

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ซึ่งในที่นี้จะแบ่งทฤษฎีออกเป็น 3 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นทฤษฎีเกี่ยวกับกระบวนการผลิตภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลส ส่วนที่สองเป็นทฤษฎีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ และส่วนสุดท้ายเป็นทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบการทดลอง

2.1 ทฤษฎีกระบวนการผลิตภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลส

ในการผลิตภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสนั้นมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต 5 ทฤษฎีดังนี้

1. ทฤษฎีงานสแตนเลส
2. ทฤษฎีงานตัดแผ่น
3. ทฤษฎีงานปั๊มขึ้นรูป
4. ทฤษฎีงานขัดผิวสแตนเลส
5. ทฤษฎีงานล้างและแพ็คกิ้ง

2.1.1 ทฤษฎีงานสแตนเลส [4]

สแตนเลส หรือตามศัพท์บัญญัติเรียกว่า เหล็กกล้าไร้สนิม เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำ(น้อยกว่า 2%) ของน้ำหนัก มีส่วนผสมของโครเมียม อย่างน้อย 10.5% กำเนิดขึ้นในปี พ.ศ.1903 เมื่อ นักวิทยาศาสตร์พบว่า การเติมนิเกิล โมลิบดีนัม ไททาเนียม ในโอเนียม หรือโลหะอื่นแตกต่างกันไปตามชนิด ของคุณสมบัติเชิงกล และการใช้ลงในเหล็กกล้าธรรมดา ทำให้เหล็กกล้ามีความต้านทานการเกิดสนิมได้

2.1.1.1 ประเภทของสแตนเลส

การแบ่งประเภทของสแตนเลสสามารถแบ่งออกได้ 4 กลุ่มดังนี้

- เกรด ออสเทนิติก (Austenitic) แม้เหล็กกล้าไม่ติด นอกจากส่วนผสมของโครเมียม 18%แล้ว ยังมีนิเกิลที่ช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนอีกด้วย ชนิดออสเทนิติกเป็นที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางมากที่สุด ในบรรดาสแตนเลสด้วยกัน ส่วนออสเทนิติกที่มีโครเมียมผสมอยู่สูง 20% ถึง 25% และนิเกิล 1%ถึง 20% จะสามารถทนการเกิดออกซิไดซ์ได้ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งใช้ในส่วนประกอบของเตาหลอม ท่อนำความร้อน และแผ่นกันความร้อนในเครื่องยนต์ จะเรียกว่า เหล็กกล้าไร้สนิม ชนิดทนความร้อน (Heat Resisting Steel)
- เกรดเฟอร์ริติก (Ferritic) แม้เหล็กกล้าติด มีส่วนผสมของคาร์บอนต่ำ และมีโครเมียมเป็น

ส่วนผสมหลัก คือประมาณ 13% หรือ 17%

- เกรดมาร์เทนซิติค (Martensitic) แม่เหล็กดูดติด โดยทั่วไปจะมีโครเมียมผสมอยู่ 12%และมี ส่วนผสมของคาร์บอนในระดับปานกลาง มักนำไปใช้ทำส้อม มีด เครื่องมือตัด และ เครื่องมือวิศวกรอื่นๆ ซึ่งต้องการคุณสมบัติเด่นในด้าน การต้านทานการสึกกร่อน และความแข็งแรงทนทาน
- เกรดดูเพล็กซ์ (Duplex) แม่เหล็กดูดติด มีโครงสร้างผสมระหว่างเฟอร์ไรต์และออสเตไนต์ มี โครเมียมผสมอยู่ประมาณ 18-28% และนิกเกิล 4.5-8% เหล็กชนิดนี้มักถูกนำไปใช้งานที่มี คลอรินสูงเพื่อป้องกันมิให้เกิดการกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting Corrosion) และช่วยเพิ่มความ ต้านทานการกัดกร่อนที่เป็นรอยร้าวอันเนื่องมาจากแรงกดดัน (Stress Corrosion Cracking Resistance)

สแตนเลสสตีล ที่นิยมใช้ทั่วไปคือ ออสเตนิก และเฟอร์ริติก ซึ่งคิดเป็น 95%ของเหล็กกล้าไร้สนิม ที่ ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน สแตนเลสสตีลไม่ใช่อัลลอยล์เพียงอย่างเดียว แต่ถูกจัดอยู่ในชนิดของ เหล็ก อัลลอยล์จะมีส่วนประกอบเป็นโครเมียมอย่างน้อย 10.5% ส่วนประกอบอื่นๆได้ถูกผสมเพิ่ม ขึ้นมาเพื่อเพิ่มการป้องกันการเกิดสนิมและการเกิดความร้อนได้ดีขึ้น เพิ่มคุณสมบัติทางกลไกและ ส่วนผสมใหม่ๆเข้าไป ดังนั้นสแตนเลสจึงมีมากกว่า 50 ชนิด โดยถูกกำหนดขึ้นโดยองค์กร The American Iron and Steel Institute (AISI) โดยจะกำหนดตัวเลขให้กับโลหะและอัลลอยล์ทุกชนิด ดังนี้

- เบอร์ 304 เป็นสแตนเลสสตีลพื้นฐานที่ใช้ในการตกแต่งเพื่อความสวยงาม ชนิดนี้ง่ายต่อ การขึ้นรูปและป้องกันการเกิดสนิมได้เป็นอย่างดี
- เบอร์ 304L เป็นสแตนเลสสตีลเบอร์ 304 ที่ใช้คาร์บอนเป็นส่วนประกอบน้อยลงมา ใช้ใน งานการเชื่อมอย่างกว้างขวาง
- เบอร์ 316 ถูกออกแบบให้มาป้องกันการเกิดสนิมได้เป็นอย่างดี ถูกใช้ในงานอุตสาหกรรม หนักและสถานที่ใกล้ทะเล
- เบอร์ 316L เป็นสแตนเลสสตีลเบอร์ 316 ที่มีส่วนประกอบของคาร์บอนน้อยลงมา
- เบอร์ 430 เป็นสแตนเลสสตีลที่ใช้โครเมียมเป็นส่วนประกอบ 100% และมีโอกาสเกิดสนิม

น้อยกว่าเบอร์ 300 พวกนี้นิยมใช้ตกแต่งภายใน

คุณลักษณะภายนอกของสแตนเลสแล้วเกือบทุกเกรดล้วนคล้ายคลึงทั้งนี้แล้วยังมีสแตนเลสเกรดต่ำที่มี โอกาสของการขึ้นสนิมได้สูงอีก เช่น สแตนเลสเบอร์201 เป็นต้น

2.1.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพของสแตนเลส

คุณสมบัติทางกายภาพของสแตนเลส เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุประเภทอื่น เนื่องจากการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นสูงของสแตนเลสแตกต่างจากวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด ในส่วนของคุณสมบัติเกี่ยวกับความร้อนความสามารถ ทนความร้อนของสแตนเลส มีข้อสังเกต 3 ประการคือ

- การที่มีจุดหลอมเหลวสูง ทำให้มีอัตราความคืบดี เมื่อเทียบกับเซรามิกที่อุณหภูมิต่ำ 1000 องศาเซลเซียส
- การที่มีค่านำความร้อนระดับปานกลาง ทำให้สแตนเลสเหมาะที่จะใช้ในงานที่ต้องทนความร้อน (คอนเทนเนอร์) หรือต้องการคุณสมบัตินำความร้อนได้ดี (เครื่องถ่ายความร้อน)
- การมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวระดับปานกลาง จึงสามารถใช้ความยาวมากๆ ได้ โดยใช้ตัวเชื่อมน้อย (เช่นในการทำหลังคา)

2.1.1.3 คุณสมบัติเชิงกลของสแตนเลส

สแตนเลสโดยทั่วไปจะมีส่วนผสมของเหล็กประมาณ 70-80% จึงทำให้มีคุณสมบัติของเหล็กที่สำคัญ 2 ประการคือ ความแข็งและความแกร่ง การเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลกับวัสดุชนิดอื่นจะเห็นได้ว่า พลาสติกซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมนำใช้กันอย่างกว้างขวางมีความแข็งแรง และโมดูลัส ความยืดหยุ่นต่ำ ส่วนเซรามิกมีความแข็งแรงและความเหนียวสูงแต่มีความแกร่งหรือความสามารถรับแรงกระแทกโดยไม่แตกหักต่ำ สแตนเลสให้ค่า ที่เป็นกลางของทั้งความแข็ง ความแกร่ง และความเหนียวเนื่องจากมีส่วนผสมของธาตุเหล็กอยู่มาก และจะมีเพิ่มขึ้นอีกในชนิดออสเทนิติก และยังมีค่าความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ของสแตนเลส ไม่ว่าจะชนิดที่อ่อนตัวง่าย ซึ่งสามารถทำให้ขึ้นรูปเย็นได้ดี เช่น การขึ้นรูปลึก (Deep Drawing) จนถึงชนิดความแข็งแรงสูงสุด ซึ่งได้จากการขึ้นรูปเย็นหรือการทำให้เย็นตัวโดยเร็ว (Quenching) หรือชนิดชุบแข็ง แบบตกผลึก (Precipitation Hardening) ซึ่งเหมาะใช้ทำสปริง

โดยที่สแตนเลสต่างชนิดกันที่มีโครงสร้างต่างกัน จะมีลักษณะค่าความแข็งแรงที่เปลี่ยนแปลงแตกต่างกันดังในรูปจะแสดงให้เห็น แนวโค้งของค่าความแข็งแรง ของสแตนเลส 4 กลุ่ม

- เกรดมาร์เทนซิติค มีค่าความจำนนวนความแข็งแรง (Yield Strength : YS) และค่าความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength : UTS) สูงมากในสภาพที่ผ่านกระบวนการอบชุบ แต่จะมีค่าการยืดตัว (Elongation : EL %) ต่ำ
- เกรดเฟอร์ริติก มีค่าความจำนนวนความแข็งแรง และค่าความแข็งแรงสูงสุดปานกลาง เมื่อรวมกับค่าความยืดตัวสูง จึงทำให้สามารถขึ้นรูปได้ดี
- เกรดออสเทนิติก มีค่าความจำนนวนความแข็งแรงใกล้เคียงกับชนิดเฟอร์ริติก แต่มีค่าความแข็งแรงสูงสุดและความยืดตัวสูง จึงสามารถขึ้นรูปได้ดีมาก

- เกรดดูเพล็กซ์ (ออสเตไนท์ - เฟอร์ไรต์) มีค่าความแข็งแรง และค่าความยืดตัวสูงจึงเรียกว่า เหล็กชนิดนี้มีทั้งความแข็งแรง และความเหนียว (Ductility) ที่สูงเป็นเลิศ

2.1.1.4 ความต้านทานการกัดกร่อน

สแตนเลสจึงทนต่อการกัดกร่อนได้ โลหะทุกชนิดทั่วไปจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ เกิดเป็นฟิล์มออกไซด์บนผิวโลหะ หรือออกไซด์ ที่เกิดบนผิวเหล็กทั่วไป จะทำปฏิกิริยาออกซิไดซ์ และทำให้เกิดสภาพพื้นผิวเหล็กผุกร่อน ที่เราเรียกว่า เป็นสนิม แต่สแตนเลสมีโครเมียมผสมอยู่ 10.5% ขึ้นไป ทำให้คุณสมบัติของฟิล์มออกไซด์บนพื้นผิวเปลี่ยนแปลงไป กลายเป็นฟิล์มปกป้อง หรือพาสซีฟเลเยอร์ (Passive Layer) ที่เหมือนเกราะป้องกัน การกัดกร่อน ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า พาสซีวิตี (Passivity) ฟิล์มปกป้องนี้จะมีขนาดบางมาก (สำหรับแผ่นสแตนเลสบางขนาด 1 มิลลิเมตร ฟิล์มหรือพาสซีฟเลเยอร์นี้ จะมีความบางเทียบเท่ากับวาทกระดาษ 1 แผ่น บนตึกสูง 20 ชั้น) และมองตาเปล่าไม่เห็นฟิล์มนี้จะเกาะติดแน่น และทำหน้าที่ปกป้องสแตนเลส จากการกัดกร่อนทั้งหมด หากนำไปผลิตแปรรูปหรือใช้งานในสภาพเหมาะสม เมื่อเกิดมีการขีดข่วน ฟิล์มปกป้องนี้จะสร้างขึ้นใหม่ได้เองตลอดเวลา

