

บทที่ 2

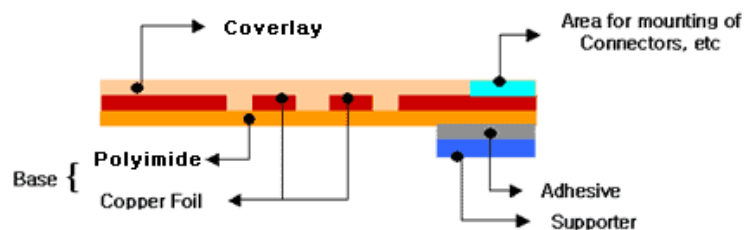
ทฤษฎีและวรรณกรรมปริทัศน์

งานวิจัยนี้เกี่ยวกับการผลิตแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ชนิดอ่อน โดยมีชนิดของผลิตภัณฑ์ โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ และขั้นตอนการผลิตต่าง ๆ ดังนี้

2.1 ชนิดของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ชนิดอ่อน

ชนิดของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ชนิดอ่อน (Flexible Printed Circuit, FPC) สามารถแยกได้ 3 ชนิดหลักดังนี้

2.1.1 แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งด้าน (Single Side FPC) คือ ชนิดที่มีวงจรไฟฟ้าหนึ่งด้าน กระบวนการผลิตมีความซับซ้อนน้อย เวลาการผลิตน้อย การประยุกต์ใช้ผลิตภัณฑ์ เช่น เครื่องเล่นเทป ซีดี, เครื่องเล่นวีดีโอ ดีวีดี, แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ เป็นต้น



ภาพที่ 2.1

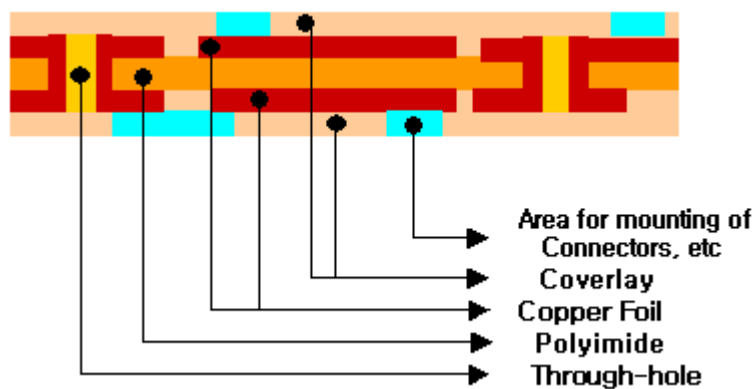
โครงสร้างของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ชนิดอ่อน ชนิดหนึ่งด้าน



ภาพที่ 2.2

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งด้าน กับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์

2.1.2 แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ชนิดสองด้าน (Double Side FPC) คือ ชนิดที่มีวงจรไฟฟ้าสองด้าน กระบวนการผลิตมีความซับซ้อนมากขึ้น การประยุกต์ใช้ผลิตภัณฑ์ เช่น กล้องดิจิตอล, โทรศัพท์มือถือ เป็นต้น



ภาพที่ 2.3

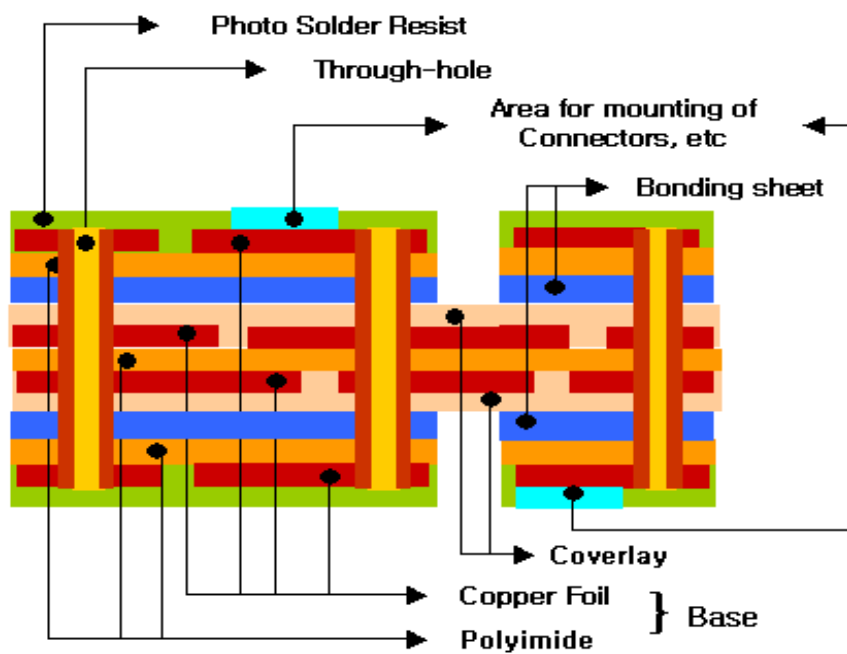
โครงสร้างของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ชนิดอ่อน ชนิดสองด้าน



ภาพที่ 2.4

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ผลิตภัณฑ์ชนิดสองด้าน กับกล้องดิจิตอล

2.1.3 แผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหลายชั้น (Multilayer FPC) คือ ชนิดที่มีวงจรไฟฟ้าหลายชั้น (3 ชั้นขึ้นไป) กระบวนการผลิตมีความซับซ้อนมากที่สุด โดยผ่านกระบวนการผลิตมากกว่า 40 กระบวนการ และเวลานานในการผลิตมาก การประยุกต์ใช้ผลิตภัณฑ์ เช่น โทรศัพท์มือถือรุ่นปี 2007-2008 ที่มีหน้าที่การใช้งานที่หลากหลาย และ มีลูกเล่นเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของตัวเรือน ซึ่งในปัจจุบันมีความต้องการการสั่งซื้ออย่างมาก



ภาพที่ 2.5

โครงสร้างของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ชนิดอ่อน ชนิดหลายด้าน

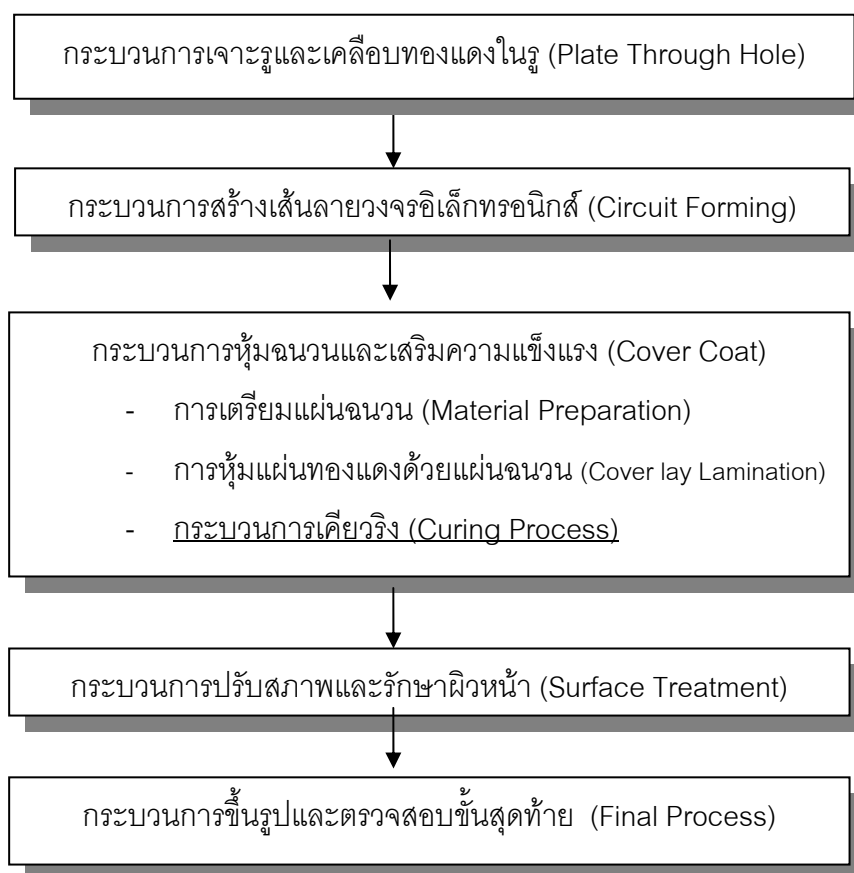


ภาพที่ 2.6

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ผลิตภัณฑ์ชนิดหลายด้าน กับโทรศัพท์มือถือ

2.2 กระบวนการผลิตแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ชนิดอ่อน

กระบวนการผลิตแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ชนิดอ่อน (Flexible Printed Circuit, FPC) มีกระบวนการผลิตมากมายหลายขั้นตอนและลำดับในการผลิตแต่ละขั้นตอนจะแตกต่างกันออกไปตามประเภทของผลิตภัณฑ์ โดยสามารถสรุปกระบวนการหลักได้ ดังนี้

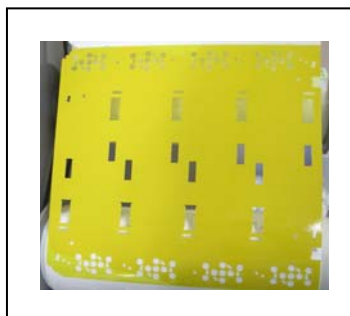


ภาพที่ 2.7

ขั้นตอนการผลิตแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์

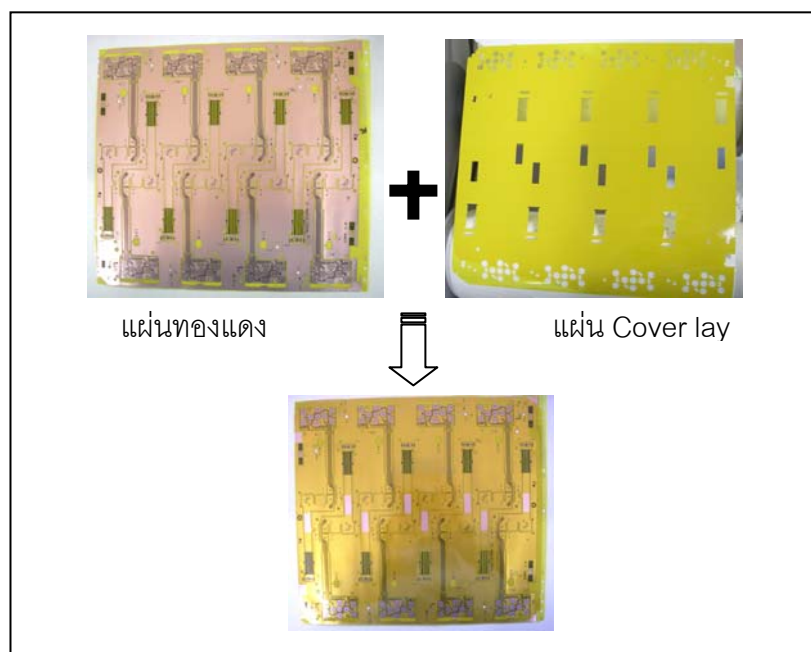
สำหรับการวิจัยนี้ กระบวนการที่เกี่ยวข้องเพื่อทำการศึกษาและพัฒนากระบวนการคือกระบวนการหุ้มฉนวนและเสริมความแข็งแรง (Cover Coat) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้เวลานานที่สุดในแต่ละรอบการทำงาน ซึ่งมีกระบวนการย่อยได้แก่ การเตรียมแผ่นฉนวนด้วยการตัด เจาะ และขึ้นรูป ตามการออกแบบรูปร่าง และแผนผังการวางผลิตภัณฑ์

