บทที่ 2

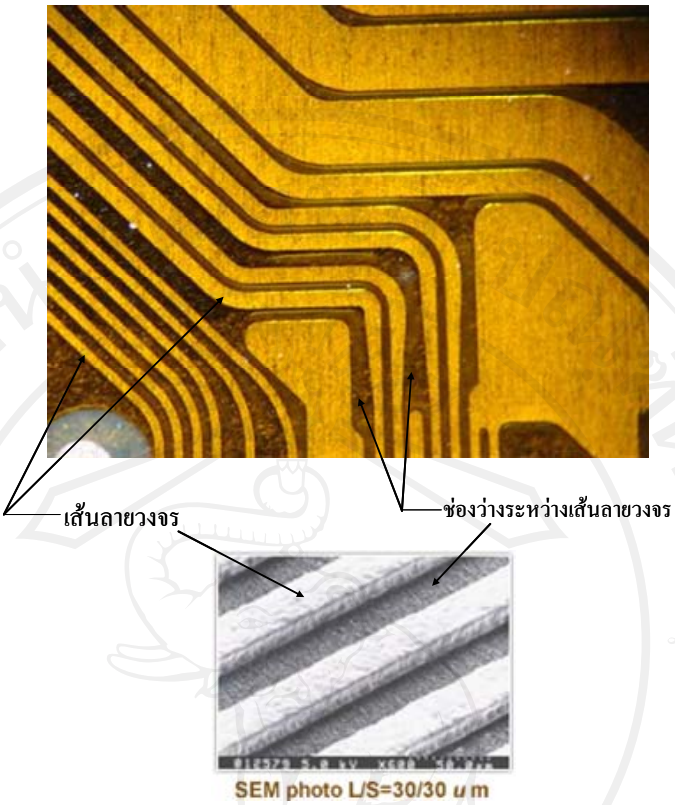
แนวคิดทฤษฎีและวรรณกรรมปริทัศน์

งานวิจัยนี้เป็นการนำเทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment; DOE) มาประยุกต์ใช้ร่วมกับแนวคิดทางซิกส์ ซิกม่าเพื่อวิเคราะห์หาตัวแปรที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงของการดึงลอกระหว่างแผงวงจรแบบอ่อนและแผ่นเสริมกำลัง เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์หาช่วงของคุณลักษณะที่ต้องการ (Specification Tolerance) ของตัวแปรเหล่านั้นที่จะทำให้ค่าความแข็งแรงของการดึงลอกระหว่างแผงวงจรแบบอ่อนและแผ่นเสริมกำลังอยู่ภายใต้การควบคุม รวมทั้งการจัดทำและปรับปรุงแผนควบคุม (Control) ตัวแปรหลักของการผลิต (Key Process Input Variables) ต่างๆ ร่วมกับแผนการดูแล (Monitor) ค่าความแข็งแรงของการดึงลอก สำหรับทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้องที่ได้นำมาใช้ในงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

2.1 กระบวนการผลิตแผงวงจรจรแบบอ่อน (Manufacturing of Flexible Circuit Board)

แผงวงจรแบบอ่อนคือ เส้นลายวงจรที่พิมพ์ลงบนวัสดุที่มีความบาง และสามารถให้ตัว (โค้งและบิด) ได้โดยไม่ทำให้เส้นลายวงจรเกิดความเสียหาย วัสดุฐานของแผงวงจรแบบอ่อนกระแสไฟฟ้าจะต้องไม่สามารถไหลผ่านได้ โดยจะนำไปยึดติดกับเส้นลายวงจร (Trace) โดยวัสดุเส้นลายวงจรมีคุณสมบัตินำไฟฟ้า โดยทั่วไปใช้วัสดุ ทองแดง หรือเงิน โดยมีระห่างของเส้นลายวงจร (Space) เป็นตัวกำหนดรูปแบบเส้นลายวงจร ดังแสดงในรูป 2.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.1 แสดงเส้นลายวงจรและช่องว่างระหว่างเส้นลายวงจร (Circuit Trace and Circuit Space) (บริษัทวิจัย, 2007)

2.1.1 การศึกษาวัสดุที่ใช้ในการผลิตแผงวงจรแบบอ่อน

วัสดุที่ใช้ในการผลิตแผงวงจรแบบอ่อน ประกอบไปด้วย

2.1.1.1 วัสดุพื้นผลิตภัณฑ์แผงวงจรแบบอ่อนมีคุณสมบัติดังนี้

1. มีความเสถียรของขนาด
2. มีคุณสมบัติในการต้านทานความร้อน
3. ต้านทานการฉีกขาด
4. มีความยืดหยุ่นในแต่ละช่วงความแตกต่างของอุณหภูมิได้ดี
5. มีค่าการดูดซึมความชื้นต่ำ
6. ป้องกันการกัดกร่อนจากสารเคมีได้ดี
7. มีราคาต่ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บริษัทตัวอย่างวิจัยเลือกใช้วัสดุพื้นฉนวน (Dielectric Substrate Films) ชนิด โพลีเอไมนด์ (Polyimide, PI) ซึ่งในตลาดทั่วไปมีชื่อเรียกทางการค้า เช่น ดูพองค์แคปตอล (DuPont Kapton), คาเนกา แอปปริคอล (Kaneka Apical) โดยมีคุณสมบัติดังนี้

- จุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส
- สามารถคงคุณสมบัติทางโครงสร้างในอุณหภูมิต่างกันได้
- สามารถคงคุณสมบัติการดูดซึมความชื้นจากอากาศต่ำ ในแต่ละช่วง-ความชื้นได้ดี
- มีสีส้ม ซึ่งเป็นสีพื้นฐานของผลิตภัณฑ์แผงวงจรแบบอ่อน

2.1.1.2 ชั้นกาว (Adhesive)

ชั้นกาวสำหรับยึดติดชั้นวัสดุแผงวงจรแบบอ่อนจะต้องเลือกให้เหมาะสมกับวัสดุพื้นฉนวน และแผ่นทองแดง บริษัทเลือกใช้วัสดุกาวสองประเภทด้วยกัน

1.กาวสำหรับยึดติดชั้นทองแดงกับวัสดุพื้นฉนวน

2. กาวสำหรับยึดติดวัสดุเคลือบด้านบน และวัสดุเสริมแรง

กาวสำหรับยึดติดแผงวงจรแบบอ่อนจะต้องติดด้วยวิธีเคลือบด้วยความร้อนโดยจะปรับสภาพตัวเองให้สามารถไหลไปตามช่องว่างของเส้นลายวงจร เมื่อโดยกดติดด้วยความร้อน และจะต้องสามารถคืนคุณสมบัติการเป็นของแข็ง และคงสภาพได้เมื่อเย็นตัว โดยคุณสมบัติก่อนและหลังได้รับความร้อนจะต้องคงเดิม

2.1.1.3 ชั้นแผ่นทองแดง (Copper Foil)

ทองแดงเป็นวัสดุที่ใช้ทำเส้นหลายวงจรกันแพร่หลาย โดยอาจจะมาจากราคาไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับคุณสมบัติในการใช้งาน บริษัทได้เลือกใช้ชนิดของแผ่นทองแดงโดยดูจากคุณสมบัติด้านต่างๆดังตารางที่ 2.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของแผนทองแดงที่ใช้ในการผลิตแผงวงจรแบบอ่อน (บริษัทวิจัย, 2007)

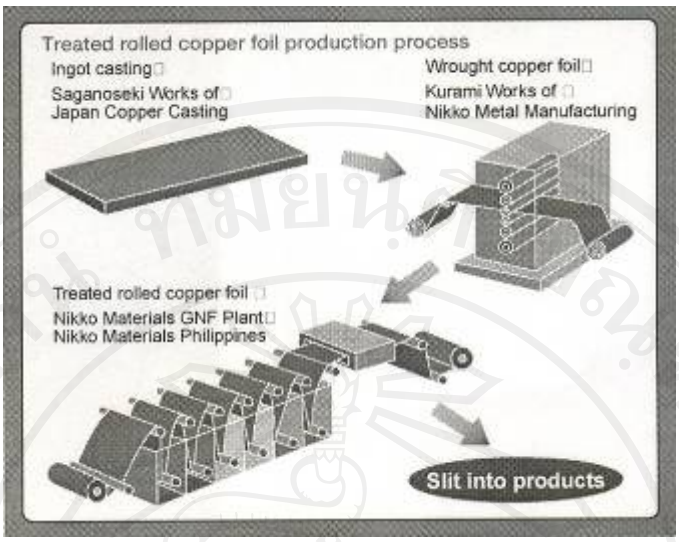
IPC-4562 (formerly IPC-MF-150) Cu Foil Categories

Copper Foil Type	Number	Designator	Description
Electro-Deposited (E) Copper Foils	1	STD - Type E	Standard Electro-Deposited
	2	HD - Type E	High Ductility Electro-Deposited
	3	HTE - Type E	High Temperature Elongation Electro-Deposited
	4	ANN - Type E	Annealed Electro-Deposited
Wrought (W) Copper Foils	5	AR - Type W	As-Rolled Wrought
	6	LCR - Type W	Light Cold Rolled Wrought
	7	ANN - Type W	Annealed Wrought
	8	LTA - Type W	Low Temperature Annealable As Rolled Wrought

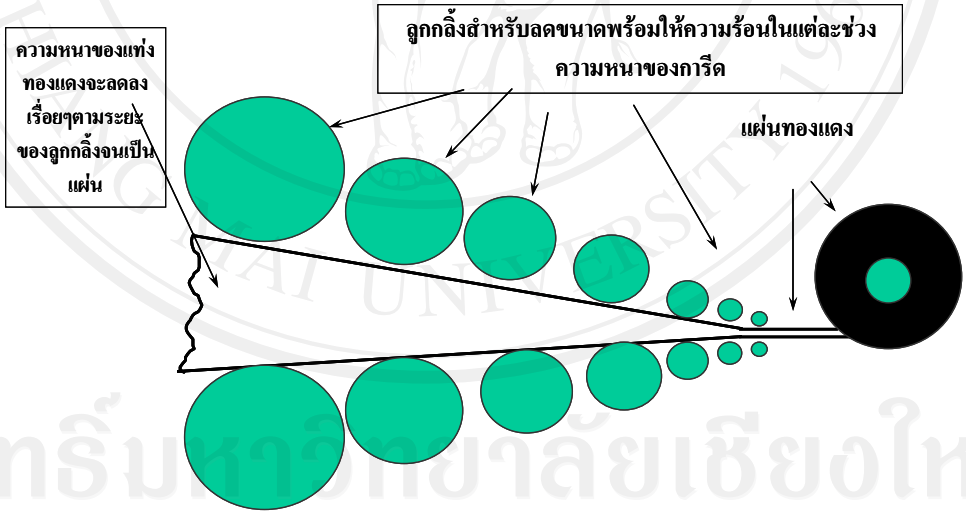
แผ่นทองแดงจะผลิตและขายตามน้ำหนัก โดยมีหน่วยวัดเป็น ออนซ์ (Ounces) ต่อตารางฟุต คือ เช่นหนึ่งตารางฟุตของหนึ่งออนซ์ จะได้แผ่นทองแดงน้ำหนักหนึ่งออนซ์ เป็นต้น หรือถ้าจะวัดเป็นความหนา หนึ่งออนซ์ทองแดงจะมีความหนาเท่ากับ 0.00135 นิ้ว หรือ 0.070 มิลลิเมตร

แผ่นทองแดงที่บริษัทเลือกใช้สำหรับผลิตภัณฑ์แผงวงจรรุ่น WDC แบบ อาร์เอ (Rolled-Annealed, RA) การผลิตจะเริ่มจากการรีดทองแดงจากแท่งโดยลดระยะห่างของลูกกลิ้งลง จะได้ขนาดความหนาแผ่นทองแดงที่ต้องการ โดยแผ่นทองแดงที่ได้จากการรีดจะมีความเรียบและความลื่นของผิวสูง โดยระหว่างการรีดลดขนาดความหนาจะมีการให้ความร้อนไปด้วย โดยการกดอัดภายใต้ความร้อน ที่เหมาะสมจะทำให้ลักษณะโครงสร้างทองแดงเหมาะสมกับผลิตแผงวงจรแบบอ่อน และหล่อเย็นเพื่อให้โครงสร้างทองแดงคงรูป และลดความเครียดภายในโครงสร้างแผ่นทองแดงดังแสดงในรูป 2.2 และรูปที่ 2.3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



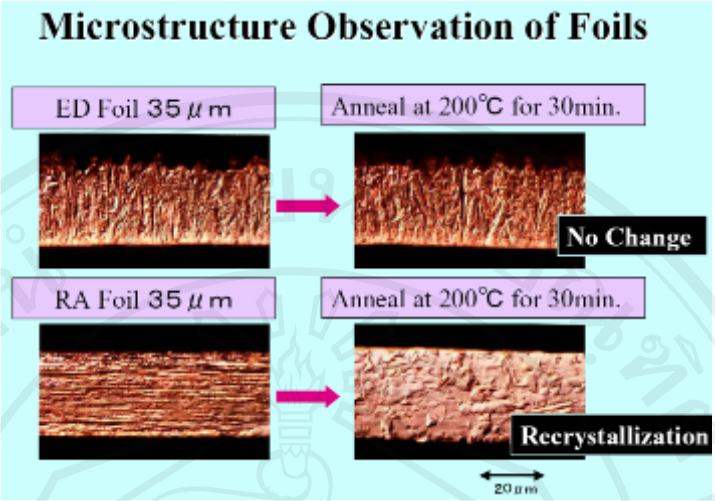
รูปที่ 2.2 แสดงการผลิตแผ่นทองแดงผลิตภัณฑ์แผงวงจรแบบอ่อน (บริษัทวิจัย, 2007)



รูปที่ 2.3 แสดงการรีดแผ่นทองแดงผลิตภัณฑ์แผงวงจรแบบอ่อน (บริษัทวิจัย, 2007)

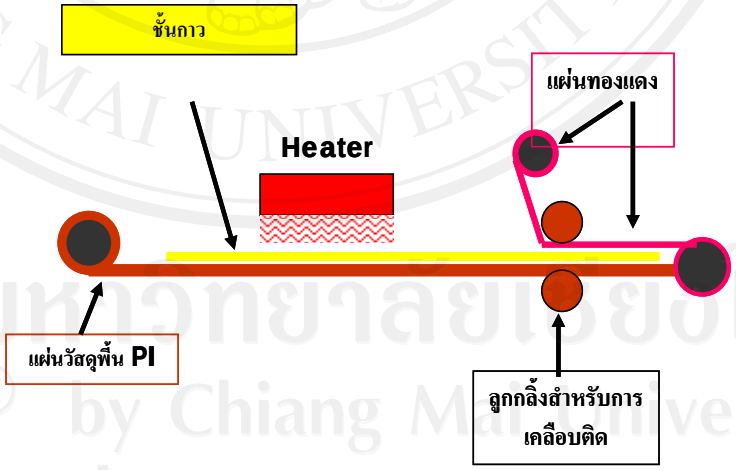
โครงสร้างของแผ่นทองแดงที่ได้จากขบวนการรีด จะมีความแข็งแรง รับการยืดหยุ่นโดยการบิดงอ หรือเคลื่อนที่ได้โดยไม่ทำให้โครงสร้างเสียหาย รูปที่ 2.4 แสดงภาพตัดโครงสร้างแผ่นทองแดงจากขบวนการรีด เปรียบเทียบกับขบวนการอื่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.4 แสดงภาพตัดโครงสร้างแผ่นทองแดงที่ผลิตโดยกระบวนการีดเปรียบเทียบกับขบวนการอื่น (บริษัทวิจัย, 2007)

จากการศึกษาส่วนประกอบต่างๆของวัสดุผลิตแผงวงจรแบบอ่อน ก็จะทราบถึงหน้าที่และความสำคัญของแต่ชั้นของแผงวงจรแบบอ่อน เมื่อบริษัทได้รับวัสดุแต่ละชั้นมาจะนำเข้าขบวนการเพื่อทำการยึดติดวัสดุแต่ละชั้นเข้าด้วยกัน โดยการใช้ลูกกลิ้งความร้อนรีดกดอัดแต่ละชั้นด้วยความร้อนและแรงกดที่เหมาะสมดังแสงในภาพที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงภาพจำลองขบวนการเคลือบติดวัสดุสำหรับการผลิตแผงวงจรแบบอ่อน (บริษัทวิจัย, 2007)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเคลือบติดวัสดุเพื่อผลิตแผงวงจรแบบอ่อนสามารถทำได้หลายชั้นโดยขึ้นอยู่กับความต้องการใช้งาน โดยจำนวนชั้นของแผงวงจรจะนับชั้นของวัสดุทองแดง ซึ่งเป็นวัสดุนำไฟฟ้าของผลิตภัณฑ์แผงวงจรแบบอ่อนเป็นหลัก ดังแสดงภาพจำลองจำนวนชั้นหนึ่งชั้นของผลิตภัณฑ์แผงวงจรแบบอ่อนในรูปที่ 2.6 และจำนวนชั้นสองชั้นในรูปที่ 2.7

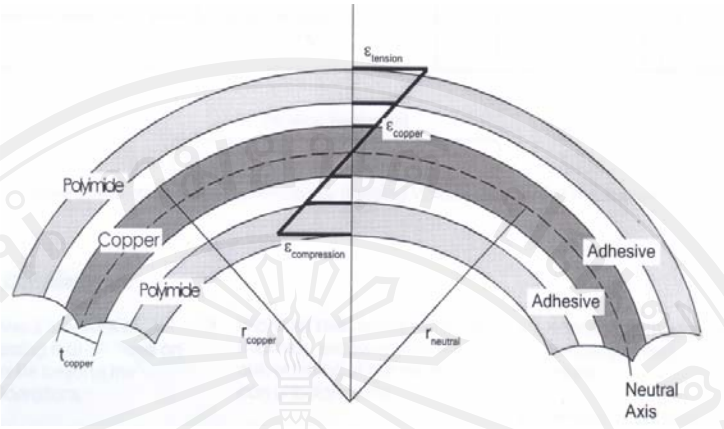
รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างแผงวงจรแบบชั้นเดียว (บริษัทวิจัย, 2007)

รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างแผงวงจรแบบสองชั้น (บริษัทวิจัย, 2007)

2.1.2 การศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์แผงวงจรแบบอ่อนรุ่น WDC

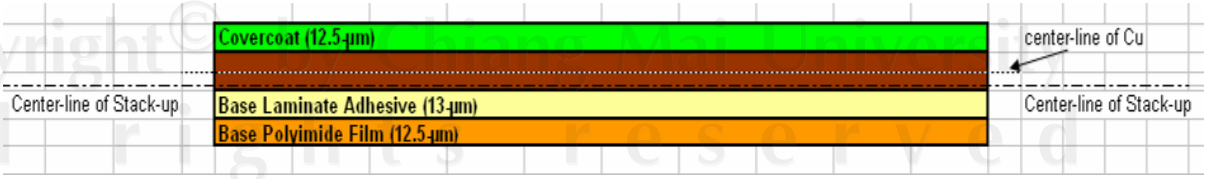
ผลิตภัณฑ์แผงวงจรแบบอ่อนรุ่น WDC เป็นผลิตภัณฑ์แผงวงจรแบบอ่อนประเภทเคลื่อนที่ได้ (Dynamic Flex) โดยในการออกแบบแผงวงจรประเภทนี้ส่วนสำคัญที่สุดต้องคำนึงถึงส่วนที่เคลื่อนที่ (Dynamic Area) เพราะการเคลื่อนที่จะต้องสมดุลย์กันทั้งระนาบการเคลื่อนที่ และการเคลื่อนที่ไป-กลับในระนาบจะต้องใช้แรงกระทำที่เท่ากัน ดังนั้นในการออกแบบแผงวงจรแบบอ่อนแบบเคลื่อนที่ได้จะมีดโครงสร้างชั้นของแผงวงจรที่กำหนดให้ส่วนนำกระแสไฟฟ้า หรือชั้นทองแดงต้องอยู่กลางของชั้นโครงสร้าง ดังรูปที่ 2.8

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.8 แสดงการวางโครงสร้างแบบสมดุลของแผงวงจรแบบอ่อนแบบเคลื่อนที่ได้ (บริษัทวิจัย, 2007)

อย่างไรก็ตามถ้าการออกแบบโดนบังคับด้วยชนิดของชั้นวัสดุจากลูกค้าบางครั้งอาจจะทำให้การวางชั้นโครงไม่เป็นไปตามข้อกำหนดแต่ยังมีวิธีการหนึ่งที่ออกแบบให้สำหรับผลิตภัณฑ์แผงวงจรแบบอ่อนที่กึ่งกลางของชั้นทองแดงไม่ใช่กึ่งกลางของแผงวงจร โดยวิธีการออกแบบลักษณะนี้จะวิเคราะห์จากความหนาโดยรวมทุกชั้นโครงสร้างของแผงงวงจรแบบอ่อน จากนั้นพยายามออกแบบให้ชั้นของทองแดงอย่างน้อยส่วนใดส่วนหนึ่งยังอยู่ในเส้นกึ่งกลางของความหนาทั้งโครงสร้างผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในรูป 2.9 แต่ในอุตสาหกรรมผลิตหน่วยความจำ (Hard Disc) ของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์จะไม่ค่อยเป็นที่นิยมเพราะแผงวงจรแบบอ่อนที่ใช้ในหน่วยความจำจะมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง และต้องการตำแหน่งการเคลื่อนที่ถูกต้องแม่นยำอยู่ตลอดเวลา แต่จะใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้า หรืออุปกรณ์ที่มีการเคลื่อนที่ไม่มากนัก



รูปที่ 2.9 แสดงการวางโครงสร้างแบบสมดุลความหนาของแผงวงจรแบบอ่อนแบบเคลื่อนที่ได้ (บริษัทวิจัย, 2007)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยการศึกษาจะเริ่มจากขบวนการน้ำวัสดุที่ได้เคลือบติดแผ่นทองแดงกับวัสดุพื้นฉนวนแล้วมาทำการขึ้นลาย โดยแสดงผังการผลิตโดยภาพรวมดังแสดงผังการผลิตดังรูปที่ 2.10

รูปที่ 2.10 แสดงผังการผลิตผลิตภัณฑ์แผงวงจรแบบอ่อนรุ่น WDC (บริษัทวิจัย, 2007)

แล้วประกอบไปด้วยกระบวนการผลิตอยู่หลายกระบวนการ แบ่งออกเป็น 3 ขบวนการการผลิตหลักดังนี้

2.1.2.1 สายการติดชั้นโพลีไอไมด์ (Polyimide) ด้านบน (Coverfilm Cell)

2.1.2.2 สายการทำสำเร็จพื้นผิวเปิดของเส้นลายวงจร (Surface Finishing Cell)

2.1.2.3 สายการทำสำเร็จแผงวงจรแบบอ่อน (Flex Finishing Cell)

2.1.2.1 สายการติดแผ่นเคลือบ ด้านบน (Coverfilm Laminate)

จุดประสงค์หลักของสายการผลิตนี้ก็เพื่อที่จะทำการประกบติดชั้นของโพลีไอไมด์ที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า เข้ากันกับชั้นของเส้นลายวงจรทองแดงที่เป็นตัวนำไฟฟ้า ซึ่งเกิดจากการกัดชั้นของแผ่นทองแดงที่มีชั้นของโพลีไอไมด์ติดรองรับอยู่ด้านล่างให้กลายเป็นแผงเส้นลายวงจร โดยชั้นของโพลีไอไมด์ที่ถูกนำมาประกบติดด้านบนนั้นบางส่วนจะถูกเจาะออกก่อนที่จะนำมาประกบกับชั้นของเส้นลายวงจรทองแดงเพื่อให้เหลือบริเวณที่เป็นพื้นผิวเปิดของทองแดง ยังผลให้เกิดบริเวณที่สามารถนำไฟฟ้าได้ตามแต่การออกแบบ ทั้งนี้ในรายละเอียดปลีกย่อยแล้วสายการผลิตนี้จะประกอบไปด้วยกระบวนการผลิตต่างๆที่เกี่ยวข้องและมีความสำคัญดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. การตัดแผ่นงานจากม้วน (Slitting) เพื่อทำการตัดแบ่งม้วน (Roll) ของเส้นลายวงจรให้มาอยู่ในรูปของแผ่น (Panel) เพื่อให้ได้ขนาดที่เป็นมาตรฐานก่อนที่จะสามารถถูกนำเข้าสู่กระบวนการผลิตอื่นๆที่อยู่ถัดไปได้

2. การเจาะรูสำหรับยึดกับเครื่องมือ (Tooling Hole Punching) เพื่อทำการเจาะรูบนแผ่น (Panel) ที่ถูกออกแบบไว้เพื่อยึดติดเข้ากับอุปกรณ์จับยึด (Fixture) ที่กระบวนการต่างๆ

3. การเจาะรูปชิ้นงานโดยใช้เลเซอร์ (Feature Lasering) เพื่อทำการเจาะผิวโพลีไอไมด์ (Polyimide) ด้านล่างให้เกิดเป็นรูปร่างได้ตามข้อจำกัดที่ถูกออกแบบไว้ตามที่ลูกค้าต้องการ

4. การทำความสะอาดด้วยมือ คลื่นอัลตร้าโซนิค และน้ำ (Manual, Ultrasonic and Aqueous Cleaning) เพื่อทำความสะอาดคราบเขม่าและสิ่งปนเปื้อนประเภทสารอนินทรีย์ที่เกิดจากกระบวนการเจาะรูปชิ้นงานโดยใช้เลเซอร์

5. การทำความสะอาดแผ่นงานด้วยสารเคมี (Panel Cleaning) เพื่อทำการกัดเซาะคราบออกไซด์และสิ่งปนเปื้อนประเภทสารอนินทรีย์ออกจากผิวของเส้นลายวงจรทองแดง

6. การวางชั้นฟิล์ม (Coverfilm Lay Up) เพื่อทำการประกบชั้นของฟิล์มโพลีไอไมด์ (Polyimide) เข้ากันกับชั้นของเส้นลายวงจรทองแดงอย่างคร่าวๆ ก่อนเข้าสู่กระบวนการติดชั้นฟิล์ม (Lamination) ในขั้นตอนถัดไป ทั้งนี้อาจจะต้องมีการอบ (Pre-bake) แผ่น (Panel) หลังจากผ่านกระบวนการวางชั้นฟิล์มนี้ก่อนเข้ากระบวนการติดชั้นฟิล์ม (Lamination) เพื่อไม่ให้กาวที่ติดกับชั้นของฟิล์มโพลีไอไมด์ (Polyimide) อยู่ มีการไหลตัวออกมา (Adhesive Squeeze Out) บนพื้นผิวเปิดของทองแดงมากเกินไปหลังผ่านกระบวนการติดชั้นฟิล์ม (Lamination)

7. การติดชั้นฟิลม์ (Lamination) เพื่อทำการประกบชั้นของฟิลม์โพลีไอไมด์เข้ากันกับชั้นของเส้นลายวงจรทองแดงอย่างถาวร โดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องคือ อุณหภูมิ ความดัน และเวลา

8. การทำความสะอาดด้วยพลาสม่า (Plasma Clean) เพื่อทำความสะอาดสิ่งปนเปื้อนประเภทสารอินทรีย์บริเวณพื้นผิวเปิดของทองแดงให้มีความสะอาดมากที่สุดก่อนเข้าสู่สายการทำสำเร็จพื้นผิวเปิดของเส้นลายวงจร (Surface Finishing)

2.1.2.2 กระบวนการปรับปรุงพื้นผิวเปิดของเส้นลายวงจร (Surface Finishing Cell)

จุดประสงค์หลักของสายการผลิตนี้ก็เพื่อที่จะทำการชุบหรือเคลือบพื้นผิวเปิดของทองแดง ตามแต่จุดประสงค์ในการออกแบบผลิตภัณฑ์และการใช้งานของลูกค้าแต่ละราย ซึ่งพื้นผิวที่เป็นที่นิยมในผลิตภัณฑ์กลุ่มต่างๆโดยทั่วไปได้แก่

1. อิเล็คโทรไลทิคบอนด์เอเบิลโกลด์ (Electrolytic Bondable Gold)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. อิเล็คโทรไลทิคฮาร์ดโกลด์ (Electrolytic Hard Gold)

3. ไกลโค๊ท (Glicoat) หรือ โอเอสพีโค๊ทติ้ง (OSP Coating)

4. ทิน-คอปเปอร์ เพลตติ้ง (Tin–Copper [Sn–Cu] Plating)

5. อิเล็คโทรเลสนิกเกิลอิมเมอร์ชั่นโกลด์ (Electroless Nickel Immersion Gold; ENIG)

6. อิมเมอร์ชั่นซิลเวอร์ (Immersion Silver; IAg)

2.1.3 สายการทำสำเร็จแผงวงจรแบบอ่อน (Flex Finishing)

จุดประสงค์หลักของสายการผลิตนี้ก็เพื่อที่จะทำการเปลี่ยนรูปและทำสำเร็จผลิตภัณฑ์จากรูปของแผ่น (Panel) มาอยู่ในรูปของชิ้นส่วนทางอิเล็กโทรนิค (Single Flexible Circuit) ในขั้นสุดท้ายก่อนส่งมอบในรูปของผลิตภัณฑ์ (Finished Product) เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนของลูกค้าต่อไป ซึ่งสายการผลิตนี้จะประกอบไปด้วยกระบวนการผลิตต่างๆที่เกี่ยวข้องและมีความสำคัญดังนี้

1. การตัดแบ่งแผ่นงาน (Penalization) เพื่อทำการตัดแบ่งแผ่น (Panel) ที่มีขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงให้ได้ขนาดที่เป็นมาตรฐานก่อนถูกนำเข้าสู่กระบวนการผลิตอื่นๆของสายการทำสำเร็จแผงวงจรแบบอ่อน

2. การทำความสะอาดแผ่นงานด้วยลูกกลิ้ง (Manual Clean หรือ Roller Clean) เพื่อทำความสะอาดฝุ่นผงที่ตกค้างบน แผ่น (Panel) โดยการใช้ลูกกลิ้งที่มีความหนืดกลิ้งลงบนผิวของแผ่น (Panel) ไปมาเพื่อยึดเกาะและดูดซับสิ่งปนเปื้อนเหล่านั้นออกจากแผ่น (Panel)

3. การติดแผ่นกาว (Adhesive Lay Up) เพื่อทำการติดแผ่นกาวไพราลักซ์ (Pyralux ®) เข้ากับแผ่น (Panel) เพื่อใช้เป็นตัวกลางในการประกบและยึดติดเข้ากับแผ่นเสริมกำลัง (Stiffener) ในกระบวนการติดแผ่นเสริมกำลังอย่างเร็ว (Fast Lamination) ซึ่งทั้ง 2 กระบวนการนี้จะมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องคือ อุณหภูมิ ความดัน และเวลา

4. การตัดชิ้นงาน (Stamping) เพื่อทำตัดชิ้นงานในรูปของแผ่น (Panel) มาอยู่ในรูปของชิ้นงานแผงวงจรแบบอ่อน (Single Flexible Circuit) ทั้งนี้ยังรวมไปถึงการเจาะรูเพิ่มบนชิ้นงานตามการออกแบบผลิตภัณฑ์และการใช้งานของลูกค้าอีกด้วย

5. การติดแผ่นเสริมกำลังอย่างเร็ว (Fast Lamination) เพื่อทำการประกบและยึดติดชิ้นงานแผงวงจรแบบอ่อน (Single Flexible Circuit) ที่ได้มาจากกระบวนการตัดชิ้นงาน (Stamping) และมีแผ่นกาวไพราลักซ์ (Pyralux ®) ติดอยู่ เข้ากับแผ่นเสริมกำลัง (Stiffener) โดยอาศัย อุณหภูมิ ความดัน และเวลา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

6. การทำความสะอาดด้วยน้ำ (Aqueous Clean) เพื่อทำความสะอาดสิ่งปนเปื้อนประเภทสารอนินทรีย์และฝุ่นผงต่างๆในขั้นตอนสุดท้าย

7.การอบชิ้นงาน (Baking) เพื่อทำให้ชั้นกาว จากการประกบและยึดติดชิ้นแผงวงจรแบบอ่อน (Single Flexible Circuit) เข้ากับแผ่นเสริมกำลัง (Stiffener) ที่กระบวนการติดแผ่นเสริมกำลังอย่างเร็ว เกิดการแข็งตัวอย่างสมบูรณ์โดยการเปลี่ยนสถานะจากโมโนเมอร์ (Monomer) เป็น โพลีเมอร์ (Polymer) ด้วยความร้อนและเวลาในการอบ

8. การอบไล่ก๊าซในชิ้นงาน เนื่องด้วยผลิตภัณฑ์สำเร็จที่ลูกค้านำไปใช้เป็นอุปกรณ์หัวอ่านฮาร์ดดิสก์ซึ่งมีการควบคุมความสะอาด และสิ่งปลอมปนในหน่วยการเก็บข้อมูลฮาร์ดดิสก์สูง ดังนั้น ในขึ้นสุดท้านก่อนการบรรจุภัณฑ์ส่งไปให้ลูกค้าจะต้องทำการอบเพื่อไล่ก๊าซคงค้างซึ่งอาจจะมาจากตัวชั้นกาวเองหรือมาจากการระเหิดจากชั้นโครงสร้างต่างๆของผลิตภัณฑ์แผงงวงจรแบบอ่อน

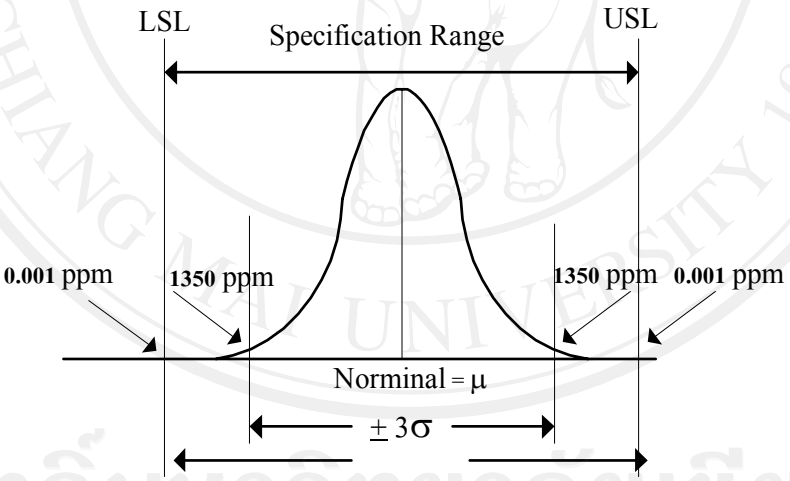
ซึ่งชิ้นงานหลังจากกระบวนการอบไล่ก๊าซในชิ้นงานนี้จะถูกสุ่มตรวจวัดคุณภาพในขั้นตอนสุดท้ายเพื่อเป็นการสร้างความมั่นใจต่อลูกค้า