ความคงทนของพาสซีฟเลเยอร์ เป็นปัจจัยหลักของความต้านทานการกัดกร่อนของสแตนเลส นอกจากนี้ ยังขึ้นอยู่กับสภาพการกัดกร่อนอันได้แก่ ความรุนแรง ของปฏิกิริยาออกซิไดซ์ ความเป็นกรดปริมาณสารละลายคลอไรด์ และอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วการเพิ่มปริมาณ โครเมียมจะช่วยเพิ่มความต้านทาน การกัดกร่อนของสแตนเลส การเติมไนเกิลจะช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน โดยทั่วไป ให้ทนสภาวะกัดกร่อนรุนแรงได้ ส่วนโมลิบดีนัมจะช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน เฉพาะที่ เช่น การกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting Corrosion) ในทางปฏิบัติ สแตนเลสชนิดเฟอร์ริติก มีการใช้งานจำกัดในสภาพการกัดกร่อนปานกลางและในสภาพชนบท ทั้งชนิดเฟอร์ริติกและออสเตนิติกสามารถใช้ทำ อุปกรณ์เครื่องใช้ในครัวเรือนได้แต่เนื่องจากชนิดออสเตนิติกสามารถทนการกัดกร่อนได้ดี และทำความสะอาดง่าย จึงนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มนอกจากนี้ชนิดออสเตนิติกยังทนการกัดกร่อนจากสารเคมีหลายประเภทได้แก่ กรด อัลคาลายด์ เป็นต้น ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมเคมีและกระบวนการผลิตต่างๆ

2.1.2 ทฤษฎีงานตัดแผ่น [5]

ในปัจจุบัน เทคโนโลยีการตัดโลหะแผ่นพัฒนาไปมาก มีกรรมวิธีการตัดให้เลือกหลายวิธี ทำให้สามารถตัดชิ้นงานด้วยความ แม่นยำสูง และตัดได้หนาขึ้นกว่าเดิมมาก อย่างไรก็ตาม ไม่มีกรรมวิธีการตัดแบบไหนที่จะเป็นคำตอบสำหรับทุกงานในวิธีการตัดแบบต่างๆก็มีข้อดี ข้อด้อยต่างกัน การเลือกวิธีการตัดให้เหมาะสมกับงานจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่เหมาะสมกับความต้องการ

ลดต้นทุนและเพิ่มโอกาสการแข่งขันทางการตลาดสำหรับเทคโนโลยีการตัดโลหะแผ่นที่นิยมใช้กัน
ในปัจจุบัน มีอยู่ 5 ประเภทดังนี้

2.1.2.1 พลาสมา (Plasma)

พลาสมาเป็นสถานะที่ 4 ของสสาร (หลังจากของแข็ง ของเหลว แก๊ส) เกิดจากการกระตุ้นอิเล็กตรอน
ให้หลุดจากอะตอมของสสาร ทำให้เกิดพลังงานสูงมาก จนกลายเป็นพลังงานความร้อนที่นำมาใช้
ในการตัดโลหะ ข้อดีของพลาสมาคือ สามารถตัดงานได้หนามาก โดยสามารถตัดสแตนเลส ได้หนาถึง
3” (ขึ้นอยู่กับกระแสไฟที่ใช้) และสามารถตัดได้ด้วยความเร็วสูงกว่าวิธีอื่นๆ แต่มีจุดด้อยคือ ร่องตัดมี
ขนาดค่อนข้างใหญ่ และเอียง(เตเปอร์) ด้วยข้อด้อยเหล่านี้ ทำให้การตัดด้วยพลาสมาไม่เหมาะกับ งาน
ที่ต้องการความละเอียดสูง โดยทั่วไปแล้ว จะเหมาะกับงานหนา ที่มีรูปร่างไม่ซับซ้อน ยอมรับ
ความคลาดเคลื่อนและความเอียงของสันชิ้นงานได้ประมาณ 1-3mm (ขึ้นอยู่กับความหนาชิ้นงาน และ
ความสามารถของเครื่อง) หรือ หากเป็นงานหนาที่ต้องการความละเอียดมากขึ้นก็อาจจะตัดด้วย
พลาสมา แล้วนำไปกลึง หรือ เจียรแต่งเพิ่ม เพื่อให้ได้ขนาด และ ผิวชิ้นงานตามที่ต้องการ ดังรูปที่ 2.1

2.1.2.2 เลเซอร์ (Laser)

เลเซอร์เป็นการตัดโดยใช้พลังงานความร้อนเหมือนกับการตัดด้วยพลาสมา แต่กระบวนการผลิต
พลังงานที่นำมาใช้ต่างกัน ทำให้เปลวที่ใช้ในการตัด เล็กและแคบกว่าพลาสมามาก ส่งผลให้ร่องตัด
มีขนาดเล็ก สันแนวตัดตรง ข้อเสียคือ มีข้อจำกัดเรื่องความหนา โดยเครื่องที่อาจกล่าวได้ว่ามีกำลังวัตต์
สูง(4000-5000W) จะตัดสแตนเลสได้ประมาณ 15-19 มิลลิเมตร และมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับ
วิธีอื่นๆ ตั้งแต่ราคาเครื่องตัดเลเซอร์รวมไปถึง แก๊ส หัวนอซเซิล และวัสดุสิ้นเปลืองต่างๆ การตัด
เลเซอร์จึงเหมาะกับงานบางที่ต้องการความละเอียดสูง โดยมีความคลาดเคลื่อนเพียง +/-0 ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 วิธีการตัดแบบพลาสมา



รูปที่ 2.2 วิธีการตัดแบบเลเซอร์

2.1.2.3 แรงดันน้ำ (water jet)

การตัดด้วยแรงดันน้ำ กำเนิดขึ้นมาประมาณ 30-40 ปี มาแล้ว ในอดีตไม่เป็นที่นิยมมากนัก เนื่องจากมีข้อจำกัดเรื่องความคลาดเคลื่อนและเสถียรภาพของระบบ แต่ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา เทคโนโลยี แรงดันน้ำ พัฒนาไปมาก จนปัจจุบันเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับงานตัดโลหะ ระบบแรงดันน้ำสามารถแบ่งเป็น 2 ระบบใหญ่ๆคือ ระบบที่ใช้แรงดันน้ำเพียงอย่างเดียว (Pure Water Jet) และระบบที่ใช้สารกัดกร่อน (Abrasive) ช่วยในการตัด (Abrasive Jet) ทั้งสองระบบมีหลักการเดียวกันคือ ใช้แรงดันน้ำที่สูงมากเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการตัด แต่ ในระบบ Pure water jet จะใช้น้ำเป็นตัวตัดชิ้นงาน ในขณะที่ ในระบบ Abrasive Jet แรงดันน้ำจะเป็นตัวขับสารกัดกร่อนที่เติมเข้าไปในระบบ แล้วใช้สารกัดกร่อนที่พุ่งออกมาจากหัวฉีดเป็นตัวตัดชิ้นงาน ระบบ Abrasive Jet จะใช้กับชิ้นงานที่มีความแข็ง เมื่อพูดถึงการตัดด้วยระบบแรงดันน้ำสำหรับงานโลหะก็จะหมายถึงระบบ Abrasive Jet นั่นเอง โดยธรรมชาติของระบบแรงดันน้ำแล้วจะแตกต่างจากการตัดพลาสมา หรือ เลเซอร์ พอสมควร โดยเฉพาะในแง่ที่กระบวนการทั้งหมดไม่มีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้อง ด้วยคุณสมบัตินี้เอง ทำให้มันมีข้อดีที่โดดเด่นคือ สามารถตัดวัสดุได้หลายประเภท ตั้งแต่ เหล็ก สแตนเลส อลูมิเนียม ทองเหลือง ทองแดง พลาสติก ไม้ ยาง หิน เซรามิกและแก้ว โดยไม่ทำให้วัสดุหลอมเหลวหรือสูญเสียคุณสมบัติทางกายภาพไป อีกทั้งยังตัดงานได้หนาและมีความเอียงของร่องตื้นน้อย และค่าใช้จ่ายโดยรวมจะน้อยกว่าการตัดเลเซอร์ ข้อด้อยของแรงดันน้ำคือ ตัดงานได้ค่อนข้างช้า และร่องตัดยังมีขนาดใหญ่กว่าการตัดด้วยเลเซอร์ ในเรื่องของความหนา และ ความละเอียด อาจกล่าวได้ว่า การตัดด้วยแรงดันน้ำเป็นทางเลือกที่อยู่ระหว่างการตัดเลเซอร์และพลาสมา คือเหมาะกับงานที่ต้องการความละเอียดปานกลางที่พลาสมาไม่สามารถทำได้ หรืองานที่หนาเกินขีดจำกัดของเลเซอร์ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 วิธีการตัดแบบแรงดันน้ำ (Water Jet)

2.1.2.4 เครื่องเจาะระบบหัวตอก (Punching)

เป็นวิธีการที่ต่างจากการตัดทั้งสามวิธีที่กล่าวมาข้างต้น โดยการตัดทั้งสามวิธีที่กล่าวมานั้นเป็นการผลิตชิ้นงาน ด้วยการเดินอย่างต่อเนื่องของหัวตัด ทำให้เกิดเป็นแนวตัดตามแบบ แต่ Punching เป็นการใช้หัวตอกเจาะลงไปบนแผ่นโลหะ ให้เกิดเป็นรูหรือแนวตัดตามลักษณะรูปร่างของหัวตอก ด้วยวิธีนี้ทำให้เครื่อง Punching ต้องมีหัวตอกหลายประเภท หลายขนาด เพื่อรองรับแบบงานตัดได้หลากหลาย ข้อดีของ Punching คือ สามารถป้อนเจาะได้ด้วยความเร็วสูง แม่นยำ กับแบบงานที่มีหัวแม่พิมพ์รองรับ ข้อเสียคือ เนื่องจากการใช้หัวตอกเจาะทะลุแผ่นโลหะด้วยแรงกด ทำให้ไม่สามารถใช้กับงานหนาได้ สำหรับสแตนเลสจะจำกัดอยู่ที่ประมาณ 3-4 มิลลิเมตร ข้อเสียอีกประการหนึ่งคือแนวตัดที่เป็นเส้นโค้งจะต้องใช้หัวแม่พิมพ์ตอกต่อๆกันทำให้ได้แนวตัดที่ไม่สวยเหมือนการตัดด้วยวิธีอื่น นอกจากนี้การผลิตชิ้นงานด้วยวิธี Punching ยังมีเรื่องของเวลาในการจัดเตรียมหัวแม่พิมพ์ด้วย วิธีนี้จึงเหมาะกับงานบาง แบบที่มีรูเยอะ ผลิตเป็นจำนวนมากในลักษณะ Mass Production ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 วิธีการตัดแบบเจาะระบบหัวตอก (Punching)

2.1.2.5 เครื่องตัดกรรไกร

เครื่องตัดแผ่นโลหะด้วยกรรไกรเป็นเครื่องที่ใช้งานง่ายสะดวกมีใช้เป็นส่วนมากในโรงงานราคาไม่แพงมากนัก ตัดแผ่นโลหะด้วยใบมีดหรือกรรไกรกัโยดิน มีข้อจำกัดคือไม่สามารถตัดแผ่นที่ขนาดความหนาสูงมากได้ วัสดุเหล็กอยู่ในช่วง 0.4-12 มิลลิเมตร สำหรับสแตนเลสอยู่ในช่วง 0.4-6 มิลลิเมตร จะเห็นได้ว่าวิธีการตัดแต่ละแบบก็มีข้อดี ข้อด้อยต่างกัน จึงจำเป็นที่จะต้องเลือกวิธีการตัดให้เหมาะกับงานที่ต้องการ

