

การลดความถี่ของคอนแทกต์อิเล็กทรอนิกส์ในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์



บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

WRAPAGE REDUCTION FOR CONTACT DUAL INTERFACE CHIPS IN AN  
ELECTRONICS MANUFACTURING PLANT

Miss Sansanee Pisutkulakij



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

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การลดความถี่ของคอนแทกต์อิเล็กทรอนิกส์พีซีพีใน

โรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

โดย

นางสาวศันสนีย์ พิสุทธิกุลกิจ

สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชูติมา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับเป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เชื้ออารักษ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงามะเสริญวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชูติมา)

..... กรรมการ

(ดร. โอฟาร์ กิตติธีรพรชัย)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย วิจิรวณิช)

คั่นสนีัย พิสุทธิกุลกิจ : การลดความโค้งงอของคอนแทคดูเอิลอินเตอร์เฟซชิพในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (WRAPAGE REDUCTION FOR CONTACT DUAL INTERFACE CHIPS IN AN ELECTRONICS MANUFACTURING PLANT) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศ. ดร. ปารเมศ ชูติมา, 113 หน้า.

การศึกษานี้ได้ทำการศึกษาระบบการของผลิตภัณฑ์ชิพคอนแทคดูเอิลอินเตอร์เฟซ ซึ่งเป็นชิพประเภทเชื่อมต่อการโดยการแตะหรือสัมผัสซึ่งประกอบอยู่ในบัตรประจำตัวจากการวิเคราะห์ข้อมูลในอดีตพบว่ากระบวนการมีจำนวนของเสียประเภทความหนาขึ้นงานเกินขนาดเทียบต่อล้านชิ้นสูงที่สุดที่ค่าเฉลี่ย 600 PPM โดยมีสาเหตุมาจากชิ้นงานมีความโค้งงอ พบว่าค่าความโค้งงอมีค่าสูงที่สุดที่กระบวนการหล่อขึ้นงาน จึงได้ทำการศึกษาลดค่าความโค้งงอที่กระบวนการหล่อขึ้นงาน เพื่อให้จำนวนของเสียประเภทความหนาขึ้นงานเกินขนาดมีจำนวนลดลงจาก 600 เป็นน้อยกว่า 250 PPM

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้หลักการซิกม่าในการปรับปรุงกระบวนการ โดยดำเนินการตามหลัก DMAIC ในระยะนิยามปัญหาได้ดำเนินการศึกษาระบบการ สภาพปัญหาในปัจจุบัน และกำหนดขอบเขตการศึกษา ระยะการวัดทำการวัดกระบวนการเพื่อค้นหาสาเหตุของปัญหาจากการระดมความคิดในทีม ระยะวิเคราะห์ได้นำปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อค่าความโค้งงอมาทำการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความโค้งงออย่างมีนัยสำคัญ โดยใช้การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียล 2<sup>k</sup>ทดลองซ้ำ 3 ซ้ำครั้งที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความโค้งงออย่างมีนัยสำคัญคืออุณหภูมิ Dam อุณหภูมิ Fill และอุณหภูมิการอบ ระยะปรับปรุงได้ออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบนเคนซ์ เพื่อหาค่าติดตั้งที่เหมาะสมของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความโค้งงออย่างมีนัยสำคัญ ผลการทดลองแนะนำค่าติดตั้งที่เหมาะสมคืออุณหภูมิ Dam ที่ 30 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ Fill ที่ 65 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิการอบที่ 41 องศาเซลเซียส ระยะการควบคุมเพื่อให้กระบวนการปรับปรุงอยู่ในเขตควบคุมจึงได้จัดทำแผนควบคุมและติดตามผลการปรับปรุงกระบวนการโดยใช้แผนภูมิควบคุม

จากการติดตามผลการปรับปรุงค่าความโค้งงอที่กระบวนการหล่อขึ้นงานพบว่าจำนวนของเสียเทียบต่อล้านชิ้นประเภทความหนาขึ้นงานเกินขนาดลดลงจาก 600 เหลือ 184 PPM

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2557

# # 5670966721 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: WRAPAGE / INTEGRATED CIRCUIT / SIX SIGMA / DEFECTIVE REDUCTION  
 SANSANEE PISUTKULAKIJ: WRAPAGE REDUCTION FOR CONTACT DUAL  
 INTERFACE CHIPS IN AN ELECTRONICS MANUFACTURING PLANT.  
 ADVISOR: PROF. PARAMES CHUTIMA, Ph.D., 113 pp.

This research had studied a contact dual interface chip which a contact and contactless chip are assembled in a personal card. Historical data indicated that the highest defect in the process is the thickness out of specification on average at 600 PPM. The module wrapage is identified as the main cause of the problem and found the highest wrapage at the encapsulation process. Therefore, the objective of this research is to reduce the module wrapage at encapsulation process in order to reduce the PPM of thickness out of specification from 600 to be less than 250.

This research was applied Six Sigma approach for improvement. Six Sigma approach was operated follow DMAIC step, define phase studied the current process and scoped the project, measure phase to measured the process for find the root cause, analysis phase the  $2^k$  full factorial design with three replicates at 95% confident level was used to determine the significant factors to the module wrapage. The significant factors comprised dam temperature, fill temperature and curing temperature, improve phase the Box-Behnken design was used to optimize the level of the significant. The results suggest that the encapsulation machine dam temperature, fill temperature and the curing temperature should be set at 30°C, 65°C and 41°C, respectively and control phase to control the long term process within the specification by applied control plan and monitoring the progress by control chart.

The confirmed runs at encapsulation process show that PPM of the thickness out of specification is reduced from 600 to 184.

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

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

Academic Year: 2014

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความช่วยเหลือจากหลายส่วนงาน ทั้งจากบัณฑิตวิทยาลัย และจากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์คือศาสตราจารย์ดร.ปารเมศ ชูติมาที่ได้สละเวลาให้คำแนะนำ คำสอนและความช่วยเหลือในการชี้แนะแนวทางและความรู้จนสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยดี

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้โอกาสได้ทำการศึกษาค้นคว้า เก็บข้อมูล ทำการทดลอง และวิเคราะห์ข้อมูล และขอขอบคุณทุกฝ่ายงานที่ให้ความร่วมมือและให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณครอบครัว รุ่นพี่และเพื่อนๆที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือตลอดมา



## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ .....	1
1.2 การศึกษาสภาพปัญหา .....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	6
1.4 ขอบเขตของการวิจัย .....	7
1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	7
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ .....	9
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	9
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	10
2.1 หลักการและการดำเนินงานของซิกส์ ซิกม่า .....	10
2.2 ความรู้ทั่วไปของแผนวงจรรวมอิเล็กทรอนิกส์ชิพในการ์ด .....	26
2.3 กระบวนการประกอบชิพ .....	27
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	31
บทที่ 3 นิยามปัญหา (Define Phase).....	34
3.1 ศึกษากระบวนการผลิต .....	34
3.2 การศึกษาสภาพปัญหาในปัจจุบัน.....	36

3.3	วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย .....	43
3.4	การจัดตั้งคณะทำงาน .....	43
3.5	เอกสารสิทธิ์โครงการ (Project Charter).....	43
บทที่ 4	การวัดและวิเคราะห์สาเหตุเบื้องต้นของปัญหา (Measure Phase).....	45
4.1	การวิเคราะห์ระบบการวัดของเครื่องมือวัด .....	45
4.2	การวัดความสามารถกระบวนการของค่าความโค้งงอจากกระบวนการห่อหุ้มหน้า ชิ้นงาน.....	51
4.3	การวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุ (Cause and Effect Diagram) .....	54
4.4	แผนผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) .....	58
บทที่ 5	การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analysis Phase).....	61
5.1	การคัดเลือกสาเหตุที่เป็นไปได้ของการเกิดความโค้งงอของชิ้นงาน .....	61
5.2	การออกแบบการทดลอง .....	64
5.3	ตัวแปรต้นและระดับปัจจัยที่ทำการศึกษา .....	65
5.4	การคำนวณขนาดสิ่งตัวอย่างของการทดลอง .....	66
5.5	การวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนอง .....	67
5.6	การทดลองเพื่อคัดกรองตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง .....	68
5.7	การวิเคราะห์ผลการทดสอบตัวแปรตอบสนอง .....	71
บทที่ 6	ระยะทดลองปรับปรุงกระบวนการ (Improve Phase).....	81
6.1	การออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบวิธีพื้นผิวตอบสนอง .....	81
6.2	การวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Check).....	83
6.3	การวิเคราะห์ผลการทดลอง .....	87
6.4	สรุปผลการทดลอง .....	93
บทที่ 7	ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ (Control Phase) .....	95



7.1 การกำหนดแผนควบคุม (Control Plan) .....	95
7.2 การวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการเพื่อตรวจวัดผลการปรับปรุงค่าความโค้งงอ .	99
7.3 ดัชนีชี้วัดหลังการปรับปรุงกระบวนการ .....	101
7.4 มูลค่าความสูญเสียหลังการปรับปรุง .....	102
7.5 สรุปผลการปรับปรุง .....	103
บทที่ 8 บทสรุป .....	104
8.1 ขั้นตอนการนิยามปัญหา .....	104
8.2 ขั้นตอนการวัด .....	105
8.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ .....	106
8.4 ขั้นตอนการปรับปรุง .....	106
8.5 ขั้นตอนการควบคุม .....	106
8.6 ข้อจำกัดในการทำวิจัย .....	107
8.7 ข้อเสนอแนะ .....	107
รายการอ้างอิง.....	108
ภาคผนวก.....	110
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	113

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 1. 1	จำนวนของเสียที่เกิดในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ซีพชนิดตะหรีอัสมีสต์ของปี 2013.....	5
ตารางที่ 2. 1	ความหมายความผันแปรของซีกส์ ซิกม่าและระดับซีกส์ ซิกม่า.....	12
ตารางที่ 2. 2	ขนาดสิ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบด้วยข้อมูลผันแปร.....	18
ตารางที่ 2. 3	ลำดับความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการตามค่าดัชนี Cpk.....	19
ตารางที่ 2. 4	ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถกระบวนการและจำนวนของเสียในกระบวนการ .....	20
ตารางที่ 2. 5	ผลการตัดสินใจการทดสอบสมมติฐาน .....	21
ตารางที่ 3. 1	จำนวนการเกิดของเสียความหนาของชิ้นงานเกินขนาดเทียบกับจำนวนการผลิตของปี 2013.....	38
ตารางที่ 3. 2	ข้อมูลค่าวัดความโค้งงอเฉลี่ยของชิ้นงานในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ซีพชนิดตะหรีอัสมีสต์ .....	41
ตารางที่ 3. 3	ความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการตามค่าดัชนี Cpk.....	42
ตารางที่ 4. 1	ขนาดสิ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบด้วยข้อมูลผันแปร.....	46
ตารางที่ 4. 2	ข้อมูลวัดค่าความโค้งงอจากกระบวนการห่อหุ้มหน้าชิ้นงานเพื่อประเมินผลระบบการวัด (หน่วย: ไมครอน).....	47
ตารางที่ 4. 3	แผนผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและผลการเกิดความโค้งงอของชิ้นงาน .....	58
ตารางที่ 5. 1	การวิเคราะห์หาปัจจัยนำเข้าไปทดสอบสมมติฐาน.....	61
ตารางที่ 5. 2	ตัวแปรต้นและระดับปัจจัยที่ทำการศึกษา .....	65
ตารางที่ 5. 3	การแทนค่ารหัสตัวแปรต้นและระดับปัจจัย.....	66
ตารางที่ 5. 4	การออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบตัวแปรต้นต่อตัวแปรตอบสนองค่าความโค้งงอของชิ้นงาน .....	68

ตารางที่ 6. 1	ปัจจัยและระดับนำเข้าเพื่อทดลองด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง .....	82
ตารางที่ 6. 2	การแทนค่ารหัสตัวแปรต้นและระดับปัจจัย .....	82
ตารางที่ 6. 3	การออกแบบการทดลองเพื่อทดลองด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง .....	83
ตารางที่ 6. 4	ค่าปัจจัยหลักที่ใช้ในการออกแบบการทดลองในการปรับปรุงค่าความโค้งของ ชิ้นงาน .....	93
ตารางที่ 7. 1	ค่าปรับตั้งของปัจจัยในการทดลองสำหรับตรวจสอบผลการปรับปรุงค่าความโค้ง ของซีพชนิดตะหรือสั่มผัส .....	95
ตารางที่ 7. 2	แผนการควบคุมปัจจัยและระดับปัจจัยเพื่อควบคุมค่าความโค้งของชิ้นงาน	96
ตารางที่ 7. 3	เปรียบเทียบความสามารถกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุง .....	101
ตารางที่ 7. 4	สรุปมูลค่าความสูญเสียที่สามารถลดลงหลังปรับปรุงกระบวนการ .....	103

## สารบัญรูป

รูปที่ 1. 1 ตัวอย่างสินค้าที่นำชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ซีพียูไปใช้งาน .....	2
รูปที่ 1. 2 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ซีพียูชนิดแกะหรือสั้มผัส .....	3
รูปที่ 1. 3 กระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ซีพียูชนิดแกะหรือสั้มผัส .....	3
รูปที่ 1. 4 ความต้องการผลิตภัณฑ์ซีพียูชนิดแกะหรือสั้มผัสของปี 2012 ถึง 2014 .....	4
รูปที่ 1. 5 แผนภูมิพาเรโตแสดงของเสียจากกระบวนการผลิตของปี 2013.....	4
รูปที่ 2. 1 ความหมายเชิงตัวเลขของซีกส์ ซิกม่า .....	11
รูปที่ 2. 2 วงจรขั้นตอนการทำซีกส์ ซิกม่า .....	12
รูปที่ 2. 3 ตัวอย่าง Cause and Effect Diagram .....	14
รูปที่ 2. 4 ความผันแปรจากระบบการวัด Repeatability .....	16
รูปที่ 2. 5 ความผันแปรจากระบบการวัด Reproducibility .....	17
รูปที่ 2. 6 การออกแบบบ็อกซ์-เบ้นเคน ที่มีปัจจัย 3 ระดับ .....	25
รูปที่ 2. 7 ตัวอย่างการขีดแผนเวเฟอร์ให้มีความหนาลดลง .....	28
รูปที่ 2. 8 ลักษณะการตัดแยกแผ่นเวเฟอร์เป็นได .....	28
รูปที่ 2. 9 การเชื่อมติดไดและแผ่นตัวนำ .....	29
รูปที่ 2. 10 ชิ้นงานหลังจากผ่านการเชื่อมลวด .....	29
รูปที่ 2. 11 การห่อหุ้มชิ้นงานที่กระบวนการห่อหุ้มชิ้นงาน .....	30
รูปที่ 3. 1 อัตราการเกิดของเสีย80%ของผลิตภัณฑ์ซีพียูชนิดแกะหรือสั้มผัสในปี 2013.....	37
รูปที่ 3. 2 จำนวนการเกิดของเสียประเภทความหนาของชิ้นงานเกินขนาดเทียบกับจำนวนการ ผลิตของปี 2013 .....	38
รูปที่ 3. 3 จำลองชิ้นงานเกิดความโค้งงอและชิ้นงานปกติ .....	40
รูปที่ 3. 4 ข้อมูลวัดความโค้งงอของกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ซีพียูชนิดแกะหรือสั้มผัส .	41
รูปที่ 3. 5 ผลการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการค่าวัดความโค้งงอ .....	42

รูปที่ 4. 1 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัด GR&R.....	49
รูปที่ 4. 2 กราฟผลการวิเคราะห์ระบบการวัด GR&R .....	49
รูปที่ 4. 3 การทดสอบการกระจายตัวปกติของข้อมูลวัดความโค้งของชิ้นงาน .....	53
รูปที่ 4. 4 ผลการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการของข้อมูลวัดความโค้งของชิ้นงานก่อนการปรับปรุง.....	54
รูปที่ 4. 5 แผนผังแสดงปัญหาและสาเหตุก่อกำเนิดความโค้งของชิ้นงาน.....	57
รูปที่ 4. 6 แผนภาพพาเรโต้แสดงลำดับความสำคัญของปัจจัยที่อาจส่งผลต่อการเกิดความโค้งของชิ้นงาน .....	59
รูปที่ 5. 1 การวิเคราะห์หาขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมในการทดลอง .....	67
รูปที่ 5. 2 แผนภาพการวิเคราะห์หาขนาดตัวอย่างจาก Power and Sample Size .....	67
รูปที่ 5. 3 การกระจายตัวแบบปกติของข้อมูลส่วนตกค้าง .....	72
รูปที่ 5. 4 แผนภูมิกระจายแสดงความแปรปรวนของข้อมูลส่วนตกค้าง .....	73
รูปที่ 5. 5 แสดงความอิสระของข้อมูลส่วนตกค้าง .....	74
รูปที่ 5. 6 ความน่าจะเป็นแบบปกติแสดงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยค่าความโค้ง .....	75
รูปที่ 5. 7 แผนภาพพาเรโต้แสดงลำดับผลกระทบของตัวแปรหลักและอันตรกิริยา .....	75
รูปที่ 5. 8 ผลกระทบหลักต่อค่าเฉลี่ยค่าความโค้งของชิ้นงาน .....	76
รูปที่ 5. 9 อันตรกิริยาที่ส่งผลกระทบต่อค่าความโค้งของชิ้นงาน .....	77
รูปที่ 5. 10 การออกแบบการทดลองแบบวิธีเชิงแฟคตอเรียล $2^4(2^k$ Factorial Design) .....	77
รูปที่ 5. 11 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ .....	78
รูปที่ 6. 1 การกระจายตัวแบบปกติของข้อมูลส่วนตกค้าง .....	84
รูปที่ 6. 2 แผนภูมิกระจายแสดงความแปรปรวนของข้อมูลส่วนตกค้าง .....	85
รูปที่ 6. 3 การทดสอบความอิสระของข้อมูลส่วนตกค้าง .....	86
รูปที่ 6. 4 การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการ .....	87
รูปที่ 6. 5 ปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อค่าความโค้งของชิ้นงาน .....	88

รูปที่ 6. 6	อันตรายที่มีผลต่อค่าความโค้งงอของชิ้นงาน .....	89
รูปที่ 6. 7	ความสัมพันธ์แบบ Contour plot ของปัจจัยนำเข้า.....	90
รูปที่ 6. 8	ความสัมพันธ์แบบ Surface plot ของปัจจัยนำเข้า .....	90
รูปที่ 6. 9	ผลการแสดงค่าปัจจัยจาก Response Optimization .....	92
รูปที่ 6. 10	ค่าปัจจัยหลักที่ส่งผลให้ค่าความโค้งงอตามเป้าหมาย .....	92
รูปที่ 7. 1	ขั้นตอนการปฏิบัติงานและวิธีการแก้ไขหากพบปัจจัยนำเข้าไม่เป็นไปตาม ข้อกำหนด .....	97
รูปที่ 7. 2	การลงบันทึกการตรวจสอบปัจจัยนำเข้าในเอกสารทำงาน .....	98
รูปที่ 7. 3	แผนภูมิควบคุม Xbar – R ของค่าความโค้งงอของชิ้นงาน.....	99
รูปที่ 7. 4	ความสามารถกระบวนการหลังการปรับปรุง .....	100
รูปที่ 7. 5	จำนวนของเสียชิ้นงานเกินขนาดเทียบต่อด้านขึ้นหลังควบคุมกระบวนการ .....	102
รูปที่ 7. 6	จำนวนของเสียเทียบด้านขึ้นเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ .....	102

# บทที่ 1

## บทนำ

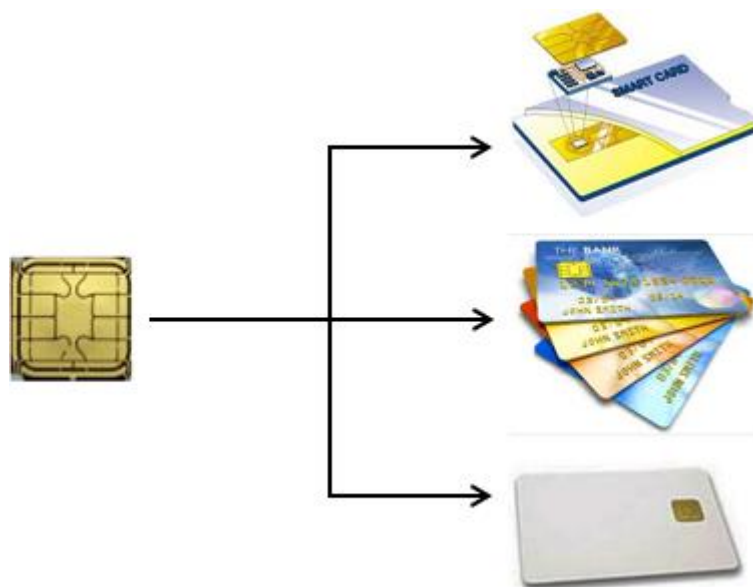
อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีบทบาทต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมที่ทำรายได้ให้กับประเทศไทยเป็นจำนวนมากและยังคงเป็นอุตสาหกรรมที่จำเป็นต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ทั้งนี้อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์สามารถมองออกเป็น 3 ส่วนดังนี้ ส่วนแรกเป็นอุตสาหกรรมที่ผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขั้นพื้นฐาน ส่วนที่สองอุตสาหกรรมที่ผลิตชิ้นส่วนและส่วนประกอบต่างๆ และส่วนที่สามอุตสาหกรรมที่นำชิ้นส่วนไปประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรมผลิตแผงวงจรรวมอิเล็กทรอนิกส์เป็นอุตสาหกรรมที่เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่มีศักยภาพทั้งด้านการผลิตและการส่งออก อย่างไรก็ตามการผลิตแผงวงจรรวม (Integrate Circuit, IC) ในประเทศไทยยังเป็นขั้นตอนการประกอบ (Assembly) และการทดสอบ (Test) เป็นส่วนใหญ่ แล้วส่งต่อไปยังผู้รับจ้างผลิตแผงวงจรรวมสำเร็จรูปอีกทอดหนึ่ง

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันบริษัทผลิตแผงวงจรรวมมีต่างชาติเข้ามาลงทุนในประเทศไทยเป็นจำนวนมาก อีกทั้งในประเทศไทยมีบริษัทผลิตแผงวงจรรวมเป็นจำนวนมากด้วยเช่นกันจึงมีการแข่งขันสูง การผลิตสินค้าที่มีคุณภาพและมีเทคโนโลยีที่ทันสมัยนั้นจะสามารถแข่งขันและตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ดีที่สุด ดังนั้นจึงต้องมีการพัฒนาศักยภาพการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เท่าทันกับเทคโนโลยีที่เติบโตขึ้น ทั้งนี้ชิ้นงานแผงวงจรรวมนั้นเป็นชิ้นงานขนาดเล็ก ในกระบวนการผลิตนั้นจึงต้องใช้เทคโนโลยีและความละเอียดสูงเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพออกมา

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่นำชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ไปใช้ในผลิตภัณฑ์การ์ดเช่นบัตรเครดิต (Credit Card) บัตรสมาร์ทการ์ด (Smart Card) บัตรเดบิต (Debit Card) บัตรเอทีเอ็ม (ATM) บัตรประชาชนหรือบัตรประจำตัวต่างๆ (Identification Card) เป็นต้นดังรูปที่ 1.1 โดยสินค้าเหล่านี้ถูกพัฒนาให้สามารถเก็บข้อมูลในตัวสินค้าได้ ซึ่งสิ่งที่สามารถเก็บข้อมูลในบัตรได้นั้นเนื่องมาจากใน

ตัวบัตรได้ฝังชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์อยู่ในตัวบัตรนั่นเอง โดยชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์นี้เรียกว่าชิพ (Chip) ซึ่งในปัจจุบันมีการใช้ผลิตภัณฑ์เหล่านี้อย่างแพร่หลายทั่วโลก และมีแนวโน้มที่จะมีความต้องการใช้เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ อันเนื่องจากเทคโนโลยีในการเก็บข้อมูลในตัวบัตรและความสะดวกในการใช้งาน

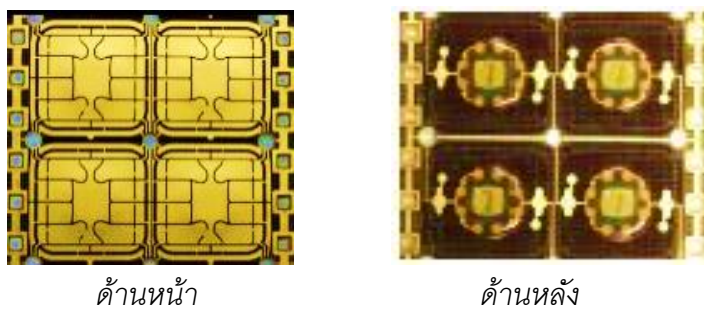


รูปที่ 1. 1 ตัวอย่างสินค้าที่นำชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ชิปไปใช้งาน

## 1.2 การศึกษาสภาพปัญหา

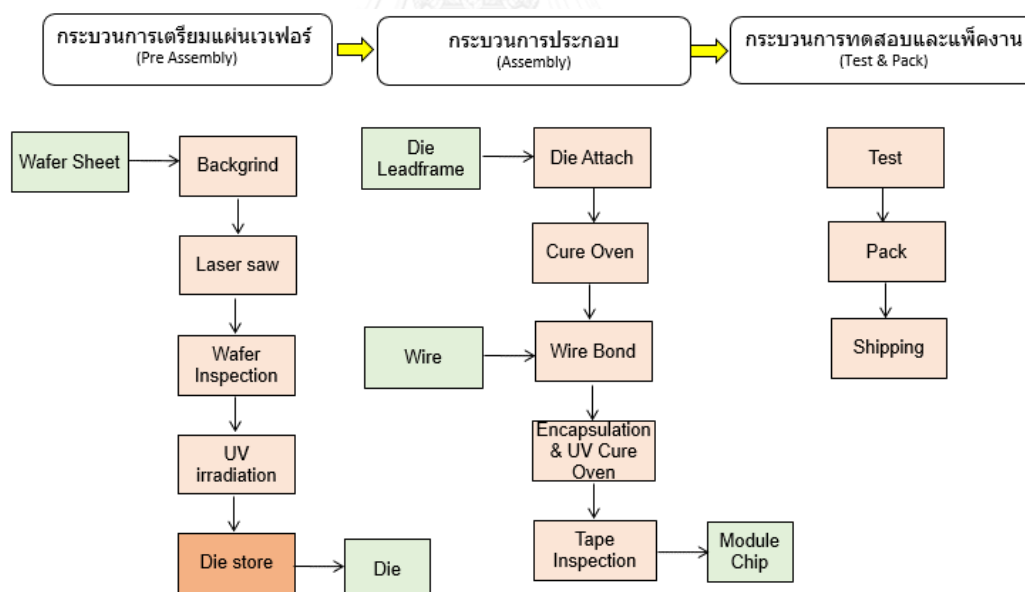
แผงวงจรรวมหรือผลิตภัณฑ์ชิพ (Module Chip) ที่ใช้ประกอบในสินค้าประเภทบัตรต่างๆ คือชิพประเภทเชื่อมต่อชนิดแตะหรือสัมผัส (Contact Dual Interface) ดังตัวอย่างรูปที่ 1.2 ทั้งนี้ชิพประเภทแตะหรือสัมผัสประกอบไปด้วยชิ้นส่วนที่สำคัญดังนี้คือแผงตัวนำ (Lead Frame) แผ่นเวเฟอร์ที่ตัดเป็นชิ้นเล็ก (Die) และลวดเชื่อมต่อ (Wire)





รูปที่ 1. 2 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ชิพชนิดตะหรีอสม์ผัส

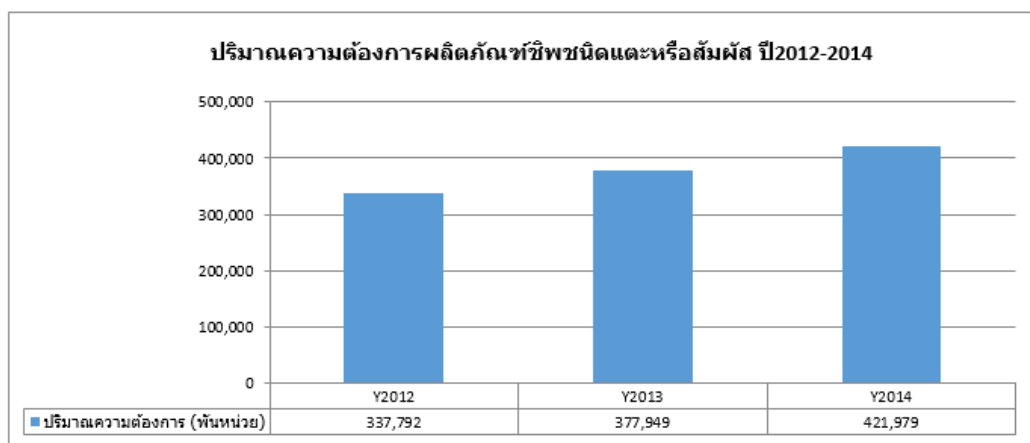
โดยกระบวนการผลิตของแผงวงจรรวมประเภทชิพชนิดตะหรีอสม์ผัสดังรูปที่ 1.3 ซึ่งกระบวนการผลิตหลักมี 3 กระบวนการคือ 1.กระบวนการเตรียมแผ่นเวเฟอร์ (Pre-Assembly) 2. กระบวนการประกอบชิ้นส่วนเป็นผลิตภัณฑ์ชิพ (Assembly) และ 3.กระบวนการทดสอบและบรรจุสินค้า (Test & Pack)



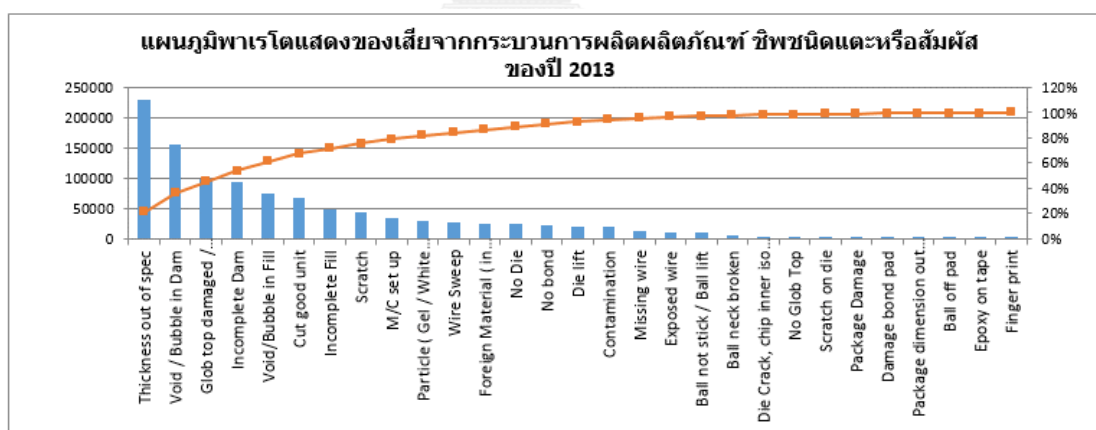
รูปที่ 1. 3 กระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ชิพชนิดตะหรีอสม์ผัส

ในปัจจุบันบริษัทกรณีศึกษาได้ผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เรียกว่าชิพโดยมีกำลังการผลิตชิพเพิ่มสูงขึ้นทุกปี จากความต้องการสินค้าจากลูกค้าผลิตภัณฑ์ชิพชนิดตะหรีอสม์ผัสมี

ความต้องการเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆดังแสดงแนวโน้มความต้องการในรูปที่ 1.4 ดังนั้นทำให้มีโอกาสเสี่ยงที่จะเกิดของเสียเพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน จากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ซีพได้มีการสำรวจข้อมูลการเกิดของเสียของผลิตภัณฑ์ซีพชนิดตะหรือสัมผัสในปี 2013 ดังแสดงในรูปที่ 1.5 และตารางที่ 1.1



รูปที่ 1.4 ความต้องการผลิตภัณฑ์ซีพชนิดตะหรือสัมผัสของปี 2012 ถึง 2014



รูปที่ 1.5 แผนภูมิพาเรโตแสดงของเสียจากกระบวนการผลิตของปี 2013

ตารางที่ 1. 1 จำนวนของเสียที่เกิดในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ซีพชนิดตะแกรงหรือส้อมฝัดของปี 2013

ประเภทของเสีย	จำนวน (ชิ้น)	จำนวนสะสม (ชิ้น)	เปอร์เซ็นต์สะสม
Thickness out of specification	230,974	230,974	22%
Void / Bubble in Dam	156,366	387,340	36%
Glob top damage / scratch	98,529	485,869	45%
Incomplete Dam	93,820	579,689	54%
Void / Bubble in Fill	75,115	654,804	61%
Cut good unit	68,267	723,071	67%
Incomplete Fill	47,667	770,738	72%
Scratch	43,627	814,365	76%
Machine set up	34,036	848,401	79%
Particle (Gel / White particle)	28,441	876,842	82%
Wire sweep	26,330	903,172	84%
Foreign material (in Glob top)	25,524	928,696	87%
No die	24,838	953,534	89%
No bond	22,690	976,224	91%
Die lift	20,938	997,162	93%
Contamination	19,064	1,016,226	95%
Missing wire	11,714	1,027,940	96%
Exposed wire	9,941	1,037,881	97%
Ball lift	9,347	1,047,228	98%
Ball neck broken	4,646	1,051,874	98%

ตารางที่ 1.1 จำนวนของเสียที่เกิดในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ชิพชนิดตะแกรงหรือสัมผัสของปี 2013  
(ต่อ)

ประเภทของเสีย	จำนวน (ชิ้น)	จำนวนสะสม (ชิ้น)	เปอร์เซ็นต์สะสม
Die crack	4,216	1,056,090	98%
No Glob top	3,452	1,059,542	99%
Scratch on die	2,885	1,062,427	99%
Package damage	2,655	1,065,082	99%
Damage bond pad	2,311	1,067,393	100%
Package dimension out of spec	1,518	1,068,911	100%
Ball off pad	1,290	1,070,201	100%
Epoxy on tape	1,069	1,071,270	100%
Finger print	994	1,072,264	100%

จากการศึกษาข้อมูลของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ชิพชนิดตะแกรงหรือสัมผัส นั้นพบว่าของเสียที่เกิดมากที่สุดคือความหนาของผลิตภัณฑ์มีขนาดความหนาเกินกำหนด (Thickness Out Of Specification) อันดับสองคือมีฟองอากาศในขณะทากระบวนการขึ้นงาน (Void/Bubble in Dam) และอันดับสามคือกาวยาหุ้มชิ้นงานมีรอยขีดข่วน (Glob Top Damage/ Scratch)

### 1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อปรับปรุงค่าความโค้งงอที่กระบวนการหุ้มหน้าชิ้นงาน เพื่อให้จำนวนของเสียประเภทความหนาชิ้นงานเกินขนาดมีจำนวนลดลง โดยใช้หลักการซิกซ์ ซิกม่าในการปรับปรุงกระบวนการ

#### 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตการศึกษามีดังนี้

1. ดำเนินการศึกษาการผลิตแผงวงจรรีเลย์ทรอนิกส์จากบริษัทกรณีศึกษาเพื่อลดจำนวนอัตราการเกิดของเสียความหนาของชิ้นงานเกินขนาดโดยมีดัชนีชี้วัดคืออัตราการเกิดของเสียความหนาของชิ้นงานเกินขนาดเทียบต่อล้านชิ้น (Part Per Million, PPM)
2. การศึกษานี้เฉพาะผลิตภัณฑ์ชิพชนิดตะหรือสัสมัสนั้น
3. การศึกษาวิจัยนี้ปรับปรุงกระบวนการห่อหุ้มหน้าชิ้นงาน (Encapsulation Process) บน Encapsulation Machine
4. งานวิจัยนี้จะนำเสนอ Parameter Setting ที่เหมาะสมบน Encapsulation Machine เพื่อควบคุมความสูงของชิ้นงาน (Module Chip) จากการปรับปรุงความถี่ของชิ้นงาน