ลักษณะของแผ่นฉนวน (Cover lay) หลังจากการขึ้นรูปเป็นดังภาพที่ 2.8 จากนั้นทำการติดแผ่น Cover lay ลงบนแผ่นทองแดงที่ผ่านการสร้างเส้นลายวงจรเรียบร้อยแล้ว ซึ่งมีลักษณะดังภาพที่ 2.9 ซึ่งเราเรียกขั้นตอนนี้ว่า การหุ้มแผ่นทองแดงด้วยแผ่นฉนวน (Cover lay Lamination) จากนั้นเข้าสู่กระบวนการที่สำคัญและเป็นกระบวนการหลัก คือ กระบวนการเคียวจริง



ภาพที่ 2.8

แผ่นฉนวน Cover lay ที่ผ่านเจาะขึ้นรูปแล้ว



ภาพที่ 2.9

ลักษณะการหุ้มแผ่น Cover lay (Cover lay Lamination)

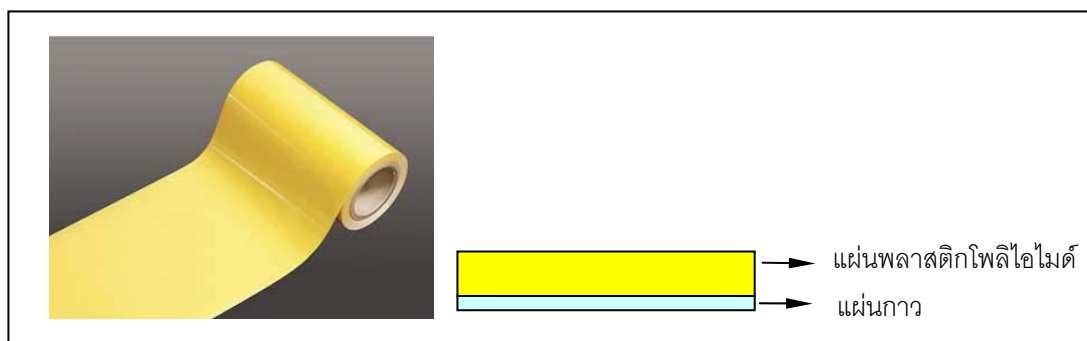
ลงบนแผ่นทองแดงที่สร้างเส้นลายวงจรแล้ว

หลังจากนำแผ่น Cover lay ติดลงบนแผ่นทองแดงที่ผ่านการสร้างเส้นลายวงจร จากนั้นนำเข้าสู่กระบวนการเคียวริง เป็นขั้นตอนสำหรับเสริมสร้างความแข็งแรงให้กับผลิตภัณฑ์ ด้วยความร้อน ซึ่งกระบวนการนี้เองที่ใช้เวลาในและรอบการทำงานมากที่สุด ทั้งนี้แต่ละชนิดของแผ่นวงจรนั้น มีการผ่านกระบวนการเคียวริงอย่างน้อยหนึ่งครั้งตามการออกแบบผลิตภัณฑ์ของลูกค้า กำหนด ผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อนมากย่อมมีจำนวนครั้งของการเคียวริงมาก โดยเฉพาะแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ชนิดหลายชั้น (Multilayer FPC) ซึ่งปัจจุบันมีความต้องการผลิตภัณฑ์ชนิดนี้เป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงมีความพยายามอย่างยิ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของกระบวนการเคียวริงอันนำไปสู่การลดเวลานำของกระบวนการ, การเพิ่มผลผลิต และการลดต้นทุนการผลิตในเวลาเดียวกัน โดยคุณภาพผลิตภัณฑ์ยังคงเดิมหรือมากขึ้น

จากรายละเอียดข้างต้น องค์ประกอบที่สำคัญของกระบวนการได้แก่ แผ่นฉนวน (Cover lay) และ กระบวนการเคียวริง ซึ่งมีรายละเอียดที่สำคัญ ดังนี้

2.3 แผ่นฉนวน (Cover lay)

สำหรับแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ชนิดอ่อน แผ่น Cover lay ทำหน้าที่ ห่อหุ้มแผ่นทองแดงที่ผ่านการสร้างเส้นลายวงจรเรียบร้อยแล้ว โครงสร้างหลักของแผ่นฉนวน มี 2 ชั้น คือ แผ่นพลาสติก และ แผ่นกาว โดยวัสดุและความหนาที่ใช้ในการผลิตพลาสติกและกาว มีหลากหลายชนิดตามแต่ละบริษัทผู้ผลิต Cover lay ทั้งนี้การเลือกใช้ชนิดของ Cover lay ขึ้นกับการออกแบบผลิตภัณฑ์ของลูกค้า



ภาพที่ 2.10

โครงสร้างของแผ่นฉนวน (Cover Lay)

สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกบริษัทผู้ผลิต Cover lay ที่มีปริมาณการใช้มากที่สุดในปัจจุบันเพื่อทำการศึกษา ตามความต้องการของลูกค้า

2.3.1 แผ่นพลาสติก ในอุตสาหกรรมการผลิตแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ชนิดอ่อนส่วนใหญ่จะใช้พลาสติกชนิด โพลีไอมิด (Polyimide) ซึ่งคุณสมบัติที่ดีของโพลีไอมิดที่เหมาะสมสำหรับการผลิตแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ชนิดอ่อน คือมีความสามารถในการยืดหยุ่นสูง ทนความร้อนสูง และต้านทานต่อน้ำยาเคมีต่าง ๆ เป็นต้น

2.3.2 แผ่นกาว ซึ่งถูกสร้างจากสารประกอบประเภทอีพอกซี (Epoxy resin) โดยมีอุณหภูมิแก้ว (Tg) ประมาณ 80°C หรือต่ำกว่า กาวอีพอกซีจะถูกเคลือบลงบนแผ่นพลาสติก Polyimide อ้างอิงตามบริษัทผู้ผลิต Cover lay ดังภาพที่ 2.11 ทั้งนี้ส่วนประกอบในกาวอีพอกซีนี้นั้นจะแตกต่างกันไปในแต่ละบริษัทผู้ผลิต



ภาพที่ 2.11

ลักษณะการเคลือบกาวอีพอกซีลงบนแผ่น Polyimide ได้เป็น Cover lay

ชนิดของกาวสามารถแยกย่อยได้ตามการประยุกต์ใช้งานและการออกแบบของแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ชนิดอ่อน สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการแยกชนิดของแผ่นกาวเป็น 2 ชนิด ดังนี้

1. Halogen type คือ กาวชนิดที่มีสารประกอบ Halogen
2. Non-Halogen type คือ กาวชนิดที่ไม่มีสารประกอบ Halogen

สารประกอบฮาโลเจนในกาวของแผ่นพลาสติกฉนวน ทำหน้าที่ป้องกันการติดไฟ (Flame Retardant) ซึ่งกระบวนการย่อยสลายของสารประกอบฮาโลเจน นั้นก่อให้เกิดมลภาวะ ดังนั้นสำหรับลูกค้าในแถบตะวันตกที่มีการรณรงค์เรื่องสิ่งแวดล้อม ได้ทำการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้ใช้วัสดุประเภทที่ไม่มีสารประกอบฮาโลเจน ใดๆ ก็ดี ผู้ผลิตกาวได้ทำการค้นคว้าและวิจัย

เปลี่ยนเป็นสารประกอบชนิดอื่น ๆ ทดแทนสารประกอบฮาโลเจนเพื่อสร้างคุณสมบัติการป้องกันการติดไฟ เช่น สารประกอบฟอสฟอรัส เป็นต้น ซึ่งอาจทำให้คุณสมบัติต่างๆ ของกาวมีความแตกต่างจากเดิม

2.4 กระบวนการเคียวริง

คือ กระบวนการทางความร้อนเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับโมเลกุลของกาวบนแผ่นฉนวน โดยเพื่อให้เกิดการเชื่อมต่อโมเลกุล (Cross link) ของกาวชนิดอีพอกซี โดยใช้เครื่องจักรสำหรับการกดอัดและให้ความร้อน ดังภาพที่ 2.12 ตัวชี้วัดที่สำคัญในการกำหนดสภาวะ (Condition) ที่เหมาะสมให้กับกระบวนการ คือ เปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาว (Gel ratio%) ซึ่งบ่งบอกสัดส่วนความสมบูรณ์ของการสร้างพันธะ (Cross Link) เพื่อเชื่อมต่อโมเลกุลอันเกิดพันธะเคมีข้ามโซ่ของโพลีเมอร์ อาจก่อเป็นรูปตาข่าย (network) ซึ่งจะทำให้โพลีเมอร์มีความแข็งแรงมากขึ้น ถ้าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวมีค่ามากหมายถึง โมเลกุลโพลีเมอร์ของกาวเกิดการสร้างพันธะได้สมบูรณ์มาก ทั้งนี้กระบวนการเคียวริงเป็นกระบวนการที่ใช้เวลานานที่สุดของการผลิต ซึ่งถือได้ว่าเป็นกระบวนการที่ใช้ในการกำหนดช่วงเวลานำของการผลิตผลิตภัณฑ์หนึ่ง ๆ



ภาพที่ 2.12

เครื่องกดอัดและให้ความร้อน (Hot-Press) ของกระบวนการเคียวริง

กระบวนการเคียวริงมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง แต่ปัจจัยหลักในการกำหนดสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการคือ อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) , เวลาการให้ความร้อน (นาทีก) ความดัน (kg/cm^2), จำนวนชั้นการนำเข้าสู่ของผลิตภัณฑ์ และส่วนชนิดของกาว โดยความหมายทางกายภาพและรายละเอียดของปัจจัยมีดังนี้

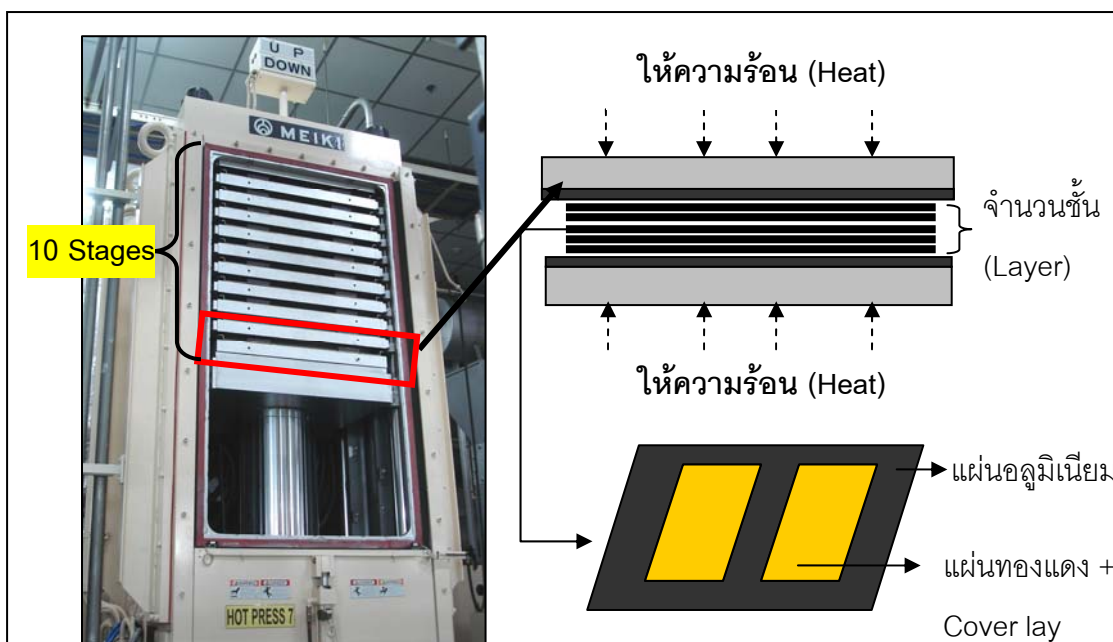
2.4.1 อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) คือ ปริมาณความร้อนที่ให้ในกระบวนการเคียวริง เพื่อให้เกิดการ Cross link ของโมเลกุลของกาวภายใต้เวลาหนึ่ง ๆ โดยอุณหภูมิที่กำหนดในปัจจุบันเท่ากับ 160°C ซึ่งเป็นระดับที่บริษัทกรณีศึกษาที่กำหนดให้กับกระบวนการตามประสบการณ์ และผลการทดลองของวิศวกรประจำกระบวนการ

