

บทที่ 2

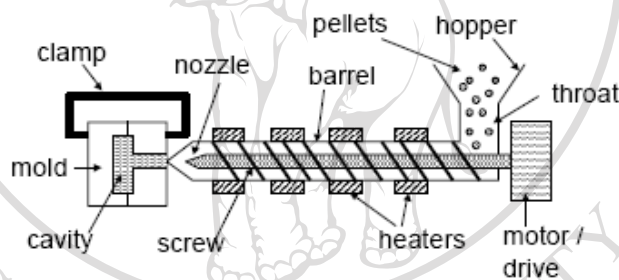
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการค้นคว้าแบบอิสระนี้ แบ่งเนื้อหาออกเป็น 2 ส่วน คือ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และ สรุปสาระสำคัญจากผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หลักการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการในกระบวนการผลิตงานฉีดพลาสติก (Injection Molding)

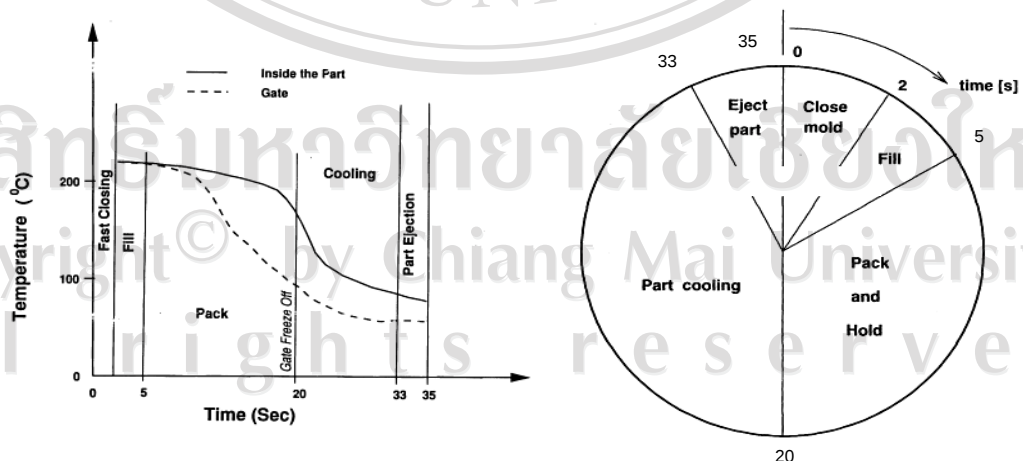
กระบวนการผลิตงานฉีดพลาสติก เป็นวิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยอาศัยการฉีดพลาสติกหลอมเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์ด้วยแรงดันสูง เครื่องจักรที่ใช้มีขนาดใหญ่ มีส่วนประกอบดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 องค์ประกอบของเครื่องฉีดพลาสติก

- ฮอปเปอร์ (Hopper) เป็นกรวยขนาดใหญ่ ใช้ลำเลียงเม็ดพลาสติกและสารเติมแต่งเพื่อป้อนเข้าสู่เครื่องฉีดพลาสติก
- กระบอกฉีดและสกรู (Injector and Screw) เป็นส่วนสำคัญที่ทำหน้าที่หลอมเหลวพลาสติกและสร้างแรงดันเพื่อฉีดพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์ (Mold) ประกอบด้วยกระบอกส่วนนอกยึดติดอยู่กับที่ ส่วนด้านของกระบอกเป็นที่ติดตั้งฮอปเปอร์ ตรงส่วนกลางและส่วนปลายของกระบอกมีเครื่องให้ความร้อนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ ปลายของกระบอกจะต่อเข้ากับหัวฉีด ภายในของกระบอกนี้เป็นสกรูที่มีความยาวสั้นกว่ากระบอกเล็กน้อย มีลักษณะเป็นเกลียวหยาบหมุนป้อนส่วนผสมของพลาสติกให้เคลื่อนที่เข้าสู่กระบอก สามารถเคลื่อนที่ถอยหลังและดันกลับ เพื่อเพิ่มแรงดันให้พลาสติกหลอมเหลวไหลเข้าสู่แม่พิมพ์
- หัวฉีด (Nozzle) เป็นส่วนปลายของกระบอกฉีดพลาสติกเข้ากับช่องทางไหลในแม่พิมพ์ หัวฉีดมีรูขนาดเล็กเพื่อเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่เข้าสู่แม่พิมพ์ของพลาสติกหลอมเหลว

- มอเตอร์ขับเคลื่อน (Driver Motor) อาจเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า หรือมอเตอร์ไฮดรอลิก ใช้สำหรับหมุนสกรูและขับเคลื่อนพลาสติกหลอมเหลว
- แม่พิมพ์ (Mold) เป็นอุปกรณ์ที่มีช่องว่างภายในมีรูปร่างตามผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ในการผลิตแม่พิมพ์จะออกแบบให้มี 2 ชั้นหลัก เพื่อสะดวกในการถอดผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปออก โดยช่องที่นำพลาสติกหลอมเหลวเข้าสู่ช่องแบบผลิตภัณฑ์ เรียกว่า สปรู (Sprue) และในกรณีที่แม่พิมพ์ถูกออกแบบมาให้ผลิตได้ครั้งละหลายชิ้น จะมีช่องแบบหลายอัน เรียกว่าช่องแบบ (Cavity) และช่องทางแยกจากสปรูเข้าสู่แต่ละช่องแบบ เรียกว่า รันเนอร์ (Runner)
- ตัวหนีบยึดแม่พิมพ์ (Hydraulic clamp unit) มีกลไกสำหรับเปิดและปิดแม่พิมพ์ ขับเคลื่อนด้วยไฮดรอลิก และยังประกอบด้วยอุปกรณ์ทำความร้อนให้แม่พิมพ์ และอุปกรณ์หล่อเย็น
- ชุดควบคุมกลาง (Central control) เป็นชุดควบคุมเครื่องจักรทุกส่วน รวมทั้งการจ่ายกระแสไฟฟ้า อุปกรณ์ตรวจวัด ชุดควบคุมอุณหภูมิ ชุดควบคุมแรงดัน และอุปกรณ์ตั้งเวลา ในกระบวนการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติกจะแบ่งเป็นขั้นตอนตามภาพที่ 2.2 ดังนี้
 - (1) ขั้นตอนการปิดแม่พิมพ์เพื่อเตรียมพร้อมในการฉีดพลาสติกเหลว (Clamping) จากแผนภูมิตัวอย่างในภาพที่ 2.2 ใช้เวลาประมาณ 2 วินาที ต่อ 1 รอบการฉีดที่ใช้เวลารวม 35 วินาที
 - (2) ขั้นตอนฉีดพลาสติก (Injection) โดยสกรูจะหมุนเพื่อดันพลาสติกเหลวในกระบอกฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ ตัวอย่างใช้เวลาประมาณ 3 วินาที จากนั้นแม่พิมพ์จะปิดค้างไว้อีก 10 วินาที
 - (3) ขั้นตอนการทำความเย็น (Cooling) โดยน้ำจะไหลผ่านแม่พิมพ์เพื่อให้พลาสติกเย็นตัวลง และคงรูป จากตัวอย่างใช้เวลาประมาณ 18 วินาที
 - (4) ขั้นตอนถอดผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์ (Ejection) ดังตัวอย่างจะใช้เวลาประมาณ 2 วินาที



ภาพที่ 2.2 แผนภูมิเวลาแต่ละขั้นตอนในกระบวนการฉีดพลาสติก

(Georgia institute of technology, 2000)

2.2 รายละเอียดของผลิตภัณฑ์ป้ายปลอกคอสัตว์เลี้ยง (Pets Collar Tag)

เมื่อวันที่ 3 กรกฎาคม พ.ศ. 2547 กลุ่มสหภาพยุโรป (EU) ได้ออกกฎหมาย เพื่อควบคุมการเดินทางเข้าออกของสัตว์เลี้ยงระหว่างประเทศ ซึ่งประชาชนในแต่ละประเทศที่ต้องการนำสัตว์เลี้ยงติดตามไปในกลุ่มประเทศสหภาพยุโรปต้องทำตามกฎหมายดังกล่าว โดยต้องฝังไมโครชิปไว้ใต้ผิวหนังของสัตว์เลี้ยงเพื่อระบุประวัติและใช้ติดตามหาเจ้าของกรณีที่สัตว์เลี้ยงหลงทางหรือสูญหาย