2.1.3 ทฤษฎีงานปั๊มขึ้นรูป [3]

ประเภทของงานปั๊มมีด้วยกันหลายประเภท ซึ่งพอจะแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 5 ประเภท ดังนี้

2.1.3.1 งานตัด (Shearing)

งานตัดถือว่าเป็นพื้นฐานของงานปั๊มแบ่งออกเป็น 10 ประเภทดังนี้

- Shearing เป็นงานตัดทั่วไปที่ใช้คมตัด เฉือนโลหะให้ขาดออกจากกัน
- Bevel Shearing เป็นงานตัดริมขอบของชิ้นงานโดยมีคมตัดด้านบนเอียงทำมุมกับแนวตั้ง
- Blanking เป็นงานตัดที่ต้องการเอาส่วนที่ถูกตัดไปแปรสภาพเป็นชิ้นงานต่อไป โดยส่วนที่ถูกตัดจะมีรูปร่างตามที่ได้ออกแบบไว้แล้ว
- Trimming เป็นงานตัดขอบส่วนที่ไม่ต้องการออกจากชิ้นงานที่ขึ้นรูปมาแล้ว
- Notching เป็นงานตัดเฉพาะบางส่วนทางด้านริมของชิ้นงานออก
- Slitting เป็นการตัดในแนวตรง ใช้ในการตัดแยกโลหะแผ่นเล็กออกจากแผ่นใหญ่
- Parting หรือ Separating เป็นการตัดแยกชิ้นงานที่สมมาตรกันออกเป็น 2 ส่วน
- Piercing เป็นการตัดเจาะรู เพื่อนำรูไปใช้ ต่างกับ Blanking ที่นำเศษของรูไปใช้งาน
- Perforating เป็นการตัดเจาะรูหลายๆ รูพร้อมกัน ซึ่งส่วนใหญ่รูเหล่านี้จะมีรูปร่างและขนาดเท่ากันทั้งหมด
- Shaving เป็นการตัดครั้งที่สองหลังจากที่ Shearing หรือ Cutting มาแล้วเพื่อทำให้ขอบของชิ้นงานเรียบ

2.1.3.2 งานพับและงานปั๊มเข้ารูป (Bending and Forming)

งานพับและงานปั๊มเข้ารูป แบ่งออกเป็น 9 ประเภทดังนี้

- Bending เป็นการพับโลหะซึ่งอาจจะเป็นรูปตัว V หรือตัว U ก็ได้
- Forming เป็นการปั๊มเข้ารูปโลหะแผ่นเรียบให้มีรูปร่างตามต้องการ โดยที่ชิ้นงานจะมีรูปร่างและขนาดตามรูปร่างและขนาดของ Punch และ Die
- Flanging เป็นการพับขอบของชิ้นงานซึ่งอาจมีทั้งพับตรง, โค้งออก หรือ เว้าเข้า

- Burring เป็นการพับบริเวณขอบของรูหรือบานรูออก
- Curling เป็นการม้วนที่ปลายขอบชิ้นงานรูด้วย, ท่อ หรือ โลหะแผ่นเรียบ
- Seaming เป็นการต่อปลายของโลหะเข้าด้วยกันโดยวิธีการพับติดกัน
- Beading เป็นการขึ้นรูปสันเนิน เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับชิ้นงาน
- Embossing เป็นการปั๊มโลหะเพื่อทำให้เกิดเป็นรอยกดตื้นๆ ซึ่งตามทฤษฎีแล้วจะไม่ทำให้ความหนาของโลหะเปลี่ยนไป
- Necking เป็นการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของภาชนะรูปทรงกระบอกลงให้รูปร่างเหมือนกับบริเวณคอของขวด

2.1.3.3 งานขึ้นรูป (Drawing)

งานขึ้นรูปแบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

- Drawing เป็นการขึ้นรูปโดยที่ Punch จะกดโลหะแผ่นเรียบเข้าไปในช่องว่างของ Die เพื่อทำให้เกิดเป็นภาชนะรูปถ้วยกลวงและไม่มีตะเข็บ
- Redrawing เป็นการขึ้นรูปต่อจากการขึ้นรูปครั้งแรก ซึ่งภาชนะรูปถ้วยจะมีความลึกเพิ่มขึ้น และพื้นที่หน้าตัดจะลดลง
- Reverse Redrawing เป็นการขึ้นรูปต่อจากการขึ้นรูปครั้งแรก แต่ทิศทางของการขึ้นรูปตรงข้ามกับการขึ้นรูปครั้งแรก

2.1.3.4 งานอัดขึ้นรูป (Extrusion and Coining)

งานอัดขึ้นรูปแบ่งออกเป็น 10 ประเภทดังนี้

- Cold Extrusion เป็นการขึ้นรูปชนิดหนึ่งโดยที่ Punch จะอัดโลหะเข้าไปใน Die Orifice ซึ่งทำให้ได้ชิ้นงานตามรูปพื้นที่หน้าตัดของ Orifice
- Forward Extrusion เป็นการอัดโลหะ โดยที่โลหะที่ถูกอัดจะไหลตัวเข้าไปในช่องว่างของ Die และมีรูปร่างตามลักษณะของ Die
- Backward Extrusion เป็นการอัดโลหะโดยที่โลหะที่ถูกอัดจะไหลตัวเคลื่อนเข้าหา Punch และจะได้รูปร่างของชิ้นงานตามลักษณะของ Punch
- Forward and Backward Extrusion เป็นการอัดโลหะโดยโลหะจะไหลตัวเข้าไปใน Die และมีบางส่วนจะไหลตัวเคลื่อนเข้าหา Punch ซึ่งจะทำให้ได้ชิ้นงานที่มีรูปร่างตามลักษณะของ Punch และ Die
- Impact Extrusion เป็น Backward Extrusion ชนิดหนึ่งซึ่งมีความหนาของผนังมีความบางมาก ใช้ได้กับโลหะที่อ่อนมาก เช่น อะลูมิเนียม ตะกั่ว ดีบุก และสังกะสี
- Upsetting เป็นการอัดโลหะเพื่อให้ความยาวลดลง ซึ่งบางส่วนของชิ้นงานมีพื้นที่หน้าตัด

เพิ่มขึ้น

- Coining เป็นการอัดโลหะ โดยที่ทุกส่วนของชิ้นงานจะถูกอัดอยู่ระหว่าง Punch กับ Die และไม่มีส่วนใด ออกมานอก Die
- Sizing เป็นการบีบครั้งที่สองเพื่อให้ได้ขนาดที่ถูกต้องแน่นอนตามต้องการ
- Heading เป็นการบีบเพื่อขึ้นรูป ทางด้านปลายของชิ้นงาน เช่น งานบีบหัวโบลท์และรีเวท
- Swaging เป็นการอัดโลหะจนโลหะไหลตัวเข้าไปจนเต็มช่องว่างของ Die และมีโลหะบางส่วนไหลออกมานอก Die

2.1.3.5 งานปั๊มประเภทอื่นๆ

- Bulging เป็นการขยายผนังของรูปถ้วย, รูปทรงกระบอก หรือท่อต่างๆ โดยใช้แรงดันจากด้านในออกมา แรงนี้ได้จากการอัดตัวของ Punch ซึ่งกระทำต่อตัวกลาง เช่น อากาศ, ของเหลว, หรือสารพวกจีพี้, ไช หรือ ยาง
- Stretch Draw Forming เป็นการขึ้นรูปที่มี Clamp ยึดปลายทั้งสองข้างของโลหะไว้ หลักการของการขึ้นรูปแบบนี้ก็คือ การทำให้โลหะยืดตัวออกจนอยู่ในช่องว่างของ Plastic Range ในขณะเดียวกันที่โลหะจะถูกขึ้นรูปโดย Punch และด้วยวิธีนี้ก็สามารถป้องกันการเกิด Spring Back ได้
- Hydro Forming เป็นการขึ้นรูปที่มีแต่ Punch เท่านั้น ที่จะเป็นตัวกำหนดรูปร่างของชิ้นงาน ส่วนที่ Die จะเป็นของเหลว ซึ่งมีหน้าที่ในการอัดโลหะให้มีรูปร่างตามลักษณะของ Punch การขึ้นรูปชนิดนี้ นิยมใช้กับการขึ้นรูปชิ้นงานที่มีรูปร่างยุ่งยาก

2.1.4 ทฤษฎีงานขัดผิวสแตนเลส [4]

การขัดผิว เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดขั้นตอนหนึ่งของกระบวนการผลิตชิ้นงานจากเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) เนื่อง จากสภาพผิวเป็นปัจจัยหนึ่งสำหรับผู้ที่จะตัดสินใจเลือกใช้ ผลิตภัณฑ์ที่ทนทานต่อการเกิดคราบเหลืองและเหมาะสมกับ สภาพแวดล้อม เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) เป็นวัสดุที่มีคุณภาพ เพราะมีคุณสมบัติด้านทานที่แข็งแกร่ง และสามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย รวมถึงใช้งานในสภาพแวดล้อมที่หลากหลายเช่นกัน ซึ่งสามารถนับได้ตั้งแต่ถังบรรจุสารเคมีจนถึงอุปกรณ์บนโต๊ะอาหาร

หลักการพิจารณาเลือกผิวของผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด จะต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อมที่จะนำเอา ผลิตภัณฑ์ไปใช้ ตามหลักทั่วไปแล้วผิวที่ดีที่สุด ราคาจะแพง แต่ก็หมายถึงคุณภาพของ การต้านทานการกัดกร่อนก็ต้องสูงตามไปด้วยเช่นกัน ความสวยงามนั้นอาจยากต่อการตัดสินใจ เนื่องจากแต่ละบุคคลมีรสนิยมที่แตกต่างกันไป นอกจากนั้นการพิจารณาผิวของผลิตภัณฑ์ที่ทำ จากเหล็กกล้าไร้สนิม

(Stainless Steel) นั้นก็ไม่สามารถพิจารณาผ่านการมองจากภาพ ตัวอย่างได้ เพราะโดยธรรมชาติผิวงานของเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) มีความใกล้เคียงกัน ดังนั้นเราเองอาจได้ข้อมูลที่ผิดพลาดจากที่คาดไว้ เมื่อได้เห็นตัวงานจริง โดยชนิดของผิวงานที่เป็นที่นิยมของ เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) มี 6 ประเภทดังต่อไปนี้

2.1.4.1 ผิวขัดเงา (Mirror Polished Finish)

ผิวขัดเงาเป็นผิวงานที่มีราคาแพงที่สุดเนื่องจากต้องเจียรระไนและเคลือบผิวหลายชั้นเพื่อให้ได้ผิวงานที่ใสคล้ายกับกระจกที่สำคัญผิวงานประเภทนี้มีความไวต่อการเกิดคราบเหลืองน้อยมากดังนั้นจึงเป็นผิวงานที่นิยมของการนำไปทำผิวของอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบเรือเดินทะเล

2.1.4.2 ผิวแมทชิน (Machine Finish)

ผิวแมทชินเป็นผิวที่ได้จากการกลึงด้วยเครื่องกลึง ผิวที่ได้จะมีลายเส้นสม่ำเสมอและดูเหมือนผิวในทางกลไก ดังนั้นจึงเป็นที่นิยมต่อการนำไปใช้ในงานด้านสถาปัตยกรรมเพื่อให้โครงสร้างดูสวยงาม

2.1.4.3 ผิวแมท (Matt Finish)