2.4.2 เวลา (นาทีก) คือ เวลาในการให้ความร้อนในแต่ละรอบการทำงาน เพื่อให้เกิดการ Cross link ของโมเลกุลของกาวภายใต้อุณหภูมิสูง โดยเวลาที่กำหนดในปัจจุบันเท่ากับ 65 นาทีก ซึ่งเป็นระดับที่บริษัทกรณีศึกษาที่กำหนดให้กับกระบวนการตามประสบการณ์ และผลการทดลองของวิศวกรประจำกระบวนการ

2.4.3 ความดัน (kg/cm^2) คือ แรงดันสำหรับการกดอัดที่ให้กับผลิตภัณฑ์ระหว่างการเคียวริง เพื่อให้แผ่น Cover lay แนบติดกับเส้นลายวงจรทองแดง โดย ความดันที่เหมาะสม คือ ความดันที่ทำให้ปราศจากฟองอากาศระหว่างเส้นลายวงจรทองแดงกับแผ่น Cover lay หลังจากผ่านกระบวนการ โดยความดันที่กำหนดไว้ในปัจจุบันเท่ากับ $35 \text{ kg}/\text{cm}^2$ ซึ่งเป็นระดับมาตรฐานอ้างอิงตามบริษัทผู้ผลิต Cover lay เนื่องจากความดันมีผลอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดการยืดหดของผลิตภัณฑ์ (Dimension) ดังนั้น บริษัทกรณีศึกษาจึงเป็นกำหนดเป็นระดับมาตรฐานที่ $35 \text{ kg}/\text{cm}^2$ เสมอ

2.4.4 จำนวนชั้นการนำเข้าสู่ของผลิตภัณฑ์ (Layer) เครื่องจักรสำหรับกดอัด และให้ความร้อน (Hot-press) ถูกออกแบบให้มีทั้งหมด 10 ชั้น (Stage) โดยสามารถให้ความร้อนแยกกันในทุกๆ Stage โดยทุก ๆ Stage คือ แท่นสำหรับให้ความร้อน (Heat Plate)

จำนวนชั้นการนำเข้าสู่ของผลิตภัณฑ์คือ ผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าวางชั้นในระหว่าง Stages ซึ่งผลิตภัณฑ์ (แผ่นทองแดง+Cover lay) ถูกวางรองด้วยแผ่นอลูมิเนียมและกระดาษ โดยสภาวะปัจจุบันกำหนดเท่ากับ 10 ชั้น นำเข้า



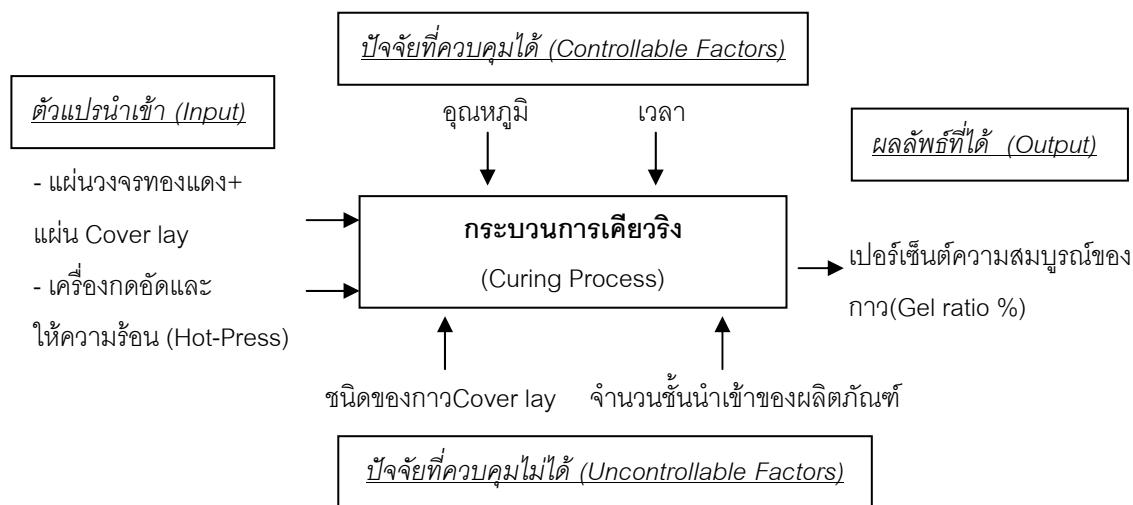
ภาพที่ 2.13

จำนวนชั้นการนำเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ (Layer)

โดยจำนวนชั้นการนำเข้ามีผลต่อการส่งผ่านความร้อนจาก Heat Plate ที่ส่งถึงตัวผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงเป็นตัวแปรหนึ่งในการกำหนดสภาวะของกระบวนการเคียวริง

2.4.5 ชนิดของกาว คือ กาวที่เคลือบอยู่บน Polyimide film ที่รวมเรียกเป็น Cover lay ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น หัวข้อ 2.3.2 เพื่อสามารถติดแผ่นฉนวนลงบนแผ่นทองแดง ทั้งนี้ชนิดของกาวขึ้นกับการออกแบบผลิตภัณฑ์ตามความต้องการของลูกค้า ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ชนิดของกาวหลัก 2 ชนิดคือ Halogen และ Non-Halogen อันมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวที่ได้เมื่อผ่านการเคียวริง ดังนั้นจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ในการพิจารณากำหนดสภาวะให้กับกระบวนการ ทั้งนี้บริษัทกรณีศึกษาได้กำหนดสภาวะการเคียวริงสำหรับกาวทั้ง 2 ชนิดเหมือนกัน โดยผู้วิจัยจะทำการศึกษาต่อไป

จากปัจจัยต่าง ๆ ข้างต้นสามารถเลือกปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวเพื่อกำหนดสภาวะที่เหมาะสมให้กับกระบวนการดังภาพ 2.14



ภาพที่ 2.14

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆในกระบวนการเคียวริง

ตารางที่ 2.1

สรุปตัวแปรที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาว

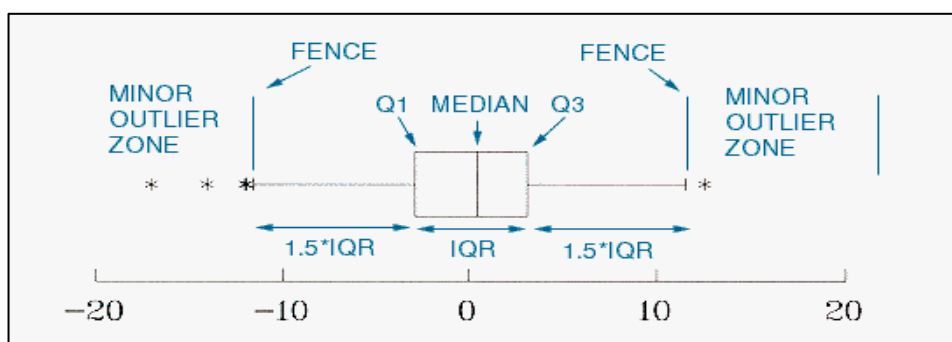
ตัวแปร	รายละเอียด
ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors)	1. อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) 2. เวลา (นาที)
ผลลัพธ์ (Response)	เปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาว (Gel Ratio %)
ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Noise Factors)	1. ชนิดของกาว 2. จำนวนชั้นการนำเข้าไปของผลิตภัณฑ์

2.5 สถิติในการเปรียบเทียบการทดลอง

2.5.1 แผนภาพกล่อง (Box and Whisker plot) Box Plot เป็นภาพที่แสดงคุณลักษณะที่สำคัญของข้อมูลชุดนั้น ๆ เช่น ค่ากลาง การกระจาย (Spread) ลักษณะการแจกแจงข้อมูล การหลุดออกจากการสมมาตร (departure from symmetry) และค่าของตัวอย่างที่หลุดออกจากกลุ่มตัวอย่างไปมาก ๆ (Outliers) โดยใช้ค่าที่คำนวณได้ในข้อมูล เช่น ควอร์ไทล์ มาสร้างแผนภาพนี้ ดังนั้นแผนภาพกล่องจะแสดงคุณลักษณะที่สำคัญของข้อมูลชุดนั้น ๆ เช่น ค่ากลาง ค่าการกระจาย ลักษณะการแจกแจงข้อมูล และค่าผิดปกติของข้อมูล

ลักษณะของแผนภาพ : ประกอบด้วยค่าควอร์ไทล์ (Q_1 , Q_2 และ Q_3) ในส่วนที่เป็นกล่องสี่เหลี่ยมจะแสดงถึง 3 ควอร์ไทล์ ด้านซ้ายหรือด้านล่างของกล่องจะแสดงถึง ควอร์ไทล์แรก (Q_1) ส่วนด้านบนหรือด้านขวาของกล่องจะแสดงถึง ควอร์ไทล์ที่สาม (Q_3) เส้นตรงที่อยู่ในกล่องแสดงถึง ควอร์ไทล์ที่ 2 (Q_2) หรือมัธยฐาน (Median) ขอบเขตเส้นตรงที่ลากออกจากกล่องทั้งสองด้าน ค่าของข้อมูลที่น้อยที่สุดและที่มากที่สุดที่ตกอยู่ในช่วงข้อมูล 1.5 inter quartile (inter quartile = Q_1 ถึง Q_3) จุดที่ปรากฏใน Box Plot คือค่าของข้อมูลที่หลุดออกนอกกลุ่มมาก ๆ ถ้าจุดที่อยู่ในช่วง 3 inter quartile จะเรียกข้อมูลตรงจุดนี้ว่า Outlier แต่ถ้าจุดหลุดออกนอกช่วง 3 inter quartile จะเรียกจุดนี้ว่า Extreme Outlier

ความยาวของกล่อง คลุมข้อมูล 50% ของทั้งหมด ค่า Q_2 หรือ median แบ่ง Box ออกเป็น 2 ส่วนที่มีอยู่ข้างละจำนวนเท่า ๆ กัน และสามารถบอกลักษณะการแจกแจงว่าเป็นแบบเบ้ซ้ายหรือสมมาตร