#### 1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการศึกษามีดังนี้

1. ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงกระบวนการโดยใช้หลักการซิกซิกม่า (Six Sigma)
2. ศึกษากระบวนการผลิตแผงวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ผลิตภัณฑ์ชิพชนิดตะหรือสัสมัสนั้น
3. ศึกษาการทำงานของเครื่องจักร Encapsulation Machine ในกระบวนการห่อหุ้มหน้าชิ้นงาน
4. ศึกษาวิธีการลดค่าความถี่ในกระบวนการห่อหุ้มหน้าโดยใช้หลักการซิกซิกม่ามี 5 ขั้นตอนดังนี้

(1.) ขั้นตอนการนิยามปัญหา (Define Phase)

- ก. จัดตั้งทีมงานคุณภาพเพื่อเป็นกลุ่มปรับปรุงคุณภาพและเพิ่มผลผลิต โดยกลุ่มคุณภาพนี้มีตัวแทนมาจากส่วนงานต่างๆที่เกี่ยวข้องเช่น วิศวกรฝ่ายการผลิต, วิศวกรฝ่ายกระบวนการผลิต, วิศวกรฝ่ายประกันคุณภาพ, วิศวกรฝ่ายคุณภาพ และหัวหน้าช่างฝ่ายซ่อมบำรุง

- ข. สํารวจสภาพปัญหาในอดีตจนถึงปัจจุบันและความต้องการของลูกค้า เพื่อกันหาต้นเหตุที่วัดความสำเร็จและเป้าหมายของโครงการโดยใช้ข้อมูลในอดีตของปี 2013 มาวิเคราะห์
- ค. ระบุแผนการดำเนินงานโครงการและจัดทำเอกสารสิทธิโครงการ(Project Charter)

(2.) ขั้นตอนการวัด (Measure Phase)

- ก. ทำการศึกษากระบวนการวัดค่าพารามิเตอร์ความถี่ของเพื่อศึกษาความเที่ยงตรงและแม่นยำของเครื่องมือวัดและพนักงานวัดค่าความถี่ของชิ้นงาน
- ข. วัดความสามารถกระบวนการของค่าความถี่เพื่อเป็นต้นเหตุที่วัดแสดงความสามารถกระบวนการในปัจจุบัน
- ค. วิเคราะห์ข้อมูลพารามิเตอร์ความถี่ของชิ้นงานเพื่อเลือกสาเหตุและปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดความถี่ของชิ้นงานโดยใช้แผนผังก้างปลา (Cause and Effect Analysis)
- ง. วิเคราะห์สาเหตุและปัจจัยที่ได้เลือกมาทำการถ่วงน้ำหนักเพื่อจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุที่อาจก่อให้เกิดความถี่ของชิ้นงานโดยใช้แผนผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)

(3.) ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze Phase)

- ก. นำปัจจัยที่ได้มาออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบว่าปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อการเกิดความถี่ของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่โดยใช้Hypothesis ในการทดสอบสมมติฐาน
- ข. สรุปปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดความถี่ของชิ้นงาน

(4.) ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase)

- ก. ออกแบบการทดลองจากปัจจัยที่มีผลเพื่อหาค่าติดตั้งที่เหมาะสมและเก็บข้อมูล
- ข. วิเคราะห์ผลทางสถิติและสรุปค่าปัจจัยที่เหมาะสม
- ค. กำหนดทางเลือกในการปรับปรุงกระบวนการ

(5.) ขั้นตอนการควบคุม (Control Phase)

- ก. เก็บข้อมูลวัดค่าความถี่ของเพื่อยืนยันผลการปรับปรุง
  - ข. วิเคราะห์หัตถการการเกิดของเสียประเภทความหนาขึ้นงานเกินขนาดเทียบกับค่า  
ขึ้นเพื่อยืนยันผลการปรับปรุง
  - ค. จัดทำแผนการควบคุมคุณภาพ
  - ง. จัดทำเอกสารและการสอนพนักงานถึงวิธีการใหม่
5. สรุปผลการทำงานวิจัยและข้อเสนอแนะ
  6. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

### 1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษามีดังนี้

1. จำนวน PPM ของเสียประเภทความหนาขึ้นงานเกินขนาดลดลงจาก 600 PPM เป็นน้อยกว่า 250 PPM
2. จำนวนข้อร้องเรียนจากลูกค้าอันเนื่องจากปัญหาความหนาขึ้นงานเกินขนาดเป็นศูนย์
3. สนับสนุนความต้องการของลูกค้า
4. สร้างมาตรฐานในการปฏิบัติงานเพื่อลดจำนวนอัตราการเกิดของเสียความหนาขึ้นงานเกินขนาด

### 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษามีดังนี้

1. สามารถลดจำนวนของเสียที่เกิดในกระบวนการผลิตสำหรับของเสียประเภทความหนาขึ้นงานเกินขนาด
2. สามารถทราบปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดความหนาขึ้นงานเกินขนาด
3. ลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียประเภทความหนาขึ้นงานเกินขนาด
4. ลูกค้าให้ความเชื่อมั่นกับผลิตภัณฑ์ของบริษัท

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ได้รวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการศึกษาวิจัยสำหรับการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดค่าความโง่งงชิ้นงาน โดยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

### 2.1 หลักการและการดำเนินงานของซิกส์ ซิกม่า

ซิกส์ ซิกม่าคือกระบวนการพัฒนาคุณภาพโดยลดข้อบกพร่องหรือความสูญเสียต่อสินค้าและบริการให้เหลือน้อยที่สุดโดยใช้หลักการทางสถิติและมุ่งเน้นความต้องการของลูกค้าและมาตรฐานในการแก้ไขปัญหาเพื่อการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการ ลดผลกระทบและค่าใช้จ่าย ในปัจจุบันองค์กรต่างๆมีการนำหลักการซิกส์ ซิกม่ามาใช้ในการบริหารองค์กรและควบคุมคุณภาพ เพื่อตอบสนองความต้องการลูกค้าและเพื่อสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า

#### 1. ความเป็นมาของซิกส์ ซิกม่า

หลักการของระบบซิกส์ ซิกม่าเริ่มแรกมาจากบริษัทโมโตโรล่า (Motorola) ในปี ค.ศ.1980 โดยมี ไมเคิล แฮร์รี่ (Mikel Harry) และบ็อบ แกลวิน (Bob Galvin) ได้พยายามปรับปรุงคุณภาพโดยการลดความแปรปรวนในกระบวนการผลิตให้เหลือน้อยที่สุด โดยอาศัยแนวคิดของ W. Edwards Deming ซึ่งเป็นบิดาแห่งการควบคุมคุณภาพ จากนั้นในปี ค.ศ.1990 ได้มีบริษัทต่างๆเริ่มนำระบบซิกส์ ซิกม่ามาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพเช่น Allied Signal, Nokia และ Sony เป็นต้น(วสันต์ พุกผาสุข, 2551)

#### 2. ความหมายของซิกส์ ซิกม่า

Harry (1997) ได้ให้คำจำกัดความไว้ว่าซิกส์ ซิกม่าเป็นวิถีทางแห่งระบบคุณภาพแบบหลายมิติประกอบด้วยรูปแบบที่เป็นมาตรฐาน การจัดการที่เหมาะสมและการตอบสนองภารกิจขององค์กรซึ่งทำให้ลูกค้าและผู้ผลิตได้ผลตอบแทนทั้งสองฝ่ายไม่ว่าจะเป็นด้านอรรถประโยชน์ ทรัพยากรและคุณค่าของผลิตภัณฑ์

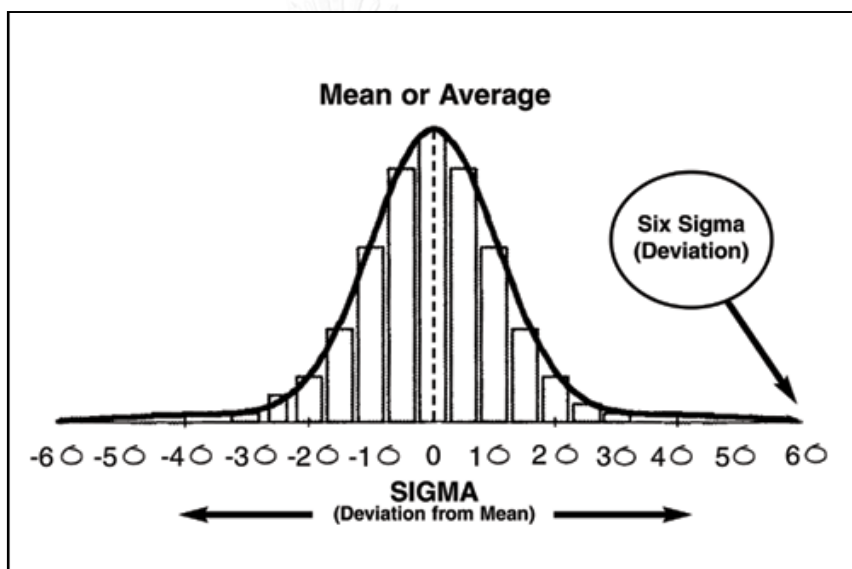
สถาบัน Juran(2005) ได้ให้คำจำกัดความว่าซิกส์ ซิกม่าเป็นกลยุทธ์ของฝ่ายบริหารในการพัฒนาคุณภาพเพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้า ทำให้



ลูกค้าเกิดความพึงพอใจสูงสุดและลดความสูญเสียที่ทำให้เกิดความไม่พึงพอใจของลูกค้าให้เหลือน้อยที่สุด (วสันต์ พุกผาสุข, 2551)

3. ความหมายเชิงตัวเลขของ 6 Sigma

Sigma ( $\sigma$ ) เป็นภาษากรีกซึ่งเป็นสัญลักษณ์ของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เป็นตัววัดที่แสดงถึงควมมีเสถียรภาพ (Stability) ของกระบวนการ โดยความหมายของซิกม่า ซิกม่าสามารถอธิบายได้ภายใต้เส้นโค้งปกติ (Normal Curve) ดังรูปที่ 2.1 และตารางที่ 2.1

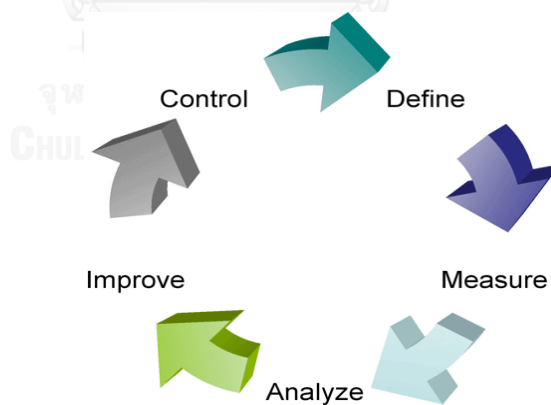


รูปที่ 2.1 ความหมายเชิงตัวเลขของซิกม่า ซิกม่า

ตารางที่ 2. 1 ความหมายความผันแปรของซิกส์ ซิกม่าและระดับซิกส์ ซิกม่า

ขอบเขต ข้อกำหนด	ค่าเฉลี่ย = เป้าหมาย		ค่าเฉลี่ย = เป้าหมาย $\pm 1.5\sigma$		Sigma Level
	% ของผลผลิต ที่ดี	จำนวนของ เสียในหนึ่ง ล้านชิ้น	% ของผลผลิต ที่ดี (เลื่อน $1.5\sigma$ )	จำนวนของ เสียในหนึ่ง ล้านชิ้น (เลื่อน $1.5\sigma$ )	
$-1\sigma - +1\sigma$	68.27	317,300	30.23	697,700	1
$-2\sigma - +2\sigma$	95.45	45,500	69.13	308,700	2
$-3\sigma - +3\sigma$	99.73	2,700	93.32	66,810	3
$-4\sigma - +4\sigma$	99.9937	63	99.37	6,210	4
$-5\sigma - +5\sigma$	99.999943	0.57	99.9767	233	5
$-6\sigma - +6\sigma$	99.9999998	0	99.99966	3.40	6

## 4. ขั้นตอนการดำเนินงานของซิกส์ ซิกม่า



รูปที่ 2. 2 วงจรขั้นตอนการทำซิกส์ ซิกม่า

ขั้นตอนการดำเนินงานของซิกส์ ซิกมาแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

(1.) ขั้นตอนการนิยามปัญหา (Define Phase) คือการกำหนดปัญหาเลือกกระบวนการปรับปรุงหรือออกแบบ โดยเน้นความต้องการของลูกค้าเป็นหลักเพื่อให้โครงการที่เลือกนั้นเป็นเรื่องสำคัญที่ควรปฏิบัติได้จริงและคุ้มค่าที่จะปฏิบัติ การกำหนดเป้าหมายต้องชัดเจนระบุขอบเขตการปรับปรุงจัดกลุ่มปรับปรุงคุณภาพและจัดทำ Project Charter โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ก. Problem Statements คือการอธิบายปัญหาที่เกิดขึ้นหรือมีโอกาสที่จะเกิดขึ้นรวมทั้งผลกระทบ
- ข. Defect คือข้อบกพร่องที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด เช่นของเสียในกระบวนการผลิตหรือความผิดพลาดของเอกสาร เป็นต้น
- ค. Goal/Objective Statement คือการกำหนดเป้าหมายหรือเงื่อนไขของเวลาที่จะแล้วเสร็จ
- ง. Project Benefits คือผลประโยชน์หรือกำไรที่พึงได้รับจากโครงการ
- จ. Metric/Metric Chart คือมาตราหรือตัววัดผลลัพธ์ (ผลสำเร็จ) ของโครงการ
- ฉ. Team Organization คือสมาชิกที่ร่วมดำเนินการในการทำโครงการ
- ช. Project Schedule คือแผนการปฏิบัติงาน
- ซ. Benefit Calculation คือการคำนวณประโยชน์หรือกำไรที่พึงได้รับจากโครงการ

(2.) ขั้นตอนการวัด (Measure Phase) จุดประสงค์ของขั้นตอนการวัดคือเพื่อกำหนดขอบเขตของโครงการศึกษาเพื่อทำความเข้าใจกระบวนการโดยการใช้เครื่องมือเช่น Cause and Effect Diagram, Cause and Effect Matrix, Pareto Chart, Gage Studies และ Process Capability ในการกำหนดตัวตั้งต้นหรืออินพุท (Input) และผลที่ได้รับหรือเอาต์พุท (Output) ของกระบวนการ ประเมินผลระบบการวัดของเอาพุทและวัดความสามารถกระบวนการในปัจจุบันของเอาต์พุทโดยเครื่องมือต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์สามารถอธิบายได้ดังนี้

- ก. Cause and Effect Diagram คือเครื่องมือเพื่อค้นหาสาเหตุที่เป็นไปได้ต่อสิ่งที่เราสนใจศึกษา โดยเครื่องมือ Cause and Effect Diagram จะถูกนำมาวิเคราะห์ พิสูจน์หาความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุของปัญหาและมองหาเงื่อนไขที่เป็นสาเหตุที่ทำให้ลูกค้าร้องเรียน(Complaints) เช่นกระบวนการผลิตผิดปกติหรือผลิตภัณฑ์ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดซึ่งเครื่องมือนี้จะช่วยเสริมจุดหรือประเด็นในการค้นหาปัญหา ช่วยในการพัฒนาด้านเทคนิคมาตรฐานและการปรับปรุงกระบวนการ โดยปัจจัยที่อาจนำมาวิเคราะห์เป็นผลมาจากปัจจัยหลัก 4ปัจจัยตาม 4M คือ คน (Man), เครื่องจักร (Machine), วัตถุดิบ (Material) และวิธีการ (Method) ดังตัวอย่าง Cause and Effect Diagram รูปที่ 2.3



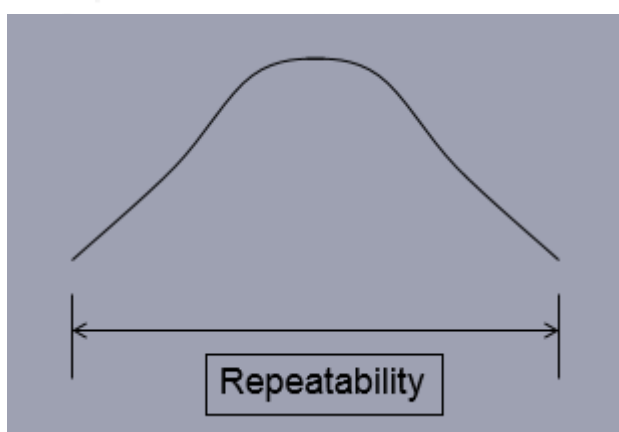
รูปที่ 2. 3 ตัวอย่าง Cause and Effect Diagram (จักรชัย น้ำผึ้ง, 2555)

- ข. Cause and Effect Matrix (วรารุณี แก้วอ่อน, 2556)คือเครื่องมือแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุหรือปัจจัยนำเข้าที่ได้ ผ่านการวิเคราะห์มาจากแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและปัจจัย (Cause and Effect Diagram) กับตัวแปรตอบสนองที่เราศึกษา (Response) Cause and Effect Matrix จะถูกนำมาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง โดยทำการวิเคราะห์ระดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่มี

ผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองจากที่ร่วมระดมความคิด ผลที่ได้จากการจัดระดับความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองคือการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองโดยแผนภาพพาเรโต้ (Pareto Chart) ซึ่งจะสามารถทำให้เลือกปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองสูงมาทำการแก้ไขก่อน ขั้นตอนการทำ Cause and Effect Matrix มีดังนี้

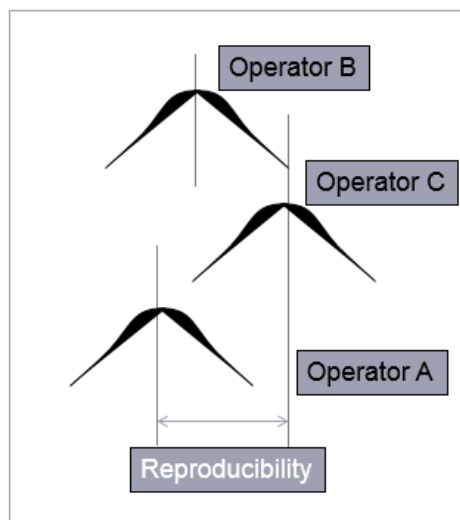
- (ก.) ระบุตัวแปรตอบสนองที่ต้องการทำการการศึกษา โดยตัวแปรตอบสนองนี้อาจเลือกมาจากสิ่งที่ลูกค้าต้องการหรือเป็นความพึงพอใจของลูกค้า
- (ข.) ระบุรายละเอียดปัจจัยนำเข้าที่คาดว่าจะมีผลต่อตัวแปรตอบสนองที่สนใจ โดยปัจจัยนำเข้าที่เลือกมาแสดงในตารางความสัมพันธ์นี้มาจากปัจจัยที่ได้มาจากการระดมความคิดในแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและปัจจัย (Cause and Effect Diagram)
- (ค.) ให้คะแนนความสำคัญระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองโดยคะแนนมีสเกล 1-10 ดังนี้
- 0 คือ ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง
  - 1 คือ มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองน้อย
  - 5 คือ มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองปานกลาง
  - 10 คือ มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองมาก
- (ง.) ผู้วิเคราะห์ให้คะแนนความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง ทั้งนี้การให้คะแนนขึ้นอยู่กับความรู้และประสบการณ์ของผู้วิเคราะห์
- (จ.) รวบรวมคะแนนที่ได้ในแต่ละปัจจัยนำเข้า แล้วนำไปจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองโดยแผนภาพพาเรโต้ (Pareto chart)

- ค. แผนภาพพาเรโต (Pareto Chart) คือแผนภูมิแสดงลำดับความสำคัญของแต่ ละปัจจัยในกระบวนการ โดยเปรียบเทียบความถี่หรือความรุนแรงของแต่ละ ปัจจัย โดยแผนภูมิพาเรโตจะถูกนำมาใช้เมื่อต้องการค้นหาสิ่งที่ต้องการ ปรับปรุงมากที่สุดเพื่อเลือกสาเหตุหลักที่จำเป็นต้องได้รับการแก้ไขก่อน และ เพื่อแสดงข้อมูลความสำคัญกับส่วนอื่นๆ หลักการวิเคราะห์แผนภาพพาเรโต คือค้นหาสาเหตุ 20% ที่ส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง 80% โดยใช้กราฟ แท่งแสดงจำนวนข้อมูลเทียบกับกราฟเส้นตรงเปอร์เซ็นต์ผลกระทบที่สะสม ผลที่ได้จากการจัดลำดับแผนภูมิพาเรโตคือสามารถคัดเลือกปัจจัยที่ส่งผล กระทบต่อตัวแปรตอบสนองมาก
- ง. Gage Studies หรือ GR&R คือเครื่องมือในการประเมินผลระบบการวัด (Measurement System) ซึ่งประกอบไปด้วย
- (ก.) Repeatability คือความสามารถในการทำซ้ำโดยใช้เครื่องมือวัดเดียวกัน (One Gage) วัดชิ้นงานชิ้นเดียวกัน (Same Part) โดยพนักงานคน เดียวกัน (Same Operator) และวัดหลายๆครั้งเป็นการวัดความผันแปรที่ เกิดจากเครื่องมือวัดดังแสดงความผันแปรในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2. 4 ความผันแปรจากระบบการวัด Repeatability

(ข.) Reproducibility คือความสามารถในการทำเหมือน โดยใช้พนักงานที่ต่างกัน (Several Operator) ใช้เครื่องมือวัดเดียวกัน (One Gage) วัดชิ้นงานเดียวกัน (Same Part) เป็นการวัดความผันแปรค่าเฉลี่ยจากการวัดโดยคนวัดหลายคนดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ความผันแปรจากระบบการวัด Reproducibility

(1.) ขั้นตอนการทำ Gage Repeatability and Reproducibility

- 1.1 สอบเทียบเครื่องมือวัดให้ได้มาตรฐาน
- 1.2 สุ่มพนักงานวัด 2-4 คน
- 1.3 สุ่มชิ้นงาน 10 ชิ้น ให้ครอบคลุมทุกความผันแปรของกระบวนการ
- 1.4 ให้พนักงานแต่ละคนวัดชิ้นงานทุกชิ้นอย่างสุ่ม ชิ้นละ 2-3 ครั้ง
- 1.5 ทดสอบค่าวัดจากพนักงานทั้ง 3 คนว่าวัดงานโดยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยใช้การทดสอบ ANOVA
- 1.6 คำนวณค่า Precision to Tolerance (P/T) Ratio และ Precision to Total Variability (P/TV) อยู่ในระดับที่ยอมรับได้หรือไม่

(2.) ขนาดสิ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบด้วยข้อมูลผันแปรตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2. 2 ขนาดสิ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบด้วยข้อมูลผันแปร

จำนวนผู้ทดสอบ (พนักงานวัด)	จำนวนอุปกรณ์วัด	จำนวนชิ้นงานที่น้อย ที่สุด	จำนวนการวัดซ้ำใน แต่ละชิ้นงาน
1	1	10	5
1	2	15	3
2	1	15	3
2	2	10	2
1 หรือ 2	3 หรือมากกว่า	10	2
3 หรือมากกว่า	1 หรือ 2	10	2
3 หรือมากกว่า	3 หรือมากกว่า	10	2

(3.) สูตรคำนวณหาอัตราส่วน

3.1. Precision to Tolerance (P/T) Ratio

$$P/T = \frac{\text{Gage R} \times R}{USL - LSL} \times 100$$

USL-LSL

3.2. Percentage of Total Variability (P/TV)

$$P/TV = \frac{\text{Gage R\&R}}{\text{Process Variation}} \times 100$$

(4.) เกณฑ์การประเมิน

P/T และ P/TV < 10% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

10% ≤ P/T และ P/TV ≤ 30% อาจจะยอมรับได้โดยพิจารณาปัจจัย

อื่นๆด้วยเช่นค่าใช้จ่าย

P/T หรือ P/TV ≥ 30% ไม่สามารถยอมรับได้ต้องหาสาเหตุ

และทำการแก้ไข



๑. Process Capability คือสมรรถภาพการแสดงความสามารถของกระบวนการตามข้อกำหนดของลูกค้า ซึ่งคำนึงความผันแปรของกระบวนการเทียบกับค่าเป้าหมาย โดยดัชนีชี้วัดความสามารถกระบวนการ 2 ตัวคือ วัดความสามารถกระบวนการระยะสั้น Cp, Cpk และวัดความสามารถกระบวนการระยะยาว Pp, Ppk

(ก.) Cp คือตัววัดความสามารถกระบวนการระยะสั้น ซึ่งแสดงศักยภาพของกระบวนการโดยดูการกระจายข้อมูลจริงเทียบกับค่าเป้าหมาย

(ข.) Pp คือตัววัดความสามารถกระบวนการระยะยาว ซึ่งแสดงศักยภาพของกระบวนการโดยดูการกระจายข้อมูลจริงเทียบกับค่าเป้าหมาย

(ค.) Cpk คือตัววัดความสามารถกระบวนการระยะสั้น ซึ่งแสดงประสิทธิภาพของกระบวนการโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและการกระจายข้อมูลเข้าใกล้ค่าเป้าหมาย

(ง.) Ppk คือตัววัดความสามารถกระบวนการระยะยาว ซึ่งแสดงประสิทธิภาพของกระบวนการโดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและการกระจายข้อมูลเข้าใกล้ค่าเป้าหมายโดยลำดับความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการตามค่าดัชนี Cpk แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2. 3 ลำดับความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการตามค่าดัชนี Cpk

ค่าดัชนี	ลำดับความสามารถของกระบวนการ
$2.00 \leq Cpk$	ดีเหลือเชื่อ
$1.67 \leq Cpk < 2.00$	ดีเลิศ
$1.33 \leq Cpk < 1.67$	ดี
$1.00 \leq Cpk < 1.33$	พอใช้
$0.67 \leq Cpk < 1.00$	แย่
$Cpk < 0.67$	แย่มาก

ทั้งนี้ความสามารถกระบวนการยังสามารถบอกได้ถึงจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการเทียบต่อล้านชิ้นดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2. 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถกระบวนการและจำนวนของเสียในกระบวนการ (จักริน ยิ้มย่อง, 2555)

Cpk	ระดับ Sigma	% ของ ผลผลิตที่ดี	จำนวนของ เสียของกราฟ ระฆัง 2 ด้าน	จำนวนของ เสียของกราฟ ระฆัง 1 ด้าน	จำนวนของ เสียเมื่อ กระบวนการ เลื่อน 1.5 SD
0	0	0	1,000,000	500,000	
0.17	0.5	382,925	617,075	308,538	
0.33	1	682,689	317,311	158,655	
0.5	1.5	866,386	133,614	66,807	500,000
0.67	2	954,500	45,500	22,750	308,538
0.83	1.5	987,581	12,419	6,210	158,655
1	3	997,300	2,700	1,350	66,807
1.17	3.5	999,535	465	233	22,750
1.33	4	999,937	63	32	6,210
1.5	4.5	999,993.2	6.8	3.4	1,350
1.67	5	999,999.4	0.6	0.3	233
1.83	5.5	999,999.96	0.04	0.02	32
2	6	999,999.998	0.002	0.001	3.4

(3.) ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyses Phase) คือขั้นตอนการวิเคราะห์จากข้อมูลที่วัดได้ เพื่อพิสูจน์ตัวแปรที่สำคัญในกระบวนการ (Key Process Variables) ที่เป็นต้นตอของ ปัญหา หลังจากที่ได้คัดเลือกปัจจัยนำเข้าจากขั้นตอนการวัดกระบวนการแล้วจึงมา ทำการทดสอบสมมติฐานและทำการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อ การเกิดปัญหา(ปารเมศ ชุติมา, 2545)

ก. การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) คือวิธีการทดสอบสมมติฐาน โดยการตั้งสมมติฐานและพยายามหาหลักฐานที่มีอยู่มาใช้ในการตัดสินใจ ดังนั้นถ้าหากมีหลักฐานไม่เพียงพอที่จะนำไปหักล้างสมมติฐานที่ตั้งขึ้นได้ นั่นคือยอมรับสมมติฐานนั้นซึ่งเป็นการทดสอบที่ไม่มีนัยสำคัญ แต่ถ้าหลักฐานที่ได้มามีมากพอที่จะนำไปหักล้างข้อสมมติฐานนั้น จะปฏิเสธสมมติฐานและถือว่าผลการทดสอบนั้นมีนัยสำคัญ ในการทดสอบสมมติฐานนั้นจะกำหนดสมมติฐานขึ้นมา 2 สมมติฐานดังนี้

(ก.) สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) ใช้ชื่อย่อ  $H_0$  เป็นสมมติฐานที่ต้องการทดสอบซึ่งแสดงถึงความเท่ากันหรือความไม่ต่างกันระหว่างค่าพารามิเตอร์ ( $\mu, \sigma^2$ )

(ข.) สมมติฐานรอง (Alternative Hypothesis) ใช้ชื่อย่อ  $H_a$  เป็นสมมติฐานที่มีลักษณะตรงกันข้ามกับสมมติฐานหลักที่จะทดสอบโดยจะแสดงถึงความแตกต่างระหว่างค่าพารามิเตอร์ในการตัดสินใจการทดสอบสมมติฐาน ผลการตัดสินใจแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ผลการตัดสินใจการทดสอบสมมติฐาน

การตัดสินใจ	ข้อเท็จจริง	
	$H_0$ เป็นจริง	$H_0$ เป็นเท็จ
ปฏิเสธ $H_0$	ความผิดพลาดประเภทที่ 1	ตัดสินใจถูก
ยอมรับ $H_0$	ตัดสินใจถูก	ความผิดพลาดประเภทที่ 2

(ค.) ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน

1.1 ตั้งสมมติฐานหลัก ( $H_0$ ) และ สมมติฐานรอง ( $H_a$ ) ให้มีความหมายตรงข้ามกันเสมอ

1.2 กำหนดระดับนัยสำคัญ  $\alpha$

1.3 เลือกตัวสถิติทดสอบที่เหมาะสมแล้วหาจุดวิกฤตเพื่อกำหนดบริเวณ

ปฏิเสธ  $H_0$  ให้สอดคล้องกับ  $H_a$  และ  $\alpha$

1.4 คำนวณค่าสถิติที่ใช้ทดสอบจากตัวอย่างขนาด  $n$  ที่สุ่มมา

1.5 ตัดสินใจยอมรับหรือปฏิเสธ  $H_0$  โดยพิจารณาจากค่าสถิติทดสอบตกอยู่ใน

บริเวณยอมรับ จะตัดสินใจยอมรับ  $H_0$  แต่หากค่าสถิติทดสอบตกอยู่ใน

บริเวณปฏิเสธ จะตัดสินใจปฏิเสธ  $H_0$  และยอมรับสมมติฐาน  $H_a$  แทน

1.6 สรุปผล

ข. การออกแบบการทดลองคือการออกแบบวางแผนการทดลองก่อนลงมือปฏิบัติ

จริง เพื่อตรวจสอบปัจจัยนำเข้า (Input factor) มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง (Response) หรือไม่ โดยปัจจัยหรือตัวแปรแบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

(ก.) ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นคือปัจจัยที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดผลการทดลอง หรือตัวแปรที่ต้องทำการตรวจสอบดูว่าเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดผลเช่นกัน

(ข.) ตัวแปรตามคือผลที่เกิดจากการทดลองซึ่งเป็นตัวแปรที่เปลี่ยนไปตามตัวแปรอิสระ

(ค.) ตัวแปรที่ต้องควบคุมคือปัจจัยที่นอกเหนือตัวแปรต้นซึ่งต้องถูกควบคุมให้เหมือนๆทุกการทดลอง เพราะหากไม่ควบคุมอาจทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนได้

ค. วิธีการออกแบบการทดลอง

(ก.) ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

1.1 การทดลอง (Experiment)

1.2 การระบุปัญหา (Statement of Problem)

1.3 การกำหนดตัวแปรตาม

1.4 การกำหนดตัวแปรที่มีผลต่อการทำงานของระบบหรือเรียกว่าปัจจัย (Factor) และค่าต่างๆที่เป็นไปได้ของปัจจัยหรือเรียกว่าระดับ (Level)

1.5 พิจารณาผลกระทบร่วมกันของระดับของปัจจัย ในกรณีที่มีมากกว่า 1 ปัจจัย

## (ข.) การออกแบบ (Design)

- 1.1 การกำหนดจำนวนข้อมูลการทดลองของแต่ละระดับ
- 1.2 การกำหนดรูปแบบการทดลอง
- 1.3 การกำหนดวิธีการสุ่มตัวอย่าง
- 1.4 การกำหนดรูปแบบคณิตศาสตร์ของการทดลอง

## (ค.) การวิเคราะห์ผล (Analysis)

- 1.1 การเก็บและจัดระบบข้อมูล
- 1.2 การคำนวณค่าทางสถิติเพื่อใช้ตัดสินใจสมมติฐาน
- 1.3 การตีความผลการวิเคราะห์

## ง. ชนิดการออกแบบการทดลอง

(ก.) การทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design) คือการศึกษาปัจจัยและระดับของปัจจัยในทุกๆ ปัจจัยนำเข้า โดยการศึกษาการทดลองที่มีจำนวนปัจจัย 2 ปัจจัยขึ้นไปจะได้รับการศึกษาไปพร้อมๆ กัน การทดลองจะตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนองโดยการเปลี่ยนระดับของปัจจัยเรียกว่า อิทธิพลหลัก (Main Effect) และการเปลี่ยนแปลงระดับปัจจัยในแต่ละปัจจัยมีค่าไม่เท่ากันเรียกว่าอิทธิพลร่วม (Interaction)

(ข.) การทดลองแบบเชิงแฟคทอเรียล  $2^k$  ( $2^k$  Factorial Design) เป็นการทดลองที่มีปัจจัยจำนวน  $k$  ปัจจัยและแต่ละปัจจัยจะมีปัจจัยละ 2 ระดับคือระดับต่ำและระดับสูง สามารถเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $+1$  และ  $-1$  แทนปัจจัยระดับสูงและระดับต่ำตามลำดับ ซึ่งหากการทดลองมีปัจจัยเป็นจำนวนมาก การออกแบบการทดลองแบบ  $2^k$  แฟคทอเรียลจะเหมาะสมในการทดลองลักษณะนี้

(ค.) การทดลองแบบเชิงแฟคทอเรียล  $3^k$  เป็นการทดลองที่มีปัจจัยจำนวน  $k$  ปัจจัยและแต่ละปัจจัยมีปัจจัยละ 3 ระดับคือระดับต่ำ กลางและสูง สามารถเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $+1$ ,  $0$  และ  $-1$  แทนปัจจัยระดับสูง กลางและต่ำ

ตามลำดับ ซึ่งการทดลองแบบนี้เหมาะสมกับการทดลองผลตอบสนองที่มีลักษณะเป็นส่วนโค้ง

- (4.) ขั้นตอนการนำไปใช้ (Improvement Phase) คือขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการหลังจากที่พบตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญแล้ว ขั้นตอนถัดมาคือการนำมาออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าติดตั้งที่เหมาะสมหรือเรียกว่าการออกแบบพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) และเลือกแนวทางการปรับปรุง วิธีการออกแบบพื้นผิวผลตอบเป็นวิธีการที่รวบรวมเอาเทคนิคทางคณิตศาสตร์และสถิติมาทำการวิเคราะห์ปัญหา โดยที่ผลตอบสนองที่เราสนใจนั้นมีอยู่หลายปัจจัยและในการทดลองพื้นผิวผลตอบมีวัตถุประสงค์เพื่อการหาค่าที่เหมาะสม