ผิวแมทเป็นผิวงานที่มีความคล้ายคลึง หรือใกล้เคียงกับผิวแมทชิน เพราะใช้ผ้าผิวเจียรเบอร์ 800 ในการขัดดังนั้นผิวที่ได้จึงไม่มีแสงสะท้อนคล้ายกับผิวแมทชินแต่เป็นผิวงานที่มีราคาถูกกว่า

2.1.4.4 ผิวพ่นด้วยเม็ดแก้วหรือเม็ดทราย (Sand Blasting Finish)

ผิวพ่นด้วยเม็ดทรายเป็นผิวที่พ่นทรายบนพื้นผิวโลหะหลุดด้วยแรงอัดลมเพื่อขจัดสิ่งสกปรก บนพื้นผิวเพื่อให้สะอาด ผิวประเภทนี้เป็นที่นิยมมากสำหรับ ดีไซน์เนอร์ซึ่งเป็นสุนทรียภาพและยังสามารถป้องกันรอยนิ้วมือที่ จะเกิดขึ้นได้อีกด้วย

2.1.4.5 ผิวที่ได้จากการขัดผิวด้วยเคมีไฟฟ้า (Electro Polished)

ผิวขัดเงาด้วยวิธีการทางเคมีไฟฟ้าเป็นการตกแต่งผิวเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) ที่กระทำโดยการกัดชั้นผิวบางๆ ออกโดยใช้ประจุไฟฟ้าขั้วบวกเป็นตัวยึดตัวชิ้นงานจะติดอยู่บนแกนและแช่ลงไปในถังที่มีสารละลายทางเคมี เมื่อประจุไฟฟ้ากับสารเคมีทำปฏิกิริยาต่อกันผิวชั้นนอกของเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) จะถูกกัดออกบางๆชั้นผิวที่เป็นโครเมียม (Chromium) ก็จะถูกเปิดออกและทำให้ผิวงานมีความสว่างสดใส จากการศึกษาพบว่าผิวที่เกิดจากการกระทำโดยวิธีนี้จะต้านทานการกัดกร่อนได้ดีพอสมควร

2.1.4.6 ผิวขัดเงา (Machine Polished)

ผิวขัดเงาเป็นกรรมวิธีที่ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดโดยใช้เม็ดลูกปัดขนาดเล็กเพื่อขัดผิวชิ้นงานอย่างต่อเนื่อง โดยทั่วไปจะมีการเติมน้ำยาเพื่อทำความสะอาดสิ่งสกปรกขณะขัดชิ้นงานด้วยเพื่อให้ผิวงานภายนอกมีความเรียบเนียน แต่ถ้าต้องการให้ได้ผิวงานออกมาสวยงามมากยิ่งขึ้น อาจเพิ่มขั้นตอนการขัดเงาด้วยไฟฟ้าเคมีจะทำให้ผิวงานออกมาเรียบเนียนมีความเงาและดูมีราคามากขึ้น

2.1.5 ทฤษฎีการทำความสะดวกสแตนเลส [4]

ในการทำความสะดวกสแตนเลส คราบไขมันขัดสแตนเลสที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปและกระบวนการขัดมาแล้วนั้นต้องล้างด้วยสารละลายไฮโดรคาร์บอน / ออร์แกนิก (เช่น แอลกอฮอล์) แล้วล้างออกด้วยสบู่/ผงซักฟอกอย่างอ่อน และน้ำ ล้างออกด้วยน้ำเย็น และเช็ดให้แห้ง หลังจากนั้นต้องทำความสะอาดต่อด้วยการเช็ดด้วยแปรงมัน (เคลเซียมคาร์บอเนต) แล้วค่อยทำการเพ็คบรรจุผลิตภัณฑ์เพื่อส่งลูกค้า

2.2 เครื่องมือทางสถิติที่ใช้ในการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

ในปัจจุบันมีการนำหลักการทางสถิติมาประยุกต์ใช้ในการตัดสินใจเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากเทคโนโลยีการผลิตมีความก้าวหน้ามากขึ้น ความสลับซับซ้อนของปัญหาในการตัดสินใจก็มีมากขึ้น การประยุกต์ใช้สถิติจึงมีวามจำเป็นมากขึ้น เทคนิคในการประยุกต์สถิติในงานวิศวกรรม ปรากฏในชื่อที่แตกต่างกันออกไป เช่น การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) การควบคุมกระบวนการโดยอาศัยสถิติ (Statistical Process Control : SPC) การควบคุมคุณภาพเพื่อการยอมรับ (Acceptance Quality Control : AQC) การออกแบบที่มั่นคงของทากูชิ (Taguchi) เทคนิค 7 ประการของคิวซี (7 QC Tools) เป็นต้น โดยในโครงการวิจัยครั้งนี้ได้นำเทคนิคการออกแบบการทดลองมาช่วยในการตัดสินใจ ซึ่งสิ่งที่จำเป็นต้องใช้ในการตัดสินใจคือ ข้อมูล (Data) แต่ข้อมูลดังกล่าวจะไม่มีประโยชน์หากข้อมูลนั้นไม่สามารถแปลงมาเป็นสารสนเทศ (Information) ที่ดีพอต่อการวิเคราะห์วิธีการทางสถิติ การที่ได้มาซึ่งข้อมูลที่มีสารสนเทศครบถ้วนและน่าเชื่อถือได้ ต้องมีการวางแผนการออกแบบการทดลองอย่างรัดกุม เพื่อป้องกันไม่ให้ปัจจัยภายนอกที่ไม่ต้องการเข้าไปผสมอยู่ในข้อมูลที่ต้องการศึกษา ซึ่งอาจทำให้เกิดการตัดสินใจที่ผิดพลาด และส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อโครงการที่กำลังดำเนินการอยู่ ดังนั้นการทำความเข้าใจถึงหลักการ และรายละเอียดของการออกแบบการทดลองให้ถ่องแท้ จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง การดำเนินโครงการใดๆ จำเป็นต้องอาศัยการคิดอย่างมีระบบ (Systematic Thinking) การตัดสินใจจากข้อมูลที่สามารถเชื่อถือได้ โดยนำข้อมูลที่เป็นตัวเลขมาเปลี่ยนเป็นสารสนเทศ (Information) เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ด้วยวิธีทางสถิติ

2.2.1 กราฟ (Graph) [1]

กราฟเป็นเครื่องมือและวิธีการที่มีข้อได้เปรียบอย่างยิ่ง ในการถ่ายทอดข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล ใช้สำหรับนำเสนอ ซึ่งทำให้ผู้อ่านเข้าใจข้อมูลต่างๆ ได้ดี สะดวก ง่ายต่อการตีความหมายและสามารถให้รายละเอียดของการเปรียบเทียบได้ดีกว่าการนำเสนอข้อมูลด้วยวิธีอื่น ทั้งนี้เพราะกราฟสามารถมองเห็นถึงลักษณะของข้อมูลต่างๆ ได้ทันที

2.2.2 แผนผังพาเรโต (Pareto Diagram) [1]

แผนผังดังกล่าวถูกค้นโดยเศรษฐศาสตร์ชาวอิตาลี มีที่มาจากการสำรวจรายได้ของประชากร พบว่า คนที่มีรายได้สูงสุดเพียง 20% ของประชากรทั้งประเทศ สามารถสร้างรายได้ถึง 80% ในขณะที่ประชากรที่เหลืออีก 80% สามารถสร้างรายได้เพียง 20% จากการสำรวจดังกล่าวจึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นกฎ 80-20 ต่อมาโจเซฟจูราน ผู้เชี่ยวชาญด้านคุณภาพชาวอเมริกันได้ทำการวิจัยและพบว่า หากข้อมูลที่เก็บมาได้ นั้นมีความเสถียรภาพ (Stability) ข้อมูลที่มีความสำคัญจะมีเพียงเล็กน้อย (Vital Few) ในขณะที่ข้อมูลที่มีความสำคัญเพียงเล็กน้อยมีจำนวนมาก (Trivial Many) และเรียกจากหลักการนี้ว่า “ หลักการพาเรโต ” โครงสร้างของแผนผังพาเรโตจะประกอบไปด้วยดังนี้

1. แกนแนวนอนใช้สำหรับแสดงประเภทของข้อมูล
2. แกนแนวตั้งด้านซ้าย ใช้แสดงจำนวนข้อมูลสะสมตามเกณฑ์ที่วัดความรุนแรง เช่น ปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่อง จำนวนชั่วโมงการหยุดของเครื่องจักร เป็นต้น
3. แกนแนวตั้งด้านขวา ใช้แสดง % สะสมโดยมีจุดสูงสุดเท่ากับ 100% ซึ่งเท่ากับความถี่สะสมรวมของข้อมูล

วิธีการสร้างแผนผังพาเรโต ประกอบไปด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 2 ขั้นตอนได้แก่

1. ขั้นตอนการจัดเตรียมข้อมูลในการจัดเตรียมข้อมูลจะแบ่งการเตรียมข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน ส่วนแรกคือการเตรียมแผ่นบันทึกข้อมูลและเมื่อได้ข้อมูลมาเรียบร้อยแล้ว ให้นำข้อมูลดังกล่าวมาแปลงเป็นสารสนเทศโดยการสร้างแผนผังพาเรโต
2. ขั้นตอนการสร้างแผนพาเรโต (Pareto Diagram) หลังจากที่ได้เตรียมข้อมูลเสร็จเรียบร้อยแล้ว สามารถทำการสร้างแผนผังพาเรโตโดยขั้นตอนต่อไปนี้
 - วาดแกนแนวนอนแทนประเภทของข้อมูลและแกนแนวตั้งแทนเกณฑ์ที่ใช้วัดความรุนแรงหรือความสำคัญ
 - วาดกราฟแท่งที่แสดงประเภทของข้อมูล กับความรุนแรงหรือความสำคัญ
 - วาดกราฟสะสมของข้อมูล
 - กำหนดจุดของร้อยละสะสมและลากเส้นเชื่อมต่อเรียงลำดับตามข้อมูล
 - ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแผนผังที่เสร็จสมบูรณ์

2.2.3 แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) [1]

แผนผังสาเหตุและผลหรือผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) เป็นแผนผังที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหา-กับสาเหตุทั้งหมดที่อาจก่อให้เกิดปัญหา ซึ่งเป็นเทคนิคที่นำมาใช้โดยมีวัตถุประสงค์คือ

1. เมื่อต้องการค้นหาสาเหตุของปัญหา
2. เมื่อต้องการทำการศึกษา ทำความเข้าใจ หรือทำความเข้าใจกับกระบวนการอื่นๆ

เมื่อต้องการให้แนวทางในการระดมสมองซึ่งจะช่วยให้ทุกๆ คนให้ความสนใจในปัญหาของกลุ่ม-ซึ่งแสดงไว้ที่หัวปลา โดยส่วนประกอบต่างๆ ของแผนผังก้างปลาประกอบไปด้วย 3 ประเภทดังนี้

2.2.3.1 การกำหนดส่วนปัญหาหรือผลลัพธ์ (หัวข้อปัญหาที่หัวปลา)

การกำหนดหัวข้อปัญหาจะต้องมีความชัดเจนและเป็นไปได้ ซึ่งถ้าหากเรากำหนดประโยคปัญหานี้ไม่ชัดเจนตั้งแต่แรกจะทำให้ใช้เวลามากในการค้นหาสาเหตุ และจะใช้เวลานานในการทำผังก้างปลา การกำหนดประโยคที่หัวปลาจะกำหนดหัวข้อปัญหาในเชิงลบเช่น อัตราของเสียสูง ชั่วโม่งการหยุดเดินของเครื่องจักร เป็นต้น และจะดียิ่งขึ้นถ้าสามารถกำหนดตัวเลขที่ชัดเจน เทคนิคการระดมความคิด เพื่อจะได้ก้างปลาที่ละเอียด คือการถาม-ทำไม ทำไม ทำไม ในการเขียนแต่ละก้างปลา