ภาพที่ 2.15

แผนภาพกล่อง

ข้อมูลผิดปกติ (Outlier) คือ ข้อมูลที่มีค่าต่ำหรือสูงมากเกินไปกว่าค่า $Q1 + 1.5$ เท่าของความยาวกล่องหรือ $Q3 + 1.5$ เท่าของความยาวกล่อง

นอกจากการใช้แผนภาพกล่องเพื่ออธิบายข้อมูลดังกล่าว แผนภาพกล่องยังใช้ในการนำเสนอผลจากการทดสอบสมมติฐาน การเปรียบเทียบผลความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละระดับของปัจจัยในการออกแบบการทดลอง หรือการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อประโยชน์ในการกำหนดค่าที่เหมาะสม

2.5.2 การทดสอบสมมติฐาน

สมมติฐานทางสถิติ คือ การกำหนดพารามิเตอร์ของการแจกแจงความน่าจะเป็นของมัยสมมติฐานสองมัยสมมติฐานขึ้นไป เพื่อทดสอบความแตกต่างหรือเท่ากันของมัยสมมติฐาน ตัวอย่างเช่น ในการทดสอบมัยสมมติฐานที่หนึ่งว่ามีค่าเท่ากับมัยสมมติฐานที่สองหรือไม่จะสามารถเขียนได้ดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

โดยที่ μ_1 เป็นมัยสมมติฐานของสิ่งตัวอย่างกลุ่มที่หนึ่งและ μ_2 เป็นมัยสมมติฐานของสิ่งตัวอย่างกลุ่มที่สอง ประโยคที่ว่า $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ เรียกว่า “สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis)” และ $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$ เรียกว่า “สมมติฐานรอง (Alternative Hypothesis)” การทดสอบในที่นี้เป็น การทดสอบแบบ 2 ด้าน เนื่องจาก $\mu_1 < \mu_2$ หรือ $\mu_1 > \mu_2$ ก็ได้

ในการทดสอบสมมติฐานอาศัยวิธีการในการสุ่มตัวอย่าง H_0 การคำนวณค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบที่เหมาะสมและทำการสรุปเพื่อปฏิเสธหรือยอมรับ นอกจากนี้ยังต้องมีการกำหนดกลุ่มของค่าที่จะนำไปสู่การปฏิเสธ H_0 ซึ่งกลุ่มของค่าที่เรียกว่า “พื้นที่วิกฤต” หรือ “พื้นที่ของการปฏิเสธ” ของการทดสอบ

ความผิดพลาด 2 ประเภทสามารถเกิดขึ้นได้ขณะทดสอบสมมติฐาน ถ้าหาก H_0 ถูกปฏิเสธทั้งๆที่ H_0 ถูกต้องจะต้องเกิดความผิดพลาดประเภท 1 (Type I Error) ขึ้น แต่ถ้าหาก H_0 ไม่ถูกปฏิเสธทั้งๆที่ H_0 นั้นไม่ถูกต้อง ความผิดพลาดประเภท 2 (Type II Error) ก็เกิดขึ้น ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดทั้ง 2 ประเภทก่อให้เกิดสัญลักษณ์พิเศษ

$$\alpha = P(\text{type I error}) = P(\text{reject } H_0 / H_0 \text{ is true})$$

$$\beta = P(\text{type II error}) = P(\text{fail to reject } H_0 / H_0 \text{ is false})$$

บางครั้งเป็นการสะดวกกว่าที่จะใช้อำนาจของการทดสอบ (Power) ของการทดสอบเป็นตัวบอกกล่าวคือ

$$\text{Power} = 1 - \beta = P(\text{reject } H_0 / H_0 \text{ is false})$$

ขั้นตอนทั่วไปในการทดสอบสมมติฐาน คือ การกำหนดค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภท 1 หรือ α ซึ่งเรียกว่า ระดับนัยสำคัญของการทดสอบ แล้วหลังจากนั้นก็ออกแบบวิธีการทดสอบให้มีค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภท 2 หรือ β ให้มีค่าน้อยตามที่เห็นว่าเหมาะสม

ถ้าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างที่จะทดสอบทั้งสองกลุ่มมีค่ากัน จะได้ว่าการทดสอบที่เหมาะสมสำหรับการเปรียบเทียบมัธยฐานของ 2 ปัจจัยในการทดลองแบบสุ่มอย่างอิสระคือ

$$t_0 = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}{s_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

โดยที่ y_1 และ y_2 เป็นมัธยฐาน ที่มี n_1 และ n_2 เป็นขนาดของกลุ่มตัวอย่าง และ S_p^2 เป็นค่าประมาณของความแปรปรวนร่วม $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma^2$ ซึ่งคำนวณได้จาก

$$s_p^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

ค่า S_1^2 และ S_2^2 เป็นความแปรปรวนของแต่ละตัวอย่าง จากนั้นทำการเปรียบเทียบ t_0 กับการแจกแจง ที่ระดับชั้นความเสรี $n_1 + n_2 - 2$ เพื่อพิจารณาว่าจะปฏิเสธ $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ หรือไม่ ถ้า $|t_0| > t_{\alpha/2, n_1 + n_2 - 2}$ โดย $t_{\alpha/2, n_1 + n_2 - 2}$ เป็นตำแหน่งที่เหนือจากค่า $\alpha/2$ ของการแจกแจงที่มีระดับชั้นความเสรี $n_1 + n_2 - 2$ จะต้องปฏิเสธ H_0 และสรุปว่า มัธยฐานทั้งสองมีความแตกต่างกัน ซึ่งสามารถพิสูจน์ว่าวิธีนี้ถูกต้องได้โดยพิจารณาจากเหตุผลที่ว่า ถ้าทำการสุ่มตัวอย่างจากการแจกแจงแบบปกติที่เป็นอิสระ จะได้ว่าการแจกแจงของ $y_1 - y_2$ เป็น $N[\mu_1 - \mu_2, \sigma^2(1/n_1 + 1/n_2)]$ ดังนั้น ถ้า σ^2 ทราบค่า และถ้า $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ เป็นจริง การแจกแจงของ

$$Z_0 = \frac{\overline{y_1} - \overline{y_2}}{\sigma \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad \text{โดย } \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

จะเป็น $N(0,1)$ อย่างไรก็ตาม การแทน σ ด้วย S_p ในสมการของ Z_0 ทำให้การแจกแจงของ Z_0 เปลี่ยนจากแบบปกติมาตรฐานเป็นแบบ t ด้วยระดับขั้นความเสรี $n_1 + n_2 - 2$ ซึ่งถ้า H_0 เป็นจริง และ t_0 การแจกแจงแบบ $t_{n_1+n_2-2}$ ทำให้สามารถคาดได้ว่า $100(1-\alpha)\%$ ของค่าของ t_0 จะตกอยู่ในช่วง $-t_{\alpha/2, n_1+n_2-2}$ และ $t_{\alpha/2, n_1+n_2-2}$ ถ้าสมมติฐานหลักเป็นจริงและมีหลักฐานแสดงว่า H_0 ควรจะถูกปฏิเสธตัวอย่างใดก็ตามที่ทำให้ค่าของ t_0 ตกนอกค่าจำกัดจะถือว่าเป็นสิ่งผิดปกติ ดังนั้นการแจกแจง ที่มีระดับขั้นความเสรี $n_1 + n_2 - 2$ เป็นการแจกแจงที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้สำหรับทดสอบ t_0 นั่นคือ สามารถนำมาอธิบายลักษณะของ t_0 ได้เมื่อสมมติฐานหลักเป็นจริง โดย α เป็นความน่าจะเป็นของการเกิดความผิดพลาดประเภท 1 สำหรับการทดสอบนี้

ในบางปัญหาอาจจะต้องการที่จะปฏิเสธ H_0 ก็ต่อเมื่อมีขมึณค่าหนึ่งมากกว่าอีกค่าหนึ่ง ซึ่งจึงควรใช้การทดสอบสมมติฐานแบบด้านเดียว กล่าวคือ $H_1 : \mu_1 > \mu_2$ และควรปฏิเสธ H_0 เมื่อ $t_0 > t_{\alpha, n_1+n_2-2}$ แต่ถ้าต้องการปฏิเสธ H_0 เมื่อกรณี μ_1 น้อยกว่า μ_2 ก็ต้องกำหนด $H_1 : \mu_1 < \mu_2$ และควรปฏิเสธ H_0 ถ้าหากว่า $t_0 < t_{\alpha, n_1+n_2-2}$

2.5.3 การใช้ P-Value ในการทดสอบสมมติฐาน

วิธีรายงานผลของการทดสอบสมมติฐานวิธีหนึ่ง คือ การแสดงว่าสมมติฐานหลักจะถูกปฏิเสธหรือไม่ที่ค่า α หรือระดับนัยสำคัญที่กำหนด ตัวอย่างเช่น เราสามารถบอกได้ว่า $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ ถูกปฏิเสธที่ระดับนัยสำคัญ .05 คำกล่าวสรุปมักจะไม่เพียงพอ เพราะไม่ได้บอกให้ผู้ตัดสินใจรู้ว่าค่าทดสอบทางสถิติที่คำนวณได้ตกอยู่ที่ใดบนพื้นที่วิกฤต ยิ่งกว่านั้นการหาผลลัพธ์โดยวิธีนี้อาจจะไม่เป็นที่พึงพอใจ เนื่องจากผู้ทำการทดลองบางคนอาจไม่ต้องการใช้ระดับความเสี่ยงที่ $\alpha = 0.05$

วิธีการของ P-Value ได้ถูกนำมาใช้อย่างมากเพื่อหลีกเลี่ยงความยุ่งยากดังกล่าว P-Value คือ ความน่าจะเป็นที่ค่าทดสอบทางสถิติ จะมีค่าเป็นอย่างน้อยที่จะทำให้ค่านี้มีค่ามากเท่ากับค่าสังเกต ในทางสถิติเมื่อสมมติฐานหลักเป็นจริง ดังนั้น P-Value นี้จะแสดงถึงน้ำหนักของหลักฐานที่จะใช้ในการปฏิเสธ H_0 และผู้ตัดสินใจสามารถสร้างข้อสรุปที่ระดับนัยสำคัญอื่นๆได้นอกจากนี้ยังสามารถนิยาม P-Value ว่าเป็นเหมือนกับค่าที่น้อยที่สุดระดับนัยสำคัญซึ่งนำไปสู่การปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 ก็ได้

ปกติแล้วนิยามที่จะบอกว่าค่าทดสอบทางสถิติมีนัยสำคัญก็ต่อเมื่อ สมมติฐานหลัก H_0 ถูกปฏิเสธ ดังนั้นอาจจะพิจารณาค่า P-Value แล้วผู้ตัดสินใจก็สามารถทราบว่าคุณค่ามีนัยสำคัญอย่างไร โดยไม่ต้องอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งมีการกำหนดระดับนัยสำคัญไว้ก่อน

2.5.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA)