การฝังไมโครชิปให้สัตว์เลี้ยง ทำได้โดยนำสัตว์เลี้ยงไปฝังไมโครชิปในโรงพยาบาลสัตว์หรือสถานที่มีการรับรองการฝังไมโครชิปตามมาตรฐาน ISO 11758 ไมโครชิปจะมีขนาดเล็กดังภาพที่ 2.3 ซึ่งบันทึกข้อมูลของสัตว์เลี้ยงได้แก่ ชื่อเจ้าของ ที่อยู่ ประเทศ โดยสัตวแพทย์จะใช้หลอดฉีดยาเพื่อฉีดไมโครชิปให้ฝังเข้าใต้ผิวหนังบริเวณสะบัก หลังจากนั้นทางโรงพยาบาลสัตว์ หรือสถานนั้นก็จะออกใบรับรองของไมโครชิป (Microchip Certificate) ให้ โดยสัตว์เลี้ยงที่ผ่านการฝังไมโครชิปแล้วจะต้องติดป้ายเตือนที่ปลอกคอ เพื่อระบุให้ผู้พบเห็นสัตว์เลี้ยงหลงทางหรือสูญหายตามประกาศแจ้งเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องนำสัตว์เลี้ยงไปแสกนหาข้อมูลสำหรับติดต่อเจ้าของต่อไป

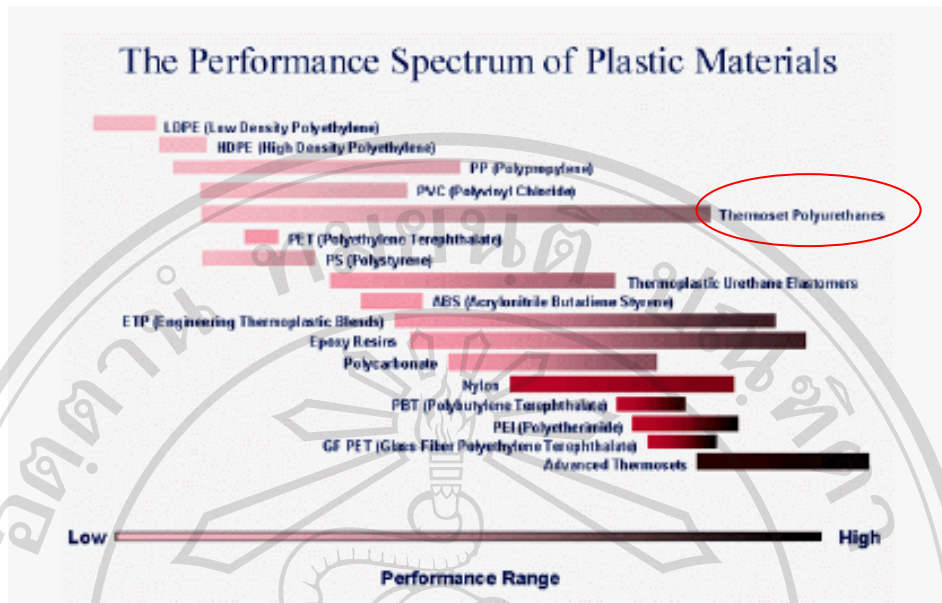


ภาพที่ 2.3 ตัวอย่างไมโครชิป การฝังไมโครชิป และการแสกนไมโครชิป

โดยป้ายเตือนที่ปลอกคอก่อนนี้ มีการออกแบบที่สวยงามสีสันสดใสตามความต้องการจากเจ้าของสัตว์เลี้ยง ดังภาพที่ 2.4 ผลิตจากเม็ดพลาสติกหลายประเภท แต่ที่นิยมใช้คือ เทอร์โมพลาสติกโพลียูรีเทน เพราะมีคุณสมบัติทนทานต่อแรงดึงแรงกดได้ดี การขีดขีดจีดจีดจากพฤติกรรมของสัตว์เลี้ยง ทนทานต่อสภาพอากาศร้อนจัดเย็นจัด ทนทานต่อสารเคมีหรือน้ำมัน ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างป้ายปลอกคอสัตว์เลี้ยง และข้อความเตือนผู้พบเห็น

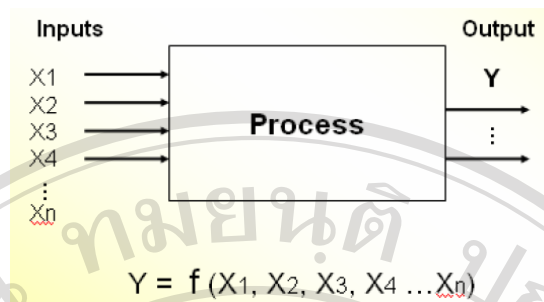


ภาพที่ 2.5 ช่วงศักยภาพการใช้งานของเม็ดพลาสติกแต่ละชนิด

2.3 หลักการการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

การออกแบบการทดลอง หมายถึง การกระทำอย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งอาจเป็นงานวิจัยหรืองานทดลองอย่างมีระบบ โดยมีการวางแผน มีสมมุติฐาน การสุ่มตัวอย่าง รวมทั้งสรุปผลโดยวิธีการทางสถิติที่เหมาะสมและถูกต้อง การออกแบบการทดลองประกอบด้วยสิ่งทดลองที่กำหนดแน่นอนที่จะจัดให้แก่หน่วยทดลอง (ประไพศรี และพงษ์ชนัน, 2551) การออกแบบการทดลอง เป็นเทคนิคที่ใช้อย่างกว้างขวางกับงานวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ตลอดจนงานทางวิศวกรรม ผู้วิจัยจำเป็นต้องทราบและเข้าใจเกี่ยวกับองค์ความรู้เบื้องต้น และเงื่อนไขของการวางแผนการทดลอง การออกแบบการทดลองได้เข้ามามีบทบาทที่สำคัญในการวิจัยและพัฒนา เพื่อการสร้าง พัฒนาองค์ความรู้ที่น่าเชื่อถือ และมีความมั่นใจสูงในการนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในงานภาคสนามหรือในสถานการณ์จริง ปัจจุบันในภาคอุตสาหกรรมได้ใช้งานวิจัยและพัฒนาเป็นฐานข้อมูลในการพัฒนาผลิตภัณฑ์และเทคโนโลยี กิจกรรมดังกล่าวจำเป็นต้องใช้การวางแผนการทดลองที่ดี เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพมาตรฐานตามกฎหมาย และความต้องการของผู้บริโภค (ไพโรจน์, 2547)

การออกแบบการทดลอง เป็นวิธีการเก็บข้อมูลที่มีประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนแปลงหรือปรับค่าของปัจจัยนำเข้า (Factors) อย่างมีจุดมุ่งหมายที่จะสังเกตการเปลี่ยนแปลงของผลตอบ (Response) ที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 2.6 ปัจจัยนำเข้าและผลลัพธ์ของกระบวนการ

จากภาพที่ 2.6 จะเห็นว่ากระบวนการมีปัจจัยนำเข้า (X_1, X_2, X_3, X_4) ที่ส่งผลต่อค่า Y ซึ่งเป็นคุณลักษณะด้านคุณภาพ (Quality characteristic) ของกระบวนการ ในการออกแบบการทดลอง จำเป็นที่จะต้องทำการทดลองอย่างเป็นระบบ เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงสถิติของ Y และ X โดยที่พยายามใช้ทรัพยากรในการทดลองให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ความสัมพันธ์เชิงสถิติที่ได้ช่วยให้มีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ (Process knowledge) เพื่อที่จะนำไปปรับปรุงกระบวนการต่อไป (จรัล, 2549) การทดลองแต่ละครั้งจะต้องให้สาระข้อมูลที่สำคัญที่สุดเพราะทรัพยากรมีจำนวนจำกัด ซึ่งการทดลองที่ดี จะให้สาระข้อมูลที่สำคัญและมีคุณภาพมากกว่าการทดลองที่เกิดขึ้นจากงานที่ไม่มี การวางแผนมาก่อน และโดยเฉพาะการทดลองตามแผนที่วางไว้จะสามารถวิเคราะห์ข้อผิดพลาดของปัจจัยที่ต้องการศึกษาได้ดีกว่า การทดลองที่มีการออกแบบที่ดีมี 4 ขั้นตอนคือ การวางแผนการทดลอง (Experiment Planning) การคัดเลือกปัจจัย (Screening or Process characterization) การหาค่าที่ดีที่สุดจากผลการทดลอง (Optimization) และการทดสอบในกระบวนการจริง (Verification) (บริษัทโซลูชั่น เซ็นเตอร์ จำกัด, 2550)

2.3.1 การวางแผนการทดลอง (Experiment Planning)

