักษณะป็นในตารางที่ 5.6 มาทำการวิเคราะห์ดังนี้

5.6.1 การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ

การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติสามารถตรวจสอบได้ โดยพิจารณาจากการกระจายตัวของส่วนตกค้าง จากข้อมูลในตารางที่ 5.6 และรูปที่ 5.1 พบว่าที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนตกค้างมีการกระจายตัวปกติคือมีลักษณะเป็นตามแนวเส้นตรงและค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.163 ซึ่งมากกว่า 0.05 ดังนั้น จึงสรุปว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงปกติ

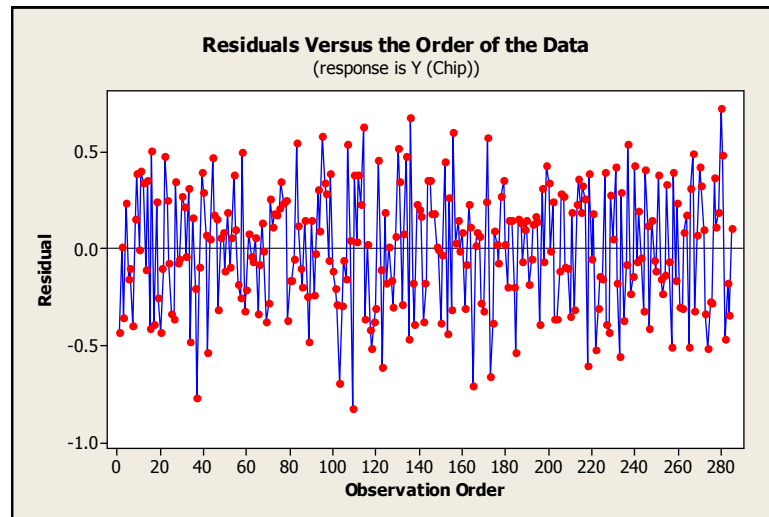


รูปที่ 5.1 ผลการทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ

5.6.2 การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของส่วนตกค้างสามารถพิจารณาจากแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับของการเก็บข้อมูล (Observation)

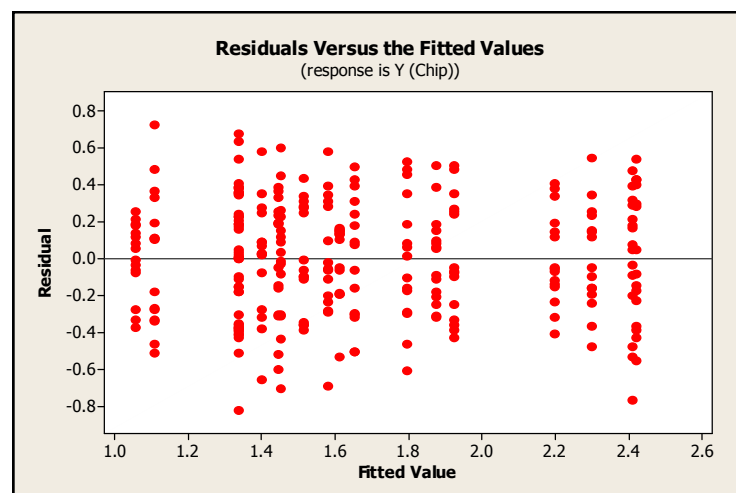
Order) จากรูปที่ 5.2 พบว่าส่วนตกค้างของความกว้างลักษณะบิ่นมีการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบที่แน่นอน ดังนั้นจึงสรุปว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับของการเก็บข้อมูล

5.6.3 การทดสอบสมมติฐานของความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนสามารถตรวจสอบได้โดยแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ส่วนตกค้างกับความกว้างลักษณะบิ่นที่ได้จากสมการถดถอย(Fitted Value) จากรูปที่ 5.3 พบว่าลักษณะการกระจายของส่วนตกค้างมีลักษณะกระจายตัวคงที่และไม่เป็นการกระจายตัวที่เป็นรูปแบบของกรวยปากเปิด จึงสรุปว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

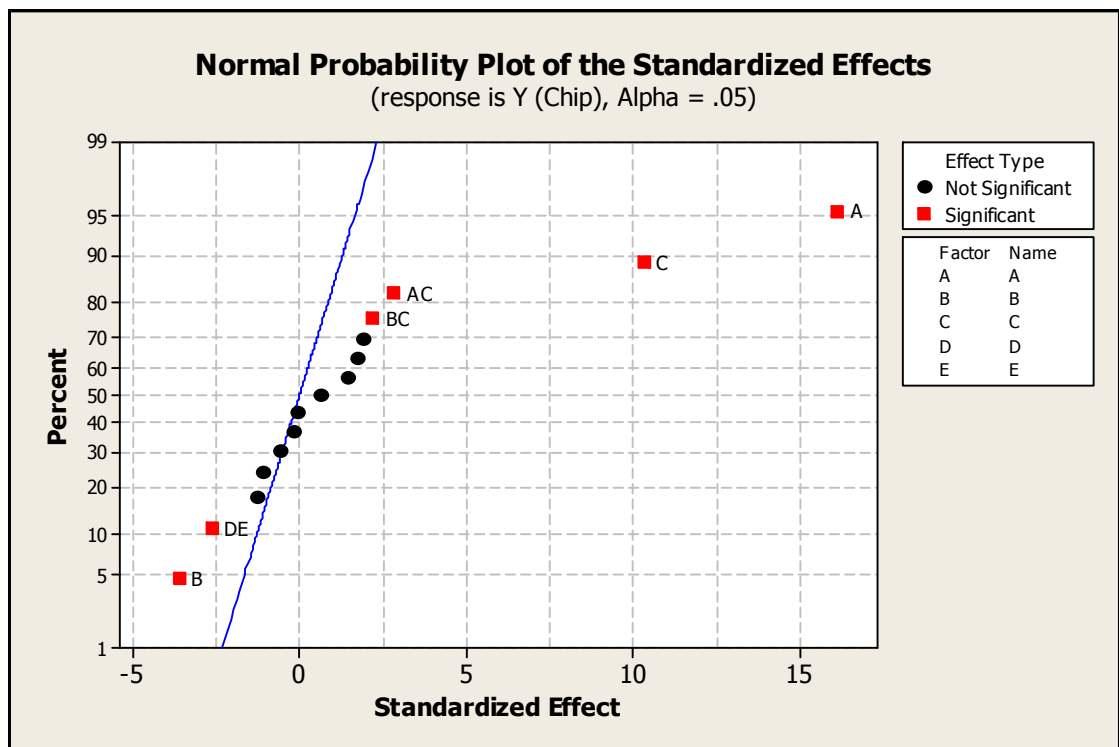


รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับ Fitted Value

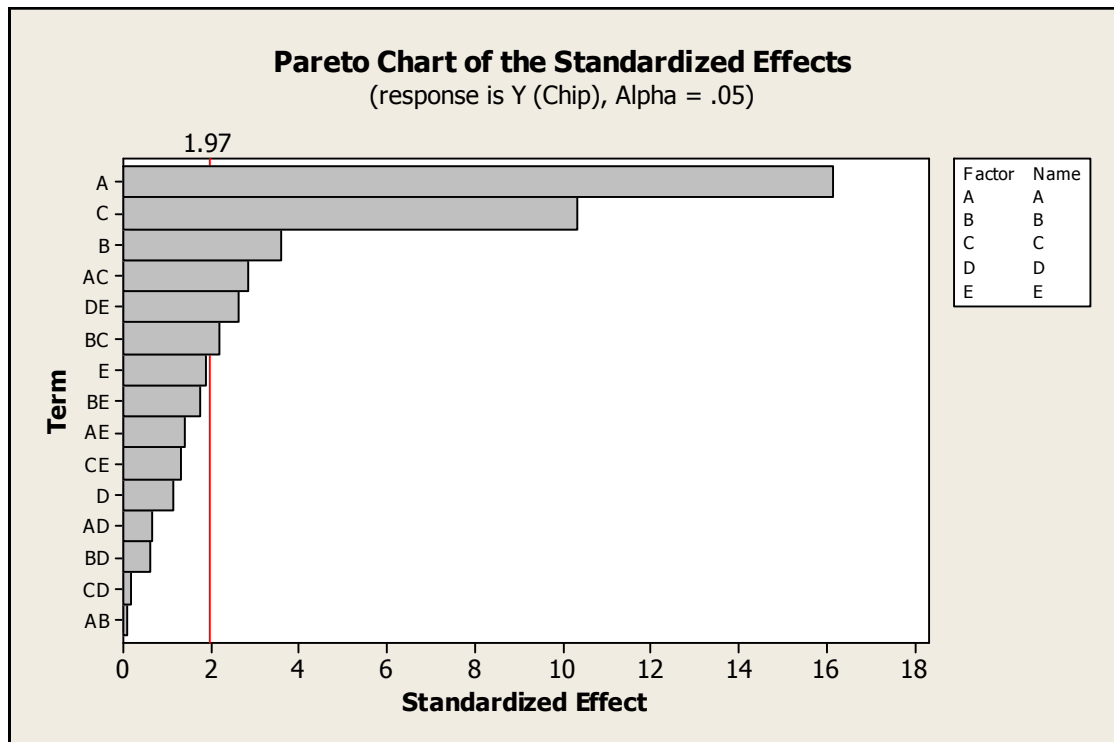
จากการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองสามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ เป็นไปตามสมมติฐานทั้ง 3 ข้อที่กำหนดไว้คือสมมติฐานของการแจกแจงปกติ สมมติฐานของความเป็นอิสระ และสมมติฐานของความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ดังแสดงโดยการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง ดังนั้นจึงสามารถทำการวิเคราะห์ผลการทดลองได้ในขั้นตอนถัดไป

5.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้นด้วยโปรแกรม Minitab แสดงให้เห็นผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญซึ่งแสดงในรูปแบบของ Normal Probability Plot ดังแสดงในรูปที่ 5.4 และแผนภาพพาเรโตแสดงดังรูปที่ 5.5 ตามลำดับนั้นพบว่าปัจจัยหลัก A B C และอันตรกิริยา AC BC DE นั้นมีผลต่อค่าของความกว้างลักษณะป็น



รูปที่ 5.4 กราฟ Normal Probability ของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่าความกว้างลักษณะป็น



รูปที่ 5.5 พาเรโตแสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่าความกว้างลักษณะบิ่น

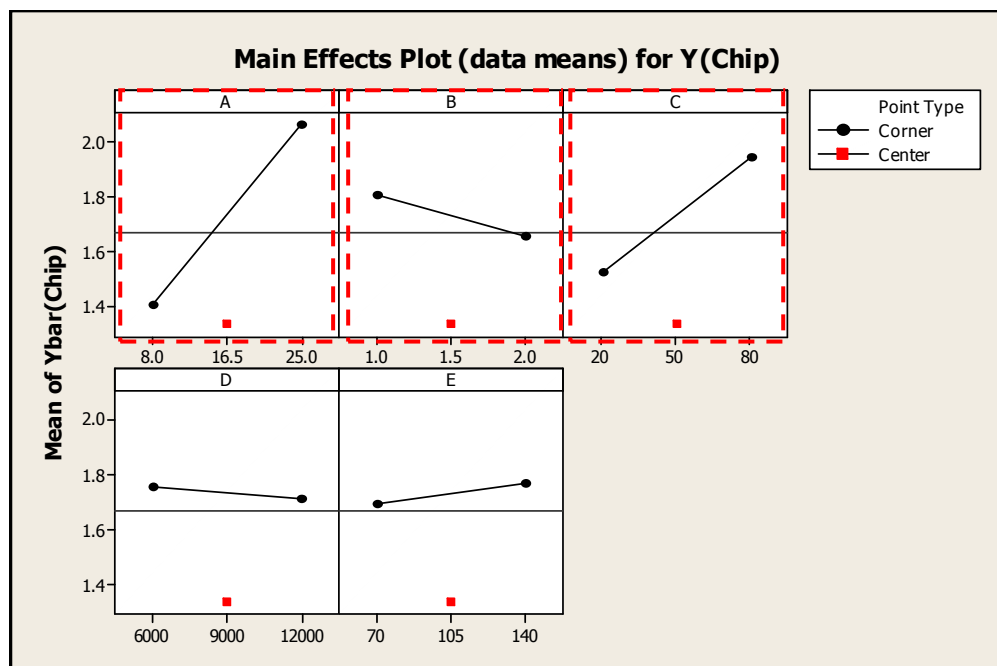
การวิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้นจากโปรแกรม Minitab ในการพิจารณาปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อค่าความกว้างลักษณะบิ่น ดังแสดงตารางที่ 5.7 พบว่าที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 มีปัจจัยหลักที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความกว้างลักษณะบิ่น หรือปัจจัยที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 จำนวน 3 ปัจจัยคือ อุณหภูมิน้ำ (A) แรงดันน้ำ (B) และความเร็วในการตัด (C) และปัจจัยที่มีอันตรกิริยาต่อกันจำนวน 3 ปัจจัยคืออุณหภูมิน้ำกับความเร็วในการตัด (A^*C) แรงดันน้ำกับความเร็วในการตัด (B^*C) และความเร็วรอบของสปินเดิลมอเตอร์กับความลึกในการตัด (D^*E) นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่ออิทธิพลเนื่องจากความโค้งของผิวตอบสนองเกิดขึ้นกับการทดลองเนื่องจากค่า P-Value ของความโค้งของผิวตอบสนองเท่ากับ 0.007 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05