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับซิกส์ ซิกม่า

ซิกซ์ ซิกม่า เป็นกระบวนการนำมาใช้ซึ่งหลักการและเทคนิคที่ได้มีการยอมรับกันแล้วถึงคุณ ภาพอย่างต่อเนื่องและเข้มข้น เป็นหลักการซึ่งได้จากการผนวกหลักการพื้นฐานของนักริเริ่มด้านคุณภาพต่างๆไว้มากมาย ซิกซ์ ซิกม่ามีเป้าหมายเพื่อให้ธุรกิจดำเนินไปอย่างไร้ข้อผิดพลาด (Error Free) ซึ่ง ดร.วิทยา สุหฤทดำรง และ นราศรี ถาวรกูล (2545) กล่าวว่า ซิกม่า คือ ภาษาในวิชาสถิติซึ่งมีสัญลักษณ์ σ เป็นตัวอักษรในภาษากรีกที่ใช้แทนความหมายของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ในทางสถิตินำมาใช้เป็นสัญลักษณ์แสดงแทนค่าความแปรปรวนในแต่ละระดับที่กำหนดขึ้น ค่าซิกม่าในแต่ละระดับนั้นมีค่าไม่เท่ากัน การลดลงของค่าซิกมานั้นสามารถสังเกตได้จากพื้นที่ภายใต้ขอบเขตที่กำหนดจากกราฟการกระจายตัวของข้อมูลรูประฆังคว่ำ ยิ่งค่าซิกมามีค่าสูงขึ้นค่าที่อยู่ในขอบเขตที่ต้องการย่อมมีค่าสูงขึ้น แสดงว่ามีค่าความแปรปรวนลดลงค่าที่อยู่ภายนอกขอบเขตย่อมลดลง แสดงว่าจำนวนของที่ไม่ต้องการลดลงด้วย โดยที่ในระดับหกซิกม่านั้นจะยอมรับให้เกิดของเสียได้ที่ปริมาณ 3.4 ชิ้นในการผลิต 1 ล้านชิ้นหรือที่เรียกว่า 3.4 พีพีเอ็ม (Parts Per Million ; PPM) ซึ่งหากเป็นไปตามเส้นโค้งการกระจายตัวตามปกติ (Normal Distribution Curve) ดังแสดงในรูป 2.1 จริงๆทางสถิตินั้นที่ระดับหกซิกม่าจะมีของเสียที่อยู่นอกขอบเขตของการยอมรับเท่ากับ 0.002 ชิ้น ต่อ 1 ล้านชิ้น แต่เหตุผลที่หลักการซิกส์ ซิกม่าใช้อยู่ใน

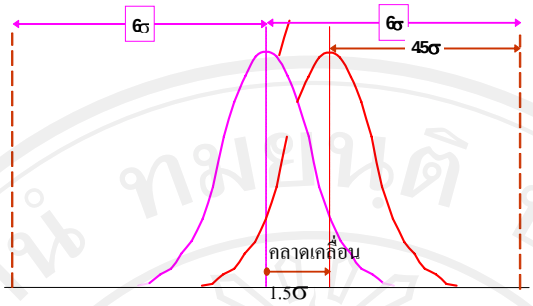
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปัจจุบันมีการยอมรับของเสียที่ 3.4 พีพีเอ็ม ดังแสดงในตาราง 1.1 ก็เพราะว่าในขณะที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล และทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนในบริษัทโมโตโรล่านั้นได้พบว่าไม่มีระบบการผลิตใดเลยที่จะไม่ถูกรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอก นั่นก็คือเราไม่สามารถควบคุมปัจจัยภายนอกเพื่อไม่ให้ส่งผลถึงความเบี่ยงเบนของข้อมูลได้ ซึ่งระบบที่ไม่มีความแปรปรวนเลยเป็นเพียงระบบในอุดมคติ (Ideal System) ดังนั้นโมโตโรล่าจึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลใหม่ในกระบวนการผลิตเพื่อหาความแปรปรวนที่เกิดจากปัจจัยภายนอก อันส่งผลถึงการคลาดเคลื่อนของค่ากึ่งกลางซึ่งได้ข้อสรุปจากการวิเคราะห์คือ ค่าเบี่ยงเบนของข้อมูลอันเนื่องจากปัจจัยภายนอกมีค่าอยู่ในช่วง 1.4 ถึง 1.6 เท่าของซิกม่า จึงนำค่าเฉลี่ยคือ 1.5 เท่าของซิกม่าเป็นค่าความเบี่ยงเบนของค่ากึ่งกลางข้อมูลที่ยอมรับได้นำมาใช้ในทฤษฎีซิกส์ ซิกม่า ซึ่งค่า 3.4 พีพีเอ็ม จึงเป็นค่าความผิดพลาดที่ 4.5 เท่าของซิกม่าตามหลักสถิตินั่นเองแสดงดังรูป 2.11 ซึ่งโมโตโรล่าได้นำหลักการนี้มาใช้เพื่อตั้งเป็นเป้าหมายในระบบการผลิตของบริษัท และพัฒนาวิธีการต่างๆเพื่อนำไปสู่เป้าหมายนั้นจนกลาย เป็นระบบการจัดการที่มีประสิทธิภาพระบบหนึ่งในปัจจุบันและเป็นที่รู้จักไปทั่วโลก



รูปที่ 2.11 แสดงเส้นโค้งการกระจายตัวแบบปกติ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ความสามารถของกระบวนการผลิต σ	ของเสียต่อการผลิต 1 ล้านชิ้น	ผลได้
1	697,000	30.23%
2	308,537	69.15%
3	68,807	93.32%
4	6,210	99.38%
5	233	99.98%
6	3	100.00%

รูปที่ 2.12 แสดงการกระจายตัวที่มีผลจากปัจจัยรบกวน

ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอัตราของเสีย (PPM) ที่ระดับคุณภาพซิกม่าต่างๆ

A = +/- ระดับของซิกม่าที่ขอบเขตต่างๆ

B = เปอร์เซ็นต์ภายใต้ในข้อกำหนดเมื่อเทียบกับการกระจายแบบปกติ

C = ของเสีย (PPM) จากการกระจายแบบปกติ

D = เปอร์เซ็นต์ภายใต้ในข้อกำหนดเมื่อมีการเลื่อนแนวแกนออกไป1.5 ซิกม่าจากการกระจายแบบปกติ

E = ของเสีย (PPM) จากการกระจายแบบปกติเมื่อมีการเลื่อนแนวแกนออกไป1.5 ซิกม่าจากการกระจายแบบปกติ

A	B	C	D	E
1	68.2689480	317310.520	30.232785	697672.15
1.1	72.8667797	271332.203	33.991708	660082.92
1.2	76.9860537	230139.463	37.862162	621378.38
1.3	80.6398901	193601.099	41.818512	581814.88
1.4	83.8486577	161513.423	45.830622	541693.78
1.5	86.6385542	133614.458	49.865003	501349.97
1.6	89.0401421	109598.579	53.886022	461139.78
1.7	91.0869136	89130.864	57.857249	421427.51
1.8	92.8139469	71860.531	61.742787	382572.13

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

A	B	C	D	E
2	95.4499876	45500.124	69.122979	308770.21
2.1	96.4271285	35728.715	72.558779	274412.21
2.2	97.2193202	27806.798	75.792859	242071.41
2.3	97.8551838	21448.162	78.807229	211927.71
2.4	98.3604942	16395.058	81.589179	184108.21
2.5	98.7580640	12419.360	84.131305	158686.95
2.6	99.0677556	9322.444	86.431323	135686.77
2.7	99.3065954	6934.046	88.491691	115083.09
2.8	99.4889619	5110.381	90.319090	96809.10
2.9	99.6268240	3731.760	91.923787	80762.13
3	99.7300066	2699.934	93.318937	66810.63
3.1	99.8064658	1935.342	94.519860	54801.40
3.2	99.8625596	1374.404	95.543327	44566.73
3.3	99.9033035	966.965	96.406894	35931.06
3.4	99.9326038	673.962	97.128303	28716.97
3.5	99.9534653	465.347	97.724965	22750.35
3.6	99.9681709	318.291	98.213547	17864.53
3.7	99.9784340	215.660	98.609650	13903.50
3.8	99.98555255	144.745	98.927586	10724.14
3.9	99.9903769	96.231	99.180244	8197.56
4	99.9936628	63.372	99.379030	6209.70
4.1	99.9958663	41.337	99.533877	4661.23
4.2	99.9973292	26.708	99.653297	3467.03
4.3	99.9982908	17.092	99.744481	2555.19
4.4	99.9989166	10.834	99.813412	1865.88
4.5	99.9993198	6.802	99.865003	1349.97
4.6	99.9995771	4.229	99.903233	967.67

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

A	B	C	D	E
4.7	99.9997395	2.605	99.931280	687.20
4.8	99.9998411	1.589	99.951652	483.48
4.9	99.9999040	0.960	99.966302	336.98
5	99.9999426	0.574	99.976733	232.67
5.1	99.9999660	0.340	99.984085	159.15
5.2	99.9999800	0.200	99.989217	107.83
5.3	99.9999884	0.116	99.992763	72.37
5.4	99.9999933	0.067	99.995188	48.12
5.5	99.9999962	0.038	99.996831	31.69
5.6	99.9999979	0.21	99.997933	20.67
5.7	99.9999988	0.012	99.998665	13.35
5.8	99.9999993	0.007	99.999145	8.55
5.9	99.9999996	0.004	99.999458	5.42
6	99.9999998	0.002	99.999660	3.40

การควบคุมคุณภาพในระดับ ซิกซ์ ซิกม่า คือ มาตรการซึ่งใช้วัดคุณภาพการดำเนินงาน แนวคิดของซิกซ์ ซิกม่า คือ การควบคุมคุณภาพที่ระดับค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงมากเท่าไร ยิ่งสามารถลดค่าความแปรปรวนในการบวนการผลิตให้มีค่าน้อย ส่งผลให้การดำเนินงานยิ่งมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ขั้นตอนทุกขั้นตอนของการทำงานทุกประเภทจะถูกควบคุมอย่างเป็นระบบ ซึ่งการควบคุมคุณภาพในระดับ ซิกซ์ ซิกม่า นั้นเป็นกลยุทธ์และวิธีการดำเนินงานซึ่งทำให้หลายบริษัทสามารถประสบความสำเร็จในการปฏิบัติงานด้านคุณภาพเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ คือ ความสามารถในการทำกำไรของบริษัท

2.2.1 หลักการและกระบวน DMAIC

คำว่าซิกส์ ซิกม่าที่เป็นที่รู้จักและชอบพูดถึงอยู่ในปัจจุบันนั้นหมายถึงซิกส์ ซิกม่า ในมุมมองที่เป็นระบบการจัดการระบบหนึ่ง ซึ่งไม่ใช่แค่การมุ่งเน้นให้เกิดข้อผิดพลาดที่ 3.4 พีพีเอ็ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เท่านั้น แต่ประกอบไปด้วยส่วนประกอบต่างๆที่สำคัญที่จะทำให้ระบบการจัดการแบบซิกส์ ซิกม่า ประสบผล สำเร็จก็คือ การดำเนินโครงการซิกส์ ซิกม่าโดยจัดตั้งทีมขึ้นมา มีการจัดการฝึกอบรม และแบ่งหน้าที่ของแต่ละคนในทีม จนไปถึงการปฏิบัติตามกระบวนการดีเอ็มเอไอซี (DMAIC) ซึ่ง T.N.Goh (2002) ได้กล่าวถึงเครื่องมือที่นำมาใช้ในแต่ละขั้นตอน มีทั้งหมด 5 ขั้นตอน คือ Define, Measure, Analyze, Improve และ Control Phase (DMAIC) เริ่มต้นจาก

Define Phase คือ ขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายของสิ่งที่ต้องการศึกษา หรือแก้ปัญหาอย่างชัดเจน โดยการเลือกโครงการและวิเคราะห์ถึงผลกระทบและผลประโยชน์ที่จะได้รับ รวมถึงกำ หนดระยะเวลาของโครงการ

Measure Phase คือ ขั้นตอนการวัดกระบวนการที่เกี่ยวข้องในสถานะปัจจุบัน โดยการกำหนดจุดวิกฤตต่อคุณภาพ (Critical to Quality; CTQ) โดยใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment; QFD) และขั้นตอนของกระบวนการ (Process Mapping) การวิเคราะห์ผลกระทบต่อความล้มเหลว (Failure Mode and Effect Analysis; FMEA) การกระจายตัวทางสถิติ (Descriptive Statistics) และการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis)

Analyze Phase คือ ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหาที่เป็นต้นเหตุของการเกิดข้อบกพร่อง เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์มีดังนี้ คือ การวิเคราะห์ความสามารถในกระบวนการ (Process Capability Analysis) ตัวชี้ความสามารถในระยะสั้นและระยะยาว (Short Term and Long Term Performance Indices) การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) ช่วงของระดับความเชื่อมั่น (Confidence Intervals) การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง (Sample Size determination) การวิเคราะห์หลายปัจจัย (Muti-Vari Analysis) การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปร (Correlation Analysis)

Improve Phase คือ ขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการโดยกำจัดข้อบกพร่องต่างๆ เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์มีดังนี้การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment ; DOE) การออกแบบของปัจจัย (Factorial Designs)

ขั้นตอนสุดท้าย Control Phase คือ ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการที่จะมีผลให้เกิดข้อบกพร่องในอนาคตโดยจัดทำแผนการควบคุมและการติดตามในกระบวนการรวมถึงควบคุมการสร้างระบบการป้องกันเพื่อความผิดพลาด การสร้างทีม การจัดทำเอกสารและระบบคุณภาพ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.2 การคัดเลือกโครงการ

Forrest W. Breyfogle III, James M. Cupello, Becki Meadows (1946) ได้กล่าวว่า การนำซิกส์ ซิกม่า มาใช้ในองค์กรทำให้เกิดประโยชน์ร่วมกันของทุกฝ่าย ไม่ว่าจะเป็นการตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้า พนักงาน และผลกำไรของบริษัท การกำหนดปัญหาที่แท้จริงเพื่อแก้ไขถือได้ว่าเป็นสิ่งที่ยากกว่าการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหา ผู้นำของทีมหลายต่อหลายคนในองค์กรไม่แน่ใจว่าสิ่งใดคือจุดวิกฤตที่ต้องแก้ไขก่อน พวกเขาเหล่านั้นอาจมีความลำบากในการทำงาน ยิ่งถ้าหากช่วงต้นในการพัฒนาโครงการนั้นไม่ได้ปฏิบัติกันอย่างรัดกุม และกวดขันด้วยแล้วโครงการทั้งหมดอาจเดินไปผิดทิศทางได้ ดังนั้นจึงสำคัญอย่างยิ่งที่จะต้องมีการกำหนดกรอบของปัญหาที่ถูกต้องเสียตั้งแต่ตอนเริ่มต้นโครงการซิกส์ ซิกม่า

ในองค์กรจะต้องมีการพัฒนากระบวนการเพื่อที่กำหนดขอบเขตเชิงกลยุทธ์ หลังจากนั้นจึงทำการกำหนดแนวทางอย่างชัดเจนในการพัฒนาโครงการ สำหรับโครงการที่จะทำโดยไม่ได้มีการระ บุถึงขอบเขตหรือไม่ได้กำหนดขอบเขตที่ชัดเจนเอาไว้ ถือเป็นการเสี่ยงต่อความล้มเหลวในการดำ เนินโครงการอย่างสูงยิ่ง

ความสำเร็จที่จะเกิดขึ้นได้นั้น ไม่สามารถไขว่คว้าจากอากาศ หรือกำหนดเส้นตายโดยปราศจากเหตุผล โครงการนั้นเริ่มต้นจากทีมงานผู้บริหารระดับสูง และผู้นำในองค์กรเป็นผู้กำหนดเป้าหมายเชิงกลยุทธ์ในช่วงแรกของการดำเนินโครงการ พร้อมการระบุวัตถุประสงค์ของการดำเนินงานให้ กับแต่ละหน่วยงาน รวมไปถึงระยะเวลาวิกฤตของแต่ละกระบวนการ หรือถ้าจะให้เห็นผลได้ดีที่สุด ก็ควรจะมีการคัดเลือกโครงการ กำหนดขอบเขต และขนาดของโครงการพร้อมจัดทำเป็นแผนงานขององค์กรขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับองค์กรที่มีขนาดใหญ่ยิ่งมากเท่าไรก็ยิ่งจำเป็นที่จะต้องกำ หนดกระบวนการนี้ให้ชัดเจนยิ่งขึ้นตามไปด้วย

แต่ละองค์กรต่างก็มีเป้าหมายเชิงกลยุทธ์ในการนำซิกส์ ซิกม่า ไปใช้ที่แตกต่างกันออกไป แต่ส่วนใหญ่ก็มักจะมีจุดมุ่งหมายหลักคล้ายๆกัน ก็คือ เพื่อลดช่องว่างระหว่างกระบวนการทางธุรกิจ กับความต้องการของลูกค้า ซึ่งขนาดของความกว้างของช่องว่างนี้เองที่จะเป็นตัวกำหนดลำดับความ สำคัญของการทำโครงการซิกส์ ซิกม่า

โครงสร้างพื้นฐานสู่ความสำเร็จ วิธีหนึ่งที่ผู้บริหารใช้สำหรับกำหนดความสำคัญของโครงการซิกส์ ซิกม่า ก็คือ การวิเคราะห์โดยใช้ “บ้านแห่งคุณภาพ House of Quality” ซึ่งจะมีการนำผลที่ได้จาก House of Quality มาระดมความคิดเพื่อที่จะสานต่อกระบวนการ โดยจะช่วยกันจัดทำรายละเอียดของโครงการออกมา หลังจากนั้นจึงกำหนดโครงการให้ชัดเจนพร้อมเป้าหมายเชิงกลยุทธ์สำหรับโครงการนั้นๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วิธีการหนึ่งที่บริษัทเจลเนอรัล อิเล็กทรอนิกส์ นำมาใช้ในการคัดเลือกโครงการคือ การแสดงรายการของปัจจัยที่มีผลต่อวิกฤตคุณภาพ (Critical to Quality ; CTQ) ทั้งนี้ก็เพื่อที่จะให้เกิดความมั่นใจว่า โครงการนั้นๆตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า และเป้าหมายเชิงกลยุทธ์ขององค์กรไปพร้อมๆกัน ดังนั้นโครงการใหม่ๆของบริษัทเจลเนอรัล อิเล็กทรอนิกส์ จึงต้องถูกจัดทำขึ้นมาเพื่อตอบสนองต่อเป้าหมายเชิงกลยุทธ์ทางธุรกิจ ซึ่งก็ได้แก่ เรื่องของการส่งมอบ รอบเวลาการผลิต ราคา และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ รวมถึงคุณภาพของซัพพลายเออร์ เป็นต้น ถ้าโครงการใดไม่สอดคล้องกับหัวข้อเหล่านี้ ก็จะไม่ได้รับการพิจารณาให้เริ่มโครงการ และหากโครงการใดไม่ผ่านการคัดเลือกในคราวนี้ก็จะเก็บไว้พิจารณาในโอกาสต่อไป นอกจากนั้นโครงการที่ผ่านการคัดเลือกในรอบแรกนี้แล้ว ก็จะต้องมีการศึกษาถึงข้อดีข้อเสียและผลกระทบของโครงการในแต่ละขั้นตอนรวมถึงเกณฑ์ในการคัดเลือกโครงการที่มีผลตอบแทนในรูปตัวเงินด้วย