การวางแผนการทดลองที่ดีช่วยลดปัญหาระหว่างการทำการทดลองให้น้อยลง เช่น ลดการขาดแคลนบุคลากร อุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง เงินทุน และเรื่องกรรมวิธีการผลิต ซึ่งอาจส่งผลให้ไม่สามารถทำการทดลองได้ครบถ้วนสมบูรณ์ การเตรียมการทดลองขึ้นอยู่กับลักษณะปัญหาที่พบ ขั้นตอนนี้ต้องทำการ

(1) กำหนดปัญหา (Define the problem) คือการกำหนดปัญหาให้มีขอบเขตชัดเจน จะช่วยให้การกำหนดตัวแปรถูกต้อง เพื่อสามารถตอบคำถามได้ตามที่ต้องการ

(2) กำหนดวัตถุประสงค์ (Define the objective) คือกำหนดวัตถุประสงค์ให้ชัดเจน ทำให้มั่นใจได้ว่าการทดลองสามารถตอบคำถามได้ตรง และข้อมูลที่ได้นำมาใช้ได้จริง

(3) การสร้างแผนการทดลองเพื่อให้ได้สาระข้อมูลที่ต้องการ ในขั้นตอนนี้ควรมีการทบทวนถึงสิ่งที่มีความเกี่ยวข้องกับหลักการทางทฤษฎีหรือข้อมูลในอดีต เช่น ถ้าต้องการหาว่าปัจจัยหรือเงื่อนไขใดที่มีผลต่อประสิทธิภาพ และความแปรปรวนของกระบวนการ หรือการหาเงื่อนไขที่ดีที่สุดของกระบวนการ

(4) กระบวนการและระบบการวัดจะต้องอยู่ภายใต้การควบคุม โดยหลักทางทฤษฎีทั้งกระบวนการและระบบการวัดควรอยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติ (Statistical Process Control : SPC) ในกรณีที่กระบวนการไม่ได้อยู่ภายใต้การควบคุมแบบสมบูรณ์ แต่อย่างน้อยกระบวนการนั้นก็ควรที่จะสามารถทำซ้ำและต้องมีการวัดความแปรปรวนของกระบวนการ เพราะถ้าหากความแปรปรวนของกระบวนการที่ได้มามีค่ามากกว่าความแตกต่างหรืออิทธิพลที่กำลังพิจารณา ผลการทดลองที่ได้นี้อาจจะไม่ได้ประโยชน์มากนัก

2.3.2 การคัดเลือกปัจจัย (Screening)

สิ่งทดลอง (Treatment) คือสิ่งที่นำมาศึกษาวัดผล เช่น กระบวนการผลิต ชนิดของวัตถุดิบ การพิจารณาเลือกสิ่งทดลอง ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และชนิดของการวิจัยว่าต้องการวัดผลและเปรียบเทียบอย่างไร จะมีตัวเปรียบเทียบ (Standard หรือ Control) หรือไม่ และมีการแบ่งระดับ (Level) ในแต่ละปัจจัยที่ศึกษาอย่างไร ในงานพัฒนากระบวนการและงานการผลิตส่วนมาก มีตัวแปรจำนวนมากที่มีแนวโน้มว่าจะมีส่วนในการปรับปรุง การคัดเลือกเป็นการลดจำนวนตัวแปรเหล่านี้ให้มีจำนวนน้อยลง โดยคัดเลือกตัวแปรที่มีความสำคัญอย่างมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การลดจำนวนตัวแปร ทำให้สามารถจะพิจารณาเฉพาะที่ตัวแปรที่มีความสำคัญต่อกระบวนการเท่านั้น หรือพิจารณาตามหลักการ ความสำคัญจำนวนน้อย (Vital Few) การคัดเลือกอาจจะสามารถทำได้ถึงการหาค่าที่เหมาะสม (Optimal) ของตัวแปร รวมทั้งบอกถึงค่าตอบสนอง (Response) ที่มีสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้ง ซึ่งมีวิธีที่ใช้ในการคัดเลือกคือ

- (1) แบบสองระดับ แบบแฟคทอเรียลเต็มรูป แบบแฟคทอเรียลเชิงเศษส่วน
- (2) แบบแฟกต์เคท-เบอร์แมน มีผลสังเกตน้อย แต่มีประโยชน์มากในการคัดเลือก
- (3) แบบแฟคทอเรียลเต็มรูปทั่วไป ที่ปัจจัยมีค่าระดับมากกว่า 2 ค่าขึ้นไป ใช้เพื่อการคัดเลือกขนาดเล็ก

การกำหนดขนาดของการทดลองมีหลักช่วยในการตัดสินใจคือ ความเป็นไปได้ในการปฏิบัติจริง จำนวนสิ่งทดลองที่ใช้ ความแปรปรวนของวัตถุดิบหรือสิ่งทดลองที่ใช้ในแต่ละหน่วยทดลอง ความแม่นยำ (Accuracy) ในการวัดผล รวมทั้งเงินทุนในการทดลอง ส่วนการเลือกวิธีการทดลองต้องคำนึงถึงความแปรปรวนที่เกิดขึ้น เพราะในการศึกษาที่มีความละเอียดสูงอาจไม่

ได้ผลตามวัตถุประสงค์ ตัวอย่างของความแปรปรวน เช่น ความแปรปรวนจากวัตถุดิบคุณสมบัติของวัสดุหรือสิ่งที่ใช้ในการทดลอง ความแปรปรวนจากสิ่งแวดล้อมซึ่งควบคุมได้ยากอาจใช้การทำให้ซ้ำในสถานที่เดียวกัน และความแปรปรวนเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอในการปฏิบัติการทดลอง

รูปแบบทางคณิตศาสตร์ของการออกแบบการทดลอง

(1) การออกแบบการทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ (Complete Randomized Design : CRD) ใช้สำหรับกรณี ตัวแปรตามมีความแปรปรวนเนื่องจากปัจจัยเดียวที่มีหลายระดับ การเลือกกระดบในการทดลองแต่ละครั้งจะทำแบบสุ่ม โดยข้อมูลในแต่ละระดับไม่ต้องมีจำนวนที่เท่ากันดังสมการที่ 1

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2.1)$$

(2) การออกแบบการทดลองแบบสุ่มโดยการจัดปัจจัยที่ไม่ต้องการออก (Randomized Complete Block Design : RCBD) ในการทดลองที่ใช้การจำลอง (Simulation) อาจมีปัจจัยบางตัวที่ควบคุมไม่ได้หรือไม่อยู่ในความสนใจของผู้วิเคราะห์ โดยคาดว่าอิทธิพลของปัจจัยเหล่านั้นส่งผลต่อความแปรปรวนของข้อมูลน้อย ซึ่งสามารถกำจัด(Block) อิทธิพลของปัจจัยเหล่านั้นออกไปดังสมการที่ 2

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (2.2)$$

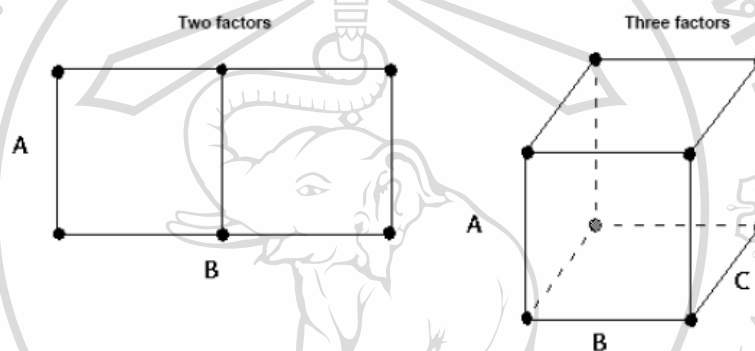
(3) การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial Designs : FD) สามารถทำการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีต่อกระบวนการที่เกิดขึ้นพร้อมกันได้ เมื่อทำการทดลองควรเปลี่ยนค่าระดับปัจจัยไปพร้อมๆ กันมากกว่าทำการเปลี่ยนค่าระดับปัจจัยตัวใดตัวหนึ่ง เพราะจะทำให้ได้งานที่มีประสิทธิภาพมากกว่าทั้งในเรื่องการประหยัดเวลาและต้นทุน และยังสามารถวิเคราะห์เรื่องอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างปัจจัย โดยอิทธิพลร่วมคือผลของการที่ปัจจัยร่วมกันที่มีอยู่ในหลายกระบวนการ ถ้าไม่ได้ทำการทดลองแบบแฟกทอเรียลอาจจะไม่เห็นผลของอิทธิพลร่วมได้ชัดเจน โดยจะต้องเก็บข้อมูลที่ทุกระดับของปัจจัย และยอมรับว่าการอยู่ร่วมกันของปัจจัยอาจมีอิทธิพลต่อความแปรปรวนของข้อมูลเช่นเดียวกับปัจจัยตัวใดตัวหนึ่ง ดังสมการที่ 3