ตารางที่ 5.7 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองสำหรับค่าความกว้างลักษณะบีน

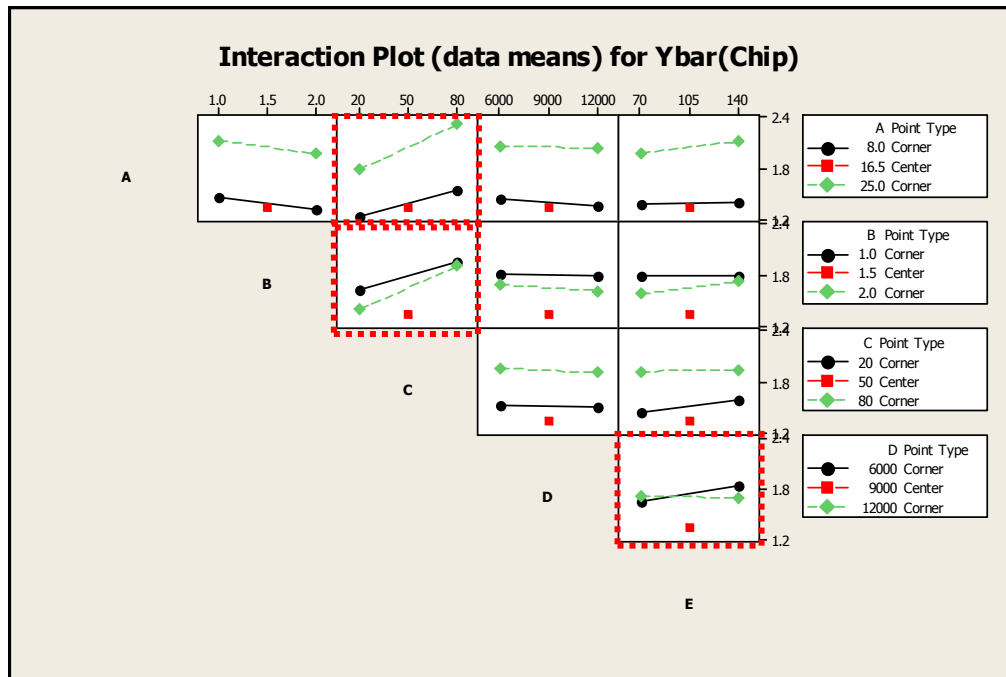
Factorial Fit: Y (Chip) versus A, B, C, D, E						
Estimated Effects and Coefficients for Y (Chip) (coded units)						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	
Constant		1.7322	0.02042	84.82	0.000	
A	0.6581	0.3291	0.02042	16.11	0.000	
B	-0.1472	-0.0736	0.02042	-3.61	0.000	
C	0.4216	0.2108	0.02042	10.32	0.000	
D	-0.0460	-0.0230	0.02042	-1.13	0.261	
E	0.0767	0.0383	0.02042	1.88	0.062	
A*B	-0.0027	-0.0014	0.02042	-0.07	0.947	
A*C	0.1164	0.0582	0.02042	2.85	0.005	
A*D	0.0264	0.0132	0.02042	0.65	0.518	
A*E	0.0577	0.0289	0.02042	1.41	0.159	
B*C	0.0900	0.0450	0.02042	2.20	0.028	
B*D	-0.0241	-0.0121	0.02042	-0.59	0.555	
B*E	0.0706	0.0353	0.02042	1.73	0.085	
C*D	-0.0068	-0.0034	0.02042	-0.17	0.868	
C*E	-0.0535	-0.0268	0.02042	-1.31	0.191	
D*E	-0.1070	-0.0535	0.02042	-2.62	0.009	
Ct Pt		-0.3951	0.05139	-7.69	0.000	
S = 0.316362 R-Sq = 63.71% R-Sq(adj) = 61.54%						
Analysis of Variance for Y (Chip) (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	5	38.4315	38.4315	7.6863	76.80	0.000
2-Way Interactions	10	2.7365	2.7365	0.2737	2.73	0.003
Curvature	1	5.9156	5.9156	5.9156	59.11	0.000
Residual Error	268	26.8227	26.8227	0.1001		
Pure Error	268	26.8227	26.8227	0.1001		
Total	284	73.9064				

อีกทั้งผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีต่อค่าเฉลี่ยของความกว้างลักษณะบีนแสดงดังรูปที่ 5.6 พบว่ากราฟของปัจจัยหลัก A B และ C นั้นมีลักษณะเป็นเส้นตรงที่มีความชันคือ เมื่อมีการเปลี่ยนค่าของแต่ละปัจจัยหลัก จะส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของความกว้างลักษณะบีนอย่างมีนัยสำคัญ โดยเมื่อมีการปรับระดับปัจจัย A C ไปที่ระดับต่ำและระดับปัจจัย B ไปที่ระดับสูงจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของความกว้างลักษณะบีนนั้นมีแนวโน้มลดลง รวมถึงผลของอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของความกว้างลักษณะบีน ดังรูปที่ 5.7 พบว่ากราฟความสัมพันธ์ของอันตรกิริยาของ

ปัจจัย A*C โดยเมื่อปรับระดับปัจจัย A และ C ไปที่ระดับต่ำจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของความกว้างลักษณะบิ่นนั้นลดลง สำหรับอันตรกิริยาของปัจจัย B*C นั้นเมื่อปรับระดับปัจจัย B ไปที่ระดับสูง และ C ไปที่ระดับต่ำจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของความกว้างลักษณะบิ่นนั้นลดลงเช่นกัน สำหรับอันตรกิริยาของปัจจัย D*E นั้นพบว่ากราฟเส้นของปัจจัย D และ E นั้นมีความชันน้อยมากไม่ว่าจะปรับระดับของปัจจัยทั้งสองไปที่ระดับสูงหรือระดับต่ำ โดยจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของความกว้างลักษณะบิ่นเปลี่ยนแปลงน้อยมาก และเมื่อพิจารณาที่ค่ากลางของทั้งสองปัจจัยพบว่าค่าเฉลี่ยของความกว้างลักษณะบิ่นนั้นต่ำกว่าระดับของปัจจัยด้านสูงและด้านต่ำ รวมถึงปัจจัยหลัก D และ E นั้นไม่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของความกว้างลักษณะบิ่นอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งพบว่าอันตรกิริยาของปัจจัย D*E นั้นเกิดผลคอนฟาวด์กับอันตรกิริยาของปัจจัย A*B*C โดยไม่สามารถทำการประเมินแยกออกมาได้ดังแสดงตารางที่ 5.8 รวมถึงข้อจำกัดในด้านของเวลาและวัตถุดิบที่มีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นจะกำหนดระดับของปัจจัย D และ E ที่ค่ากลางคือความเร็วรอบของสปินเดิลมอเตอร์เท่ากับ 9000 รอบต่อนาที และความลึกในการตัดเท่ากับ 105 μm . เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ที่ในขั้นตอนถัดไป



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีต่อค่าเฉลี่ยของความกว้างลักษณะบิ่น



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงผลกระทบของปัจจัยร่วมที่มีต่อค่าเฉลี่ยของความกว้างลักษณะบน

ตารางที่ 5.8 ตารางแสดงโครงสร้าง Alias จากแบบการทดลอง

Alias Structure	
I	+ A*B*C*D*E
A	+ B*C*D*E
B	+ A*C*D*E
C	+ A*B*D*E
D	+ A*B*C*E
E	+ A*B*C*D
A*B	+ C*D*E
A*C	+ B*D*E
A*D	+ B*C*E
A*E	+ B*C*D
B*C	+ A*D*E
B*D	+ A*C*E
B*E	+ A*C*D
C*D	+ A*B*E
C*E	+ A*B*D
D*E	+ A*B*C

บทที่ 6

การปรับปรุงแก้ไขปัญหา (Improve Phase)

จากการที่ได้พิจารณาการออกแบบการทดลองในระหะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่ การออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางของ 5 ปัจจัยเพื่อ หาปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญต่อความกว้างของลักษณะบิน และเมื่อได้ปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญ ต่อลักษณะดังกล่าวแล้ว จึงนำปัจจัยเหล่านี้มาทำการทดลองเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของแต่ละ ปัจจัยนำเข้า โดยอาศัยหลักการออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM) เพื่อวิเคราะห์ผลหาความกว้างของลักษณะบินที่น้อยที่สุด

6.1 ปัจจัยนำเข้าที่ทำการศึกษา

จากการวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 5 ปัจจัยในระหะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา เพื่อ กลั่นกรองปัจจัยที่ส่งผลต่อความกว้างของลักษณะบินอย่างมีนัยสำคัญ พบว่ามี 3 ปัจจัยได้แก่ อุณหภูมิ น้ำ แรงดันน้ำและความเร็วในการตัด ซึ่งระดับของแต่ละปัจจัยที่จะนำไปใช้ในการ ออกแบบการทดลองในระหะการปรับปรุงแก้ไขปัญหานั้น มีการกำหนดโดยพิจารณาจาก 3 ระดับที่อยู่ใน ช่วงการทำงานของแต่ละปัจจัย ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ปัจจัยที่จะนำมาศึกษาในระหะการปรับปรุงแก้ไขปัญหา

ปัจจัย		ต่ำ	กลาง	สูง	หน่วย
อุณหภูมิ	(A)	8	16.5	25	องศาเซลเซียส
แรงดันน้ำ	(B)	1	1.5	2	ลิตรต่อนาที
ความเร็วในการตัด	(C)	20	50	80	มิลลิเมตรต่อวินาที

6.2 ตัวแปรตอบสนอง

ในการทดลองขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะพิจารณาปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบต่อขนาด ความกว้างลักษณะบินที่ได้จากกระบวนการของผลิตภัณฑ์ QFN ขนาด 3x3 มิลลิเมตร โดยใช้ เครื่องมือคือกล้องไมโครสโคปในการวัดค่า โดยมีตัวแปรตอบสนองในการศึกษาคือค่าความกว้าง ของลักษณะบินที่ได้จากการวัด

6.3 การออกแบบการทดลอง

เนื่องจากผลการทดลองในระยะวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาพบว่ามีอิทธิพลเนื่องจากความโค้งของผิวตอบสนองเกิดขึ้น ดังนั้นจึงนำปัจจัยหลักที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความกว้างของลักษณะบิ่นทั้ง 3 ปัจจัยมาทำการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองเพิ่มเติมเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ที่มีลักษณะส่วนโค้งด้วยวิธีการหาพื้นผิวตอบสนอง เพื่อวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสมที่มีผลให้ความกว้างของลักษณะบิ่นต่ำที่สุด ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบการออกแบบการทดลองเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ระหว่าง การออกแบบส่วนผสมกลาง (Central Composite Design; CCD) และการออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) ซึ่งมีลักษณะของแบบจำลอง การกำหนดระดับของปัจจัยและจำนวนการทดลองแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 เปรียบเทียบการออกแบบการทดลองสำหรับพื้นผิวตอบสนอง