2.2.3.2 การกำหนดส่วนสาเหตุ

การกำหนดสาเหตุหลัก สาเหตุรอง สาเหตุย่อย จะอาศัยการระดมสมองจากพนักงานในหลายๆ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกัน ภายใต้ของหลักการ 3 จริง อันประกอบไปด้วย สถานที่จริง ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่เกิดขึ้นจริงและความรู้จริงในเทคโนโลยีเฉพาะด้าน ระบุไว้บนก้างหลัก ก้างรอง ก้างย่อย ตามลำดับ เริ่มจากก้างหลักเราต้องกำหนดกลุ่มปัจจัยที่มีความสอดคล้องกับปัญหาที่หัวปลา เพื่อให้มั่นใจได้ว่ากลุ่มที่เรากำหนดนั้นสามารถแยกแยะและกำหนดหาสาเหตุต่างๆ ได้อย่างเป็นระบบ และเป็นสาเหตุเป็นผลซึ่งกันและกัน โดยส่วนมากจะใช้หลักการ 4M 1E เป็นก้างหลักประกอบด้วย

M (Man)	หมายถึง คนงานหรือพนักงานหรือบุคลากร
M (Machine)	หมายถึง เครื่องจักรหรืออุปกรณ์อำนวยความสะดวก
M (Material)	หมายถึง วัตถุดิบหรืออะไหล่ อุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในกระบวนการ
M (Method)	หมายถึง กระบวนการทำงาน
E (Environment)	หมายถึง อากาศ สถานที่ ความสว่าง และบรรยากาศการทำงาน

2.2.3.3 การกำหนดความสัมพันธ์ของก้างปลา

ลูกศรหรือก้างปลา เป็นตัวเชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาและสาเหตุ โดยที่หางลูกศรหมายถึงสาเหตุ และหัวลูกศรหมายถึงผล

2.2.4 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) [1]

เป็นวิธีที่ใช้ในการศึกษาปัญหาที่เป็นไปได้ เพื่อป้องกันปัญหาที่มีแนวโน้มว่าจะเกิดปัญหาลงมา โดยเป็นการเสริมทักษะ ในการแก้ปัญหาให้มีลำดับทางความคิดที่เป็นระบบมีขั้นตอนและมีลำดับก่อนหลัง เน้นไปที่การป้องกันปัญหาที่มี โอกาสเกิด (Most Likely Failure) โดยในที่นี้ถือว่าการวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากลักษณะข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต (Process FMEA) และ ทำการกรองปัจจัยที่มีผลกระทบ (Screening Factor) มีขั้นตอนในการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบดังนี้

2.2.4.1 รายละเอียดของกระบวนการ (Process Description / Function)

เป็นการกำหนดรายละเอียดของกระบวนการนั้นต้องแยกขั้นตอนภายในกระบวนการที่ทำการศึกษาให้เป็นขั้นตอนย่อยก่อนซึ่งจะต้องบรรยายถึงหน้าที่การใช้งานที่น่าจะมีผลต่อปัญหาที่สนใจ

2.2.4.2 ระบุถึงปัจจัยที่ป้อนเข้าที่สำคัญต่อกระบวนการ (Key Process Input)

เป็นการระบุถึงปัจจัยป้อนเข้าที่สำคัญต่อกระบวนการ ซึ่งต้องบ่งชี้ว่าปัจจัยที่ป้อนเข้านั้นทำไปเพื่ออะไร และจะมีผลต่อปัญหาที่สนใจอย่างไร โดยผ่านการระดมสมองและการวิเคราะห์ผ่านแผนภาพสาเหตุและผล

2.2.4.3 ลักษณะข้อบกพร่องที่มีแนวโน้มว่าจะเกิด (Potential Failure Mode)

การกำหนดลักษณะข้อบกพร่องที่มีแนวโน้มว่าจะเกิดขึ้นนั้น ต้องตั้งคำถามในขั้นตอนย่อยๆของกระบวนการนั้น ถ้าการทำงานแต่ละขั้นตอนไม่เป็นตามที่ต้องการจะเกิดข้อบกพร่องอย่างไร

2.2.4.4 ลักษณะของผลกระทบของข้อบกพร่องที่มีแนวโน้มว่าจะเกิด (Potential Effect of Failure)

เป็นการกำหนดลักษณะผลกระทบของข้อบกพร่องที่มีแนวโน้มว่าจะเกิดขึ้นต้องทราบว่าถ้าลักษณะข้อบกพร่องที่มีแนวโน้มจะเกิด ถ้าเกิดขึ้นแล้วจะส่งผลกระทบต่อปัญหาที่สนใจอย่างไรบ้าง

2.2.4.5 ความรุนแรงของผลกระทบ (Severity of the Effect)

เป็นผลกระทบจากการเกิดข้อบกพร่อง ต้องทราบความรุนแรงของผลกระทบว่า หากเกิดข้อบกพร่องแล้วจะมีความรุนแรงอย่างไร โดยมีการกำหนดระดับความรุนแรงที่เกิดขึ้น

2.2.4.6 สาเหตุที่มีแนวโน้มในการเกิดข้อบกพร่อง (Potential Cause of Failure)

เป็นการระบุถึงสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องว่ามีสาเหตุจากปัจจัยใด

2.2.4.7 โอกาสในการเกิด (Occurrence)

เป็นอัตราที่แสดงถึงจำนวนความถี่หรือจำนวนข้อบกพร่องที่สะสม สำหรับสาเหตุหนึ่งๆภายใต้ระบบควบคุมที่มีอยู่

2.2.4.8 การควบคุมกระบวนการในปัจจุบัน (Current Process Control)

เป็นวิธีการควบคุมที่ใช้ในการป้องกันการเกิดลักษณะข้อบกพร่องที่มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดขึ้น

2.2.4.9 การตรวจจับ (Detection)

เป็นการประเมินถึงโอกาสที่มีการใช้การควบคุมกระบวนการแล้วพบว่าแนวโน้มของสาเหตุและกลไกข้อบกพร่อง(จุดอ่อนของกระบวนการ) หรือความน่าจะเป็นที่นำระบบควบคุมกระบวนการที่มีอยู่แล้วจะตรวจพบลักษณะข้อบกพร่องก่อนที่มีชิ้นงานส่วนประกอบออกมาจากสายการประกอบ หรือจุดปฏิบัติการ

2.2.4.10 ตัวเลขแสดงลำดับความสำคัญของความเสี่ยง (Risk Priority Number: RPN)

เป็นผลลัพธ์ของรุนแรง โอกาสในการเกิดและการตรวจจับเพื่อใช้ในการจัดลำดับความสำคัญในการแก้ไข้ปัญหา

$$RPN = S \times O \times D \quad (2.1)$$

เมื่อ S หมายถึง ความรุนแรง (Severity)

O หมายถึง โอกาสในการเกิด (Occurrence)

D หมายถึง การตรวจจับ (Detection)

ซึ่งจะนำค่า RPN ที่ได้มาเป็นตัวตัดสินใจเพื่อที่จะเริ่มดำเนินการแก้ไข้ปัจจัยของปัญหาที่มีลำดับสำคัญของความเสี่ยงสูงมาทำการพิจารณา

2.3 ทฤษฎีสมมติฐานทางสถิติ

2.3.1 การทดสอบสมมติฐาน [2]

การทดสอบสมมติฐาน (Test of Hypothesis) เป็นกระบวนการที่สำคัญที่ใช้ในการตัดสินใจ กล่าวคือช่วยนักวิจัยในการตัดสินใจว่าสมมติฐานที่ได้ตั้งไว้นั้นถูกหรือผิด โดยศึกษาจากข้อมูลที่เก็บจากกลุ่มตัวอย่าง ในการศึกษาข้อเท็จจริงนั้นประชากรที่สนใจมักมีขนาดใหญ่ ซึ่งจะเกิดปัญหากับผู้ศึกษาว่าถ้า

ต้องการจะศึกษาลักษณะบางประการหรือประชากรทั้งหมดจะสิ้นเปลืองเวลาและงบประมาณหรืออาจมีข้อจำกัดบางประการจึงจำเป็นต้องทำการเลือกตัวแทนประชากร สำหรับประชากรที่ได้รับเลือกเป็นตัวแทนเรียกว่า ตัวอย่าง (Sample) ส่วนวิธีการเลือกตัวอย่างมีมากมายหลายวิธี แต่ละวิธีการที่แตกต่างกัน ด้วยเหตุผลที่ต้องการตัวอย่างที่จะเป็นตัวแทนที่ดีของประชากร ตัวอย่างที่ได้มักจะได้จากการสุ่ม (Randomization) จากประชากร ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงความหมายและวิธีการทดสอบสมมติฐานเพื่อสรุป หรืออ้างอิงถึงประชากร

2.3.1.1 ประเภทของสมมติฐาน

สมมติฐานสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

1. สมมติฐานทางการวิจัย (Research Hypothesis)

เป็นสมมติฐานที่กำหนดขึ้นมาสำหรับงานวิจัยๆหนึ่ง โดยกำหนดเป็นข้อมูลในลักษณะบรรยายหรือคาดคะเนถึงคำตอบของปัญหาที่กำลังดำเนินการวิจัยอยู่ โดยปกติสมมติฐานทางการวิจัยจะเป็นความเชื่อ ทศนะคติที่ผู้วิจัยกำหนดขึ้นมาจากประสบการณ์ ทฤษฎี หรือศึกษาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2. สมมติฐานทางสถิติ (Statistical Hypothesis)

เป็นสมมติฐานที่ตั้งขึ้นเพื่อใช้ทดสอบว่า สมมติฐานทางการวิจัยที่ผู้วิจัยตั้งไว้เป็นจริงหรือไม่ เป็นสมมติฐานที่เขียนอยู่ในรูปแบบของโครงสร้างทางคณิตศาสตร์เพื่อให้อยู่ในรูปที่สามารถทดสอบได้ด้วยวิธีการทางสถิติ สมมติฐานทางสถิติมี 2 ชนิดคือ

- สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) ใช้สัญลักษณ์ H_0 เป็นสมมติฐานทางสถิติที่กล่าวถึงการไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเป็นการกำหนดค่าของลักษณะที่ต้องการทดสอบตายตัว
- สมมติฐานเลือกหรือสมมติฐานแย้งหรือสมมติฐานรอง (Alternative Hypothesis) ใช้สัญลักษณ์ H_1 เป็นสมมติฐานที่ตั้งขึ้นเพื่อรองรับสมมติฐานว่าง อาจสามารถแสดงความมากกว่าหรือน้อยกว่าก็ได้

ในการวิจัยหลังจากที่ตั้งความมุ่งหมายของวิจัยแล้วผู้วิจัยมักจะตั้งสมมติฐานทางการวิจัยเพื่อคาดคะเนคำตอบไว้ล่วงหน้าแล้วจึงเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อทำการทดสอบสมมติฐานทางการวิจัยที่ตั้งไว้ โดยจะต้องแปลงสมมติฐานทางการวิจัยให้เป็นสมมติฐานทางสถิติก่อน จึงจะทดสอบได้ด้วยวิธีการทางสถิติ ดังนั้นเวลาตั้งสมมติฐานทางสถิติ จะต้องตั้งทั้ง Null Hypothesis (H_0) และ Alternative Hypothesis (H_1)

2.3.1.2 การกำหนดขอบเขตวิกฤต (Critical Region)

ในการทดสอบสมมติฐานจะใช้ความน่าจะเป็นจากพื้นที่ใต้โค้งปกติโดยต้องแบ่งพื้นที่ออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนหนึ่งจะเป็นเขตยอมรับ (Acceptance Region) และอีกส่วนหนึ่งคือ เขตปฏิเสธ (Rejection Region) ซึ่งค่าที่แบ่งพื้นที่ทั้ง 2 เรียกว่า ค่าวิกฤต (Critical Value) และบริเวณที่ทำให้เกิดการปฏิเสธ