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \tau\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad i = 1, 2, \dots, a \quad j = 1, 2, \dots, b \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (2.3)$$

การออกแบบเพื่อการคัดเลือก (Screening Design) ในงานพัฒนากระบวนการและงานการผลิตส่วนมาก มีตัวแปรจำนวนมากที่มีแนวโน้มว่าจะมีส่วนในการปรับปรุงการคัดเลือกเป็นการลดจำนวนตัวแปรเหล่านี้ให้มีจำนวนน้อยลง โดยคัดเลือกตัวแปรที่มีความสำคัญอย่างมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การลดจำนวนตัวแปรทำให้สามารถจะพิจารณาเฉพาะที่ตัวแปรที่มีความสำคัญต่อกระบวนการเท่านั้น หรือพิจารณาตามหลักการความสำคัญจำนวนน้อย การคัดเลือกสามารถทำได้

ถึงการหาค่าที่เหมาะสมของตัวแปรนั้น รวมทั้งทำการทดลองเพื่อหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization) เพื่อบอกว่าค่าตอบสนองมีสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้ง

(1) การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial) จะวัดค่าตอบสนองที่ทุกเงื่อนไขของทุกค่าระดับปัจจัยที่มีในการทดลอง เงื่อนไขการทดลอง (Combination of factor levels) เป็นเงื่อนไขที่กำหนดให้ทำการทดลองเพื่อวัดค่าตอบสนอง โดยที่เงื่อนไขการทดลองแต่ละอันจะเรียกว่า รัน (Run) และมีการทำการทดลองเพื่อวัดค่าตอบสนอง และชุดข้อมูลทั้งหมดในทุกรันจะเรียกว่า แบบการทดลอง (Design)



ภาพที่ 2.7 มุมมองเชิงเรขาคณิต

จากภาพ 2.7 แสดงตัวแบบของการทดลองแบบ 2 และ 3 ปัจจัย โดยจุดแสดงถึงเงื่อนไขการทดลอง (Combination) ของแต่ละการทดลอง ตัวอย่างเช่น ในตัวแบบ 2 ปัจจัย (Two-factor design) จุดที่มุมล่างด้านซ้าย และรันของการทดลองที่มีค่าระดับปัจจัย A เป็นค่าต่ำ (Low) และ ค่าระดับปัจจัย B เป็นค่าต่ำ

(2) การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปสองระดับ (Two-level full factorial) ในทุกการทดลองของทุกปัจจัยจะมีค่าระดับเพียงแค่ 2 ระดับเท่านั้น การทดลองแต่ละรันจะมีทุกค่าระดับของทุกปัจจัย ถึงแม้ว่าจะไม่สามารถทำการทดลองที่ค่าปัจจัยย่าน (Range) กว้างมากได้ แต่ก็สามารถให้สาระข้อมูลที่มีประโยชน์ได้ โดยที่จำนวนรันไม่มากนักต่อหนึ่งปัจจัย และเพราะว่าการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปสองระดับสามารถที่จะแสดงค่าแนวโน้มได้ จึงสามารถนำมาใช้เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการสร้างการทดลอง เช่น เมื่อต้องการที่จะทำการทดลองในย่านที่กว้างขึ้น ซึ่งมีสมมุติฐานว่าจะมีค่าที่ดีที่สุดอยู่ อาจใช้ตัวแบบแฟคทอเรียลเพิ่มเติมจากจุดนี้ โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบเซ็นทรัลคอมโพสิท (Central composite)

(3) การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปทั่วไป (General full factorial) ในการทดลองแต่ละครั้งในแต่ละปัจจัยจะมีค่าระดับหลายค่า เช่น ปัจจัย A มี 2 ระดับ B มี 3 ระดับ และ C

มี 5 ระดับ การทดลองในทุกวันจะทำการครบทุกค่าระดับของทุกปัจจัย และอาจนำไปใช้ในการทดลองขนาดเล็กเพื่อทำการคัดเลือกปัจจัย หรือเพื่อทำการหาค่าที่ดีที่สุด

(4) การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเชิงเศษส่วน (Fractional Factorial) ในการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ จะทำการวัดค่าตัวตอบสนองในทุกเงื่อนไขการทดลองซึ่งจะเป็นทุกค่าระดับของทุกปัจจัย ทำให้ต้องทำการทดลองจำนวนหลายครั้ง เช่น การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบสองระดับของ 6 ปัจจัย อย่างน้อยต้องมีการทดลองจำนวน 64 รัน หรือกรณีที่มี 9 ปัจจัย จะมีการทดลองอย่างน้อย 512 รัน ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดเวลาและต้นทุน อาจทำการออกแบบการทดลองให้ทำการทดลองเฉพาะบางเงื่อนไข

การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเชิงเศษส่วน หมายถึงวิธีที่ผู้ทำการทดลองไม่ต้องทำการทดลองให้ครบทุกเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าของทุกปัจจัย เนื่องจากจะมีจำนวนรันมากเกินไปจนไม่สามารถดำเนินการได้เพราะมีข้อจำกัดบางประการ ถึงแม้ว่าความแม่นยำของผลไม่เท่ากับ แบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบในเชิงทฤษฎี แต่ในทางปฏิบัติการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบอาจจะได้ผลที่ไม่ดีกว่าแบบแฟคทอเรียลเชิงเศษส่วนได้ เนื่องจากจำนวนปัจจัยและจำนวนรันที่ยังมาก ก็ยังควบคุมการทดลองได้ยากทำให้ความผิดพลาดเพิ่มมากขึ้น เมื่อทำการทดลองจะมีเพียงบางปัจจัยหลัก (Main effects) และบางอิทธิพลร่วม (Interaction) เท่านั้นที่มีความสำคัญ ยิ่งลำดับของอิทธิพลร่วมสูงขึ้นก็ยิ่งทำให้โอกาสที่จะมีนัยสำคัญของปัจจัยหลักน้อยลง การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเชิงเศษส่วน มีความสำคัญอย่างมากในการทดลองเพื่อการคัดเลือกปัจจัย เพราะจะมีการลดจำนวนรันลงจนเหลือขนาดการทดลองที่สามารถทำได้จริง รันที่เลือกมาทำการทดลองจะเป็นรันที่อยู่ในชุดการทดลองของแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ ซึ่งในกรณีที่ไม่ได้ทำการทดลองครบทุกเงื่อนไขของทุกปัจจัยจะทำให้เกิดผลอย่างหนึ่งที่เรียกว่าคอนฟาวด์ (Confounded) ซึ่งหมายถึง อิทธิพลของปัจจัยที่ไม่สามารถทำการประเมินค่าแยกออกมาได้เดี่ยวๆ และอาจเรียกว่าเป็นการซ้ำซ้อน (Aliased)

คอนฟาวด์ ทำให้ผลกระทบบางตัวไม่สามารถหาค่าได้ ดังนั้นในการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเชิงเศษส่วนจึงต้องเลือกส่วนที่ถูกต้องเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ใช้งานได้ การเลือกส่วนการทดลองที่ดีที่สุด (Best Fraction) บางครั้งอาจจะต้องใช้ความรู้เฉพาะเกี่ยวกับกระบวนการและผลิตภัณฑ์เพื่อนำมาช่วยในการตัดสินใจด้วย ส่วนรีโซลูชัน (Resolution) คือระดับความละเอียดในผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ ซึ่งหาได้จากความยาวของการซ้ำซ้อนที่สั้นที่สุดจากการระบุความสัมพันธ์ (Defining relation) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 2 (R_{II}) จนถึง 5 (R_V)

รีโซลูชันที่มีค่ามาก ย่อมให้ความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์มากกว่า เพราะใช้อิทธิพลร่วมระดับสูง แทนปัจจัยหลักในการออกแบบ ทำให้โอกาสที่คอนฟาวด์ ที่พบในการวิเคราะห์ มีโอกาสเป็นของปัจจัยหลักมากกว่าอิทธิพลร่วม

การเลือกใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเชิงเศษส่วน มักออกแบบให้มีจำนวนการทดลองน้อยที่สุดเพื่อประหยัดทรัพยากร จึงใช้รีโซลูชัน 3 (R_{III}) เพื่อหาลำดับอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการ แต่ถ้าหากต้องการเพิ่มระดับรีโซลูชันเพื่อวิเคราะห์ความผิดพลาด จะมีการเพิ่มจำนวนการทดลองโดยการซ้ำ (Replication) ซึ่งเป็นการออกแบบการทดลองเพิ่มเติมเรียกว่า โฟลด์โอเวอร์ (Fold over) ด้วยการเพิ่มจำนวนการทดลองขึ้นไปอีกหนึ่งเท่าของจำนวนเดิมที่มีอยู่ และรหัส (Code) ที่อยู่ในแต่ละคอลัมน์จะเป็นเสมือนเงาจากการทดลองครั้งแรก ซึ่งสามารถทำการทดลองต่อยอดจากการทดลองครั้งก่อน เรียกว่า การทดลองเชิงลำดับ (Sequential experiment) ในบางกรณี เมื่อทำการวิเคราะห์ผลเสร็จสิ้นแล้วกลับพบว่าไม่สามารถวิเคราะห์คอนฟาวด์ หรือแยกแยะผลกระทบระหว่างอิทธิพลหลัก กับอิทธิพลร่วมในระดับต่ำ เช่น อิทธิพลร่วมสองทาง (2-way interaction) ออกจากกันได้ ซึ่งในขั้นตอนโฟลด์โอเวอร์ อาจละเว้นปัจจัยบางปัจจัยเพื่อแยกอิทธิพลให้ชัดเจนขึ้น และหากต้องการเพิ่มการวิเคราะห์ปัจจัยเพิ่มเติม สามารถเพิ่มปัจจัยใหม่ให้เป็นบล็อกของการทดลองได้ (ประไพศรี และพงศชนัน, 2551)

2.3.3 การหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization)

หลังจากที่มีการคัดเลือกตัวแปรที่มีความสำคัญจำนวนน้อย จะต้องหาค่าที่ดีที่สุดของปัจจัยเหล่านี้ ซึ่งค่าปัจจัยที่ดีที่สุดจะขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการทดลองด้วย เช่น วัตถุประสงค์คือการหาค่าร้อยละของของดี (Yield) ของกระบวนการที่มีค่ามากที่สุดและมีค่าความแปรปรวนของกระบวนการน้อยที่สุด ซึ่งในภาพรวม แฟกทอเรียล ดีไซน์ เป็นการอธิบายถึงวิธีการออกแบบและการวิเคราะห์ตัวแบบของ แฟกทอเรียลสองระดับ แฟกต์เคท-เบอร์แมน และแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบทั่วไป การออกแบบพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Design) เป็นการอธิบายถึงวิธีการออกแบบและการวิเคราะห์ตัวแบบของเซ็นทรัลคอมโพสิต และ บ็อกซ์-เบห์นเคนส่วนในการหาจุดเหมาะสมของผลตอบ (Response Optimization) เป็นการอธิบายถึงวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดในการที่มีค่าตอบสนองมากกว่าหนึ่งค่า (Multiple responses)

ในการวิเคราะห์ข้อมูล จะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) ซึ่งเป็นเทคนิคการจัดสรรความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในกลุ่มของข้อมูลออกเป็นส่วนย่อยตามแหล่งที่ทำให้เกิดความแปรปรวน โดยมีสมการเบื้องต้นคือ

$$\text{ความแปรปรวนทั้งหมด} = \text{ความแปรปรวนปัจจัย} + \text{ความแปรปรวนธรรมชาติของข้อมูล} \quad (2.4)$$

โดยสมการมีแนวคิดที่ว่า ความแตกต่างกันของข้อมูลอาจมีสาเหตุมาจากความแปรปรวนโดยธรรมชาติของข้อมูล หรือความผิดพลาดแบบสุ่มเพียงอย่างเดียว หรืออาจมาจากการที่ปัจจัยหนึ่งหรือหลายปัจจัยทำให้เกิดความแปรปรวน สมการจึงมี 4 ลักษณะคือ

(1) ถ้าความแปรปรวนของข้อมูลนั้น เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ จะได้

$$Y_i = \mu + \varepsilon_i \quad (2.5)$$

หมายถึง ค่า Y_i จะแตกต่างจากค่าเฉลี่ยประชากร (Overall mean : μ) ด้วยความผิดพลาดแบบสุ่ม (Random error : ε_i)

(2) ถ้าผลการทดลองพบว่า ความแปรปรวนของข้อมูลมาจากปัจจัยตัวใดตัวหนึ่ง จะได้

$$Y_{ij} = \mu + T_j + \varepsilon_{ij} \quad (2.6)$$

หมายถึง ค่า Y_{ij} จะแตกต่างจากค่าเฉลี่ยประชากร (Overall mean : μ) ด้วยความแปรปรวนจากปัจจัย T_j และค่าผิดพลาดแบบสุ่ม (Random error : ε_{ij})

(3) ถ้าจากการทดลองพบว่า ความแปรปรวนของข้อมูลเกิดจากปัจจัย n ตัว จะได้

$$Y_{ijk} = \mu + T_j + N_k + \dots + \varepsilon_{ijk} \quad (2.7)$$

(4) ถ้าความแปรปรวนของข้อมูล เกิดจาก 2 ปัจจัย และมีอิทธิพลร่วมกันของปัจจัย จะได้

$$Y_{ijk} = \mu + T_j + N_k + TN_{jk} + \varepsilon_{ijk} \quad (2.8)$$

สมการ Y เป็นรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของการทดลอง ซึ่งได้จากการจัดแบ่งความแปรปรวนออกเป็นส่วนๆ ตามแหล่งที่มาของความแปรปรวน ซึ่งจากรูปแบบของ Y การวิเคราะห์ทำได้โดยการหาขนาดความแปรปรวนของปัจจัยในรูปผลบวกกำลังสอง (Sum of square treatments : $SS_{Treatments}$) เทียบกับขนาดของความผิดพลาดแบบสุ่มในรูปผลบวกกำลังสอง (Sum of square error : SS_E) เพื่อพิจารณาว่า ขนาดความแปรปรวนของปัจจัยนั้นๆ มีนัยสำคัญทางสถิติเพียงพอ ที่จะยอมรับว่าปัจจัยนั้นๆ มีอิทธิพลทำให้เกิดความแปรปรวนในข้อมูลนั้นจริงๆ โดยใช้ค่าทางสถิติเป็น

ตัวทดสอบ เรียกว่า ค่า F

$$F = \frac{\text{ผลบวกกำลังสองของปัจจัย} / \text{องศาความอิสระของปัจจัย}}{\text{ผลบวกกำลังสองของความผิดพลาดแบบสุ่ม} / \text{องศาความอิสระของความผิดพลาดแบบสุ่ม}}$$

$$F = \frac{SS_{Treatments} / (\alpha - 1)}{SS_E / (N - \alpha)} = \frac{Mean Square_{Treatments}}{Mean Square_{Error}} \quad (2.9)$$

การเปรียบเทียบค่า F ที่คำนวณได้ กับค่า $F_{\alpha,a,b}$ จากตารางการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบ F โดยที่ α คือระดับนัยสำคัญ a คือองศาอิสระของปัจจัย และ b คือองศาอิสระของความผิดพลาดแบบสุ่ม ถ้าค่า $F > F_{\alpha,a,b}$ จะยอมรับอิทธิพลของปัจจัย และถ้า $F \leq F_{\alpha,a,b}$ จะปฏิเสธอิทธิพลของปัจจัย

การคำนวณผลกระทบของแต่ละวิธีการทดลอง (Treatment) ได้จากสมการ

ค่าผลกระทบของปัจจัย = ค่าเฉลี่ยการเปรียบเทียบกับเครื่องหมาย (Mean Contrast)

$$\text{ซึ่ง Mean Contrast} = \frac{\text{Total Contrast}}{2n} \quad \text{เมื่อ } n = \text{จำนวนครั้งที่ทดลองซ้ำ} \quad (2.10)$$

โดยที่ Total Contrast คือผลคูณของผลรวมค่าตอบสนองกับเครื่องหมายกำกับในแต่ละวิธีปฏิบัติ (Treatment combination) (Montgomery, 2005)

การใช้วิธีการพล็อตกราฟความน่าจะเป็นการแจกแจงแบบปกติ (Normal Probability Plot Analysis) เพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนอง โดยการพิจารณาจุดที่มีระยะห่างจากเส้นตรงสมมุติแทนกระบวนการ ถ้าระยะห่างมากปัจจัยนั้นก็จะมอิทธิพลมาก ในการทดลองแบบแฟคทอเรียลเชิงเศษส่วนใช้วิธีนี้เพื่อหลีกเลี่ยงการคำนวณค่าผลบวกกำลังสอง (Sum of square : SS)