(1) การออกแบบจำลองอันดับหนึ่ง

ในขั้นตอนแรกของการออกแบบการทดลองพื้นผิวตอบสนองเพื่อหาฟังก์ชันที่เหมาะสมระหว่างความสัมพันธ์ของตัวแปรตอบสนองและปัจจัยนำเข้า ซึ่งหากฟังก์ชันที่เหมาะสมนี้เป็นสมการกำลังหนึ่งหรือเรียกว่าลิเนียร์ (Linear) คือแบบจำลองอันดับหนึ่ง (First order model) ดังสมการที่ 2.1

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \epsilon \quad (2.1)$$

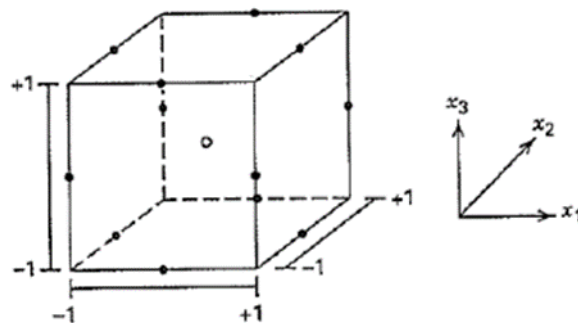
(2) การออกแบบการทดลองอันดับสอง

หากฟังก์ชันความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนองและปัจจัยนำเข้าเป็นสมการแบบกำลังสองหรือมีส่วนโค้งเข้ามาเกี่ยวข้อง จึงใช้ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังสูงขึ้นดังสมการที่ 2.2

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1, j < i}^k \beta_{ij} x_i x_j + \epsilon \quad (2.2)$$

## (3) การออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design)

การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนคือการออกแบบพิตพื้นผิวตอบโดยแต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ (-1, 0, +1) เป็นการออกแบบโดยการรวมการออกแบบการทดลองของแฟคทอเรียล  $2^k$  และการออกแบบการบล็อกแบบไม่สมบูรณ์ผลของการออกแบบจะได้ประสิทธิภาพในด้านจำนวนการรันที่ต้องการและการออกแบบวิธีบ็อกซ์-เบห์นเคนยังมีความสามารถในการหมุนหรือเกือบหมุนอีกด้วย



รูปที่ 2.6 การออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน ที่มีปัจจัย 3 ระดับ

จากรูปที่ 2.6 การออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน มีปัจจัย 3 ระดับ จะมีรูปทรงเรขาคณิตทรงกลมวางอยู่บนรัศมีทรงกลมและไม่มีจุดวงกลมใดวงกลมหนึ่งวางอยู่บนยอดของรูปทรงลูกบาศก์ของแต่ละตัวแปร การออกแบบเช่นนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากเมื่อจุดที่อยู่บนมุมของลูกบาศก์คือการรวมปัจจัยระดับ

(5.) ขั้นตอนการควบคุม (Control Phase) คือการควบคุมเพื่อให้กระบวนการนั้นอยู่ภายใต้การควบคุมเพื่อให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพตลอดไป โดยอาจใช้เครื่องมือแผนควบคุม (Control Plan) และแผนภูมิควบคุม (Control Chart) เพื่อควบคุมกระบวนการให้อยู่ในการควบคุม

(1) แผนควบคุม (Control Plan) เป็นตารางสรุปสิ่งที่จะควบคุมในแต่ละกระบวนการวิธีการควบคุมและการปฏิบัติหากไม่เป็นไปตามข้อกำหนดและเพื่อติดตามดูความผิดปกติของกระบวนการ

(2) แผนภูมิควบคุม (Control Chart) เป็นแผนภูมิเพื่อใช้สำหรับเฝ้าติดตามค่าของตัวแปรที่ต้องการควบคุมคุณภาพว่าเกิดความผันแปรเกินระดับปกติหรือไม่ เพื่อที่จะได้ดำเนินการแก้ไขให้กระบวนการกลับเข้าสู่ระดับปกติ แผนภูมิควบคุมประกอบไปด้วยเส้นกึ่งกลาง (Center Line) ขีดจำกัดควบคุมบน (Upper Control Limit, UCL) และขีดจำกัดควบคุมล่าง (Lower Control Limit, LCL) การกำหนด UCL และ LCL จะขึ้นอยู่กับค่ากลางและความแปรปรวนของกระบวนการความเข้มงวดในการตรวจสอบ ค่าใช้จ่ายในการสุ่มตัวอย่างและระดับความผิดพลาดในการสรุปผลที่ยอมรับได้

(3) ประเภทของแผนภูมิควบคุมแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

ก. แผนภูมิควบคุมชนิดแปรผัน (Variable Control Chart) คือข้อมูลที่ควบคุมมีลักษณะเป็นค่าต่อเนื่องหรือเป็นค่าวัด แผนภูมิประเภทนี้ได้แก่แผนภูมิควบคุม  $\bar{x}$ -R หรือ  $\bar{x}$ -MR

ข. แผนภูมิควบคุมชนิดตามลักษณะ (Attribute Control Chart) แผนภูมิควบคุมชนิดตามลักษณะจะใช้ข้อมูลประเภทจำนวนนับ ตัวอย่างแผนภูมิประเภทนี้ได้แก่แผนภูมิควบคุม P และแผนภูมิควบคุม C

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 2.2 ความรู้ทั่วไปของแผงวงจรรวมอิเล็กทรอนิกส์ชิพในการ์ด

แผงวงจรรวมหรืออิเล็กทรอนิกส์ชิพเป็นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ย่อยๆ หลายส่วนรวมกัน ซึ่งชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ย่อยนี้ประกอบไปด้วยตัวอย่างเช่น ไดโอด (Diode), ตัวต้านทาน (Resistor), ทรานซิสเตอร์ (Transistor) และตัวเก็บประจุ (Capacitor) เป็นต้นโดยการรวมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้และองค์ประกอบวงจรต่างๆ มารวมไว้ในแผงวงจรเดียวกันขนาดเล็ก สำหรับอิเล็กทรอนิกส์ชิพที่อยู่ในการ์ดหรือบัตรประจำตัวต่างๆ นั้นจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับประเภทของอิเล็กทรอนิกส์ชิพที่นำไปใช้ แต่มีหนึ่งคุณสมบัติที่เหมือนกันคือสามารถเก็บข้อมูลได้อย่างปลอดภัยโดยการแปลงข้อมูลเป็นรหัส (Encryption) ในปัจจุบันนี้ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ชิพสำหรับการ์ดแบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้



1. แบบสัมผัส (Contact Chip) เป็นอิเล็กทรอนิกส์ชิพที่ใช้งานจากด้านหน้าชิพสัมผัสเข้ากับเครื่องอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ในการอ่านค่าจากตัวบัตร การทำงานประเภทนี้เหมาะกับบัตรที่ต้องเก็บข้อมูลไว้จำนวนมาก ซึ่งจะมีระบบความปลอดภัยสูง
2. แบบไม่สัมผัส (Contactless Chip) เป็นอิเล็กทรอนิกส์ชิพที่ทำงานร่วมกับเสาอากาศ (Antenna) บัตรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ชิพประเภทนี้ใช้งานผ่านเครื่องอิเล็กทรอนิกส์โดยการนำบัตรเข้าไปใกล้กับเครื่องอ่านบัตรและใช้วิธีการดึงข้อมูลจากคลื่นความถี่วิทยุ (RFID)
3. บัตรทำงานแบบผสม (Dual Interface Chip) เป็นอิเล็กทรอนิกส์ชิพที่รวมเอาหลักการใช้งานระหว่างแบบสัมผัส (Contact Chip) และแบบไม่สัมผัส (Contactless Chip) เข้าด้วยกันให้สามารถใช้งานทั้ง 2 ประเภทได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น

### 2.3 กระบวนการประกอบชิพ

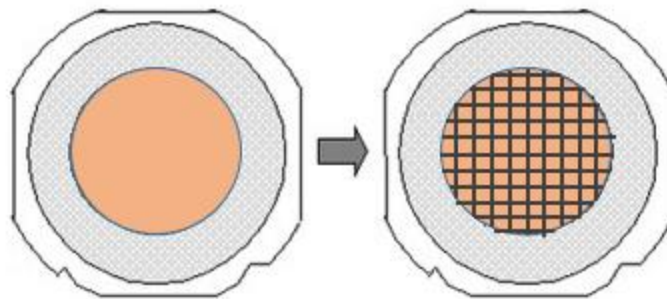
กระบวนการผลิตชิพประเภทแตะหรือสัมผัสดังรูปที่ 1.3 ในบทที่ 1 สามารถอธิบายกระบวนการผลิตได้ดังนี้

1. กระบวนการเตรียมแผ่นเวเฟอร์ (Pre Assembly) เป็นการทดสอบแผ่นเวเฟอร์เพื่อตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเวเฟอร์ว่าอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดหรือไม่ หลังจากนั้นจะเตรียมแผ่นเวเฟอร์เพื่อพร้อมใช้งานในกระบวนการถัดไปโดยขั้นตอนการเตรียมแผ่นเวเฟอร์ประกอบไปด้วยขั้นตอนย่อยดังนี้
  - (1) การขัดแผ่นเวเฟอร์ (Wafer Back grind) คือกระบวนการขัดแผ่นเวเฟอร์ให้ได้ผิวเรียบและขนาดตามที่กำหนดเนื่องจากแผ่นเวเฟอร์ที่รับมาจากผู้ขาย (Supplier) จะมีขนาดหนาเพื่อสะดวกแก่การขนส่ง ดังนั้นก่อนการจะนำเวเฟอร์ไปใช้ในกระบวนการถัดไปจึงต้องขัดแผ่นเวเฟอร์ให้ได้ตามขนาดทั้งนี้ก่อนการขัดแผ่นเวเฟอร์จะต้องติดเทปด้านหน้าแผ่นเวเฟอร์ก่อนเพื่อป้องกันสิ่งสกปรกจากการขัดลงบนหน้าวงจร



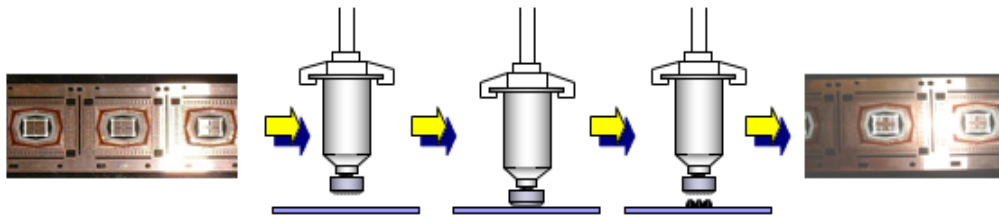
รูปที่ 2. 7 ตัวอย่างการตัดแผ่นเวเฟอร์ให้มีความหนาลดลง

- (2) การตัดแยกแผ่นเวเฟอร์ (Laser Saw) คือกระบวนการตัดแผ่นเวเฟอร์เป็นชิ้นเล็ก ซึ่งเรียกว่าได (Die) โดยการตัดแยกไดนี้จะใช้วิธีการตัดแบบเลเซอร์ ระหว่างการตัดจะฉีดน้ำ Deionized Water (DI Water) เพื่อทำความสะอาดชิ้นงานด้วย



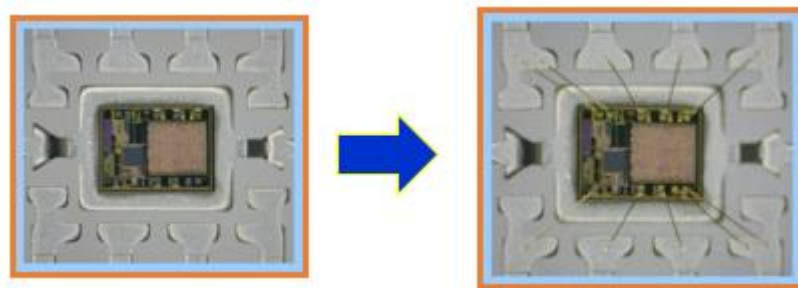
รูปที่ 2. 8 ลักษณะการตัดแยกแผ่นเวเฟอร์เป็นได

- (3) การตรวจสอบแผ่นเวเฟอร์ (Wafer Inspection) คือกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเวเฟอร์หลังการตัดแยกเป็นได
- (4) การอบแผ่นเวเฟอร์ด้วยแสง Ultraviolet (UV Irradiation) คือกระบวนการอบด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต (Ultra Violet, UV) เพื่อลดความเหนียวระหว่างไดและแผ่นเฟรมเมื่อเวลาหยิบไดไปประกอบ หลังทำการเตรียมไดครบทุกชั้นตอนแล้วจากนั้นจะนำไดไปเก็บในห้องอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อเตรียมนำไปใช้ในกระบวนการถัดไป
2. กระบวนการประกอบ (Assembly) เป็นกระบวนการประกอบแผ่นเวเฟอร์ลงบนแผงตัวนำ โดยในส่วนของกระบวนการประกอบจะแบ่งเป็นกระบวนการย่อยดังนี้
- (1) การเชื่อมติดได (Die Attach) คือกระบวนการเชื่อมติดไดลงบนแผ่นตัวนำโดยการเชื่อมติดด้วยกาว Epoxy



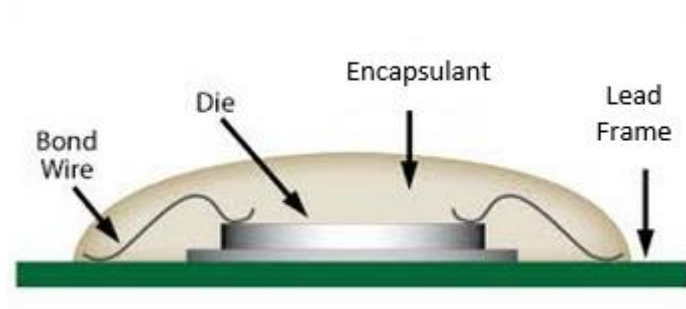
รูปที่ 2. 9 การเชื่อมติดไดและแผ่นตัวนำ

- (2) การอบ (Cure Oven) คือกระบวนการอบด้วยความร้อนในอุณหภูมิที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มการยึดติดระหว่างไดและแผ่นตัวนำให้ยึดติดกันได้ดี
- (3) การเชื่อมลวดคือกระบวนการเชื่อมลวดจากไดแล้วลากลงมาบนแผ่นตัวนำลวดที่ใช้ในการเชื่อมเช่นทอง เงิน หรืออลูมิเนียม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้า



รูปที่ 2. 10 ชิ้นงานหลังจากผ่านการเชื่อมลวด

- (4) การห่อหุ้มหน้าชิ้นงานและการอบ (Encapsulation & Cure Oven) คือกระบวนการห่อหุ้มหน้าชิ้นงานหรือห่อหุ้มหน้าไดและลวด เพื่อป้องกันความเสียหายหน้าแผงวงจรการห่อหุ้มนี้จะใช้สาร Epoxy ในการห่อหุ้ม หลังจากนั้นจะอบด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) ในอุณหภูมิต่างๆ เพื่อให้สาร Epoxy ที่ห่อหุ้มหน้าชิ้นงานแข็งตัว



รูปที่ 2. 11 การต่อหุ้มชิ้นงานที่กระบวนการต่อหุ้มชิ้นงาน

- (5) การตรวจสอบชิ้นงาน (Tape Inspection) คือกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานหลังจากที่ได้ผลิตออกมาเป็นผลิตภัณฑ์แล้ว โดยการตรวจสอบจะใช้การตรวจสอบด้วยสายตาภายใต้เลนส์แว่นขยาย (Magnifier Lens) เพื่อดูความเรียบร้อยและความสมบูรณ์ของชิ้นงานก่อนส่งชิ้นงานให้กระบวนการถัดไป
3. กระบวนการทดสอบและบรรจุสินค้า (Test & Pack) เป็นกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งทางด้านกายภาพและฟังก์ชันการทำงานก่อนส่งสินค้าถึงมือลูกค้า โดยมีกระบวนการย่อยดังนี้
- (1) การทดสอบ (Test) คือกระบวนการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ทางด้านไฟฟ้า เพื่อทดสอบฟังก์ชันการทำงานและคุณสมบัติทางด้านแฉวงจรรวม เช่น การทดสอบการไหลของประจุไฟฟ้า การทดสอบลักษณะ คุณสมบัติทางด้านไฟฟ้า เป็นต้น
  - (2) การบรรจุ (Packing) คือกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์ลงกล่องเพื่อเตรียมส่งมอบให้ลูกค้า
  - (3) การส่งสินค้า (Shipping) คือกระบวนการสุดท้ายจากโรงงานผลิต โดยการจัดส่งสินค้าถึงมือลูกค้า

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สืบเนื่องจากวัตถุประสงค์ของการทำวิจัยนี้คือการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยใช้หลักการซิกส์ ซิกม่าซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้พบว่ามี การปรับปรุงกระบวนการผลิตในหลายๆกระบวนการโดยใช้หลักการซิกส์ ซิกม่ามาดำเนินการดังนี้

ในการจะเริ่มทำการปรับปรุงกระบวนการนั้น สิ่งหนึ่งที่เป็นเรื่องยากคือเราจะปรับปรุงอะไร (Su and Chou, 2008) ได้เข้าไปทำการศึกษาในบริษัท Semiconductor และได้เสนอแนวคิดที่จะเลือกกระบวนการใดกระบวนการหนึ่งมาปรับปรุงโดยพิจารณาจากนโยบายและวัตถุประสงค์ของธุรกิจและเสียงเรียกร้องจากลูกค้า จากนั้นพิจารณาแผนผังองค์กรที่จะทำการปรับปรุงโดยพิจารณาจากผลประโยชน์ที่จะได้รับและประเมินความเสี่ยงโดยใช้ FMEA และโปรเจกต์นั้นควรจะถูกระบุในระดับของ Six Sigma เช่น Black belt, Green belt ด้วย

การนำหลักการซิกส์ ซิกม่ามาใช้ปรับปรุงกระบวนการผลิตต่างๆ ซึ่ง (Uy et al., 2010) ได้นำหลักการซิกส์ ซิกม่ามาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตตัวแผงวงจรรวมในกระบวนการ Trim and Form ได้ศึกษาช่องว่างระหว่างกระบวนการ Trim and Form โดยมีวัตถุประสงค์ในการทำวิจัยคือการลดของเสีย package cracks เป็นศูนย์ โดยใช้ DMAIC ซึ่งเป็นขั้นตอนของ Six sigma จากการวิจัยพบว่า die inserts with planarity ทำให้เกิด package cracks และสุดท้ายเค้าแนะนำให้ die inserts with planarity ควรน้อยกว่า 5 มิล จะสามารถกำจัดของเสีย package cracks ได้

ในขณะที่ (Su et al., 2005) ได้นำหลักการซิกส์ ซิกม่ามาใช้ในการลดของเสียที่เกิด Delamination จากกระบวนการประกอบตัวแผงวงจรรวมโดย Delamination เกิดจาก poor adhesion ระหว่าง wafer passivation และกระบวนการประกอบ molding compound การวิจัยได้นำหลักการซิกส์ ซิกม่ามาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการ จากการวิจัยพบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิด delamination เกิดจาก wafer passivation มี contact angle มากกว่า 100 องศา และพบว่ามีฝุ่นมากหลังจากกระบวนการ molding compound ผลการวิจัยแนะนำค่า contact angle ที่เหมาะสมควรเป็น 60-70 องศา และผลิตภัณฑ์ควรทำความสะอาดด้วย plasma หลังกระบวนการ molding compound หลังจากที่ได้ประยุกต์ใช้แล้ว ปัญหา delamination ได้ถูกปรับปรุงอย่างเห็นได้ชัดคือไม่มี delamination เกิดขึ้นและ pass rate เพิ่มขึ้นจาก 70% เป็น 90%.

Novin, Caloy และ Freddie (2012) ได้นำหลักซิกส์ ซิกม่ามาใช้ในการกำจัดปัญหาการหยอดEpoxy ที่ไม่ตรงตามตำแหน่งในกระบวนการ Die bond โดยการปรับปรุงกระบวนการเพื่อพร้อมที่จะส่งไปยังกระบวนการเชื่อมลวด (Wire bond) ต่อไป จากการศึกษาเพื่อค้นหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการปรับปรุงกระบวนการได้ใช้วิธีแพคทอเรียลบางส่วน ซึ่งปัจจัยหลักของการปรับปรุงกระบวนการนี้คือระดับ Z offset และระดับ Z position

นอกจากนี้(Radhakrishnan and Sivakumaran, 2009) ได้มีการประยุกต์นำหลักการซิกส์ ซิกม่ามาใช้ในการควบคุมคุณภาพในส่วนของการสุ่มเพื่อการยอมรับ (Acceptance Sampling) โดยผลที่ได้เพื่อเป็นแนวทางในการทำซิกส์ ซิกม่าสำหรับโรงงานผลิตที่เพิ่งเริ่มต้นการทำซิกส์ ซิกม่าเพื่อให้สิ่งที่ไม่เป็นประโยชน์เกิดขึ้นน้อยที่สุด

(Antony and Banuelas, 2002)กล่าวว่าการจะทำให้ซิกส์ ซิกม่ามีประโยชน์สูงสุดต้องทำ Design for Six Sigma (DFSS) เพื่อพิจารณาการออกแบบผลิตภัณฑ์ กระบวนการและการบริการในการใช้ง่ายที่คุ้มค่าและง่ายต่อการปฏิบัติ เพื่อตอบสนองของความต้องการและความคาดหวังจากลูกค้า โดยการใช้หลักสถิติมาพยากรณ์และปรับปรุงคุณภาพก่อนจะเริ่มการผลิตต้นแบบ

(Kim, 2008)ได้เสนอทางเลือกของวิธีการวัดเพื่อหาระดับของซิกส์ ซิกม่าโดยการระบุระดับของซิกส์ ซิกม่าใน DFSS (Design For Six Sigma หรือ DMADVO, Define, Measure, Analyze, Design/Optimize, and Verify) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการทำโปรเจค ระดับของซิกส์ ซิกม่าจะสะท้อนถึงประสิทธิภาพในการทำโปรเจค ซึ่งวิธีการหาระดับของซิกส์ ซิกม่าได้ใช้ข้อมูลสถิติที่เกี่ยวข้องและหลักการของ Takuchi

(Robert, 1999)ใช้ Isogrammetric Analysis ในการตรวจสอบความผิดปกติในข้อมูลวัดที่อยู่ในกระบวนการผลิตโดยใช้หลักซิกส์ ซิกม่าในการควบคุม Isogrammetric Analysis เป็นเครื่องมือที่แสดงค่าวัดงานและคำนวณตามหลักสถิติและแสดงผลออกมาว่าอยู่ในระดับ Sigma ใดซึ่งทำให้การแปลผลเข้าใจง่ายและอีกทั้งง่ายต่อการใช้งานกับพนักงานหน้างาน

(Kanani, 2006)ได้ทำการศึกษาซิกส์ ซิกม่าในส่วนของระยะควบคุม (Control Phase) ถึงเครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมนั้นมีผลต่อการประสบความสำเร็จในการทำโปรเจค Six Sigma โดยการวิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลเฉพาะบริษัท IRANKHODRO ซึ่งเป็นบริษัทประเภท Automobile

Industries และพบว่าโปรเจ็คที่ประสบความสำเร็จให้ได้ระดับซิกส์ ซิกม่านั้นโดยใช้เครื่องมือ Standardization และใช้แผนภูมิควบคุม (Control chart)

(Wang, 2008) ได้สรุปถึงปัจจัยที่ทำให้การทำซิกส์ ซิกมาประสบความสำเร็จโดย ทำการศึกษาวิจัยจากองค์กรที่เป็นกระบวนการผลิตและการบริการ โดยมีปัจจัยที่ทำให้ประสบความสำเร็จดังนี้

1. ผู้บริหารระดับสูงต้องเข้ามามีส่วนร่วม
2. เข้าใจในวิธีการของซิกส์ ซิกมา รวมถึงเครื่องมือและเทคนิคต่างๆ
3. เชื่อมโยงหลักซิกส์ ซิกมากับนโยบายและวัตถุประสงค์ขององค์กร
4. เชื่อมโยงหลักซิกส์ ซิกมากับความต้องการของลูกค้า
5. เลือกโครงการที่จะทำการปรับปรุง พิจารณาและติดตาม
6. จัดทำให้เป็นระบบในองค์กร
7. เปลี่ยนวัฒนธรรมในองค์กร
8. เพิ่มทักษะการบริหารโครงการ
9. เชื่อมโยงหลัก Six Sigma กับผู้ขาย
10. จัดทำกรอบ

### บทที่ 3

## นิยามปัญหา (Define Phase)

ในขั้นตอนแรกของการเริ่มการปรับปรุงตามหลักการดำเนินงานซิกส์ ซิกม่า (Six Sigma) คือขั้นตอนการนิยามปัญหา เป็นขั้นตอนการค้นหาปัญหาที่ต้องการปรับปรุง โดยเริ่มจากการค้นหาปัญหาที่สำคัญ ที่มีผลกระทบต่อการผลิต ความต้องการของลูกค้าหรือเพิ่มคุณค่าการผลิตให้มากขึ้น เมื่อได้ปัญหาที่ต้องการปรับปรุงแล้วจึงระบุเป้าหมาย ขอบเขตของการปรับปรุงและจัดทำแผนการดำเนินงาน ทั้งนี้เพื่อให้โครงการสามารถดำเนินงานไปได้อย่างราบรื่นจึงต้องได้รับความร่วมมือจากทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นจึงจัดตั้งทีมงานคุณภาพโดยมีตัวแทนแต่ละหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเป็นสมาชิกโครงการ

### 3.1 ศึกษากระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตแผงวงจรรวมผลิตภัณฑ์ชิพชนิดตะหรือสัมผัสประกอบไปด้วยกระบวนการผลิตหลัก 3 กระบวนการคือ 1.กระบวนการเตรียมแผ่นเวเฟอร์ (Pre-Assembly) 2. กระบวนการประกอบชิ้นส่วนเป็นผลิตภัณฑ์ชิพ (Assembly) และ 3.กระบวนการทดสอบและบรรจุสินค้า (Test & Pack) ดังแสดงในบทที่ 1 รูปที่ 1.3 สามารถอธิบายกระบวนการผลิตได้ดังนี้

1. กระบวนการเตรียมแผ่นเวเฟอร์ (Pre Assembly) เป็นการทดสอบแผ่นเวเฟอร์เพื่อตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเวเฟอร์ว่าอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดหรือไม่ หลังจากนั้นจะเตรียมแผ่นเวเฟอร์เพื่อพร้อมใช้งานในกระบวนการถัดไป โดยขั้นตอนการเตรียมแผ่นเวเฟอร์ประกอบไปด้วยขั้นตอนย่อยดังนี้

- (1) การขัดแผ่นเวเฟอร์ (Wafer Back grind) คือกระบวนการขัดแผ่นเวเฟอร์ให้ได้ผิวเรียบและขนาดตามที่กำหนดเนื่องจากแผ่นเวเฟอร์ที่รับมาจากผู้ขายจะมีความหนาเพื่อสะดวกแก่การขนส่ง ดังนั้นก่อนการจะนำเวเฟอร์ไปใช้ในกระบวนการถัดไปจึงต้องขัดแผ่นเวเฟอร์ให้ได้ตามขนาดที่ต้องการทั้งนี้ก่อนการขัดแผ่นเวเฟอร์จะต้องติดเทปด้านหน้าแผ่นเวเฟอร์ก่อนเพื่อป้องกันสิ่งสกปรกจากการขัดลงบนหน้าวงจร



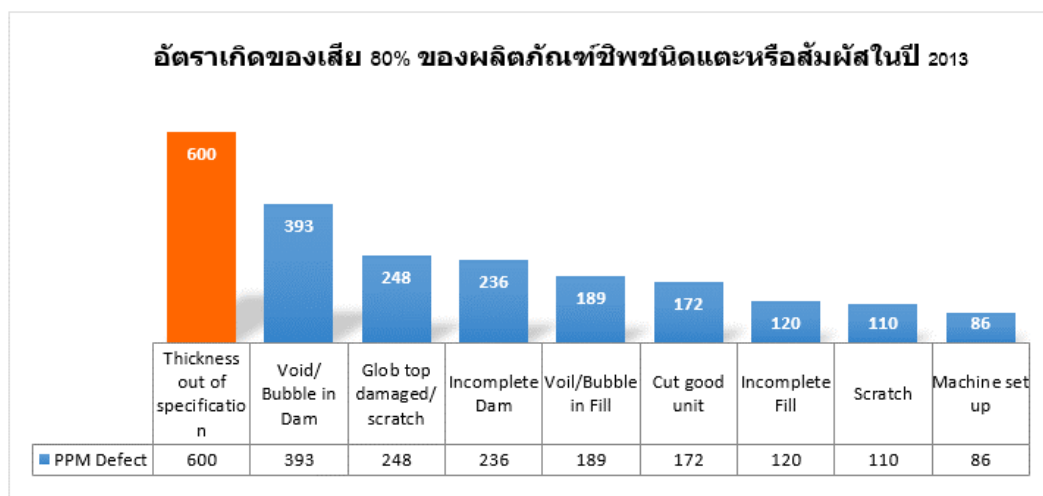
- (2) การตัดแยกแผ่นเวเฟอร์ (Laser Saw) คือกระบวนการตัดแผ่นเวเฟอร์เป็นชิ้นเล็ก เรียกว่าไดโดยการตัดแยกได้นี้จะใช้วิธีการตัดแบบเลเซอร์ระหว่างการตัดจะฉีดน้ำ Deionized Water (DI Water) เพื่อทำความสะอาดชิ้นงานด้วย
  - (3) การตรวจสอบแผ่นเวเฟอร์ (Wafer Inspection) คือกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเวเฟอร์หลังการตัดแยกเป็นได
  - (4) การอบแผ่นเวเฟอร์ด้วยแสง Ultraviolet (UV Irradiation) คือกระบวนการอบด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต (Ultra Violet, UV) เพื่อลดความเหนียวระหว่างไดและแผ่นเฟรม เมื่อเวลาหยิบไดไปประกอบ เมื่อทำการเตรียมไดครบทุกชั้นตอนแล้ว จากนั้นจะนำไดไปเก็บในห้องอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อเตรียมนำไปใช้ในกระบวนการถัดไป
2. กระบวนการประกอบ (Assembly) เป็นกระบวนการประกอบแผ่นเวเฟอร์ลงบนแผงตัวนำ โดยในส่วนของกระบวนการประกอบจะแบ่งเป็นกระบวนการย่อยดังนี้
- (1) การเชื่อมติดได (Die Attach) คือกระบวนการเชื่อมติดไดลงบนแผงตัวนำ โดยการเชื่อมติดด้วยกาว Epoxy
  - (2) การอบ (Cure Oven) คือกระบวนการอบด้วยความร้อนในอุณหภูมิที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มการยึดติดระหว่างไดและแผงตัวนำให้ยึดติดกันได้ดี
  - (3) การเชื่อมลวด (Wire Bond) คือกระบวนการเชื่อมลวดจากไดแล้วลากลงมาบนแผงตัวนำ ลวดที่ใช้ในการเชื่อมเช่นทอง เงิน หรืออลูมิเนียม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้า
  - (4) การห่อหุ้มหน้าชิ้นงานและการอบ (Encapsulation & Cure Oven) คือกระบวนการห่อหุ้มหน้าชิ้นงานหรือห่อหุ้มหน้าไดและลวด เพื่อป้องกันความเสียหายหน้าแผงวงจร การห่อหุ้มนี้จะใช้สาร Epoxy ในการห่อหุ้ม หลังจากนั้นจะอบด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) ในอุณหภูมิต่างๆ เพื่อให้สาร Epoxy ที่ห่อหุ้มหน้าชิ้นงานแข็งตัว
  - (5) การตรวจสอบชิ้นงาน (Tape Inspection) คือกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานหลังจากที่ได้ผลิตออกมาเป็นผลิตภัณฑ์แล้ว โดยการตรวจสอบจะใช้การตรวจสอบด้วยสายตาภายใต้เลนส์แว่นขยาย (Magnifier Lens) เพื่อดูความเรียบร้อยและความสมบูรณ์ของชิ้นงานก่อนส่งชิ้นงานให้กระบวนการถัดไป

3. กระบวนการทดสอบและบรรจุสินค้า (Test & Pack) เป็นกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งทางด้านกายภาพและฟังก์ชันการทำงาน ก่อนส่งสินค้าถึงมือลูกค้า โดยมีกระบวนการย่อยดังนี้
- (1) การทดสอบ (Test) คือกระบวนการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ทางด้านไฟฟ้า เพื่อทดสอบฟังก์ชันการทำงานและคุณสมบัติทางด้านแฉวงจรรวมเช่นการทดสอบการไหลของประจุไฟฟ้า การทดสอบลักษณะคุณสมบัติทางด้านไฟฟ้า เป็นต้น
  - (2) การบรรจุ (Packing) คือกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์ลงกล่องเพื่อเตรียมส่งมอบให้ลูกค้า
  - (3) การส่งสินค้า (Shipping) คือกระบวนการสุดท้ายจากโรงงานผลิต โดยการจัดส่งสินค้าถึงมือลูกค้า

### 3.2 การศึกษาสภาพปัญหาในปัจจุบัน

ในปัจจุบันบริษัทกรณีศึกษาได้ผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เรียกว่าชิพโดยมีกำลังการผลิตชิพเพิ่มสูงขึ้นทุกปี จากความต้องการสินค้าจากลูกค้า ผลิตภัณฑ์ชิพชนิดตะหรือสัมผัสมีความต้องการเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆดังแสดงในบทที่ 1 รูปที่ 1.4 ทำให้มีโอกาสเสี่ยงที่จะเกิดของเสียเพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน จากกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ชิพได้มีการสำรวจข้อมูลการเกิดของเสียของผลิตภัณฑ์ชิพชนิดตะหรือสัมผัสในปี 2013 ดังแสดงในบทที่ 1 ตารางที่ 1.1 และ รูปที่ 1.5

จากการศึกษาข้อมูลของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ชิพชนิดตะหรือสัมผัสนั้นพบว่าของเสียที่มีจำนวนมากที่สุดคือความหนาของผลิตภัณฑ์มีขนาดความหนาเกินกำหนด (Thickness Out Of Specification) อันดับสองคือมีฟองอากาศในขณะตากอบบนขอบชิ้นงาน (Void/Bubble in Dam) และอันดับสามคือรอยขีดข่วนบนกาวห่อหุ้มหน้าชิ้นงาน (Glob top damage/ scratch) จากข้อมูลดังกล่าว 80% ของของเสียทั้งหมดได้มีการคำนวณเป็นอัตราการเกิดของเสียเทียบต่อล้านชิ้น (PPM) ดังรูปที่ 3.1



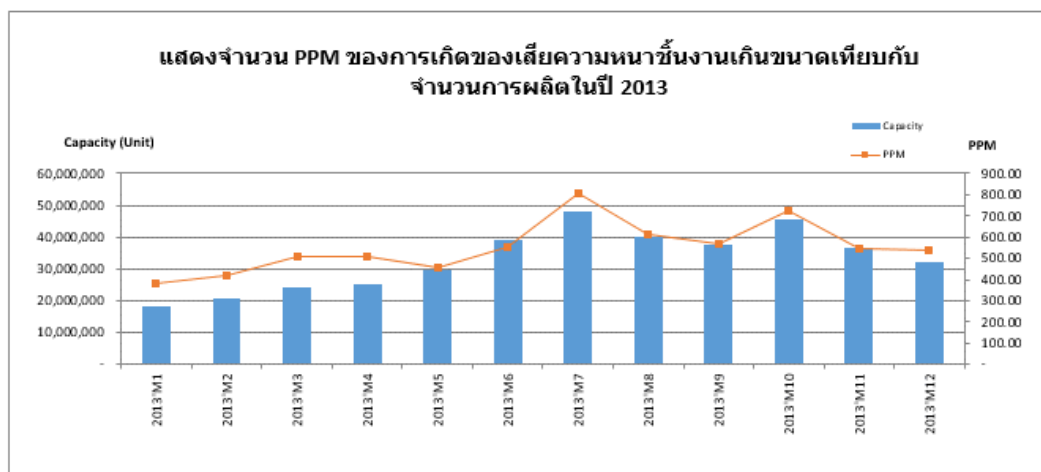
รูปที่ 3.1 อัตราการเกิดของเสีย80%ของผลิตภัณฑ์ซีพชนิดตะหรือสั้มฝัสน์ในปี 2013