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประชากรตั้งแต่สองชุดขึ้นไป และต้องการทำการทดสอบเพียงครั้งเดียวสามารถที่จะทำการวิเคราะห์ได้โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าการทำการทดสอบทีละคู่ กล่าวคือ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 : \mu_i \text{ คือ ค่าเฉลี่ยที่ระดับที่ } i ; i = 1, 2, 3, 4$$

$$H_0 : \mu_i \neq \mu_j \quad \exists_{i,j}$$

ถ้าการทดสอบแต่ละครั้งทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ (α_i) ระดับนัยสำคัญรวมจะมีค่าเท่ากับ

$$\alpha_{total} = 1 - \prod_{i=1}^k (1 - \alpha_i)$$

โดยที่ k = จำนวนครั้งทั้งหมดที่ทดสอบ

α_i = ระดับนัยสำคัญที่ใช้ในการทดสอบครั้งที่ i

ระดับนัยสำคัญรวม หรือ ความผิดพลาดโดยรวมจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทำการทดสอบมากครั้งขึ้น

2.5.5 การทดลองอย่างสุ่มสมบูรณ์หรือการจำแนกทางเดียว (Complete Randomized Design; CRD หรือ One-Way ANOVA)

เป็นการสนใจศึกษาปัจจัยเพียงปัจจัยเดียว ซึ่งจำนวนระดับที่สนใจศึกษาของปัจจัยนี้เท่ากับ a ระดับ เพื่อดูว่าระดับที่แตกต่างกันของปัจจัยนั้น จะมีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนอง (Y's) อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่อย่างไร ซึ่งมีลักษณะข้อมูลเป็นดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2
แผนการเก็บข้อมูลอย่างสมบูรณ์

ลำดับที่	วิธีปฏิบัติ						
	1	2	3	4	i.....	a	
1	Y ₁₁	Y ₁₂	Y ₃₁	Y ₄₁	Y _{ij}	Y _{a1}	
1	Y ₁₂	Y ₂₂	Y ₃₂	Y ₄₂	Y _{i2}	Y _{a2}	
1	Y ₁₃	Y ₂₃	Y ₃₃	Y ₄₃	Y _{i3}	Y _{a3}	
.	.	.					
.	.	.					
j	Y _{ij}	Y _{2j}				Y _{aj}	
.	.	.					
.	.	.					
n	Y _{1n}	Y _{2n}	Y _{3n}	Y _{4n}	Y _{in}	Y _{an}	
		d.f.=?					
ผลรวม (T _i)	T _{1.}	T _{2.}	T _{3.}	T _{4.}	...T _{i.} ...	T _{a.}	T _{..}
(ผลรวม) (T _i ²)	T _{1.} ²	T _{2.} ²	T _{3.} ²	T _{4.} ²	...T _{1.} ² ...	T _{a.} ²	ΣT _{i.} ²

T_i = ผลรวมของข้อมูลจากวิธีปฏิบัติที่ i ; $i = 1, 2, \dots, a$

$$= \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij} \quad ; n_i = \text{จำนวนข้อมูลในวิธีปฏิบัติที่ } i$$

$$T_{..} = \text{ผลรวมข้อมูลทั้งหมด} = \sum \sum Y_{ij}$$

$$N = \text{จำนวนข้อมูลทั้งหมด} = \sum_{i=1}^a n_i$$

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองแบบ CRD นี้จะทำการวิเคราะห์ส่วนของความแปรปรวนได้จากสมการต้นแบบ ดังนี้คือ

$$\text{จาก } Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

$$(Y_{ij} - \mu) = \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

$$V(Y_{ij} - \mu) = V(\tau_i) + V(\varepsilon_{ij})$$

$$\text{จาก } \sum_i^a \sum_j^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2 = \sum_i^a [n_i (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..})^2] + \sum_i^a \sum_j^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_{i.})^2$$

ความแปรปรวนทั้งหมดที่ปรับแล้วด้วยค่าเฉลี่ย = ความแปรปรวนจากปัจจัย + ความแปรปรวนจากค่าผิดพลาด จะเห็นได้ว่าแหล่งที่มา (Source) ของความแปรปรวนแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ซึ่งจะเขียนในตารางที่ ANOVA ต่อไป และสามารถเขียนแทนด้วย

$$SST = SSA + SSE$$

โดย SST = ผลบวกกำลังสองของทั้งหมดที่ปรับแล้ว

= Sum Square of Total

SSA = ผลบวกกำลังสองของปัจจัย A หรือวิธีปฏิบัติ

= Sum Square of Factor A Effect or Treatment

และ SSE = ผลบวกกำลังสองของข้อผิดพลาดหรือสิ่งที่ยธิบายไม่ได้

= Sum Square Error or Residuals

$$SST = \sum_i^a \sum_j^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2; \bar{y}_{..} = \frac{\sum_i^a \sum_j^{n_i} y_{ij}}{N} \text{ หรือค่าเฉลี่ยรวม (Grand Mean)}$$

$$= \sum_i^a \sum_j^{n_i} y_{ij}^2 - \frac{T_{..}^2}{N}; T_{..} = \text{ผลรวมทั้งหมด (Grand Mean)}$$

N = จำนวนของการทดลองทั้งหมด

$$SSA = \sum_i^a \frac{T_{i.}^2}{N} - \frac{T_{..}^2}{N} \text{ หรือ } \sum_i^a \left[n_i (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..})^2 \right]$$

SSE = SST - SSA สามารถสรุป และนำไปเขียนตารางที่วิเคราะห์ความแปรปรวนของกรณีจำแนกทางเดียว (CRD) ได้ ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3
การวิเคราะห์ความแปรปรวน กรณีจำแนกทางเดียว

Source (แหล่งที่มา)	d.f. (องศาเสรี)	Sum Square (ผลบวกกำลังสอง)	Mean Square (ค่าเฉลี่ย SS)	F (ค่าสถิติ)
Treatment (วิธีปฏิบัติ)	a - 1	SSA	MSE=SSA/(a-1)	F=MSA/MSE
Error (ความผิดพลาด)	N - a	SSE = SST - SSA	MSE=SSE/(N-a)	
ทั้งหมดที่ปรับแล้ว (Total (adj))	N - 1	SST		

จากตารางที่สามารถนำข้อมูลมาใช้ในการทดสอบสมมติฐาน กรณี CRD หรือการทดลองแบบจำแนกทางเดียว โดยมีขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน ดังนี้ คือ

$$(i) \quad H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_a$$

(ปัจจัยที่ทำการศึกษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าตอบสนอง)

$H_1 : \mu_i \neq \mu_j ; 3_{ij}$ (ปัจจัยที่ทำการศึกษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าตอบสนอง) แต่เนื่องจาก

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

$$= \mu_i + \varepsilon_{ij} ; \mu_i = \mu + \tau_i$$

จะเห็นได้ว่าถ้า $\tau_i = 0 ; \dots$ ค่าเฉลี่ยของทุกวิธีปฏิบัติจะเท่ากันหมดจึงสามารถเขียนสมมติฐานได้อีกรูปแบบหนึ่ง คือ

$H_0 : \tau_i = 0 : \dots$ (ปัจจัยไม่มีผลต่อค่าตอบสนอง)

$H_1 : \tau_i \neq 0 : \dots$ (ปัจจัยมีผลต่อค่าตอบสนอง)

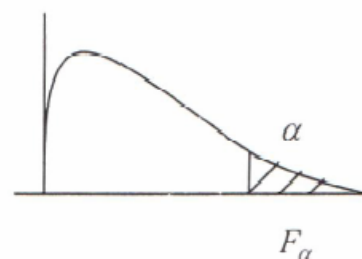
โดยที่ τ_i = ผลกระทบของปัจจัยที่ระดับที่ $i ; i = 1, 2, \dots, a$

(ii) กำหนดระดับนัยสำคัญ (α)

(i) คำนวณตัวสถิติที่ใช้ทดสอบ

$$F_o = \frac{MSA}{MSE} ; v = (a - 1, N - a)$$

(ii) สรุปผล จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $p\text{-value} = P(F > F_o) < \alpha$



หรือ จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $Of > F_{\alpha(a-1, N-a)}$

ข้อสังเกต การทดสอบเป็นการทดสอบทางเดียวด้านบนเท่านั้น

2.5.6 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking)

จากสมการ $y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$ ซึ่ง μ คือ ค่าเฉลี่ย, τ_i คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัยที่ i , ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อน ในการออกแบบการทดลองส่วนใหญ่ มักตั้งสมมุติฐานในการวิเคราะห์จากการที่ตัวแปรตาม มีการแจกแจงปกติ (Normal distribution) ดังนั้น y จะมีการกระจายแบบนี้ต้องให้ ε มีการกระจายแบบปกติด้วย ต้องเป็นการกระจายที่เป็นอิสระ $\varepsilon_{ij} \sim NID(0, \sigma^2)$ และต้องมีความเสถียร สำหรับความแปรปรวน (Variance Stability) การทดสอบ ε_{ij} มี 3 ขั้นตอน คือ

1. การตรวจสอบการกระจายตัวว่าเป็นแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) หรือไม่ โดยใช้

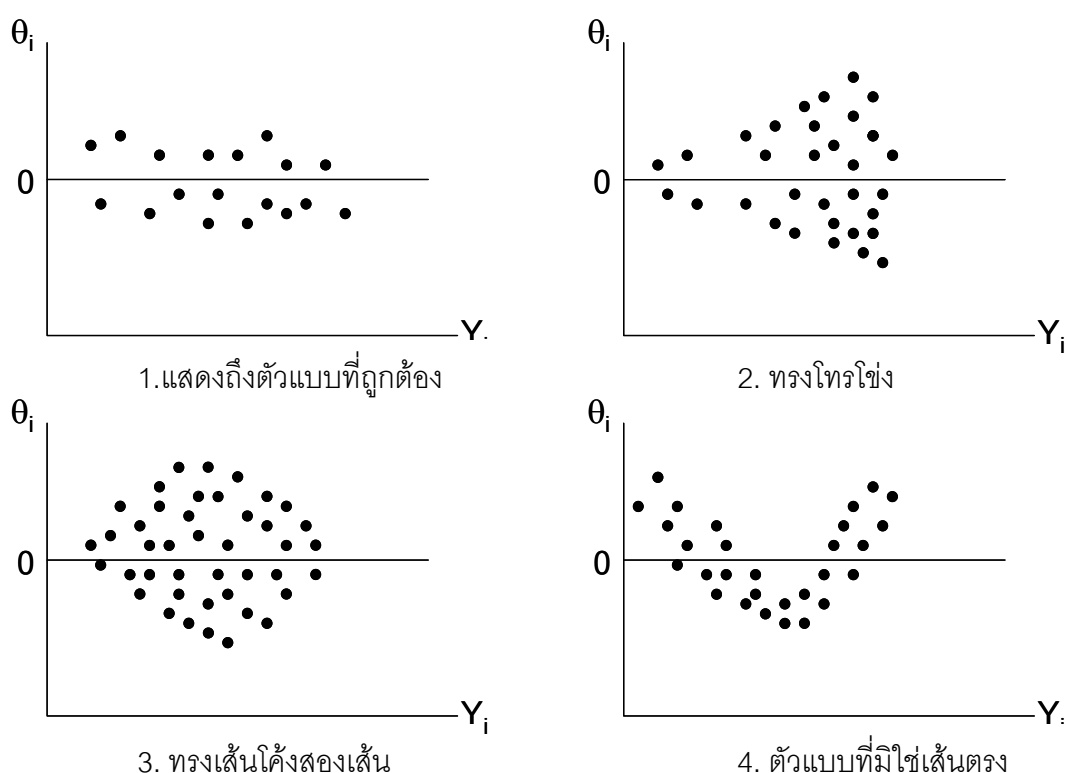
- การทดสอบแบบไครส์แคร์ (Chi-square - Goodness of Fit Test)
- การทดสอบแบบโคโกโมรอฟ- สเมอร์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov Test)
- การทดสอบโดยใช้กระดาษตรวจสอบการแจกแจงปกติ (NOP)