	การออกแบบส่วนผสมกลาง	การออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน
ลักษณะของแบบจำลอง	เป็นการออกแบบที่ระดับของแต่ละปัจจัยห่างจากจุดศูนย์กลางของแบบจำลองเท่ากันและทำซ้ำที่จุดกึ่งกลาง โดยแต่ละปัจจัยมีระดับการทดลองทั้งหมด 5 ระดับ คือ $-\alpha, -1, 0, 1, \alpha$	เป็นการออกแบบที่คล้ายกับการออกแบบส่วนผสมกลาง แต่ต่างกันที่จุดบนแกนจะอยู่ในระนาบเดียวกับจุดที่เป็นแบบแฟกทอเรียล และทำซ้ำที่จุดกึ่งกลาง โดยแต่ละปัจจัย จะมี 3 ระดับ คือ $-1, 0, 1$
ค่าของระดับของปัจจัย	ค่าของระดับของปัจจัยที่นำมาใช้จะไม่ใช้ขีดจำกัดบนและขีดจำกัดล่างของตัวแปรแต่ละตัว เมื่อมี Axial Points จะอยู่นอก Cube ของการออกแบบ ในการกำหนดระดับปัจจัยควรระมัดระวังไม่ให้ Axial Points อยู่นอกเหนือจุดที่ใช้ทดลองเนื่องจากข้อจำกัดด้านกายภาพของกระบวนการ	ค่าของระดับของปัจจัยที่จะนำมาใช้ จะสร้างขึ้นจากขีดจำกัดบนและขีดจำกัดล่างของตัวแปรแต่ละตัว เป็นตัวกำหนด
จำนวนการทดลองขั้นต่ำของ 3 ปัจจัย	20	15

จากตารางที่ 6.2 สามารถสรุปได้ว่าการออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลางนั้นไม่เหมาะสำหรับการทดลองในงานวิจัยนี้เนื่องจากระดับของปัจจัยที่กำหนดนั้นอยู่นอก cube ของการออกแบบและเนื่องจากข้อจำกัดด้านกายภาพของกระบวนการที่ไม่สามารถปฏิบัติได้จริง อีกทั้งยังใช้จำนวนตัวอย่างที่มากกว่าการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน ดังนั้นผู้วิจัยจึงพิจารณาเลือกการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้

จำนวนการทดลองในการทดลองขั้นตอนนี้ กำหนดจากจำนวนปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญจำนวน 3 ปัจจัย ตามหลักการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน ผลการออกแบบด้วยโปรแกรม Minitab พบว่ามีการกำหนดจุดศูนย์กลางเท่ากับ 3 และการทำซ้ำเท่ากับ 15 ครั้ง ดังนั้นจำนวนการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 15 การทดลอง ดังแสดงตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 ผลลัพธ์จากออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน

Box-Behnken Design			
Factors:	3	Replicates:	15
Base runs:	15	Total runs:	225
Base blocks:	1	Total blocks:	1
Center points:	45		

ในการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน สำหรับปัจจัย 3 ปัจจัยที่มีจุดศูนย์กลางเท่ากับ 3 การทดลอง การทำซ้ำเท่ากับ 15 ครั้งและจำนวนการทดลองทั่วไปเท่ากับ 225 การทดลอง และจุดศูนย์กลางเท่ากับ 45 โดยมีการจัดลำดับการทดลองเป็นแบบสุ่มเพื่อให้ผลการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกัน จากการใช้โปรแกรม Minitab ในการสร้างเมตริกซ์การออกแบบของการทดลองดังแสดงตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 การออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน

StdOrder	RunOrder	อุณหภูมิน้ำ	แรงดันน้ำ	ความเร็วในการตัด
4	1	25	2	50
10	2	16.5	2	80
6	3	25	1.5	80
14	4	16.5	1.5	50
13	5	16.5	1.5	50
7	6	8	1.5	20
1	7	8	1	50
2	8	25	1	50
15	9	16.5	1.5	50
3	10	8	2	50
12	11	16.5	2	20
8	12	25	1.5	20
11	13	16.5	1	20
9	14	16.5	1	80
5	15	8	1.5	80

6.4 ผลการทดลอง

จากการเก็บข้อมูลในขั้นตอนการปรับปรุงตามตารางการทดลองแสดงในตารางที่ 6.4 ที่มีลำดับการทดลองแบบสุ่มของการทดลองทั้งหมด 15 การทดลองและการทำซ้ำแต่ละการทดลองเท่ากับ 15 ครั้ง โดยผลลัพธ์ของการทดลองวัดค่าความกว้างของลักษณะบิ่นเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อของเสียลักษณะบิ่น ในการปรับปรุงกระบวนการแสดงตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 ผลการทดลองค่าความกว้างของลักษณะป็นเพื่อปรับปรุงกระบวนการ

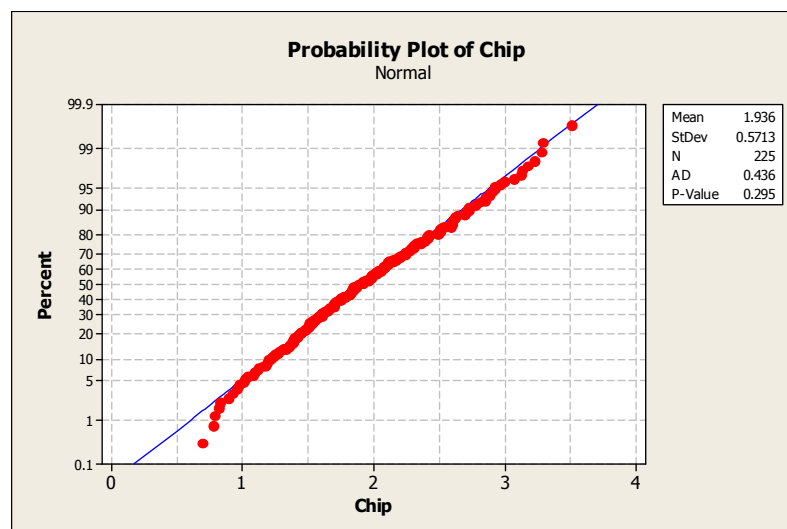
StdOrder	RunOrder	อุณหภูมิ น้ำ	แรงดัน น้ำ	ความเร็ว ในการตัด	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12	Y13	Y14	Y15
4	1	25	2	50	2.265	2.583	2.640	2.210	2.409	1.977	2.021	2.142	2.106	1.977	2.300	2.480	2.421	2.329	2.403
10	2	16.5	2	80	2.047	1.985	2.065	2.293	1.960	2.105	2.100	2.010	2.393	1.860	1.697	2.019	2.267	2.170	1.760
6	3	25	1.5	80	2.990	2.775	2.610	3.130	2.920	2.718	3.291	2.615	3.502	3.223	3.117	2.818	3.069	3.275	2.595
14	4	16.5	1.5	50	1.505	1.625	1.984	1.469	1.677	1.242	1.694	1.392	1.609	1.769	1.417	1.269	1.605	1.450	1.814
13	5	16.5	1.5	50	1.311	1.920	1.438	1.502	1.570	1.187	1.547	1.829	1.383	1.579	1.841	1.369	1.879	1.444	1.282
7	6	8	1.5	20	1.642	1.476	1.582	1.660	1.511	1.607	1.334	1.508	1.903	1.426	1.295	1.647	1.356	1.419	1.430
1	7	8	1	50	2.012	1.813	2.084	1.712	1.687	2.019	1.898	1.847	1.725	1.876	1.699	2.148	1.735	1.915	1.746
2	8	25	1	50	2.959	2.610	2.847	2.903	2.883	2.593	2.591	3.170	2.877	2.916	2.490	2.850	2.410	2.582	2.795
15	9	16.5	1.5	50	1.379	1.498	1.814	1.843	1.576	1.940	1.599	1.198	1.544	1.599	1.819	1.525	1.527	1.220	1.357
3	10	8	2	50	1.093	0.697	1.238	0.789	0.894	1.505	0.831	0.777	0.971	1.224	1.083	1.474	1.011	1.179	1.017
12	11	16.5	2	20	1.107	1.380	1.392	1.191	0.960	1.492	0.923	1.151	0.823	1.041	1.545	0.952	1.350	1.120	1.656
8	12	25	1.5	20	2.697	2.719	2.498	2.500	1.970	2.415	2.356	2.360	2.070	2.499	2.178	2.109	1.968	2.691	2.497
11	13	16.5	1	20	1.888	1.822	1.719	2.070	2.311	1.916	1.923	1.840	1.809	2.184	1.727	1.976	2.224	1.692	2.240
9	14	16.5	1	80	2.307	2.074	2.388	2.110	2.257	2.537	2.720	2.705	2.510	2.615	2.280	2.234	2.301	2.051	2.380
5	15	8	1.5	80	2.280	1.662	2.097	1.837	2.071	1.700	2.200	1.754	1.779	2.029	2.240	1.752	2.120	1.833	2.236

6.5 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ก่อนที่จะนำข้อมูลของผลการทดลองที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ผล จะต้องมีการตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลอง โดยทำการตรวจสอบด้วยวิธีการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง ซึ่งประกอบด้วย การทดสอบสมมติฐาน 3 ข้อดังนี้ 1. สมมติฐานของการแจกแจงปกติ 2. สมมติฐานของความเป็นอิสระ และ 3. สมมติฐานของความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน โดยนำข้อมูลผลการทดลองวัดค่าความกว้างของลักษณะบิ่นในตารางที่ 6.5 มาทำการวิเคราะห์แสดงดังนี้

6.5.1 การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ

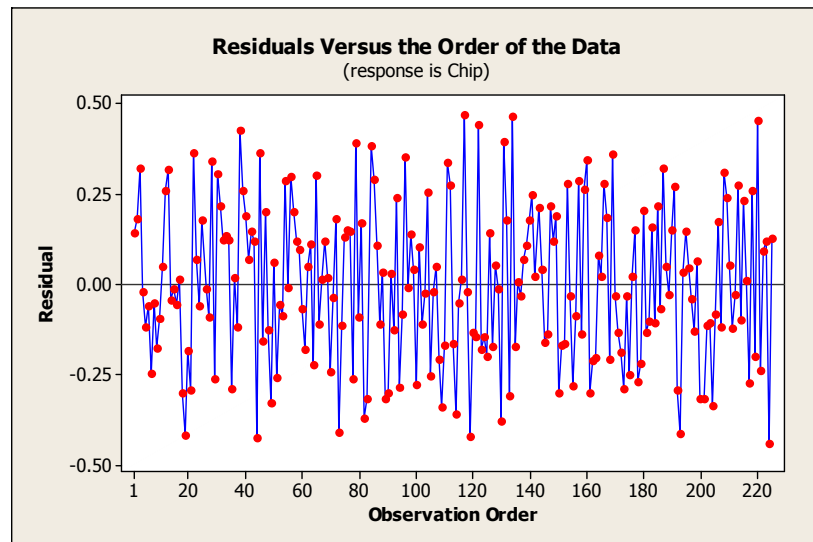
การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติสามารถตรวจสอบได้ โดยพิจารณาจากการกระจายตัวของส่วนตกค้าง จากข้อมูลในตารางที่ 6.5 และรูปที่ 6.1 พบว่าที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนตกค้างมีการกระจายตัวปกติคือมีลักษณะเป็นตามแนวเส้นตรงและค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.295 ซึ่งมากกว่า 0.05 ดังนั้น จึงสรุปว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงปกติ



รูปที่ 6.1 ผลการทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ

6.5.2 การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ

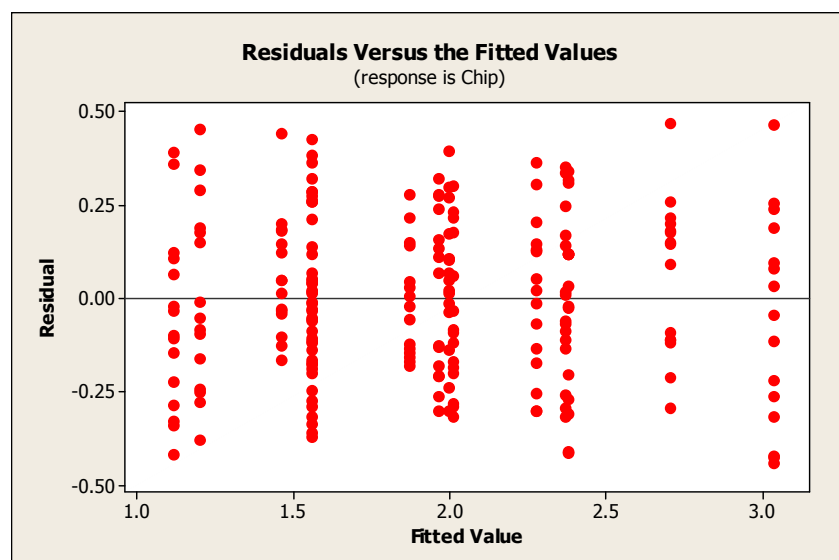
การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของส่วนตกค้างสามารถพิจารณาจากแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับของการเก็บข้อมูล (Observation Order) จากรูปที่ 6.2 พบว่าส่วนตกค้างของความกว้างลักษณะบิ่นมีการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบที่แน่นอน ดังนั้นจึงสรุปว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับของการเก็บข้อมูล

6.5.3 การทดสอบสมมติฐานของความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนสามารถตรวจสอบได้โดยแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ส่วนตกค้างกับความกว้างลักษณะบิ่นที่ได้จากสมการถดถอย (Fitted Value) จากรูปที่ 6.3 พบว่าลักษณะการกระจายของส่วนตกค้างมีลักษณะกระจายตัวคงที่และไม่เป็นการกระจายตัวที่เป็นรูปแบบของกรวยปากเปิด จึงสรุปว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน



รูปที่ 6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับ Fitted Value

จากการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองสามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ เป็นไปตามสมมติฐานทั้ง 3 ข้อที่กำหนดไว้คือสมมติฐานของการแจกแจงปกติ สมมติฐานของความเป็นอิสระ และสมมติฐานของความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ดังแสดงโดยการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง ดังนั้นจึงสามารถทำการวิเคราะห์ผลการทดลองได้ในขั้นตอนถัดไป

6.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากความนิยมแพร่หลาย ของวิธีการพื้นผิวตอบสนองในงานวิจัยต่าง ๆ เช่น งานวิจัยเรื่อง Process Setting through General Linear Model and Response Surface Method (A. Senjuntichai, 2010) งานวิจัยเรื่อง Cycle Time Reduction in Printing and Coloring Process on Front Cover of Camera (M. Premngam และ A. Senjuntichai, 2013) และงานวิจัยเรื่อง Spiral Defect Reduction of Hard Disk Drive Media (A. Pongtrairat และ A. Senjuntichai, 2013) เพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัย การวิเคราะห์ผลการทดลองในขั้นตอนการปรับปรุงด้วยโปรแกรม Minitab ที่มีการพิจารณาความกว้างของลักษณะบิ่นซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองดังตารางที่ 6.6 พบว่าปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัยคือ อุณหภูมิ น้ำ แรงดันน้ำ และความเร็วในการตัด และปัจจัยหลักกำลังสอง รวมถึงปัจจัยที่มีอันตรกิริยาต่อกันทุกปัจจัย มีนัยสำคัญต่อความกว้างของลักษณะบิ่นที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ยกเว้นปัจจัยที่มีอันตรกิริยาของอุณหภูมิและความเร็วในการตัดที่มีค่า P-Value เท่ากับ 0.173 ซึ่งมากกว่า 0.05 ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ผลการทดลองอีกครั้งหนึ่งโดยโปรแกรม Minitab โดยที่ไม่พิจารณาปัจจัยที่มีอันตรกิริยาของอุณหภูมิและความเร็วในการตัด ดังแสดงดังตารางที่ 6.7 พบว่าทั้งปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัยและปัจจัยหลักกำลังสองรวมถึงอันตรกิริยาของอุณหภูมิน้ำต่อแรงดันน้ำ และแรงดันน้ำต่อความเร็วในการตัดมีนัยสำคัญต่อความกว้างของลักษณะบิ่นโดยมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 หรือระดับนัยสำคัญ และจากการพิจารณาสมการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ไม่เชิงเส้นระหว่างผลตอบสนองกับพจน์ของปัจจัยหลักที่เป็น A B และ C พจน์ของปัจจัยในรูปแบบควอดรติก (Quadratic) ที่เป็น A^2 B^2 และ C^2 และพจน์ของปัจจัยที่มีอันตรกิริยา AB และ BC นั้นมีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ R^2 เท่ากับ 85.7% และ adjusted R^2 เท่ากับ 85.1% รวมถึงความสมบูรณ์ของสมการ (Lack-of-fit) มีค่า P-Value เท่ากับ 0.08 ซึ่งมากกว่า 0.05 ดังนั้นสรุปได้ว่าผลการทดลองมีความเพียงพอที่จะนำไปใช้ในการพยากรณ์ความกว้างของลักษณะบิ่นเพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยทั้ง 3 ในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 6.6 ผลการวิเคราะห์การทดลองพินผิวตอบสนองสำหรับความกว้างลักษณะบิ้น

Response Surface Regression: Chip versus อุณหภูมิน้ำ, แรงดันน้ำ, ความเร็วในการตัด

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Chip

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	4.85519	0.381641	12.722	0.000
อุณหภูมิน้ำ	-0.14913	0.017859	-8.350	0.000
แรงดันน้ำ	-1.98104	0.385181	-5.143	0.000
ความเร็วในการตัด	-0.03463	0.004759	-7.276	0.000
อุณหภูมิน้ำ*อุณหภูมิน้ำ	0.00519	0.000409	12.691	0.000
แรงดันน้ำ*แรงดันน้ำ	0.23714	0.118163	2.007	0.046
ความเร็วในการตัด*ความเร็วในการตัด	0.00031	0.000033	9.411	0.000
อุณหภูมิน้ำ*แรงดันน้ำ	0.01929	0.006678	2.889	0.004
อุณหภูมิน้ำ*ความเร็วในการตัด	0.00015	0.000111	1.366	0.173
แรงดันน้ำ*ความเร็วในการตัด	0.00724	0.001892	3.829	0.000

S = 0.2198 R-Sq = 85.8% R-Sq(adj) = 85.2%

Analysis of Variance for Chip

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	62.7214	62.7214	6.96905	144.19	0.000
Linear	3	50.2669	5.4129	1.80430	37.33	0.000
Square	3	11.2523	11.2523	3.75076	77.61	0.000
Interaction	3	1.2022	1.2022	0.40073	8.29	0.000
Residual Error	215	10.3912	10.3912	0.04833		
Lack-of-Fit	3	0.3123	0.3123	0.10411	2.19	0.090
Pure Error	212	10.0789	10.0789	0.04754		
Total	224	73.1126				

ตารางที่ 6.7 ผลการวิเคราะห์การทดลองพินผิวตอบสนองสำหรับความกว้างลักษณะบิ่น (ใหม่)

Response Surface Regression: Chip versus อุณหภูมิน้ำ, แรงดันน้ำ, ความเร็วในการตัด

The analysis was done using uncoded units.

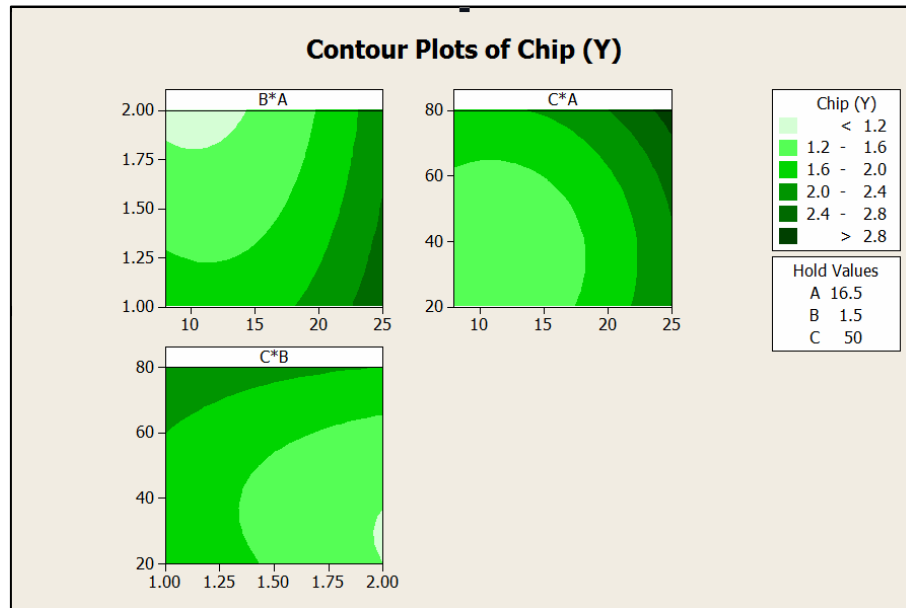
Estimated Regression Coefficients for Chip

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	4.72972	0.371173	12.743	0.000
อุณหภูมิน้ำ	-0.14152	0.017004	-8.323	0.000
แรงดันน้ำ	-1.98104	0.385953	-5.133	0.000
ความเร็วในการตัด	-0.03212	0.004399	-7.301	0.000
อุณหภูมิน้ำ*อุณหภูมิน้ำ	0.00519	0.000410	12.666	0.000
แรงดันน้ำ*แรงดันน้ำ	0.23714	0.118400	2.003	0.046
ความเร็วในการตัด*ความเร็วในการตัด	0.00031	0.000033	9.392	0.000
อุณหภูมิน้ำ*แรงดันน้ำ	0.01929	0.006691	2.883	0.004
แรงดันน้ำ*ความเร็วในการตัด	0.00724	0.001896	3.821	0.000

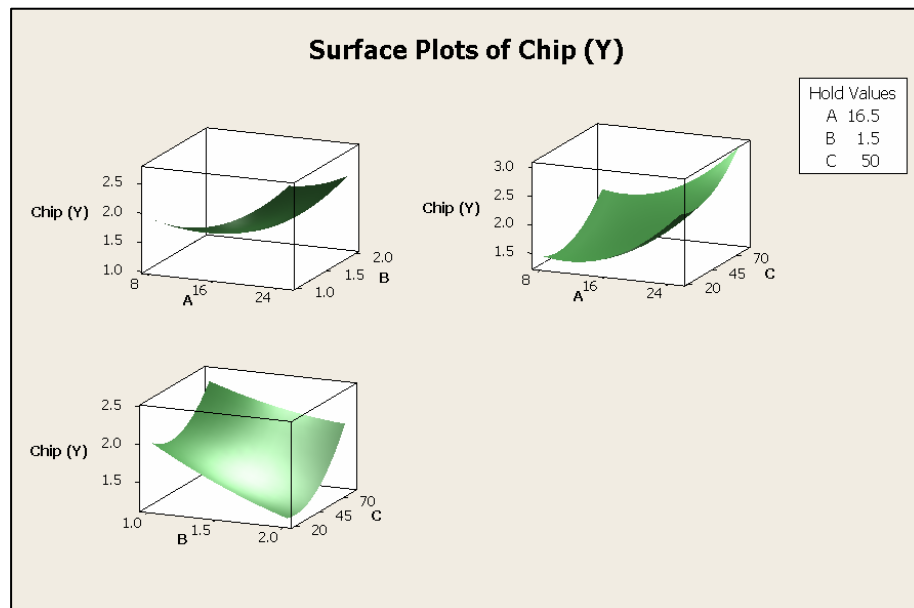
S = 0.2203 R-Sq = 85.7% R-Sq(adj) = 85.1%

Analysis of Variance for Chip

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	8	62.6312	62.6312	7.82889	161.34	0.000
Linear	3	50.2669	5.8756	1.95853	40.36	0.000
Square	3	11.2523	11.2523	3.75076	77.29	0.000
Interaction	2	1.1119	1.1119	0.55597	11.46	0.000
Residual Error	216	10.4815	10.4815	0.04853		
Lack-of-Fit	4	0.4026	0.4026	0.10064	2.12	0.080
Pure Error	212	10.0789	10.0789	0.04754		
Total	224	73.1126				



รูปที่ 6.4 โครงร่างระหว่างปัจจัย B*A C*A และ C*B



รูปที่ 6.5 พื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัย B*A C*A และ C*B

จากรูปที่ 6.4 และ 6.5 แสดงกราฟโครงร่างและพื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยดังนี้

- กราฟโครงร่างและพื้นผิวตอบสนองระหว่างปัจจัย B*A โดยคงค่าของปัจจัย C เท่ากับ 50 mm/s. พบว่าค่าความกว้างลักษณะบิ่นลดลงเมื่อปัจจัย B มีค่าเพิ่มขึ้นและปัจจัย A มีค่าลดลง

- กราฟโครงร่างและพื้นผิวตอบสนองของระหว่างปัจจัย C*B โดยคงค่าของปัจจัย A เท่ากับ 16.5 องศาเซลเซียส พบว่าค่าความกว้างลักษณะบิ่นลดลงเมื่อปัจจัย C มีค่าลดลงและปัจจัย B มีค่าเพิ่มขึ้น
- กราฟโครงร่างและพื้นผิวตอบสนองของระหว่างปัจจัย C*A โดยคงค่าของปัจจัย B เท่ากับ 1.5 ลิตรต่อนาที พบว่าค่าความกว้างลักษณะบิ่นลดลงเมื่อปัจจัย C และปัจจัย A มีค่าลดลง