โดยความหมายชนิดของเสียอธิบายได้ดังนี้

1. Thickness Out Of Specification เป็นปัญหาอันเนื่องมาจากความหนาของผลิตภัณฑ์หนาเกินกว่าขนาดที่กำหนด
2. Void/Bubble in Dam เป็นปัญหาอันเนื่องจากมีฟองอากาศบริเวณที่หยอดการรอบขอบชิ้นงาน
3. Glob Top Damage/Scratch เป็นปัญหาอันเนื่องจากมีรอยขีดข่วนบนกาวจากกระบวนการปกปิดหน้าชิ้นงาน
4. Incomplete Dam เป็นปัญหาอันเนื่องจากการหยอดการรอบชิ้นงานไม่เต็มรอบ
5. Void/Bubble in Fill เป็นปัญหาอันเนื่องจากมีฟองอากาศบริเวณที่หยอดกาวในตัวชิ้นงาน
6. Cut Good Unit เป็นปัญหาอันเนื่องจากจำเป็นต้องตัดงานดีทิ้งอันเนื่องจากการตัดต่อมั่ววน
7. Incomplete Fill เป็นปัญหาอันเนื่องจากการหยอดกาวไม่เต็มตัวชิ้นงาน
8. Scratch เป็นปัญหาอันเนื่องจากมีรอยขีดข่วนที่บนชิ้นงานด้านหน้าสั้มฝัสน์
9. Machine setup เป็นการสูญเสียชิ้นงานอันเนื่องจากการซ่อมเครื่องจักร

จากอัตราการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ซีพชนิดตะหรือสั้มฝัสน์ ของเสียประเภทความหนาของผลิตภัณฑ์หนาเกินกว่าขนาดกำหนดอยู่ที่ 600 PPM ซึ่งมีอัตราการเกิด

ของเสียเทียบต่อล้านชิ้นสูงที่สุด อีกทั้งยังพบว่าข้อมูลในปี 2013 ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือน ธันวาคมมีจำนวนการผลิตเพิ่มสูงขึ้น จำนวนของเสียประเภทความหนาชิ้นงานเกินกำหนดก็มี อัตราการเกิดสูงขึ้นด้วยเช่นกันดังแสดงในรูปที่ 3.2 และ ตารางที่ 3.1



รูปที่ 3. 2 จำนวนการเกิดของเสียประเภทความหนาของชิ้นงานเกินขนาดเทียบต่อจำนวนการผลิต  
ของปี 2013

ตารางที่ 3. 1 จำนวนการเกิดของเสียความหนาของชิ้นงานเกินขนาดเทียบกับจำนวนการผลิตของ  
ปี 2013

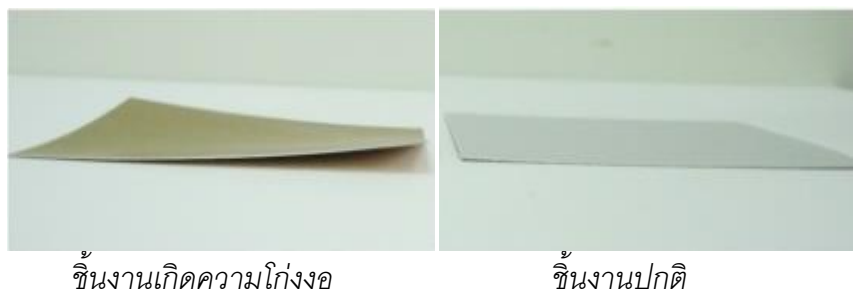
เดือน	จำนวนการผลิต (ชิ้น)	จำนวนของเสียความ หนาชิ้นงานเกินขนาด (ชิ้น)	PPM
ม.ค 56	18,163,967	6,947	382.46
ก.พ 56	20,569,250	8,559	416.11
มี.ค 56	24,343,696	12,345	507.11
เม.ย 56	25,034,043	12,668	506.03
พ.ค 56	29,868,693	13,715	459.18
มิ.ย 56	39,144,135	21,577	551.22
ก.ค 56	48,101,706	38,821	807.06

ตารางที่ 3.1 จำนวนการเกิดของเสียความหนาของชิ้นงานเกินขนาดเทียบกับจำนวนการผลิตของปี 2013 (ต่อ)

เดือน	จำนวนการผลิต (ชิ้น)	จำนวนของเสียความหนาชิ้นงานเกินขนาด (ชิ้น)	PPM
ส.ค 56	40,238,158	24,743	614.91
ก.ย 56	37,441,652	21,290	568.62
ต.ค 56	45,474,119	33,082	727.49
พ.ย 56	36,675,108	19,911	542.90
ธ.ค 56	32,344,076	17,316	535.37

เนื่องจากผลิตภัณฑ์ซีพชนิดตะหรือส้มฝัส เป็นผลิตภัณฑ์ที่นำไปประกอบเข้ากับบัตรต่างๆ ส่วนสำคัญที่ต้องมีการควบคุมคือความหนาของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากหากผลิตภัณฑ์มีความหนาเกินกำหนด ขนาดของผลิตภัณฑ์ไม่เป็นไปตามมาตรฐานหรือข้อตกลงที่ลูกค้ากำหนดให้ ซึ่งจะส่งผลให้เมื่อลูกค้านำผลิตภัณฑ์ซีพไปประกอบเข้ากับตัวบัตรจะไม่สามารถประกอบได้ ซึ่งลูกค้าจะร้องเรียนกลับมา (Claim) ยังบริษัทกรณีศึกษา ดังนั้นการควบคุมความหนาของผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นคุณลักษณะสำคัญ (Critical Characteristic) จึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งที่ผู้ผลิตจะต้องควบคุมให้ได้ตามขนาดมาตรฐาน ด้วยเหตุนี้จึงได้มองเห็นความสำคัญในการปรับปรุงของเสียประเภทความหนาชิ้นงานเกินขนาดกำหนด

จากปัญหาความหนาของชิ้นงานเกินขนาดจึงได้มีการศึกษากระบวนการผลิตปัจจุบัน ถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดความหนาของชิ้นงานเกินขนาดจึงพบว่าสาเหตุการเกิดความหนาของชิ้นงานเกินขนาดเกิดจากความโค้งงอของชิ้นงาน ดังรูปที่ 3.3แสดงชิ้นงานจำลองเกิดความโค้งงอเทียบกับชิ้นงานปกติ

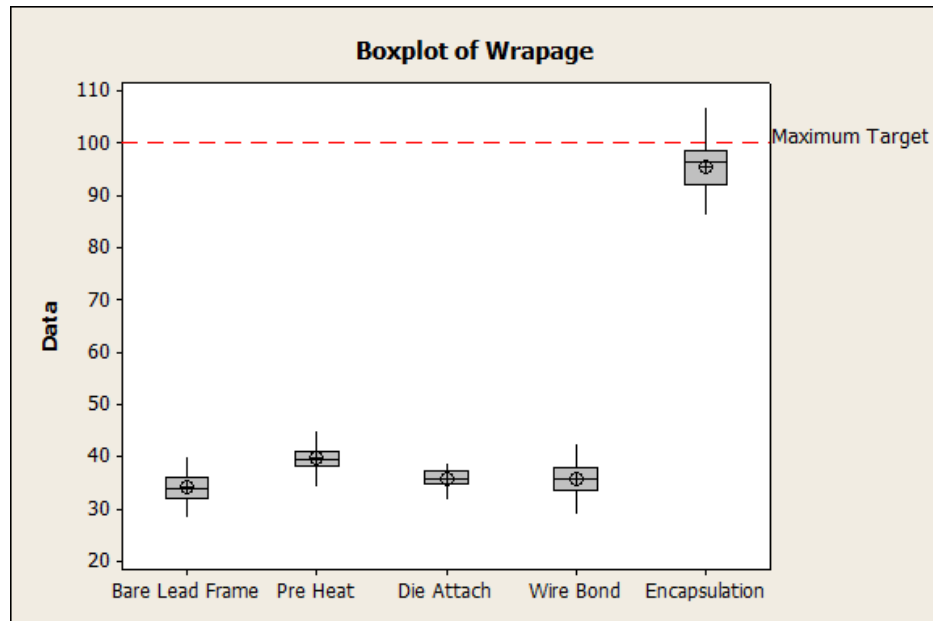


ชิ้นงานเกิดความโก่งงอ

ชิ้นงานปกติ

รูปที่ 3.3 จำลองชิ้นงานเกิดความโก่งงอและชิ้นงานปกติ

ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาข้อมูลการวัดความโก่งงอของชิ้นงานตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการผลิต โดยการวัดค่าความโก่งงอของวัตถุดิบแผงตัวนำ (Bare Lead Frame) กระบวนการให้ความร้อนเริ่มต้นกับแผงตัวนำ (Pre Heat) เพื่อไล่ความชื้นในแผงตัวนำออก กระบวนการเชื่อมติดไดและแผงตัวนำ (Die Attach) กระบวนการเชื่อมลวด (Wire Bond) และกระบวนการสุดท้ายคือกระบวนการห่อหุ้มหน้าชิ้นงาน (Encapsulation) เพื่อตรวจสอบว่ากระบวนการใดที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความหนาชิ้นงานเกินขนาด จึงได้ทำการเก็บข้อมูลการวัดพารามิเตอร์ความโก่งงอได้ข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 3.4 และตารางที่ 3.2 พบว่ากระบวนการห่อหุ้มหน้าชิ้นงานเป็นกระบวนการที่มีค่าพารามิเตอร์ความโก่งงอสูงกว่ากระบวนการอื่นๆ



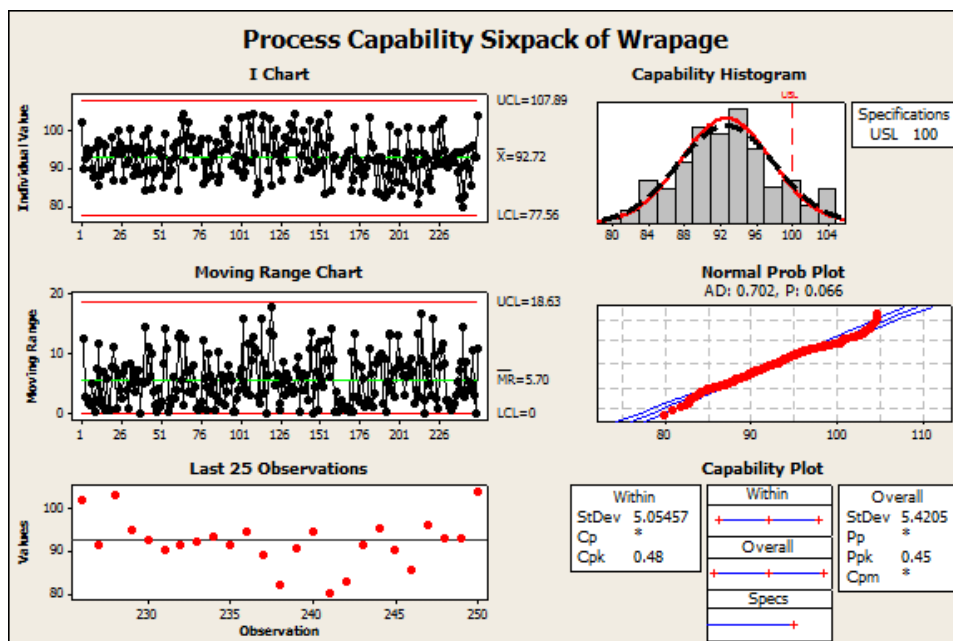
รูปที่ 3. 4 ข้อมูลวัดความโค้งงอของกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ซีพชนิดตะหรีอสมผัส

ตารางที่ 3. 2 ข้อมูลค่าวัดความโค้งงอเฉลี่ยของชิ้นงานในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ซีพชนิดตะหรีอสมผัส

กระบวนการ	Bare Lead Frame	Pre Heat	Die Attach	Wire Bond	Encapsulation
ค่าความโค้งงอเฉลี่ย (ไมครอน)	34.108	39.765	35.800	36.134	95.625

ทั้งนี้เมื่อทราบแล้วว่าพารามิเตอร์ความโค้งงอเป็นผลทำให้ความหนาของชิ้นงานมีความหนาเกินขนาดกำหนด จึงได้มีการศึกษาความสามารถกระบวนการของพารามิเตอร์ความโค้งงอในกระบวนการหล่อหน้าชิ้นงาน โดยมีขอบเขตจำกัดด้านบนคือ 100 ไมครอนดังรูปที่ 3.5 ซึ่งความสามารถกระบวนการในปัจจุบันคือข้อมูลมีการกระจายตัวปกติ โดยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 92.72 ไมครอนและค่าเบี่ยงเบนเท่ากับ 5.05457 ความสามารถกระบวนการ Cpk เท่ากับ 0.48 ซึ่งน้อยกว่า

เกณฑ์ที่กำหนด โดยปกติยอมรับความสามารถกระบวนการ  $Cpk$  เท่ากับ 1.33 ดังแสดงในตารางที่ 3.3 ความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการตามค่าดัชนี  $Cpk$



รูปที่ 3.5 ผลการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการค่าวัดความโค้งงอ

ตารางที่ 3.3 ความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการตามค่าดัชนี  $Cpk$

ค่าดัชนี	ลำดับความสามารถของกระบวนการ	การพิจารณา
$2.00 \leq Cpk$	ดีเหลือเชื่อ	ยอมรับ
$1.67 \leq Cpk < 2.00$	ดีเลิศ	ยอมรับ
$1.33 \leq Cpk < 1.67$	ดี	ยอมรับ
$1.00 \leq Cpk < 1.33$	พอใช้	ไม่ยอมรับ
$0.67 \leq Cpk < 1.00$	แย่	ไม่ยอมรับ
$Cpk < 0.67$	แย่มาก	ไม่ยอมรับ



### 3.3 วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย

เพื่อปรับปรุงค่าความถี่ของที่กระบวนการห่อหุ้มหน้าชิ้นงาน เพื่อให้จำนวนของเสียประเภทความหนาชิ้นงานเกินขนาดมีจำนวนลดลง โดยใช้หลักการซิกส์ ซิกม่าในการปรับปรุงกระบวนการ

### 3.4 การจัดตั้งคณะทำงาน

เพื่อให้การปรับปรุงเป็นไปตามแผนที่วางไว้ ต้องได้รับความร่วมมือจากทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง จึงจัดตั้งทีมงานคุณภาพเพื่อเป็นตัวแทนแต่ละหน่วยงานในการร่วมมือและวางแผนแก้ไขปรับปรุงกระบวนการ โดยผู้ที่เป็นตัวแทนนั้นจะต้องเป็นผู้เชี่ยวชาญในหน้าที่ตัวเองรับผิดชอบ ซึ่งในทีมงานคุณภาพประกอบไปด้วยแต่ละส่วนงานดังนี้

1. วิศวกรฝ่ายการผลิต (Production Engineer)
2. วิศวกรฝ่ายกระบวนการผลิต (Process Engineer)
3. วิศวกรฝ่ายคุณภาพ (Quality Engineer)
4. วิศวกรประกันคุณภาพ (Quality Assurance Engineer)
5. หัวหน้าช่างเทคนิค (Technician Supervisor)

### 3.5 เอกสารสิทธิ์โครงการ (Project Charter)

Project Title : การลดความถี่ของคอนแทคคูเอิลอินเตอร์เฟสชิพในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์	
<p><b>Problem Statement:</b> กำลังการผลิตผลิตภัณฑ์ชิพชนิดตะตะหรือส้มผัสในปี 2013 มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น อาจส่งผลให้ปริมาณของเสียความหนาชิ้นงานเกินขนาดมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน และพบว่าความถี่ของผลิตภัณฑ์จากกระบวนการห่อหุ้มชิ้นงานเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความหนาชิ้นงานเกินขนาด ซึ่งในปัจจุบันพบว่าปริมาณของเสียความหนา</p>	<p><b>Project Metrics :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Business metric : ความพึงพอใจของลูกค้า</li> <li>- Primary metric : ปริมาณของเสียความหนาชิ้นงานเกินขนาดเทียบต่อล้านชิ้น</li> <li>- Consequential metric : การลงทุนในทรัพยากร</li> </ul>

<p>ชิ้นงานเกินขนาดเทียบต่อล้านชิ้นอยู่ที่ 600 PPM</p>	<p>- Financial metric : จำนวนเงินที่ใช้ในการปรับปรุง</p>	
<p><b>Objective Statement :</b> การปรับปรุงค่าความถี่ของสามารถทำให้ลดปริมาณของเสียความหนาชิ้นงานเกินขนาดเทียบต่อล้านชิ้นลดลงจาก 600 PPM เป็นน้อยกว่า 250 PPM</p>	<p><b>Project Scope :</b> 1. การศึกษานี้เฉพาะผลิตภัณฑ์ซีพียูชนิดตะแกรงหรือสัมผัสเท่านั้น 2. การศึกษาวิจัยนี้ปรับปรุงกระบวนการหล่อหุ้มหน้าชิ้นงานบน Encapsulation Machine</p>	
<p><b>Team member :</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. วิศวกรฝ่ายการผลิต (Production Engineer)</li> <li>2. วิศวกรฝ่ายกระบวนการผลิต (Process Engineer)</li> <li>3. วิศวกรฝ่ายคุณภาพ (Quality Engineer)</li> <li>4. วิศวกรประกันคุณภาพ (Quality Assurance Engineer)</li> <li>5. หัวหน้าช่างเทคนิค (Technician Supervisor)</li> </ol>	<p>3. ดัชนีชี้วัดคืออัตราการเกิดของเสียความหนาของชิ้นงานเกินเทียบต่อล้านชิ้น</p>	
<p><b>Project Timeline:</b></p>	<p><b>Start</b></p>	<p><b>Finish</b></p>
<p>- Define Phase</p>	<p>1/5/2557</p>	<p>31/5/2557</p>
<p>- Measure Phase</p>	<p>1/6/2557</p>	<p>30/6/2557</p>
<p>- Analysis Phase</p>	<p>1/7/2557</p>	<p>31/7/2557</p>
<p>- Improve Phase</p>	<p>1/8/2557</p>	<p>31/8/2557</p>
<p>- Control Phase</p>	<p>1/9/2557</p>	<p>30/9/2557</p>

## บทที่ 4

### การวัดและวิเคราะห์สาเหตุเบื้องต้นของปัญหา (Measure Phase)

เมื่อได้ทำการศึกษาสภาพปัญหาในปัจจุบัน พร้อมทั้งหาทฤษฎีสันับสนุนและศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ระบุขอบเขตและเป้าหมายของโครงการ ตลอดจนจัดตั้งทีมงานในการแก้ไขปรับปรุงปัญหาการลดค่าความโค้งงอของชิ้นงานแล้ว ในขั้นตอนถัดไปคือการศึกษาระบบการวัดของเครื่องมือเพื่อให้มั่นใจว่าเครื่องมือที่นำมาใช้วัดกระบวนการมีประสิทธิภาพเพียงพอและข้อมูลวัดมีความสามารถเชื่อถือได้เมื่อมั่นใจในข้อมูลของเครื่องมือวัดแล้วจากนั้นจะทำการศึกษาความสามารถกระบวนการในปัจจุบัน เพื่อสำรวจสภาพความสามารถกระบวนการปัจจุบันเพื่อนำไปสู่การค้นหาสาเหตุของปัญหาและนำไปหาวิธีการแก้ไขปัญหา ปรับปรุงปัญหาได้ถูกทางและตรงตามเป้าหมาย

#### 4.1 การวิเคราะห์ระบบการวัดของเครื่องมือวัด

ในการวิเคราะห์ระบบการวัดประกอบไปด้วยการวัดความผันแปรกระบวนการและการวัดความผันแปรของระบบการวัด ซึ่งในการวิเคราะห์ระบบการวัดจะพิจารณาความเที่ยงตรง (Accuracy) และความแม่นยำ (Precision) ความเที่ยงตรงหมายถึงการวิเคราะห์ความผันแปรที่เกิดจากการวัดมีความคลาดเคลื่อนไปจากค่าเป้าหมายมากน้อยเพียงใด ในขณะที่ความแม่นยำจะพิจารณาความผันแปรจากการวัดงานซ้ำ หลายรอบเพื่อดูว่าในการวัดงานซ้ำและวัดหลายครั้งในแต่ละครั้งมีความคลาดเคลื่อนไปมากน้อยเพียงใด นั่นก็คือการวัดความผันแปรที่พิทอะบิลิตี้ (Repeatability) และรีโพรดูซิบิลิตี้ (Reproducibility)

1. ขั้นตอนการศึกษาระบบการวัดเพื่อประเมินความแม่นยำมีขั้นตอนดังต่อไปนี้
  - (1.) เครื่องมือที่จะทำการศึกษาระบบการวัด ก่อนการประเมินความแม่นยำต้องทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดให้ได้มาตรฐานก่อน
  - (2.) เตรียมพนักงานวัด 2-4 คน ซึ่งพนักงานที่จะมาทำการประเมินความแม่นยำจะต้องผ่านการเรียนรู้วิธีการปฏิบัติการวัดชิ้นงานเป็นอย่างดี มีความชำนาญในการใช้เครื่องมือและปฏิบัติงาน เพื่อให้เกิดความผันแปรจากพนักงานวัดงานน้อยที่สุด

- (3.) ตัวอย่างชิ้นงานที่จะมาทำการประเมินระบบการวัดความแม่นยำ ให้สุ่มชิ้นงานอย่างน้อย 10 ชิ้นตามหลักมาตรฐาน AIAG โดยชิ้นงานตัวอย่างนี้ต้องครอบคลุมทุกความผันแปรของกระบวนการ
- (4.) การวัดชิ้นงานซ้ำ ในการศึกษาระบบการวัด จำเป็นต้องวัดชิ้นงานเดิมซ้ำ อย่างน้อย 2-3 ครั้ง เพื่อประเมินความแม่นยำในการวัดชิ้นงานตัวเดิม โดยให้พนักงานแต่ละคนวัดชิ้นงานทุกชิ้นอย่างสุ่ม ซึ่ละ 2-3 ครั้ง
- (5.) ทดสอบค่าวัดงานจากพนักงานทั้ง 3 คนว่าวัดงานโดยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยใช้การทดสอบ ANOVA ซึ่งพิจารณาจากค่า P-value ที่ความเชื่อมั่น 95% หรือระดับนัยสำคัญ 0.05
- (6.) คำนวณค่า Precision to Tolerance (P/T) Ratio และ Precision to Total Variability (P/TV) เพื่อประเมินค่าระบบการวัดความแม่นยำอยู่ในระดับที่ยอมรับได้หรือไม่
2. การกำหนดจำนวนพนักงานและจำนวนตัวอย่างชิ้นงานในการประเมินระบบการวัดเป็นสิ่งสำคัญสิ่งหนึ่ง ซึ่งเป็นสิ่งแสดงความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือวัดตั้งนั้นจึงควรตระหนักถึงจำนวนพนักงานและจำนวนตัวอย่างชิ้นงานที่เหมาะสมตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4. 1 ขนาดสิ่งตัวอย่างสำหรับการทดสอบด้วยข้อมูลผันแปร

จำนวนผู้ทดสอบ (พนักงานวัด)	จำนวนอุปกรณ์วัด	จำนวนชิ้นงานที่น้อยที่สุด	จำนวนการวัดซ้ำในแต่ละชิ้นงาน
1	1	10	5
1	2	15	3
2	1	15	3
2	2	10	2
1 หรือ 2	3 หรือมากกว่า	10	2
3 หรือมากกว่า	1 หรือ 2	10	2
3 หรือมากกว่า	3 หรือมากกว่า	10	2

จากตารางที่ 4.1 เพื่อให้ข้อมูลที่วัดงานมีความเหมาะสมและน่าเชื่อถือจึงได้เลือกจำนวนพนักงานวัดงานที่มีความเชี่ยวชาญในการปฏิบัติงานจำนวน 3 คนและทำการสุ่มจำนวนตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ในการประเมินระบบการวัดที่ครอบคลุมทุกความผันแปรของกระบวนการจำนวน 10 ตัวอย่าง และทำการวัดซ้ำในแต่ละชิ้นงานเพื่อให้สามารถประเมินความแม่นยำจึงได้เลือกจำนวนการวัดงานซ้ำ 2 ครั้งต่อชิ้นงาน และใช้อุปกรณ์การวัด 1 ชิ้น

- การทดสอบค่าวัดงานเมื่อเลือกจำนวนพนักงานที่มีความเชี่ยวชาญและจำนวนตัวอย่างในการประเมินระบบการวัดครบตามจำนวนที่เหมาะสมแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการทดสอบค่าวัดงานโดยการให้พนักงานแต่ละคนทำการวัดค่างานแต่ละชิ้นโดยการสุ่มและพนักงานแต่ละคนต้องไม่ทราบว่าจำนวนตัวอย่างที่นำมาทำการประเมินการวัดนั้นมีค่าวัดเท่าใด ทั้งนี้เพื่อลดการเอนเอียง (Bias) จากตัวพนักงาน โดยพนักงาน 1 คน ทำการวัดชิ้นงาน 10 ชิ้น และแต่ละชิ้นวัดชิ้นงานซ้ำ 2 ครั้ง ซึ่งเก็บข้อมูลค่าวัดงานตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4. 2 ข้อมูลวัดค่าความโค้งงอจากระบบการห่อหุ้มหน้าชิ้นงานเพื่อประเมินผลระบบการวัด (หน่วย: ไมครอน)

ลำดับ ชิ้นงาน	พนักงานคนที่ 1		พนักงานคนที่ 2		พนักงานคนที่ 3	
	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2
1	98.48	98.35	98.55	98.67	98.53	98.89
2	88.67	88.41	88.72	88.82	88.95	88.75
3	96.30	96.35	96.53	96.42	96.42	96.06
4	88.67	88.66	88.62	88.48	88.48	88.38
5	97.72	97.67	97.55	97.65	97.77	97.78
6	93.10	93.21	93.12	93.08	93.18	93.27
7	92.57	92.81	92.58	92.48	92.67	92.47
8	89.63	89.41	89.48	89.35	89.75	89.53
9	94.37	94.18	94.53	94.31	94.42	94.23

ตารางที่ 4. 3 ข้อมูลวัดค่าความโค้งงอจากระบบการห่อหุ้มหน้าชิ้นงานเพื่อประเมินผลระบบการวัด (หน่วย: ไมครอน) (ต่อ)

ลำดับ ชิ้นงาน	พนักงาน คนที่ 1	พนักงาน คนที่ 2	พนักงาน คนที่ 3	ลำดับ ชิ้นงาน	พนักงาน คนที่ 1	พนักงาน คนที่ 2
10	94.78	94.96	94.68	94.51	94.60	94.88

เมื่อเก็บข้อมูลการวัดค่าความโค้งงอของชิ้นงานแล้วจึงนำมาประเมินผลระบบการวัดโดยใช้โปรแกรมมินิแท็บ (Minitab) ช่วยในการคำนวณซึ่งได้ผลดังนี้

### Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for Wrapage

Gage name: Surfcom  
Date of study:  
Reported by: Sansanee P.  
Tolerance:  
Misc:

### Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
No.	9	706.331	78.4812	2792.13	0.000
Operator	2	0.022	0.0109	0.39	0.684
No. * Operator	18	0.506	0.0281	1.74	0.087
Repeatability	30	0.484	0.0161		
Total	59	707.343			

Alpha to remove interaction term = 0.25

### Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0221	0.17
Repeatability	0.0161	0.12
Reproducibility	0.0060	0.05
Operator	0.0000	0.00
Operator*No.	0.0060	0.05
Part-To-Part	13.0755	99.83
Total Variation	13.0976	100.00

รูปที่ 4. 1 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัด GR&R

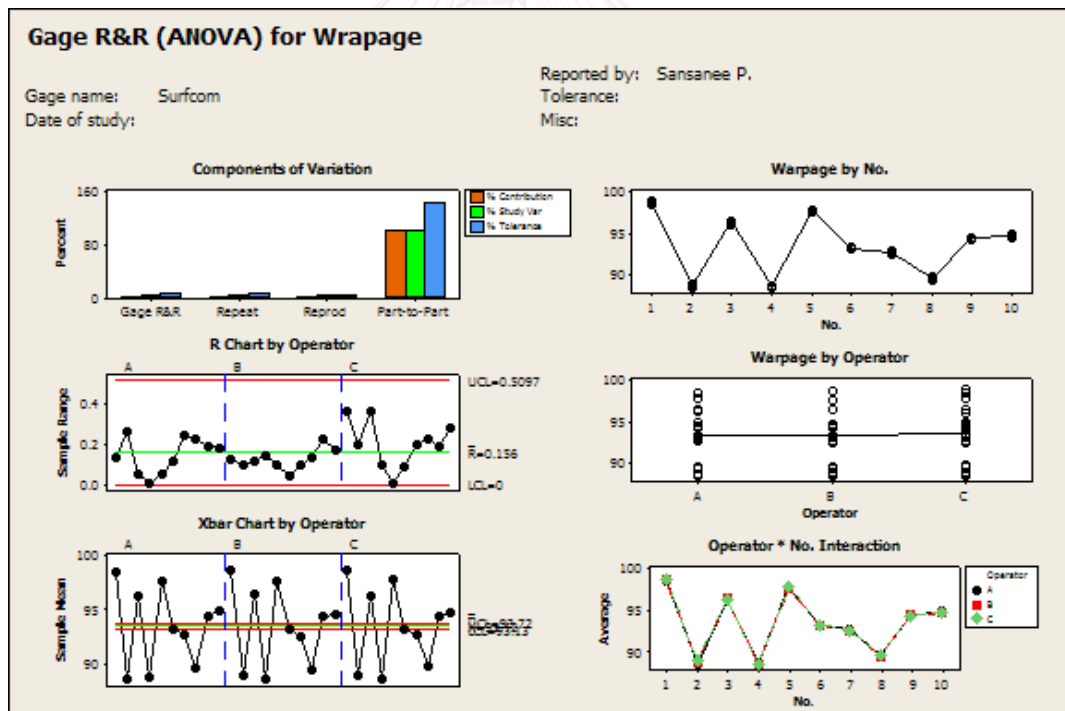
Upper process tolerance limit = 100

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.14874	0.7660	4.11	5.82
Repeatability	0.12704	0.6543	3.51	4.97
Reproducibility	0.07736	0.3984	2.14	3.03
Operator	0.00000	0.0000	0.00	0.00
Operator*No.	0.07736	0.3984	2.14	3.03
Part-To-Part	3.61601	18.6224	99.92	141.59
Total Variation	3.61907	18.6382	100.00	141.71

Number of Distinct Categories = 34

Gage R&R for Wrapage

รูปที่ 4. 2 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัด GR&R (ต่อ)



รูปที่ 4. 3 ภาพผลการวิเคราะห์ระบบการวัด GR&R

## การวิเคราะห์ผลการประเมินระบบการวัด

- (1) ระบบการวัดสามารถแยกความแตกต่างของข้อมูลได้อย่างชัดเจน ข้อมูลไม่เกาะเป็นกลุ่ม แต่มีการกระจายของข้อมูลซึ่งสามารถเห็นความแตกต่างของข้อมูลได้โดยมีค่า R หลายค่าที่อยู่ในพิสัยควบคุม ดังนั้นกราฟ R Chart By Operator พบว่าค่า R มีค่าแตกต่างกันเป็นจำนวนมากกว่า 3 ค่าจึงสรุปได้ว่าระบบการวัดนี้มีความสามารถในการแยกความแตกต่างได้
- (2) จากกราฟ Xbar Chart by Operator พบว่าข้อมูลเกือบทั้งหมดออกนอกเส้นควบคุม แสดงว่าความผันแปรที่เป็นสาเหตุจากระบบการวัดมีค่าไม่มากนักเมื่อเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ ซึ่งจำนวนข้อมูลที่ออกนอกเส้นพิสัยควบคุมมีจำนวนมากกว่า 1 ใน 3 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการวัดสามารถใช้ในการประมาณความผันแปรของกระบวนการได้
- (3) ระบบการวัดจะมีความสามารถในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์เมื่อจำนวน Number of Distinct Categories หรือ NDC มีค่ามากกว่า 5 โดยที่ NDC จะแสดงตัวเลขซึ่งเป็นตัวเลขที่แสดงถึงประเภทของข้อมูลที่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์พบว่าค่า NDC คือ 34 แสดงว่าระบบการวัดที่ศึกษาอยู่นี้มีคุณสมบัติแยกข้อมูลที่วัดได้ออกเป็น 34 ประเภทที่มีความแตกต่างกัน แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการวัดนี้สามารถใช้ประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการได้
- (4) จากกราฟ Operation\*No. Interaction พบว่าเส้นกราฟของผู้วัดทั้ง 3 คนค่อนข้างทับกัน และเมื่อพิจารณาค่า P-Value ของ Interaction ได้ค่า P-Value 0.087ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05จึงสรุปได้ว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงาน ซึ่งแสดงว่าเมื่อเปลี่ยนชิ้นงานไปอิทธิพลของพนักงานวัดไม่มีผลต่อค่าวัดที่เปลี่ยนไป
- (5) จากกราฟ By No. พบว่าชิ้นงานวัดงานบางชิ้นงาน เช่นชิ้นงานที่ 1, 3และ4มีค่าจากการวัดในแต่ละครั้งมีความแตกต่างกันเมื่อดูค่า P-Value ของ No. มีค่า P-Value



- 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จึงสรุปได้ว่ามีชิ้นงานอย่างน้อย 1 คู่ที่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
- (6) จากกราฟ By Operator พบว่าค่าเฉลี่ยจากการวัดของพนักงานวัดแต่ละคนมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาค่า P-Value ของ Operator มีค่าเท่ากับ 0.684 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จึงสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยจากการวัดของพนักงานทั้ง 3 คนมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
- (7) จากองค์ประกอบของความแปรปรวนตาม เมื่อทำการเปรียบเทียบเป็นค่าร้อยละ พบว่าหากเปรียบเทียบความแปรปรวนทั้งหมดคือ 100 จะเป็นความแปรปรวนจากระบวนการผลิต 99.83 และความแปรปรวนจากระบบการวัด 0.17 ซึ่งความแปรปรวนส่วนนี้ยังแบ่งออกเป็นความแปรปรวนจากสาเหตุรีพีทเทเบิลิตี 0.12 คือความแปรปรวนจากเครื่องมือวัด และความแปรปรวนจากสาเหตุรีโพรดิวซิเบิลิตี 0.05 คือความแปรปรวนจากพนักงานวัด
- (8) เมื่อพิจารณาความผันแปรจากระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (%SV หรือ PV) คิดเป็น 4.11% ซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์การยอมรับที่ 30% จึงสรุปได้ว่าระบบการวัดมีความผันแปรที่สามารถยอมรับได้
- (9) เมื่อพิจารณาความผันแปรจากระบบการวัดเทียบกับขอบเขตความคลาดเคลื่อนอนุโลม (%Tolerance) คิดเป็น 5.82% ซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์การยอมรับที่ 30% จึงสรุปได้ว่าระบบการวัดมีความผันแปรที่สามารถยอมรับได้
- (10) จากผลการวิเคราะห์ความผันแปรของระบบการวัดพบว่าทั้งความผันแปรจากสาเหตุรีพีทเทเบิลิตีและสาเหตุจากรีโพรดิวซิเบิลิตีมีความผันแปรน้อยกว่าเกณฑ์ 30% จึงสรุปได้ว่าสามารถยอมรับระบบการวัดนี้ได้