ข้อมูลมีการกระจายตัวปกติ หมายความว่า ข้อมูลแต่ละตัวที่เป็นตัวแปรสุ่มจะต้องมีแนวโน้มที่ค่าจะเข้าหาค่าหนึ่งที่คงที่ แล้วมีการกระจายรอบค่าดังกล่าวในลักษณะสมมาตร ทั้งนี้หากข้อมูลไม่ได้มีรูปแบบปกติแล้ว ก็จะทำให้วิเคราะห์ข้อมูลไม่ได้ ดังนั้นถ้าหากข้อมูลมิได้เป็นตัวแปรสุ่มปกติแล้ว แสดงว่าข้อมูลที่ได้มาจากกระบวนการที่มีได้กำหนดมาตรฐาน จึงจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุเพื่อแก้ไขก่อนการวิเคราะห์

2. การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) โดยใช้แผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) แล้วดูลักษณะการกระจายของจุดที่แทนข้อมูลบนแผนภูมิ ว่าเป็นอิสระหรือไม่ ข้อมูลมีความอิสระหมายความว่า ข้อมูลแต่ละตัวที่ใช้ในการสร้างแบบถดถอยจะต้องเป็นอิสระต่อกันอันเนื่องมาจากการสุ่ม ทั้งนี้หากข้อมูลไม่มีการสุ่มแล้ว จะทำให้วิเคราะห์ข้อมูลไม่ได้ โดยเฉพาะการหาค่าเฉลี่ย หรือค่าความคลาดหมายของตัวแปรตาม ดังนั้นถ้าหากข้อมูลไม่มีการสุ่ม แสดงว่าข้อมูลมีความลำเอียง (Bias) จึงจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุเพื่อการแก้ไขก่อนการวิเคราะห์

3. การตรวจสอบความเสถียรความแปรปรวน (Variance Stability) โดยใช้แผนภูมิการกระจาย ซึ่งเป็นแผนภูมิการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อน (Residual Plot) ในแต่ละระดับของปัจจัย ถ้ารูปร่างของการกระจายของข้อมูลที่ออกมา ไม่เป็นลักษณะของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความแปรปรวน แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน

ความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) หมายความว่า ข้อมูลจะต้องได้รับการเก็บมาจากกระบวนการที่ได้จัดทำเป็นมาตรฐานแล้ว จึงทำให้ความแตกต่างของข้อมูลมีค่าความแปรปรวนที่ไม่มีเสถียรภาพแล้ว แสดงว่าข้อมูลเกิดขึ้นจากสาเหตุที่สามารถควบคุมได้ แต่ไม่ได้รับการควบคุม (Assignable Cause) จึงจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุเพื่อแก้ไขก่อนการวิเคราะห์ต่อไป



ภาพที่ 2.16

ตัวแบบสำหรับการวิเคราะห์พิเศษเหลือ

ในการทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล และการทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนนั้น ปกติมักจะทดสอบผ่านแผนภาพการกระจาย ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคาดเคลื่อนกับค่าใดค่าหนึ่งใน 3 ค่านี้

1. ลำดับต่อเนื่องในการเก็บข้อมูล
2. ค่าประมาณการของค่าควรจะเป็นของตัวแปรตาม (y_i)
3. ค่าตัวแปรถดถอย (x)

โดยรูปแบบการกระจายจะมีตัวแบบดังภาพที่ 2.16 ซึ่งจะได้ผลว่าถ้าหากเป็นไปตามรูป 1. แสดงว่าข้อมูลมีความอิสระ และมีความผันแปรคงที่ ในรูปของความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน แต่หากเป็นไปตามรูปแบบ 2, 3 และ 4 แล้ว แสดงว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้น มีความจำเป็นที่ต้องได้รับการแก้ไขก่อนการวิเคราะห์ต่อไป โดยรูป 2 และ 3 จะแสดงถึงภาวะที่ไม่มีความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ในขณะที่รูป 4 แสดงว่าตัวแบบไม่มีความเหมาะสม

2.5.7 วิธีการทาคุชิ (Taguchi Method)

แนวความคิดของการออกแบบแผนการทดลองแบบอื่นที่นอกเหนือจากการออกแบบแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสมบูรณ์ (Full Factorial Design) และการออกแบบแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลบางส่วน (Fractional Factorial Design) ที่ได้รับการยอมรับในเวลาต่อมาคือแนวคิดของ Dr.Genichi Taguchi นักวิศวกรชาวญี่ปุ่น ผู้ที่ได้เสนอปรัชญาในการออกแบบทางวิศวกรรม เพื่อมีความประสิทธิผลที่ว่า ผลิตภัณฑ์ควรจะออกแบบเพื่อให้ได้ผลในการทำงานที่ดีและมีความผันแปรน้อยที่สุดต่อผลการดำเนินงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตภัณฑ์ควรถูกทำให้ Robust ต่อความไม่คงที่ของกระบวนการผลิต การผันแปรของผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม และต่อองค์ประกอบที่ทำให้คุณภาพลดลง ซึ่งแน่นอนว่าถ้าสามารถทำได้ตามแนวคิดนี้ก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความน่าเชื่อถือ ดังนั้นจึงมีการนำวิธีการทางทาคุชิไปใช้อย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรมเพื่อปรับปรุงทางด้านคุณภาพวิธีการทางทาคุชิได้ให้ความสำคัญกับกาออกแบบที่ทำให้สภาวะของกระบวนการ หรือผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด ภายใต้ความไว้น้อยที่สุดต่อสาเหตุที่ทำให้เกิดความผันแปรต่าง ๆ และผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ต้องมีคุณภาพสูง ด้วยค่าใช้จ่ายในการพัฒนาและการผลิตที่ต่ำ นอกจากนี้วิธีการทางทาคุชิยังเป็นการทดลองที่สามารถศึกษาปัจจัยหลาย ๆ ปัจจัยพร้อมกัน โดยมีวิธีการคำนวณที่ไม่ยุ่งยาก และใช้จำนวนการทดลองน้อยกว่าการออกแบบแผนการทดลองแบบอื่น ๆ เช่น การออกแบบแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลสมบูรณ์ (Full Factorial Design) โดยการใช้เครื่องมือที่เรียกว่า ออกทอกอนอล อะเรย์ (Orthogonal Array) ซึ่งวิธีการทางทาคุชิเป็นการศึกษาเพื่อหาผลกระทบของปัจจัย และกำหนดค่าในการทดลองมากที่สุด โดยวิธีการทาคุชิมีรากฐานมาจากเหตุผลที่สำคัญ 2 ประการ คือ

1. สังคมจะเกิดความสูญเสียทุก ๆ ครั้งที่คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ไม่ตรงตามเป้าหมายดังนั้น Taguchi จึงให้เหตุผลว่า การเบี่ยงเบนออกไปจากเป้าหมายเป็นผลทำให้เกิดความสูญเสียและให้คำจำกัดความคุณภาพว่า เป็นความสูญเสียที่ผลิตภัณฑ์สร้างให้แก่สังคม
2. การออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตต้องการระบบที่สามารถพัฒนาและมีความก้าวหน้าในทุกขั้นตอน ตั้งแต่การออกแบบระบบ (System Design) การออกแบบ

พารามิเตอร์ (Parameter Design) และการออกแบบค่าเผื่อ (Tolerance Design) Taguchi (1986) ได้เสนอแนะว่า ผู้ผลิตควรทำการตรวจสอบและประเมินความสูญเสียทั้งหมดของผลิตภัณฑ์อันเกิดจากองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ผันแปรไปจากคุณภาพตามเป้าหมายและหาว่าเงื่อนไขของกระบวนการผลิตเป็นอย่างไร เพื่อความแน่ใจว่าผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะตรงตามเป้าหมาย รวมไปถึงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ซึ่งจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ทนต่อสภาพแวดล้อมและปัจจัยอื่น ๆ ที่อยู่นอกการควบคุม และได้จำแนกตัวแปรออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. ตัวแปรที่ควบคุมได้ (Signal Variable) เป็นตัวแปรที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต และเป็นตัวแปรที่สามารถควบคุมได้
2. ตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ (Noise Variable) เป็นตัวแปรที่โดยทั่วไป เกิดภายนอกกระบวนการและยากที่จะควบคุมในระหว่างกระบวนการผลิต เช่นการแปรปรวนของสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ (อุณหภูมิ, ความชื้น หรือ ฝุ่นผง)

การออกแบบการทดลองในอุตสาหกรรมปัจจุบันจำเป็นต้องใช้การออกแบบการทดลองที่มีจำนวนการทดลองน้อย เพื่อประหยัดต้นทุนและเวลา รวมไปถึงข้อจำกัดอื่น ๆ เช่น ผลต่อสิ่งแวดล้อม การทดลองแบบต้องทำลายไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ได้ หรือการมีต้นทุนต่อการทดลองสูง ดังนั้นเพื่อเป็นการลดปัญหาต่าง ๆ โดยทั่วไปจึงนิยมใช้การออกแบบการทดลองของนายทาคุชิ ที่ใช้ตารางที่ออกแบบก่อนอล อะเรย์ ในการทดลอง

การปรับตัวแปรตามวิธีของ Taguchi

1. ระบุปัญหาด้านคุณภาพของกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์ ปัญหาด้านคุณภาพนั้น หลายๆคนอาจคิดว่า คนที่รู้ปัญหาด้านคุณภาพของกระบวนการดีที่สุด คือ คนที่ทำงานอยู่ในกระบวนการนั้น อันที่จริงแล้วผู้รู้ถึงปัญหาด้านคุณภาพของกระบวนการนั้น คือ ผู้ที่รับผลพวงของกระบวนการไป เช่น แผนกถัดไปหรือลูกค้าที่ใช้ผลิตภัณฑ์

2. ระบุงลไกที่จะใช้วัดปริมาณของปัญหานั้น เช่น การเปลี่ยนแปลงความหนา ซึ่งที่จะใช้วัดนั้นสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 รูปแบบดังนี้

2.1 ยิ่งมากยิ่งดี (The-larger-the-better) เช่น ความแข็งแรง, การส่องสว่าง

2.2 ยิ่งน้อยยิ่งดี (The-smaller-the-better) เช่น ส่วนเบี่ยงเบนจำนวนของ

เสีย

2.3 ตรงตามค่า (Nominal-the-best) เช่น ขนาดของผลิตภัณฑ์ ความโค้ง

รวบรวมตัวแปรสำคัญที่ควบคุมได้และคิดว่ามีผลต่อปัญหาด้านคุณภาพที่สนใจ และระบุระดับค่าที่จะทำการทดลองสัก 2-3 ค่าต่อตัวแปร ตัวแปรที่สำคัญนั้นเราต้องคำนึงถึงสิ่งที่เราจะวัดด้วย