ก่อนที่จะวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัย จะทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) โดยพิจารณา ค่าพี (P-Value) ซึ่งคือค่าความน่าจะเป็นของกลุ่มข้อมูลที่พิจารณา เป็นค่าที่ใช้เพื่อทดสอบสมมุติฐานหลักว่าจะยอมรับได้หรือไม่ สามารถนำมาเปรียบเทียบกับค่านัยสำคัญที่กำหนดขึ้น เพื่อบอกระดับความเชื่อมั่นของการทดสอบสมมุติฐาน

สมมุติฐานหลัก (Null Hypothesis: H_0) คือ ข้อมูลไม่มีความแตกต่างกัน

สมมุติฐานรอง (Alternative Hypothesis : H_a) คือ ข้อมูลมีความแตกต่างกัน

โดยถ้าค่าพี ยังมีค่าน้อยข้อมูลที่พิจารณามีความแตกต่างกัน ซึ่งหากจะวิเคราะห์ว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ จะเทียบกับค่านัยสำคัญ (α) ที่สามารถยอมรับได้ซึ่งกำหนดขึ้นเองจากผู้วิเคราะห์ข้อมูล

ขั้นตอนในการใช้วิธีการพล็อตกราฟความน่าจะเป็นการแจกแจงแบบปกติ มีดังนี้

(1) คำนวณค่าผลกระทบ (Effect) ของปัจจัย

(2) เรียงลำดับผลกระทบของปัจจัย (j) จากค่าน้อยไปหามาก

(3) คำนวณค่าความน่าจะเป็น จาก $\frac{j-0.5}{m}$ โดยที่ m คือจำนวนค่าผลกระทบ

ทั้งหมดทุกการเกิดผลรวม (Combination)

(4) นำค่าผลกระทบของแต่ละปัจจัยและค่าความน่าจะเป็น มาพล็อตลงในกระดาษกราฟความน่าจะเป็นการแจกแจงแบบปกติ (Normal Probability Paper)

(5) ลากเส้นตรงผ่านกลุ่มข้อมูลให้ผ่านจุดมากที่สุด โดยจุดที่อยู่ห่างจากเส้นตรงมากที่สุด คือปัจจัยที่มีผลกระทบมากที่สุด (ประไพศรี และ พงษ์ชนัน, 2551)

รูปแบบของสมการการตอบสนองไม่อาจทราบได้แน่นอน แต่สามารถประมาณได้จากสมการของตัวแปรเชิงปริมาณ แบ่งเป็นสมการลำดับหนึ่ง (First order model or equation) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linear regression relation) และสมการลำดับสอง (Second order model or equation) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์สมการถดถอยเชิงเส้นโค้ง (Quadratic regression relationship) ในเทอมของความคลาดเคลื่อน โดยปกติจะกำหนดให้มีการกระจายตัวเทียบกับค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ และมีความแปรปรวนเป็น σ^2 เกิดขึ้นจากความแตกต่างของจุดที่ออกแบบการทดลอง กับความคลาดเคลื่อนในการทดลองที่ไม่สามารถควบคุมได้ และอาจเกิดขึ้นจากผลการทดลองไม่สอดคล้องกับแบบที่ประมาณขึ้นมา (Lack of fit of estimate model) การทำให้สมการตอบสนองสอดคล้องมากขึ้น จะใช้หลักการทางสถิติกำลังสองน้อยที่สุด (Least square) เพื่อแทนค่าประมาณในสมการ และคาดคะเนการตอบสนองสำหรับค่าที่ต้องการของตัวแปรเชิงปริมาณ (Independent variable) กราฟที่ได้จากการแทนค่าสมการเรียกว่า พื้นผิวตอบสนอง (Response surface plot) หรือ แผนที่เส้นระดับ (Contour maps) (พงษ์ชนัน และ นพดล, 2550)

การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการต้นแบบ (Model Adequacy Checking) มีดังนี้

(1) การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination : R^2) เป็นค่าที่ใช้อธิบายความสามารถของสมการถดถอยหรือตัวแปรอิสระในสมการถดถอยว่า อธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าตอบสนองได้ในสัดส่วนเท่าใด ดังนั้นค่า R^2 ยิ่งมากสมการก็ยิ่งมีความเหมาะสมมาก โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน ค่า R^2 นั้นได้จากอัตราส่วนระหว่างผลรวมกำลังสองถดถอย (Sum Square Regression : SS_{reg}) กับค่าผลรวมกำลังสองทั้งหมด (Sum Square Total : SST) ดังนั้นจึงเป็นตัวระบุร้อยละของการเปลี่ยนแปลงของค่าตอบสนอง ที่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการถดถอยที่ประมาณขึ้น

$$R^2 = \frac{SS_{Reg}}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (2.11)$$

เมื่อ $R^2 = r^2$

$$SSE = \text{ผลรวมกำลังสองของค่าผิดพลาด} = SST - SS_{Reg}$$

$$r = \text{ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)}$$

โดยที่ค่า r คือค่าที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรปัจจัยที่มีนัยสำคัญ (X) กับค่าความต้านทานแรงดึงของป๊ายปลอกคอสัตว์เลี้ยง (Y) เนื่องจากค่า R^2 มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลง หากเพิ่มจำนวนปัจจัยที่มีนัยสำคัญในสมการค่า R^2 จะมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ดังนั้นจึงใช้ค่า R^2 ที่ปรับค่าแล้ว (R_{adj}^2) แทน ซึ่งสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงร้อยละของค่าตอบสนองได้ด้วยตัวแปรปัจจัยที่มีนัยสำคัญในสมการถดถอยได้เช่นกัน ดังสมการที่ 10

$$R_{adj}^2 = 1 - \frac{MSE}{MST} \quad \text{เมื่อ} \quad MST = \frac{SST}{n-1} \quad (2.12)$$

โดย MSE คือค่าเฉลี่ยกำลังสองของค่าผิดพลาด (Mean Square Error)

MST คือค่าเฉลี่ยกำลังสองทั้งหมด (Mean Square Total)

(2) การทดสอบการขาดความเหมาะสมของสมการต้นแบบ (Lack-of-Fit Test : LOF) จะทำเมื่อมีการเก็บข้อมูลซ้ำ โดยตั้งสมมติฐานเพื่อทดสอบคือ

H_0 สมการมีความเหมาะสม (There's no LOF)

H_1 สมการขาดความเหมาะสม (There's LOF)

โดยการทดสอบจะใช้ค่าสถิติ F ที่ได้จากการแบ่งค่าผลรวมกำลังสองของค่าผิดพลาด (SSE) ออกเป็นผลรวมกำลังสองที่เกิดจากการขาดความเหมาะสมของสมการต้นแบบ (Sum Square Lack-of-Fit : SS_{LOF}) กับผลรวมกำลังสองของค่าผิดพลาดจริง (Sum Square Pure Error : SS_{PE})

$$F = \frac{MS_{LOF}}{MS_{PE}} \quad v = (v_{LOF}, v_{PE}) \quad (2.13)$$

เมื่อ MS_{LOF} คือค่าเฉลี่ยกำลังสองของการขาดความเหมาะสม

MS_{PE} คือค่าเฉลี่ยกำลังสองของค่าผิดพลาดจริง

v_{LOF} คือองศาเสรีของการขาดความเหมาะสม

v_{PE} คือองศาเสรีของค่าผิดพลาดจริง

(3) การทดสอบนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์ในสมการถดถอยและการประมาณค่าแบบช่วง (Hypothesis Testing for Regression Coefficients and Interval Estimation) เป็นการทดสอบก่อนที่จะนำสมการไปพยากรณ์ โดยหาช่วงความเชื่อมั่นที่ยอมรับได้จากสมการ

การกำหนดข้อสมมุติฐานเกี่ยวกับรูปแบบความสัมพันธ์ (Hypothesized the Form) ในการวิเคราะห์รูปสมการลำดับหนึ่งหรือสมการถดถอยที่อยู่ในรูปสมการเส้นตรง จะใช้รูปแบบดังนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots \quad (2.14)$$

เมื่อ Y คือค่าตอบสนอง ในที่นี้คือความต้านทานแรงดึงของป้ายพลาสติกตัวเลี้ยง

β_0 คือค่าจุดตัดแกน Y (Y-Intercept) เป็นค่าคงที่ของสมการ

$X_1, X_2, X_3, \dots$ คือตัวแปรปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่าความต้านทานแรงดึง