จากผลการวิเคราะห์การทดลองพื้นผิวตอบสนองแสดงในตารางที่ 6.7 สามารถเขียนเป็นสมการถดถอยสำหรับการทำนายค่าความกว้างลักษณะบิ่นได้ดังสมการ 6.1

$$Y = 4.72972 - 0.14152A - 1.98104B - 0.03212C + 0.00519(A^2) + 0.23714(B^2) + 0.00031(C^2) + 0.01929(A*B) + 0.00724(B*C) \quad (6.1)$$

โดยที่

Y = ความกว้างลักษณะบิ่น

A = อุณหภูมิน้ำ

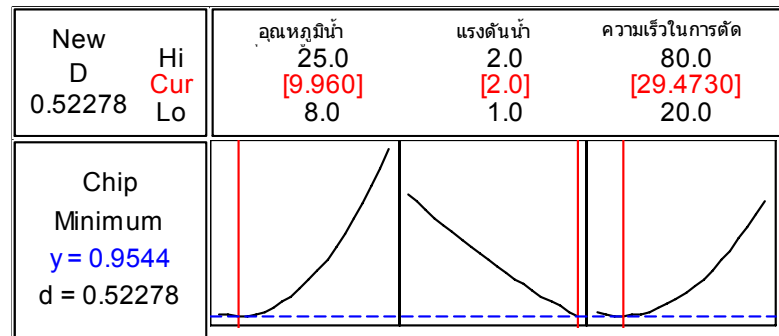
B = แรงดันน้ำ

C = ความเร็วในการตัด

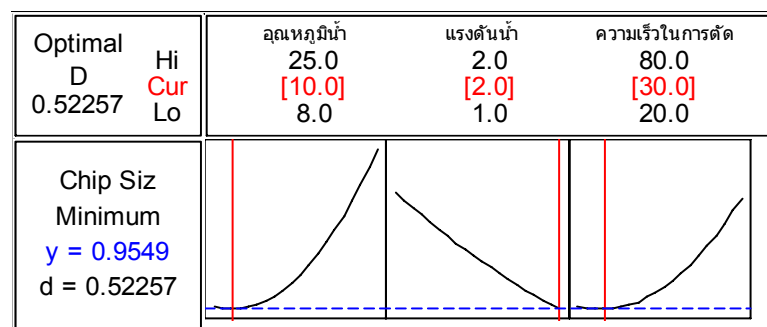
เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ของปัจจัยพบว่าแรงดันนี้มีอิทธิพลมากต่อความกว้างลักษณะบิ่นโดยแนวโน้มค่าความกว้างลักษณะบิ่นลดลงเมื่อระดับของแรงดันน้ำนั้นสูงขึ้น ส่วนอุณหภูมินี้และความเร็วในการตัด เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนแล้วจะมีอิทธิพลต่อความกว้างลักษณะบิ่นไม่มากเท่ากับแรงดันน้ำ

6.7 ค่าเงื่อนไขที่เหมาะสมจากการทดลอง

การพยากรณ์หาระดับที่เหมาะสมสำหรับการปรับค่าระดับปัจจัยที่มีนัยสำคัญทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ น้ำ แรงดันน้ำ และความเร็วในการตัด เพื่อให้ได้ความกว้างลักษณะบิ่นนั้นมีค่าน้อยที่สุด โดยการทดสอบจากโปรแกรม Minitab แสดงดังรูปที่ 6.6



รูปที่ 6.6 ผลการวิเคราะห์ระดับของปัจจัยที่เหมาะสม



รูปที่ 6.7 ผลการวิเคราะห์ระดับของปัจจัยที่เหมาะสมเมื่อใช้ค่าที่ปรับได้จริง

จากรูปที่ 6.6 พบว่าระดับของอุณหภูมิ น้ำ แรงดันน้ำ และความเร็วในการตัดที่เหมาะสม และส่งผลให้ความกว้างลักษณะปิ่นน้อยที่สุด นั่น ซึ่งในทางปฏิบัติไม่สามารถปรับอุณหภูมิและความเร็วในการตัดให้มีทศนิยมเหมือนกับระดับที่ได้จากการพยากรณ์ของโปรแกรม Minitab และเมื่อใช้ค่าที่ปรับได้จริงของกระบวนการดังแสดงรูปที่ 6.7 ดังนั้นค่าปัจจัยนำเข้าของกระบวนการที่ปรับได้จริงสามารถสรุปดังตารางที่ 6.8

ตารางที่ 6.8 ระดับของแต่ละปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสม

ปัจจัย		ค่าพยากรณ์ที่ เหมาะสม	ค่าที่ปรับได้ จริง	หน่วย
อุณหภูมิ	A	9.96	10	องศาเซลเซียส
แรงดันน้ำ	B	2	2	ลิตรต่อนาที
ความเร็วในการตัด	C	29.473	30	มิลลิเมตรต่อวินาที
ขนาดความกว้างลักษณะปิ่น	Y	0.9544	0.9549	mil

บทที่ 7

การติดตามควบคุมผล (Control Phase)

จากขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขปัญหานั้นได้ทราบถึงระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมของกระบวนการแล้ว ในระยะติดตามควบคุมผลนี้เป็นขั้นตอนในระยะสุดท้ายของแนวทางซิกซ์ ซิกมา ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการทดสอบเพื่อยืนยันผล และการตรวจสอบติดตามผลตัวแปรตอบสนองที่ได้จากระยะการปรับปรุง โดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติเกี่ยวกับการควบคุม

7.1 การทดสอบยืนยันผล

การทดสอบยืนยันผลของปัจจัยนำเข้าที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์ระยะการปรับปรุงกระบวนการสรุปได้ทั้งหมด 3 ปัจจัยได้แก่ อุณหภูมิ น้ำ แรงดันน้ำและความเร็วในการตัด โดยระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยส่งผลต่อความกว้างลักษณะบินต่ำที่สุด ดังแสดงตาราง ที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 ระดับของแต่ละปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมทั้ง 3 ปัจจัย

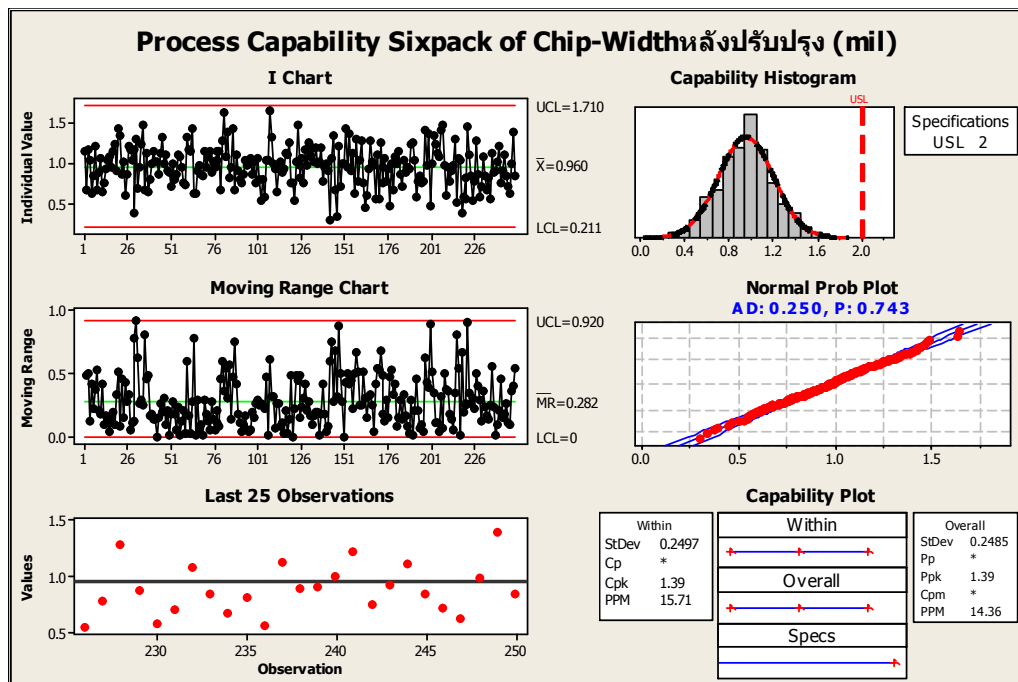
ปัจจัยนำเข้า	ระดับของปัจจัย	หน่วย
อุณหภูมิ	10	องศาเซลเซียส
แรงดันน้ำ	2	ลิตรต่อนาที
ความเร็วในการตัด	30	มิลลิเมตรต่อวินาที

ในส่วนการทดลองเพื่อยืนยันผลนั้นได้มีการกำหนดขนาดตัวอย่างเพื่อหาความสามารถของกระบวนการเท่ากับ 250 ตัวอย่าง ที่มีการดำเนินการเก็บข้อมูลโดยทำการเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 ชั่วโมง ชั่วโมงละ 10 ตัวอย่าง รวม 25 ชั่วโมง ซึ่งกำหนดระดับที่เหมาะสมของทั้ง 3 ปัจจัยหลักดังนี้

- ทำการกำหนดอุณหภูมิที่ระดับ 10 องศาเซลเซียสของเครื่องทำความเย็นน้ำ
- ทำการปรับตั้งแรงดันน้ำไว้ที่ 2 ลิตรต่อนาทีที่เครื่องจักร
- ทำการกำหนดความเร็วในการตัดที่ระดับ 30 มิลลิเมตรต่อวินาทีในซอฟต์แวร์ของเครื่องจักร

โดยผลการทดลองเพื่อยืนยันผลของความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุงดังแสดงรูปที่ 7.1

รูปที่ 7.1 ความสามารถของกระบวนการหลังปรับปรุงของความกว้างลักษณะเป็น



จากรูปที่ 7.1 พบว่าระดับความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุงมีค่า C_{pk} เท่ากับ 1.39 ซึ่งผลของปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยภายหลังจากที่มีการกำหนดระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าแล้ว พบว่าสามารถที่จะเพิ่มความความสามารถของกระบวนการได้จริง ดังนั้นจึงได้นำระดับที่เหมาะสมนี้ไปใช้ในการปฏิบัติงานเพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดจากของเสียลักษณะเป็นในขั้นตอนติดตามผล

7.2 การติดตามผลโดยการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม

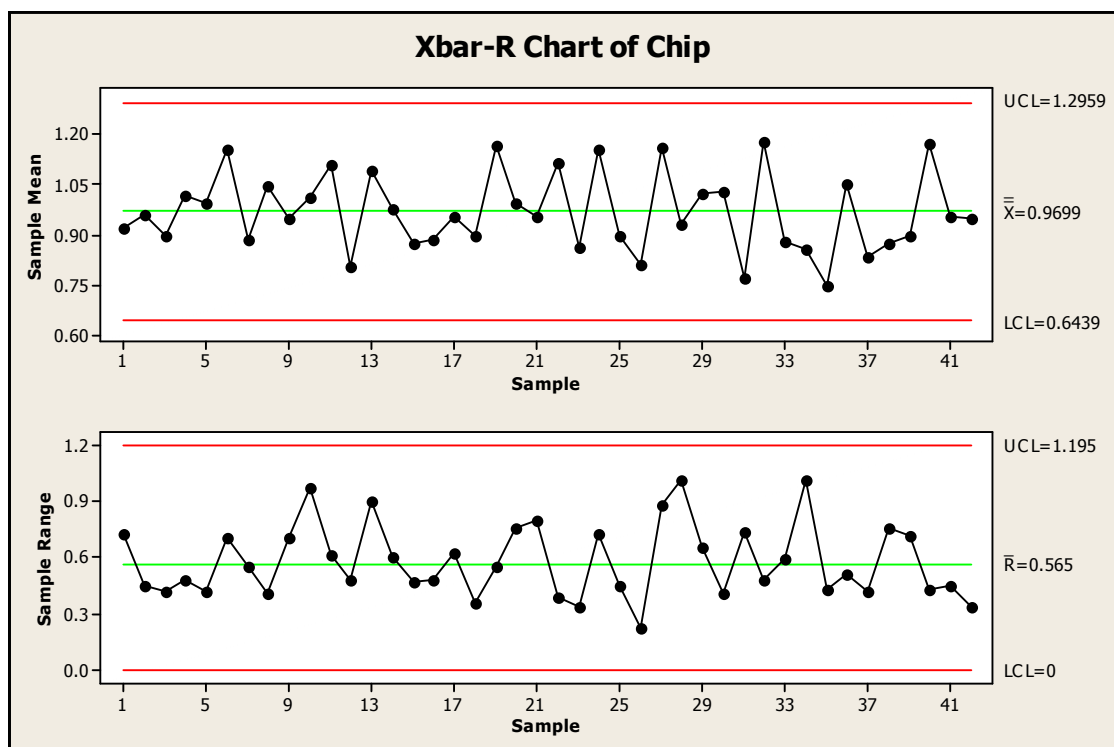
การควบคุมตัวแปรตอบสนองที่เป็นความกว้างลักษณะเป็นหลังระยะการปรับปรุงกระบวนการเพื่อให้มีค่าอยู่ใกล้ค่าที่ต่ำที่สุดและสอดคล้องกับผลการทดลองที่มีการกำหนดปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมของทั้ง 3 ปัจจัย โดยการนำเทคนิคทางสถิติควบคุมมาประยุกต์ใช้นั้นคือแผนภูมิควบคุม \bar{X} -R ซึ่งกำหนดการเก็บข้อมูลมีรายละเอียดดังนี้