2.2.3 กำหนดเป้าหมายและมาตรวัดต่างๆ

การคัดเลือกมาตรวัดควรมีการพิจารณาให้รอบคอบ ทั้งนี้เพราะว่ามาตรวัดเป็นตัวโน้มนำพฤติกรรมในการดำเนินงานของโครงการซึ่งมีความสำคัญต่อความสำเร็จทั้งของทีมงาน และของบริษัท โดยผู้จัดการของโครงการควรทำการกำหนดเป้าหมายผลการดำเนินงานไว้ให้ชัดเจน แต่สามารถยืดหยุ่นได้พอสมควรเพื่อทีมงานจึงจะสามารถสร้างสรรค์แนวคิด และกลั่นกรองตัวเกณฑ์ที่เป็นมาตรวัดต่างๆ ออกมาได้อย่างชัดเจนขึ้น

มาตรวัดที่ใช้ในโครงการควรเน้นที่การวัดกระบวนการไม่ใช่วัดที่ตัวผลิตภัณฑ์ การใช้มาตรวัดที่ถูกต้องของโครงการจะนำไปสู่องค์ความรู้ในกระบวนการนั้นๆ และช่วยสร้างรากฐานของกระบวนการในเชิงกลยุทธ์ขององค์กร ดังมีองค์ประกอบที่สำคัญๆต่อไปนี้

2.2.3.1 เน้นที่ความสำคัญของลูกค้า (Customer Focused)

มาตรวัดต่างๆที่จะนำมาใช้วัดความสำเร็จของกระบวนการต่างๆนั้น ควรให้ความสำคัญต่อผลที่เกี่ยวพันกับลูกค้า เช่น คุณภาพของสินค้า การส่งมอบที่ตรงต่อเวลา และการบริการลูกค้า การทบทวนโครงการเพื่อการคัดเลือกด้วย House of Quality ซึ่งเป็นวิธีที่มีประโยชน์ในการระดมสมองเพื่อกำหนดมาตรวัดที่เน้นในการสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าเป็นสำคัญ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.3.2 ควรมีการไขว้ในหลายหน้าที่งาน (Cross Functional)

การวัดที่ใช้กันอยู่ในแบบดั้งเดิมนั้นมักจะเน้นไปตามหน้าที่งาน แม้จะมีการคิดและประยุกต์การวัดผลความก้าวหน้าของงานเทียบกับเป้าหมายก็ตามที แต่เมื่อเกณฑ์ที่ใช้ในมาตรวัดนั้นๆแสดงผลของความล้มเหลวออกมา ทีมงานก็จะล้มเลิกโครงการไปเสีย แล้วก็กลับไปทำงานกันตามรูปแบบเดิมๆต่อไปอีก ในอดีตที่ผ่านมามีน้อยบริษัทนักที่จะมีการวัดในด้านที่เกี่ยวข้องกับเงินๆทองๆ อันที่จริงแล้วมาตรวัดที่สำคัญๆของโครงการควรเป็นแบบไขว้ในหลายๆหน้าที่งานซึ่งจะช่วยให้ทีมงานโครงการสามารถวัดผลสำเร็จของงานได้ชัดเจนดียิ่งขึ้น

2.3.3.3 ให้ความเป็นข่าวสารมากขึ้น

ตัวมาตรวัดควรจะง่ายและให้ความหมายรวมถึงผลที่ชัดเจน โดยไม่ต้องใช้สูตรหรือวิธีการคำนวณที่ยุ่งยากซับซ้อน มาตรวัดทั้งหลายควรจะมีส่วนเทียบกับเวลาในช่วงต่างๆ ทั้งนี้เพื่อจะช่วยให้ทราบแนวโน้มและโอกาสในการปรับปรุงและพัฒนา ในอนาคตความสัมพันธ์ของตัวเลขเหล่านี้ถือได้ว่ามีความเป็นข่าวสารมากขึ้น และจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในทุกองค์กร

มาตรวัดควรจะเป็นตังสื่อถึงความเข้าใจในเชิงที่เป็นภาษาเดียวกัน ในระหว่างทีมงานจะต้องแสดงถึงวัตถุประสงค์ที่ชัดเจน ทุกคนในทีมงานให้การยอมรับและนำมาตรวัดที่สร้างขึ้นมานี้ไปใช้ให้สอดคล้องกับการดำเนินของธุรกิจ อย่างไรก็ตามไม่มีมาตรวัดใดที่ใช้ได้กับทุกๆองค์กรได้อย่างเหมาะสมลงตัว ทีมงานจะต้องมีการระดมความคิดและตัดสินใจว่ามาตรวัดใดจะนำมาใช้ในโครงการเพื่อแก้ปัญหาให้เกิดประโยชน์สูงสุด หลังจากนั้นทีมงานจึงควรที่จะนำเอามาตรวัดไปเสนอให้ฝ่ายบริหารพิจารณาและตัดสินใจเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าการดำเนินงานจะสอดคล้องและเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันกับกลยุทธ์โดยรวมของธุรกิจ

ในระหว่างการดำเนินงานจะต้องมีความระมัดระวังในการวัดผลใดๆ เพราะมาตรวัดทั้ง หลายจะเป็นตัวสร้างกระแสความรู้สึกหลายๆรูปแบบแก่ผู้คนในทีมงาน และก็อาจมีการตีความกันไปต่างๆนานา มาตรวัดที่ดีไม่ควรถูกกำหนดไว้ตายตัวแต่ควรจะเปลี่ยนแปลงได้ตามความเหมาะ สมกับสถานการณ์ และก็ต้องทำให้ทุกคนในทีมงานมีความเข้าใจที่ตรงกัน ในบางองค์กรเน้นเฉพาะอัตราการเสีย (Rate of Defects) เมื่อตอนสิ้นสุดของกระบวนการและก็ใช้มาตรวัดนี้อยู่เพียงตัวเดียวโดยคิดว่าเพียงพอแล้ว ซึ่งถือว่าเป็นความเข้าใจผิด

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่ามาตรวัดของระดับคุณภาพซิกส์ ซิกม่า จะเป็นตัวขับเคลื่อนให้เกิดความเปลี่ยนแปลงขึ้นในองค์รกรและระบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.4 กำหนดพื้นฐาน (Baseline) และประโยชน์ที่จะเกิดขึ้น

ในการคัดเลือกโครงการอย่างมีประสิทธิผลนั้น ควรเน้นไปที่การพิจารณาวิธีการรายงานมาตรวัดต่างๆที่ใช้ในแต่ละโครงการ แม้ว่าในแต่ละโครงการอาจมีแนวคิดและวิธีการวัดที่แตกต่างกันออกไป แต่ฝ่ายบริหารยังจำเป็นที่จะต้องกำหนดพื้นฐานและบางมาตรวัดพื้นฐานนี้ก็อาจจะถูกนำไปเป็นส่วนประกอบของมาตวัดขั้นสูงอื่นๆ ต่อไปอีกด้วย

2.2.4.1 ผังควบคุมกระบวนการ (Process Control Chart)

ผังควบคุมกระบวนการจะช่วยแยกแยะความแปรปรวนในกระบวนการ และระบุได้ถึงสาเหตุของเสียที่เกิดจากสภาพผิดปกติ รูปแบบแผนผังควบคุมกระบวนการจะช่วยให้เรามองเห็นถึงการพัฒนาในระยะยาวที่จะช่วยลดปัญหาเฉพาะหน้าขององค์กร และช่วยปรับปรุงกระบวนการผลิตรวมถึงลดของเสียอันเกิดจากสาเหตุของความผันแปรตามปกติ และเมื่อได้ระบุถึงค่าตัวแปรหลักๆ ที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต (Key Process Input Variable; KPIV) แล้ว เราก็สามารถสร้างผังควบคุมกระบวนการขึ้นมา เพื่อหาตัวแปรที่เกิดจากปัญหาของเสียที่เกิดจากสภาพที่ผิดปกติพร้อมทั้งวิเคราะห์หาวิธีการแก้ไขต่อไป

การเก็บข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการจัดทำผังควบคุมกระบวนการนี้ ต้องมีความระมัดระวังทั้งนี้เพราะผังควบคุมจะแตกต่างกันออกไปหากมีการจัดกลุ่มของข้อมูลผิดเพี้ยนไป การเก็บข้อมูลจึงควรรัดกุม และขนาดของข้อมูลก็ต้องมากเพียงพอที่สามารถแยกแยะสาเหตุของเสียที่เกิดจากสภาพที่ผิดปกติ และสาเหตุของเสียจากสาเหตุตามปกติได้อย่างชัดเจนและถูกต้อง

2.2.4.2 ฮิสโตแกรมและการพล็อตจุด (Histogram and Dot Plot)

การใช้ฮิสโตแกรมและการพล็อตจุดนั้น ให้ภาพรวมๆเกี่ยวกับการแจกแจงของข้อมูลแต่ยากที่จะบอกถึงเปอร์เซ็นต์ของเสียนอกขอบเขตของข้อกำหนด ดังนั้นข้อมูลที่จะนำมาป้อนเพื่อแสดงผลแบบฮิสโตแกรมและการพล็อตจุด ต้องมีการจัดกลุ่มและจัดหมวดหมู่ให้เรียบร้อยเสียก่อน

2.2.4.3 การพล็อตความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal Probability Plot)

แทนที่จะใช้ฮิสโตแกรมและการพล็อตจุดแต่เพียงอย่างเดียว การพล็อตความน่าจะเป็นแบบปกติ ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยประมาณการสัดส่วนของข้อมูลที่อยู่นอกขอบเขตของข้อกำหนดได้ ซึ่งเป็นการสะท้อนให้เห็นถึง “สมรรถนะ” ของกระบวนการ การพล็อตความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น่าจะเป็นแบบปกตินี้ จะช่วยในการประเมินความสมเหตุสมผลของความเป็นธรรมชาติในสมมติฐานที่ตั้งไว้

2.2.4.4 ดรรชนีชี้วัดความสามารถเทียบกับผลสำเร็จของกระบวนการ

วัตถุประสงค์ของดรรชนีชี้วัดความสามารถเทียบกับผลลำเร็จของกระบวนการ ก็เพื่อที่จะทำให้ทราบว่ากระบวนการนั้นมีความสามารถในการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้ดีเพียงไร ดรรชนีเหล่านี้จะช่วยให้เราเห็นข้อบกพร่องที่ทำให้การผลิตมีความผันแปรไปจากกระบวนการที่ควรจะเป็น ตัวอย่างของดรรชนีชี้วัดความสามารถเทียบกับความสำเร็จของกระบวนการก็คือ $C_{P,}$ C_{Pk}, P_P และ P_{Pk} โดยผู้ร่วมโครงการควรระมัดระวังในการเลือกสรรค์วิธีการที่จะนำข้อมูลมาคำนวณและรายงานเป็นมาตรวัดต่างๆ โดยจุดที่ควรต้องแยกแยะให้ชัดเจนก็คือ การใช้มาตรวัดต่างๆเพื่อดูตัวผลของความผันแปรในระยะสั้นหรือระยะยาวของกระบวนการนั้นๆ

หลังจากที่ได้มีการกำหนดมาตรวัดและแผนภูมิพื้นฐานต่างๆแล้ว หัวหน้าทีมและผู้บริหารระดับสูงต้องกำหนดว่าควรมีการใช้มาตรวัดใดเพิ่มเติมจากพื้นฐาน ในการคำนวณถึงการบรรลุผลประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นนี้ถือว่าเป็นเรื่องที่ดีและควรนำมาใช้เป็นอย่างยิ่ง การคำนวณนี้อาจอยู่ในรูปของต้นทุนจากสินค้าที่มีคุณภาพต่ำ (Cost of Poor Quality ; COPQ) ซึ่งจะสะท้อนให้เห็นถึงมูลค่าที่จะได้รับจากโครงการรวมไปถึงการสะท้อนให้เห็นถึงมูลค่าที่จะได้รับจากโครงการ รวมไปถึงการสะท้อนถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการไม่ทำอะไรเลย (Cost of Doing Nothing)

การปรับปรุงคุณภาพจะมีสหสัมพันธ์ (Correlation) กันกับการเพิ่มผลกำไร คือ การเน้นแต่เพียงการลดค่าใช้จ่ายเพียงด้านเดียว อาจทำให้องค์กรมองข้ามโครงการดีๆซึ่งมูลค่าที่จะมีผลโดยอ้อมต่อความพึงพอใจของลูกค้า ซึ่งจะนำมาสู่ผลกำไรต่อไปในอนาคตได้ องค์กรจึงจำเป็น ต้องสร้างสมดุลในการคัดเลือกโครงการให้ดีเมื่อจะสร้างระบบซิกส์ ซิกม่า นี้ขึ้นมา

2.2.5 การกำหนดขอบเขตของโครงการ

หลายๆโครงการที่เริ่มต้นด้วยวัตถุประสงค์และเป้าหมายที่กว้างเกินไป ทำให้หัวหน้าโครงการรู้สึกว่าตอนนี้มีภาระที่จะต้องทำอยู่มากมายจนงานล้นมือ และทำให้ลำบากในการคิดทบทวนหรือประเมินระดับประสิทธิภาพของทีมงาน สิ่งที่เป็นอยู่นี้คือความจริงและมักพบได้เสมอในโครงการทั่วไป ทั้งนี้สาเหตุที่สำคัญเกิดจากการที่ขนาดของแต่ละโครงการใหญ่จนเกินไป หรือไม่ก็ซับซ้อนจนเกินไปนั่นเอง จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีกลยุทธ์ในการลดขอบเขตของโครงการ และเน้นไปยังด้านที่เกิดผลกระทบสูงสุดต่อองค์กรไว้ก่อนเป็นอันดับแรก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บ่อยครั้งที่มีการกำหนดเป้าหมายของโครงการเริ่มต้นขึ้นมาก่อนโดยจะเรียกว่า “โครงการหลัก” ซึ่งภายในโครงการนี้จะประกอบไปด้วยอีกหลายโครงการ ซึ่งเรียกว่า “โครงการลูก” หรือ “โครงการย่อย” การทำโครงการย่อยๆเหล่านี้ก็มีจุดมุ่งหมายไปในทิศทางเดียวกันกับเป้าหมายของโครงการหลัก และเมื่อถ้าสามารถควบคุมโครงการย่อยให้ดำเนินไปตามเป้าหมายแล้วย่อมจะส่งผลถึงความสำเร็จต่อโครงการหลักหรือโครงการโดยรวมได้

2.2.5.1 การกำหนดรายละเอียดของกระบวนการ (Process Mapping)

การทำผังกระบวนการ (Flow Chart) ของทีมงานโครงการจะช่วยมองเห็นภาพรวมของกระบวนการได้อย่างชัดเจนและเพิ่มโอกาสในการปรับปรุงงานได้มากยิ่งขึ้น ผังกระบวนการเหล่านี้ช่วยในการคงสภาพความสอดคล้องราบรื่นภายในกระบวนการไว้ และมีประโยชน์ในการกำหนดหรือปรับปรุงขั้นตอนการปฏิบัติงานมาตรฐานในโอกาสต่อไป

ผังกระบวนการ (Process Mapping) ไม่สามารถทำให้สำเร็จได้โดยง่ายหากไม่มีการกำหนดขอบเขตแต่ละกระบวนการให้ชัดเจนก่อนลงมือทำ เทคนิคต่อไปนี้ช่วยให้สามารถกำหนดรายละเอียดของแต่ละกระบวนการได้ชัดเจน และมีประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง

- กำหนดภาพรวมในตอนเริ่มต้นให้ชัดเจน โดยมองในมุมมองของผู้บริหาร
- กำหนดลำดับขั้นตอนของกระบวนการย่อยที่ช่วยสนับสนุนการทำงานของทีมอื่น
- จัดทำเอกสารของกระบวนการปัจจุบัน
- จัดทำข้อมูลและ รูปภาพประกอบการทำผังกระบวนการ
- จัดทำเอกสารชี้แจงขั้นตอน ที่อาจก่อให้เกิดปัญหาการกระจุกตัวของงาน
- บันทึกขั้นตอนที่สามารถตัดทอนลงได้
- ทบทวนและเปรียบเทียบมาตรวัดพื้นฐานที่ใช้ทั้งหมด เพื่อที่จะให้ทีมงานทราบถึงรายละเอียดและขั้นตอนที่สำคัญๆ ที่ควรจะมีปรากฏในกระบวนการ

ผู้ร่วมโครงการควรตระหนักถึงความขัดแย้งต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในระหว่างการทำงาน ความขัดแย้งที่เกิดขึ้นเพียงน้อยนิดก็อาจส่งผลต่อผลลัพธ์ของการทำงานในช่วงนั้นๆได้ เช่น อาจทำให้การวิเคราะห์แยกแยะปัญหาต่างๆในกระบวนการต่างผิดพลาดไป

2.2.5.2 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart)

แผนภูมิพาเรโตเป็นตัวช่วยที่ดีในการแสดงถึงความผันแปรตามปกติในกระบวนการผลิตหลัก การของแผนภูมิพาเรโตก็คือ การสะท้อนความผันแปรเพียง 2-3 ตัว ที่มีผลอย่างมาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ต่อปัญหาด้านคุณภาพในขณะที่ความผันแปรอีกหลายตัวเป็นเพียงเรื่องเล็กๆน้อยๆที่มีผลต่อคุณภาพ เมื่อข้อมูลความผันแปรทั้งหมดที่มีอยู่อย่างหลากหลายถูกนำมาจัดแยกเป็นหมวดหมู่ด้วยแผนภูมิพาเรโต เราก็จะรู้ได้ว่าควรทุ่มเวลาของโครงการไปยังเรื่องใด