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots$ คือค่าความชัน (Slope) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าตอบสนองเมื่อตัวแปรต้นคือปัจจัยที่มีนัยสำคัญเปลี่ยนแปลงไป คือค่าผลกระทบของปัจจัย (Effect) (ประไพศรี และพงษ์ชนัน, 2551)

2.1.4 การทดสอบในกระบวนการจริง (Verification)

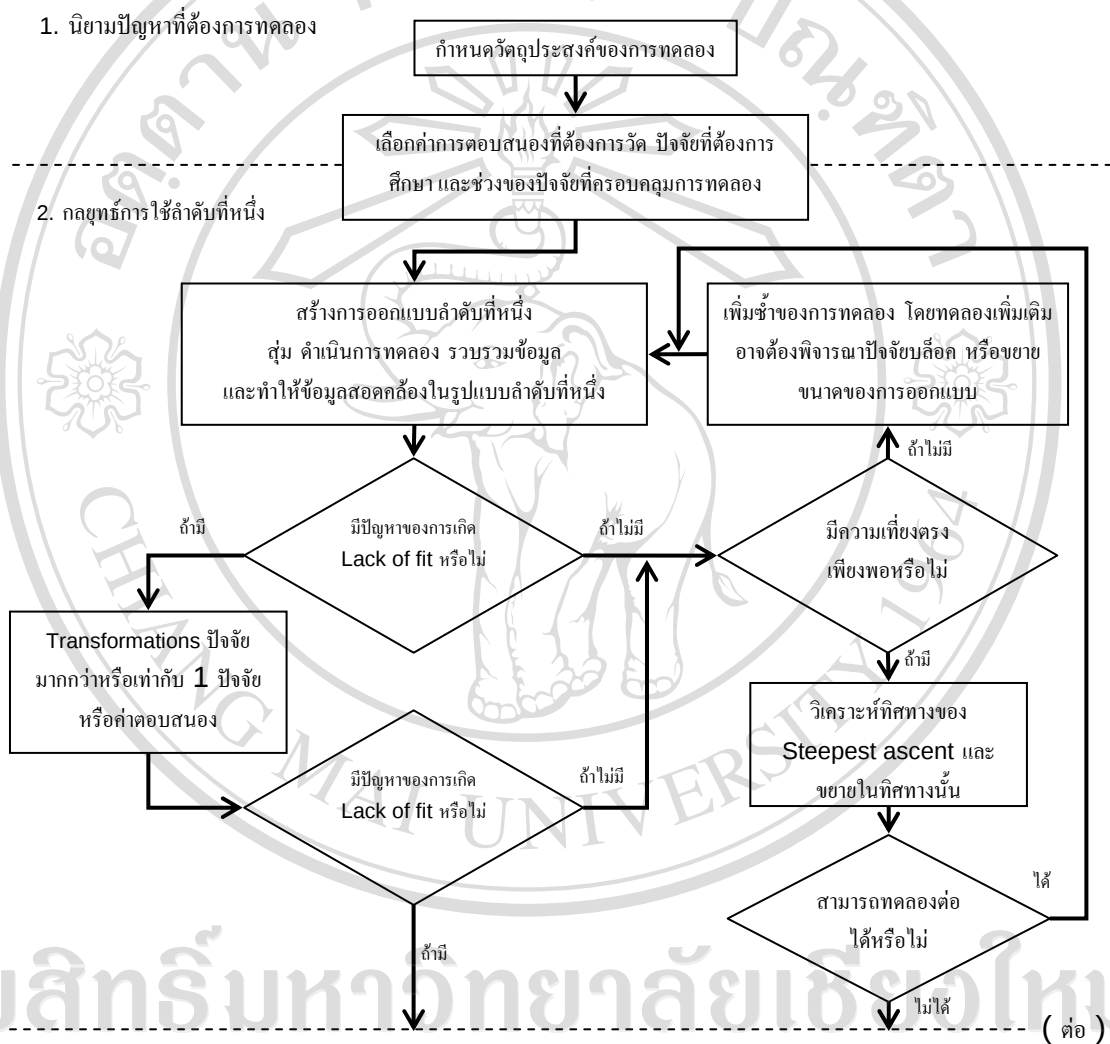
การทดสอบในกระบวนการจริง เป็นการทำการทดลองซ้ำเพื่อดูว่าค่าที่วิเคราะห์มาเป็นค่าที่ดีที่สุดนั้น ยังคงให้ผลลัพธ์ที่ดีจริงหรือไม่

สรุปคือการออกแบบการทดลองที่ประสบความสำเร็จจะต้อง

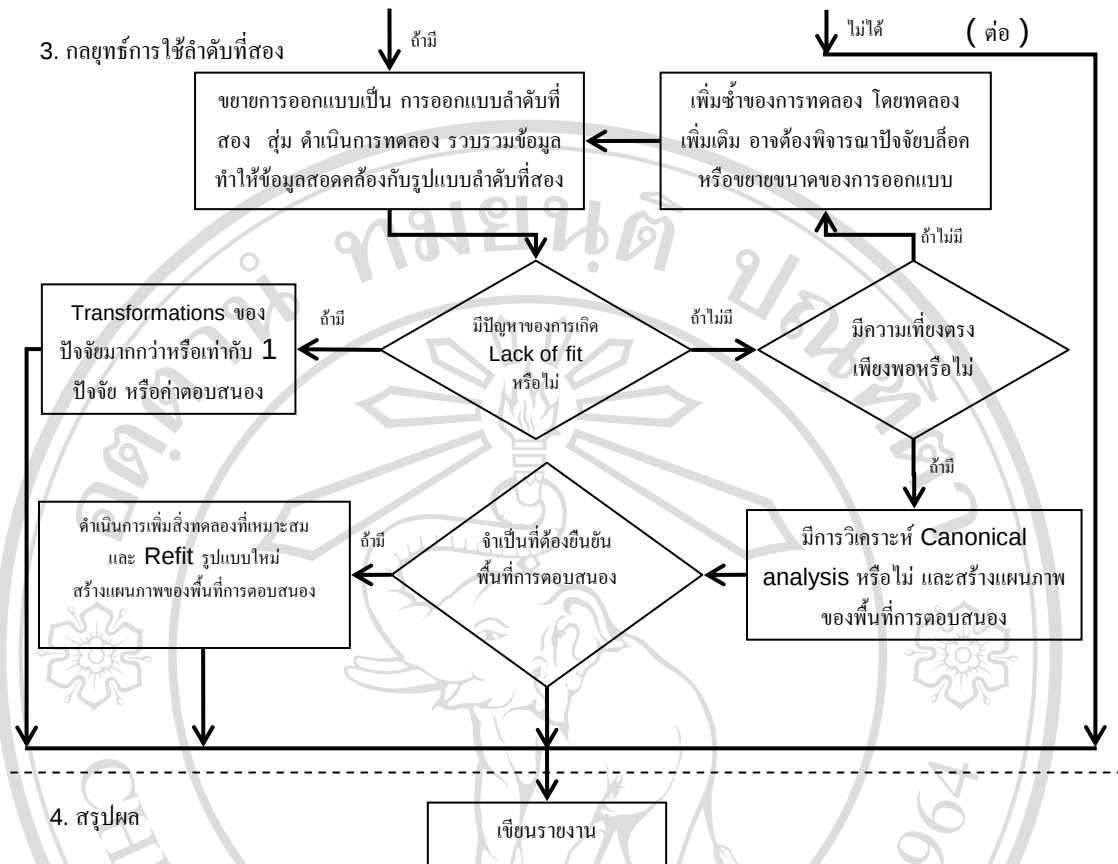
- (1) มีการวางวัตถุประสงค์ที่ดีในการศึกษา
- (2) มีการวัดค่าผลตอบสนอง (Response) ในเชิงปริมาณ
- (3) มีการทดลองซ้ำเพื่อลดความแปรปรวนที่ควบคุมไม่ได้หรือสิ่งรบกวน (Noise)
- (4) มีการวางลำดับการทดลองแบบสุ่ม
- (5) มีการกำจัด (Block) สาเหตุของความแปรปรวนที่ทราบ
- (6) ทราบได้ว่าผลการทดลองใดซ้ำซ้อนกัน (Aliased)
- (7) ทำการทดลองอย่างต่อเนื่อง
- (8) มีการทวนสอบจุดวิกฤตที่พบ ด้วยการสร้างพื้นผิวตอบสนอง (Response surface)

(Anderson and Kraber, 2001)

ภาพที่ 2.8 และ 2.9 จะแสดงถึงขั้นตอนวิธีที่เป็นไปได้ในการศึกษาโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง



ภาพที่ 2.8 แผนผังแสดงความเป็นไปได้ในการออกแบบการทดลอง (1)



ภาพที่ 2.9 แผนผังแสดงความเป็นไปได้ในการออกแบบการทดลอง (2)
(ไพโรจน์, 2547)

2.4 สรุปสาระสำคัญจากผลงานวิจัย บทความ และเอกสารที่เกี่ยวข้อง

สำหรับงานวิจัยที่นำหลักการออกแบบการทดลองไปประยุกต์ใช้ ได้มีผู้ศึกษาวิจัยกันอย่างแพร่หลาย เพราะสามารถใช้ได้กับกระบวนการต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะการออกแบบการทดลองในการผลิตงานฉีดพลาสติก (Injection Molding)

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของการฉีดพลาสติกมีจำนวนมาก ดังที่ระบุไว้ในงานวิจัยของ David Kazmer, Kourosh Danai (1999) ซึ่งต้องใช้เวลาควบคุมกระบวนการผลิตในทุกขั้นตอนแบบอัตโนมัติ แต่ประเด็นสำคัญในการควบคุมคุณภาพและการลดต้นทุนคือ ความสัมพันธ์ระหว่างการปรับตั้งเครื่องจักรและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ยังไม่ทราบแน่ชัด และปัจจัยเหล่านี้ล้วนส่งผลถึงกัน การปรับปรุงจึงต้องลดคุณภาพบางอย่างลงและจำเป็นต้องเพิ่มต้นทุน จึงได้มีการนำวิธีการออกแบบการทดลองมาใช้ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของงานฉีดพลาสติก

จากการหาปัจจัยวิกฤตที่มีผลต่อคุณภาพ (Critical to Quality) ดังที่พบในงานวิจัยของ Shaik Mohamed, Mohamed Yusoff et al (2004) ในกรณีที่พบของเสียชนิด งานฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short-shot) แล้วใช้ออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป โดยทดลองกับวัสดุชนิด Glass-Fiber Acrylonitrile Butadiene Styrene (GF-ABS) หรือนงานวิจัยของ Tony Lin, Belli Chananda (2003) ที่ใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป เพื่อปรับปรุงคุณภาพงานฉีดพลาสติกสำหรับของเสีย ครีบน้ำมัน (Flash) รวมถึงงานวิจัยของ Mark J. Anderson (2007) ที่ใช้การออกแบบการทดลอง เพื่อลดของเสียในอุตสาหกรรมการฉีดยางประกอบโลหะ (Rubber-to-Metal bonding)

พบว่าในงานวิจัยเหล่านี้ มีปัจจัยวิกฤตที่มีผลต่อคุณภาพของการฉีดพลาสติก เหมือนกัน ได้แก่ ความเร็วในการหมุนของสกรู (Screw rotation speed) รอบเวลาที่ใช้ในการฉีด (Cycle time) อุณหภูมิที่ใช้ในการฉีด (Injection temperature) และแรงดันยึดแม่พิมพ์ (Holding pressure) ซึ่ง Peter Thyregod (2001) ได้ระบุรายละเอียดของปัจจัยเพิ่มเติมว่า เวลาในการฉีด (Injection time) และเวลาในการหล่อเย็น (Cooling time) เป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญที่สุดอีกด้วย และ James Henderson et al (2006) ได้วิจัยเพิ่มเติมพบว่า การลดเวลาในการหล่อเย็นจะช่วยเพิ่มกำลังการผลิต แต่จะมีจุดที่เหมาะสมที่ให้กำไรสูงที่สุดอยู่ ซึ่งนอกจากปัจจัยเหล่านี้แล้ว David Kazmer (2002) ยังได้ระบุปัจจัยอื่น ได้แก่ ทักษะด้านแม่พิมพ์และเครื่องมือของช่างและวิศวกร ที่ส่งผลให้ได้จำนวนของดีเพิ่มขึ้น หากทำการทดลองต้องกำจัด (Block) อิทธิพลของปัจจัยนี้ด้วยการใช้ช่างหรือวิศวกรคนเดียวกัน

ส่วนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ ขณะทำการผลิต Li G. Bradshaw and team (2007) พบว่าปริมาณสารเติมแต่ง และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบเม็ดพลาสติก มีผลต่อการไหลเข้าสู่แม่พิมพ์ของพลาสติกประเภทเนื้อผสม (Bulk Molding Compound: BMC) อีกทั้งในงานวิจัยของ E. C. Ferreira et al (2002) ที่ศึกษาแรงเสียดทาน (Friction force) ในการถอดผลิตภัณฑ์ออกจากแม่พิมพ์ สำหรับเม็ดพลาสติกกลุ่มเทอร์โมพลาสติก โดยใช้การออกแบบการทดลอง พบว่า อุณหภูมิในการฉีด และความเรียบของผิวหน้าแม่พิมพ์ มีผลต่อแรงเสียดทานในการถอดผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์ และในงานวิจัยของ David Kazmer, Philip Barkan (1997) พบว่าการควบคุมการไหลของพลาสติกเหลวและแรงดันในแม่พิมพ์ ทำให้ความสามารถในการผลิต (Process capability) ของแม่พิมพ์ประเภท หลายช่องแบบ (Multi-cavity) ดีขึ้นอีกด้วย

ในด้านคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์หลังทำการผลิต งานวิจัยของ P. Postawa และ T. Kwaitkowski (2006) ได้ใช้วิธีการออกแบบการทดลอง เพื่อศึกษาความเครียดตกค้างในผลิตภัณฑ์ที่มีผลต่อแรงต้านทานในการดึง (Tensile strength) โดยปัจจัยที่ให้ผลดีที่สุดคือ อุณหภูมิก่อนการฉีด (Polymer temperature) ที่สูง และ แรงยึดแม่พิมพ์ (Holding pressure) ต่ำ และในงานวิจัยของ D.

Kwiatkowski et al (2006) ใช้การออกแบบการทดลองและการสร้างพื้นผิวตอบสนอง (Response surface) ในการหาค่าความต้านทานต่อการแตกหัก ของผลิตภัณฑ์พลาสติกโพลิโพรพิลีน (Polypropylene : PP) พบว่า การใช้อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold temperature) ที่สูง อุณหภูมิในการฉีด (Injection temperature) ที่สูง และความเร็วในการฉีด (Injection speed) ที่ต่ำ จะให้ผลดีที่สุด

นอกจากนี้แล้ว ยังมีคุณสมบัติทางกายภาพอีกด้านหนึ่งคือ การหดตัวของผลิตภัณฑ์หลังการฉีด ที่มีผลกับขนาดและรอยตำหนิบนผิวหน้าผลิตภัณฑ์ ได้มีการออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยในการผลิต ดังพบในงานวิจัยของ S. J. Liao et al (2004) ที่ศึกษาในการฉีดผลิตภัณฑ์ที่มีผนังบางด้วยเม็ดพลาสติก Acrylonitrile Benzyl Sulphonate (ABS) พบว่า แรงยึดแม่พิมพ์ (Packing Pressure) อุณหภูมิแม่พิมพ์ และอุณหภูมิพลาสติกเหลว มีนัยสำคัญสูงที่ต้องแปรผันไปตามรูปแบบของแต่ละผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้งานวิจัยของ A.R. Jafarian, M. Shakeri (2005) ยังพบอีกว่า การถ่ายเทความร้อนในระบบหล่อเย็นของแม่พิมพ์ก็มีส่วนสำคัญอีกด้วย และในงานวิจัยของ Adam Kramschuster et al (2005) พบว่า ในพลาสติกที่มีโครงสร้างโมเลกุลขนาดเล็ก (Microcellular) ความเร็วในการฉีด (Injection Speed) เป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญอีกด้วย และในงานวิจัยของ P. Postawa และ J. Koszkuł (2005) ยังได้พบอีกว่าแรงดันและอุณหภูมิของพลาสติกเหลวที่ไหลในแม่พิมพ์มีนัยสำคัญต่อการหดตัวและรอยตำหนิของผลิตภัณฑ์ หากสามารถปรับแรงยึดแม่พิมพ์ได้ระหว่างการผลิตจะเป็นวิธีที่ได้ประโยชน์มาก

จากผลการศึกษางานวิจัยเหล่านี้ แสดงให้เห็นว่าการใช้วิธีการออกแบบการทดลองในอุตสาหกรรมฉีดพลาสติก ช่วยในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตที่ส่งผลดีต่อคุณภาพงานและลดค่าใช้จ่ายในการทดลอง โดยต้องมีการดำเนินการที่ถูกต้องและมีความเข้าใจในหลักการ