- ขนาดตัวอย่างและความถี่ในการเก็บข้อมูล ได้มีการจัดทำเอกสารควบคุมการผลิตเพื่อใช้ในการควบคุมขนาดความกว้างของลักษณะเป็น โดยใช้จำนวนตัวอย่าง 5

ตัวอย่าง แนะนำให้ใช้จำนวนตัวอย่างที่ 2-10 ตัวอย่าง (Montgomery, D.C. 2009.)
สำหรับการสุ่มทุก ๆ 12 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์หรือ 21 วัน

- การวัดขนาดความกว้างของลักษณะป็น ได้กำหนดพนักงานผู้รับผิดชอบในการสุ่มผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตตามจำนวนและช่วงเวลาที่กำหนดไว้ทำการวัดขนาดความกว้างของลักษณะป็นโดยใช้กล้องไมโครสโคป

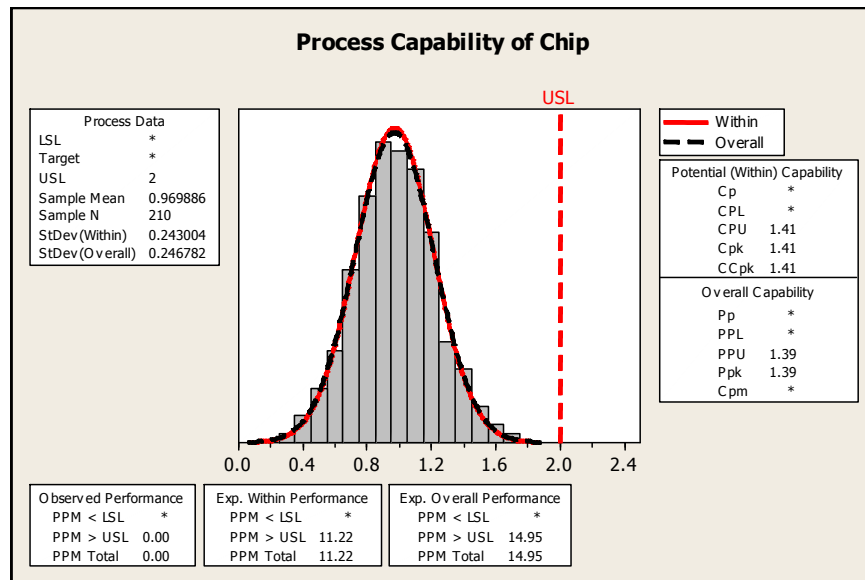
ผลจากการเก็บข้อมูลใน 21 วัน ซึ่งมี 42 กลุ่มข้อมูล และ 1 กลุ่มข้อมูลนั้นมาจากค่าเฉลี่ยจากการวัดของทั้ง 5 ตัวอย่าง โดยผลของแผนภูมิควบคุม \bar{X} - R ดังแสดงรูปที่ 7.2



รูปที่ 7.2 แผนภูมิควบคุม \bar{X} - R ของความกว้างลักษณะป็น

จากแผนภูมิควบคุมรูปที่ 7.2 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติ และมีค่าเฉลี่ยความกว้างลักษณะป็นเท่ากับ 0.9699 mils. ซึ่งถือว่าเป็นไปตามที่กำหนดไว้คือน้อยกว่า 2 mils. อีกทั้งการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในขั้นตอนการติดตามผลเพื่อประเมินความผันแปรของกระบวนการดังแสดงรูปที่ 7.3 พบว่าค่า Cpk ของกระบวนการในขั้นตอนการติดตามผลเท่ากับ 1.41 ซึ่งมากกว่าก่อนการปรับปรุงกระบวนการที่มีค่า Cpk เท่ากับ 0.66 และมากกว่าเกณฑ์การยอมรับด้านเดียวที่ 1.25 และเมื่อพิจารณาจำนวนชิ้นงานที่เครื่องจักรสามารถผลิตได้ต่อชั่วโมง (Unit Per Hour, UPH) หลังการปรับปรุงมีค่า UPH ลดลงจาก 4,763

เป็น 4,285 ชิ้นต่อชั่วโมง ซึ่งไม่ส่งผลต่อความต้องการในการผลิตปัจจุบันที่ 185,000 หน่วยต่อวัน เนื่องจากเครื่องจักรปัจจุบันสามารถรองรับความต้องการในการผลิตหลังการปรับปรุง ลดลงจาก 210,000 หน่วยต่อวันเหลือเท่ากับ 189,000 หน่วยต่อวัน ดังสรุปในตารางที่ 7.2



รูปที่ 7.3 ความสามารถของกระบวนการในขั้นตอนการติดตามผล

ตารางที่ 7.2 สรุปเปรียบเทียบความสามารถของกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุง

ระยะ	ความกว้างเฉลี่ย ลักษณะบิ่นเฉลี่ย (mil)	UPH	กำลังการผลิต (หน่วยต่อวัน)	Cpk
ก่อนปรับปรุง	1.25	4,763	210,000	0.66
ค่าทำนายจาก Minitab	0.9549	-	-	-
หลังปรับปรุง	0.9699	4,285	189,000	1.41

7.3 มูลค่าความเสียหายหลังการปรับปรุง

การพิจารณามูลค่าความเสียหายรวมที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ QFN ขนาด 3x3 มิลลิเมตร ที่มีผลมาจากของเสียลักษณะบิ่นที่เกินกว่าค่าการยอมรับนั้น จากข้อมูลการผลิตภายหลังการปรับปรุงกระบวนการในระยะ 4 สัปดาห์ พบว่าสัดส่วนของเสียทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ QFN ขนาด 3x3 มิลลิเมตร ลดลงจาก 5,883 PPM เป็น 1,150 PPM และคิดเป็นอัตราส่วนของของเสียที่ลดลงได้เท่ากับ 80.45 % และสรุปมูลค่าความเสียหายที่ลดลงหลังการปรับปรุง ดังแสดงตารางที่ 7.3

ตารางที่ 7.3 สรุปเปรียบเทียบต้นทุนของเสียและการร้องเรียนก่อนและหลังการปรับปรุง

	ก่อนการปรับปรุงเฉลี่ย ต่อเดือน	หลังการปรับปรุง 1 เดือน	หน่วย
อัตราผลผลิต (%)	99.41	99.89	%
ปริมาณของเสียโดยรวม (PPM)	5,883	1,150	PPM
มูลค่าความเสียหายจาก ของเสียในกระบวนการ ผลิต	681,596	133,241	บาท
มูลค่าความเสียหายจาก ข้อร้องเรียนจากลูกค้า	561,028	0	บาท

บทที่ 8

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์หลักการของซิกซ์ ซิกมา โดยมีวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการและลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต IC อีกทั้งของเสียที่เกิดจากลักษณะบิ่นที่มีขนาดความกว้างเกินกว่า 2 mils. นั้นไม่สามารถซ่อมแซมหรือแก้ไขได้และต้องทำลายทิ้งเท่านั้น ซึ่งหลักการของซิกซ์ ซิกมา เป็นหลักการที่มีขั้นตอนในการดำเนินงานที่ชัดเจน 5 ขั้นตอนเริ่มจาก การนิยามปัญหา การวัดเพื่อหาสภาพปัญหา การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา การปรับปรุงแก้ไขปัญหา และการติดตามควบคุม ได้ถูกนำมาเป็นแนวทางในการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดของเสียที่เกิดจากลักษณะบิ่นให้น้อยที่สุด โดยสรุปขั้นตอนการดำเนินการและผลของแต่ละขั้นตอนดังนี้

8.1 สรุประยะนิยามปัญหา

ในส่วนของขั้นตอนของการนิยามปัญหา โดยการพิจารณาที่มาของปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนของเสียของบริษัทกรณีศึกษาที่มาจากปัญหาของเสีย เนื่องจากขนาดความกว้างลักษณะบิ่นออกนอกค่าการยอมรับของลูกค้าและข้อร้องเรียนจากลูกค้า ซึ่งเกิดจากการคืนทิ้งล็อตในผลิตภัณฑ์ QFN ขนาด 3x3 มิลลิเมตร โดยการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ที่มีการกำหนดเป้าหมายของงานวิจัยนี้คือ การเพิ่มดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการของความกว้างของลักษณะบิ่นในกระบวนการผลิต IC สำหรับผลิตภัณฑ์ QFN ขนาด 3x3 มิลลิเมตร โดยที่ค่าความสามารถของกระบวนการปัจจุบันมี Cpk เท่ากับ 0.66 ให้เพิ่มเป็น 1.25 โดยที่ต้องไม่เกิดผลกระทบต่อปัญหาของเสียชนิดอื่น ๆ ที่สัมพันธ์กันของกระบวนการ

8.2 สรุประยะการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา

ในขั้นตอนแรกของการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา เริ่มจากการวิเคราะห์ระบบการวัดโดยใช้การวิเคราะห์ความแม่นยำและเที่ยงของระบบการวัด ซึ่งวิเคราะห์ข้อมูลได้จากการวัดจากเครื่องไมโครสโคป โดยพนักงานวัดทั้งหมด 2 คน วัดชิ้นงานทั้งหมด 20 ชิ้นและวัดซ้ำคนละ 3 ครั้ง สรุปผลได้ว่าระบบการวัดผ่านเกณฑ์และสามารถยอมรับความผันแปรของกระบวนการวัดได้

ทำการศึกษาความสามารถของกระบวนการ และทำการวิเคราะห์ข้อมูลค่าความกว้างของลักษณะบิ่น โดยทำการบันทึกจากพนักงานวัดและเครื่องมือวัดเดียวกันจำนวน 250 ตัวอย่าง

พบว่ากระบวนการในปัจจุบันนั้นมีความสามารถของกระบวนการค่อนข้างต่ำคือ Cpk เท่ากับ 0.66 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์การยอมรับด้านเดียวที่ 1.25

การระดมความคิดเห็นจากผู้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต ในการวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุของปัญหาจากหลักของพาเรโตพบว่ามี 9 สาเหตุที่มีความสัมพันธ์ที่ก่อให้เกิดของเสีย ลักษณะบิ่น ได้แก่ พารามิเตอร์ไม่เหมาะสมจากความเร็วในการตัด อุณหภูมิน้ำที่ใช้ในการตัดสูง พารามิเตอร์ไม่เหมาะสมจากรอบของสปินเดิลมอเตอร์ พารามิเตอร์ไม่เหมาะสมจากความลึกในการตัด เครื่องจักรอยู่ในสภาพไม่พร้อมใช้งาน ใบมีดแตก ใบมีดมีความเรียบไม่สม่ำเสมอ แรงดันน้ำที่ใช้ต่ำและใบมีดหมดอายุ หลังจากนั้นนำสาเหตุเหล่านี้มาวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ ซึ่งปัจจัยหลักที่มีค่า RPN สูงสุดตามหลักพาเรโตเท่ากับ 80 % คืออุณหภูมิน้ำที่ใช้ในการตัดสูง แรงดันน้ำที่ใช้ต่ำ พารามิเตอร์ไม่เหมาะสมจากความเร็วในการตัด พารามิเตอร์ไม่เหมาะสมจากรอบของสปินเดิลมอเตอร์ และพารามิเตอร์ไม่เหมาะสมจากความลึกในการตัดที่จะนำไปวิเคราะห์ในระยะต่อไป