H_0 เรียกว่า บริเวณวิกฤต (Critical Region)

2.3.1.3 ความผิดพลาดในการทดสอบสมมติฐานเชิงสถิติ

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติมักเกิดมีความผิดพลาดอยู่เสมอ ความผิดพลาดที่เกิดขึ้น เนื่องมาจาก ผลสรุปของการทดสอบเป็นไปโดยไม่ยอมรับสมมติฐาน H_0 ทั้งที่ H_0 เป็นจริง หรือสรุปได้ว่ายอมรับ H_0 เป็นจริง ทั้งที่ในความเป็นจริงแล้วสมมติฐาน H_0 ไม่จริง ซึ่งสามารถสรุปความผิดพลาดแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

- ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 (Type 1 Error) คือการปฏิเสธสมมติฐานหลักทั้งที่ในความเป็นจริงสมมติฐานถูกต้องอยู่แล้ว เรียกว่าระดับนัยสำคัญ (Significant Level) แทนด้วยสัญลักษณ์ α หรือ P (ปฏิเสธ H_0 โดยที่ H_0 เป็นจริง)
- ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 2 (Type 2 Error) คือการปฏิเสธสมมติฐานหลักทั้งที่ในความเป็นจริงเป็นจริง สมมติฐานหลักไม่ถูกต้องแทนด้วยสัญลักษณ์ β และ $1-\beta$ คืออำนาจในการทดสอบ (Power of Test) หรือ P (ยอมรับ H_0 โดยที่ H_0 ไม่เป็นจริง)

ในการทดสอบสมมติฐานนั้นต้องออกแบบวิธีการตัดสินใจให้มีระดับนัยสำคัญคงที่และมีค่าต่ำๆ เช่น 0.05 หรือ 0.1 และให้อำนาจในการทดสอบมีค่าสูงที่สุด ทั้งนี้เพื่อให้การตัดสินใจเลือก H_1 ต้องกระทำอย่างมีเหตุผลรองรับที่ชัดเจน ซึ่งเรียกว่าการตัดสินใจแบบยืนยัน

2.3.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) [2]

วิธีการที่ใช้ทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของประชากรหลายๆกลุ่มจะอาศัยวิธีการที่เรียกว่าการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) โดยใช้หลักการแบ่งแยกความแปรปรวนหรือความผันแปรออกเป็นส่วนๆ ตามสาเหตุที่ก่อให้เกิดความผันแปรนั้น โดยนำค่าของผลรวมกำลังสอง (Sum Squares; SS) ที่คำนวณความแปรปรวนมาพิจารณา ซึ่งความผันแปรจากแหล่งที่ 1, 2, 3, ..., a เป็นความผันแปรระหว่างกลุ่มที่เกิดจากปัจจัยที่ศึกษา ส่วนผลรวมกำลังสองของความผิดพลาด (Sum Squares of Error) เป็นความผันแปรที่ไม่อาจควบคุมได้ โดยสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F_0
Between Treatment	SS_{Tr}	a-1	$MS_{Treatment}$	$MS_{Treatments} / MS_E$
Error (within treatments)	SS_E	N-a	MS_E	
Total	SS_T	N-1		

Degree of freedom หมายถึง องศาอิสระ

Sum of Squares หมายถึง ผลรวมของกำลังสองเบี่ยงเบน

Mean Square หมายถึง ค่าเฉลี่ยของผลรวมกำลังสอง

หลังจากได้ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนแล้วต้องทำการสรุปผล โดยการนำค่า F_0 ที่คำนวณได้ ไปเปรียบเทียบกับค่า F จากตารางสถิติคือ

ถ้า $F_0 > F_{\alpha}$... จะปฏิเสธ H_0

ถ้า $F_0 < F_{\alpha}$... จะยอมรับ H_0

2.3.3 การวิเคราะห์ความถูกต้องของข้อมูล [2]

การใช้ข้อมูลในการอธิบายและวิเคราะห์ความแปรปรวน จำเป็นมีคุณสมบัติตามข้อกำหนดคือ ความปกติของข้อมูล (Normal) ความสุ่มอิสระ (Independent) และความเสถียรของความแปรปรวน ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงต้องทำการวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อสรุปการยอมรับหรือปฏิเสธ สมมติฐาน หากแบบจำลองไม่มีความถูกต้องจะถือว่าข้อมูลไม่มีความเหมาะสมและไม่สามารถใช้ในการวิเคราะห์ผลได้ การวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบจำลองจะดำเนินการผ่านการทดสอบเศษเหลือ (Residual) ของข้อมูล ซึ่งแทนด้วยสัญลักษณ์ e_{ij} หมายถึง Residual สำหรับข้อมูลที่ j ของระดับปัจจัยที่ i โดย

$$e_{ij} = y_{ij} - \hat{y}_{ij} \quad (2.2)$$

เมื่อ $\hat{y}_{ij}$ คือค่าประมาณ (Fit) ของข้อมูล y_{ij} ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\bar{y}_i$ หมายความว่าค่าประมาณข้อมูลในระดับปัจจัยที่ i คือค่าเฉลี่ยของข้อมูลในระดับปัจจัยนั้นๆ การทดสอบข้อมูลก่อนนำมาวิเคราะห์มีวิธีการดังนี้

2.3.3.1 ทดสอบความสุ่มของข้อมูล (Run Test)

แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษเหลือและเวลา หรือลำดับข้อมูลในการพิจารณา หากข้อมูลแล้วจะต้องไม่มีลักษณะเป็นจุดต่อเนื่อง (Run) แนวโน้ม (Trend) และ วัฏจักร (Cycle)

2.3.3.2 กราฟทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Probability Plot)

กราฟทดสอบการแจกแจงปกติเป็นกราฟที่พล็อตระหว่างข้อมูลที่นำมาพิจารณากับความถี่สะสมในสเกลของการแจกแจงปกติและนำมาใช้ตรวจสอบความเป็นปกติ (Normal) ของข้อมูล โดยเฉพาะข้อมูลหากข้อมูลมีลักษณะการกระจายตัวแบบปกติแล้ว กราฟจะให้ข้อมูลที่มีลักษณะการเรียงตัวใกล้เคียงเส้นตรง

2.3.3.3 การทดสอบความเสถียรของแปรปรวน (Test for Equal Variance)

จะใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Residual และ Fit ในการพิจารณาความเสถียรของความแปรปรวน หากความแปรปรวนมีความเสถียรแล้วการกระจายตัวของค่า Residual ที่เหลือและได้เส้น 0 ควรมีขนาดใกล้เคียงกัน

2.4 ทฤษฎีการออกแบบการทดลอง [6]

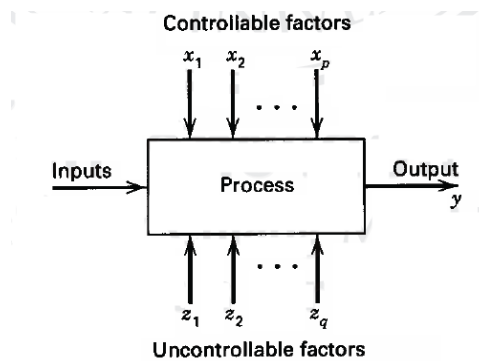
การทดลอง คือ ชุดของการทดสอบสิ่งที่เราต้องการศึกษา กล่าวคือ การที่ตั้งใจเปลี่ยนแปลงปัจจัยนำเข้าว่าจะมีผลต่อผลลัพธ์ที่เราสนใจอย่างไร

การออกแบบการทดลอง (Design and Analysis of Experiment: DOE) เป็นเทคนิคทางสถิติขั้นสูงที่ใช้ในการปรับค่าสภาวะของกระบวนการให้เป็นไปตามสภาพที่เราต้องการ ซึ่งข้อแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดระหว่างวิธีการโดยทั่วไปกับเทคนิคของการออกแบบการทดลอง คือ วิธีการโดยทั่วไปมักเป็นการออกแบบการทดลองแบบ ลองผิดลองถูก หรือใช้การทดลองปรับตั้งค่ากระบวนการทีละค่า (One-Factor-at-a-Time) เช่น ถ้าเราสงสัยว่าเราควรที่จะต้องปรับตั้งค่าของอุณหภูมิในการอบชิ้นงาน เวลาที่ใช้ในการอบ และส่วนผสมของชิ้นงานเท่าไรดีจึงจะทำให้ชิ้นงานที่ได้มีคุณภาพสูงสุดไม่เป็นของเสีย ดังนั้นแนวทางที่เรามักใช้กันทั่วไป คือ การทดลองปรับตั้งในส่วนของคุณสมบัติที่ใช้ในการอบก่อน (ในขณะที่คงค่าของเวลาที่ใช้ในการอบกับอัตราส่วนผสมไว้) เมื่อทดลองจนได้ค่าของคุณสมบัติที่เราต้องการแล้วจึงค่อยไปปรับตั้งเรื่องของเวลา(ในขณะที่คงที่ค่าของอุณหภูมิกับอัตราส่วนผสมในการผสม) จากนั้นสุดท้ายจึงไปทำการปรับตั้งเรื่องของอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม (โดยการคงที่ค่าของอุณหภูมิกับเวลาไว้) และเราอาจทำซ้ำวงจรนี้ไปเรื่อยๆเพื่อที่จะหาจุดที่ดีที่สุดของกระบวนการซึ่งลักษณะนี้เรียกว่าการทดลองแบบ One-Factor-at-a-Time นั้นเอง โดยทั่วไปแล้วการออกแบบการทดลองแบบ One-Factor-at-a-Time จะให้ผลตอบแทนเข้าสู่จุดมุ่งหมายที่เราต้องการช้ามาก และสิ้นเปลืองทรัพยากรในการวิเคราะห์รวมถึงต้องเก็บข้อมูลมากและยังไม่เหมาะสมอย่างยิ่งกับกระบวนการที่มีผลของอันตรกิริยา (Interaction Effect) ระหว่างตัวแปรของกระบวนการด้วยกันเอง ตามปกติแล้วการทดลองถูกนำมาใช้เพื่อการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการทำงานของกระบวนการและระบบ ซึ่งทั้งกระบวนการและระบบ สามารถที่แทนด้วยแบบจำลอง ตามรูปที่ 2.5 แบบจำลองทั่วไปของกระบวนการ

กระบวนการคือ การรวมเอาคนงาน เครื่องจักร วิธีการ และทรัพยากรอื่นๆ เข้าด้วยกัน เพื่อเปลี่ยนปัจจัยนำเข้า (เช่น วัตถุดิบ) ไปสู่ปัจจัยนำออกที่มีผลตอบออกมาในรูปแบบหนึ่งหรือมากกว่าซึ่งเราสามารถเห็นได้ ตัวแปรกระบวนการบางชนิด เป็นตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ ในขณะที่ตัวแปรบางตัว เป็นตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการทดลองคือ

1. การหาปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุดต่อผลตอบ Y

2. การหาวิธีการตั้งค่า X ที่มีผลต่อค่าผลตอบ Y เพื่อให้ค่า Y ได้ตามค่าที่ต้องการ
3. การหาวิธีการตั้งค่า X ที่มีผลต่อค่าผลตอบ Y เพื่อให้ค่า Y น้อยที่สุด
4. การหาวิธีการตั้งค่า X ที่มีผลต่อค่าผลตอบ Y เพื่อผลของตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ มีผลกระทบน้อยที่สุด



รูปที่ 2.5 แบบจำลองทั่วไปของกระบวนการ

โดยจุดประสงค์ของการออกแบบการทดลองเพื่อ

1. บ่งชี้ว่าปัจจัยใด (X) มีผลกระทบต่อผลตอบในกระบวนการ (Y)
2. สร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่าง ผลตอบ และปัจจัยที่ศึกษา โดยรวมเฉพาะปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ

หลักการพื้นฐานที่สำคัญของการออกแบบการทดลองประกอบด้วยหลัก 3 ประการ เพื่อช่วยให้ผลการทดลองมีความถูกต้อง เทียบตรงและแม่นยำมากยิ่งขึ้น

1. การทดลองซ้ำ (Replication) คือการทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขการทดลองเดียวกันมากกว่า 1 ครั้ง เพื่อให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับการทดลองเพิ่มมากขึ้น และยังทำการทดลองเพิ่มมากขึ้นเท่าใด ก็จะได้ข้อมูลจากการทดลองเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น เพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องของผลการทดลองและเพิ่มความเที่ยงตรง แม่นยำของข้อมูลมากยิ่งขึ้น ซึ่งส่งผลให้การวิเคราะห์และผลการสรุปจากการทดลอง มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น โดยการทดลองซ้ำมีประโยชน์คือช่วยให้ผู้ทดลองสามารถประมาณค่าความผิดพลาดในการทดลองได้ ซึ่งใช้สำหรับเปรียบเทียบกับผลของปัจจัยที่สนใจศึกษาได้

2. การสุ่ม (Randomization) คือการจัดลำดับในการทดลองให้เป็นแบบสุ่มโดยการสุ่มสามารถช่วยลดความผิดพลาดในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งการสุ่มจะช่วยกระจายความผิดพลาดในการทดลองที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ไปสู่ทุก ๆ การทดลองด้วยโอกาส และขนาดเท่าๆกัน เพื่อให้ความผิดพลาดในการวิเคราะห์ผลเกิดขึ้นน้อยที่สุด

3. การควบคุม (Blocking หรือ Control) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรงแม่นยำ (Precision) ในการทดลอง โดยป้องกันการรบกวนจากปัจจัยภายนอก (Noise, Nuisance, Factors) และ

ลดความผิดพลาดในการทดลอง โดยบล็อกเดียวกันหมายถึงการควบคุมสภาพในการทดลองให้มีสภาพใกล้เคียงกันมากที่สุด เช่นวัสดุที่ใช้ทดลองควรมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน ใช้เครื่องจักรเครื่องเดียวกัน ผู้ทดลองคนเดียวกัน วิธีการทดลองเดียวกัน ในช่วงเวลาทดลองใกล้เคียงกัน โดยเปลี่ยนแปลงเฉพาะเงื่อนไขของปัจจัยที่สนใจศึกษาเท่านั้น

2.4.1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Experiment of Factorial Design)

ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k กรณีที่มี k ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ โดยแต่ละระดับอาจเกิดจากข้อมูลเชิงปริมาณ เช่นอุณหภูมิ ความดัน หรือเวลา เป็นต้น หรืออาจเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพ เช่น เครื่องจักร หรือคนงาน เป็นต้น และใน 2 ระดับนี้จะแทนด้วยระดับ “สูง” และ “ต่ำ” ของแต่ละปัจจัย สำหรับออกแบบการทดลองแบบนี้ จะประกอบด้วย ข้อมูล $2 \times 2 \times 2 \times 2 \dots \times 2 = 2^k$ ข้อมูล ดังนั้นจึงเรียกการออกแบบลักษณะนี้ว่าการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k ซึ่งการออกแบบชนิดนี้มีประโยชน์มากต่อการทดลองในช่วงแรก เมื่อมีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่เราต้องการที่จะตรวจสอบ การออกแบบเช่นนี้จะทำให้เกิดการทดลองจำนวนน้อยที่สุด ที่สามารถทำได้เพื่อศึกษาถึงผลของปัจจัยทั้ง k ชนิดได้อย่างสมบูรณ์โดยใช้การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล เพื่อกรองปัจจัยที่มีอยู่เป็นจำนวนมากให้เหลือน้อยลง เนื่องจากแต่ละปัจจัยของการออกแบบการทดลองแบบ 2^k ประกอบด้วย 2 ระดับ

การออกแบบชนิด 2^2 Factorial Design การออกแบบที่ง่ายที่สุดของ 2^k คือที่มีปัจจัยเพียง 2 ปัจจัย สมมติเป็น A และ B โดยในแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ จึงเรียกว่า 2^2 Factorial Design การทดลองแบบ 2^k แฟกทอเรียล เป็นการทดลองที่มีจำนวนของปัจจัยเท่าไรก็ตามที่กำหนดแต่จำนวนของระดับที่ใช้ในการทดลองมีเพียง 2 ระดับ เท่านั้นในทุกปัจจัยที่ทำการศึกษา โดยเมื่อจำนวนปัจจัยการป้อนเข้าสำหรับการทดลองแบบ 2^k แฟกทอเรียลเพิ่มจำนวนสูงขึ้น จำนวนของการทดลองก็สูงขึ้นด้วย เช่น การออกแบบการทดลอง 2^5 จะต้องการจำนวนการทดลอง 32 ครั้ง การออกแบบการทดลอง 2^6 จะต้องการจำนวนการทดลองถึง 64 ครั้ง ซึ่งยังไม่นับรวมการทดลองที่มากขึ้นและไม่อาจทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขเดียวกันได้ทั้งหมด ซึ่งภาษาทางสถิติเรียกเงื่อนไขนี้ว่า เงื่อนไขในทรีตเมนต์คอมบิเนชัน (Treatment Combinatio) มีมากกว่าเงื่อนไขขนาดของบล็อก (Block Size) ดังนั้นในบางการทดลองจำเป็นต้องแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ครั้งหรือ 4 ครั้งเป็นต้นไป

การทดลองแบบแฟกทอเรียลจะตั้งสมมติฐานว่าอิทธิพลร่วมของปัจจัยในลำดับสูง (High Order Interaction) มีผลน้อยจึงให้ปะปน (Confound) กับอิทธิพลหลัก (Main Effect) และอิทธิพลร่วมของปัจจัยในระดับต่ำ Low Order Interaction ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ผ่านกาทดลองแฟกทอเรียลจะยังคงมีผลอิทธิพลร่วมในลำดับต่ำซึ่งเป็นสิ่งที่เราสนใจ การทดลองแบบแฟกทอเรียล

นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการ (Design Product and Process) และส่วนใหญ่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการประยุกต์ในการทดลองเพื่อการกรอง (Screening Design) ปัจจัยป้อนเข้าที่จำนวนของปัจจัยจำนวนมากที่ต้องการวิเคราะห์โดยวัตถุประสงค์หลักของการทดลองแบบแฟคทอเรียลคือเพื่อต้องการค้นหาปัจจัยป้อนเข้าที่มีผลกระทบสูงๆ (Large Effect) ซึ่งการทดลองลักษณะนี้มักใช้ในตอนเริ่มต้นของโครงการเนื่องจากมีปัจจัยป้อนเข้าจำนวนมาก

2.4.2 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

ในการดำเนินการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรมมีขั้นตอนและแนวคิดในการปฏิบัติแบ่งออกเป็น 7 ขั้นตอนดังนี้

1. ขั้นตอนการทำความเข้าใจปัญหา

ในขั้นตอนนี้จะต้องพยายามพัฒนาแนวความคิดเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง และจะต้องหาข้อมูลป้อนเข้าจากบุคคลหรือหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้องเช่น แผนกวิศวกรรม แผนกประกันคุณภาพ แผนกผลิต แผนกการตลาดและผู้บริหารโดยการระบุปัญหาจะต้องมีความชัดเจน เนื่องจากมีผลอย่างมากต่อความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์

2. ขั้นตอนการเลือกระดับปัจจัยและระดับของปัจจัย

ขั้นตอนนี้เป็นการใช้ความรู้เทคโนโลยีเฉพาะด้าน (Intrinsic Technology) เกี่ยวกับกระบวนการซึ่งอาจมาจากประสบการณ์หรือความรู้ทางทฤษฎี เพื่อนำมาพิจารณาตัดสินใจเลือกปัจจัย และระดับของปัจจัย ที่ต้องทำการปรับในการทดลอง รวมถึงต้องทราบวิธีการควบคุม และการวัดค่าระดับของปัจจัยดังกล่าวด้วย

3. ขั้นตอนการเลือกตัวแปรตอบสนอง

ในการเลือกตัวแปรตอบสนองผู้ทดลองต้องแน่ใจว่าตัวแปรนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่ บ่อยครั้งที่ค่าเฉลี่ยหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการจะเป็นตัวแปรตอบสนอง โดยในการทดลองหนึ่งอาจจะมีตัวแปรตอบสนองหลายตัวและมีความจำเป็นอย่างมากที่ต้องกำหนดให้ได้ว่าจะไรคือตัวแปรตอบสนองและจะวัดตัวแปรนี้ได้อย่างไรก่อนที่จะเริ่มดำเนินการทดลอง

4. ขั้นตอนการเลือกการออกแบบการทดลอง

เป็นขั้นตอนการเลือกการออกแบบที่เกี่ยวข้องกับการพิจารณาขนาดของตัวอย่าง จำนวนเรพลิเคต การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่ใช้ในการเก็บข้อมูล และการตัดสินใจว่าควรใช้วิธีบล็อกหรือการใช้การสุ่มอย่างใดอย่างหนึ่งหรือไม่ ในการเลือกการออกแบบ จะพิจารณาถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองเป็นหลัก โดยในการทดลองทางวิศวกรรมส่วนมากจะทราบตั้งแต่เริ่มต้นแล้วว่าปัจจัยบางตัวจะมีผลต่อตัวแปรตอบสนองที่เกิดขึ้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องหาว่าปัจจัยตัวใดที่จะทำให้เกิดความ

แตกต่าง และประมาณขนาดของความแตกต่างที่เกิดขึ้น

5. ขั้นตอนการทดลอง

การดำเนินการทดลองจะต้องติดตามกระบวนการการทำงานอย่างระมัดระวังเพื่อให้แน่ใจว่า การดำเนินการทุกอย่างเป็นไปตามแบบการทดลองที่ออกแบบไว้ ถ้ามีอะไรผิดพลาดขึ้นเกี่ยวกับวิธีการทดลอง จะทำให้การทดลองที่ทำนั้นใช้ไม่ได้

6. ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

จะนำเอาวิธีการทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อผลลัพธ์ และข้อสรุปที่เกิดขึ้นสอดคล้องและเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลองหรือไม่ วิธีการทางสถิติที่จะนำมาใช้ จะเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อนข้อได้เปรียบของวิธีการทางสถิติคือ ทำให้ผู้ที่มิชำนาญในการตัดสินใจมีเครื่องมือช่วยที่มีประสิทธิภาพ และเมื่อนำเอาวิธีการทางสถิติมาผนวกกับความรู้ทางวิศวกรรม ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ และสามัญสำนึกจะทำให้ข้อสรุปที่ได้ออกมานั้นมีเหตุผลสนับสนุนและมีความน่าเชื่อถือ

7. ขั้นตอนการสรุปและข้อเสนอแนะ

เมื่อได้วิเคราะห์ข้อมูลเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ผู้ทดลองต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติและแนะนำแนวทางของกิจกรรมที่เกิดขึ้น ในขั้นตอนนี้จะนำเอาวิธีการทางกราฟเข้ามาช่วยโดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อต้องการนำเสนอผลงานให้ผู้ฟัง นอกจากนั้นแล้วการควรทำการทดลองเพื่อยืนยันผล (Confirmation Testing) ควรจะทำการขึ้นเพื่อที่จะตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่จะเกิดขึ้นอีกด้วย

2.4.3 การวิเคราะห์ความถดถอยและสหสัมพันธ์เชิงซ้อน (Multiple Regression and Correlation Analysis)