#### 4.2 การวัดความสามารถกระบวนการของค่าความโค้งงอจากกระบวนการห่อหุ้มหน้าชิ้นงาน

การวัดความสามารถกระบวนการเป็นการวัดประสิทธิภาพของกระบวนการว่ามีคุณภาพอยู่ในระดับที่ยอมรับตามเกณฑ์หรือไม่ โดยการวัดความสามารถกระบวนการสามารถวัด

กระบวนการได้ทั้งระยะสั้นและระยะยาวเพื่อสามารถเปรียบเทียบความผันแปรในระยะสั้นและความผันแปรระยะยาวเทียบกับขอบเขตค่าเป้าหมายที่ถูกค้ำกำหนด ซึ่งการวัดความสามารถกระบวนการเป็นการควบคุมคุณภาพเพื่อให้กระบวนการอยู่ในกระบวนการที่เหมาะสม โดยเทียบกับความผันแปร 3 Sigma Process

### 1. การคำนวณขนาดสิ่งตัวอย่าง

โดยขั้นต้นแรกของการวัดความสามารถกระบวนการคือการคำนวณขนาดสิ่งตัวอย่างที่เหมาะสม เพื่อหาจำนวนที่เหมาะสมที่สามารถเป็นตัวแทนของกระบวนการ

$$N = (Z(\alpha))^2 \left[ \frac{1}{9(\hat{C}_{pk})^2} + \frac{1}{2} \right] \left[ 1 - \frac{C_{pk}}{\hat{C}_{pk}} \right]^2 \quad (4.1)$$

เมื่อ  $Z$  คือระดับความเชื่อมั่นหรือระดับนัยสำคัญ

$\hat{C}_{pk}$  คือค่าประมาณความสามารถกระบวนการที่ได้จากตัวอย่าง

$C_{pk}$  คือความสามารถกระบวนการที่แท้จริง

จากการคำนวณหาขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมตามสมการได้ขนาดตัวอย่าง 168 ตัวอย่าง

### 2. การประเมินความสามารถกระบวนการก่อนการปรับปรุง

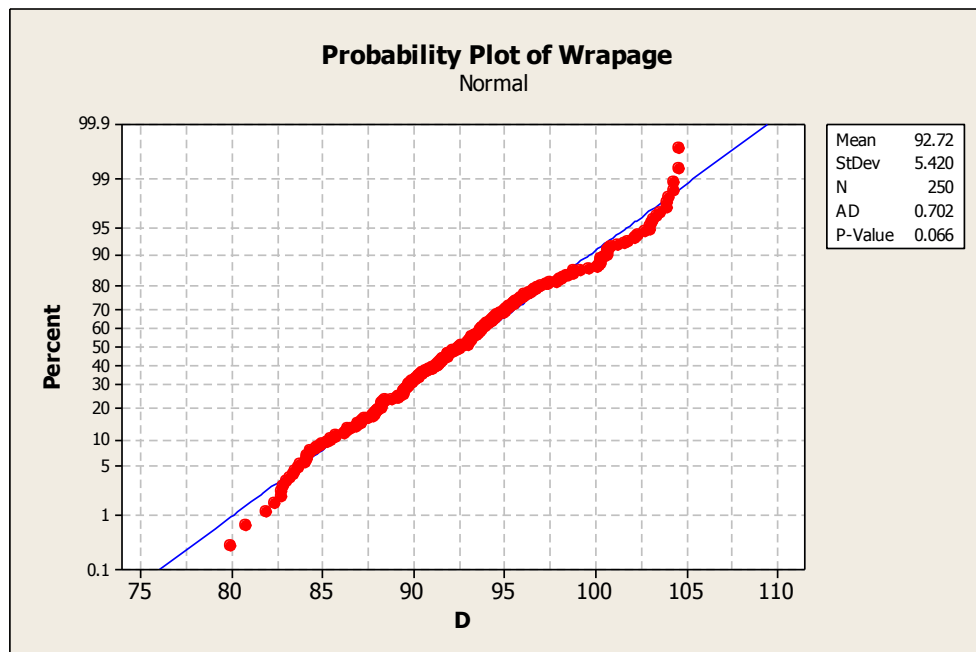
เมื่อได้จำนวนขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมแล้ว ให้ทำการเก็บข้อมูลในจำนวนขนาดตัวอย่างที่คำนวณได้หรือมากกว่า จากนั้นทำการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการ

#### (1.) การทดสอบการกระจายตัวแบบปกติ

การพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลว่ามีการกระจายตัวปกติหรือไม่เป็นเรื่องที่มีความสำคัญเพื่อบ่งบอกความน่าเชื่อถือของข้อมูล จะทำการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยการทดสอบสมมติฐานที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีการตั้งสมมติฐานดังนี้

$H_0$ : ข้อมูลความโค้งงอชิ้นงานมีการกระจายตัวแบบปกติ

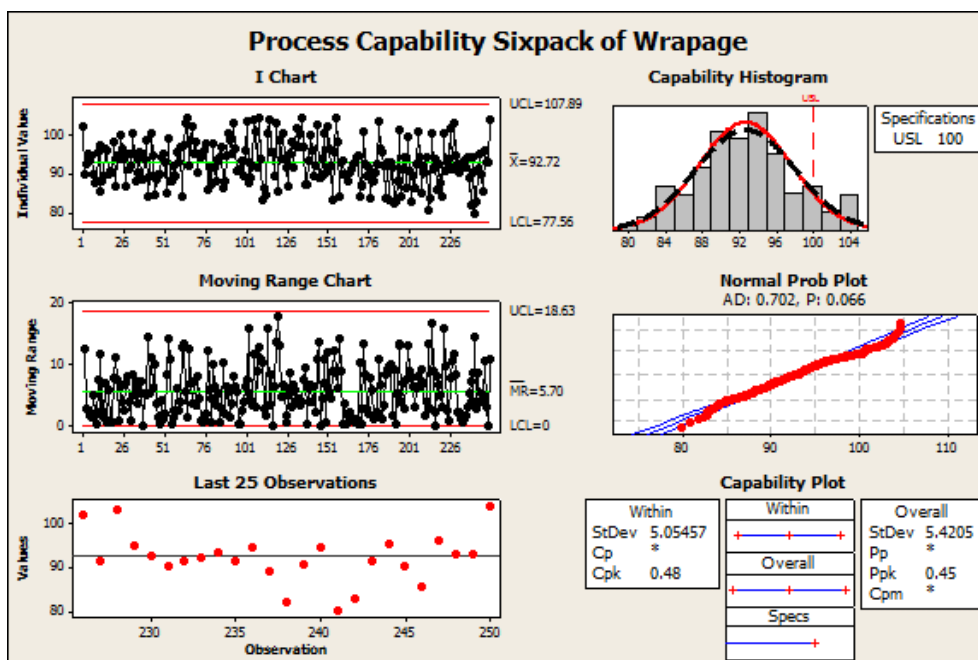
$H_a$ : ข้อมูลความโค้งงอชิ้นงานมีการกระจายตัวแบบอื่น



รูปที่ 4. 4 การทดสอบการกระจายตัวปกติของข้อมูลวัดความโค้งงอชิ้นงาน

จากผลการทดสอบพบว่าค่า P-value มีค่า 0.066 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%ตามที่กำหนดไว้ ดังนั้นจึงยอมรับ  $H_0$  หรือไม่สามารถปฏิเสธ  $H_0$  ได้จึงสรุปได้ว่าข้อมูลความโค้งงอชิ้นงานจากระบวนการหล่อหุ้มหน้าชิ้นงานมีการกระจายตัวแบบปกติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

(2.) การประเมินความสามารถกระบวนการ



รูปที่ 4. 5 ผลการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการของข้อมูลความถี่ของชิ้นงานก่อนการปรับปรุง

จากรูปที่ 4.4 ข้อมูลมีขอบเขตจำกัดด้านบนคือ 100 ไมครอนซึ่งความสามารถกระบวนการในปัจจุบันมีการกระจายตัวปกติ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 92.72 ไมครอนและค่าเบี่ยงเบนเท่ากับ 5.05457 แต่มีข้อมูลบางจำนวนออกนอกเหนือขอบเขตด้านบน เมื่อพิจารณาความสามารถกระบวนการ Cpk เท่ากับ 0.48 ซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนด โดยปกติยอมรับความสามารถกระบวนการ Cpk 1.33 ดังนั้นจึงต้องได้รับการปรับปรุงกระบวนการต่อไป

#### 4.3 การวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุ (Cause and Effect Diagram)

เนื่องจากความสามารถกระบวนการในปัจจุบันต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด Cpk 1.33 ดังนั้นจึงต้องได้รับการปรับปรุงกระบวนการโดยเริ่มจากการระดมความคิดเพื่อค้นหาปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อทำให้เกิดชิ้นงานมีความถี่ของกระบวนการห่อหุ้มหน้าชิ้นงาน โดยพิจารณาจากปัจจัย 4 ด้านคือ 4M ได้แก่ คน (Man), เครื่องจักร (Machine), วัตถุดิบ (Material) และ วิธีการ (Method) โดยมีสาเหตุในแต่ละปัจจัยดังนี้

### 1. สาเหตุจากคน (Man)

- (1) พนักงานเลือกคำสั่งการจ่ายงาน (Recipe) จากเครื่องEncapsulationผิดพลาดมีสาเหตุมาจากการไม่เข้าใจคำสั่งการจ่ายงานที่ถูกต้องหรือมีความประมาทในการเลือกคำสั่งผิด
- (2) พนักงานวัดความโค้งงอผิดวิธีเนื่องจากไม่มีความชำนาญและเข้าใจวิธีการวัดที่ถูกต้อง

### 2. สาเหตุจากเครื่องจักร (Machine)

- (1) เครื่องจ่ายอุณหภูมิที่ DAM สูงเกินไป เนื่องจากตัวควบคุมการจ่ายอุณหภูมิ (Control Temperature) ของเครื่องเสีย
- (2) เครื่องจ่ายอุณหภูมิที่ FILL สูงเกินไป เนื่องจากตัวควบคุมการจ่ายอุณหภูมิของเครื่องเสีย
- (3) เครื่องจ่ายกาว Epoxy ที่ขอบห่อหุ้มชิ้นงาน (Dam) มากเกินไป เนื่องจากความดันที่หลอดจ่ายกาว(Cartridge) สูง
- (4) เครื่องจ่ายกาวไม่เต็มขอบห่อหุ้มชิ้นงานเนื่องจากมีฟองอากาศอยู่ในหลอดกาว
- (5) เครื่องจ่ายกาว Epoxy ที่ตัวห่อหุ้มชิ้นงาน (Fill) มากเกินไป
- (6) เครื่องจ่ายอุณหภูมิสูงเกินไป เนื่องจากตัวควบคุมการจ่ายอุณหภูมิของเครื่องเสีย
- (7) ระบบแรงดันสำหรับการจ่ายกาวผิดปกติทำให้กาวออกมาเกินปริมาณที่ต้องการ

### 3. สาเหตุจากวัตถุดิบ (Material)

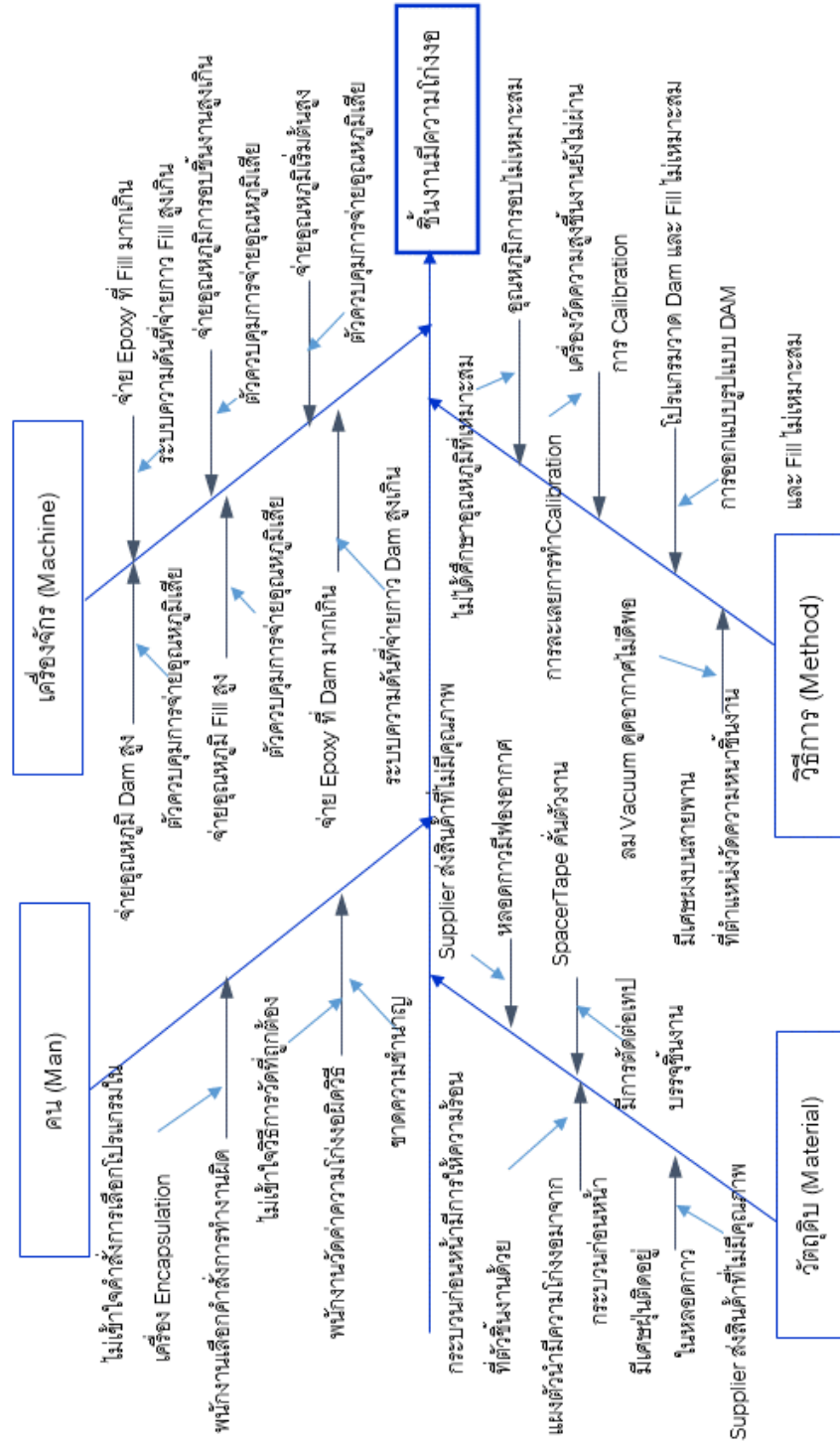
- (1) แผงตัวนำมีความโค้งงอมาจากกระบวนการก่อนหน้า
- (2) มีเศษผงหรือฝุ่นติดในตัวงานขณะห่อหุ้มหน้าชิ้นงาน อาจเนื่องจากมีเศษผงอยู่ในหลอดกาว
- (3) หลอดกาวมีฟองอากาศทำให้เครื่องจ่ายกาวมากกว่าปกติส่งผลทำให้มีความสูงมากขึ้น
- (4) Spacer Tape ที่ใช้คั่นชิ้นงานระหว่างรอบการพันใน Reel ที่ใช้สำหรับการบรรจุชิ้นงานที่มาจากกระบวนการก่อนหน้า หากมีการเชื่อมต่อSpacer จะเชื่อมติดโดยใช้

เทปกาว ซึ่งอาจทำให้เทปกาวหลุดมาติดที่ตัว LeadFrame ในกระบวนการห่อหุ้มหน้า  
ชิ้นงานได้ จะส่งผลให้ตัวงานมีความหนาขึ้น

(5) เทปสำหรับการตัดต่อ Spacer (Splicing Tape) มีเทปไปติดที่ตัวชิ้นงาน

#### 4. สาเหตุจากวิธีการ (Method)

- (1) การเลือกอุณหภูมิในการอบไม่เหมาะสม อาจเนื่องจากยังศึกษาค่าที่เหมาะสมไม่  
ถูกต้อง
- (2) การวัดความสูงของชิ้นงานจากเครื่องห่อหุ้มหน้าชิ้นงาน อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ตัว  
ชิ้นงานที่มีความสูงเกินข้อกำหนดหลุดไปหาลูกค้าได้ เนื่องจากเครื่องวัดอาจวัดความ  
หนาชิ้นงานไม่ถูกต้อง อันมีสาเหตุมาจากยังไม่ได้ทำการสอบเทียบวัดเครื่องมือ  
(Calibration)
- (3) โปรแกรมวาด Dam and Fill ไม่เหมาะสมรูปแบบและความสูงของ Dam และ Fill เมื่อ  
หยุดการวาดลงไปบนชิ้นงาน อาจทำให้ความสูงของตัวชิ้นงานเกินขนาด
- (4) การวัดความหนาชิ้นงานที่เครื่องห่อหุ้มหน้าชิ้นงานหากมีฝุ่นติดอยู่บนสายสายพานที่  
ตำแหน่งวัดความหนา อาจทำให้การวัดความหนาของชิ้นงานหนาขึ้น



รูปที่ 4. 6 แผนผังแสดงปัญหาและสาเหตุการเกิดความโค้งของชิ้นงาน

#### 4.4 แผนผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)

แผนผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและผลที่อาจทำให้เกิดความโง่งงของชิ้นงานโดยให้ทีมงานระดมสมองเพื่อให้คะแนนแสดงความสำคัญการเกิดความโง่งงจากน้อยไปมากด้วยคะแนน1-10 ในแต่ละปัจจัยจากนั้นรวมคะแนนในแต่ละปัจจัยเพื่อหาปัจจัยที่สำคัญเพื่อนำไปทำการปรับปรุงต่อไป

ตารางที่ 4. 4 แผนผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและผลการเกิดความโง่งงของชิ้นงาน

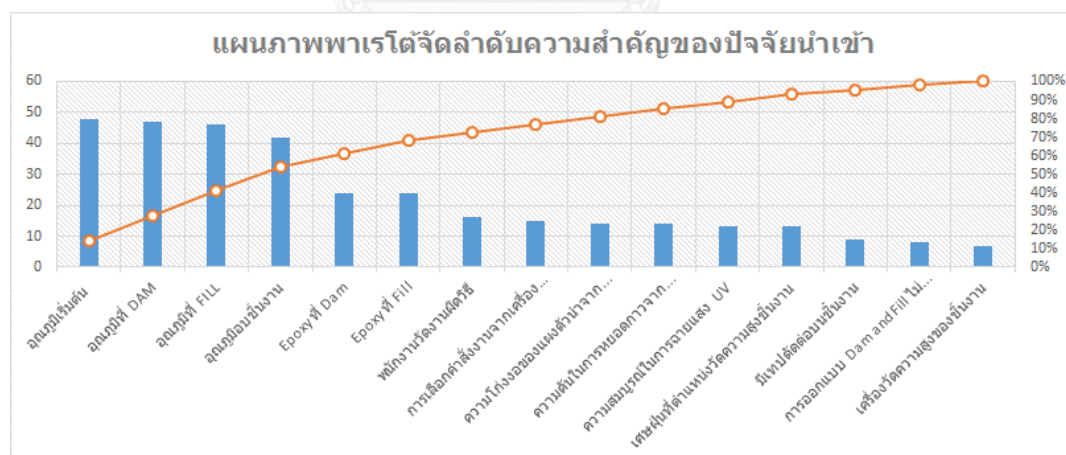
No	Process input	Score from team					Total
		1	2	3	4	5	
1	การเลือกคำสั่งงานจากเครื่อง Encapsulation	3	4	2	2	4	15
2	พนักงานวัดงานผิดวิธี	3	3	3	3	4	16
3	ความโง่งงของแผงตัวนำจากกระบวนการก่อนหน้า	3	3	3	2	3	14
4	มีเทปติดต่อบนชิ้นงาน	2	2	1	2	2	9
5	อุณหภูมิเริ่มต้น	9	8	9	8	8	42
6	อุณหภูมิที่ DAM	10	10	9	9	9	47
7	อุณหภูมิที่ FILL	10	10	8	10	8	46
8	อุณหภูมิอบชิ้นงาน	10	9	10	9	10	48
9	Epoxy ที่ Dam	6	5	4	4	5	24
10	Epoxy ที่ Fill	6	5	4	4	5	24
11	ความดันในการหยอดกาว ผิดพลาด	3	2	3	3	3	14
12	ความสมบูรณ์ในการฉายแสง UV	3	4	2	3	1	13



ตารางที่ 4.3 แผนผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและผลการเกิดความโง่ของชิ้นงาน (ต่อ)

No	Process input	Score from team					Total
		1	2	3	4	5	
13	เครื่องวัดความสูงของชิ้นงาน	2	2	1	1	1	7
14	การออกแบบ Dam and Fill ไม่เหมาะสม	2	1	2	2	1	8
15	เศษฝุ่นที่ตำแหน่งวัดความสูงชิ้นงาน	2	2	3	2	4	13

จากตารางแสดงความสัมพันธ์ Cause and Effect Matrix นำมาจัดลำดับความสำคัญโดยแผนภาพพาเรโตเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่อาจส่งผลกระทบต่อความโง่ของชิ้นงาน จากตารางที่ 4.3 มีปัจจัยทั้งหมด 15 ปัจจัย จากนั้นนำมาจัดเรียงลำดับคะแนนตามหลัก Pareto 80% ซึ่งมีปัจจัยที่นำไปวิเคราะห์ต่อไปนี้



รูปที่ 4.7 แผนภาพพาเรโตที่แสดงลำดับความสำคัญของปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อความโง่ของชิ้นงาน

จากการจัดลำดับความสำคัญปัจจัยโดยPareto 80% มีปัจจัยดังนี้

1. คุณภาพไม้เริ่มต้น
2. คุณภาพที่ DAM
3. คุณภาพที่ FILL
4. คุณภาพไม้ชิ้นงาน
5. Epoxy ที่ Dam
6. Epoxy ที่ Fill
7. พนักงานวัดงานผิดวิธี
8. การเลือกคำสั่งงานจากเครื่อง Encapsulation
9. ความโค้งงอของแผงตัวนำจากกระบวนการก่อนหน้า

จากการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่อาจส่งผลให้เกิดความโค้งงอของชิ้นงาน Pareto 80% มีทั้งหมด 9 ปัจจัย แต่ปัจจัยที่ส่งผลกระทบมากที่สุดคือคุณภาพไม้ชิ้นงานคุณภาพไม้เริ่มต้น คุณภาพที่ DAM และ คุณภาพที่ FILL ซึ่งปัจจัยเหล่านี้อาจเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบโดยตรงและเป็นปัจจัยนำเข้าไปทำการทดสอบสมมติฐานว่ามีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

## บทที่ 5

### การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

หลังจากที่ได้รวบรวมปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อการเกิดความโง่ของชิ้นงานซึ่งมีสาเหตุมาจากปัจจัยหลัก 4 ปัจจัยตาม 4M คือคน เครื่องจักร วัตถุดิบ และวิธีการ จากนั้นนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลตอบสนองโดยใช้หลักการ Cause and Effect Matrix ซึ่งจะได้ผลคะแนนความสำคัญและนำมาจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยทั้งหมดโดยใช้หลักการ Pareto 80% ซึ่งมีทั้งหมด 9 ปัจจัย โดยนำปัจจัยเหล่านี้มาวิเคราะห์หาปัจจัยนำเข้าหรือปัจจัยหลัก แล้วนำไปทดสอบสมมติฐานเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเกิดความโง่ของชิ้นงานโดยตรง โดยผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 5.1

#### 5.1 การคัดเลือกสาเหตุที่เป็นไปได้ของการเกิดความโง่ของชิ้นงาน

ตารางที่ 5. 1 การวิเคราะห์หาปัจจัยนำเข้าเพื่อทดสอบสมมติฐาน

ลำดับ	สาเหตุที่ทำให้เกิดความโง่	การตัดสินใจ	การวิเคราะห์
1	อุณหภูมิอบชิ้นงาน	เลือก	ค้นหาอุณหภูมิที่เหมาะสมโดยการนำไปทดสอบสมมติฐานและปรับหาค่าที่เหมาะสม
2	อุณหภูมิเริ่มต้น	เลือก	ค้นหาอุณหภูมิที่เหมาะสมโดยการนำไปทดสอบสมมติฐานและปรับหาค่าที่เหมาะสม
3	อุณหภูมิที่ DAM	เลือก	ค้นหาอุณหภูมิที่เหมาะสมโดยการนำไปทดสอบสมมติฐานและปรับหาค่าที่เหมาะสม

ตารางที่ 5.1 การวิเคราะห์หาปัจจัยนำเข้าเพื่อทดสอบสมมติฐาน (ต่อ)

ลำดับ	สาเหตุที่ทำให้เกิด ความโง่งง	การตัดสินใจ	การวิเคราะห์
4	อุณหภูมิที่ FILL	เลือก	ค้นหาอุณหภูมิที่เหมาะสมโดยการนำไปทดสอบสมมติฐานและปรับค่าที่เหมาะสม
5	Epoxy ที่ Dam	ไม่เลือก	จากการศึกษาในอดีตพบว่าปริมาณกาว Epoxy Dam ที่ผลิตในปัจจุบันมีปริมาณกาว epoxy ที่เหมาะสมกับรูปแบบและขนาดของผลิตภัณฑ์อยู่แล้ว เนื่องจากที่แผนวงจรของชิพประเภทการแตะหรือสัมผัสได้ถูกกำหนดขอบเขตบริเวณที่หยอดกาว epoxy ซึ่งปริมาณกาวที่ห่อหุ้มหน้าชิ้นงานจำเป็นต้องถูกห่อหุ้มให้ครอบคลุมหน้าได้และเส้นลวด หากครอบคลุมไม่ครบหรือครอบคลุมฉนวนพื้นที่หยอดกาวจะทำให้ไม่สามารถใช้งานในฟังก์ชันได้ จากการศึกษาปริมาณกาว epoxy ที่เหมาะสมควรมีการตั้งความดันในการหยอดกาวที่ 4 บาร์ (bar) และมีความสูงของหลอดกาวในขณะที่หยอดกาวที่ 6,620 ไมครอน จะได้ปริมาณกาวที่เหมาะสม ดังนั้นปัจจัย Epoxy Dam จึงไม่ถูกเลือกในการทดสอบสมมติฐาน เนื่องจากในปัจจุบัน

ตารางที่ 5.1 การวิเคราะห์หาปัจจัยนำเข้าเพื่อทดสอบสมมติฐาน (ต่อ)

ลำดับ	สาเหตุที่ทำให้เกิด ความกังวล	การตัดสินใจ	การวิเคราะห์
			ปริมาณกาว Epoxy Dam ที่ผลิตอยู่ มีความเหมาะสมแล้ว
6	Epoxy ที่ Fill	ไม่เลือก	จากการศึกษาในอดีตพบว่า ปริมาณกาว Epoxy Fill ที่ผลิตใน ปัจจุบัน มีปริมาณกาว epoxy ที่ เหมาะสมกับดีไซน์ของผลิตภัณฑ์ อยู่แล้ว เนื่องจากที่แผนวงจรชีพ ประเภทการแตะหรือสัมผัสได้ถูก กำหนดขอบเขตบริเวณที่หยอดกาว epoxy ซึ่งปริมาณกาวที่ห่อหุ้มหน้า ชิ้นงานจำเป็นต้องถูกห่อหุ้มให้ ครอบคลุมหน้าใดและเส้นลวด หากครอบคลุมไม่ครบหรือครอบ คลุมด้านพื้นที่หยอดกาวจะทำให้ไม่ สามารถใช้งานในฟังก์ชันได้ จาก การศึกษาปริมาณกาว epoxy ที่ เหมาะสมควรมีการตั้งความดันใน การหยอดกาวที่ 4 บาร์ (bar) และมี ความสูงของหลอดกาวในขณะ หยอดกาวที่ 6,650 ไมครอน จะได้ ปริมาณกาวที่เหมาะสม ดังนั้น ปัจจัย Epoxy Fill จึงไม่ถูกเลือกใน การทดสอบสมมติฐาน เนื่องจากใน ปัจจุบันปริมาณกาว Epoxy Fill ที่ ผลิตอยู่มีความเหมาะสมแล้ว

ตารางที่ 5.1 การวิเคราะห์หาปัจจัยนำเข้าไปเพื่อทดสอบสมมติฐาน (ต่อ)

ลำดับ	สาเหตุที่ทำให้เกิด ความโง่งง	การตัดสินใจ	การวิเคราะห์
7	พนักงานวัดค่าความโง่งง ผิดวิธี	ไม่เลือก	จัดอบรมพนักงานใหม่ถึงวิธีการวัด งานที่ถูกต้อง พร้อมทั้งมีการอบรม วิธีการวัดสำหรับพนักงานเก่า เพื่อให้เกิดความชำนาญและเข้าใจ ถึงวิธีการวัดที่ถูกต้องอย่าง สม่ำเสมอ
8	การเลือกคำสั่งงานจาก เครื่อง Encapsulation	ไม่เลือก	พนักงานเลือกคำสั่งโปรแกรมผิด คำสั่งเนื่องมาจากความไม่เข้าใจใน การเลือกโปรแกรมและการขาด ความชำนาญ
9	ความโง่งงของแผงตัวนำ จากกระบวนการก่อนหน้า	ไม่เลือก	จากการวิเคราะห์ค่าความโง่งง ของกระบวนการก่อนหน้า กระบวนการห่อหุ้มหน้าชิ้นงาน พบว่าค่าความโง่งงในแต่ละ กระบวนการมีค่าความโง่งงของ ชิ้นงานต่ำ

จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่ได้จากการจัดลำดับความสำคัญโดย Pareto จำนวน 9 สาเหตุ  
ได้เลือก 4 สาเหตุมาทำการทดสอบสมมติฐานเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความโง่งงของ  
ชิ้นงานโดยตรง คือ อุณหภูมิอบชิ้นงาน อุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิที่ DAM และอุณหภูมิที่ FILL

## 5.2 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองในการวิจัยนี้ได้มีปัจจัยนำเข้าไปที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อการเกิด  
ความโง่งงของชิ้นงาน 4 ปัจจัย คืออุณหภูมิอบชิ้นงาน อุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิที่ DAM และ

คุณหมุมิติที่ FILL โดยจะทำการทดสอบอิทธิพลหลัก (Main Effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction) ของปัจจัยเหล่านี้ โดยการออกแบบการทดลองได้เลือกใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบเชิงแฟคทอเรียล  $2^4$  ( $2^k$  Factorial Design) และจำนวนการทำซ้ำ 3 ครั้งจะสามารถทดสอบอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมได้

### 5.3 ตัวแปรต้นและระดับปัจจัยที่ทำการศึกษา

ตัวแปรนำเข้ามาทำการทดลองมี 4 ปัจจัยคือคุณหมุมิอบชิ้นงาน คุณหมุมิเริ่มต้น คุณหมุมิติที่ DAM และคุณหมุมิติที่ FILL ซึ่งได้กำหนดระดับปัจจัยในแต่ละตัวแปรดังแสดงในตารางที่

5.2

ตารางที่ 5. 2 ตัวแปรต้นและระดับปัจจัยที่ทำการศึกษา

ลำดับ	ตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อ การเกิดความโค้งงอของ ชิ้นงาน	ระดับปัจจัย ค่าต่ำ	ระดับปัจจัยค่า สูง	หน่วย
1	คุณหมุมิเริ่มต้น	30	100	องศาเซลเซียส
2	คุณหมุมิติที่ DAM	20	40	องศาเซลเซียส
3	คุณหมุมิติที่ FILL	30	100	องศาเซลเซียส
4	คุณหมุมิอบชิ้นงาน	40	90	องศาเซลเซียส

จากนั้นทำการแปรระดับปัจจัยให้อยู่ในรูปแบบรหัสเพื่อนำไปแทนค่าสูงและค่าต่ำเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยกำหนดรหัสในแต่ละตัวแปรและระดับดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5. 3 การแทนค่ารหัสตัวแปรต้นและระดับปัจจัย

ลำดับ	ตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อการ เกิดความโง่ของชิ้นงาน	ระดับปัจจัย ค่าต่ำ	ระดับปัจจัย ค่าสูง	สัญลักษณ์
1	อุณหภูมิเริ่มต้น	-1	1	A
2	อุณหภูมิที่ DAM	-1	1	B
3	อุณหภูมิที่ FILL	-1	1	C
4	อุณหภูมิอบชิ้นงาน	-1	1	D

#### 5.4 การคำนวณขนาดตัวอย่างของการทดลอง

การออกแบบการทดลอง ขนาดตัวอย่างเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องมีจำนวนตัวอย่างเพียงพอเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล การคำนวณหาขนาดตัวอย่างสำหรับการทดสอบตัวแปรตอบสนองต่อค่าการเกิดความโง่ของชิ้นงาน ซึ่งมีตัวแปรนำเข้าทั้งหมด 4 ตัวแปร และใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบเชิงแฟคตอเรียล  $2^4(2^k \text{ Factorial Design})$  โดยการคำนวณขนาดตัวอย่างจากการทดสอบ Power and Sample Size ในโปรแกรม Minitab โดยกำหนดให้กำลัง (Power) ของการทดสอบคือ 0.9 และ 0.95 และแทนค่าความแตกต่างที่ต้องการตรวจจับ (Effect) เท่ากับ 1 เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานซึ่งมีค่า 5.05457 ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าหากเลือกจำนวนการทดลองซ้ำเท่ากับ 3 จะได้ค่า Actual Power ที่ 0.92 และมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 48 ครั้ง (Runs) และหากเลือกจำนวนการทดลองซ้ำเท่ากับ 4 จะได้ค่า Actual Power ที่ 0.97 และมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 64 ครั้ง ดังนั้นผู้วิจัยเลือกขนาดการทดลองที่การทดลองซ้ำ 3 ครั้ง มีจำนวนการทดลอง 48 ครั้งซึ่งจะได้ Actual Power ที่ 0.92



## Power and Sample Size

2-Level Factorial Design

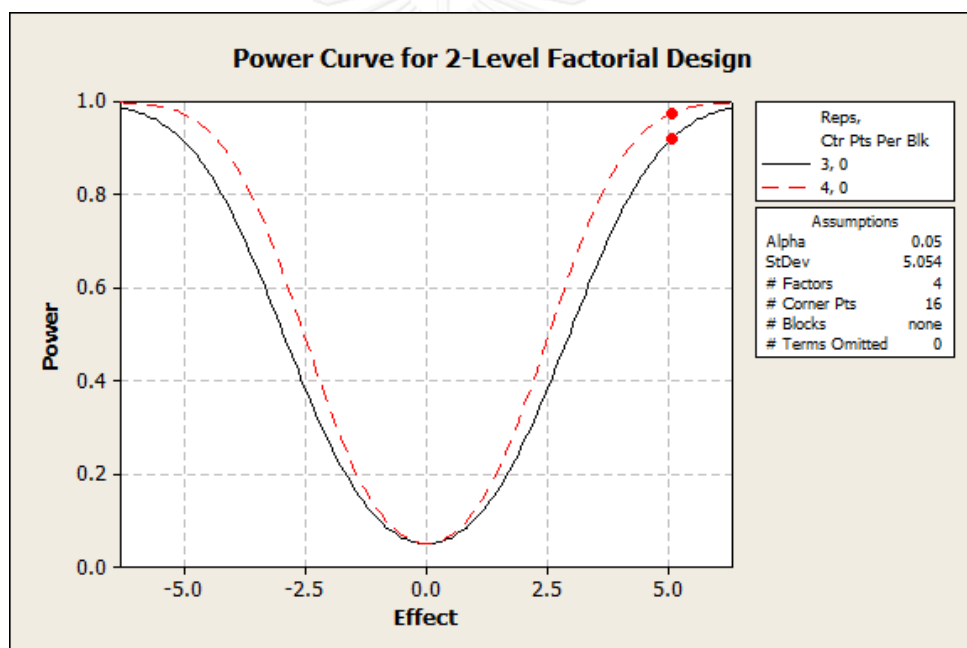
Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 5.054