8.3 สรุประยะวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา เพื่อหาปัจจัยนำเข้าไปมีนัยสำคัญที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง โดยเริ่มจากการเลือกรูปแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง ที่มีการศึกษาปัจจัยจำนวน 5 ปัจจัย รวมมีการทดลองเท่ากับ 2^{5-1} หรือ 16 การทดลอง มีการสุ่มของลำดับการทดลองเพื่อให้ผลการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกัน และเพิ่มการทดลองที่จุดศูนย์กลางอีก 3 การทดลอง ดังนั้นจำนวนการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 19 การทดลอง และกำหนดจำนวนทดลองซ้ำเท่ากับ 15 ครั้ง จากนั้นนำผลการทดลองมาทำการตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลองด้วยวิธีการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง ซึ่งประกอบด้วยทดสอบสมมติฐาน 3 ข้อดังนี้ 1. สมมติฐานของการแจกแจงปกติ 2. สมมติฐานของความเป็นอิสระ 3. สมมติฐานของความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ซึ่งสรุปได้ว่าผลการทดลองนั้นเป็นไปตามสมมติฐานทั้ง 3 ข้อ ดังนั้นจึงสามารถวิเคราะห์ผลการทดลองในขั้นตอนต่อไป

การวิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้นด้วยโปรแกรม Minitab เพื่อพิจารณาผลของปัจจัยหลักที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองคือค่าเฉลี่ยความกว้างของลักษณะบิ่น พบว่าที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ปัจจัยอุณหภูมิน้ำ (A) ปัจจัยแรงดันน้ำ (B) ปัจจัยความเร็วในการตัด (C) และปัจจัยที่มีอันตรกิริยาต่อกันจำนวน 1 ปัจจัยคืออุณหภูมิน้ำกับความเร็วในการตัด (A*C) มี

ผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อพิจารณาจากความโค้งของผิวตอบสนองเกิดขึ้นกับการทดลองเนื่องจากค่า P-Value ของความโค้งของผิวตอบสนองเท่ากับ 0.007 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05

8.4 สรุประยะการปรับปรุงแก้ไขปัญหา

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองคือค่าความกว้างของลักษณะบิ่น โดยมี 3 ปัจจัยหลักที่สรุปจากระยะวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาประกอบด้วย อุณหภูมิ น้ำ (A) แรงดันน้ำ (B) ความเร็วในการตัด (C) โดยได้เลือกการออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน ที่มีปัจจัย 3 ปัจจัย และ 3 ระดับ เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าความกว้างของลักษณะบิ่นน้อยที่สุด โดยเบื้องต้นหลังจากได้ผลการทดลองแล้ว ได้นำผลการทดลองมาทำการตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลองด้วยวิธีการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง ซึ่งสรุปได้ว่าผลการทดลองนั้นเป็นไปตามสมมติฐานทั้ง 3 ข้อโดยมีการแจกแจงปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และมีความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าความกว้างลักษณะบิ่นมีค่าน้อยที่สุดโดยใช้โปรแกรม Minitab วิเคราะห์ผลได้ปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมของทั้ง 3 ปัจจัยสำหรับนำไปปรับปรุงกระบวนการดังนี้ อุณหภูมิน้ำเท่ากับ 10 องศา แรงดันน้ำเท่ากับ 2 ลิตรต่อนาที และความเร็วในการตัดเท่ากับ 30 มิลลิเมตรต่อวินาทีตามลำดับ

8.5 สรุประยะการติดตามควบคุม

ในระยะการติดตามควบคุม ได้ปรับค่าปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมจากขั้นตอนระยะปรับปรุงกระบวนการเพื่อทดสอบว่าค่าความกว้างลักษณะบิ่นเป็นไปตามค่าทำนายหรือไม่ โดยทำการกำหนดอุณหภูมิน้ำไว้ที่ 10 องศาเซลเซียสของเครื่องทำความเย็นน้ำ ทำการปรับตั้งแรงดันน้ำไว้ที่ 2 ลิตรต่อนาทีที่เครื่องจักร และทำการกำหนดความเร็วในการตัดไว้ที่ 30 มิลลิเมตรต่อวินาทีในซอฟต์แวร์ของเครื่องจักร จากการนำเทคนิคทางสถิติควบคุมมาประยุกต์ใช้นั้นคือแผนภูมิควบคุม \bar{X} - R ซึ่งกำหนดการเก็บข้อมูลจำนวนตัวอย่าง 5 ตัวอย่าง สำหรับการสุ่มต่อทุก ๆ 12 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์หรือ 21 วัน สรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยความกว้างลักษณะบิ่นเท่ากับ 0.9699 mils. โดยถือว่าดีกว่าก่อนที่ทำการปรับปรุงซึ่งอยู่ที่ 1.25 mils และเป็นไปตามที่กำหนดไว้คือน้อยกว่า 2 mils. อีกทั้งส่งผลให้ค่า Cpk หลังการปรับปรุงเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.41 โดยดีกว่าก่อนการปรับปรุงกระบวนการซึ่งมีค่า Cpk เท่ากับ 0.66 และดีกว่าเกณฑ์การยอมรับด้านเดียวที่ 1.25 ภายหลังการ

ตรวจสอบสัดส่วนของเสียทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ QFN ขนาด 3x3 มิลลิเมตร พบว่าลดลงจาก 5,883 PPM เป็น 1,150 PPM ซึ่งคิดเป็น 80.51%

8.6 ข้อจำกัดในงานวิจัย

1. ในการทดลองได้มีการทดลองควบคุมไปกับกระบวนการผลิตจริง ดังนั้นการตั้งค่าปัจจัยต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองซึ่งแตกต่างจากกระบวนการจริงจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ทันทีโดยจะต้องทำเรื่องขออนุญาตเพื่อที่จะทดลองเปลี่ยนค่าปัจจัยในสายการผลิต และได้ช่วงเวลาที่จำกัดในการทดลองแต่ละครั้ง
2. ค่าปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมจากงานวิจัยนี้อาจเป็นค่าที่ไม่เหมาะสมสำหรับเครื่องตัดรุ่นหรือแบรนด์อื่นที่เป็นชนิดเดียวกัน เนื่องจากอาจมีผลจากปัจจัยอื่น ๆ ที่ไม่พบในงานวิจัยนี้
3. เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้นำวัตถุดิบสำหรับการผลิตจริงมาทำการทดลอง ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดทรัพยากรในการผลิตและการทดลองจึงมีความจำเป็นที่ต้องเลือกการออกแบบการทดลองที่ใช้ขนาดตัวอย่างน้อยที่สุด
4. ขอบเขตงานวิจัยนี้ศึกษาและประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ QFN 3x3 มิลลิเมตรเท่านั้น

8.7 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากขอบเขตของการทดลองนี้ ทำการศึกษาเฉพาะผลิตภัณฑ์ QFN 3x3 มิลลิเมตรเท่านั้น เมื่อต้องการพิจารณาผลิตภัณฑ์ QFN ขนาดอื่น ควรทำการทดลองเพื่อหาค่าปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมเฉพาะสำหรับขนาดของผลิตภัณฑ์นั้น
2. สามารถนำแนวทางในการวิเคราะห์ของงานวิจัยนี้ทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดปริมาณของเสียในผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการอื่น
3. สามารถทำการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ ที่มีราคาถูกกว่าเพื่อลดต้นทุนในการผลิตโดยใช้แนวทางในการวิเคราะห์ของงานวิจัยนี้

4. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมสำหรับปัจจัยความเร็วรอบของสปินเดิลมอเตอร์และความลึกในการตัด เนื่องจากปัจจัยหลักของทั้งสองปัจจัยนั้นไม่ส่งผลต่อค่าความกว้างลักษณะบิ่นอย่างมีนัยสำคัญแต่พบอันตรกิริยาต่อกัน

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กันตา สุวรรณฤทธิโชติ. การลดของเสียในกระบวนการเขียนสัญญาฉบับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยใช้แนวคิดลีนซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.

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

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. สถิติสำหรับงานวิศวกรรมเล่ม 2. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2545.

จิระวัฒน์ แต่งไทย. การลดสัดส่วนของเสียที่เกิดจากโพรงอากาศในกระบวนการขึ้นรูปไมโครชิป. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

ชิต เหล่าวัฒนา และ ณัฐพงศ์ วุฒิกิจ. การปรับปรุงคุณภาพระบบการวัดความสั้นสะเทือนของสปริงเดilmอเตอร์โดยผ่านแนวทางซิกซ์ ซิกมา. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร 24 (กันยายน-ธันวาคม 2554): 247-267.

นภัทสวงศ์ โรจนโรวรรณ. การควบคุมคุณภาพ (Quality Control). กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554 (เอกสารไม่ตีพิมพ์)

ปารเมศ ชูติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

ปาริชาติ บุญเกลี้ยง. การลดความผันแปรของขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิกในกระบวนการตัดโดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

ภัทรา อายุวัฒน์. การลดของเสียที่เกิดจากค่าการรับน้ำหนักกดของชุดหัวอ่านสำเร็จไม่ได้ตามข้อกำหนดในกระบวนการประกอบหัวอ่าน โดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

ศิริวดี เชื้ออรัญโชติ. การลดการปนเปื้อนจากกระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียนสำหรับคอมพิวเตอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

ภาษาอังกฤษ

Chou J.; Hua C.; Yang S.; and Chen P. Reducing chipping defects during GaAs wafer dicing with a four-point diamond tool. The International Conference on Compound Semiconductor Manufacturing Technology (April 2008): 1-4.

Hussin H.; Mokhtar A.A.; and Sebastian P. Reducing operation defect using Six Sigma Tools. International Advanced Technology Congress (December 2005): 1-12.

Jamaluddin Z.; Razali A. M.; and Mustafa Z. Wafer dice process improvement using Six Sigma approach. The 2011 IEEE International Conference on Quality and Reliability (September 2011): 31-35.

Montgomery, D.C. Design and analysis of experiment. 4th ed. USA.: John Wiley and Sons, 1997.

Montgomery, D.C. Introduction to statistical quality control. 6th ed. USA.: John Wiley and Sons, 2009.

Pongtrairat A.; and Senjuntichai A. Spiral defect reduction of hard disk drive media. Applied Mechanics and Materials 421 (2013): 93-98.

Premngam M.; and Senjuntichai A. Cycle time reduction in printing and coloring process on front cover of camera. 2013 International Conference on Applied Statistics, Maha Sarakham (2013): 155-160.

Senjuntichai A. Process setting through general linear model and response surface Method. IEANG Transactions on Engineering Technologies 5 (2010): 237-248.

Vagues M. Analysis backside chipping issues of the die at wafer saw. Material Science Engineering 234 (2003): 1-23.