การศึกษาถึงความสัมพันธ์ของตัวแปร Y กับตัวแปรอิสระ X เพียงตัวเดียว นั่นคือ สนใจศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลหรือผลต่อตัวแปรตาม Y เพียงปัจจัยเดียว โดยทั่วไปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ Y มักมีหลายปัจจัย หรือกล่าวได้ว่ามีตัวแปรอิสระหลายตัวที่มีผลต่อตัวแปร Y ตัวอย่างเช่น ยอดขายรถยนต์ยี่ห้อ A อาจมีความสัมพันธ์กับราคาขายของรถยนต์ยี่ห้อ A สมรรถภาพของรถยนต์ยี่ห้อ A ค่าโฆษณา ราคาขายของรถยนต์ยี่ห้ออื่น และสภาพเศรษฐกิจ ฯลฯ เป็นต้น โดยที่ราคาขายของรถยนต์ A สมรรถภาพของรถยนต์ยี่ห้อ A ค่าโฆษณา ราคาขายของรถยนต์ยี่ห้ออื่นๆ และสภาพเศรษฐกิจเป็นตัวแปรอิสระ ส่วนยอดขายรถยนต์ยี่ห้อ A เป็นตัวแปรตาม Y ดังนั้นในการพยากรณ์ยอดขายของรถยนต์ยี่ห้อ A จึงจำเป็นต้องทราบค่าตัวแปรอิสระดังกล่าวข้างต้นรูปแบบของสมการถดถอยเชิงซ้อน ถ้ามีตัวแปรอิสระ K ตัว ($X_1, X_2, \dots, X_K$) ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม Y โดยที่ความสัมพันธ์อยู่ในรูปเชิงเส้น จะได้สมการถดถอยเชิงเส้นซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Y และ $X_1, X_2, \dots, X_K$ ดังนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_K X_K + e \quad (2.2)$$

โดยที่ β_0 คือ ส่วนตัดแกน Y เมื่อกำหนดให้ $X_1, X_2, \dots, X_k = 0$ และ $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ เป็นสัมประสิทธิ์ถดถอยเชิงส่วน (Partial Regression Coefficient) โดยที่ค่า β_1 เป็นค่าที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตาม Y เมื่อตัวแปรอิสระเช่น ถ้า X เปลี่ยนไป 1 หน่วย ค่า Y จะเปลี่ยนไป β_1 หน่วย โดยที่ $X_1, X_2, \dots, X_k$ คงที่

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุรพล ทองไชย [8] ได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีซึ่งมีค่าสีความสว่าง(L) * ค่าสี แดง(a)* และค่าสีน้ำเงิน(b)* เพื่อนำมาใช้ในการปรับตั้งค่าของตัวแปรกระบวนการผลิตพีวีซีคอมปาดันด้วยเครื่องอัดรีดพลาสติก โดยใช้แนวทางการออกแบบการทดลอง วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยคือการเลือกปัจจัยในกระบวนการผลิตเม็ดพีวีซีชนิดเม็ดที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี และหาความสัมพันธ์ของตัวแปรควบคุมใช้ในการปรับตั้งที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ค่าสีตามมาตรฐาน ซึ่งจากการสำรวจสภาพปัจจุบันพบว่ากระบวนการผลิตปัจจุบันมีของเสียที่เกิดจากการออกนอกตัวมาตรฐานอยู่ที่ 0.377 เปอร์เซนต์ ดังนั้นจึงได้ดำเนินการวิเคราะห์หาปัจจัยในกระบวนการผลิตเม็ดพีวีซี พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงต่อค่าสีได้แก่ อุณหภูมิของสกรู ความเร็วรอบของ สกรู บด และความเร็วของสกรูป้อน ได้นำปัจจัยมาทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์และช่วงค่าปรับตั้งที่เหมาะสมโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองซึ่งจากผลการทดลองได้ช่วงปรับตั้งค่าที่เหมาะสมคือ อุณหภูมิของการบอกสกรูมีค่าตั้งแต่ 182 ถึง 188 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของ สกรูบดมีค่าตั้งแต่ 150 ถึง 178 รอบต่อนาที และค่าเร็วรอบของสกรูป้อนมีค่าตั้งแต่ 30 ถึง 39 รอบต่อนาที จากการเสนอแนวทางในการควบคุมปัจจัยป้อนเข้าสามารถลดของเสียของลักษณะสีจาก 0.377 เปอร์เซนต์ เหลือ 0.173 เปอร์เซนต์

เสกสรรค์ เพชรชนลาก [9] ได้ทำการศึกษาเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมของเครื่องเจียรไนไร้ศูนย์ที่มีประสิทธิภาพการทำงานต่ำที่สุด โดยได้วิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมของเครื่องจักรผ่านความสูญเสียด้านความพร้อม ความสูญเสียด้านสมรรถนะ และความสูญเสียด้านคุณภาพ จากการศึกษาพบว่าเกิดความสูญเสียด้านความพร้อมสูงที่สุด โดยเกิดจากการปรับตั้งเครื่องจักรมากที่สุดเฉลี่ย 6,600 นาทีต่อเดือน จึงได้ปรับปรุงวิธีการปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อลดเวลาสูญเสียด้านความพร้อมในการทำงานของเครื่องเจียรไนไร้ศูนย์ โดยแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 2 ส่วนคือ การปรับปรุงขั้นตอนการปรับตั้งเครื่องจักร และแก้ไขปัญหาเหตุขัดข้องที่เกิดขึ้นกับระบบไฮดรอลิก ซึ่งมีความสัมพันธ์กับเวลาตั้งเครื่อง จากการศึกษาขั้นตอนการตั้งเครื่องพบว่าปัญหาหลักที่เกิดขึ้นได้แก่ การกริดล้อยินนานจากการทำซ้ำ การปรับตั้งไม่ต่อเนื่องและการรั่วซึมของน้ำมันไฮดรอลิก โดยปัญหาดังกล่าวเป็นปัญหาด้านการบริหารจัดการ ผลจากการปรับปรุงทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 9.42 โดยสามารถลดเวลาในการปรับตั้งในสายการผลิตได้ 52 นาที 30

วินาที สภาพความพร้อมในการทำงานของเครื่องจักรเพิ่มขึ้นค่าเฉลี่ยร้อยละ 11.7

ชาณวิทย์ สุคนธสิงห์ [10] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของเงื่อนไขต่างๆ สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในกระบวนการเจียรไน โดยมีการศึกษาเงื่อนไขสำหรับกระบวนการเจียรไน เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อรอบระยะเวลาในการผลิตและความหยาบของผิวชิ้นงานอย่างเห็นได้ชัด ในการวิจัยงานครั้งนี้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลและเทคนิคการวิเคราะห์แบบ ANOVA ถูกนำมาประยุกต์การปฏิบัติทดสอบการวิเคราะห์เพื่อหาความเหมาะสมของค่าที่เกิดขึ้นจากผลการทดลองพบว่าค่าปัจจัยที่หาได้ดังต่อไปนี้จำนวนครั้งในการสั่นหินเจียรไนในขณะการตัดหยาบ 80 ครั้ง จำนวนครั้งในการสั่นหินเจียรไนขณะจบ 2 ครั้ง ความเร็วรอบของหินเจียรไนในขณะการตัดหยาบ 1600 รอบต่อนาที ความเร็วของรอบหินเจียรไนขณะจบ 140 รอบต่อนาที แรงกดของหินเจียรไน 4 MPa ความเร็วรอบของชิ้นงานในขณะตัดหยาบ 1,400 รอบต่อนาที และความเร็วรอบของชิ้นงานในขณะจบ 1,800 รอบต่อนาที จะส่งผลให้มีความสามารถในการผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 20.39 ลดรอบระยะเวลาในการเจียรไนลดลงร้อยละ 16.94 และช่วยทำให้ผิวเรียบดีขึ้นร้อยละ 6.1

นวลลออ พรหมเรืองรอง [7] ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนสีของแผ่นอลูมินาซับสเตรทเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญสำหรับการผลิต ประสิทธิภาพของการกระบวนการดังกล่าวขึ้นอยู่กับ 5 ปัจจัยดังนี้ความเร็วสายพาน ความแรงของลมร้อน อุณหภูมิระดับความโค้งงอของแผ่นอลูมินาซับสเตรท และจำนวนของการวางงานใส่ในแมกกาซีน หากมีการปรับตั้งค่าของเครื่องไม่เหมาะสมอาจจะส่งผลให้เกิดการแตกร้าวของแผ่นงาน ในปัจจุบันนี้การตั้งค่าของเครื่องพ่นงานสีแดงจะถูกปรับตั้งโดยประสบการณ์ของพนักงานซึ่งอาจส่งผลทำให้ไม่ได้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องจักร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกระบวนการเปลี่ยนสีของแผ่นอลูมินาซับสเตรท โดยมีขั้นตอนการวิจัยดังนี้เริ่มจากการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2^5 จำนวน 2 การทำซ้ำ เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับผลตอบ (F&T) เนื่องจากโดยปกติการกระจายตัวของของเสียมีลักษณะเป็นแบบไบโนเมียล ซึ่งมีผลต่อสมมุติฐานของความแปรปรวนของส่วนตกค้างที่จะไม่คงที่ดังนั้นจึงมีการแปลงผลตอบโดยใช้วิธีของ F&T การวิเคราะห์ส่วนตกค้างจึงถูกนำมาวิเคราะห์ความเพียงพอของแบบจำลองซึ่งพบว่า การใช้ผลตอบแบบ F&T เป็นไปตามสมมุติฐานทั้ง 3 ข้อของการออกแบบการทดลองหลังจากนั้นจึงทำการปรับปรุงแบบจำลองและใช้ฟังก์ชันความพึงพอใจเพื่อระบุหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งเงื่อนไขดังกล่าว คือ ระดับความโค้งงอที่ 80 ไมครอน และระดับสูงสุดของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีผลทำให้สามารถลดการแตกร้าวจากร้อยละ 2.11 เป็นร้อยละ 1.44 ทำให้สามารถลดต้นทุนลงได้ 111,110 บาทต่อเดือน จากผลการเปลี่ยนเงื่อนไขของเครื่องพ่นงานสีแดงสำหรับแผ่นอลูมินาซับสเตรท

อรรณพ พรณบัวหลวง [11] ได้ทำการศึกษาการออกแบบการทดลองแบบผสมไปใช้เพื่อค้นหาส่วนผสมที่ดีที่สุดของทินเนอร์สำหรับผสมสีพ่นรถยนต์แห้งเร็วในโตรลูโลสเพื่อให้ได้ทินเนอร์สำหรับผสมสีพ่นรถยนต์แห้งเร็วในโตรลูโลสที่สามารถทำละลายสีได้อย่างดีที่สุด ทำให้สีแห้งเร็วและมีราคาต้นทุนต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เป็นการทดลองเพื่อหาค่าสัดส่วนของส่วนผสมแต่ละอย่างที่จะทำให้ทินเนอร์สำหรับผสมสีพ่นรถยนต์แห้งเร็วในโตรลูโลสมีคุณภาพดีที่สุด และผลการวิจัยพบว่าเมื่อผสมสีพ่นรถยนต์แห้งเร็วในโตรลูโลสใช้สัดส่วน โทลูอิน เมทิลเอธิลคีโตน อะซิโตนและเมทานอล ตามลำดับแล้ว จะได้ทินเนอร์สำหรับผสมสีพ่นรถยนต์แห้งเร็วในโตรลูโลสที่ใช้ระยะเวลาในการทำละลายโดยเฉลี่ย 9.30 นาที ด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.51 นาที โดยมีราคาต้นทุนที่ต่ำที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ และหลังการพ่นสีแล้วยังคงเรียบเงางามอีกด้วย นอกจากนี้ยังสามารถทำนายคุณภาพและราคาของทินเนอร์สำหรับผสมสีพ่นรถยนต์แห้งเร็วในโตรลูโลสได้จากสมการถดถอย ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงส่วนผสม