Factors: 4 Base Design: 4, 16

Blocks: none

Center Points	Effect	Reps	Total Runs	Target Power	Actual Power
0	5.054	3	48	0.90	0.919009
0	5.054	4	64	0.95	0.974932

รูปที่ 5.1 การวิเคราะห์หาขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมในการทดลอง



รูปที่ 5.2 แผนภาพการวิเคราะห์หาขนาดตัวอย่างจาก Power and Sample Size

## 5.5 การวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนอง

ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อพิจารณาตัวแปรตอบสนองในที่นี้คือค่าความถี่ของชิ้นงาน ในการออกแบบการทดลองจะต้องมีการทดลองซ้ำเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ถึงค่าคลาดเคลื่อนได้

เพื่อให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ ทั้งนี้จะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่นำมาใช้ในการทดลองด้วยนั้นคือการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนตกค้าง โดยค่าความคลาดเคลื่อนตกค้างนี้จะต้องมีการกระจายตัวแบบปกติและเป็นอิสระที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และค่าความแปรปรวนมีค่าใกล้เคียงกัน การพิจารณาสิ่งเหล่านี้เพื่อความถูกต้องของผลการทดลอง

## 5.6 การทดลองเพื่อคัดกรองตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

การออกแบบการทดลองแบบวิธีเชิงแฟคตอเรียล  $2^4$  ( $2^k$  Factorial Design) โดยมีจำนวนการทำซ้ำ 3 ครั้ง ซึ่งจะมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 48 การทดลอง โดยการออกแบบการทดลองตามตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5. 4 การออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบตัวแปรต้นต่อตัวแปรตอบสนองค่าความโค้งงอของชิ้นงาน

Std Order	Run Order	Center Pt	Blocks	Temp Pre heating	Temp DAM	Temp Fill	Temp Curing	ค่าความโค้งงอ
43	1	1	1	-1	1	-1	1	122.938
37	2	1	1	-1	-1	1	-1	48.713
3	3	1	1	-1	1	-1	-1	36.950
10	4	1	1	1	-1	-1	1	120.200
16	5	1	1	1	1	1	1	93.030
46	6	1	1	1	-1	1	1	86.220
14	7	1	1	1	-1	1	1	89.200
44	8	1	1	1	1	-1	1	117.580
28	9	1	1	1	1	-1	1	126.670

ตารางที่ 5.4 การออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบตัวแปรต้นต่อตัวแปรตอบสนองค่าความโค้งงอ  
ของชิ้นงาน (ต่อ)

Std Order	Run Order	Center Pt	Blocks	Temp Pre heating	Temp DAM	Temp Fill	Temp Curing	ค่าความ โค้งงอ
29	10	1	1	-1	-1	1	1	89.200
2	11	1	1	1	-1	-1	-1	45.363
9	12	1	1	-1	-1	-1	1	123.982
48	13	1	1	1	1	1	1	92.300
21	14	1	1	-1	-1	1	-1	48.925
36	15	1	1	1	1	-1	-1	38.138
12	16	1	1	1	1	-1	1	121.410
22	17	1	1	1	-1	1	-1	49.825
32	18	1	1	1	1	1	1	92.800
26	19	1	1	1	-1	-1	1	125.220
25	20	1	1	-1	-1	-1	1	123.900
35	21	1	1	-1	1	-1	-1	37.600
7	22	1	1	-1	1	1	-1	44.225
42	23	1	1	1	-1	-1	1	119.410
23	24	1	1	-1	1	1	-1	44.975
27	25	1	1	-1	1	-1	1	116.763
30	26	1	1	1	-1	1	1	90.910

ตารางที่ 5.4 การออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบตัวแปรต้นต่อตัวแปรตอบสนองค่าความโค้งงอ  
ของชิ้นงาน (ต่อ)

Std Order	Run Order	Center Pt	Blocks	Temp Pre heating	Temp DAM	Temp Fill	Temp Curing	ค่าความโค้งงอ
41	27	1	1	-1	-1	-1	1	118.150
24	28	1	1	1	1	1	-1	46.338
4	29	1	1	1	1	-1	-1	36.338
1	30	1	1	-1	-1	-1	-1	48.250
40	31	1	1	1	1	1	-1	47.925
33	32	1	1	-1	-1	-1	-1	47.550
17	33	1	1	-1	-1	-1	-1	50.875
6	34	1	1	1	-1	1	-1	46.400
45	35	1	1	-1	-1	1	1	90.910
13	36	1	1	-1	-1	1	1	90.800
18	37	1	1	1	-1	-1	-1	47.238
11	38	1	1	-1	1	-1	1	117.513
39	39	1	1	-1	1	1	-1	45.820
47	40	1	1	-1	1	1	1	92.800
8	41	1	1	1	1	1	-1	44.413
34	42	1	1	1	-1	-1	-1	49.052
31	43	1	1	-1	1	1	1	91.900

ตารางที่ 5.4 การออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบตัวแปรต้นต่อตัวแปรตอบสนองค่าความโค้งงอของชิ้นงาน (ต่อ)

Std Order	Run Order	Center Pt	Blocks	Temp Pre heating	Temp DAM	Temp Fill	Temp Curing	ค่าความโค้งงอ
38	44	1	1	1	-1	1	-1	49.638
15	45	1	1	-1	1	1	1	90.410
5	46	1	1	-1	-1	1	-1	48.925
19	47	1	1	-1	1	-1	-1	38.363
20	48	1	1	1	1	-1	-1	38.688

### 5.7 การวิเคราะห์ผลการทดสอบตัวแปรตอบสนอง

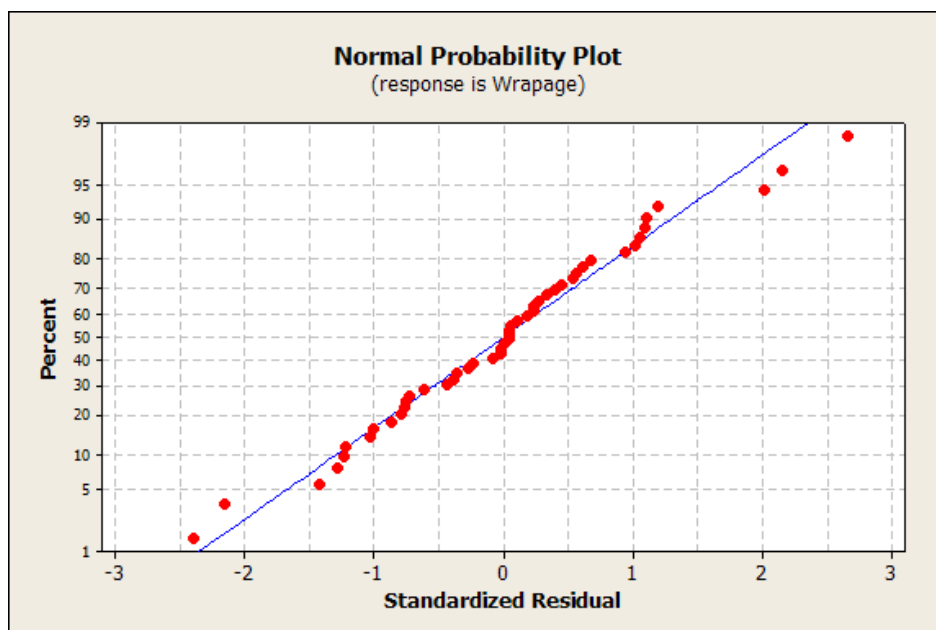
การวิเคราะห์การออกแบบการทดลองจำเป็นต้องวิเคราะห์ข้อมูลส่วนคงค้างก่อนการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความโค้งงอ ทั้งนี้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

#### 1. การวิเคราะห์ข้อมูลส่วนตกค้าง

ก่อนการสรุปผลการทดลองจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์และตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Accuracy Check) โดยจะต้องวิเคราะห์และตรวจสอบส่วนตกค้าง (Residual) ซึ่งต้องวิเคราะห์ในแต่ละส่วนดังนี้

##### (1.) การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล

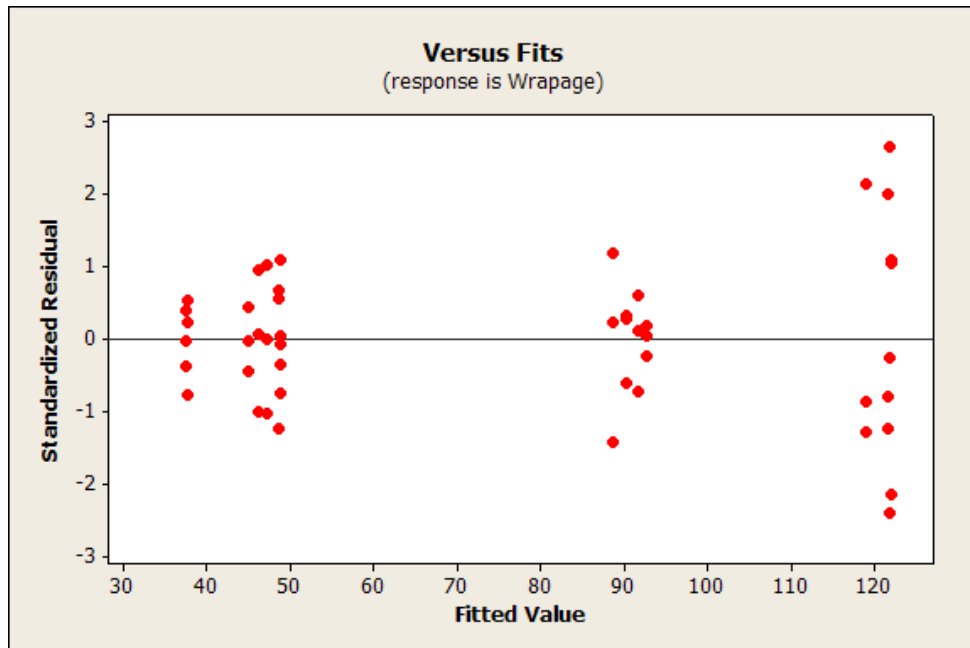
จะต้องมีการทดสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูลส่วนตกค้าง (Normal plot of residuals) ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าค่าส่วนตกค้างเข้าใกล้เส้นกลางมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง จึงประมาณได้ว่าข้อมูลส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติ



รูปที่ 5.3 การกระจายตัวแบบปกติของข้อมูลส่วนตกค้าง

(2.) การทดสอบความเสถียรภาพความแปรปรวนของค่าวัดความโค้งงอ

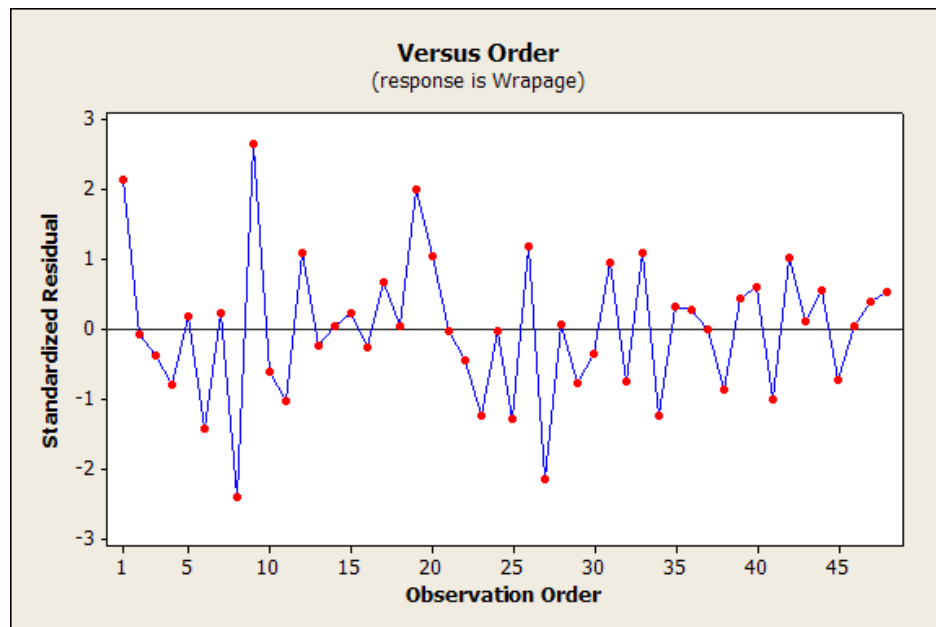
พิจารณาจากแผนภูมิกระจายของข้อมูลส่วนตกค้างเทียบกับค่าฟิต (Fitted Value) ของค่าความโค้งงอของชิ้นงาน โดยจะมีเส้นกลางเป็น Standardized Residuals เท่ากับ 0 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวขึ้นลงอย่างไม่มีรูปแบบแต่จะกระจายตัวอยู่เป็นช่วงๆ อันเนื่องมาจากค่าฟิตของค่าความโค้งงอของชิ้นงานมีค่าแบ่งเป็นช่วงๆ อย่างชัดเจน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าค่าความแปรปรวนของข้อมูลส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่



รูปที่ 5. 4 แผนภูมิกระจายแสดงความแปรปรวนของข้อมูลส่วนตกค้าง

(3.) การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูลส่วนตกค้างของค่าความโค้งงอของชิ้นงาน  
(Independent of Residuals)

การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูลส่วนตกค้างของค่าความโค้งงอชิ้นงานเพื่อทดสอบลำดับการทดลองเป็นอิสระต่อกันไม่เป็นแบบตามคำสั่ง (Order) โดยพิจารณาจากเส้นกลางเป็น Standardized Residuals เท่ากับ 0 พบว่าข้อมูลเมื่อเรียงตามลำดับการทดลองจุดบนกราฟมีการกระจายตัวขึ้นลงตามบวกและลบไม่กระจายอยู่ฝั่งใดฝั่งหนึ่งและไม่มีรูปร่างที่แน่นอนจึงสรุปได้ว่าข้อมูลส่วนตกค้างของค่าความโค้งงอมีความเป็นอิสระต่อกัน

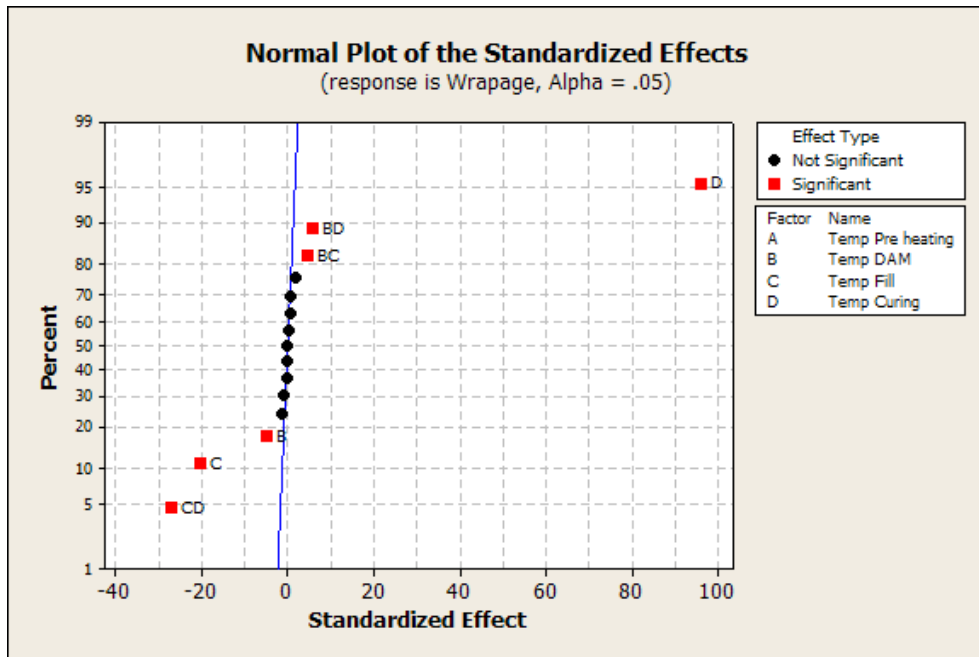


รูปที่ 5.5 แสดงความอิสระของข้อมูลส่วนตกค้าง

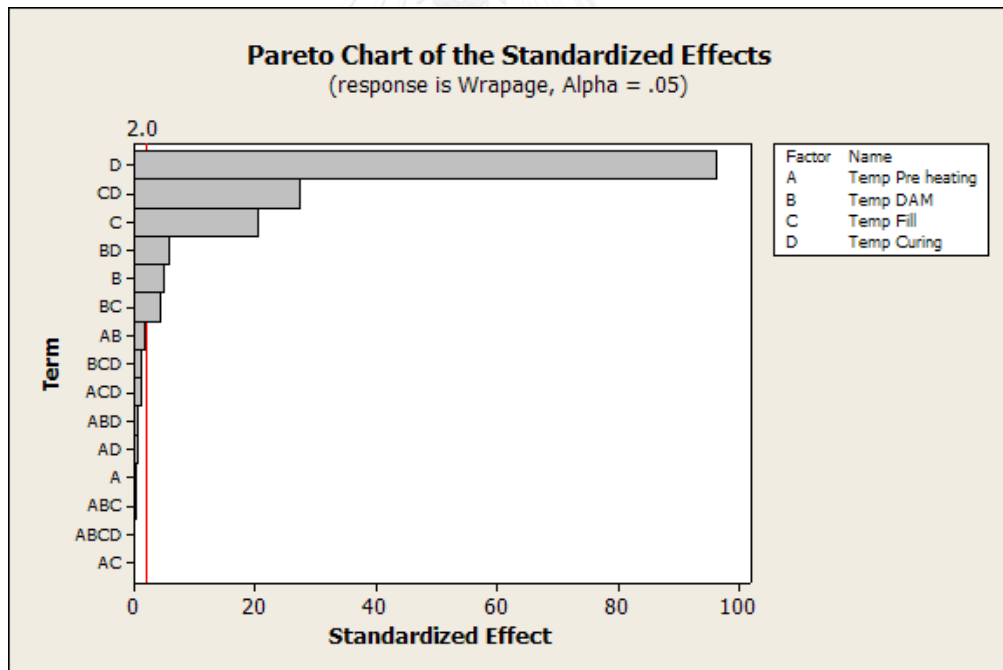
2. การวิเคราะห์ข้อมูลตอบสนองของค่าความโค้งของชิ้นงาน

จากการทดลองตามตารางที่ 5.4 เมื่อได้ทำการทดลองและพิจารณาข้อมูลส่วนตกค้างแล้ว จากนั้นนำผลการทดลองมาพลอตกราฟเพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยค่าความโค้งของชิ้นงาน พบว่าตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยค่าความโค้งของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญคือ B, C และ D ส่วนอันตรกิริยาที่มีอิทธิพลคือ BC, BD และ CD



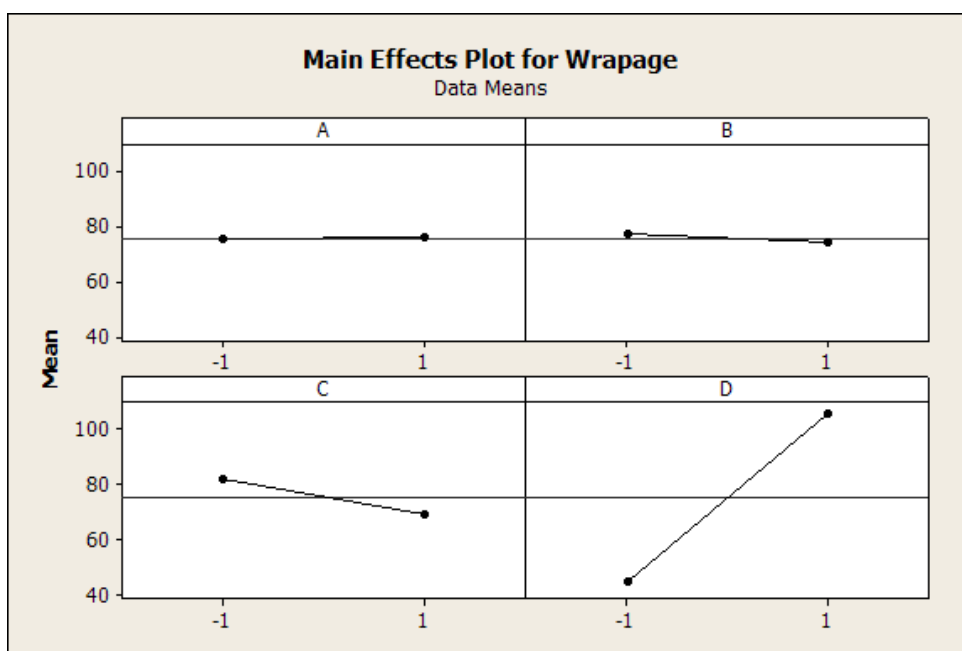


รูปที่ 5.6 ความน่าจะเป็นแบบปกติแสดงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยค่าความโค้งงอ



รูปที่ 5.7 แผนภาพพาเรโต้แสดงลำดับผลกระทบของตัวแปรหลักและอันตรกิริยา

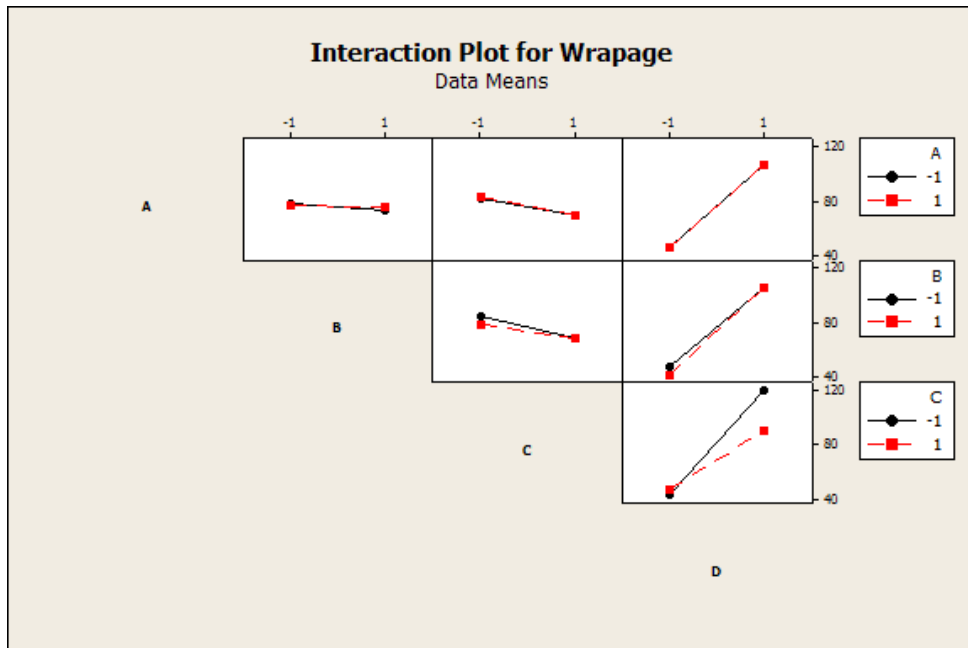
แผนภาพพาเรโต้ได้แสดงลำดับปัจจัยที่มีผลกระทบของตัวแปรหลักและอันตรกิริยาของตัวแปรหลักต่อค่าเฉลี่ยค่าความถี่ของชิ้นงานโดยตัวแปรหลักและอันตรกิริยาที่ส่งผลกระทบเรียงตามลำดับดังนี้ D, CD, C, BD, B และ BC



รูปที่ 5. 8 ผลกระทบหลักต่อค่าเฉลี่ยค่าความถี่ของชิ้นงาน

จากรูปที่ 5.8 แสดงให้เห็นตัวแปรหลักที่ส่งผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยค่าความถี่ของชิ้นงาน โดยพิจารณาจากระดับปัจจัยต่ำและสูง (-1, 1) หากตัวแปรหลักใดที่มีเส้นตรงเฉียงขึ้นหรือลงระหว่างระดับปัจจัยต่ำและสูงคือปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยค่าความถี่ของชิ้นงานนั้นคือ ปัจจัย B, C และ D

การวิเคราะห์อันตรกิริยาที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยค่าความถี่ของชิ้นงาน โดยพิจารณาจากระดับปัจจัยต่ำและสูง (-1, 1) หากอันตรกิริยาใดที่มีเส้นตรงเฉียงขึ้นหรือลงระหว่างระดับปัจจัยต่ำและสูงคืออันตรกิริยาที่มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยค่าความถี่ของชิ้นงานนั้นคืออันตรกิริยาระหว่าง BC, BD และ CD



รูปที่ 5. 9 อันตรกิริยาที่ส่งผลกระทบต่อค่าความโค้งของชิ้นงาน

การออกแบบการทดลองได้เลือกวิธีการออกแบบการทดลองแบบวิธีเชิงแฟคทอเรียล  $2^4$  ( $2^k$  Factorial Design) โดยมีจำนวนการทำซ้ำ 3 ครั้ง ซึ่งจะมีจำนวนการทดลอง (Runs) ทั้งหมด 48 การทดลอง ดังรูปที่ 5.10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SITY

### Full Factorial Design

Factors:	4	Base Design:	4, 16
Runs:	48	Replicates:	3
Blocks:	1	Center pts (total):	0

All terms are free from aliasing.

รูปที่ 5. 10 การออกแบบการทดลองแบบวิธีเชิงแฟคทอเรียล  $2^4$  ( $2^k$  Factorial Design)

### Factorial Fit: Wrapage versus A, B, C, D

Estimated Effects and Coefficients for Wrapage (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		75.515	0.3174	237.91	0.000
A	0.161	0.081	0.3174	0.25	0.801
B	-3.040	-1.520	0.3174	-4.79	0.000
C	-12.981	-6.490	0.3174	-20.45	0.000
D	60.987	30.494	0.3174	96.07	0.000
A*B	1.120	0.560	0.3174	1.76	0.087
A*C	-0.045	-0.022	0.3174	-0.07	0.944
A*D	0.312	0.156	0.3174	0.49	0.626
B*C	2.813	1.406	0.3174	4.43	0.000
B*D	3.708	1.854	0.3174	5.84	0.000
C*D	-17.291	-8.645	0.3174	-27.24	0.000
A*B*C	-0.124	-0.062	0.3174	-0.19	0.847
A*B*D	0.317	0.159	0.3174	0.50	0.620
A*C*D	-0.689	-0.344	0.3174	-1.09	0.286
B*C*D	-0.814	-0.407	0.3174	-1.28	0.209
A*B*C*D	-0.047	-0.024	0.3174	-0.07	0.941

S = 2.19909      PRESS = 348.193  
 R-Sq = 99.70%    R-Sq(pred) = 99.31%    R-Sq(adj) = 99.55%

Analysis of Variance for Wrapage (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	46766.2	46766.2	11691.6	2417.61	0.000
2-Way Interactions	6	3863.7	3863.7	644.0	133.16	0.000
3-Way Interactions	4	15.0	15.0	3.8	0.78	0.548
4-Way Interactions	1	0.0	0.0	0.0	0.01	0.941
Residual Error	32	154.8	154.8	4.8		
Pure Error	32	154.8	154.8	4.8		
Total	47	50799.8				

Unusual Observations for Wrapage

Obs	StdOrder	Wrapage	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	43	122.938	119.071	1.270	3.867	2.15R
8	44	117.580	121.887	1.270	-4.307	-2.40R
9	28	126.670	121.887	1.270	4.783	2.66R
19	26	125.220	121.610	1.270	3.610	2.01R
27	41	118.150	122.011	1.270	-3.861	-2.15R

R denotes an observation with a large standardized residual.

รูปที่ 5.11 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยพิจารณาจากค่านัยสำคัญทางสถิติในการหา ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความโค้งงอของชิ้นงาน โดยพิจารณาค่า P-value หากค่า P-value มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จะพิจารณาปัจจัยนั้นว่ามีผลกระทบต่อค่าความโค้งงอของชิ้นงาน ซึ่งตัวแปรหลักที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 มีดังนี้ B, C และ D ซึ่ง B คือ อุณหภูมิ Dam กล่าวคือถ้าตั้งค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่ง DAM สูง จะส่งผลกระทบต่อความโค้งงอของชิ้นงาน อันเนื่องจากตำแหน่ง Dam เป็นตำแหน่งที่ 2 ของกระบวนการหล่อหน้าชิ้นงานในการหยอดกาวที่ขอบหน้าแผงวงจรหากใช้อุณหภูมิสูงรวมกับน้ำยาที่หยอดลงบนตัวชิ้นงานจะส่งผลทำให้ชิ้นงานเกิดความโค้งงอได้ ปัจจัย C คืออุณหภูมิ Fill กล่าวคือ ณ ตำแหน่ง Fill คือตำแหน่งการหยอดน้ำยากาว Epoxy ลงบนหน้าวงจรซึ่งจะเชื่อมต่อกับน้ำยากาวที่ตำแหน่ง Dam ณ ตำแหน่ง Fill หากใช้อุณหภูมิสูงจะส่งผลกระทบต่อค่าความโค้งงอของชิ้นงาน ปัจจัย D คืออุณหภูมิการอบ เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความโค้งงอของชิ้นงานมาก เนื่องจากอุณหภูมิในการอบหากใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไปจะทำให้ชิ้นงานเกิดการหดตัวอย่างกะทันหัน จึงเกิดความโค้งงอของชิ้นงาน แต่หากอุณหภูมิการอบใช้อุณหภูมิต่ำแล้วค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นจะไม่ทำให้ชิ้นงานหดตัวกะทันหันจึงเกิดความโค้งงอของชิ้นงานค่าต่ำ

สำหรับอันตรกิริยาพิจารณาค่า P-value ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หากอันตรกิริยามีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 จะพิจารณาอันตรกิริยานั้นว่ามีผลกระทบต่อค่าความโค้งงอของชิ้นงาน ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าอันตรกิริยาที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 คืออันตรกิริยาระหว่าง BC หรือระหว่างอุณหภูมิ Dam และอุณหภูมิ Fill หากตั้งอุณหภูมิ Dam ไว้ที่อุณหภูมิสูง และตั้งอุณหภูมิ Fill ไว้ที่อุณหภูมิต่ำจะส่งผลกระทบต่อค่าความโค้งงอของชิ้นงาน และหากตั้งอุณหภูมิ Dam ไว้ที่อุณหภูมิต่ำ และตั้งอุณหภูมิ Fill ไว้ที่อุณหภูมิสูง จะส่งผลกระทบต่อค่าความโค้งงอของชิ้นงานเช่นเดียวกัน แต่หากตั้งอุณหภูมิ Dam ต่ำและอุณหภูมิ Fill ต่ำจะให้ผลค่าความโค้งงอที่ต่ำ อันตรกิริยาระหว่าง BD หรือ ระหว่างอุณหภูมิ Dam และอุณหภูมิการอบ หากตั้งอุณหภูมิ Dam สูง และ อุณหภูมิการอบสูงจะส่งผลกระทบต่อค่าความโค้งงอสูงด้วย อันตรกิริยาระหว่าง CD หรือ อุณหภูมิ Fill และ อุณหภูมิการอบ หากตั้งอุณหภูมิ Fill สูง และอุณหภูมิ

การอบสูงด้วยจะส่งผลกระทบต่อความโค้งงอของชิ้นงานโดยตรง เนื่องจากหากชิ้นงาน  
ได้รับความร้อนสูงจะส่งผลให้ชิ้นงานเกิดความหดตัวซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงทำให้ค่า  
ความโค้งงอของชิ้นงานสูงเช่นกัน



## บทที่ 6

### ระยะทดลองปรับปรุงกระบวนการ (Improve Phase)

ในขั้นตอนที่ผ่านมาได้คัดกรองปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดความโง่งงของชิ้นงาน ซึ่งมีปัจจัยนำเข้าคืออุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิDam อุณหภูมิFill และอุณหภูมิการอบ โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง  $2^k$  ( $2^k$  Factorial Design) จากผลการศึกษปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดความโง่งงของชิ้นงานพบว่าปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญมี 3 ปัจจัยได้แก่อุณหภูมิDam อุณหภูมิFill และอุณหภูมิการอบ ส่วนอันตรกิริยาระหว่างคู่ปัจจัยได้แก่ระหว่างอุณหภูมิDamกับอุณหภูมิFill อุณหภูมิDamกับอุณหภูมิการอบ และอุณหภูมิFillกับอุณหภูมิการอบ ดังนั้นในขั้นตอนนี้คือการนำปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญมาทำการปรับปรุงและแก้ไขปัญหาการเกิดความโง่งงของชิ้นงาน และลดค่าดัชนีชี้วัดความโง่งงของชิ้นงานลง

#### 6.1 การออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบวิธีพื้นผิวตอบสนอง

การออกแบบการทดลองเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงและแก้ไขกระบวนการโดยใช้วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) แบบบ็อกซ์-เบนเคนส์ (Box-Behnken) เพื่อหาค่าที่เหมาะสมในแต่ละปัจจัยทั้งนี้เพื่อให้ค่าความโง่งงชิ้นงานลดลงตามเป้าหมายโดยการออกแบบการทดลองมีปัจจัยและระดับนำเข้ดังตารางที่ 6.1 และมีการแทนค่าปัจจัยด้วยค่าสัญลักษณ์ดังตารางที่ 6.2 ซึ่งการออกแบบการทดลองมีปัจจัยนำเข้ทั้งหมด 3 ปัจจัย และในแต่ละปัจจัยมีจำนวนระดับ 3 ระดับ ดังนั้นจึงมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 15 การทดลองดังแสดงในตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6. 1 ปัจจัยและระดับนำเข้าไปเพื่อทดลองด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง

ลำดับ	ตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อการเกิด ความโค้งงอของ ชิ้นงาน	ระดับปัจจัย ค่าต่ำ	ระดับปัจจัย ค่ากลาง	ระดับปัจจัย ค่าสูง	หน่วย
1	คุณสมบัติที่ DAM	20	30	40	องศา เซลเซียส
2	คุณสมบัติที่ FILL	30	65	100	องศา เซลเซียส
3	คุณสมบัติอบ ชิ้นงาน	35	40	45	องศา เซลเซียส

ตารางที่ 6. 2 การแทนค่ารหัสตัวแปรต้นและระดับปัจจัย

ลำดับ	ตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อ การเกิดความโค้ง งอของชิ้นงาน	ระดับปัจจัย ค่าต่ำ	ระดับปัจจัย ค่ากลาง	ระดับปัจจัย ค่าสูง	สัญลักษณ์
1	คุณสมบัติที่ DAM	-1	0	1	B
2	คุณสมบัติที่ FILL	-1	0	1	C
3	คุณสมบัติอบชิ้นงาน	-1	0	1	D



ตารางที่ 6. 3 การออกแบบการทดลองเพื่อทดลองด้วยวิธีพินฉิวตอบสนอง

StdOrder	RunOrder	B	C	D	ค่าความโค้งงอ
9	1	0	-1	-1	37.338
12	2	0	1	1	48.713
6	3	1	0	-1	53.613
5	4	-1	0	-1	56.900
1	5	-1	-1	0	48.400
7	6	-1	0	1	59.237
15	7	0	0	0	45.938
3	8	-1	1	0	51.563
11	9	0	-1	1	42.778
10	10	0	1	-1	43.325
4	11	1	1	0	48.175
14	12	0	0	0	43.813
8	13	1	0	1	57.328
13	14	0	0	0	43.250
2	15	1	-1	0	41.125