ว่า ตัวแปรที่เราจะปรับนั้นมีผลต่อสิ่งที่เราจะวัดหรือไม่ การที่จะรู้ว่าตัวแปรไหนมีผลหรือไม่ เราสามารถประมาณการณได้จากประสบการณ์ของผู้ควบคุมเครื่องนั่นเอง เราไม่จำเป็นต้องใส่ตัวแปรทั้งหมดลงไป เพราะจะทำให้สิ้นเปลืองเวลาในการทำการทดลองมากขึ้นโดยไม่จำเป็น

3. ระบุสิ่งรบกวนที่ควบคุมไม่ได้เท่าที่จะทำได้

4. เลือกแบบแผนการทำการทดลอง (Orthogonal Array) หรือ OA

การออกแบบการทดลองของทางอุตสาหกรรมเครื่องมือที่เรียกว่า ออกทอกอนอล อะเรย์ (Orthogonal Array) โดยกำหนดให้ ปัจจัยที่ควบคุมได้ เป็น Outer Array และ ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้เป็น Inner Array เช่น

$L_{16} 2^{15}$ Orthogonal Array สำหรับการทดลองตั้งแต่ 2 ถึง 15 ปัจจัย และ ปัจจัยละ 2 ระดับ

ตารางที่ 2.4

ตารางออกทอกอนอล อะเรย์ $L_{16} 2^{15}$

Run	L ₁₆ Design														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1

หรือ $L_4 2^3$ Orthogonal Array สำหรับการทดลองตั้งแต่ 2 ถึง 3 ปัจจัย และ ปัจจัยละ 2 ระดับ

ตารางที่ 2.5

ตารางออกทดลอง อะเรย์ $L_4 2^3$

Run	L ₄ Design		
	1	2	3
1	1	1	1
2	1	2	2
3	2	1	2
4	2	2	1

5. ในแต่ละการทดลอง คำนวณ Signal-to-Noise ratio (S/N) S/N สามารถจำแนกออกได้ เป็น 3 ประเภท

5.1 คุณภาพเป็นประเภทยิ่งมากยิ่งดี

$$\begin{aligned} S/N &= -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum \frac{1}{y_i^2} \right) \\ &= -10 \log \left(\frac{1}{n} * \left(\frac{1}{y_1^2} + \frac{1}{y_2^2} + \dots \frac{1}{y_n^2} \right) \right) \end{aligned}$$

y_i = สิ่งทีวัดในการทำซ้ำครั้งที่ i

n = จำนวนที่ทดลองซ้ำ

5.2 คุณภาพเป็นประเภทยิ่งน้อยยิ่งดี

$$\begin{aligned} S/N &= -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum y_i^2 \right) \\ S/N &= -10 \log \left(\frac{1}{n} (y_1^2 + y_2^2 + \dots y_n^2) \right) \end{aligned}$$

อีกกรณีหนึ่ง

$$\begin{aligned} S/N &= -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum (y_i - \bar{y})^2 \right) \\ &= -10 \log \left(\frac{1}{n} ((y_1 - \bar{y})^2 + \dots + (y_n - \bar{y})^2) \right) \end{aligned}$$

5.3 คุณภาพเป็นประเภทตรงตามค่าออกแบบ

$$S/N = 10 \log \left(\frac{T^2}{\sigma^2} \right)$$

$$T^2 = \text{ค่าที่ถูกออกแบบไว้ว่าควรจะเป็น}$$

S/N อาจจะไม่อยู่ในรูปแบบที่กล่าวขึ้นก็ได้ขอเพียงให้ทราบว่าเราต้องการอะไรแล้ววัดอะไร

6. ระบุตัวแปรที่สำคัญ ในระบบใด ๆ ก็ตามมักจะมีตัวแปรบางตัวเท่านั้นที่มีความสำคัญมาก และส่วนที่เหลือเป็นเพียงตัวประกอบในการทำงานเท่านั้น ดังนั้น กลวิธีที่ดีในการพัฒนาคุณภาพนั้น ก็คือ เราควรจะมีมุ่งไปที่ตัวแปรที่สำคัญ แทนที่จะทุ่มเทพยายามให้กับตัวแปรทั้งหมด กลวิธีที่จะดูว่าตัวแปรตัวไหนสำคัญนั้น ค่อนข้างง่าย กล่าวคือเมื่อตัวแปรใดก็ตามที่เปลี่ยนระดับไปแล้วทำให้ค่า S/N เปลี่ยนไปมากที่สุด ตัวแปรนั้นสำคัญที่สุด หากตัวแปรที่เปลี่ยนระดับไปแล้ว ค่า S/N แทบที่จะไม่เปลี่ยนไปเลย ตัวแปรนั้นก็ไม่สำคัญ

7. เลือกอันดับที่ให้ค่า S/N เฉลี่ยสูงสุดของแต่ละตัวแปร ในตัวอย่างนี้จะเลือกตัวแปร A ที่ระดับ 1 เพราะให้ค่า S/N ที่สูงกว่า

8. ทดลองเปรียบเทียบระหว่างระดับตัวแปรของ Taguchi กับของเดิมการทดลองต่อเนื่อง หลังจากทราบแล้วว่าตัวแปรไหนสำคัญ ก็ปรับตัวแปรนั้นในทิศทางที่เห็นว่าดี เช่น จากตัวอย่างตัวแปร A สำคัญและระดับที่ 1 ก็ดีกว่าระดับที่ 2 แสดงว่า เราต้องปรับตัวแปร A ให้ต่ำกว่าระดับ 1 ก็ลองค่อย ๆ ปรับทีละนิดจนกว่าจะได้ไม่ดีกว่านี้อีกแล้ว

2.6 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 การศึกษาลักษณะของการถูกดูดซึมด้วยตัวทำละลายของกาวชนิดพอกซีที่ผ่านกระบวนการเคียวริง (Characterization of Cured Epoxy Powder Coating by Solvent Absorption) 1 W.A. ROMANCHICK and J.F. GEIBEL

Western Electric Co., Inc., Engineering Research Center, Princeton, NJ 08540

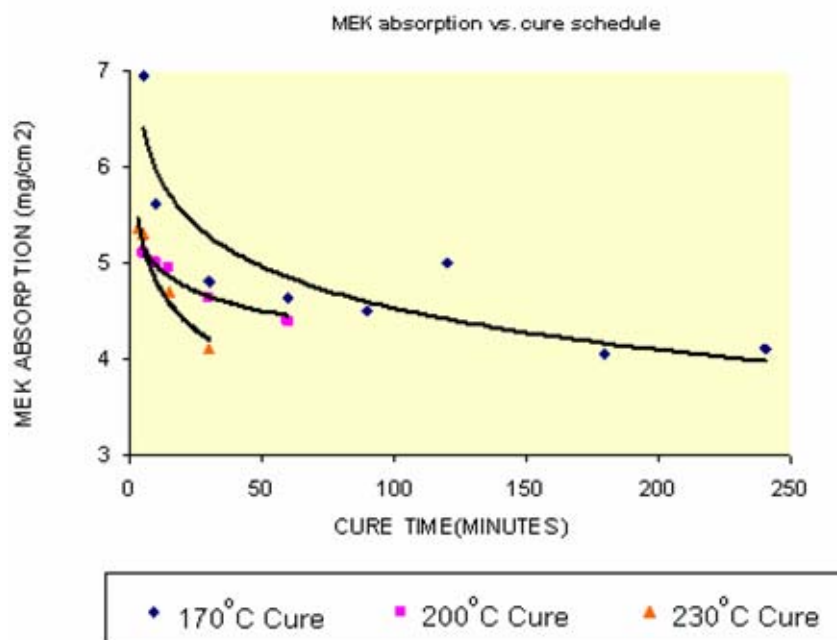
เป็นวิธีการมาตรฐานในการวัดการดูดซับของ MEK (Methyl ethyl Ketone) ต่อการ Epoxy Coating ที่ผ่านกระบวนการเคียวริง โดยศึกษาถึงผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ คือ เวลา อุณหภูมิ และ ความเข้มข้นของ MEK ที่มีต่อการดูดซับโพลีเมอร์ในส่วนที่ไม่เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุล (Cross link) หรือ uncured ซึ่งจะละลายได้ใน MEK โดยแนวโน้มของการดูดซับจะลดลงเมื่อระดับของการเชื่อมโยงโมเลกุล (Cross link) เพิ่มขึ้น

ระดับการเคียวต่อการดูดซับของ MEK_ (MEK Absorption versus The state of cure) เป็นที่ทราบกันดีว่า เวลาและอุณหภูมิ ของกระบวนการเคียวริง มีผลต่อคุณสมบัติสุดท้ายของกาซนิต อีพอกซี ประเภทเทอร์โมเซตติง (Thermoset Epoxy Resin) โดยจากการศึกษาพบว่าการดูดซึมของ MEK ต่อการอีพอกซีที่ผ่านกระบวนการเคียวในระดับต่างๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6

แสดงการดูดซึมของ MEK ที่สภาวะต่าง ๆ ของการเคียวริง

170°C Cure		200°C Cure		230°C Cure	
Cure Time (min)	MEK Abs (mg/cm ²)	Cure Time (min)	MEK Abs (mg/cm ²)	Cure Time (min)	MEK Abs (mg/cm ²)
5	6.95	5	5.10	3	5.35
10	5.60	10	5.00	5	5.30
30	4.80	15	4.95	15	4.70
60	4.65	30	4.65	30	4.10
90	4.50	60	4.40		
120	5.00				
180	4.05				
240	4.10				



ภาพที่ 2.17

การดูดซึมของ MEK ที่สภาวะต่าง ๆ ของการเคียวริง

ที่สภาวะที่เกิดการเคียวริงทำให้ระดับของ Cross link จะเพิ่มขึ้น โดยการดูดซึมของ MEK จะลดลง ซึ่งอุณหภูมิการเคียวริงที่สูงจะมีความสมบูรณ์ของการ Cross link มาก แต่อย่างไรก็ดีไม่ได้แนะนำให้ทำการเคียวที่อุณหภูมิที่สูงมากเพราะจะมีผลกระทบอื่น ๆ ที่ต้องพิจารณาเช่น Oxidation degradation, decomposition of dicy, changes in rubber particle morphology)

2.6.2 สมบัติเชิงความร้อนของกาวอีพอกซีสำหรับใช้งานในแผงโซลาร์เซลล์

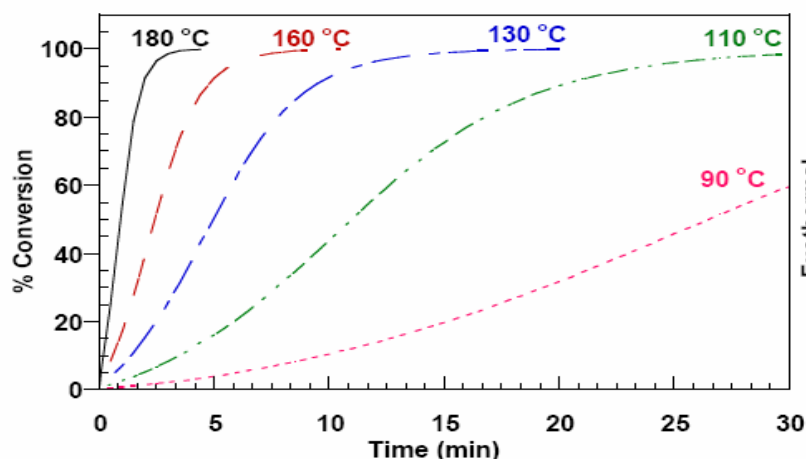
Thermal properties of epoxy cured resin and its performance as solar-roofing adhesive.