2.2.5.3 ภาพแผนผังแสดงมูลเหตุและผลที่เกิดขึ้น (Cause and Effect Diagram)

เมื่อจัดผังกระบวนการได้สำเร็จแล้ว สิ่งที่ต้องทำต่อไปคือ การความคิดเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียขึ้นภายในกระบวนการผลิตนั้นๆ โดยวิธีการที่มีประโยชน์มากวิธีหนึ่งคือ การเขียนแผนผังแสดงมูลเหตุและผลที่เกิดขึ้น (Cause and Effect Diagram)

ในการจัดทำแผนผังนี้ ทุกคนในทีมจะต้องคำนึงถึงคุณภาพและความคิดสร้างสรรค์เป็นสำคัญ โดยอาจจะเริ่มต้นโดยให้เวลา 10-15 นาที แก่สมาชิกในทีมงานทุกคน เพื่อเขียนความคิดของตนลงบนกระดาษแผ่นเล็กๆ จากนั้นให้สลับลำดับของกระดาษแผ่นเล็กๆที่ได้รับกลับมาจากสมาชิกนั้นเสียก่อนแล้วจึงอ่านความคิดในกระดาษทุกแผ่น พร้อมจัดหมวดหมู่ของความคิดไว้ให้เสร็จสรรพไปด้วย โดยหมวดหมู่ดังกล่าวควรแบ่งออกเป็น

- ด้านบุคลากร
- ด้านวัตถุดิบ
- ด้านกระบวนการวัดต่างๆ
- ด้านวิธีการปฏิบัติงาน
- ด้านเครื่องจักรอุปกรณ์
- ด้านสิ่งแวดล้อม

จากความคิดทั้งหมดที่ได้มาสามารถนำมากำหนดเป็นสาเหตุ (Cause) ต่างๆ ตามหมวดหมู่ข้างต้นนี้ได้สะดวกยิ่งขึ้น

2.2.5.4 ตารางเมตริกซ์ของมูลเหตุและผลที่เกิดขึ้น (Cause and Effect Matrix)

เมื่อได้แผนผังแผนผังแสดงมูลเหตุและผลมาแล้ว ก็ให้จัดเรียงรายการของสาเหตุตามลำดับที่ต้องการจะเน้น ซึ่งส่วนใหญ่แล้วมักจะเรียงไปตามลำดับความสำคัญที่จะมีผลต่อผลผลิตที่จะเกิดขึ้น (KPOVs)

ตารางเมตริกซ์ของมูลเหตุและผลที่เกิดขึ้น โดยผลลัพธ์ที่ต้องการจะถูกแสดงอยู่ในแถวบน ซึ่งจะมีการกำหนดคะแนนตามความสำคัญต่อลูกค้าและเป้าหมายเชิงกลยุทธ์ทางธุรกิจ ตัวเลขที่สูงจะแสดงถึงความสำคัญที่มาก ในแต่ละแถวจะแสดงตัวแปรจากผังกระบวนการหรือสาเหตุจากแผนผังแผนผังแสดงมูลเหตุและผล ส่วนจุดตัดของแต่ละแถวกับแต่ละคอลัมน์จะใช้สำหรับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ป้อนค่าระดับความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อยู่ในแถวนอนและคอลัมน์ ถ้าหากมีความสัมพันธ์กันมาก น้ำหนักที่ให้ก็จะมีค่าสูงขึ้น (0 คือ ไม่มีความสัมพันธ์, 1 = มีความสัมพันธ์น้อย, 3 = มีความสัมพันธ์ปานกลาง และ 9 = มีความสัมพันธ์สูง)

จำนวนค่าความสัมพันธ์ที่ป้อน (0 , 1 , 3 หรือ 9) ในแต่ละช่องตามแนวนอน เมื่อนำมาคูณกับค่าความสำคัญในแถวบน แล้วรวมผลคูณที่ได้ไว้ในช่องขวามือสุดก็จะเป็นการบ่งบอกถึงความรุนแรงของผลกระทบที่จะมีต่อผลผลิต ค่าที่มีคะแนนอยู่ในระดับสูงสุดจะสามารถอนุโลมได้ว่าเป็นตัวแปรหลักที่จะนำเข้าสู่กระบวนการผลิต (KPIVs) ซึ่งควรจะมีการจับมองและศึกษาเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงกระบวนการให้ดียิ่งขึ้น

แผนผังแผนผังแสดงมูลเหตุและผล เป็นการแยกสาเหตุของกระบวนการที่สำคัญและง่ายออกมาก่อน วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ง่ายในการวัดและสามารถนำไปร่วมวิเคราะห์กับวิธีการอื่นๆได้เป็นอย่างดี การแก้ปัญหาจุดเล็กๆนี้มีผลโดยตรงต่อการทำงานโดยรวมของโครงการซึ่งทำให้ระยะเวลาในการทำโครงการนั้นสั้นลง อีกทั้งยังเป็นวิธีการที่ดีที่สุดในการสร้างแรงจูงใจในการทำงานของทีมงานอีกด้วย

2.2.6 หลักการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

กิตติศักดิ์ (2540) กล่าวว่า สมมติฐานมาจากศัพท์ภาษาอังกฤษ คำว่า Hypothesis ซึ่งได้มาจากภาษาลาตินและมีรากศัพท์มาจากภาษากรีก Hypothesis แปลว่า ข้อเสนอหรือข้อเสนอแนะ ซึ่งมาจากศัพท์คำว่า Hypo Tithenai แปลว่าใส่ไว้ข้างล่าง (Hypo แปลว่า ข้างล่าง Tithenai แปลว่า ใส่เข้าไป)

สมมติฐานเป็นเครื่องมือที่สำคัญอย่างหนึ่งของกระบวนการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ เนื่องจากเป็นเครื่องมือช่วยให้ผู้วิจัยสามารถโยงใยจากทฤษฎีไปสู่ข้อสังเกต และจากข้อสังเกตย้อนกลับไปสู่ทฤษฎีอีกครั้งหนึ่ง การนำเอาสมมติฐานมาใช้ช่วยให้ผู้วิจัยสามารถใช้ประโยชน์จากวิธีการอุปมานและวิธีการอนุมานมาผสมกลมกลืนกันได้อย่างเหมาะสม หลังจากกำหนดปัญหาของการวิจัยและศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องแล้ว ผู้วิจัยควรมีความพร้อมที่จะตั้งสมมติฐานได้แล้ว ควรระบุสมมติฐานให้อย่างเจนให้มีลักษณะอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น หรือแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรซึ่งคาดว่าจะเกิดขึ้น สมมติฐานจะถูกนำไปทดสอบอีกครั้งในการวิจัย เนื่องจากสมมติฐานเป็นเพียงข้อแนะนำของการตอบปัญหาเท่านั้น ดังนั้นผลของการศึกษาค้นคว้าจึงอาจนำไปสู่การคงไว้ หรือ ปฏิเสธสมมติฐานนั้นๆก็ได้

สมมติฐานทางศาสตร์ (Scientific Hypothesis) เป็นข้อความที่ได้ความคิดมาจากทฤษฎี และข้อความนั้นสามารถทดสอบเชิงประจักษ์ได้ ข้อความเช่น นายสมบัติเป็นคนแข็งแรง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไม่ใช่สมมติ ฐานทางศาสตร์ เพราะไม่ได้อ้างแนวความคิดเชิงทฤษฎี แต่ถ้ากล่าวว่า ช่างไม้เป็นคนแข็งแรง นายสมบัติเป็นช่างไม้ ดังนั้นนายสมบัติเป็นคนแข็งแรง ข้อความดังกล่าวเข้าข่ายที่จะเป็นสมมติฐานทางศาสตร์แต่เป็นสมมติฐานที่ไม่น่าสนใจ

การกำหนดสมมติฐานจะต้องมีเริ่มต้นก่อนการเก็บข้อมูลเสมอ ด้วยสาเหตุสองประการ คือ ประการแรก สมมติฐานที่สร้างขึ้นอย่างมีเหตุผลแสดงถึงความรู้พื้นฐานของผู้วิจัยที่มีต่อประเด็นของการศึกษา ประการที่สอง สมมติฐานชี้ถึงทิศทางของการเก็บและการแปลความหมายข้อมูล กล่าวคือ สมมติฐานชี้ให้เห็นถึงกระบวนการเก็บข้อมูลว่าควรเป็นอย่างไรซึ่งทำให้ประหยัดเวลาและแรงงานมากกว่าการดำเนินการเก็บข้อมูลอย่างทั่วๆไปโดยไม่มีทิศทางที่แน่นอน

การตั้งสมมติฐานควรมีหลักการหรือเหตุผลที่เหมาะสมโดยอาศัยพื้นฐานมาจากงานวิจัยที่เกี่ยว ข้องกับหัวเรื่องทำการวิจัย ทฤษฎีที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับเรื่องที่จะศึกษาไม่ว่าจะเป็นทางตรงหรือทาง อ้อมก็ตาม เพื่อช่วยสนับสนุนให้เห็นว่าทำไมจึงตั้งสมมติฐาน วิธีการตั้งสมมติฐานจำเป็นต้องมีการกล่าวนำขึ้นมาก่อนที่จะตั้งสมมติฐาน ไม่ควรทำการตั้งสมมติฐานขึ้นมาลอยๆโดยไม่ได้อ้างอิงมาจากทฤษฎีหรือข้อค้นพบที่เชื่อถือได้ และเหตุผลจากข้อเท็จจริงต่างๆที่เกี่ยวข้องจะทำให้มีน้ำหนักน้อยกว่าสมมติฐานที่มีการอ้างอิง

องค์กรส่วนมากมักไม่ได้คำนึงถึงปัญหาอันอาจจะเกิดขึ้นในกระบวนการที่ทำอยู่ หรือถ้าหากมีการคำนึงถึงก็มักจะมีปัญหาต่างๆ ซึ่งอาจวัดค่าตัวแปรหลักๆที่ได้จากกระบวนการผลิต (Key Process Output Variable – KPOVs) เช่น รอบเวลาในการผลิต, โอกาสการเกิดจุดเสียในล้านส่วน (Defect per Million Opportunities ; DPMO) และความพึงพอใจของลูกค้าตลอดจนดูการเปลี่ยนแปลงของ KPOVs เพื่อหาแนวโน้มของความผันแปรในการผลิต และแยกแยะของเสียที่เกิดจากสภาพที่ผิดปกติ (Special Cause) ออกจากของเสียที่เกิดจากการผันแปรตามปกติ ข้อมูลเหล่านี้สามารถนำมารวบรวมและประมวลเข้ากับความต้องการของลูกค้า เพื่อให้เกิดเป็นภาพรวมของกระบวนการและแก้ไขปัญหา ทั้งด้านความถูกต้อง แม่นยำ (Accuracy) และความเที่ยงตรง (Precision)

แทนที่จะพิจารณาไปที่ตัวกระบวนการ บ่อยครั้งที่องค์กรจะมองไปที่ตัวผลผลิตที่ได้ออกมาแล้วก็แก้ไขปัญหาไปวันๆ และดำเนินการปรับปรุงกระบวนการอย่างไรจุดหมายโดยไม่มองถึงปัจจัยรบกวน (Noise) เช่น ความแตกต่างของวัตถุดิบ, การเปลี่ยนแปลงกะของพนักงาน, ความแตกต่างของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง เป็นต้น ที่จะมีผลกระทบต่อ KPOV ทำให้มีการปรับปรุงกระบวนการเป็นจุดๆมากกว่าที่จะมองให้ครบทวนทั้งกระบวนการ แล้ววางแผนการปรับปรุงอย่างมีระบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of Experiment) หมายถึงกระบวนการในการวางแผนการทดลอง เพื่อที่จะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสม และสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ทำให้สามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้ วิธีการออกแบบการทดลองในเชิงสถิติเป็นสิ่งที่จำเป็น ถ้าหากต้องการหาข้อสรุปที่มีความหมายจากข้อมูลที่เรามีอยู่ และถ้ายิ่งปัญหาที่สนใจนั้นเกี่ยวข้องกับความผิดพลาดในการทดลอง (Experiment Error) วิธีการทางสถิติเป็นวิธีการเพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่จะสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นได้ ดังนั้นสิ่งสำคัญ 2 ประการสำหรับปัญหาที่เกี่ยวกับการทดลองก็คือ การออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ เนื่องจากวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นกับการออกแบบการทดลองที่นำมาประยุกต์ใช้ (ปารเมศ,2545)

การใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีความเข้าใจอย่างแท้จริงว่า เรากำลังศึกษาอะไรอยู่ จะเก็บข้อมูลได้อย่างไร และจะวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บได้นั้นอย่างไร

2.3.1 ขั้นตอนในการดำเนินการทดลอง อาจจะทำได้ดังต่อไปนี้ (ปารเมศ, 2545)

1. ทำความเข้าใจถึงปัญหา ในขั้นตอนนี้ต้องพยายามพัฒนาแนวความคิดเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง และบ่อยครั้งที่เราจะต้องหาข้อมูลจากบุคคลหรือหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้อง เช่น แผนกวิศวกรรม แผนกประกันคุณภาพ แผนกผลิต แผนกการตลาด ผู้บริหาร ลูกค้า และแผนกบุคคล ถ้อยแถลงของปัญหาที่มีความชัดเจนจะมีผลอย่างมากต่อความเข้าในเกี่ยวกับปรากฏการณ์และคำตอบสุดท้ายของปัญหานั้นๆ ด้วยเหตุนี้การทดลองทุกครั้งจะต้องทำเป็นทีม

2. เลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขต ผู้ทดลองต้องเลือกปัจจัยที่จะนำมาเปลี่ยนแปลงในระหว่างทำการทดลอง กำหนดขอบเขตปัจจัยเหล่านี้ที่จะเปลี่ยนแปลง และกำหนดระดับ (Level) ที่จะเกิดขึ้นในการทดลอง จะต้องพจารณา ด้วยว่าจะควบคุมปัจจัยเหล่านี้ ณ จุดที่กำหนดอย่างไร และจะวัดผลตอบได้อย่างไร ดังนั้นในกรณีเช่นนี้ผู้ทดลองจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับขบวนการอย่างมาก ซึ่งความรู้จะได้มาจากประสบการณ์ และความรู้ทางทฤษฎี จำเป็นต้องตรวจสอบดูว่า ปัจจัยที่กำหนดขึ้นมาทั้งหมดมีความสำคัญหรือไม่ และเมื่อวัตถุประสงค์ของการทดลองคือการกรองปัจจัยควรจะกำหนดให้ระดับต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนน้อยๆการเลือกขอบเขตของการทดลองก็มีความสำคัญเช่นกัน ในการทดลองเพื่อกรองปัจจัยเราควรจะเลือกขอบเขตให้มีความกว้างมากๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อได้เรียนรู้ว่าตัวแปรใดมีความสำคัญและระดับใดที่ทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เราอาจจะลดขอบเขตลองมาให้แคบได้

3. เลือกตัวแปรผลตอบ ซึ่งในการทดลองหนึ่งอาจมีผลตอบหลายตัว และจำเป็นมากที่จะต้องกำหนดให้ได้ว่า อะไรคือตัวแปรผลตอบ ตัวแปรนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่ บอ่ยครั้งที่ค่าเฉลี่ยหรือส่วนเบียงเบนมาตรฐานของขบวนการจะเป็นตัวแปรตอบ เป็นไปได้ว่าในการทดลองหนึ่งอาจจะมีผลตอบหลายตัว และจะวัดตัวแปรเหล่านั้นได้อย่างไรก่อนที่จะเริ่มดำเนินการทดลองจริง

4. เลือกการออกแบบการทดลอง ซึ่งจะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองอยู่ตลอดเวลา ซึ่งเราอาจทราบตั้งแต่เริ่มต้นแล้วว่า ปัจจัยใดที่มีผลต่อผลตอบที่เกิดขึ้น การเลือกการออกแบบเกี่ยวข้องกับการพิจารณาขนาดของตัวอย่าง (จำนวนเรพลิเคต) การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่จะใช้ในการเก็บข้อมูล และตัดสินใจว่าควรจะใช้วิธีบล็อก หรือใช้แรมดอมไมเซชั่นอย่างใดอย่างหนึ่งหรือไม่ ในการเลือกการออกแบบ จำเป็นต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์การทดลองตลอดเวลา ดังนั้นควรจะหาว่าปัจจัยใดที่ทำให้เกิดความแตกต่าง และประมาณถึงขนาดความแตกต่างที่เกิดขึ้น

5. ดำเนินการทดลอง เมื่อทำการทดลองต้องติดตามดูกระบวนการทำงานอย่างระมัดระวัง เพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการทุกอย่างเป็นไปตามแผน ถ้ามีอะไรผิดพลาดเกิดขึ้นเกี่ยวกับวิธีทดลองในขั้นตอนนี้จะทำให้การทดลองนั้นใช้ไม่ได้ ดังนั้นการวางแผนในตอนแรกจะมีความสำคัญอย่างมากต่อความสำเร็จที่จะเกิดขึ้น

6. วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ถ้าการทดลองได้ถูกออกแบบไว้เป็นอย่างดี และทำตามแผนการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ วิธีการทางสถิติที่จะนำมาใช้นั้นจะเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน ข้อได้เปรียบของวิธีการทางสถิติคือ ทำให้ผู้ที่มีอำนาจใจการตัดสินใจมีเครื่องมือช่วยที่มีประสิทธิภาพ ถ้าเอาวิธีทางสติถิมาผนวกกับความรู้ทางด้านวิศวกรรม ความรู้เกี่ยวกับขบวนการ และสามัญสำนึกจะทำให้ข้อสรุปที่ได้ออกมามีเหตุผลสนับสนุน และน่าเชื่อถือ และเป็นไปตามวัตถุประสงค์ชของการทดลอง