Wu C. and Kuo H. Sample size determination for the estimate of process capability indices. Information and Management Sciences 15 (2004): 1-12.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตาราง ก-1 ค่าความกว้างลักษณะบิ้นของผลิตภัณฑ์ QFN 3x3 ก่อนการปรับปรุง

No.	Chip-Width (mil)	No.	Chip-Width (mil)	No.	Chip-Width (mil)
1	1.087	26	1.458	51	1.592
2	1.393	27	1.534	52	0.847
3	0.341	28	0.978	53	1.122
4	0.812	29	1.621	54	1.433
5	0.885	30	2.009	55	0.906
6	1.145	31	1.195	56	1.260
7	0.968	32	1.540	57	1.712
8	1.541	33	1.158	58	1.901
9	1.098	34	1.184	59	1.417
10	1.920	35	1.329	60	0.962
11	1.221	36	1.698	61	0.406
12	1.113	37	0.846	62	1.196
13	0.627	38	0.361	63	1.247
14	1.646	39	1.269	64	1.140
15	1.470	40	0.498	65	1.506
16	1.455	41	1.200	66	1.830
17	1.023	42	0.600	67	2.191
18	1.740	43	0.686	68	1.045
19	0.775	44	1.480	69	1.285
20	1.160	45	1.250	70	0.995
21	1.774	46	1.143	71	1.337
22	0.625	47	1.903	72	1.954
23	1.370	48	0.738	73	1.186
24	1.186	49	0.655	74	0.827
25	1.124	50	1.018	75	0.922

ตาราง ก-1 ค่าความกว้างลักษณะบิ้นของผลิตภัณฑ์ QFN 3x3 ก่อนการปรับปรุง (ต่อ)

No.	Chip-Width (mil)	No.	Chip-Width (mil)	No.	Chip-Width (mil)
76	1.487	101	1.230	126	1.298
77	1.151	102	1.820	127	1.894
78	0.892	103	1.046	128	1.635
79	1.210	104	0.901	129	1.374
80	0.618	105	0.778	130	1.780
81	0.557	106	1.402	131	2.440
82	1.112	107	0.834	132	1.133
83	0.788	108	1.040	133	1.334
84	1.405	109	1.461	134	1.910
85	0.945	110	1.025	135	1.050
86	1.770	111	1.248	136	1.629
87	1.510	112	1.665	137	1.448
88	1.291	113	1.378	138	1.545
89	1.464	114	0.859	139	0.679
90	1.103	115	1.366	140	1.075
91	1.240	116	1.408	141	0.760
92	1.465	117	1.654	142	1.031
93	1.347	118	0.931	143	1.325
94	1.049	119	1.847	144	1.257
95	0.730	120	1.074	145	1.283
96	1.430	121	1.293	146	1.975
97	1.780	122	1.202	147	1.410
98	0.865	123	0.940	148	1.642
99	1.592	124	1.743	149	1.174
100	1.599	125	1.625	150	1.644

ตาราง ก-1 ค่าความกว้างลักษณะบิ้นของผลิตภัณฑ์ QFN 3x3 ก่อนการปรับปรุง (ต่อ)

No.	Chip-Width (mil)	No.	Chip-Width (mil)	No.	Chip-Width (mil)
151	1.498	176	0.928	201	1.587
152	1.363	177	2.154	202	1.550
153	1.328	178	1.223	203	1.609
154	0.942	179	0.713	204	1.753
155	1.598	180	0.912	205	1.165
156	1.182	181	1.041	206	1.490
157	0.890	182	0.511	207	1.104
158	0.655	183	1.205	208	0.790
159	0.514	184	0.982	209	1.088
160	0.997	185	1.268	210	1.714
161	1.605	186	0.830	211	0.929
162	1.114	187	1.945	212	0.503
163	0.733	188	1.262	213	1.692
164	0.970	189	0.658	214	0.720
165	1.250	190	0.723	215	1.026
166	0.830	191	1.499	216	0.913
167	1.115	192	1.771	217	1.721
168	0.771	193	1.120	218	1.383
169	1.380	194	1.300	219	1.612
170	1.175	195	0.900	220	1.598
171	0.672	196	1.499	221	2.060
172	1.459	197	1.440	222	1.558
173	1.834	198	1.439	223	1.481
174	1.317	199	1.131	224	0.815
175	1.182	200	1.659	225	1.783

ตาราง ก-1 ค่าความกว้างลักษณะบิ้นของผลิตภัณฑ์ QFN 3x3 ก่อนการปรับปรุง (ต่อ)

No.	Chip-Width (mil)	No.	Chip-Width (mil)	No.	Chip-Width (mil)
226	1.402				
227	0.994				
228	1.138				
229	1.310				
230	1.179				
231	0.903				
232	0.420				
233	1.360				
234	1.730				
235	1.256				
236	1.934				
237	1.190				
238	0.839				
239	1.147				
240	1.487				
241	1.573				
242	1.219				
243	1.377				
244	1.263				
245	1.732				
246	1.039				
247	0.367				
248	1.257				
249	0.993				
250	0.611				

ตาราง ก-2 ค่าความกว้างลักษณะบิ้นของผลิตภัณฑ์ QFN 3x3 หลังการปรับปรุง

No.	Chip-Width (mil)	No.	Chip-Width (mil)	No.	Chip-Width (mil)
1	1.155	26	1.207	51	0.711
2	0.661	27	1.157	52	0.994
3	1.162	28	1.046	53	0.806
4	1.038	29	1.176	54	0.860
5	0.616	30	0.392	55	1.098
6	0.836	31	1.309	56	1.080
7	1.211	32	0.680	57	0.954
8	0.674	33	0.943	58	0.749
9	0.884	34	1.237	59	0.724
10	1.068	35	1.482	60	1.330
11	0.650	36	0.676	61	1.159
12	0.754	37	1.133	62	1.135
13	0.920	38	0.639	63	1.419
14	1.038	39	0.807	64	0.632
15	1.087	40	0.995	65	0.612
16	0.946	41	1.140	66	0.907
17	1.136	42	1.004	67	0.961
18	1.240	43	1.005	68	0.861
19	0.901	44	0.855	69	0.849
20	1.419	45	1.115	70	1.147
21	1.336	46	1.315	71	0.959
22	0.869	47	1.003	72	1.088
23	1.024	48	1.107	73	1.147
24	0.593	49	0.900	74	0.874
25	0.867	50	0.887	75	1.010

ตาราง ก-2 ค่าความกว้างลักษณะป็นของผลิตภัณฑ์ QFN 3x3 หลังการปรับปรุง (ต่อ)

No.	Chip-Width (mil)	No.	Chip-Width (mil)	No.	Chip-Width (mil)
76	0.949	101	1.052	126	0.826
77	1.156	102	0.805	127	1.068
78	1.045	103	0.545	128	0.759
79	1.136	104	0.796	129	1.174
80	0.673	105	0.575	130	0.971
81	1.269	106	1.044	131	1.249
82	1.632	107	1.028	132	1.082
83	1.085	108	1.637	133	1.180
84	1.386	109	1.317	134	1.006
85	0.814	110	0.997	135	1.197
86	0.950	111	0.920	136	0.995
87	1.422	112	0.651	137	1.005
88	0.675	113	0.920	138	1.189
89	1.094	114	1.007	139	0.775
90	0.909	115	0.888	140	0.959
91	0.800	116	0.921	141	0.997
92	0.756	117	1.131	142	0.908
93	0.859	118	1.099	143	0.306
94	1.030	119	1.244	144	1.065
95	0.970	120	0.754	145	1.344
96	1.008	121	0.751	146	0.665
97	1.060	122	0.530	147	0.341
98	0.867	123	1.023	148	1.218
99	1.024	124	1.469	149	0.719
100	0.752	125	0.976	150	0.998

ตาราง ก-2 ค่าความกว้างลักษณะป็นของผลิตภัณฑ์ QFN 3x3 หลังการปรับปรุง (ต่อ)

No.	Chip-Width (mil)	No.	Chip-Width (mil)	No.	Chip-Width (mil)
151	1.003	176	0.780	201	0.471
152	1.439	177	0.938	202	0.987
153	0.942	178	0.460	203	1.335
154	1.355	179	0.995	204	1.228
155	0.915	180	0.660	205	1.116
156	1.133	181	1.078	206	1.076
157	0.628	182	0.994	207	1.402
158	1.298	183	1.146	208	1.479
159	0.778	184	0.854	209	0.972
160	1.027	185	0.710	210	0.594
161	1.272	186	1.045	211	0.954
162	0.760	187	0.880	212	0.772
163	0.449	188	0.958	213	0.907
164	0.609	189	0.933	214	0.963
165	0.926	190	1.228	215	1.307
166	1.266	191	1.245	216	0.504
167	1.010	192	1.031	217	1.050
168	0.970	193	0.571	218	1.042
169	0.552	194	0.778	219	0.373
170	1.096	195	0.842	220	0.572
171	0.565	196	0.743	221	0.821
172	1.248	197	0.786	222	0.549
173	0.762	198	1.408	223	1.459
174	0.944	199	0.969	224	1.109
175	1.069	200	1.365	225	0.848

ตาราง ก-2 ค่าความกว้างลักษณะปิ่นของผลิตภัณฑ์ QFN 3x3 หลังการปรับปรุง (ต่อ)

No.	Chip-Width (mil)	No.	Chip-Width (mil)	No.	Chip-Width (mil)
226	0.545				
227	0.773				
228	1.280				
229	0.873				
230	0.577				
231	0.710				
232	1.073				
233	0.841				
234	0.676				
235	0.815				
236	0.558				
237	1.122				
238	0.891				
239	0.911				
240	1.005				
241	1.215				
242	0.755				
243	0.915				
244	1.102				
245	0.836				
246	0.717				
247	0.622				
248	0.986				
249	1.391				
250	0.842				

ตาราง ก-3 ค่าความกว้างลักษณะป็นของผลิตภัณฑ์ QFN 3x3 ระยะติดตามผล

No.	Chip-Width (mil)	No.	Chip-Width (mil)	No.	Chip-Width (mil)
1	1.235	26	1.124	51	1.257
2	1.179	27	1.603	52	1.128
3	0.829	28	1.189	53	0.962
4	0.862	29	0.963	54	1.415
5	0.512	30	0.901	55	0.799
6	0.757	31	0.790	56	0.651
7	0.893	32	0.687	57	1.102
8	1.148	33	0.743	58	0.992
9	1.206	34	0.962	59	0.619
10	0.787	35	1.242	60	0.666
11	1.047	36	1.142	61	1.484
12	0.758	37	0.901	62	0.972
13	0.715	38	1.309	63	1.269
14	1.136	39	0.925	64	0.583
15	0.821	40	0.956	65	1.156
16	0.930	41	0.930	66	1.086
17	1.084	42	1.210	67	0.922
18	0.412	43	0.832	68	0.641
19	1.289	44	0.532	69	1.242
20	0.970	45	1.239	70	0.997
21	0.776	46	1.052	71	1.043
22	0.877	47	0.628	72	1.143
23	1.171	48	1.600	73	0.795
24	1.196	49	0.852	74	0.676
25	0.962	50	0.927	75	0.728

ตาราง ก-3 ค่าความกว้างลักษณะปิ่นของผลิตภัณฑ์ QFN 3x3 ระยะติดตามผล (ต่อ)

No.	Chip-Width (mil)	No.	Chip-Width (mil)	No.	Chip-Width (mil)
76	0.859	101	1.311	126	0.913
77	0.584	102	1.232	127	0.705
78	0.982	103	0.766	128	0.738
79	0.953	104	0.519	129	0.925
80	1.061	105	0.936	130	0.778
81	0.897	106	1.053	131	1.022
82	0.954	107	1.392	132	1.272
83	1.250	108	1.025	133	1.662
84	1.049	109	1.121	134	1.082
85	0.628	110	1.003	135	0.786
86	0.914	111	0.886	136	1.079
87	0.931	112	1.059	137	0.841
88	0.952	113	0.869	138	0.949
89	0.664	114	0.721	139	0.387
90	1.017	115	0.794	140	1.402
91	0.904	116	1.021	141	0.977
92	1.101	117	0.764	142	1.235
93	1.101	118	1.485	143	0.613
94	1.275	119	1.291	144	1.040
95	1.454	120	1.210	145	1.265
96	0.923	121	0.669	146	0.912
97	0.798	122	0.702	147	1.265
98	0.721	123	1.120	148	1.142
99	1.480	124	1.069	149	0.854
100	1.068	125	0.918	150	0.978

ตาราง ก-3 ค่าความกว้างลักษณะป็นของผลิตภัณฑ์ QFN 3x3 ระยะติดตามผล (ต่อ)

No.	Chip-Width (mil)	No.	Chip-Width (mil)	No.	Chip-Width (mil)
151	1.169	176	1.350	201	0.947
152	0.522	177	1.076	202	1.183
153	0.984	178	0.995	203	0.999
154	0.431	179	0.839	204	0.928
155	0.760	180	1.013	205	0.733
156	1.373	181	0.748	206	0.792
157	1.379	182	0.950	207	1.092
158	0.899	183	1.053	208	0.842
159	1.153	184	0.805	209	0.881
160	1.087	185	0.630	210	1.133
161	0.790	186	1.019	211	
162	0.732	187	1.062	212	
163	1.226	188	0.651	213	
164	0.631	189	0.448	214	
165	1.009	190	1.206	215	
166	0.629	191	1.154	216	
167	0.342	192	0.480	217	
168	1.080	193	0.835	218	
169	0.873	194	0.817	219	
170	1.353	195	1.200	220	
171	0.898	196	1.089	221	
172	0.858	197	0.952	222	
173	0.472	198	1.215	223	
174	0.776	199	1.382	224	
175	0.731	200	1.223	225	

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายเสรี กุลปิยะ เกิดเมื่อวันที่ 27 กันยายน พ.ศ.2526 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนวัดสุทธิวราราม และเข้าศึกษาต่อจนสำเร็จปริญญาในระดับปริญญาบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ สาขาฟิสิกส์อิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ เมื่อปี พ.ศ. 2549 จากนั้นจึงได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2554