สมฤทัย ชรรณษานนท์, สิริพร โตนดแก้ว Somruethai Channasanon, Siriporn Tanodekaew
National Metal and Materials Technology Center, 114 Thailand Science Park,
Paholyothin Rd, Klong 1, Klong Luang, Pathumthani 12120, Thailand

กาวอีพอกซีถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้งานในแผงโซลาร์เซลล์ สารทำให้แข็งตัวชนิดต่าง ๆ ถูกนำมาบ่มกาวอีพอกซีโดยศึกษาสภาวะการบ่มที่ขึ้นกับอุณหภูมิด้วยเทคนิคทางความร้อน องค์ประกอบที่มีผลต่อสมบัติทางความร้อนของกาวหลังจากบ่มแล้วและความสามารถในการยึดติด แผ่นซิลิกอนเวเฟอร์เข้ากับแผ่นฐานรองเซรามิกส์ถูกศึกษาเพื่อหาสูตรกาวที่เหมาะสม ความ

แข็งแรงในการยึดติดเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมถูกทดสอบ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของกาวที่ผลิตขึ้นเทียบกับกาวทางการค้าในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

ในงานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงกระบวนการเคียวริงของกาวชนิดอีพอกซี เช่นความสัมพันธ์ด้านล่าง



ภาพที่ 2.18

ระดับการเปลี่ยนแปลงของกาวอีพอกซีที่ผ่านกระบวนการเคียวริงที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ

2.6.3 การปรับปรุงคุณภาพ งานหล่อนิกเกิล – อลูมิเนียม บรอนซ์ โดยวิธีการของทาгуชิ The Quality Improvement of Nickel-Aluminum Bronze Casting by Taguchi's Method กิตติกร ฤทธิสิงห์ เลอศักดิ์ สุมาลัย และ คมสัน จิระภัทรศิลป์* ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 91 ถ. ประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กทม. 10140 E-mail KOMSON.JIR @ K MUTT.AC.TH

นิกเกิล – อลูมิเนียม บรอนซ์ เป็นวัสดุที่ใช้ผลิตอะไหล่ ชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ชิ้นส่วนยานยนต์และอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ การหล่อโลหะจำพวก นิกเกิล – อลูมิเนียม บรอนซ์ ในบริษัท โรงหล่อ ก.เจริญ จำกัด มักพบปัญหาจากผลิตภัณฑ์ มีความแข็ง และเปราะ จึงทำให้ยากต่อการแปรรูป เช่น การกลึง และเกิดข้อบกพร่องในงานหล่อเช่น งานหดตัว โพรงอากาศ งานไม่เต็ม เป็นต้น ทั้งนี้การพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพของงานหล่อนิกเกิล – อลูมิเนียม บรอนซ์ดังกล่าว โดยการใช้วิธีทาгуชิ(Taguchi's method) ที่เป็นแนวคิดที่จะรวมคุณภาพให้อยู่ในผลิตภัณฑ์ และเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการสร้างคุณภาพให้กับผลิตภัณฑ์ วิธีการของทาгуชิพยายามทำให้กระบวนการทำ

ได้ตามที่ถูกรออกแบบไว้และควบคุมตัวแปรที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการให้เกิดความแน่นอนมากขึ้นและทำให้ทราบถึงตัวแปรที่ต้องมีการควบคุมตามเงื่อนไขและสภาวะต่าง ๆ วิธีการทดลองกำหนดปัจจัยไว้ 4 ตัว คือ อุณหภูมิเท %นิกเกิล %อลูมิเนียม และ %สังกะสี โดยแบ่งปัจจัยเป็น 3 ระดับ ทำให้ได้แผนการทดลองแบบ L9 (34) และทำการวิเคราะห์ผลโดยใช้ ค่า S/N-Ratio และการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ANOM ผลศึกษาพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพ มากที่สุดคือ ปัจจัยอุณหภูมิเท รองลงมาคือส่วนผสมอลูมิเนียม ปัจจัยที่และเงื่อนไขที่ดีที่สุดคือ ปัจจัยอุณหภูมิเทที่ 1350 °C, นิกเกิล 14% , อลูมิเนียม 12% และ สังกะสี 8% ผลการทดสอบสมบัติของ นิกเกิล – อลูมิเนียม บรอนซ์ดีขึ้นและลดจำนวนของเสียให้น้อยลงได้

2.6.4 การพัฒนาประสิทธิภาพงานหล่อเครื่องประดับด้วยการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลอง กรณีตัวอย่าง: โรงงานเครื่องประดับ The Jewelry Casting Development by Design and Experiment Analysis A Case Study: The Jewelry Factory.
 ปาณิกา เสนาะดนตรี สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร* ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

จากการศึกษาปัญหาในโรงงานเครื่องประดับ พบว่า มีของเสียเป็นจำนวนมากในกระบวนการผลิต ซึ่งของเสียที่เกิดจากผิบนวดชิ้นงานนั้นสูงถึง 54.18% จึงทำการศึกษาการเกิดผิบนวดชิ้นเครื่องประดับ โดยคาดว่ากระบวนการที่ทำให้เกิดผิวนคือ การหล่อ เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยในการหล่อ พบว่าปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อการเกิดผิวนคือ อุณหภูมิการหล่อ เวลาอบเข้าอุณหภูมิน้ำโลหะ มุมเอียงชิ้นงาน และขนาดทางเดินน้ำโลหะ เมื่อทำการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเกิดผิวนอย่างมีนัยสำคัญโดยวิธีทาคุชิซึ่งใช้อุณหภูมิการหล่อ 450-700°C เวลาอบเข้า 16-41 ชั่วโมง อุณหภูมิน้ำโลหะ 965-1020°C มุมเอียงชิ้นงาน 30-60° ขนาดทางเดินน้ำโลหะ 1-2 เท่า พบว่าอุณหภูมิการหล่อและอุณหภูมิน้ำโลหะมีผลต่อการเกิดผิบนวดชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ จึงนำปัจจัยที่มีอิทธิพลดังกล่าวมาทำการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 32 เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมโดยวิธีพื้นผิวดอบสนองพบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมของอุณหภูมิการหล่อคือ 545°C และปัจจัยที่เหมาะสมของอุณหภูมิน้ำโลหะคือ 900°C จึงนำระดับปัจจัยดังกล่าวไปหล่อชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 200 ชิ้น ซึ่งชิ้นงานนี้เคยเกิดผิวนสูงถึง 78.21% พบว่าสามารถลดจำนวนการเกิดผิวนลงเหลือ 24.50% ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการหล่อได้ถึง 53.71%

2.6.5 การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการพ่นสีเฟอร์นิเจอร์ไม้โดยการออกแบบการทดลองของทาากูชิ กรณีศึกษา: โรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ นางสาวเปมิกา สุวรรณมณี สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยงยุทธ์ พฤกษชาติ รองศาสตราจารย์ สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร ปีการศึกษา : 2548

จากการศึกษาสภาพปัญหาในแผนกทำสีของกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ พบว่ามีของเสีย ที่เกิดจากการพ่นสีที่ไม่ได้มาตรฐานเป็นจำนวนมาก ซึ่งปัญหาของเสียที่พบมากที่สุด คือ ปัญหาสี เป็นผิวส้ม ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมของการพ่นสีที่ ทำให้เกิดของเสียสีเป็นผิวส้มน้อยที่สุดโดยใช้หลักการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง เมื่อ วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา พบว่ามีปัจจัย 5 ปัจจัย คือ ความสูงของหัวปืนพ่นสี (ระยะห่างระหว่าง งานกับหัวปืนพ่นสี) ความเร็วของหัวปืนพ่นสี ความเร็วของสายพาน แรงดันลม และความหนืดสี ที่ทำให้เกิดปัญหาดังกล่าว ดังนั้นจึงนำปัจจัยดังกล่าวมาออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิคการ ออกแบบการทดลองของทาากูชิ พบว่า ความหนืดสี และแรงดันลม มีอิทธิพลต่อการปัญหาสี เป็น ผิวส้มอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $\alpha = 0.05$ ส่วนความสูงของหัวปืนพ่นสี ความเร็วของหัวปืนพ่นสี และความเร็วของสายพาน ตามมาตรฐานการทำงานปัจจุบันไม่มีนัยสำคัญต่อการเกิดปัญหานี้ และ เมื่อนำปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทดลองมาทำการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3 ระดับ เพื่อหา ระดับปัจจัยที่เหมาะสมด้วยเทคนิคพื้นผิวตอบสนอง พบว่า ระดับปัจจัยที่เหมาะสมของความหนืดสี คือ 10-10.5 วินาที และค่าแรงดันลมที่เหมาะสม คือ 4 บาร์ และจากการนำผลการวิจัยไปใช้ในการ ทำงานจริง พบว่าจำนวนของเสียสีเป็นผิวส้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จากเดิมมีงานเสียเฉลี่ย 532 ชิ้น/ เดือน ลดลงเหลือ 210 ชิ้น/เดือน จากปริมาณการผลิตประมาณ 10,000 ชิ้น/เดือน คิดเป็นจำนวนงาน เสียลดลง 60.49% และสามารถลดค่าใช้จ่ายในการแก้ไขงานจากเดิม 306,432 บาท/ปี เหลือเพียง 120,960 บาท/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้เท่ากับ 185,472 บาท/ปี หรือคิดเป็น ค่าใช้จ่ายในการแก้ไขงานลดลง 60.53%

2.6.6 การปรับปรุงคุณภาพงานฉีดพลาสติกโดยวิธีการทาากูชิ Injection molding quality improvement by Taguchi method อัสภาวุธ หนูเกื้อ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: อาจารย์ปาริชาติ ชื่นวัฒนกุล ปีการศึกษา: 2550

การฉีดขึ้นรูปพลาสติกแบบหลายคาวิตีมักจะทำให้เกิดปัญหาของเสียจำนวนมากในบางคาวิตี จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เป็นการหาอิทธิของปัจจัยตัวแปรที่มีผลกระทบต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของชิ้นส่วน Hub-C2 ซึ่งเป็นชิ้นส่วนหลักของเทปบันทึกข้อมูลแบบดิจิตอล

(DDS: Digital Data Storage) ในกระบวนการฉีดพลาสติกแบบหลายคาวิตี้จำนวน 16 คาวิตี้ โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (TAGUCHI) และค้นหาสภาวะที่เหมาะสมของการผลิตโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์และเบ็นเคน (Box-Behnken) และใช้ทฤษฎีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) ในการหาค่าที่ดีที่สุด การพิจารณาผลการทดลองจะประเมินจากดัชนีความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Index) จากผลการทดลองพบปัจจัยเวลาในการหล่อเย็น แรงดันอัดยี้ และเวลาในการอัดยี้ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของ Hub-C2 เกือบทุกคาวิตี้ ในขณะที่ปัจจัยอุณหภูมิของกระบอกฉีดส่งผลเฉพาะคาวิตี้ H,K,L,M,N,O และ P จากการนำสภาวะการทดลองที่เหมาะสมไปใช้พบว่าความสามารถของกระบวนการการผลิตโดยเฉลี่ยทั้ง 16 คาวิตี้ เพิ่มขึ้นจาก 0.8 เป็น 1.85