7. สรุปและข้อเสนอแนะของผลการทดลองที่เกิดขึ้น เพื่อนำเสนอผลงานให้หน่วยงานหรือผู้ที่เกี่ยวข้องทราบ นอกจากนี้แล้วควรทำการทดลองเพื่อยืนยันผล เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่เกิดขึ้นอีกด้วย

2.3.2 หลักการพื้นฐานของการออกแบบการทดลองมีหลักพื้นฐานที่สำคัญอยู่ 3 ประการ (Montgomery D.C., 2001) เกี่ยวข้องกับการทดลองและเป็นหลักการเพื่อช่วยให้ผลการทดลองมีความถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้นคือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. การทดลองซ้ำ (Replication) คือการทดลองภายใต้เงื่อนไขเดียวกันมากกว่า 1 ครั้ง เพื่อให้ได้ข้อมูลของการทดลองเพิ่มมากขึ้น ซึ่งช่วยให้ความผิดพลาดในการเก็บข้อมูลของการทดลองลดน้อยลง เรพลิเคชั่นมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการคือ ประการแรกเรพลิเคชั่นทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณความผิดพลาดจากการทดลองได้ ตัวประมาณค่าความผิดพลาดนี้กลายเป็นหน่วยของการวัดขึ้นพื้นฐานสำหรับพิจารณาว่า ความแตกต่างสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันในเชิงสถิติหรือไม่ ประการที่สองถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลการทดลอง ดังนั้นเรพลิเคชั่นทำให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบนี้ตัวอย่างเช่นถ้า σ^2 คือความแปรปรวนของข้อมุลแต่ละตัว และมี n แรพลิเคต ดังนั้นค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยตัวอย่างนี้คือ

$$\underline{\sigma^2}_{y} = \underline{\sigma^2}_{n} \qquad (2.1)$$

2. การสุ่ม (Randomization) คือการจัดลำดับของการทดลองหรือวิธีการเลือกวัสดุอุปกรณ์โดยกำหนดให้เป็นแบบสุ่ม ซึ่งทั้งนี้ตัวแปรของข้อมูลจะต้องเป็นตัวแปรที่มีการกระจายแบบอิสระ ประโยชน์ของการสุ่มคือช่วยลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจส่งผลกระทบต่อการทดลองโดยการกระจายความผิดพลาดในการทดลอง

3. การควบคุม (Blocking) คือการควบคุมสภาพในการทดลองให้มีความใกล้เคียงกันมากที่สุด ประโยชน์ของการควบคุมก็คือป้องกันการรบกวนจากปัจจัยภายนอกและเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทดลอง (Breyfogle, W.F., 1992) บล็อกอันหนึ่งอาจจะหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซ็ตทั้งหมดของวัสดุการเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่างๆ ภายในแต่ละบล็อกจะเกิดขึ้นได้จากการทำบล็อกกิ้ง

2.3.3 สมมุติฐานทางสถิติ (Statistics Hypothesis) เป็นสมมติฐานที่กำหนดขึ้น เพื่อใช้ในการทดสอบทางสถิติ โดยมีการกำหนดระดับนัยสำคัญ (Level of Significance) คือ การที่ผู้วิจัยกำหนดขอบเขตของความคลาดเคลื่อน ที่จะยอมให้เกิดขึ้นได้ในการทดสอบสมมติฐาน การกำหนดความคลาดเคลื่อน จะใช้ความน่าจะเป็น (Probability) ในการทดสอบสมมติฐานนั้น ถ้าเกิดความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าที่กำหนดก็จะยอมรับ สมมติฐานไร้นัยสำคัญ (H_0) ในทางตรงข้าม หากเกิดความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าที่กำหนด จะไม่ยอมรับ H_0 ในการวิจัยอาจจะกำหนดนัยสำคัญเพื่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทดสอบสมมติฐานเป็น 0.001 หรือ 0.01 หรือ 0.05 ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัญหาและเรื่องในการวิจัย (ยุทธ, 2536)

2.3.4 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial design) เป็นการทดลองที่สามารถศึกษาผลของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น ประโยชน์คือทำให้สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดจากปัจจัยที่ส่งผลกระทบทำให้เกิดข้อสรุปที่ผิดพลาดและช่วยให้ได้ข้อสรุปที่สมเหตุสมผลในตลอดช่วงการทดลอง สำหรับการทดลองจะเลือกใช้การออกแบบทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k เป็นการออกแบบการทดลองที่ใช้ปัจจัยที่เกี่ยวข้องจำนวน k ปัจจัย และแต่ละปัจจัยประกอบด้วยสองระดับ แทนด้วยระดับสูงและระดับต่ำโดยในการออกแบบจะแทนระดับสูงด้วยเครื่องหมาย “+” และแทนระดับต่ำด้วยเครื่องหมาย “-”

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

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

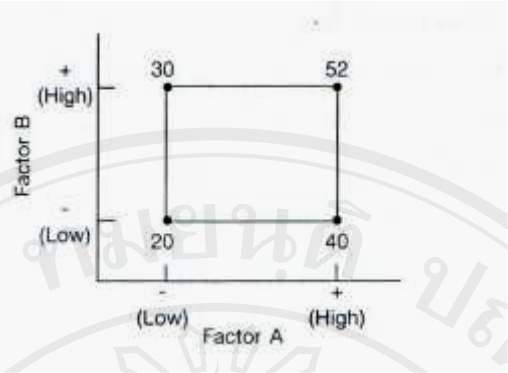
เช่น ตัวอย่างรูปที่ 2.3 ซึ่งเป็นการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย โดยที่แต่ละปัจจัยจะประกอบด้วย 2 ระดับ คือ ระดับ ต่ำ และสูง ซึ่งแทนด้วยเครื่องหมายลบ และบวก ตามลำดับ ผลหลักของปัจจัย A ในการทดลองนี้คือ ผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของผลตอบที่ระดับต่ำและระดับสูงของปัจจัย A ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

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

หมายความว่า การเพิ่มขึ้นของปัจจัย A จากระดับต่ำไปสู่ระดับสูง จะทำให้ผลตอบเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 21 หน่วย ในทำนองเดียวกัน จะสามารถคำนวณหาค่าผลหลักของปัจจัย B ได้คือ

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

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.13 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย

2.3.4.1 การออกแบบ 2^k

การออกแบบที่มี k ปัจจัย แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ แบบจำลองทางสถิติสำหรับการออกแบบ 2^k จะประกอบด้วยผลหลัก k ชนิด, $\binom{k}{2}$ อันตรกิริยาของ 2 ปัจจัย, $\binom{k}{3}$ อันตรกิริยาของ 3 ปัจจัย, ...และ 1 อันตรกิริยาของ k ปัจจัย นั่นคือ แบบจำลองบริบูรณ์สำหรับการออกแบบ2^k จะประกอบด้วยผลทั้งสิ้น $2^k - 1$ ชนิด เครื่องหมายสำหรับการทดลองร่วมปัจจัยที่กำหนดให้ก่อนหน้านี้ยังใช้ในรูปแบบทั่วไปได้เช่นกัน ตัวอย่างเช่น abd ในการออกแบบ 2^5 หมายถึง การทดลองร่วมปัจจัยที่ A, B และ D อยู่ที่ระดับสูง และ C และ E อยู่ที่ระดับต่ำ การทดลองร่วมปัจจัยสามารถเขียนให้อยู่ในลำดับมาตรฐานได้โดยการเพิ่มปัจจัยเข้าไปทีละตัว และให้ปัจจัยใหม่ที่เพิ่มขึ้นมานี้รวมกับปัจจัยที่อยู่ก่อนหน้า ตัวอย่างเช่น ลำดับมาตรฐานของการออกแบบ 2^4 คือ (1), a, b, ab, c, ac, bc, abc, d, ad, bd, abd, cd, acd, bcd และ abcd ตามลำดับ วิธีการทั่วไปในการวิเคราะห์เชิงสถิติของการออกแบบ 2^k ได้สรุปได้ดังนี้

- Estimate factor effects
- Form initial model
- Perform statistical testing
- Refine model
- Analyze residual
- Interpret results

ในขั้นแรกจะต้องประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยต่าง ๆ และตรวจสอบเครื่องหมายและขนาดของผลที่เกิดขึ้น ข้อมูลเช่นนี้จะทำให้ผู้ทดลองทราบโดยเบื้องต้นว่า ปัจจัยและอันตรกิริยาตัวใดที่มีความสำคัญ และปัจจัยเหล่านี้ควรจะถูกปรับให้อยู่ในทิศทางใดเพื่อที่จะปรับปรุงผลตอบ ในการสร้างแบบจำลองเริ่มต้น ควรจะเลือกแบบจำลองแบบเต็มรูปแบบ ซึ่งประกอบด้วยผลหลักและอันตรกิริยาทั้งหมด ในขั้นตอนที่สามจะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อที่จะทดสอบความมีนัยสำคัญของผลหลักและอันตรกิริยา ตารางที่ 2.4 แสดงรูปแบบทั่วไปของการวิเคราะห์ความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แปรปรวนของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k ที่มี n เรพลิเคต ขั้นตอนที่สี่จะเป็นการขัดเกลาแบบจำลอง ซึ่งขั้นตอนนี้จะเกี่ยวกับการดึงเอาตัวแปรที่ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญออกจากแบบจำลองเต็มรูปแบบ ขั้นตอนที่ห้าจะเป็นการวิเคราะห์ส่วนตกค้างเพื่อที่จะตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลอง และตรวจสอบความถูกต้องของสมมติฐานที่สร้างขึ้น มีบางครั้งเช่นกันที่การขัดเกลาแบบจำลองเกิดขึ้นหลังจากการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง ทั้งนี้ เนื่องจากพบว่าแบบจำลองเกิดความไม่เพียงพอ หรือสมมติฐานที่กำหนดให้นั้นไม่ถูกต้องอย่างรุนแรง ในขั้นตอนสุดท้ายจะทำการวิเคราะห์ด้วยกราฟ โดยจะสร้างกราฟและผลหลักและอันตรกิริยาขึ้น

ตารางที่ 2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบ 2^k

Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom
k main effects		
A	SS_A	1
B	SS_B	1
⋮	⋮	⋮
K	SS_k	1
$\binom{k}{2}$ two-factor interactions		
AB	SS_{AB}	1
AC	SS_{AC}	1
⋮	⋮	⋮
JK	SS_{JK}	1
$\binom{k}{3}$ three-factor interactions		
ABC	SS_{ABC}	1
ABD	SS_{ABD}	1
⋮	⋮	⋮
LJK	SS_{LJK}	1
⋮	⋮	⋮
$\binom{k}{k}$ 1 k -factor interactions	$SS_{ABC...K}$	1
ABC…K	SS_E	$2^k(n-1)$
Error	SS_T	$n2^k-1$
Total		

เพื่อที่จะประมาณค่าของผล หรือค่าผลรวมของกำลังสองของผล ซึ่งจะต้องคำนวณหาค่าคอนแทรสต์ที่เกี่ยวข้องกับผลตัวนั้นก่อน ซึ่งทำได้โดยการใช้ตารางของเครื่องหมายบวกและลง ดังเช่น ตารางที่ 2.9 และ 2.11 เป็นต้น อย่างไรก็ตามสำหรับ k ที่มีค่ามาก วิธีการเช่นนี้จะทำให้เกิดความชักช้าในการใช้งาน ดังนั้นควรใช้อีกวิธีการหนึ่งคือ ขยายทางด้านขวามือของสมการคอนแทรสต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$Contrast_{AB...K} = (a \pm 1)(b \pm 1)...(k \pm 1) \quad (2.2)$$

ในการขยายสมการ 2.19 จะใช้พีชคณิตเบื้องต้นเข้ามาช่วย และแทนค่า 1 ในสูตรที่คำนวณได้ครั้งสุดท้ายด้วย (1) สัญลักษณ์ในวงเล็บแต่ละชุดจะเป็นค่าลบ ถ้าปัจจัยนั้นได้ถูกรวมไว้ในคอนแทรสต์และเป็นค่าบวก ถ้าปัจจัยนั้นไม่ได้ถูกรวมเอาไว้

เพื่อเป็นการแสดงให้เห็นถึงการใช้สมการ 2.19 พิจารณาการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3 ค่าคอนแทรสต์ของ AB หาได้จาก

$$Contrast_{AB} = (a-1)(b-1)(c+1)$$

$$= abc + ab + c + (1) - ac - bc - a - b$$

ตัวอย่างถัดมา ในการออกแบบ 2^5 ค่าคอนแทรสต์ของ ABCD คือ

$$Contrast_{ABCD} = (a-1)(b-1)(c-1)(d-1)(e+1)$$

$$= abcde + cde + bde + ade + bce + ace + abe + e + abcd + cd + bd + ad$$
$$+ bc + ac + ab + (1) - a - b - c - abc - d - abd - acd - bcd - ae - be$$
$$- ce - abce - de - abde - acde - bcde$$

เมื่อคำนวณค่าคอนแทรสต์สำหรับผลต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว สามารถที่จะประมาณค่าผลต่างๆ และคำนวณหาค่าของผลรวมของกำลังสองได้โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$AB...K = \frac{2}{n2^k}(Contrast_{AB...K}) \quad (2.3)$$

$$SS_{AB...K} = \frac{2}{n2^k}(Contrast_{AB...K})^2 \quad (2.4)$$

ตามลำดับ โดยที่ n แทนจำนวนของเรพลิเคต

2.3.4.2 การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ

การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลถูกนำมาใช้มากในการกรองเพื่อหาปัจจัยที่มีผล กล่าวคือ ในการทดลองหนึ่งอาจจะมีปัจจัยมากมายที่กำลังอยู่ในความสนใจ จะใช้การออกแบบเช่นนี้ เพื่อค้นหาว่าปัจจัยตัวใดบ้าง (ถ้ามี) เป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ การทดลองเพื่อกรองปัจจัยนี้ส่วนมากจะใช้ในตอนเริ่มต้นโครงการ เนื่องจากโดยมากแล้วในขณะนั้นจะมีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่มีแนวโน้มว่าจะเป็นปัจจัยที่มีผลน้อยหรือไม่มีผลต่อผลตอบที่กำลังพิจารณาอยู่ หลังจากทำการทดลองเพื่อกรองปัจจัยเสร็จสิ้นแล้ว ปัจจัยที่มีผลจะถูกนำไปทำการทดลองอย่างละเอียดในการทดลองต่อ ๆ ไป ที่จะตามมาในอนาคต

ความสำเร็จของการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลขึ้นอยู่กับแนวคิดที่สำคัญ 3 ประการ คือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- หลักการที่ว่ามีปัจจัยจำนวนน้อยที่มีผล เมื่อมีตัวแปรหลายตัว การดำเนินการต่าง ๆ ของระบบหรือกระบวนการมีแนวโน้มที่จะถูกกำหนด โดยปัจจัยหลักและอันตรกิริยาขั้นต่ำเพียงบางตัวเท่านั้น

- คุณสมบัติการฉายการออกแบบ การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลสามารถถูกฉายไปสู่การออกแบบที่ดีกว่า (ใหญ่กว่า) ในเซตย่อยของปัจจัยที่มีผล

- การทดลองต่อเนื่อง เป็นไปได้ที่จะรวมการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล 2 การทดลองหรือมากกว่าเข้าด้วยกัน เพื่อที่จะทำให้เกิดการทดลองอย่างต่อเนื่องที่มีการออกแบบที่ใหญ่กว่า และสามารถประมาณผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่อยู่ในความสนใจได้ดียิ่งขึ้น

2.3.4.4 การทดลองแบบ 2^{k-1}

การออกแบบ 2^{k-1} ที่มีมิติสูงสุด อาจจะสร้างได้จากการเขียนการออกแบบเบื้องต้น (Basic Design) ซึ่งประกอบไปด้วย แฟกทอเรียลแบบบิรบูรณ์ของ 2^{k-1} แล้วเติมปัจจัยตัวที่ k ลงไป โดยกำหนดให้เครื่องหมายบวก และลบของปัจจัยที่ k นี้มีค่าเหมือนกันกับเครื่องหมายของอันตรกิริยาขั้นสูงสุด ABC…(k-1) ดังนั้น เศษส่วนแฟกทอเรียลแบบ 2^{3-1} จะหาได้จากการเขียนแฟกทอเรียลแบบ 2^2 ให้เป็นการออกแบบเบื้องต้น และหาค่า C จากอันตรกิริยา AB เศษส่วนอีกชุดนึงหาได้โดยให้ C เท่ากับ –AB วิธีการนี้แสดงไว้ดังตารางที่ ..... สังเกตุว่าการออกแบบเบื้องต้นจะมีจำนวนการทดลองร่วมปัจจัย (แถว) ที่ครบถูกต้อง แต่จะขาดอยู่ 1 คอลัมน์ เราจะใช้ I= ABC…K ในการหาคอลัมน์ที่ k ขาดหายไป ดังนั้น เราจะใช้ I= ABC…(k-1) ในการกำหนดเครื่องหมายบวกและลบที่จะใช้กับปัจจัยตัวที่ k

ผลของอันตรกิริยาตัวใดๆสามารถมาใช้ในการสร้างคอลัมน์สำหรับปัจจัยตัวที่ k ก็ได้ แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าใช้ผลของอันตรกิริยาตัวอื่นๆ นอกเหนือจาก I= ABC…(k-1) แล้ว การออกแบบนี้จะไม่ก่อให้เกิดการออกกแบบที่มีมิติสูงสุดที่เป็นไปได้

อีกวิธีนึงในการสร้างการออกแบบเศษส่วน 2^{k-1} ก็คือ แบ่งการทดลองทั้งหมดเป็น 2 บล็อก โดยใช้ ABC…k เป็นตัวคอนฟาวด์ ซึ่งในแต่ละบล็อก คือการออกแบบเศษส่วนแฟกทอเรียลแบบ 2^{k-1} ซึ่งมีมิติสูงสุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.5 แสดงเศษส่วน 2^{k-1} ของการออกแบบ 2^3 ทั้งสองแบบ (ปารเมศ., 2545)