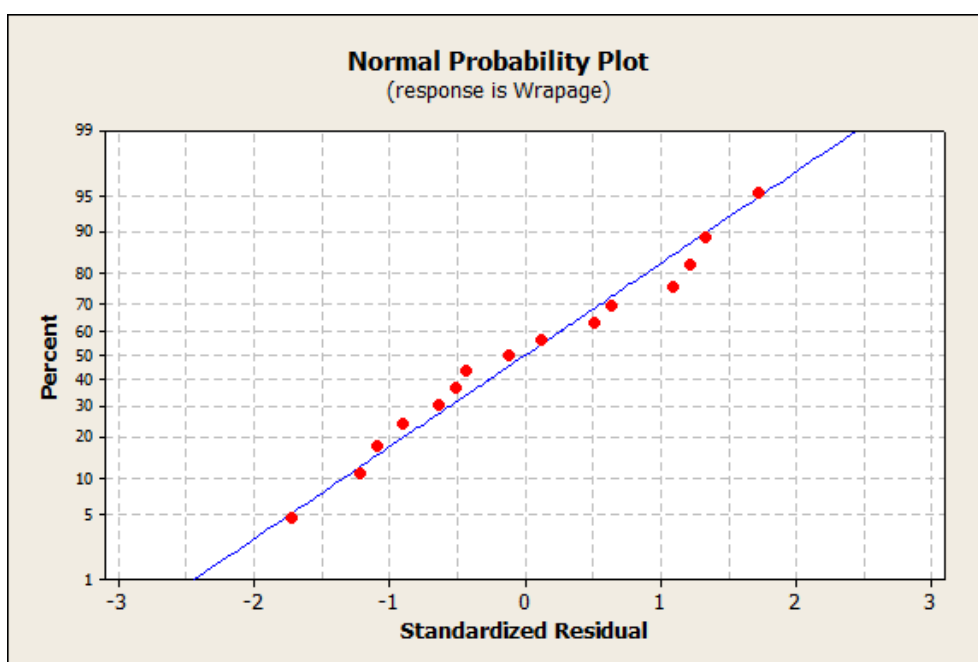
## 6.2 การวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Check)

### 1. การวิเคราะห์ข้อมูลส่วนตกค้าง

ก่อนการสรุปผลการทดลองจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์และตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยจะต้องวิเคราะห์และตรวจสอบส่วนตกค้างซึ่งต้องวิเคราะห์ในแต่ละส่วนดังนี้

## (1.) การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล

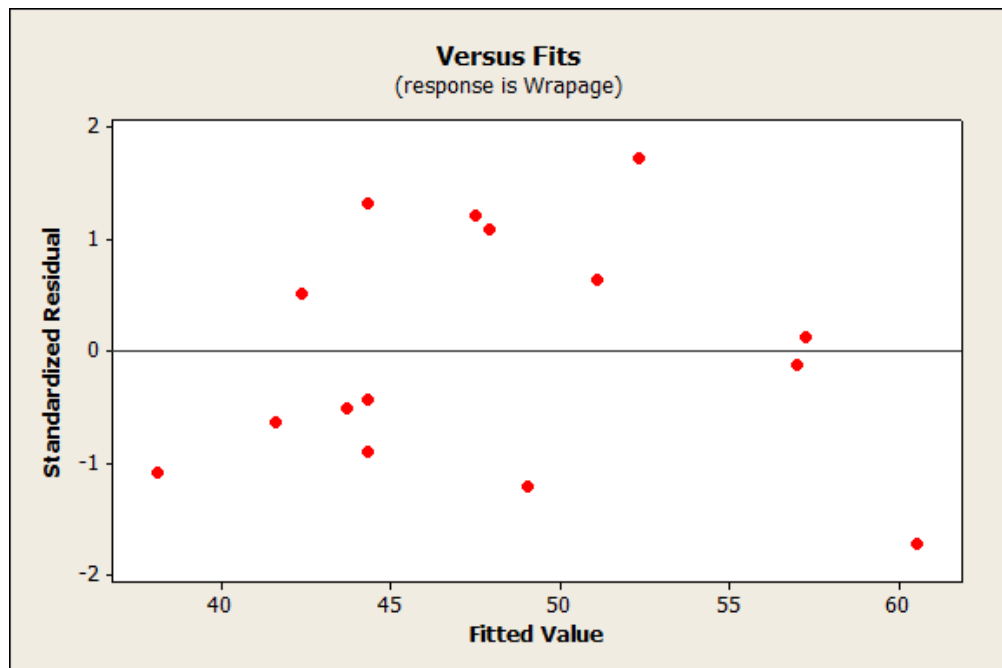
จะต้องมีการทดสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูลส่วนตกค้าง (Normal plot of residuals) จากผลการทดสอบพบว่าค่าส่วนตกค้างเข้าใกล้เส้นกลางมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง จึงประมาณได้ว่าข้อมูลส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติ



รูปที่ 6. 1 การกระจายตัวแบบปกติของข้อมูลส่วนตกค้าง

## (2.) การทดสอบความเสถียรภาพความแปรปรวนของค่าวัดความโค้งงอ

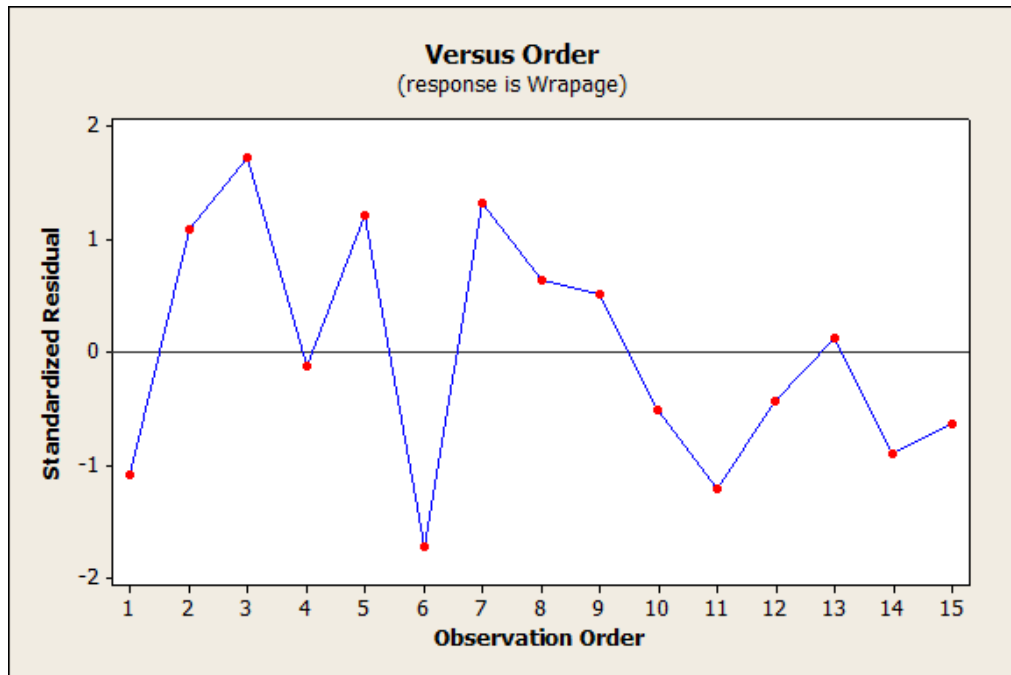
เมื่อพิจารณาจากแผนภูมิกระจายของข้อมูลส่วนตกค้างเทียบกับค่าฟิต (Fitted Value) ของค่าความโค้งงอของชิ้นงาน โดยจะมีเส้นกลางเป็น Standardized Residuals เท่ากับ 0 พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวขึ้นลงอย่างไม่มีรูปแบบดังนั้นจึงสรุปได้ว่าค่าความแปรปรวนของข้อมูลส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่



รูปที่ 6. 2 แผนภูมิกระจายแสดงความแปรปรวนของข้อมูลส่วนตกค้าง

(3.) การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูลส่วนตกค้างของค่าความโค้งงอของชิ้นงาน  
(Independent of Residuals)

การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูลส่วนตกค้างของค่าความโค้งงอของชิ้นงาน เพื่อทดสอบลำดับการทดลองเป็นอิสระต่อกันไม่เป็นแบบตามคำสั่ง (Order) โดยพิจารณาจากเส้นกลางเป็น Standardized Residuals เท่ากับ 0 พบว่าข้อมูลเมื่อเรียงตามลำดับการทดลองจุดบนกราฟมีการกระจายตัวขึ้นลงตามบวกและลบ ไม่กระจายอยู่ฝั่งใดฝั่งหนึ่งและไม่มีรูปร่างที่แน่นอน จึงสรุปได้ว่าข้อมูลส่วนตกค้างของค่าความโค้งงอมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 6. 3 การทดสอบความอิสระของข้อมูลส่วนตกค้าง

การตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของข้อมูลส่วนตกค้าง พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ มีความแปรปรวนของข้อมูลคงที่และลำดับการทดลองเป็นอิสระต่อกันซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไข  $NID(0, \sigma^2)$  ทั้งสามประการของข้อสมมติฐาน ดังนั้นการออกแบบการทดลองวิธีพินิจตรวจสอบแบบบ็อกซ์-เบนเคนส์มีความเหมาะสมและถูกต้อง

### 6.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### Response Surface Regression: Wrapage versus B, C, D

The analysis was done using coded units.

##### Estimated Regression Coefficients for Wrapage

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	44.3337	0.8553	51.833	0.000
B	-1.9811	0.5238	-3.782	0.013
C	2.7669	0.5238	5.283	0.003
D	2.1112	0.5238	4.031	0.010
B*B	8.3578	0.7710	10.841	0.000
C*C	-5.3757	0.7710	-6.973	0.001
D*D	4.0805	0.7710	5.293	0.003
B*C	0.9717	0.7407	1.312	0.247
B*D	0.3470	0.7407	0.468	0.659
C*D	-0.0130	0.7407	-0.018	0.987

S = 1.48145      PRESS = 120.309  
 R-Sq = 98.15%    R-Sq(pred) = 79.67%    R-Sq(adj) = 94.81%

##### Analysis of Variance for Wrapage

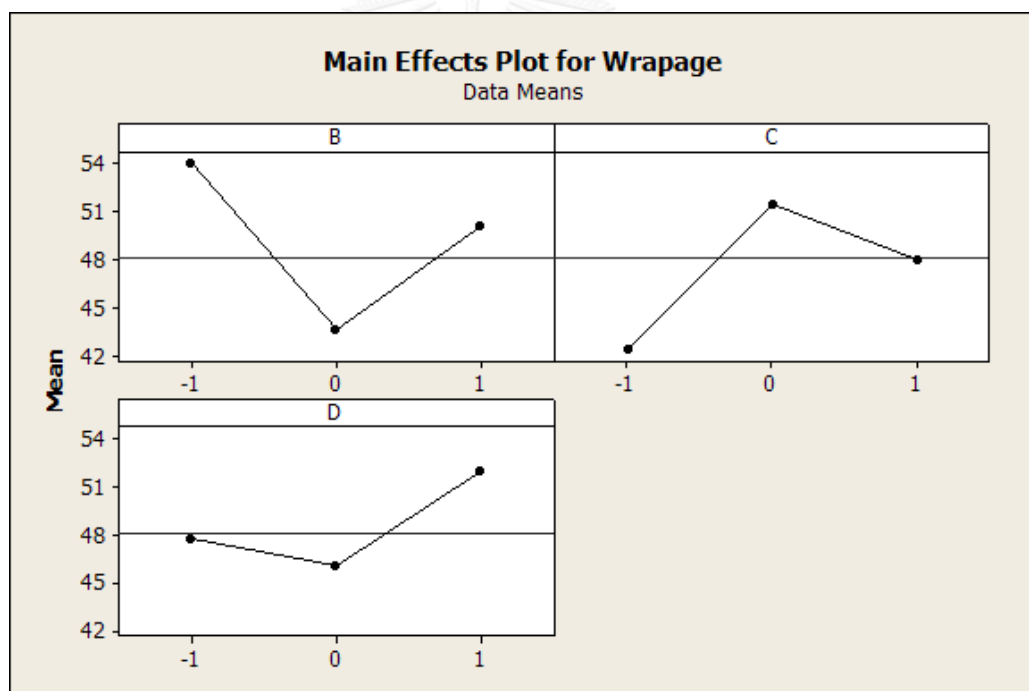
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	580.868	580.868	64.541	29.41	0.001
Linear	3	128.303	128.303	42.768	19.49	0.003
Square	3	448.305	448.305	149.435	68.09	0.000
Interaction	3	4.260	4.260	1.420	0.65	0.618
Residual Error	5	10.973	10.973	2.195		
Lack-of-Fit	3	6.954	6.954	2.318	1.15	0.496
Pure Error	2	4.019	4.019	2.010		
Total	14	591.841				

#### รูปที่ 6.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการ

จากผลการทดลองทางสถิติดังรูปที่ 6.4 แสดงผลการทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดความถี่ของชิ้นงานพบว่าปัจจัยหลัก 3 ปัจจัยคือ B,C และ D (อุณหภูมิDam,อุณหภูมิFill และอุณหภูมิการอบ) มีผลต่อการเกิดความถี่ของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญโดยพิจารณาค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 ที่ความเชื่อมั่น 95% อีกทั้งเทอมของอุณหภูมิDam(B\*B) อุณหภูมิ Fill (C\*C) และอุณหภูมิการอบ (D\*D) มีผลต่อการเกิดความถี่ของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ โดยพิจารณาค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 ที่ความเชื่อมั่น 95%

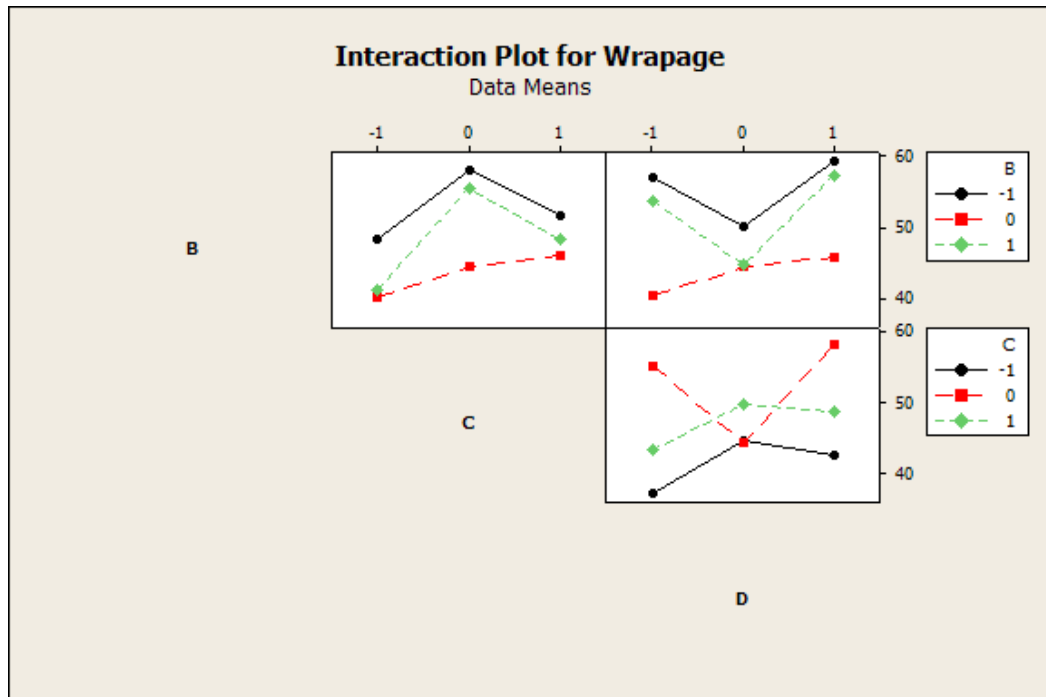
พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจหรือค่า R-Sq(adj) มีค่า 94.18% ซึ่งมากกว่าเกณฑ์การยอมรับที่ 80% และเมื่อพิจารณาสมการถดถอยมีค่า P-value 0.001 ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 0.05 นั่นคือแบบจำลองถดถอยมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าตัวแปรต้นที่ศึกษาและอยู่ในแบบจำลองถดถอยสามารถอธิบายความผันแปรที่เกิดขึ้นต่อตัวแปรตอบสนอง อีกทั้งสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองนี้มีความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือได้

เมื่อพิจารณาผลกระทบหลัก (Main Effect) ที่ส่งผลต่อการเกิดความโง่งอของชิ้นงานดังรูปที่ 6.5 แสดงให้เห็นว่าตัวแปรหลักทั้ง 3 คืออุณหภูมิDam (B), อุณหภูมิFill (C) และอุณหภูมิการอบ (D) มีผลต่อการเกิดค่าความโง่งอโดยมีค่าความแตกต่างระหว่างระดับ -1, 0, 1 อย่างชัดเจน นั่นคือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยเหล่านี้จะส่งผลต่อค่าความโง่งอของชิ้นงานโดยตรง



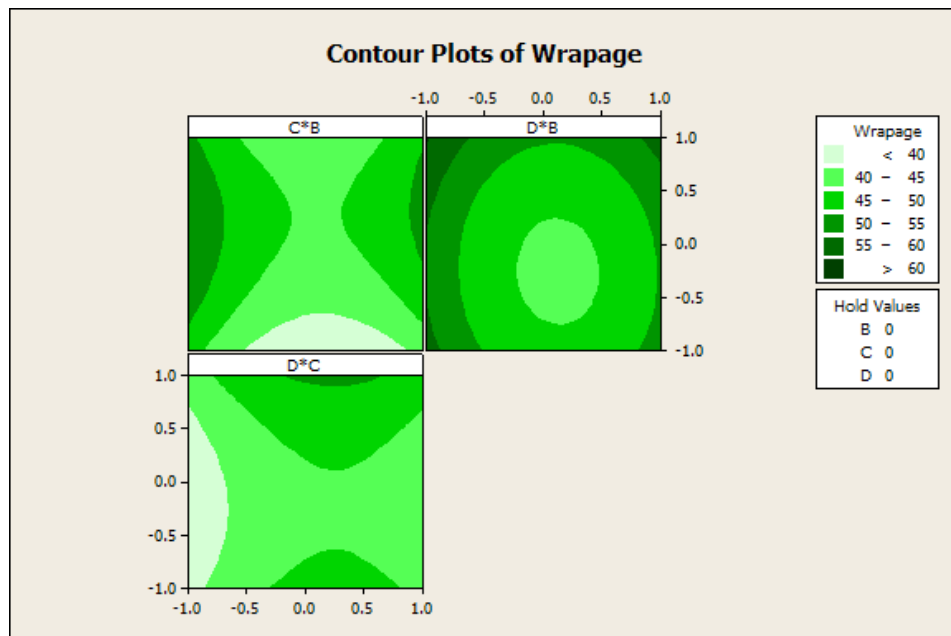
รูปที่ 6.5 ปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อค่าความโง่งอของชิ้นงาน

เมื่อพิจารณาอันตรกิริยา (Interaction) ที่ส่งผลต่อการเกิดความโง่งอของชิ้นงานดังรูปที่ 6.6 แสดงให้เห็นอันตรกิริยาระหว่างระดับปัจจัย หากเส้นมีการตัดกันแสดงถึงการมีอันตรกิริยาร่วมกัน แต่หากเส้นเป็นเส้นขนานกันไม่มีการตัดกันแสดงถึงการไม่มีอันตรกิริยาต่อกัน

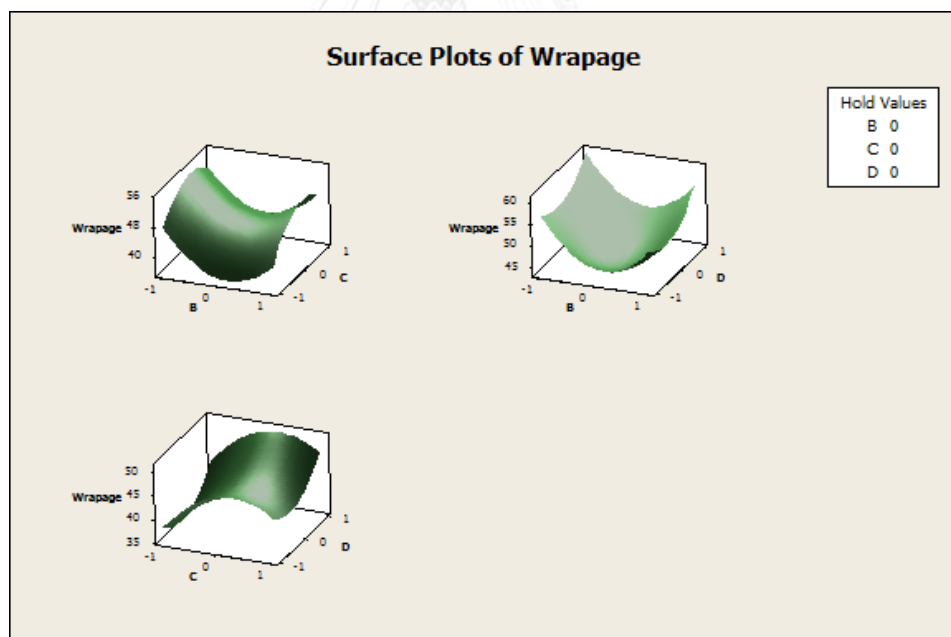


รูปที่ 6. 6 อันตรกิริยาที่มีผลต่อค่าความโค้งของชิ้นงาน

ความสัมพันธ์ของข้อมูลระหว่างค่าความโค้งของชิ้นงานและปัจจัยนำเข้า โดยนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วย Contour plot และ Surface plot ดังรูปที่ 6.7 และ 6.8 ตามลำดับจากรูปที่ 6.7 แสดงให้เห็นค่าความโค้งของชิ้นงานที่มีค่าน้อยที่สุดจะอยู่ที่บริเวณโซนสีขาว และจากรูปที่ 6.8 แสดงการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบ Surface plot จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอันตรกิริยาของการเปลี่ยนแปลงระดับของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความโค้งของชิ้นงาน



รูปที่ 6. 7 ความสัมพันธ์แบบ Contour plot ของปัจจัยนำเข้า



รูปที่ 6. 8 ความสัมพันธ์แบบ Surface plot ของปัจจัยนำเข้า

ผู้ศึกษามีจุดประสงค์ที่จะปรับปรุงค่าความโก่งของชิ้นงานให้มีค่าลดลง เพื่อลดจำนวนของเสียชิ้นงานมีความหนาเกินขนาดเทียบต่อด้านขึ้นซึ่งเป็นดัชนีชี้วัดความสำเร็จของการปรับปรุง



โครงการนี้ จากการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความโค้งงอของชิ้นงานพบว่ามี 3 ปัจจัยหลัก คือ อุณหภูมิDam(B), อุณหภูมิFill (C) และ อุณหภูมิการอบ (D) จึงได้มีการศึกษาหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยหลัก 3 ปัจจัยนี้จากค่าเป้าหมายที่ 45 ไมครอน โดยค่าเป้าหมายนี้มีที่มาจาก การหาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถกระบวนการและจำนวนของเสียเทียบกับต่อล้านชิ้น

เนื่องจากดัชนีชี้วัดความสำเร็จของการปรับปรุงกระบวนการนี้คือการลดจำนวนของเสียเทียบกับต่อล้านชิ้นจึงได้นำจำนวนของเสียเทียบกับต่อล้านชิ้นที่ยอมรับได้มาตั้งเป็นเกณฑ์นั้นคือยอมรับจำนวนของเสียให้เกิดขึ้นได้ในกระบวนการมากที่สุดที่ 250 PPM

จากตารางที่ 2.4 ในบทที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถกระบวนการและจำนวนของเสียเทียบกับต่อล้านชิ้น เราสามารถประมาณการได้ว่าหากต้องการให้มีของเสียเทียบกับต่อล้านชิ้นน้อยกว่า 250 PPM ความสามารถกระบวนการควรอยู่ที่ Cpk 1.67 โดยสมมติว่ากระบวนการเลื่อนไปด้วยความผันแปร 1.5 เนื่องจากความผันแปรกระบวนการในปัจจุบันอยู่ที่ 5.054 ดังนั้นค่าเป้าหมายของค่าความโค้งงอของชิ้นงานจึงอยู่ที่ 45 ไมครอนจะสามารถทำให้กระบวนการมีของเสียน้อยกว่า 250 PPMได้ สมการที่ใช้ในการคำนวณค่าเป้าหมายนี้ดังสมการที่ 6.1

$$Cpk = \frac{USL - \bar{x}}{3\sigma} \quad (6.1)$$

การคำนวณหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยได้ใช้โปรแกรมทางสถิติ Minitab ช่วยในการคำนวณ โดยเลือกฟังก์ชัน Response Optimization ในการคำนวณเพื่อให้ได้ค่าตอบสนองที่เข้าใกล้ค่าเป้าหมายมากที่สุด

## Response Optimization

### Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
Wrapage	Target	0	45	70	1	1

### Global Solution

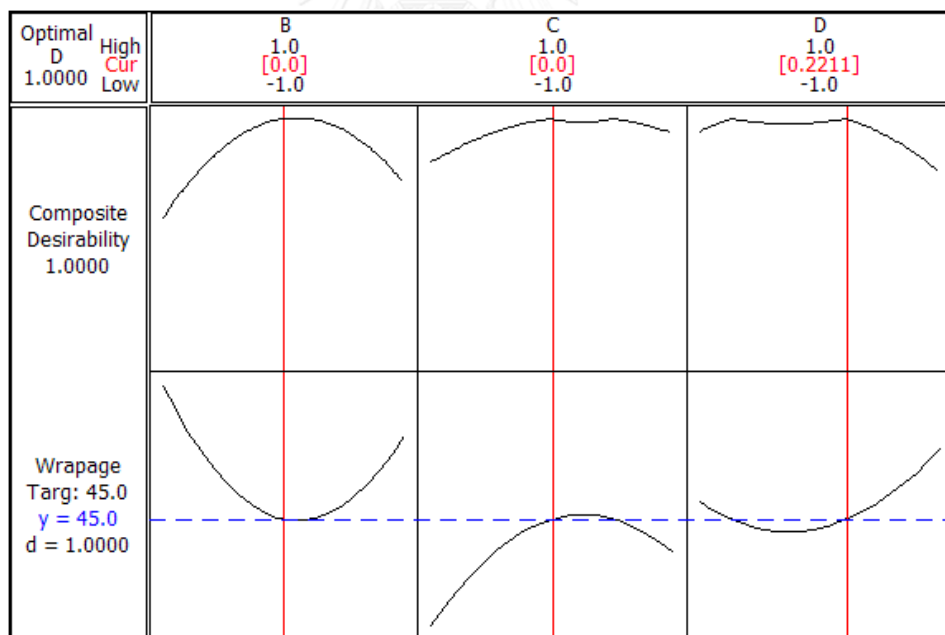
B = 0  
C = 0  
D = 0.221115

### Predicted Responses

Wrapage = 45.0000 , desirability = 1.000000

Composite Desirability = 1.000000

รูปที่ 6. 9 ผลการแสดงผลค่าปัจจัยจาก Response Optimization



รูปที่ 6. 10 ค่าปัจจัยหลักที่ส่งผลให้ค่าความโค้งงอตามเป้าหมาย

ผลการวิเคราะห์การคำนวณค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อค่าความโค้งงอให้ได้ตามเป้าหมาย ค่าเป้าหมายถูกตั้งไว้ที่ 45 ไมครอนดังนั้นปัจจัยอุณหภูมิดาม ควรตั้งอยู่ที่ 0.0,

อุณหภูมิFill ตั้งที่ 0.0 และ อุณหภูมิการอบตั้งที่ 0.2211 หรือเป็นค่าติดตั้งแบบ Uncoded ที่ อุณหภูมิDam เท่ากับ 30 องศาเซลเซียส, อุณหภูมิFill เท่ากับ 65องศาเซลเซียสและอุณหภูมิการอบเท่ากับ 41 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 6. 4 ค่าปัจจัยหลักที่ใช้ในการออกแบบการทดลองในการปรับปรุงค่าความโค้งของชิ้นงาน

ปัจจัยหลัก	สัญลักษณ์	ระดับปัจจัย	ค่าติดตั้ง	ค่าติดตั้งจริง	หน่วย
อุณหภูมิDam	B	0.0	30.0	30	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิFill	C	0.0	65.0	65	องศาเซลเซียส
อุณหภูมิการอบ	D	0.2211	41.1056	41	องศาเซลเซียส

#### 6.4 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษากระบวนการห่อหุ้มหน้าชิ้นงานเพื่อลดค่าความโค้งของชิ้นงาน โดยเริ่มจากการศึกษาหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความโค้งอย่างมีนัยสำคัญ โดยเริ่มแรกมีปัจจัยนำเข้า 4 ปัจจัยคือ อุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิDam อุณหภูมิFill และอุณหภูมิการอบ จากการออกแบบการทดลอง  $2^k$  แพคทอเรียลพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าความโค้งอย่างมีนัยสำคัญมี 3 ปัจจัยคือ อุณหภูมิDam อุณหภูมิFill และอุณหภูมิการอบ จึงได้นำ 3 ปัจจัยเหล่านี้มาทำการทดลองเพิ่มเพื่อหาค่าปรับตั้งที่เหมาะสมเพื่อให้ค่าความโค้งของชิ้นงานได้ตามเป้าหมายโดยวิธีออกแบบการทดลองพื้นผิวตอบ และทดลองหาค่าที่เหมาะสม Optimization plot จากการทดลองพบว่าค่าติดตั้งที่เหมาะสมของ 3 ปัจจัยคือ อุณหภูมิDam 30 องศาเซลเซียส, อุณหภูมิFill 65องศา

เซลเซียส และอุณหภูมิการอบ 41 องศาเซลเซียสด้วยค่าติดตั้งระดับปัจจุบันที่กระบวนการห่อหุ้ม  
หน้าชิ้นงานจะทำให้ได้ค่าความโค้งงอชิ้นงานอยู่ที่ 45 ไมครอน



## บทที่ 7

### ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ (Control Phase)

ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการควบคุมกระบวนการซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการปรับปรุงตามแนวหลักการของซิกส์ ซิกมา โดยการนำค่าที่เหมาะสมซึ่งได้วิเคราะห์มาจากขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ (Improve Phase) เพื่อลดค่าความโง่งงของชิ้นงาน มาทำการติดตั้งที่กระบวนการห่อหุ้มหน้าชิ้นงานและทำการเฝ้าติดตามผลการปรับปรุง เพื่อยืนยันถึงผลการปรับปรุงว่าสามารถลดค่าความโง่งงหน้าชิ้นงานได้ตามเป้าหมายและเพิ่มความเชื่อมั่นผลการปรับปรุง โดยพิจารณาความสามารถกระบวนการหลังปรับปรุงยังสามารถดำเนินการได้ดี ทั้งนี้เครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการคือแผนภูมิควบคุม และจัดทำมาตรฐานการทำงานเพื่อคงกระบวนการให้ได้ตามเป้าหมายในระยะยาว

#### 7.1 การกำหนดแผนควบคุม (Control Plan)

การกำหนดแผนควบคุมจัดทำขึ้นเพื่อเป็นแผนในการควบคุมกระบวนการเพื่อควบคุมค่าความโง่งงของชิ้นงานในกระบวนการห่อหุ้มหน้าชิ้นงาน การควบคุมกระบวนการห่อหุ้มหน้าชิ้นงานจะถูกควบคุมด้วยแผนภูมิ Xbar-R เพื่อติดตามค่าความโง่งงของชิ้นงานยังคงอยู่ในขอบเขตอนุโลมหรือไม่

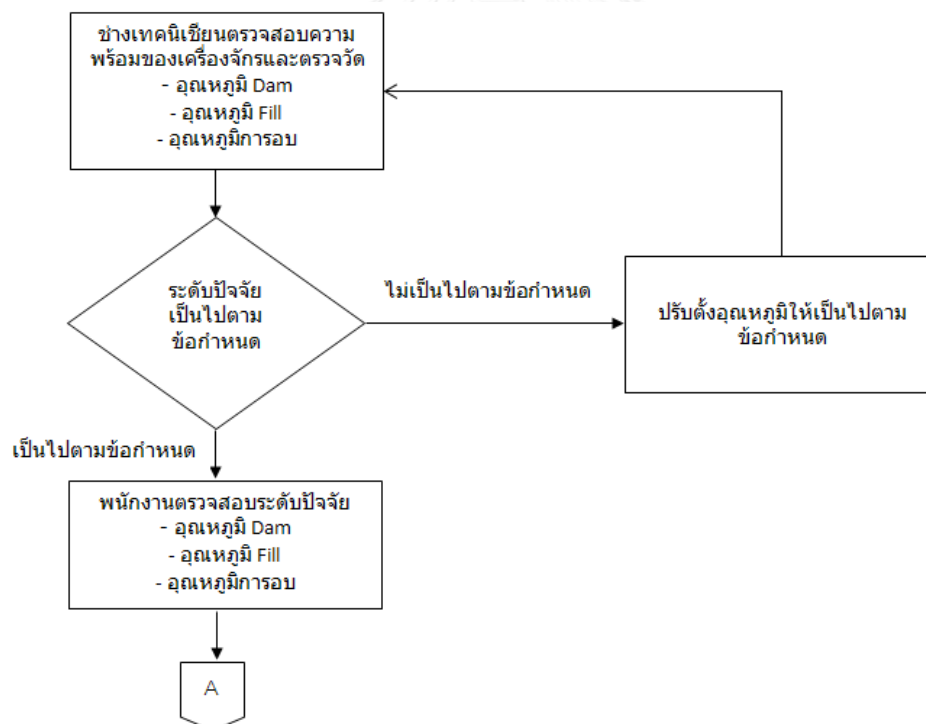
ตารางที่ 7. 1 ค่าปรับตั้งของปัจจัยในการทดลองสำหรับตรวจสอบผลการปรับปรุงค่าความโง่งงของซีพชนิดตะะหรือส้มฝัส

ปัจจัย	ค่าติดตั้งระดับปัจจัย
อุณหภูมิDam	30°C
อุณหภูมิFill	65°C
อุณหภูมิการอบ	41°C

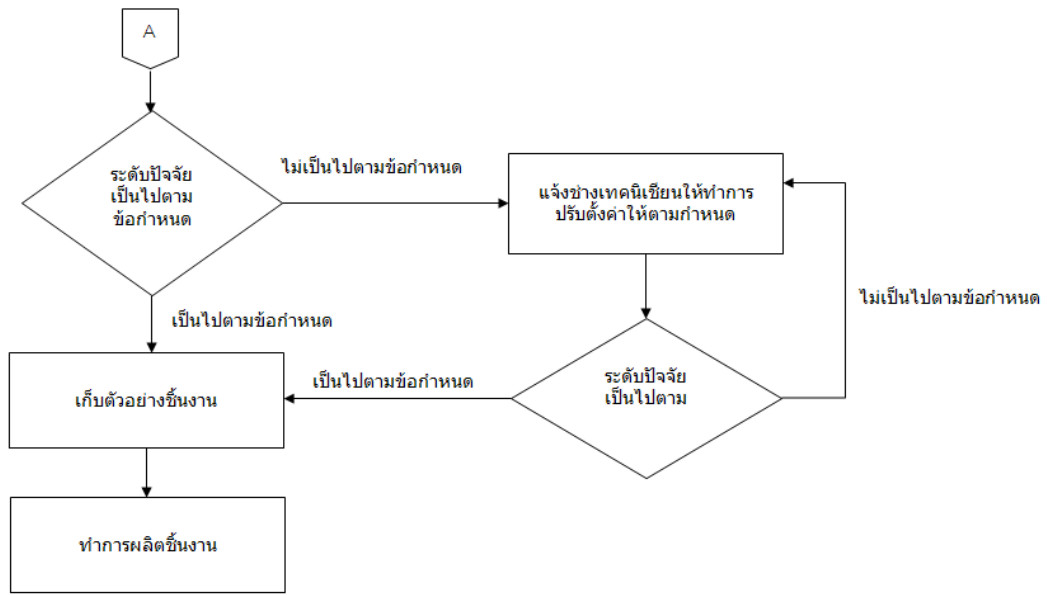
ตารางที่ 7. 2 แผนการควบคุมปัจจัยและระดับปัจจัยเพื่อควบคุมค่าความโค้งงอของชิ้นงาน

ปัจจัย	เครื่องมือที่ใช้ในการควบคุม	แผนการควบคุม			ข้อปฏิบัติเมื่อออกนอกการควบคุม
		เกณฑ์	ค่าความคลาดเคลื่อนอนุโลม	ความถี่	
อุณหภูมิ Dam	Log Sheet	30°C	-	ทุก 8 ชั่วโมง	หยุดสายการผลิตชั่วคราวและปรับตั้งค่าที่ถูกต้อง
อุณหภูมิ Fill	Log Sheet	65°C	-	ทุก 8 ชั่วโมง	หยุดสายการผลิตชั่วคราวและปรับตั้งค่าที่ถูกต้อง
อุณหภูมิ การอบ	Log Sheet	41°C	-	ทุก 8 ชั่วโมง	หยุดสายการผลิตชั่วคราวและปรับตั้งค่าที่ถูกต้อง
ค่าความโค้งงอชิ้นงาน	Xbar-R Chart	45 ไมครอน	ขอบเขตบน 70 ไมครอน	ทุกอาทิตย์	ทำการหยุดเครื่องจักรและตรวจสอบ

จากแผนควบคุมดังตารางที่ 7.2 ได้ถูกกำหนดให้เป็นข้อกำหนดในการปฏิบัติงาน โดยมี การตรวจสอบปัจจัยที่สำคัญเพื่อเป็นการควบคุมค่าความถี่องให้ได้ตามเป้าหมาย ดังนั้นก่อนเริ่ม ปฏิบัติงานจริงจะมีการเตรียมความพร้อมของเครื่องจักรก่อนการผลิตงานโดยจะมีการตรวจวัด คุณณภูมิซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญในการผลิตของกระบวนการหล่อหุ้มหน้าขึ้นงานว่าเป็นไปตาม ข้อกำหนดหรือไม่ หากไม่เป็นไปตามข้อกำหนดจะต้องทำการปรับตั้งค่าคุณณภูมิให้ถูกต้อง และใน ระหว่างสายการผลิตพนักงานจะทำการตรวจเช็คคุณณภูมิที่เครื่องจักรทุก 8 ชั่วโมงเพื่อเป็นการ ตรวจสอบค่าคุณณภูมิ หากพบว่าค่าคุณณภูมิที่ติดตั้งไม่เป็นไปตามข้อกำหนด พนักงานต้องทำการ หยุดสายการผลิตชั่วคราวและทำการเรียกช่างเทคนิคเขียนมาทำการปรับตั้งค่าคุณณภูมิให้ถูกต้อง ตามข้อกำหนดและทำการตรวจสอบอีกครั้งก่อนเริ่มปฏิบัติงานในสายการผลิต โดยขั้นตอนการ ปฏิบัติงานดังรูปที่ 7.1



รูปที่ 7. 1 ขั้นตอนการปฏิบัติงานและวิธีการแก้ไขหากพบปัจจัยนำเข้าไม่เป็นไปตามข้อกำหนด



รูปที่ 7.1 ขั้นตอนการปฏิบัติงานและวิธีการแก้ไขหากพบปัจจัยนำเข้าไม่เป็นไปตามข้อกำหนด (ต่อ)

จากข้อกำหนดการปฏิบัติงานในรูปที่ 7.1 ได้มีการลงบันทึกข้อมูลการทำงานในการตรวจสอบปัจจัยนำเข้าและข้อมูลอื่นๆในการผลิตลงในเอกสารบันทึกการทำงานดังรูปที่ 7.2

ENCAPSULATION PARAMETER AND DISPENSING PROGRAM												
DATE: 11 Dec 14		MACHINE NO: 101		SHIFT: Night		Opr. No: 2837		FREQUENCY: PKG. CHANGE / PER SHIFT		SAMPLE SIZE: ONCE PER SHIFT		
Lot	Product	Pkg.	Qty	QUANTITY			TIME		Gase change		Status	
				VOL. in	Securing	Thickness Req.	VOL. out	Time In	Time Out	Dam	Fill	Punch
NE 300450	Pico 300450/AC/ASAU	Pk1 1.1	3	12528	102	3	12528	19:40	19:59			
NE 300420	Pico 300420/AC/ASAU	Pk1 1.1	3	12528	102	3	12528	19:40	21:15		20:40	
NE 300490	Pico 300490/AC/ASAU	Pk1 1.1	3	12529	102	3	12529	21:20	22:30			
NE 300470	Pico 300470/AC/ASAU	Pk1 1.1	3	12529	102	3	12529	22:31	00:03	02:30		
NE 300430	Pico 300430/AC/ASAU	Pk1 1.1	3	12529	102	3	12529	00:10	01:20			
NE 300410	Pico 300410/AC/ASAU	Pk1 1.1	3	12529	102	3	12529	01:23	02:50	03:03	02:30	
NE 300480	Pico 300480/AC/ASAU	Pk1 1.1	3									
				TOTAL			70974					

Temp (°C)	Dam	Fill	Curing
	30	65	41

LOT MAINTENANCE REPORT	
Dosing head	Nozzle plate
Dam	5 10 40
Fill	6 9 82
	5 7 0 0
	6 2 2 0

QTY Technician check list	Yes	No
1) Check function position top status "open"	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) Check punch stations status "on" (901-908)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) Check function mesa failed (905-906)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) Calibrate and cleaning T1 station	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

REMARK:

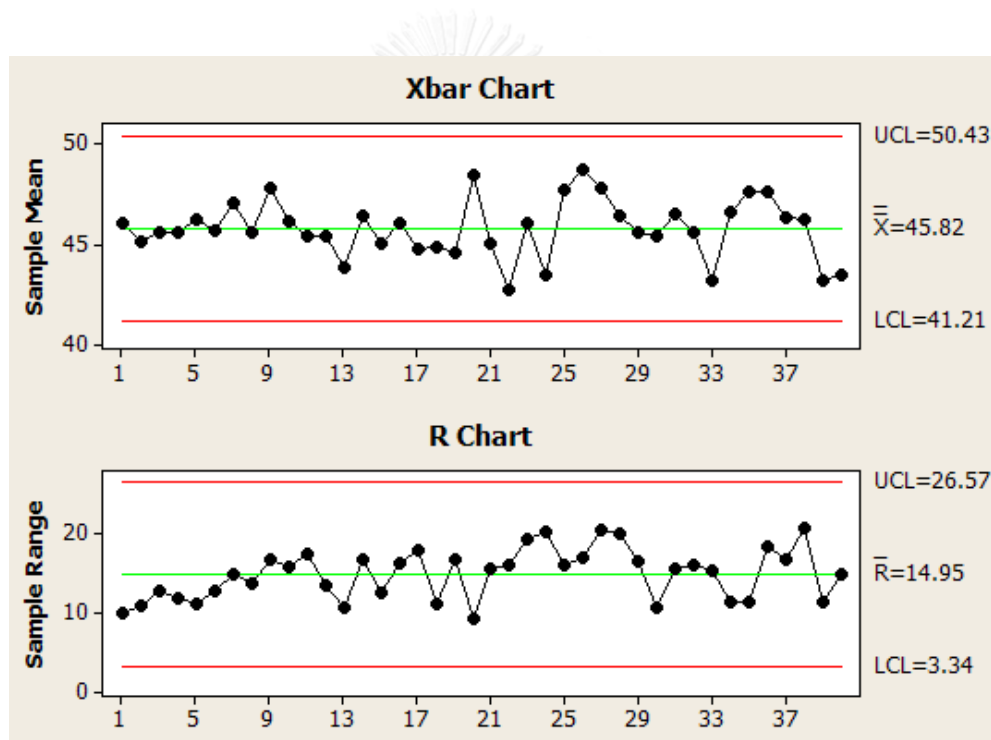
Note: When change pkg. from PkM1.1 to PkM1.5 or PkM1.5 to PkM 1.1 must to down pic and before L.M change the UV lamp profile.

รูปที่ 7.2 การลงบันทึกการทำงานตรวจสอบปัจจัยนำเข้าในเอกสารทำงาน



การควบคุมกระบวนการให้สามารถผลิตชิ้นงานให้ได้ค่าความโค้งงอตามเป้าหมายในระยะยาว ได้นำแผนภูมิควบคุมมาประยุกต์ใช้ในการติดตามเฝ้าดูกระบวนการ โดยแผนภูมิควบคุมจะมีเส้นควบคุมทางด้านสูงเพื่อควบคุมค่าความโค้งงอไม่ให้สูงเกินเขตควบคุม สามารถตรวจจับข้อมูลที่ออกนอกเหนือเส้นควบคุม และยังเป็นสัญญาณแจ้งเตือนความผิดปกติของกระบวนการอีกด้วย

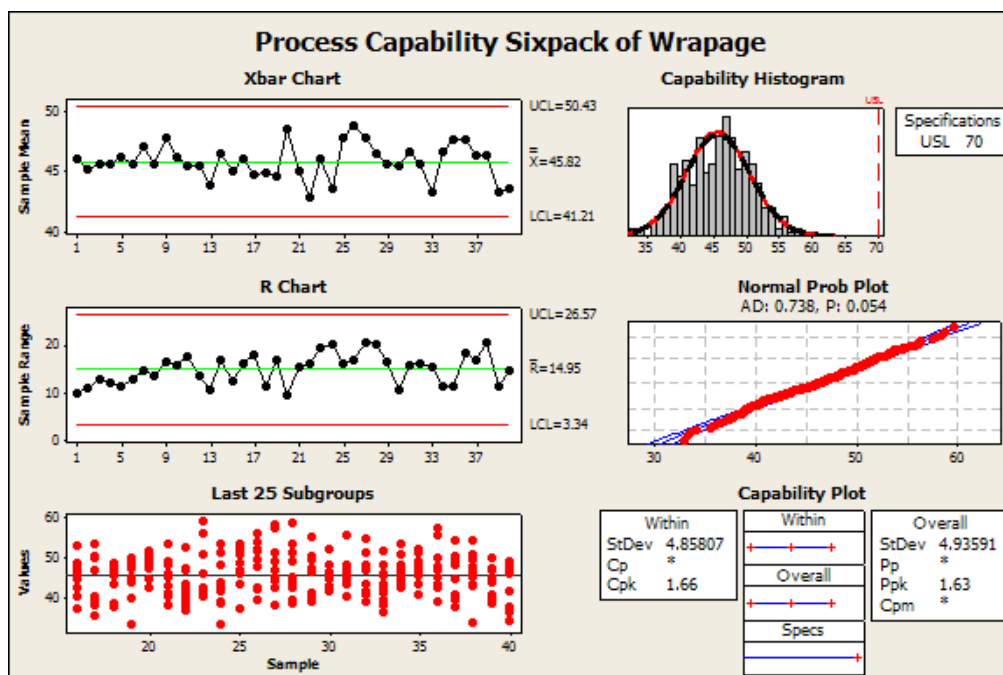
หลังจากที่ได้ทำการปรับปรุงกระบวนการการติดตามปัจจัยตอบสนองและควบคุมค่าความโค้งงอชิ้นงานด้วยแผนภูมิ Xbar-R ซึ่งพบว่ากระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม โดยค่าเฉลี่ยของค่าความโค้งงอของชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 45.82 ไมครอนและมีค่าพิสัยเฉลี่ยเท่ากับ 14.95



รูปที่ 7. 3 แผนภูมิควบคุม Xbar – R ของค่าความโค้งงอของชิ้นงาน

## 7.2 การวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการเพื่อตรวจวัดผลการปรับปรุงค่าความโค้งงอ

การตรวจสอบผลการปรับปรุงค่าความโค้งงอของชิ้นงาน เพื่อยืนยันผลการปรับปรุงจึงได้ดำเนินการเก็บข้อมูลทั้งหมด 400 ชิ้น ความสามารถกระบวนการหลังปรับปรุงเป็นดังนี้



รูปที่ 7. 4 ความสามารถกระบวนการหลังการปรับปรุง

#### 1. การทดสอบการกระจายตัวแบบปกติ

การพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลว่ามีการกระจายตัวปกติหรือไม่เป็นเรื่องที่มีความสำคัญเพื่อป้องกันความน่าเชื่อถือของข้อมูล การทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลโดยทดสอบสมมติฐานที่ระดับความเชื่อมั่น 95% มีการตั้งสมมติฐานดังนี้

$H_0$ : ข้อมูลความโค้งงอชิ้นงานมีการกระจายตัวแบบปกติ

$H_a$ : ข้อมูลความโค้งงอชิ้นงานมีการกระจายตัวแบบอื่น

จากผลการทดสอบ Normal Prob Plot พบว่าค่า P-value มีค่า 0.054 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตามที่กำหนดไว้ ดังนั้นจึงยอมรับ  $H_0$  หรือไม่สามารถปฏิเสธ  $H_0$  ได้ จึงสรุปได้ว่าข้อมูลความโค้งงอชิ้นงานจากกระบวนการห่อหุ้มหน้าชิ้นงานมีการกระจายตัวแบบปกติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

#### 2. การประเมินความสามารถกระบวนการหลังการปรับปรุง

จากรูปที่ 7.2 ข้อมูลมีขอบเขตจำกัดด้านบนคือ 70 ไมครอน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 45.82 ไมครอนและค่าเบี่ยงเบนเท่ากับ 4.85 เมื่อพิจารณาความสามารถกระบวนการ

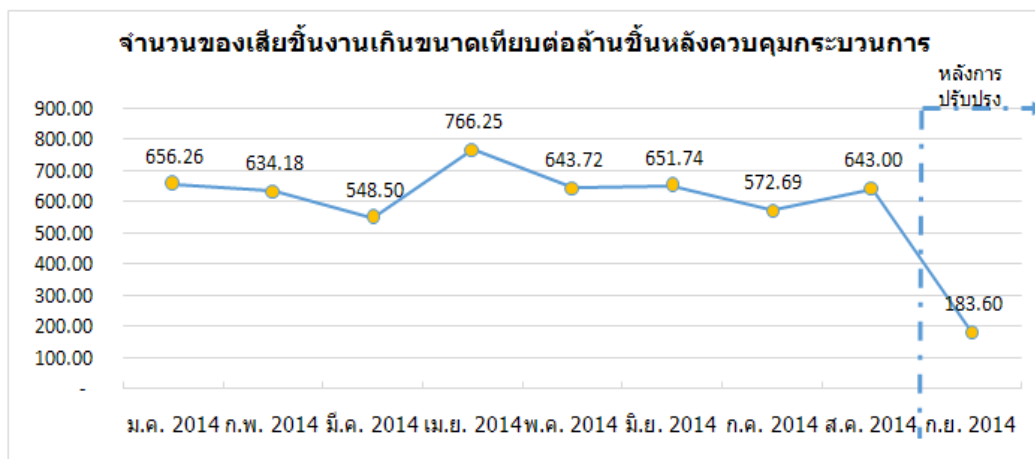
Cpkเท่ากับ1.66 ซึ่งมีค่ามากกว่ามาตรฐานที่ยอมรับ โดยความสามารถกระบวนการก่อนการปรับปรุง Cpk เท่ากับ 0.48และความสามารถกระบวนการปรับปรุง Cpk เท่ากับ 1.66 สามารถเปรียบเทียบความสามารถกระบวนการก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการได้ดังตารางที่ 7.3

ตารางที่ 7. 3 เปรียบเทียบความสามารถกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุง

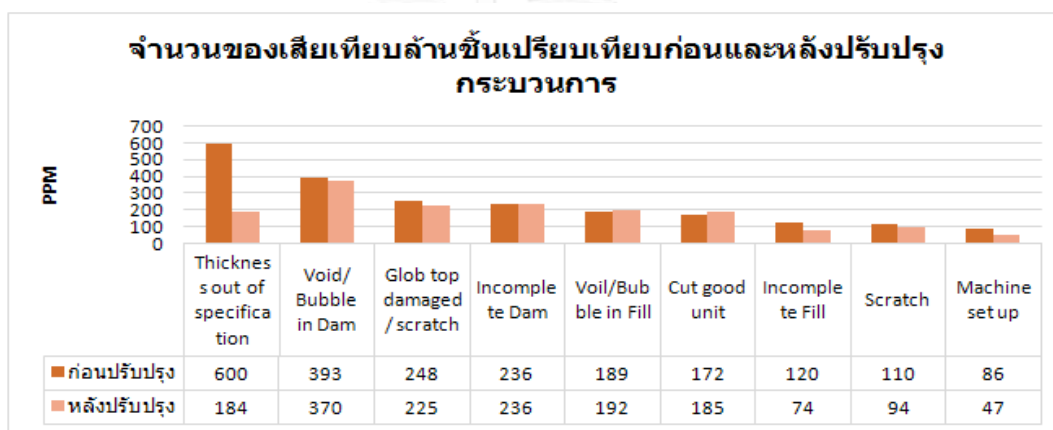
ตัวแปร	ก่อนการปรับปรุง			หลังการปรับปรุง		
	ค่าเฉลี่ย (ไมครอน)	ค่า เบี่ยงเบน	ความสามารถ กระบวนการ	ค่าเฉลี่ย (ไมครอน)	ค่า เบี่ยงเบน	ความสามารถ กระบวนการ
ค่าความ โก่งงอ ชิ้นงาน	92.72	5.05457	0.48	45.82	4.85	1.66

### 7.3 ดัชนีชี้วัดหลังการปรับปรุงกระบวนการ

กระบวนการห่อหุ้มหน้าชิ้นงานได้ถูกควบคุมโดยแผนการควบคุม เพื่อควบคุมกระบวนการให้ได้ค่าความโก่งงอชิ้นงานตามเป้าหมาย หลังจากที่ได้ควบคุมกระบวนการตามแผนการควบคุมและทำการเก็บข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต พบว่าของเสียประเภทความหนาชิ้นงานเกินขนาดมีจำนวนลดลงในเดือนกันยายน 2557 ดังแสดงในรูปที่ 7.3 ซึ่งจำนวนของเสียชิ้นงานเกินขนาดเทียบต่อล้านชิ้นลดลงมาเป็น 184 PPMและเมื่อเปรียบเทียบของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุงดังรูปที่ 7.4 พบว่าของเสียประเภทความหนาชิ้นงานเกินขนาดมีจำนวนลดลงจาก 600 มาเป็น 184 PPM



รูปที่ 7. 5 จำนวนของเสียชิ้นงานเกินขนาดเทียบต่อล้านชิ้นหลังควบคุมกระบวนการ



รูปที่ 7. 6 จำนวนของเสียเทียบล้านชิ้นเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ

#### 7.4 มูลค่าความสูญเสียหลังการปรับปรุง

ข้อมูลของเสียความหนาชิ้นงานเกินขนาดสามารถนำมาคำนวณมูลค่าความสูญเสียได้ เพื่อหามูลค่าที่สามารถลดลงได้หลังจากทำการปรับปรุงและควบคุมกระบวนการ โดยสามารถคำนวณมูลค่าได้จากสมการดังนี้

$$\text{มูลค่าความสูญเสีย} = \text{จำนวนของเสียเทียบต่อล้านชิ้น (PPM)} \times \text{ราคาชิ้นงาน (บาท)}$$

โดยทำการคำนวณค่าความสูญเสียที่คาดว่าจะลดลงจากการพยากรณ์ปริมาณการผลิตที่จะเกิดขึ้นในปี 2558 ของกระบวนการผลิตพบว่าหลังจากที่ได้ปรับปรุงกระบวนการ จำนวนของเสีย ความหนาขึ้นงานเกินขนาดคาดว่าจะลดลงจำนวน 177,803 ชิ้นต่อปี คิดเป็นจำนวนเงินที่สามารถลดลงได้ 1,313,074 บาทต่อปี ดังสรุปมูลค่าที่สามารถลดลงได้ในตารางที่ 7.4

ตารางที่ 7. 4 สรุปมูลค่าความสูญเสียที่สามารถลดลงหลังปรับปรุงกระบวนการ

พยากรณ์ ปริมาณการผลิต (ล้านชิ้น/ปี)	จำนวนของเสีย คาดว่าจะเกิด (ชิ้น/ปี)	มูลค่าความ สูญเสียที่คาดว่าจะ เกิด (บาท/ปี)	จำนวนของเสีย คาดว่าจะลดลง (ชิ้น/ปี)	มูลค่าความ สูญเสียที่จะ ลดลง (บาท/ปี)
427	256,447	1,893,857	177,803	1,313,074

### 7.5 สรุปผลการปรับปรุง

ขั้นตอนการปรับปรุงเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการปรับปรุงกระบวนการตามแนวทางของ ชิกส์ ชิกมา เพื่อให้ผลการปรับปรุงกระบวนการสามารถควบคุมได้ในระยะยาว จึงได้มีการควบคุมกระบวนการโดยใช้แผนภูมิควบคุมเพื่อติดตามและเฝ้าดูกระบวนการหลังการปรับปรุง หลังจากที่ได้เก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงพบว่าค่าเฉลี่ยความโค้งงอขึ้นงานลดลงจาก 92.72 เป็น 45.82 ไมครอนและความสามารถกระบวนการเพิ่มขึ้นจาก 0.48 เป็น 1.66 ซึ่งเป็นความสามารถกระบวนการที่ยอมรับได้ ทั้งนี้จำนวนของเสียประเภทความหนาขึ้นงานเกินขนาดได้ลดลงจาก 600 เหลือ 184 PPM ดังนั้นผลการปรับปรุงกระบวนการได้บรรลุวัตถุประสงค์ของโครงการและสามารถลดความสูญเสียเป็นจำนวนเงิน 1,313,074 บาทต่อปี

## บทที่ 8

### บทสรุป

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการนำเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้ซิกซ์ ซิกม่าเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการหล่อหุ้มหน้าชิ้นงานสำหรับการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ซีพ โดยมีการวัดวัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนของเสียเทียบต่อล้านชิ้นของของเสียประเภทความหนาชิ้นงานเกินขนาด ซึ่งมีสัดส่วนของเสียจำนวนมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับของเสียประเภทอื่นๆ โดยความหนาชิ้นงานเกินขนาดมีสาเหตุมาจากชิ้นงานมีความโก่งงอ ดังนั้นการศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาการปรับปรุงค่าความโก่งงอของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ซีพเพื่อปรับปรุงกระบวนการและตอบสนองความต้องการของลูกค้า แนวทางการปรับปรุงกระบวนการตามหลักซิกซ์ ซิกม่าประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอนหลักคือระยะนิยามปัญหา (Define Phase) ระยะการวัด (Measure Phase) ระยะวิเคราะห์ปัญหา (Analysis Phase) ระยะปรับปรุง (Improve Phase) และระยะควบคุมกระบวนการ (Control Phase) โดยบทสรุปแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

#### 8.1 ขั้นตอนการนิยามปัญหา

ในขั้นตอนการนิยามปัญหาได้ทำการศึกษาระบบการผลิตและปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันเพื่อทำการศึกษากำหนดปัญหา ขอบเขตในการปรับปรุงกระบวนการ จากการพิจารณาจำนวนการผลิตผลิตภัณฑ์ซีพชนิดแต่ละหรือสัปดาห์มีจำนวนความต้องการเพิ่มสูงขึ้นในทุกๆปี และสำรวจสภาพปัญหาในปัจจุบันพบว่าของเสียเทียบต่อล้านชิ้นในระบบการผลิต ของเสียประเภทความหนาชิ้นงานเกินขนาดมีจำนวนของเสียมากที่สุดเมื่อเทียบกับของเสียประเภทอื่น ซึ่งมีจำนวน 600 PPM ทั้งนี้จึงได้ศึกษาความสัมพันธ์ของจำนวนการผลิตและจำนวนของเสียพบว่าเมื่อจำนวนการผลิตเพิ่มสูงขึ้น จำนวนของเสียประเภทความหนาชิ้นงานเกินขนาดก็เพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน ทั้งนี้สาเหตุที่ชิ้นงานมีความหนาเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากชิ้นงานมีความโก่งงอ จึงได้ทำการศึกษาความโก่งงอของชิ้นงานในทุกกระบวนการผลิต พบว่าค่าความโก่งงอชิ้นงานสูงมากที่สุดที่กระบวนการหล่อหุ้มหน้าชิ้นงาน ดังนั้นการศึกษาวิจัยนี้จึงทำการปรับปรุงค่าความโก่งงอชิ้นงานที่กระบวนการ

ห่อหุ้มหน้าชิ้นงานโดยกำหนดเป้าหมายของการศึกษาค้างนี้คือลดจำนวนของเสียเทียบต่อล้านชิ้นของของเสียประเภทความหนาชิ้นงานเกินขนาดจาก 600PPM เป็นน้อยกว่า 250 PPM

## 8.2 ขั้นตอนการวัด

ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดปัญหาโดยเริ่มจากการศึกษาระบบการวัด (Gage R&R) ของค่าความโค้งงอชิ้นงานซึ่งเป็นข้อมูลประเภทสามารถวัดได้ โดยเริ่มจากการเลือกตัวอย่างเพื่อทำการศึกษาคำเครื่องมือวัดจำนวน 10 ตัวอย่าง พนักงานชำนาญการที่สามารถวัดงานได้ถูกต้องจำนวน 3 คน โดยการวัดงานแต่ละชิ้นจะวัดงานซ้ำ 2 ครั้งการศึกษาระบบการวัดค่าความโค้งงอเป็นการวัดงานแบบไม่ทำลาย (Non Destructive Part) ผลการวิเคราะห์พบว่าความแปรปรวนจากกระบวนการผลิตเท่ากับ 99.83 ความแปรปรวนจากสาเหตุรีพีทอะบิลิตีเท่ากับ 0.12 และความแปรปรวนจากสาเหตุรีโพรดิวซิเบิลิตีเท่ากับ 0.05ความผันแปรจากระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (%SV หรือ P/V) เท่ากับ 4.11% ความผันแปรจากระบบการวัดเทียบกับขอบเขตความคลาดเคลื่อนอนุโลม (%Tolerance) เท่ากับ 5.82% และNDC มีค่ามากกว่า 5 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสามารถยอมรับระบบการวัดนี้ได้

จากนั้นพิจารณาความสามารถกระบวนการในปัจจุบันพบว่าความสามารถกระบวนการในปัจจุบันมีการกระจายตัวปกติ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 92.72 ไมครอนและค่าเบี่ยงเบนเท่ากับ 5.05457 ความสามารถกระบวนการ Cpk เท่ากับ0.48ซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ดังนั้นจึงต้องทำการปรับปรุงกระบวนการ

การระดมสมองในทีมเพื่อค้นหาสาเหตุและปัจจัยของการเกิดความโค้งงอชิ้นงาน โดยการศึกษาจาก 4M คือคน เครื่องจักร วัสดุดิบ และวิธีการ ซึ่งพบว่าปัจจัยทั้งหมด 15 ปัจจัย จึงได้หาความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลโดยการให้คะแนนความสัมพันธ์จากในทีมและทำการคัดเลือกปัจจัยที่จะทำการปรับปรุงโดยใช้แผนภาพพาเรโตในการวิเคราะห์ ซึ่งพบว่าปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อค่าความโค้งงอของชิ้นงานมี 4 ปัจจัยคืออุณหภูมิอบชิ้นงาน อุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิDAM และอุณหภูมิFILL ซึ่งจะนำปัจจัยเหล่านี้ไปทำการทดสอบสมมติฐานว่ามีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อไป

### 8.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์

การวิเคราะห์เพื่อค้นหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเกิดความถี่ของงานโดยการออกแบบการทดลอง เพื่อทดสอบสมมติฐานปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเกิดความถี่ของงานอย่างมีนัยสำคัญ โดยตัวแปรนำเข้าที่ทำการศึกษาคืออุณหภูมิอบชิ้นงาน อุณหภูมิเริ่มต้น อุณหภูมิ DAM และอุณหภูมิ FILL การออกแบบการทดลองได้เลือกแบบแฟคทอเรียล  $2^k$  จำนวนการทำซ้ำ 3 ครั้ง ซึ่งมีการทดลองทั้งหมด 48 การทดลองพบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเกิดความถี่ของงานอย่างมีนัยสำคัญมี 3 ปัจจัยคืออุณหภูมิ DAM อุณหภูมิ FILL และอุณหภูมิอบชิ้นงาน

### 8.4 ขั้นตอนการปรับปรุง

จากขั้นตอนการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเกิดความถี่ของงานอย่างมีนัยสำคัญมี 3 ปัจจัยคืออุณหภูมิ DAM อุณหภูมิ FILL และอุณหภูมิอบชิ้นงานจึงได้ทำการทดลองเพิ่มเพื่อหาค่าติดตั้งที่เหมาะสมของ 3 ปัจจัยนี้ โดยวิธีการออกแบบการทดลองพื้นผิวตอบแบบบีออกซ์-เบนเคนซ์ การทดลองมีระดับปัจจัยอย่างละ 3 ระดับ มีจำนวนการทดลอง 15 การทดลอง

เนื่องจากดัชนีชี้วัดการปรับปรุงกระบวนการคือจำนวนของเสียเทียบต่อล้านชิ้นต้องลดลงจาก 600 PPM เป็นน้อยกว่า 250 PPM จึงได้ตั้งค่าเป้าหมายที่ 45 ไมครอนและทั้งนี้ได้กำหนดขอบเขตบนค่าความถี่ของงานเท่ากับ 70 ไมครอน จากการทดลองพบว่าค่าติดตั้งที่เหมาะสมของอุณหภูมิ DAM มีค่าเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ FILL 65 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิการอบ 41 องศาเซลเซียส

### 8.5 ขั้นตอนการควบคุม

ขั้นตอนการติดตามและควบคุมกระบวนการเป็นขั้นตอนควบคุมให้กระบวนการอยู่ในขอบเขตควบคุม โดยใช้แผนควบคุมเพื่อควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อความถี่ของงานให้อยู่ในระดับที่ติดตั้งและติดตามผลการปรับปรุงโดยใช้แผนภูมิควบคุม  $\bar{X}$ -R ในการติดตามผล ซึ่งพบว่าหลังจากที่ได้ประยุกต์ใช้ค่าติดตั้งที่เหมาะสมที่กระบวนการห่อหุ้มหน้าชิ้นงานจำนวนของเสียเทียบต่อล้านชิ้น



ลดลงจาก 600 PPM เป็น 184 PPM ทั้งนี้ความสามารถกระบวนการได้ถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นจาก Cpk 0.48 เป็น 1.66 เมื่อคำนวณมูลค่าความสูญเสีย สามารถลดมูลค่าความสูญเสียเป็นจำนวนเงิน 1,313,074 บาทต่อปีและไม่พบลูกค้าร้องเรียนในเรื่องชิ้นงานมีความโค้งงอ

## 8.6 ข้อจำกัดในการทำวิจัย

ข้อจำกัดในการศึกษาวิจัยมีดังนี้

1. ชิ้นงานที่นำมาทำการศึกษาคือเป็นผลิตภัณฑ์ซีพชนิดตะหรือสั่มผัสเท่านั้น
2. การทดลองได้ทดลองบนกระบวนการปัจจุบันซึ่งมีการผลิตในสายงานปกติ ดังนั้นการทดลองจึงไม่สามารถทดลองและเก็บข้อมูลได้ในระยะเวลาอันสั้น จึงต้องใช้เวลาในการทำ การทดลองและเก็บข้อมูล
3. เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนในการทดลองจึงเลือกเครื่องจักรที่ทำการทดลองเพียง เครื่องเดียวและมีพนักงานที่คอยช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลเพียงคนเดียวซึ่งอยู่ในความ ดูแลของวิศวกร

## 8.7 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะมีดังต่อไปนี้

1. การปรับปรุงกระบวนการโดยใช้หลักการซิกส์ ซิกม่าเป็นแนวทางที่ดีในการปรับปรุงกระบวนการ ทั้งนี้ผลการปรับปรุงกระบวนการได้ประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ ดังนั้นสามารถนำหลักการซิกส์ ซิกม่าไปประยุกต์ใช้ในการกระบวนการอื่นๆได้
2. ผลการทดลองในการศึกษาครั้งนี้สามารถเป็นแนวทางในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ที่มี ลักษณะใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำการศึกษานี้ได้
3. การดำเนินการปรับปรุงกระบวนการจะประสบความสำเร็จได้ต้องได้รับความร่วมมือจากทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และได้รับการช่วยเหลือจากหัวหน้างานในการดำเนินงานตลอดโครงการ

## รายการอ้างอิง

- Antony, J., and Banuelas, R. (2002). Design for Six Sigma. *Manufacturing Engineer*, 24-26.
- Kanani, Y. G. (2006). Study and analysis of control phase role for increasing the Success of six sigma projects. *Management of Innovation and Technology*, 2, 826-829.
- Kim, S. (2008). Enhanced Evaluation Method of Sigma Level in Six-Sigma Activities. *Management of Innovation and Technology*, 4, 1116-1119.
- Radhakrishnan, R., and Sivakumaran, P. K. (2009). Construction of Double Sampling Plans through Six Sigma Quality Levels. *International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization*, 2, 1027-1030.
- Robert, L. (1999). Making the Six Sigma Leap Using SPC Data. *Electronics Manufacturing Technology Symposium*, 24, 50-53.
- Su, C., Chiang, T., and Chiao, K. (2005). Optimizing the IC Delamination Quality via Six-Sigma Approach. *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing*, 28, 241-248.
- Su, C., and Chou, C. (2008). A systematic methodology for the creation of Six Sigma projects: A case study of semiconductor foundry. *Expert Systems with Applications*, 34, 2693-2703.
- Uy, A., Picardal, M., Enriquez, P., and Alaraz, A. (2010). Package Crack Resolution through Low Stress Dambar Punch Design: A Six Sigma DMAIC Approach. *International Electronic Manufacturing Technology Conference*, 34, 1-10.
- Wang, H. (2008). A Review of Six Sigma Approach: Methodology, Implementation and Future Research. *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, 4, 1-4.
- จักรชัย น้ำผึ้ง. (2555). การพัฒนาการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิต แผงวงจรรวมที่ผ่านการชุบผิวแบบ PPF (Pre-Plated-Frame). วารสารการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม, 388-398.

- จักริน ยิ้มย่อง. (2555). การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดของเสียโดยใช้หลักการซิกซ์ ซิกม่า : กรณีศึกษา บริษัท เล็นดัส เทคโนโลยีส์ (ไทย) จำกัด. (ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- นภัตตวงษ์ วิจารณ์โรวรรณ. การควบคุมคุณภาพ (Quality Control). คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.
- ปารเมศ ชูติมา. (2545). การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม (Vol. 1). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วราวุฒิ แก้วอ่อน. (2556). การลดของเสียจากข้อเสียบเปลี่ยนสีของแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์. (ปริญญามหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วสันต์ พุกผาสุข. (2551). การลดของเสียจากกระบวนการชุบโครเมียมโดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า: กรณีศึกษาบริษัทในอุตสาหกรรมชุบโครเมียม. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 33-42.







## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวศันสนีย์ พิสุทธิกุลกิจ เกิดวันที่ 25 สิงหาคม พ.ศ. 2527 จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในปีการศึกษา 2549 ภายหลังจากจบการศึกษาได้เข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกรควบคุมคุณภาพจนถึงปัจจุบัน จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2556