	Full 2^2 Factorial (Basic Design)		2^{3-1} III = ABC			2^{3-1} III = -ABC		
Run	A	B	A	B	C=AB	A	B	C= -AB
1	-	-	-	-	+	-	-	-
2	+	-	+	-	-	+	-	+
3	-	+	-	+	-	-	+	+
4	+	+	+	+	+	+	+	-

2.3.4.5 การทดลองแบบ 2^{k-2} ระดับที่จำนวนแฟคเตอร์ใดๆ

สำหรับการออกแบบการทดลองที่เกี่ยวกับกับปัจจัยจำนวนมาก เศษส่วนที่เล็กกว่าของการออกแบบ 2^k น่าจะเป็นทางเลือกที่ดีกว่า พิจารณาเศษส่วน ¼ ของการออกแบบ 2^k ซึ่งประกอบด้วยการทดลองทั้งสิ้น 2^{k-2} และเรียกการออกแบบเช่นนี้ว่า การออกแบบเศษส่วนแบบ 2^{k-2}

การออกแบบ 2^{k-2} อาจจะสร้างโดยการเขียนการออกแบบเบื้องต้นซึ่งประกอบด้วยการทดลองที่เกี่ยวกับแฟกทอเรียลบริบูรณ์ของ k-2 ปัจจัย และเติมคอลัมน์ที่เหลืออีก 2 คอลัมน์ด้วยอันตรกิริยาที่เหมาะสมที่เกี่ยวข้องกับปัจจัย k-2 ตัวแรก ดังนั้นเศษส่วน ¼ ของการออกแบบ 2^k จะมีตัวก่อกำเนิดอยู่สองตัว ถ้า P และ Q เป็นตัวก่อกำเนิดที่เลือกมา ดังนั้น I=P และ I=Q เรียกว่าความสำพันธ์ก่อกำเนิดสำหรับการออกแบบนี้ เครื่องหมายของ P และ Q (ทั้ง + และ -) จะเป็นตัวกำหนดว่าเศษส่วน ¼ ชุดใดถูกสร้างขึ้นมา เศษส่วนทั้งสี่จะเกี่ยวข้องกับการเลือกตัวกำเนิด +- P และ +-Q เป็นสามาชิกในครอบครัวเดียวกัน เศษส่วนทั้ง P และ Q เป็นบวกจะเป็นเศษส่วนหลัก

ตัวกำหนดความสัมพันธ์ที่บริบูรณ์สำหรับการออกแบบจะประกอบด้วยคอลัมน์ทั้งหมดที่มีค่าเท่ากับคอลัมน์เอกลักษณ์ 1 คอลัมน์เหล่านี้จะประกอบด้วย P และ Q และอันตรกิริยาวางนัยทั่วไปแล้วของ PQ ซึ่งหมายความว่า ตัวกำนหนดความสัมพันธ์คือ I=P=Q=PQ เราจะเรียก P,Q และ PQ ในตัวความสัมพันธ์นี้ว่า “เวิร์ค” คู่แฝดแฝงของผลต่างๆ สร้างได้จากการคูณคอลัมน์ที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยนั้นกับเวิร์คในตัวกำหนดความสัมพันธ์ แน่นอนว่าผลแต่ละตัวจะมีคู่แฝดแฝงอยู่ 3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตัว ผู้ทดลองจะต้องให้ความระมัดระวังกับการเลือกตัวก่อกำเนิด เพื่อผลที่สำคัญๆ จะไม่คู่แฝดแฝงซึ่งกันและกัน

ตัวอย่างเช่น สำหรับการออกแบบ 2^{6-2} สมมุติว่าเลือก I=ABCD และ I=BCDF เป็นตัวก่อกำเนิดการออกแบบ จะได้ว่าอันตรกิริยาวางนัยทั่วไปแล้วของตัวก่อกำเนิด ABCD และ BCDF คือ ADEF ดังนั้น ตัวกำหนดความสัมพันธ์ที่บริบูรณ์ของการออกแบบนี้คือ

I=ABCD=BCDF=ADEF

ผลก็คือ การออกแบบนี้มีมิติ IV เพื่อที่จะหาคู่แฝดแฝงของผลตัวใดๆ (ตัวอย่างเช่น A) ให้คูณผลตัวนั้นด้วยเวิร์คที่อยู่ในตัวกำหนดความสำพันธ์ สำหรับ A จะได้ว่า

A=BCE=ABCDF=DEF

เป็นการง่ายที่จะตรวจสอบว่าผลหลักทุกตัวจะคู่แฝดแฝงกับอันตรกิริยาแบบสาม และห้าปัจจัย โดยที่อันตรกิริยาแบบสองปัจจัยจะคู่แฝดแฝงซึ่งกันและกัน และคู่แฝดแฝงกับอันตรกิริยาชั้นสูงอีกด้วย ดังนั้นเมื่อต้องการประมาณค่า A หมายความว่า กำลังจะประมาณค่าของ A+BCE+ABCDF+DEF ด้วย โครงสร้างของคู่แฝดแฝงที่บริบูรณ์ของการออกแบบนี้แสดงดังตารางที่ 2.6 ถ้าอันตรกิริยาแบบสามปัจจัยและมากกว่าที่จะละเลยได้ การออกแบบเช่นนี้จะให้ค่าประมาณของผลหลัก

ตารางที่ 2.6 โครงสร้างคู่แฝดแฝงของการออกแบบ 2^{6-2} IV ซึ่งมี I=ABCD=BCDF=ADEF

A	=	BCE	=	DEF	=	ABCDF		AB	=	CE	=	ACDF	=	BDEF
B	=	ACE	=	CDF	=	ABDEF		AC	=	BE	=	ABDF	=	CDEF
C	=	ABE	=	BDF	=	ACDEF		AD	=	EF	=	BCDE	=	ABCF
D	=	BCF	=	AEF	=	ABCDE		AE	=	BC	=	DF	=	ABCDEF
E	=	ABC	=	ADF	=	BCDEF		AF	=	DE	=	ACEF	=	ABCDE
F	=	BCD	=	ADE	=	ABCEF		BD	=	CF	=	ACDE	=	ABEF
								BF	=	CD	=	ACEF	=	ABDE
ABD	=	CDE	=	ACF	=	BEF								
ACD	=	BDE	=	ABF	=	CEF								

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วิธีอื่นที่สามารถสร้างการออกแบบนี้ขึ้นได้คือ หาบล็อกทั้งของการออกแบบ 2^6 ที่มี ABCE และ BCDF ถูกคอนฟาวด์ และเลือกบล็อกที่มีการทดลองร่วมปัจจัยที่มีค่าของ ABCE และ BCDF เป็นบวก จะกลายเป็นการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^{6-2} ทีมีความสัมพันธ์ก่อกำเนิด I=ABCE และ I=BCDF และเนื่องจากตัวก่อกำเนิด ABCE และ BCDF เป็นบวกทั้งคู่ ดังนั้นเศษส่วนนี้คือเศษส่วนหลัก

จะเห็นว่ายังมีทางเลือกอีก 3 ทางสำหรับการออกแบบ 2^{6-2} นี้ นั่นคือ มีเศษส่วนที่มีความสัมพันธ์กำเนิดเท่ากับ I=ABCE และ I= -BCDF , I= -ABCE และ I=BCDF ซึ่งเศษส่วนเหล่านี้อาจสร้างได้ง่ายๆ เช่น ต้องการหาเศษส่วนซึ่ง I=ABCE และ I= -BCDF ดังนั้น ในคอลัมน์สุดท้ายของตาราง ..... จะให้ F= -BCD และระดับต่างๆ ในคอลัมน์ของปัจจัย F จะกลายเป็นตัวกำหนดความสัมพันธ์ที่บริบูรณ์สำหรับเศษส่วนตัวอื่นๆคือ I=ABCE = -BCDF = -ADEF เครื่องหมายบางตัวของโครงสร้างคู่แฝดในที่ตารางที่ 2-4 อาจจะมีการเปลี่ยนแปลง เช่น คู่แฝดแฝงของ A คือ A = BCE = -DEF = -ABCDF ดังนั้นผลรวมเชิงเส้นของข้อมูล I_A จะเป็นค่าประมาณของ A + BCE - DEF -ABCDF

สังเกตุได้ว่าเศษส่วนแฟกทอเรียลแบบ 2_{IV}^{6-2} จะฉายไปสู่การออกแบบ 2^4 แบบ 1 เรพลิเคต ภายใต้เซตย่อยที่ประกอบด้วย 4 ปัจจัยที่ไม่ได้เป็นเวิร์คในตัวกำหนดความสัมพันธ์ มันยังสามารถยุบกลายเป็นเศษส่วน ½ ของการออกแบบ 2^4 แบบ 2 เรพลิเคต ภายใต้เซตย่อยที่ประกอบด้วย 4 ปัจจัยที่เป็นเวิร์คในตัวกำหนดความสัมพันธ์ ดังนั้น จะกลายเป็น 2^{4-1} แบบ 2 เรพลิเคตภายใต้ปัจจัย ABCE , BCDF และ ADEF เนื่องจากตัวเหล่านี้เป็นเวิร์คในตัวกำหนดความสัมพันธ์ ยังมีกลุ่มของ 6 ปัจจัยอื่นๆอีก เช่น ABCD , ABCF เป็นต้น ซึ่งสามารถที่จะฉ่ายไปสู่การออกแบบ 2^4 แบบ 1 เรพลิเคต การออกแบบเช่นนี้ยังสามารถยุบไปสู่การออกแบบ 2^3 แบบ 2 เรพลิเคตภายใต้เซตย่อยใดๆ ของปัจจัย 3 จาก 6 ตัว หรือ 4 เรพลิเคต ของ 2^2 ภายใต้เซตย่อยใดๆ ของ 2 ปัจจัย

ตามปกติแล้วการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^{k-2} สามารถที่จะยุบไปสู่แฟกทอเรียลแบบบริบูรณ์ หรือเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลภายใต้เซตย่อยของ $r <= k - 2$ ของปัจจัยเริ่มต้น เซตย่อยเหล่านี้ของตัวแปรที่สามารถกลายเป็นแฟกทอเรียลแบบบริบูรณ์จะต้องไม่เวิร์คในตัวกำหนดความสัมพันธ์แบบบริบูรณ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

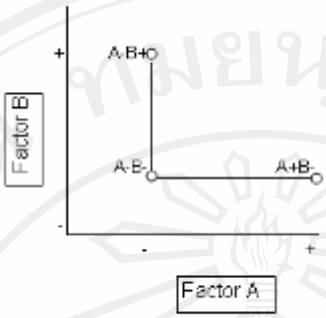
ตารางที่ 2.7 โครงสร้างคู่แฝดแฝงของการออกแบบ 2^{6-2} IV ซึ่งมี ตัวก่อกำเนิด I=ABCD และ I=BCDF (ปารเมศ, 2545)

	(Basic Design)					
Run	A	B	C	D	E = ABC	F = BCD
1	-	-	-	-	-	-
2	+	-	-	-	+	-
3	-	+	-	-	+	+
4	+	+	-	-	-	+
5	-	-	+	-	+	+
6	+	-	+	-	-	+
7	-	+	+	-	-	-
8	+	+	+	-	+	-
9	-	-	-	+	-	+
10	+	-	-	+	+	+
11	-	+	-	+	+	-
12	+	+	-	+	-	-
13	-	-	+	+	+	-
14	+	-	+	+	-	-
15	-	+	+	+	-	+
16	+	+	+	+	+	+

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การออกแบบแฟคทอเรียลมีประโยชน์หลายประการสามารถแสดงได้ดังนี้ สมมุติว่ามี 2 ปัจจัย (A และ B) ที่ต้องการศึกษา แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ซึ่งจะแทนปัจจัยแต่ละระดับด้วย A-,A+,B-,B+ ตามลำดับ ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยทั้งสองสามารถหาได้จากการเปลี่ยนระดับของปัจจัยทีละปัจจัยดังแสดงในรูป 2-14 ผลที่เกดจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัย A จากน้อยไปมากมีค่าเป็น (A+B)-(A-B-) และผลการเปลี่ยนแปลงปัจจัย B จากน้อยไปมากคือ (A-B+)-(A-B-) เนื่องจากในการทดลองอาจจะมีความผิดพลาด (Error) เกิดขึ้น ดังนั้น เราควรจะทำการทดลองอย่างน้อย 2 ครั้ง สำหรับการทดลองร่วมปัจจัย (Treatment Combination) แต่ละจุด และนำผลตอบที่ได้มาเฉลี่ยเพื่อ

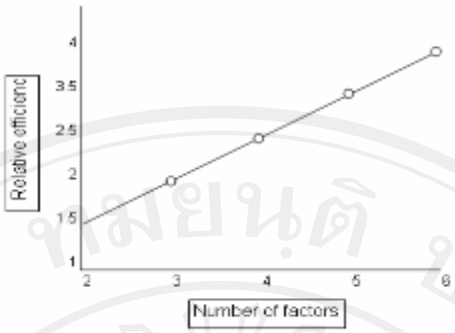
ประมาณถึงผลที่เกิดขึ้น ดังนั้น จะต้องทดลองทั้งสิ้น 6 ครั้ง (2 ครั้งจาก A+B-,2 ครั้งจาก A-B-, และ 2 ครั้ง จาก A-B+)



รูปที่ 2.14 การออกแบบทีละปัจจัย (One-Factor-At-a-Time Experiment) (ปารเมศ, 2545)

ถ้าทำการทดลองเชิงแฟกทอเรียล เราจะต้องทำการทดลองร่วมปัจจัย A+B+ เพิ่มขึ้นอีกหนึ่งการทดลอง ในตอนนี้เราสามารถใช้เพียงแต่ 4 การทดลองเท่านั้นเพื่อหาผลที่เกิดจากปัจจัย A นั่นคือ A-B- และ (A+B+) - (A-B+) และผลที่เกิดจากปัจจัย A หาได้จากการนำค่าประมาณที่ได้ทั้งสองค่ามา และหาผลต่างของมัน ซึ่งก็คือ ((A+B-)-(A-B-))/2-((A+B+)-(A-B+))/2 นั่นเอง และค่าผลที่เกิดจากปัจจัย A ที่ได้ควรจะมีค่าความถูกต้องใกล้เคียงกับการทดลองแบบทีละปัจจัย ในทำนองเดียวกันกับการทดลองแบบทีละปัจจัย ในทำนองเดียวกันกับการทดลองร่วมปัจจัยท้าง 4 ที่กล่าวมานี้ เราก็สามารถหาผลที่เกิดจากปัจจัย B ได้เช่นกัน ดังนั้นประสิทธิภาพสัมพัทธ์ของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลต่อการทดลองแบบทีละปัจจัยมีค่าเป็น 6/4 = 1.5 ตามปกติแล้ว ค่าประสิทธิภาพสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนของปัจจัยเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูป 2.15

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.15 ประสิทธิภาพสัมพัทธ์ระหว่างการทดลองแบบแฟกทอเรียลต่อการทดลองแบบที่ละปัจจัย (ปารเมศ , 2545)

สมมุติว่าในการทดลองนี้มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยเกิดขึ้น ถ้าการทดลองแบบทีละปัจจัยได้ผลว่า ผลตอบของ A-B+ และ A+B+ ดีกว่า A-B- แล้ว ข้อสรุปก็ควรจะเป็นว่า ผลตอบของ A+B+ ควรจะสูงกว่านี้อีก แต่จากที่กล่าวมาข้างต้นว่า เมื่อใดก็ตามที่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยเกิดขึ้น การสรุปเช่นนี้อาจจะนำไปสู่ความผิดพลาดขึ้นได้

สรุปคือ การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลมีประโยชน์หลายประการ และเป็นการออกแบบที่มีประสิทธิภาพเหนือกว่าการทดลองแบบทีละปัจจัย ยิ่งกว่านั้นแล้วการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลยังเป็นสิ่งที่จำเป็นเมื่อมีอันตรกิริยาเกิดขึ้น ซึ่งกรณีเช่นนี้ทำให้สามารถหลีกเลี่ยงข้อสรุปที่ผิดพลาดได้ นอกจากนั้นการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลทำให้สามารถประมาณผลของปัจจัยหนึ่งที่ระดับต่างๆ ของปัจจัยอื่นได้ ทำให้สามารถหาข้อสรุปทีสมเหตุสมผล (Valid) ตลอดเงื่อนไขของการทดลองได้

จากนั้นนำปัจจัยที่ได้ไปหาค่าที่เหมาะสม (Optimization) (สุจินดา, 2548) เป็นกระบวนการสำหรับพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เป็นไปได้ที่ดีที่สุดในกลุ่มหรือประเภทของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ค่าที่เหมาะสมจะต้องตอบสนองหรือบรรลุถึงวัตถุประสงค์ 3 ประการดังนี้

1. ค่าที่เหมาะสมจะต้องเป็นค่าที่ได้รับการยอมรับสูงสุด โดยเป็นค่าที่เป็นไปได้ที่ดีที่สุด เมื่อมีการกำหนดกลุ่มของค่าตัวแปร
2. ค่าที่เหมาะสมจะต้องอยู่ในภายใต้ข้อจำกัดทาด้านต้นทุนที่สมเหตุสมผล
3. ค่าที่เหมาะสมควรมีคุณลักษณะอยู่ในระดับมาตรฐานของบริษัท

ข้อดีของการเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสม มีดังนี้ คือ

1. เป็นวิธีการที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพในด้านต้นทุน หลีกเลี่ยงการทดลองซ้ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2. เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพทางสถิติ เพราะอิทธิพลร่วมระหว่างตัวแปรอิสระและอิทธิพล หรือความสัมพันธ์แบบหุ่นกำลังสอง ที่มีต่อค่าผลตอบสามารถคาดคะเนได้

3. วิธีการหาค่าที่เหมาะสม ให้ฐานข้อมูลที่ตอบคำถามหลายประการ เช่น ถ้าที่สภาวะ A มีต้นทุนการผลิตสูง การจะหาสภาวะใหม่ที่ต้นทุนลดลง ไม่จำเป็นต้องทำการทดสอบเต็มรูปแบบอีกครั้ง เนื่องจากฐานข้อมูลที่มีสามารถจะให้คำตอบที่ต้องการได้ อย่างไรก็ตาม การตรวจสอบยืนยันสมการนับว่ามีความจำเป็น

4. วิธีการหาค่าที่เหมาะสม สามารถให้สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการที่มีศักยภาพได้หลาย ๆ ค่า สามารถตอบสนองความต้องการของตลาดที่เปลี่ยนแปลง และให้ข้อมูลที่มีคุณภาพ

อย่างไรก็ตาม การหาค่าที่เหมาะสมอาจคลาดเคลื่อนได้ หากไม่มีความระมัดระวัง ในระหว่างขั้นการวางแผนศึกษา ในเรื่องดังนี้

- ไม่ได้มีการระบุปัจจัยหรือตัวแปรที่มีผลต่อค่าตอบสนองอย่างถูกต้อง ดังนั้นควรทราบถึงหน้าทีของปัจจัยนั้น ๆ ในสภาวะที่มีผลต่อค่าตอบสนอง
- การระบุระดับต่ำหรือระดับสูงของปัจจัยอาจไม่ถูกต้อง ดังนั้นการทดลองเบื้องต้นจึงเป็นสิ่งจำเป็น หากไม่สามารถหาข้อมูลได้
- การใช้พื้นที่การตอบสนองเกินกว่าปกติ โดยไม่มีการตรวจสอบจุดที่เหมาะสม
- การเลือกใช้แบบการทดลองและการเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไม่ถูกต้อง

2.4 วรรณกรรมปริทัศน์

ปัญหาการโค้งงอของวัสดุประเภทพลาสติค (Plastic) หรือโพลิเมอร์ (Polymer) เป็นปัญหาที่มีความสำคัญในวงการอุตสาหกรรม เพราะส่วนใหญ่แล้วจะใช้วัสดุเป็นพลาสติคหรือโพลิเมอร์ เพราะสามารถผลิตได้เร็ว และยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ทั้งในรูปแบบเดิม และหลอมทำเป็นรูปแบบได้หลากหลาย ทั้งนี้ส่วนใหญ่แล้วในอุตสาหกรรมจะใช้เป็นวัสดุหีบห่อที่ต้องซ้อนกันหลายชั้นในการส่ง เพราะจะช่วยลดเวลา และค่าใช้จ่ายในการส่งสินค้า ดังนั้นการที่วัสดุหีบห่อเกิดการบิดโค้ง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเสียหายได้จึงได้มีการศึกษาการใช้วัสดุที่เหมาะสมกับชนิดของผลิตภัณฑ์ โดยมีการโค้งงอ (Warpage) เป็นหนึ่งในปัจจัยหลัก โดยเริ่มจากการออกแบบได้มีโปรแกรมการออกแบบเป็นแบบบ 3 มิติ เพื่อช่วยจำลองสภาวะของวัสดุหีบห่อขณะใช้งาน หรือขนส่ง ว่ามีเหตุ และปัจจัยใดบ้างที่จะทำให้ ผลิตภัณฑ์เสี่ยงต่อความเสียหายได้ (Wei L. et al. ,

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2006) โดยใช้โปรแกรมการออกแบบบรรจุภัณฑ์แบบ 3 มิติมาใช้ (3D Packaging) โดยหลังจากได้ปัจจัยหลักแล้วได้ทำการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment , DOE) โดยได้คำนึงถึงเรื่องวัสดุที่ใช้ ความร้อนในการขึ้นรูป หรือเปลี่ยนรูปร่าง การไหลตัวเมื่อเปลี่ยนรูป และความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัย และทั้งนี้ก็ยังรวมไปถึงการศึกษาเรื่องอุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ในอุตสาหกรรมอิเลคทรอนิคส์ (S.L.Liu et al., 2004) โดยได้มองว่าในการขนส่งชิ้นส่วนในอุตสาหกรรมอิเลคทรอนิคส์บรรจุภัณฑ์มีความสำคัญต่อคุณสมบัติ และความเสียหายของชิ้นส่วนอิเลคทรอนิคส์ และเพื่อต้องการลดความสูญเสียทีเกิดขึ้น จึงได้ทำการศึกษาวิธีการขึ้นรูปที่เหมาะสม และปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูป ซึ่งได้แก่ความร้อน ในแต่ละช่วงการขึ้นรูป ชนิดและการออกแบบแม่พิมพ์ในการขึ้นรูป และคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูป และเนื่องจากแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปได้มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย

การศึกษาถึงผลกระทบของการหดตัว (Shrinkage) และการโค้งงอหลังการขึ้นรูป (Warpage) (Kramschuster A. et al., 2006) โดยศึกษาจากรูปทรงเรขาคณิตรูปกล่องโดยใช้แม่พิมพ์ชนิด “Conventional and Microcellular” ในการวิจัย และใช้วิธีแฟกชั่นแนลแฟกทรอเรียล (Fractional Factorial) ในการออกแบบการทดลอง โดยปัจจัยหลักและระดับของปัจจัยดูจากตารางที่

2.8 โดยผลที่ได้ปรากฏว่าความเร็วในการฉีดมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการหดตัว และการโค้งงอของวัสดุ และเวลาในการฉีด และการเย็นตัวของแม่พิมพ์มีความสัมพันธ์กัน และมีผลต่อหดตัว และโค้งงอของวัสดุอีกด้วย

ตารางที่ 2.8 แสดงระดับของปัจจัยในการทดลอง

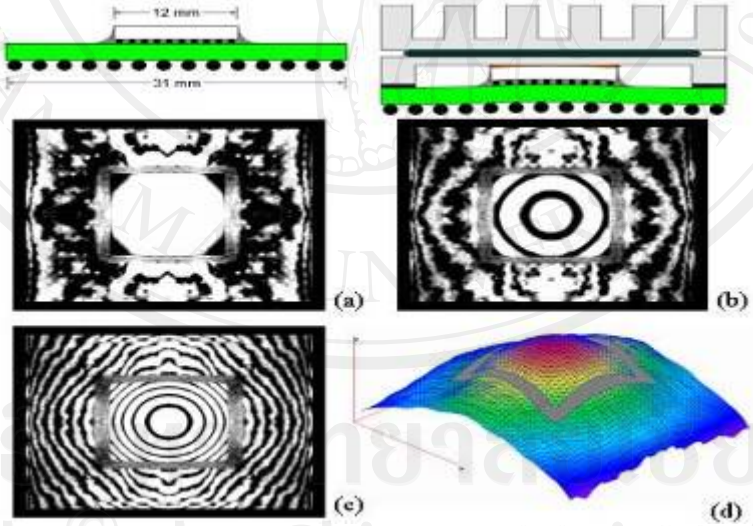
ปัจจัยในการทดลอง	**ระดับต่ำ**	**ระดับสูง**
A . การหยุดรอ (วินาที)	3	6
B. การหล่อเย็น (วินาที)	20	35
C. ความเร็วในการฉีด (มม./วินาที)	40	100
D. แรงดันแม่พิมพ์ (บาร์)	400	600
E. อุณหภูมิแม่พิมพ์ (องศาเซลเซียส)	205	230
F. อุณหภูมิตัวกำเนิดแรงดัน (องศาเซลเซียส)	20	40

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จะเห็นได้ว่าวิธีการออกแบบการทดลองได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายมากในการวิเคราะห์ที่มีปัจจัย หรือตัวแปรมากกว่า 2 ตัวแปร และยังสามารถใช้ร่วมกับ การวิเคราะห์โครงสร้างย่อยในการออกแบบการทดลอง (Electronic Packaging Technology Conference, 1997) จะทำให้การออกแบบผลิตภัณฑ์ หรือบรรจุภัณฑ์พลาสติค ทำได้ง่าย และตรงต่อคุณสมบัติการใช้งาน

นอกจากนั้นยังมีงานวิจัยเกี่ยวข้องกับบรรจุภัณฑ์ของชิ้นส่วนอิเลคทรอนิคส์ (Hai D. et al., Cheng Z , 2004) โดยมองว่า (Wafer-level packaging , WLP) จะเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอนาคต แต่ละบริษัทควรจะหันมามองถึงความสำคัญ โดยจะมุ่งเน้นวิจัยในด้านการซ้อนกันของบรรจุภัณฑ์ที่จะมีโอกาสทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหาย แตกหัก (crack) หรือมีผลทำให้ส่วนประกอบต่างๆของผลิตภัณฑ์หลุ หรือลอกออกจากกัน (De-Lamination) ดังนั้นการบิดตัวระหว่างการซ้อนกันของบรรจุภัณฑ์ ยิ่งบรรจุภัณฑ์มีความบางเท่าไหร่ก็มีโอกาศบิดตัวสูง งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงการขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน ชนิดของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุ เพราะแต่ละชนิดของผลิตภัณฑ์ต้องการเงื่อนไขในการหีบห่อไม่เหมือนกัน เช่น อาจจะต้องระวังเรื่องความชื้น หรือการสั่นสะเทือน เป็นต้น

การวิจัยเกี่ยวกับเรื่อง ผลกระทบของอุปกรณ์ประมวลผลอิเลคทรอนิคส์ (Flip chip) การส่งถ่ายความร้อนของบรรจุภัณฑ์พลาสติด (Celestica News, 2004) โดยทางบริษัทเซเลสติก้า ซึ่งเป็นบริษัทผู้ทำการประกอบแผงวงจรแบบแข็ง (Printed Circuit Board, PCB) รายใหญ่ของโลก เจอปัญหาว่าความร้อนในบรรจุภัณฑ์มีผลกระทบต่อคุณสมบัติของอุปกรณ์หน่วยประมวลผล และการบิดตัว หรือโก่งตัวของบรรจุภัณฑ์



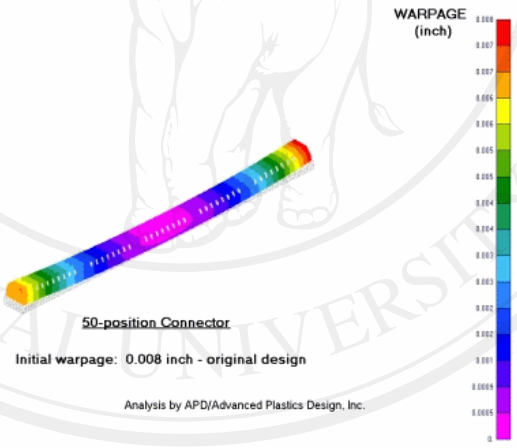
รูปที่ 2.16 แสดงการโก่งตัว (Warpage) ของบรรจุภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 150˚C (a) 100˚C (b) และที่อุณหภูมิห้อง (c) ภาพจำลอง 3 มิติแสดงการบิดตัวที่อุณหภูมิห้อง (d)

จากการวิจัยข้างต้นจะเห็นว่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปมีผลต่อการโค้งตัว หรือโก่งตัวของวัสดุที่เป็นพลาสติด การศึกษาเรื่องอุณหภูมิ และแรงกระทำที่มีผลต่อการบิด หรือโก่งตัวของชิ้นส่วนอิเลคทรอนิคส์ (Journal of Electrical Package , 2001) พบว่าแรง และอุณหภูมิที่มากระทำต่อวัสดุมี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความเสี่ยงที่จะทำให้วัสดุเปลี่ยนรูปได้ โดยได้ทำการออกแบบการทดลอง (DOE) โดยทดลองบนอุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์ (Organic Flip Chip) โดยใช้แรงมากระทำ 15 lb – 200 lb ในแนวดิ่งโดยในขณะเดียวกันได้ให้ความร้อนแก่วัสดุไปด้วย (อุณหภูมิใช้งานจริง) ทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ 3 มิติ เพื่อให้เข้าใจถึงคุณลักษณะของวัสดุที่เปลี่ยนไปที่อุณหภูมิใช้งานหลังได้รับแรงมากระทำในแนวดิ่ง โดยผลจากการทดลองได้ถูกนำไปใช้ในการเลือกใช้ บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม

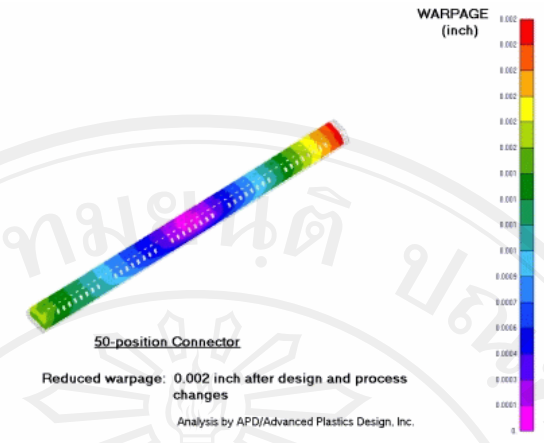
การวิเคราะห์ 50 ตำแหน่งการโก่งตัว (Warpage) ของคอนเนคเตอร์ (Connector) (www.Robustmolding.com) ในอุตสาหกรรมอิเลคทรอนิคส์คอนเนคเตอร์เป็นอุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ ถ้าคอนเนคเตอร์เกิดการโก่ง หรือโค้ง อาจจะทำให้เกิดการแตกของตัวอุปกรณ์ การออกแบบการทดลองนี้ต้องการหาว่าปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อการโก่งตัว หรือโค้งตัวของอุปกรณ์คอนเนคเตอร์ ตำแหน่งของการวัดจะวัดขอบทั้งสองด้านของคอนเนคเตอร์



รูปที่ 2.17 แสดงการโก่ง (Warpage) ของอุปกรณ์คอนเนคเตอร์ก่อนการปรับปรุงกระบวนการ

หลังการใช้วิธีออกแบบการทดลอง พบว่าปัจจัย หรือตัวแปรหลักที่มีผลต่อการโก่ง หรือโค้งตัวของอุปกรณ์คอนเนคเตอร์คือ การหดตัวที่ต่างกันของแต่ละช่วงความยาวของอุปกรณ์คอนเนคเตอร์ซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต และภายหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตอุปกรณ์คอนเนคเตอร์พบว่าการโก่ง หรือโค้งของอุปกรณ์คอนเนคเตอร์ ลดลงอย่างชัดเจน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.18 แสดงการโก่ง (Warpage) ของอุปกรณ์คอนเนคเตอร์หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

การวิจัยการพยากรณ์การโก่ง หรือโค้ง (Warpage) ของแผ่นเก็บข้อมูล (Optical Media) การโก่งหรือโค้ง ของแผ่นเก็บข้อมูล สำหรับดิจตอลวีดีโอ (DVD) หรือแผ่นเก็บข้อมูล (Compact Disc) (Bingfeng F. et al., 2003) ที่ผลิตมาจากกระบวนการขึ้นรูปแบบอัดขึ้นรูปเนื่องจากตัววัสดุมีความบางดังนั้นหลังการขึ้นรูปซึ่งต้องใช้ความร้อน จะทำให้แผ่นเก็บข้อมูลเกิดการโก่งงอ หรือโค้ง ดังนั้นจึงใช้วิธีการทดลองเพื่อดูเงื่อนไขในกระบวนการผลิตว่าปัจจัยใดมีผลต่อความโก่งหรือโค้งของแผ่นเก็บข้อมูล และการวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการออกแบบการทดลอง เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อทิศทางการโก่ง หรือโค้งของวัสดุ

ตารางที่ 2.9 แสดงระดับของปัจจัยในการขึ้นรูปที่มีผลต่อทิศทางการโก่ง หรือโค้ง

ปัจจัยในการทดลอง	ระดับต่ำ	ระดับกลาง	ระดับสูง
อุณหภูมิหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	300	310	320
อุณหภูมิแม่พิมพ์ (องศาเซลเซียส)	114	107	114

จากการวิจัยพบว่าทิศทางการโก่ง ที่อุณหภูมิ 100 C จะโค้งไปหาส่วนที่เย็นของแม่พิมพ์ขึ้นรูปเสมอ ที่อุณหภูมิ 140 C แผ่นเก็บข้อมุลจะโค้งไปหาส่วนที่ร้อนของแม่พิมพ์จากความรู้ที่ได้ทางผู้วิจัยได้นำไปปรับปรุงกระบวนการขึ้นรูปแผ่นเก็บข้อมูลต่อไป

จากการทบทวนสรุปสาระสำคัญของเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัยทางด้านการวิเคราะห์และหาปัจจัยหลักในขบวนการผลิตผลิตภัณฑ์แผงวงจรแบบอ่อนโดยอาศัยวิธีการออกแบบการทดลองร่วมกับแนวคิดทาง ซิกส์ ซิกม่า ยังไม่ได้มีการศึกษาวิจัย ซึ่งส่วนใหญ่ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะมีการศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความบิดเบี้ยว โค้งงอของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

วัสดุประเภทโพบิเมอร์ พลาสติค ซึ่งมาจากขบวนการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์อัดขึ้นรูป แม่พิมพ์ฉีด ซึ่งมีลักษณะต่างจากอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์แผงวงจรแบบอ่อน อีกทั้งยังไม่มีการศึกษาวิจัยใดที่ใช้หลักการออกแบบการทดลองและแนวคิดทาง ซิกส์ ซิกม่า มาช่วยในการหาปัจจัยหลักในกระบวนการผลิตแต่ละขบวนการมาเปรียบเทียบกัน เพื่อหาตัวแปรหลักที่มีผลต่อการโค้งงอ ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะทำการศึกษาวิจัยทางด้านนี้เพื่อความเข้าใจกระบวนการผลิตแผงวงจรแบบอ่อนเพื่อการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์แผงวงจรแบบอ่อน และสร้างความน่าเชื่อถือจากลูกค้ามากยิ่งขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved