

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการทดลองแต่ละครั้งผู้ทดลองจำเป็นต้องเลือกแผนการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองที่เหมาะสม เพื่อจะได้นำผลการทดลองไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งกลยุทธ์ของการทดลองนั้นมีหลายรูปแบบซึ่งแต่ละรูปแบบมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ในบทนี้จะนำเสนอกลยุทธ์ในแบบต่างๆ ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง ตลอดจนการวิเคราะห์ข้อมูลตามหลักการทางสถิติที่จำเป็นต่อการออกแบบการทดลอง และได้อธิบายถึงแผนการทดลองในการออกแบบการทดลองในหลายรูปแบบพอสังเขป ในตอนท้ายจะเป็นการสำรวจงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 กลยุทธ์ของการทดลอง

การทดลองถูกสร้างขึ้นโดยผู้ทดลอง ซึ่งมาจากหลายสาขาอาชีพที่ต้องการค้นหาคำตอบจากกระบวนการหรือระบบที่ผู้ทดลองมีความสนใจ การทดลองในที่นี้อาจหมายถึงการทดสอบหรือชุดของการทดสอบที่คาดหมายว่าเมื่อเปลี่ยนตัวแปรป้อนข้อมูลเข้าของกระบวนการ หรือระบบจะเป็นผลให้ตัวแปรตอบสนองมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ในงานทางด้านวิศวกรรมการทดลองมีบทบาทสำคัญในการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ การพัฒนากรรมวิธีการผลิตของกระบวนการและการปรับปรุงกระบวนการผลิต บางกรณีอาจต้องการพัฒนากระบวนการที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจากแหล่งภายนอกกระบวนการจะมีผลกระทบไม่มากต่อกระบวนการ (Robust Design)

ตัวอย่างของการทดลอง เช่น ในงานวัสดุวิศวกรรมมีความสนใจที่จะศึกษาความแตกต่างของกระบวนการชุบแข็งสองกระบวนการ คือ กระบวนการชุบแข็งด้วยน้ำมันและกระบวนการชุบแข็งด้วยน้ำเกลือของโลหะผสมชนิดหนึ่ง วัตถุประสงค์ของการทดลอง คือ การหาว่าของเหลวชนิดใดให้ค่าความแข็งแรงสูงสุดสำหรับโลหะผสมชนิดนั้น วิศวกรกำหนดจำนวนของชิ้นงานทดสอบสำหรับตัวกลางในการชุบแข็งแต่ละประเภท และทำการวัดค่าความแข็งแรงหลังการชุบแข็งแล้วค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงของชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งในของเหลวแต่ละนี้ จะช่วยทำให้ได้ของเหลวที่ดีที่สุดที่ใช้ในการชุบแข็งโลหะผสมชนิดนี้

จากการทดลองที่กล่าวข้างต้นเราอาจมีคำถามที่มีความสำคัญเกิดขึ้น เช่น

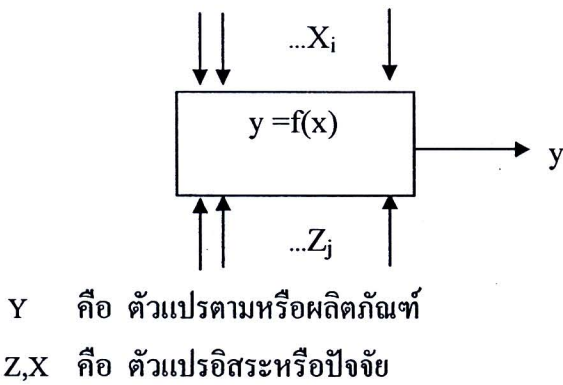
- (1) มีของเหลวเพียง 2 ชนิดนี้หรือที่มีผลต่อกระบวนการชุบแข็งนี้

- (2) มีปัจจัยอื่นๆ อีกหรือไม่ที่อาจจะมีผลกระทบต่อความแข็งแรงของโลหะผสม
- (3) จำนวนชิ้นงานเท่าไรที่ควรใช้ในการทดสอบในแต่ละของเหลว
- (4) ลำดับในการทดลองควรเป็นอย่างไร
- (5) การวิเคราะห์ข้อมูลควรใช้วิธีการอะไร
- (6) ความแตกต่างของความแข็งแรงระหว่างการใช้ตัวกลางสองชนิดนี้ เท่าไรจึงถือว่ามีความสำคัญ

นัยสำคัญ

คำถามทั้งหมดข้างต้นหรือคำถามอื่นๆ จะต้องมีคำตอบที่น่าพอใจก่อนที่การทดลองจะเริ่มขึ้น นั่นคือในการวางแผนการทดลองต้องพิจารณาถึงขั้นตอนในการทำการทดลองทุกขั้นตอน และมีการเตรียมการอย่างมีระบบจึงจะทำให้การทดลองนั้นมีความน่าเชื่อถือได้

จากการทดลองการชุบแข็งข้างต้น ถ้าการทดลองการชุบในน้ำมันใช้ความร้อนค่าหนึ่ง แต่การทดลองชุบแข็งในน้ำเกลือใช้ความร้อนอีกค่าหนึ่ง เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงวิศวกรไม่สามารถบอกได้ว่าผลการใช้ของเหลวในการชุบแข็งมีค่าความแข็งแรงต่างกันเท่าไร และผลของการใช้ความร้อนมีค่าความแข็งแรงต่างกันเท่าไร ดังนั้นวิธีการเก็บข้อมูลจะมีผลต่อการสรุปผลของการทดลองด้วย



Y คือ ตัวแปรตามหรือผลิตภัณฑ์
Z,X คือ ตัวแปรอิสระหรือปัจจัย

ภาพที่ 2.1 แสดงถึงรูปแบบของกระบวนการหรือระบบ

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

- ซึ่ง
- μ คือ ค่าเฉลี่ย
 - τ_i คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย
 - ϵ_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อน

โดยทั่วไปการทดลองถูกใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการหรือระบบ (Process or System) ภาพที่ 2.1 แสดงถึงรูปแบบของกระบวนการหรือระบบ ส่วนใหญ่เราสามารถมองเห็นภาพของกระบวนการเป็นการร่วมกันของเครื่องจักร วิธีการ คน และทรัพยากรอื่นๆ เมื่อมีสิ่งป้อนเข้า (Input) ผู้กระบวนการจะถูกเปลี่ยนรูปจนออกมาได้เป็นผลลัพธ์ (Output) ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวอาจมีได้ตั้งแต่หนึ่งค่าหรือมากกว่าหนึ่งค่า

จากภาพที่ 2.1 จะเห็นว่ากระบวนการยังประกอบด้วยปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) คือ $X_1, X_2, \dots, X_p$ และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) คือ $Z_1, Z_2, \dots, Z_q$

ปัจจัย (Factor) ในกระบวนการผลิตสามารถแบ่งปัจจัยออกเป็น 2 ประเภท คือ

(1) ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในกระบวนการ ซึ่งเป็นผลดีต่อการทดลองเพราะโดยส่วนใหญ่ผู้ทำการทดลองต้องการกำหนดค่าต่างๆ ที่คิดว่ามีผลต่อค่าตอบสนองที่สนใจ

(2) ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในกระบวนการ อันเนื่องมาจากเทคโนโลยีไม่ทันสมัยพอ ต้นทุนในการควบคุมสูงมาก หรือมีความรู้ไม่เพียงพอ ฯลฯ ซึ่งอาจเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการอย่างมาก ผู้ทำการทดลองควรพยายามกำจัดปัจจัยลักษณะนี้ เพื่อให้เปลี่ยนเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้จึงจะเป็นประโยชน์ต่อการทดลอง

วัตถุประสงค์ของการทดลองอาจมีหัวข้อดังนี้

- (1) หาค่าตัวแปรที่มีผลต่อค่าตอบสนอง y มากที่สุด
- (2) กำหนดค่า x ที่ทำให้ค่า y ใกล้เคียงค่าที่ต้องการ
- (3) กำหนดค่า x ที่ทำให้ค่า y มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด
- (4) กำหนดค่า x ที่ทำให้ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) $Z_1, Z_2, \dots, Z_q$

มีผลน้อยมาก

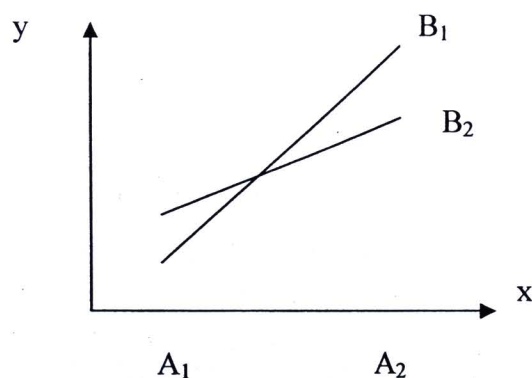
กลยุทธ์ที่ใช้ในการทดลองพอสรุปได้ดังนี้

2.1.1.1 การคาดคะเนที่ดีที่สุด (Best-Guess Approach) เป็นการทดลองที่ลองปรับค่าของตัวแปรที่ควบคุมได้ตามความเชื่อหรือประสบการณ์ของผู้ทดลอง และพิจารณาค่าของตัวแปรตอบสนองที่ออกมาว่าได้ผลตามที่คาดคะเนไว้หรือไม่ การปรับค่าของตัวแปรที่ควบคุมได้ครั้งต่อไปจะพิจารณาจากผลการทดลองครั้งที่ผ่านมา แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีข้อเสียอยู่ 2 ประการ คือ

- (1) การทดลองครั้งแรกจะไม่ได้ผลตอบสนองที่ต้องการ อาจต้องทำการทดลองหลายๆ ครั้งจึงจะได้ผลตอบสนองที่ต้องการ
- (2) ถึงแม้การทดลองครั้งแรกจะได้ผลตอบสนองตามที่ต้องการ แต่ก็ไม่ได้ยืนยันว่าจะได้ผลตอบสนองที่ดีที่สุด

2.1.1.2 การพิจารณาครั้งละปัจจัย (One – Factor – at – a – Time) การทดลองลักษณะนี้จะกำหนดปัจจัยที่พิจารณาก่อน และกำหนดระดับพื้นฐาน (Baseline) ของแต่ละปัจจัย การทดลองจะทำการพิจารณาครั้งละปัจจัยโดยปัจจัยที่ถูกเลือกนั้นปรับค่าไปให้ครบทุกระดับ ขณะที่ปัจจัยอื่นกำหนดให้คงที่ ณ ระดับพื้นฐานทั้งหมด เมื่อทำการทดลองในปัจจัยแรกเสร็จก็จะเปลี่ยนไปทำการทดลองกับปัจจัยอื่นต่อไปจนครบทุกปัจจัยข้อเสียของวิธีนี้ คือ อิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction) จะไม่ถูกนำมาพิจารณาด้วย ซึ่งปัจจัยร่วมนี้แสดงดังภาพที่ 2.2 เมื่อปรับปัจจัย A จาก A_1 เป็น A_2 จะทำให้ค่า y เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามจะขึ้นอยู่กับว่าปัจจัย B นั้นอยู่ในระดับ B_1 หรือ B_2 จะทำให้ค่า y ไม่เท่ากันฉะนั้นในการทดลองจึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยร่วมด้วย

2.1.1.3 การทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial Design) การทดลองแบบนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยต่างๆ ไปพร้อมๆ กันทุกปัจจัย เช่น ปัจจัย A มีสองระดับ และปัจจัย B มีสามระดับจะทำให้ต้องมีการทำการทดลองทั้งหมด 2×3 เท่ากับ 6 ครั้ง การทดลองแบบแฟกทอเรียลจะพิจารณาถึงอิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction) ด้วยซึ่งนับว่าเป็นข้อดีของวิธีนี้ การทดลองแบบนี้ยังแบ่งย่อยเป็นการทดลองอีกหลายแบบ ดังจะได้กล่าวต่อไป



ภาพที่ 2.2 แสดงอิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction)

2.1.2 การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองเป็นเครื่องมือสำคัญในระบบงานด้านวิศวกรรม สำหรับการเพิ่มสมรรถนะของกรรมวิธีการผลิตของกระบวนการ ซึ่งมักจะทำให้เกิดการพัฒนาในกระบวนการใหม่ การประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองในการพัฒนากระบวนการสามารถพิจารณาในรูปแบบต่อไปนี้

- (1) การเพิ่มผลผลิตของกระบวนการ
- (2) ลดการผันแปรของกระบวนการและกระบวนการมีค่าใกล้เคียงกับเป้าหมายที่ต้องการ
- (3) ลดเวลาที่ต้องใช้ในการพัฒนา
- (4) ลดต้นทุนโดยรวมของกระบวนการ

วิธีการออกแบบการทดลองมีบทบาทอย่างมาก ในการออกแบบทางวิศวกรรมทำให้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ออกมา การประยุกต์การออกแบบการทดลองในการออกแบบทางวิศวกรรมจะรวมถึงดังต่อไปนี้

- (1) การประเมินและเปรียบเทียบของพื้นฐานการออกแบบ
- (2) การประเมินทางเลือกของวัสดุ
- (3) เลือกพารามิเตอร์ของการออกแบบที่เมื่อพารามิเตอร์นั้นที่การเปลี่ยนแปลงจะไม่มีผล กระทบต่อผลิตภัณฑ์
- (4) หาพารามิเตอร์ในการออกแบบที่มีผลต่อสมรรถภาพของผลิตภัณฑ์

การใช้การออกแบบการทดลองในลักษณะนี้ สามารถส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ คือ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีกรรมวิธีที่ง่ายกว่า มีความน่าเชื่อถือกว่า มีต้นทุนการผลิตต่ำกว่า และระยะเวลาในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่สั้นกว่า

2.1.4 การทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design)

การออกแบบการทดลองเป็นกระบวนการวางแผนของการทดลองซึ่งข้อมูลในการทดลองนั้นจะถูกวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ จนกระทั่งได้ข้อสรุปของวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หลักการทางสถิติถูกนำมาใช้ในการออกแบบการทดลองเพื่อทำความเข้าใจในข้อมูล และหาผลสรุปออกมานั้นเองหลักในการออกแบบการทดลองมีดังนี้

2.1.4.1 การทำซ้ำ (Replication)

การทำซ้ำ (Replication) คือ การทำการทดลองซ้ำในแต่ละข้อมูล เพื่อกำจัดผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ออกไป การทำซ้ำมีความสำคัญ 2 ประการ คือ เพื่อการประมาณค่าความผิดพลาดของการทดลอง (Experimental Error) และเพื่อการประมาณค่าเฉลี่ยนั้นมีความมั่นใจมากขึ้น

2.1.4.2 การทำแบบสุ่ม (Randomization)

การทำแบบสุ่ม (Randomization) คือ การให้โอกาสในการเก็บข้อมูลของข้อมูลแต่ละตัวให้เท่ากัน เพื่อกระจายผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ให้กับข้อมูลทุกระดับในการทดลองให้เท่าๆ กัน การทำแบบสุ่มสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธีดังนี้

- (1) การทำแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomization)
- (2) การทำแบบสุ่มอย่างง่าย (Simple Randomization)

(3) การทำแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (Complete Randomization within Blocks)

2.1.4.3 การบล็อก (Blocking)

การบล็อก (Blocking) คือ การจัดกลุ่มทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วง เพื่อลดผลจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ทำให้การทดลองนั้นมีความเที่ยงตรงมากขึ้น การบล็อกส่วนใหญ่เกิดขึ้นกับวัสดุที่ใช้ในการทดลองนั้นไม่มีความสม่ำเสมอ จึงจำเป็นต้องแยกเอาผลของวัสดุที่แตกต่างออกไปจะสนใจผลการทดลองที่เกิดขึ้นแต่ละบล็อกเท่านั้น

คำจำกัดความ (Definition)

- ปัจจัย (Factor) หมายถึง สิ่งที่มีความสัมพันธ์ต่อตัวแปรตอบสนอง และนำมาพิจารณาในการทดลอง ปัจจัยอาจมีลักษณะเชิงคุณภาพหรือเชิงปริมาณก็ได้ เช่น การทดลองการชุบแข็งเหล็กด้วยน้ำมันจะใช้ชนิดของน้ำมันและอุณหภูมิในการชุบแข็งเป็นปัจจัยในการทดลอง ในที่นี้ชนิดของน้ำมันจะมีลักษณะเป็นเชิงคุณภาพ แต่อุณหภูมิมีลักษณะเป็นเชิงปริมาณ
- อิทธิพลหรือผล (Effect) หมายถึง ผลของตัวแปรต้นที่มีตัวแปรตาม ในการทดลองอาจพิจารณาอิทธิพลที่เกิดขึ้นได้หลายตัว
- ระดับปัจจัย (Level of Factor) สภาวะต่างๆ ของปัจจัยหนึ่งที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งในทุกๆ ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองจำเป็นต้องมีระดับของปัจจัยอย่างน้อยสองปัจจัย
- ปัจจัยรบกวน (Noise Factor) หมายถึง ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองน้อยมาก และเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้

2.1.5 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

การใช้หลักการทางสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองเป็นสิ่งจำเป็น ผู้ทำการทดลองต้องมีความเข้าใจวิธีการในการเก็บข้อมูลตลอดจนการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มา

2.1.5.1 การกำหนดปัญหา

เป็นการระบุว่าความต้องการในกระบวนการคืออะไร หรือต้องการรู้อะไรจากกระบวนการ ซึ่งเมื่อกำหนดปัญหาได้แล้วก็จะใช้เป็นวัตถุประสงค์ของการทดลอง บ่อยครั้งที่การกำหนดปัญหาใช้รูปแบบของกลุ่มโดยการรวมกันของหลายฝ่าย เช่น วิศวกร ฝ่ายประกันคุณภาพ ฝ่ายผลิต ฝ่ายการตลาด ผู้บริหาร ลูกค้า และพนักงานฝ่ายผลิต เป็นต้น

2.1.5.2 การเลือกปัจจัยที่มีอิทธิพล ระดับของปัจจัยและเรนจ์ (Ranges)

ขั้นตอนนี้จำเป็นต้องใช้หลักการทางทฤษฎี ประสบการณ์ที่ได้เรียนรู้จากการทำงานในกระบวนการ และการทดลองที่ได้ทำมาแล้วในอดีตเพื่อพิจารณาว่าปัจจัยใดบ้างที่ควรนำมาใช้ในการทดลอง และในแต่ละปัจจัยควรมีช่วง (Ranges) ในการทดลองเท่าไร เพื่อระบุระดับของปัจจัย



ในการทดลอง ซึ่งระดับของปัจจัยนั้นอาจเป็นค่าเชิงปริมาณหรือเชิงคุณภาพก็ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่
ถูกเลือกในการทดลอง

การกำหนดระดับของปัจจัยสามารถแบ่งเป็น 3 แบบ ดังนี้

(1) แบบกำหนดตายตัว (Fixed Levels) หมายถึง การกำหนดระดับของปัจจัยที่
สามารถควบคุมได้คงที่แน่นอน โดยผู้ทดลองจะต้องกำหนดระดับของปัจจัยขึ้นเอง

(2) แบบสุ่ม (Random Levels) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่า
ได้แน่นอน ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะเป็นตัวแทนของปัจจัย มิได้เป็นตัวแทนของระดับใดระดับหนึ่ง

(3) แบบสุ่ม (Mixed Levels) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่เกิดจากแบบกำหนด
ตายตัวและสุ่มรวมกัน

2.1.5.3 การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response Variables)

ในการเลือกตัวแปรตอบสนอง ผู้ทำการทดลองจะต้องมั่นใจว่าเลือกตัวแปรที่
สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อกระบวนการที่ทำการศึกษา ค่าเฉลี่ยหรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ของค่าวัดจะใช้เป็นตัวแปรตอบสนอง โดยทั่วไปจะเก็บข้อมูลของตัวแปรตอบสนองเพียงค่าเดียวแต่
ก็มีบางการทดลองที่ทำการวัดค่าตัวแปรตอบสนองหลายค่า การวัดค่าจะต้องมีความแม่นยำรวมทั้ง
ความถูกต้องของเครื่องมือวัดด้วย

2.1.5.4 การเลือกแบบการทดลอง

จะต้องพิจารณาถึงขนาดของข้อมูลหรือจำนวนที่ใช้ในการทำซ้ำ (Replicate) ความ
เหมาะสมของระดับในการทดลอง ข้อจำกัดในการสุ่ม (Randomization) และการบล็อก (Blocking)
ที่จำเป็นทั้งนี้ต้องนำมาเกี่ยวข้องโยงกันในด้านความเสี่ยง และต้นทุนที่ใช้ในการทดลอง

2.1.5.5 ดำเนินการทดลอง

เมื่อทำการทดลอง ต้องทำการตรวจสอบการทดลองอย่างระมัดระวัง ว่ามีการ
ดำเนินการตามที่วางแผนไว้ ข้อควรระวังในขณะทำการทดลอง คือ ความถูกต้องของกระบวนการ
เครื่องมือวัด และความสม่ำเสมอในการทดลอง เพื่อให้เกิดความผิดพลาด (Error) น้อยที่สุดเพราะ
ความผิดพลาดในขั้นตอนนี้มักจะทำการทดลองล้มเหลวได้

2.5.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

หลักการทางสถิติถูกนำมาในการวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการทดลอง การวิเคราะห์
ข้อมูลอาจใช้ซอฟต์แวร์ (Software) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ด้วย ซึ่งปัจจุบันมีซอฟต์แวร์อยู่หลาย
ประเภทที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้ วิธีการถูกนำมาใช้อย่างได้ผล คือ กราฟอย่างง่าย โดย
ช่วยในการวิเคราะห์และตีความข้อมูลจากการทดลอง การตรวจสอบความเพียงพอของโมเดล
(Model Adequacy Checking) เป็นสิ่งที่จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์เพื่อหาความเชื่อมั่นของข้อมูลที่เกิดขึ้น



มาจากการทดลอง พึงจำไว้ว่าวิธีการทางสถิติไม่สามารถพิสูจน์ได้ว่าปัจจัยใดมีอิทธิพล (Effect) ได้นั่นเอง เพียงแต่เป็นเครื่องมือที่ให้แนวทางในการวิเคราะห์ภายใต้ความเชื่อมั่น โดยระบุเป็นเปอร์เซ็นต์ในการสรุปผลการทดลอง แต่อย่างไรก็ดีการใช้หลักการทางสถิติช่วยให้การตัดสินใจเป็นนามธรรมมากขึ้น

2.1.5.7 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

เมื่อข้อมูลถูกวิเคราะห์จะต้องสรุปผลของการวิเคราะห์ซึ่งอาจแสดงในรูปแบบกราฟ ตาราง แผนภูมิ ฯลฯ ตลอดจนให้ข้อเสนอแนะจากการทดลอง เมื่อสรุปผลแล้วควรมีการทดสอบเพื่อยืนยันผลจากการทดลองอีกครั้งหนึ่ง

2.1.6 การใช้หลักการทางสถิติในการทดลอง

การใช้หลักการทางสถิติในการทดลองนั้นผู้ทำการทดลองต้องมีความเข้าใจประเด็นต่างๆ

(1) ใช้ความรู้ที่ไม่ใช่วิธีการทางสถิติในการพิจารณาปัญหาที่เกิดขึ้น ผู้ทำการทดลองต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับงานในสาขาที่ทำการทดลอง

(2) เลือกการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ที่ง่ายและไม่สับสน

(3) เข้าใจถึงความแตกต่างระหว่างนัยสำคัญในทางปฏิบัติและนัยสำคัญทางสถิติ เพราะว่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในการทดลองซึ่งเรียกว่าความแตกต่างทางด้านสถิตินั้นไม่สามารถประกันได้ว่าจะมีความแตกต่างมากเพียงพอที่จะใช้ในทางปฏิบัติจะต้องคำนึงต้นทุนว่าคุ้มค่าในการลงทุนหรือไม่

(4) ควรทำการทดลองซ้ำๆ หลายครั้งเพื่อให้มั่นใจว่าผลที่ได้ถูกต้อง

2.1.7 การตั้งสมมติฐานในการตรวจสอบ (Hypothesis Testing)

2.1.7.1 ความหมายของสมมติฐานทางสถิติ

สมมติฐาน คือ ความเชื่อของบุคคลใดบุคคลหนึ่งหรือของกลุ่มบุคคลใดๆ หรืออาจกล่าวได้ว่าสมมติฐานเป็นสิ่งที่บุคคลหรือองค์กรคาดว่าเกิดขึ้น ความเชื่อหรือสิ่งที่คาดนั้นอาจเป็นจริงหรือไม่ก็ได้

2.1.7.2 การตั้งสมมติฐานทางสถิติ

การทดสอบสมมติฐานโดยการเก็บข้อมูลจากการทดลองเพื่อสรุปว่าสมมติฐานนั้นจริงหรือไม่ สิ่งสำคัญที่สุดคือการตั้งสมมติฐานเพื่อการทดสอบ ซึ่งจะต้องประกอบด้วยสมมติฐาน 2 ชนิด ทุกครั้งของการทดลองคือ

(1) สมมติฐานว่าง (Null Hypothesis) ใช้สัญลักษณ์ H_0

(2) สมมติฐานแย้ง (Alternative Hypothesis) ใช้สัญลักษณ์ H_1 และสมมติฐาน H_0 และ H_1 จะอยู่ในทิศทางที่ตรงกันข้ามเสมอ เช่น

H_0 : ระดับของปัจจัยไม่มีความแตกต่างกัน

H_1 : ระดับของปัจจัยมีความแตกต่างกัน

2.1.7.3 หลักเกณฑ์ในการตั้งสมมติฐาน

ถ้าสิ่งที่คาดหมายไว้มีเครื่องหมายเท่ากับอยู่ด้วยให้ไว้ใน H_0 และสมมติฐาน H_1 จะอยู่ในทิศทางตรงกันข้ามกับ H_0 เสมอ แต่ถ้าสิ่งที่คาดไว้ไม่มีเครื่องหมายเท่ากับให้ใส่ไว้ใน H_1 และใน H_0 อยู่ในทิศทางตรงกันข้าม เหตุที่นำสิ่งที่ไม่มีเครื่องหมายเท่ากับอยู่ใน H_0 เนื่องจากจะมีการนำค่าที่เท่ากับนั้นไปคำนวณหาค่าสถิติทดสอบเพื่อสรุปผลว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธ H_0

2.1.7.4 ความผิดพลาดในการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ ความผิดพลาดแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

(1) ความผิดพลาดประเภทที่ 1 (Type I Error) เป็นความผิดพลาดเนื่องจากไม่ยอมรับ H_0 เป็นจริง และมักจะเรียกความผิดพลาดนี้ว่า “ระดับนัยสำคัญ” (Level of Significance) และใช้สัญลักษณ์ α โดยที่ $\alpha = P(\text{ปฏิเสธ } H_0 \text{ โดยที่ } H_0 \text{ เป็นจริง})$

(2) ความผิดพลาดประเภทที่ 2 (Type II Error) เป็นความผิดพลาดเนื่องจากยอมรับ H_0 โดยที่ H_0 ไม่เป็นจริงและใช้สัญลักษณ์ β โดยที่ $\beta = P(\text{ยอมรับ } H_0 \text{ โดยที่ } H_0 \text{ ไม่เป็นจริง})$

ในการทดสอบสมมติฐานแต่ละครั้ง ผู้ทดลองย่อมต้องการที่จะให้มีความผิดพลาดทั้ง 2 ประเภท (α และ β) น้อยที่สุดแต่ถ้าลด α จะทำให้ β เพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกันถ้าลด β จะทำให้ α เพิ่มขึ้น การที่จะลดทั้งค่า α และ β จำเป็นต้องเพิ่มขนาดของตัวอย่าง (Sample Size) ให้มากขึ้น

การตั้งสมมติฐานในการออกแบบการทดลองจะแบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ

(1) กรณีทดลองเป็นรูปแบบกำหนดตายตัว (Fixed Effects Model) จะทำการตรวจสอบว่าปัจจัยต่างๆ มีผลกระทบต่อกระบวนการหรือไม่ สามารถตั้งสมมติฐานได้ดังนี้

H_0 : ปัจจัยไม่มีผลต่อกระบวนการ

H_1 : ปัจจัยมีผลต่อกระบวนการ

หรือสามารถเขียนอยู่ในรูปสัญลักษณ์ μ เมื่อ μ คือค่าเฉลี่ยของปัจจัย

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_a$

$H_1 : \mu_i \neq \mu_j$; อย่างน้อยที่สุดหนึ่งคู่ (i, j)

หรือสามารถเขียนอยู่ในรูปสัญลักษณ์ τ เมื่อ τ คืออิทธิพลของปัจจัย (Treatment Effect)

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$

$H_1 : \tau_i \neq 0$; อย่างน้อยที่สุดหนึ่งคู่ i

(2) กรณีการทดลองเป็นแบบสุ่ม (Random Effects Model)

จะทำการตรวจสอบว่า ความแปรปรวนจะมีค่าเท่ากับ 0 หรือไม่ เพราะไม่สามารถหาค่าของอิทธิพล (Effect) ของระดับของปัจจัยที่เกิดขึ้นได้แน่นอน สามารถตั้งสมมติฐานได้ดังนี้

$$H_0 : \sigma_r^2 = 0$$

$$H_1 : \sigma_r^2 > 0$$

(3) กรณีการทดลองเป็นรูปแบบผสม (Mixed Model) เมื่อปัจจัยในการทดลองมีลักษณะเป็นแบบกำหนดตายตัว (Fixed Levels) และแบบสุ่ม (Random Levels) รวมกันอยู่จะต้องใช้การตั้งสมมติฐานของ 2 กรณีที่กล่าวข้างต้นโดยแยกตามลักษณะรูปแบบของปัจจัยนั้นๆ

2.1.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนจะทำให้สามารถทราบว่ามีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองหลักเกณฑ์สำคัญที่ใช้ในการทดสอบ คือ การแยกความแปรปรวนทั้งหมดของข้อมูลออกตามสาเหตุที่ทำให้ข้อมูลแตกต่างกันนั้น คือ แยกความแปรปรวนทั้งหมดของข้อมูลออกเป็น

- (1) ความผันแปร หรือความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์
- (2) ความผันแปร หรือความแตกต่างภายในทรีทเมนต์เดียวกัน

$$\text{ความผันแปรทั้งหมด} = \text{ความผันแปรระหว่างทรีทเมนต์} + \text{ความแปรภายในทรีทเมนต์เดียวกัน}$$

ถ้าความผันแปรระหว่างทรีทเมนต์มีค่ามากเมื่อเทียบกับความผันแปรภายในทรีทเมนต์เดียวกัน แสดงว่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์มากกว่าความแตกต่างภายในทรีทเมนต์เดียวกัน ในกรณีเช่นนี้จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ที่กำหนดว่าค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์เท่ากันหรือสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์อย่างน้อย 1 ทรีทเมนต์ แตกต่างจากทรีทเมนต์อื่น สามารถตีความหมายได้ว่าปัจจัยดังกล่าวนี้มีอิทธิพล (Effect) ต่อกระบวนการหรือมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองที่สนใจนั่นเอง

แต่ถ้าความผันแปรภายในทรีทเมนต์เดียวกัน มีค่ามากกว่าความผันแปรระหว่างทรีทเมนต์ หรือมีค่ามากเมื่อเทียบกับความผันแปรระหว่างทรีทเมนต์ จะทำให้สรุปได้ว่า ค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์ที่ต้องการทดสอบไม่แตกต่างกัน คือ ปฏิเสธ H_1 หรือยอมรับ H_0 นั่นเองซึ่งหมายถึงปัจจัยดังกล่าวไม่มีอิทธิพล (Effect) ต่อกระบวนการ

การวัดความผันแปรหรือความแปรปรวนจากข้อมูลในการทดลองนั้น จะใช้ตัวประมาณค่าของความแปรปรวน (Variance) ที่ดีที่สุด คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Square: MS) โดยที่ค่า MS สามารถคำนวณจาก

$$MS = \frac{SS}{df}$$

เมื่อ SS คือ ผลรวมกำลังสอง (Sum of Square)
และ df คือ ชั้นของความอิสระ (Degree of Freedom)

ความผันแปรทั้งหมด = ความผันแปรระหว่างทรีทเมนต์ + ความผันแปรภายในทรีทเมนต์เดียวกัน

หรือ $SS_T = SS_{Tr} + SS_E$
โดยที่ SS_T = ความผันแปรทั้งหมด
 SS_{Tr} = ความผันแปรระหว่างทรีทเมนต์
 SS_E = ความผันแปรภายในทรีทเมนต์เดียวหรือเรียกว่าผลบวกของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง
 $= SS_T - SS_{Tr}$

สำหรับชั้นของความอิสระ (Degree of Freedom) จะแบ่งออกเป็นสองส่วนเช่นเดียวกันดังนี้

ชั้นของความอิสระทั้งหมด = ชั้นของความอิสระ + ชั้นของความอิสระ
(ระหว่างทรีทเมนต์) (ภายในทรีทเมนต์)

สถิติทดสอบ (Test Statistic) ที่ใช้นำมาเปรียบเทียบค่าความแปรปรวน คือ

$$F = \frac{MS_{Tr}}{MS_E}$$

เมื่อ MS_{Tr} (Mear Square for Treatment) คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองระหว่างทรีทเมนต์
 MS_{Tr} (Mear Square for Error) คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองภายในทรีทเมนต์เดียวกัน

เราจะปฏิเสธ H_0 ก็ต่อเมื่อ $F > F_{\alpha, \nu_1, \nu_2}$

- เมื่อ α คือ ระดับนัยสำคัญ (Significance Level)
- ν_1 คือ ชั้นของความอิสระระหว่างทรีทเมนต์ของปัจจัยนั้น
- ν_2 คือ ชั้นของความอิสระภายในทรีทเมนต์เดียวกัน

2.1.8.1 โมเดลเชิงเส้นทางสถิติ (Linear Statistical Model)

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนนั้นจำเป็นต้องมีการสร้างโมเดลเชิงเส้นขึ้นด้วยซึ่งลักษณะโมเดลเชิงเส้นจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของแผนการทดลองดังจะแสดงตัวอย่างต่อไปนี้

การวิเคราะห์ความแปรปรวนกรณีที่มีปัจจัย 2 ปัจจัย

โมเดลเชิงเส้น :
$$\gamma_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

- โดยที่ I = 1,2,...,a (ระดับของปัจจัย A)
- J = 1,2,...,b (ระดับของปัจจัย B)
- k = 1,2,...,n (จำนวนซ้ำ)
- และ γ_{ijk} คือ ค่าของตัวแปรตอบสนอง
- τ_i คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัยที่ 1
- β_j คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัยที่ 2
- $(\tau\beta)_{ij}$ คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction) ของ τ กับ β
- ε คือ ค่าความผิดพลาด (Random Error)

ข้อมูลจะถูกนำมาคำนวณและใส่ในตารางที่ 2.1 ซึ่งเป็นตารางของการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัย

ตารางที่ 2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัย 2 ปัจจัย (ANOVA TABLE)

แหล่งความ ผันแปร	ผลรวมกำลังสอง (SS)	ขั้นของความ อิสระ (df.)	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (MS)	ค่าสถิติ ทดสอบ (F ₀)
A	$\frac{\sum_{i=1}^a \gamma_{i.}}{bn} - \frac{\gamma_{...}^2}{abn}$	a-1	MS _A	$\frac{MS_A}{MS_E}$
B	$\frac{\sum_{j=1}^b \gamma_{.j}}{an} - \frac{\gamma_{...}^2}{abn}$	b-1	MS _B	$\frac{MS_B}{MS_E}$
A × B	$\frac{\sum_{i=1}^b \sum_{j=1}^a \gamma_{ij}}{n} - \frac{\gamma_{...}^2}{abn} - SS_A - SS_B$	(a-1)(b-1)	MS _{AB}	$\frac{MS_{AB}}{MS_E}$
Error	S _T - S _A - S _B - S _{AB}	ab(n-1)	MS _E	
Total	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^a y_{ijk}^2 - \frac{\gamma_{...}^2}{abn}$	abn-1		

- โดยที่
- A

คือ ปัจจัยที่ 1
- B

คือ ปัจจัยที่ 2
- AB

คือ ปัจจัยร่วมของปัจจัย A กับ B
- SS_A, SS_B, SS_{AB}

คือ ผลรวมกำลังสองของ A, B และ AB ตามลำดับ
- SS_E

คือ ผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน
- MS_A, MS_B, MS_{AB}

คือ กำลังสองเฉลี่ยของปัจจัย A, B และ AB ตามลำดับ
- MS_E

คือ กำลังสองเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อน

การทดสอบสมมติฐานของการทดลอง จะใช้ค่าสถิติทดสอบที่มีการแจกจ่ายแบบเอฟ (F-Distribution) โดยกำหนดค่า α ก่อน หากค่า $F_0 \leq F_{\alpha, \nu_1, \nu_2}$ จะยอมรับ H_0 นั่นคือปัจจัยนั้นไม่มีผลต่อค่าตอบสนองอย่างนัยสำคัญ แต่ถ้าค่าของ $F_0 > F_{\alpha, \nu_1, \nu_2}$ จะปฏิเสธ H_0 นั่นคือปัจจัยนั้นมีผลต่อค่าตอบสนองอย่างนัยสำคัญ

2.1.8.2 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking)

เงื่อนไขของการวิเคราะห์ความแปรปรวน

- (1) ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution)



(2) ค่าความแปรปรวนแต่ละทรีทเมนต์ต้องเท่ากัน คือ $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_a^2$

(3) การสุ่มตัวอย่างแต่ละชุดจากแต่ละทรีทเมนต์จะเป็นอิสระต่อกัน

$$\text{สมการเชิงเส้นตรง : } y_{ij} = \mu + \tau_j + \epsilon_{ij}$$

โดยที่

μ คือ ค่าเฉลี่ย

τ_j คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัย

ϵ_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อน

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) นั้น ข้อสมมติฐานที่สำคัญข้อหนึ่งคือ ความคลาดเคลื่อน (Random Error) หรือ ϵ_{ij} ต้องมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) และต้องมีการแจกแจงที่เป็นอิสระต่อกัน โดยเขียนสัญลักษณ์ได้เป็น $\epsilon_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ ซึ่งในการออกแบบการทดลองนั้นจำเป็นต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบด้วยเพื่อความถูกต้องในการวิเคราะห์ข้อมูล

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบมีอยู่ 3 ขั้นตอน คือ

(1) การตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) หรือไม่ โดยนำค่าเรสซิดวล (Residuals) ไปตรวจสอบค่าเรสซิดวลสามารถทำได้ดังนี้

$$l_{ij} = y_{ij} - \hat{\gamma}_{ij}$$

โดยที่

l_{ij} คือ ผลต่างระหว่างค่าตัวแปรตอบสนองกับค่าเฉลี่ย (Residuals)

y_{ij} คือ ค่าตัวแปรตอบสนอง

$\hat{\gamma}_{ij}$ คือ ตัวประมาณค่าของ γ_{ij}

$$\begin{aligned}\hat{\gamma}_{ij} &= \hat{\mu} + \hat{\tau}_i \\ &= \bar{\gamma}_{..} + (\bar{\gamma}_i - \bar{\gamma}_{..}) \\ &= \bar{\gamma}_i\end{aligned}$$

โดยที่

$\bar{\gamma}_i$ = คือค่าเฉลี่ยของทรีทเมนต์นั้น

เมื่อคำนวณค่า χ^2 ได้แล้วจะนำไปทดสอบการแจกแจงแบบปกติโดยใช้

- การทดสอบแบบไคร้สแควร์ (χ^2 - Goodness of Fit Test)
 - การทดสอบแบบโคโมโกรอฟ – สเมอร်นอฟ (Kolmogorow – Smirnov Test)
 - การทดสอบโดยใช้กระดาษตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติ (NOPP)
- (2) การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent)

ขั้นตอนนี้จะใช้การแผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) ระหว่างค่า ℓ_{ij} กับลำดับที่ทำการทดลอง แล้วดูลักษณะของข้อมูลว่ามีการกระจายเป็นอิสระหรือมีลักษณะเป็นรูปแบบใดๆ หรือไม่

(3) การตรวจสอบความเสถียรความแปรปรวน (Variance Stability)

วิธีการตรวจสอบจะใช้แผนภูมิการกระจายซึ่งเป็นแผนภูมิจากค่า ℓ_{ij} (Resident) กับทริทเมนต์แต่ละทริทเมนต์ โดยรูปร่างที่ออกมาจะต้องมีลักษณะเป็นทรงกระบอก จึงจะถือว่าความแปรปรวนมีความเสถียรแต่ถ้ารูปร่างของแผนภูมิมีลักษณะการเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นลำดับ (Megaphone) แสดงว่าข้อมูลนั้นไม่มีความเสถียรของความแปรปรวน

2.1.9 ชนิดของแผนการทดลอง

2.1.9.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีปัจจัยเดียว (Single-Factor ANOVA)

การทดลองแบบนี้จะต้องเก็บข้อมูลโดยกำหนดระดับของปัจจัยหรือทริทเมนต์ (Treatment) เพื่อทดสอบว่าทริทเมนต์ต่างๆ มีผลต่อค่าตอบสนองหรือไม่ โดยการทดลองแบบมีปัจจัยเดียวสามารถแบ่งเป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ

2.1.9.1.1 การทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD)

- เป็นการทดลองที่มีปัจจัยเดียว แต่จะทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างทริทเมนต์
- ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้มีผลกระทบน้อยและไม่มีปัจจัยรบกวน
- การทดลองนั้นใช้หลักการสุ่มแบบสุ่ม (Randomization) และการซ้ำ (Replication)

ขั้นตอนในการทำการทดลอง

- (1) กำหนดตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) และปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factor) และตั้งสมมติฐานที่จะทดสอบ
- (2) ทำการทดลองโดยใช้การสุ่มแบบสมบูรณ์ (Completely Randomized)
- (3) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)
- (4) สรุปผลการทดลอง

2.1.9.1.2 แผนการทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ภายในบล็อก (Randomized Block Design)

เป็นการทดลองที่มีปัจจัยเดียว และมีปัจจัยรบกวน (Nuisance Factor) ที่มีผลกระทบต่อค่าตอบสนอง และเราต้องการกำจัดปัจจัยรบกวนดังกล่าวทิ้ง บางครั้งปัจจัยรบกวนนั้นเราไม่ทราบและไม่สามารถควบคุมได้ เราจะใช้วิธีการบล็อก (Blocking) ในการกำจัดผลของปัจจัยรบกวนออกได้ ซึ่งในการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะต้องคำนวณค่าเฉลี่ยกำลังสองของบล็อก (MS block) แยกออกมาจากค่าเฉลี่ยกำลังสองของทรีตเมนต์ (MS Treatment) ทำให้การวิเคราะห์ความแปรปรวนนี้เป็นผลจากทรีตเมนต์อย่างเดียว

หลักการของการบล็อกสุ่ม คือ

(1) แบ่งการทดลองเป็น a ทรีตเมนต์ โดยให้แต่ละทรีตเมนต์แบ่งหน่วยทดลองเท่าๆ กัน คือ b หน่วย หรือ b บล็อก และให้ในแต่ละบล็อกมีลักษณะอื่นๆ ที่ผลต่อตัวแปรตอบสนองคล้ายคลึงกันมากที่สุด

(2) ทำการสุ่ม (Randomization)

(3) ทำซ้ำทุกๆ หน่วยทดลอง

ขั้นตอนในการทำการทดลอง

(1) ออกแบบและวางแผนการทดลอง

(2) เก็บและรวบรวมข้อมูล

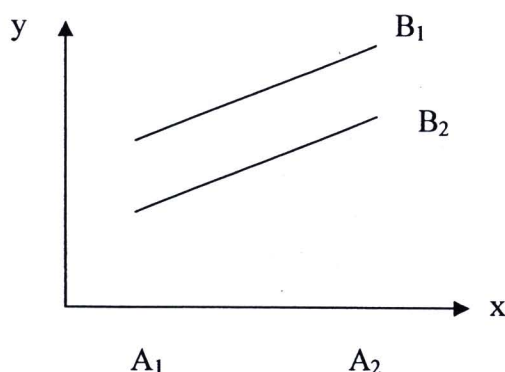
(3) วิเคราะห์การแปรปรวน (ANOVA)

(4) สรุปผลการทดลอง

2.1.9.2 แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design)

เป็นการทดลองที่ใช้ในการศึกษาตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป โดยทั่วไปแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลเป็นวิธีการทดลองที่มีประสิทธิภาพ ความสัมพันธ์ที่จะเกิดขึ้นทั้งหมดของทุกปัจจัยถูกนำมาพิจารณาคือ จะพิจารณาทั้งอิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main Effect) และอิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction Effect)

อิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction Effect) คือ อิทธิพลที่เกิดขึ้นจากหลายปัจจัยร่วมกัน เช่น เมื่อกำหนดปัจจัย B อยู่ที่ทรีตเมนต์หนึ่งแล้ว ทำการปรับค่าปัจจัย A จะส่งผลกระทบต่อค่าตอบสนองให้มีการเปลี่ยนแปลง และเมื่อเปลี่ยนค่าปัจจัย B ไปอีกทรีตเมนต์หนึ่งแล้วปรับค่าปัจจัย A จะส่งผลกระทบต่อค่าตอบสนองให้มีการเปลี่ยนแปลงในอีกทิศทางหนึ่ง ดังภาพที่ 2.2 ในทางตรงกันเมื่อไม่มีอิทธิพลของปัจจัยร่วมจะมีลักษณะดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แสดงกราฟที่ไม่มีอิทธิพลของปัจจัยร่วม (Non Interaction)

แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลโดยทั่วไป จะประกอบด้วยปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป เช่น การทดลองหนึ่งมี 3 ปัจจัย คือ A, B, C โดยแต่ละปัจจัยจะมีจำนวนทรีตเมนต์เท่ากับ 3, 3, 2 ตามลำดับ และมีการทำซ้ำ 2 ครั้ง ฉะนั้นจะต้องมีการเก็บข้อมูลทั้งหมดเท่ากับ $3 \times 3 \times 2 \times 2 = 36$ ตัว

รูปแบบของแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลยังแบ่งย่อยในกรณีที่แผนการทดลองมีลักษณะเฉพาะตัวอีกดังนี้

2.1.9.2.1 2^k แฟคทอเรียล

เป็นการทดลองที่มี k แต่ละปัจจัย จะมีระดับของปัจจัยอยู่ 2 ระดับ การทดลองแบบนี้เหมาะสำหรับการทดลองที่มีปัจจัยมากๆ เป็นการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลเบื้องต้นจะช่วยให้การทำการทดลองที่เจาะลึกต่อไป

2.1.9.2.1 3^k แฟคทอเรียล

เป็นการทดลองที่มี k ปัจจัย แต่ละปัจจัยจะมีระดับของปัจจัยอยู่ 3 ระดับ เช่น 3^3 แฟคทอเรียลหมายถึง เป็นการทดลองที่มี 3 ปัจจัยๆ ละ 3 ทรีตเมนต์

2.1.9.1.3 แผนการทดลองแบบแฟร็กชันนอลแฟคทอเรียล (Fractional Factorial Design)

เป็นรูปแบบการทดลองที่ใช้ในกรณีที่เมื่อการทดลองมีหลายปัจจัย ทำให้ต้องเสียเวลาเก็บข้อมูลมาก ดังนั้นจะทำให้ความสัมพันธ์ของทรีตเมนต์ (Treatment Combination) บางตัวถูกตัดออกโดยอาศัยหลักการของการคอนเฟวด์ (Confound) ซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองนั้นลดลง

- การคอนเฟวด์ (Confound) มีปัญหาส่วนหนึ่งไม่สามารถทำการทดลองให้สมบูรณ์ได้ในหนึ่งบล็อก การคอนเฟวด์เป็นวิธีการสำหรับปรับให้การทดลองแบบแฟคทอเรียล



ลงในบล็อกที่กำหนด ซึ่งขนาดของจำนวนบล็อกจะน้อยกว่าจำนวนความสัมพันธ์ของทรีทเมนต์ในการทำซ้ำหนึ่งครั้ง (One Replication) โดยส่วนใหญ่จะเลือกปัจจัยร่วมในลำดับสูงๆ (High-Order Interaction) เป็นตัวคอนเฟวคต์

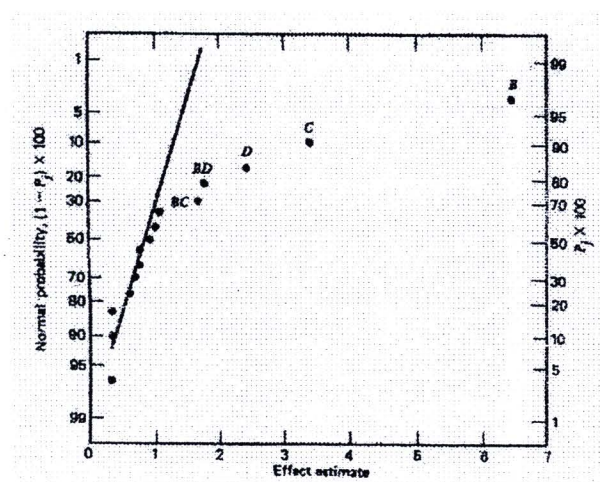
(1) แผนการทดลองแฟรกชันนอลแบบครึ่งหนึ่งของ 2^k แฟกทอเรียล

การทดลองแบบนี้จะเป็นข้อมูลเพียงครึ่งหนึ่ง โดยสมมติฐานว่า ปัจจัยร่วมในระดับสูง (High-Order Interaction) ไม่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนอง จึงไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณา การวิเคราะห์ความแปรปรวนจะนำผล (Effect) ของปัจจัยร่วมในระดับสูง (High-order Interaction) ไปรวมกับ ผล (Effect) ของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมในระดับต่ำ และใช้สัญลักษณ์เป็น 2^{k-1}

ตัวอย่างเช่น แผนการทดลอง 2^{5-1} แฟกทอเรียล คือ ผลการทดลอง แฟรกชันนอลแบบครึ่งหนึ่งของ 2^5 แฟกทอเรียล โดยมีดีไฟนิงรีเลชัน (Defining Relation) $I = ABCDE$ จะมีผลของปัจจัยต่างๆ รวมกันดังนี้ คือ

A + BCDE	AB + CDE	BD + ACE
B + ACDE	AC + BDE	BE + ACD
C + ABDE	AD + BCE	CD + ABE
D + ABCE	AE + BCD	CE + ABD
E + ABCD	BC + ADE	DE + ABC

ในการหาปัจจัยที่มีความสำคัญจะพิจารณาจากกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณของผล (Effect Estimates) กับความน่าจะเป็นของลำดับ ในกระดาดตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติ (NOPP) ดังเช่นในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงการหาปัจจัยที่มีความสำคัญ (Important Effect)

จุด B, C, D, BC และ BD เป็นจุดที่ห่างจากแนวเส้นตรงชัดเจน ถือว่าเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญ (Important Effect) จะใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนต่อไป อิทธิพลของปัจจัยอื่นๆ ที่เหลือจะนำไปรวมกับความคลาดเคลื่อน (Error)

(2) แผนการทดลองแฟรคชันนอลแบบหนึ่งในสี่ของ 2^k แฟคทอเรียล

การทดลองแบบนี้จะใช้สัญลักษณ์เป็น 2^{k-2} จะมีลักษณะคล้ายแผนการทดลองแฟรคชันนอลแบบครึ่งหนึ่งของ 2^k แฟคทอเรียล แต่วิธีนี้จะเก็บข้อมูลเพียงหนึ่งในสี่ของแผนการทดลอง 2^k แฟคทอเรียล การวิเคราะห์ข้อมูลจะมีลักษณะคล้ายกับแผนการทดลองแบบครึ่งเดียวของ 2^k แฟคทอเรียลทุกประการ แผนการทดลองแบบนี้เหมาะสำหรับการทดลองที่มีปัจจัยมาก ใช้เวลาในการเก็บข้อมูลนาน

นอกจากนี้แผนการทดลองแบบแฟรคชันนอลแฟคทอเรียลสามารถใช้กับแผนการทดลองแบบ 3^k แฟคทอเรียลได้เช่นกัน โดยจะประยุกต์ใช้หลักการของการคอนฟาวด์ (Confound) เพื่อลดจำนวนข้อมูล และจากนั้นทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนต่อไป

2.1.9.4 แผนการทดลองอื่นๆ

- (1) แผนการทดลองลาตินสแควร์ (Latin Squares Design)
- (2) แผนการทดลองเนสต์เต็ด (Nested Design)
- (3) แผนการทดลองสปีทพล็อต (Split-Plot Design)

2.1.10 การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Square)

เป็นสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ว่าผลการทดลองที่ใช้นั้นมีความผันแปรส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากปัจจัยที่กำหนดหรือเกิดจากธรรมชาติของกระบวนการ

$$R^2 = \frac{SS_{Model}}{SS_{Total}}$$

โดยที่	R^2	คือ	สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square)
	SS Model	คือ	ผลรวมกำลังสองของรูปแบบ (Model)
	SS Total	คือ	ผลรวมกำลังสองของทั้งหมด

ถ้าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square) สูง แสดงว่าความผันแปรส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นมาจากปัจจัยที่กำหนด แต่ถ้าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square) ต่ำ แสดงว่าความผันแปรเกิดขึ้นจากธรรมชาติของกระบวนการ แสดงว่าแผนการทดลองที่ใช้ไม่เหมาะสม และต้องกลับไปพิจารณาถึงปัจจัย

ที่ใช้ในการทดลองว่าอิทธิพลจริงหรือไม่ ตลอดจนตรวจสอบการเก็บรวบรวมข้อมูลว่ามีข้อผิดพลาดหรือไม่

2.1.11 การวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากข้อบกพร่อง (Failure Mode and Effect Analysis : FMEA)

FMEA เป็นเครื่องมือที่ใช้ช่วยในการวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากข้อบกพร่อง โดยการวิเคราะห์จะหาลักษณะของข้อบกพร่องที่คาดว่าจะเกิดและสาเหตุหรือกลไกที่ก่อให้เกิดข้อบกพร่องเพื่อทำการกำหนดแนวทางป้องกัน ซึ่งจะใช้หลักการในการให้คะแนนโดยให้ความสำคัญใน 3 เรื่อง คือ

(1) ความรุนแรง (Severity: S)

ความรุนแรงของผลจากข้อบกพร่อง หมายถึงอัตราที่บ่งชี้ถึงความรุนแรงของผลจากแนวโน้มของลักษณะของข้อบกพร่องของกระบวนการที่มีต่อลูกค้า โดยความรุนแรงนี้จะใช้พิจารณาจากผลของข้อบกพร่องเท่านั้น ถ้าหากลูกค้าที่ได้รับผลจากลักษณะข้อบกพร่อง คือ สายงานการประกอบหรือผู้ใช้ ผลกระทบแล้ว การประเมินความรุนแรงจะออกนอกขอบเขตแห่งประสบการณ์หรือความรู้ของวิศวกรประจำกระบวนการผลิตหรือคณะทำงาน ซึ่งในสถานการณ์เช่นนี้จำเป็นต้องทำการศึกษาหรือปรึกษาจาก FMEA ของการออกแบบ วิศวกรออกแบบและ/หรือวิศวกรประจำกระบวนการผลิตในหน่วยงานผลิตถัดไปหรือในสายการประกอบ

(2) โอกาสในการเกิด (Occurrence: O)

โอกาสในการเกิด หมายถึง อัตราที่แสดงถึงจำนวนความถี่และ/หรือจำนวนข้อบกพร่องสะสมที่ได้คาดการณ์ไว้สำหรับสาเหตุหนึ่งๆ ภายใต้ระบบควบคุมที่มีอยู่ (โดยปกติจะมีการกำหนดค่านี้ให้กับกระบวนการนับตั้งแต่การออกแบบผลิตภัณฑ์) ในการซึ่งถึงโอกาสในการเกิด สามารถใช้ได้หลายวิธีด้วยกัน อาทิ

- วิศวกรรมความไว้วางใจ (Reliability Engineering)
- SPC จากดัชนี C_p และ C_{pk}
- ใช้ความถี่คาดการณ์
- ใช้จำนวนสะสมของชิ้นส่วนประกอบที่บกพร่อง (Cumulative Number of

Component Failure : CNF)

ในการประมาณค่าโอกาสในการเกิดนี้ จะใช้คะแนน 1 ถึง 10 โดยการประเมินนี้จะประเมินจากลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นเท่านั้น มิได้ประเมินจากโอกาสในการตรวจจับข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น

(3) การตรวจจับ (Detection: D)

การตรวจจับ หมายถึง การประเมินถึงโอกาสที่มีการใช้ในการควบคุมกระบวนการในการประเมินนั้นให้สมมุติว่า เมื่อมีข้อบกพร่องเกิดขึ้นแล้วให้ประเมินถึงความสามารถของการ

ควบคุมในปัจจุบันที่จะป้องกันการส่งมอบผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องหรือตำหนิ ทั้งนี้ห้ามประเมินว่าการตรวจจับอันดับที่ต่ำ (คือมีการตรวจจับเวลาที่มีความสามารถ) เนื่องจากการเกิดข้อบกพร่องมีค่าต่ำ แต่จะต้องประเมินถึงความสามารถในการควบคุมกระบวนการเพื่อตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องที่เมื่อนานๆ เกิด 1 ครั้งก็ตาม

ในการประเมินการตรวจจับการควบคุมที่ถูกต้องควรอาศัยหลักการชักสิ่งตัวอย่าง ตัวเลขแสดงลำดับก่อนหลังของความเสี่ยง (Risk Priority Number: RPN) ในการจัดลำดับก่อนหลังของความเสี่ยง จะได้มาจากผลคูณของความรุนแรง โอกาสในการเกิดและการตรวจจับตามที่ได้ประเมินไว้ กล่าวคือ

$$RPN = S \times O \times D$$

ค่า RPN จะขึ้นไปตามเกณฑ์ของหลักการพาเรโต โดยมีคะแนนระหว่าง 1 ถึง 1000 โดยค่า RPN ที่มีค่าสูงๆ มีความจำเป็นต้องดำเนินการปฏิบัติการแก้ไขเพื่อลดค่า RPN ลงและไม่ว่า RPN จะมีค่าเท่าใดก็ตาม เราควรที่จะเอาใจใส่เป็นกรณีพิเศษถ้าหากคะแนนของความรุนแรงมีค่าสูงมาก

2.1.12 เทคนิคที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตสกรู

2.12.1 กระบวนการขึ้นรูปโลหะ (Fabrication Process)

กระบวนการขึ้นรูปโลหะ อาจแบ่งเป็นการขึ้นรูปร้อน (hot working) และการขึ้นรูปเย็น (Cold working) เมื่อโลหะเกิด plastic deformation ความแข็งแรงจะเพิ่มขึ้นแต่อัตราการเกิด work hardening ลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ถ้าโลหะเกิด plastic deformation ที่อุณหภูมิสูงจะเกิดผล 2 อย่างในเวลาเดียวกัน คือ ความแข็งแรงที่เกิดจาก plastic deformation และจะอ่อนลงเนื่องจาก recrystallization อุณหภูมิที่เริ่มเกิด recrystallization เรียกว่า recrystallization temperature การขึ้นรูปโลหะที่อุณหภูมิสูงกว่า recrystallization temperature เรียกว่า การขึ้นรูปร้อน ถ้าขึ้นรูปที่อุณหภูมิต่ำกว่า recrystallization temperature เรียกว่า การขึ้นรูปเย็น อุณหภูมิที่จะเกิด recrystallization ของแต่ละโลหะจะไม่เท่ากัน เช่น ตะกั่วและดีบุก มี recrystallization temperature ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง ฉะนั้นการขึ้นรูปที่อุณหภูมิห้องจะเป็นการขึ้นรูปร้อน (hot working) ขณะที่ recrystallization temperature ของเหล็กอยู่ประมาณ 550 องศาเซลเซียส ทำให้การขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นการขึ้นรูปเย็น (Cold working) Recrystallization เป็นการจัดเรียงตัวของอะตอมของโมเลกุลของของแข็งใหม่ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านสมบัติต่างๆ เช่น ค่าความแข็งแรง และสมบัติยึดติดต่างๆ Recrystallization มีผลทำให้เกิดเกรนและการโตของเกรนใหม่ เกรนที่ถูกดึงยืดเนื่องจาก Cold working หายไปและเกิดเกรนใหม่แทน อัตรา

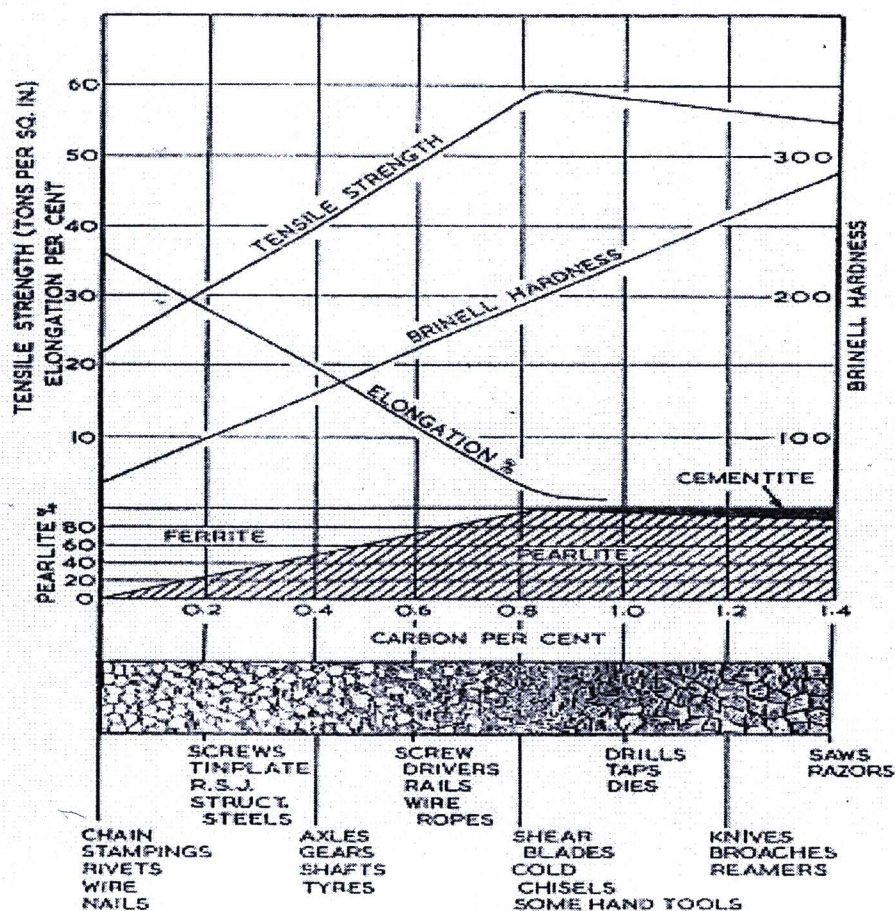
การโตของเกรนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ ถ้าเกรนโตมากเกินไปอาจทำให้ผิวขรุขระและอาจแตกหักได้

2.12.2 เหล็กกล้าคาร์บอน โดยทั่วไปถือว่าเป็นโลหะผสมของเหล็กและคาร์บอน ที่มีคาร์บอนในปริมาณขึ้นไปถึงร้อยละ 1.7 เหล็กกล้าคาร์บอนยังประกอบด้วย แมงกานีสที่เหลืออกจากขบวนการดีออกซิเดชันเล็กน้อย ความแข็งของเหล็กกล้าคาร์บอนจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของคาร์บอนในเหล็ก จะแบ่งเหล็กกล้าคาร์บอนออกเป็นพวกๆ ตามปริมาณคาร์บอน เหล็กกล้าคาร์บอนที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำและปานกลางจะใช้งานในด้านการก่อสร้าง ส่วนเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีปริมาณคาร์บอนสูงจะใช้ในงานด้านการทำเครื่องมือและชิ้นงานที่ต้องการความแข็งและความต้านทานต่อการเสียดสี

ตารางที่ 2.2 ตารางการใช้งานของเหล็กกล้าคาร์บอน

ชนิดของเหล็กคาร์บอน	ปริมาณคาร์บอน %	ประโยชน์
Dead mild	0.05 – 0.15	ลวด ตะปู ท่อ แผ่นเหล็ก หมุดย้ำ
Mild	0.01 – 0.30	เหล็กก่อสร้าง สกรู ชิ้นส่วนเครื่องจักร
Medium Carbon	0.30 – 0.60	แกนเพลตาต่างๆ เกียร์ สปริง
High Carbon	0.60 – 0.90	ไขควง เลื่อย สว่าน ค้อน เครื่องเจาะ
Tool Steels	0.90 – 1.40	สปริง ตะไบ มีด ขวาน ใบมีด

ภาพที่ 2.4 จะแสดงสมบัติทางกลต่างๆ ของเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนต่างๆ สมบัติทางกลที่แสดงในภาพ คือ ความต้านแรงดึง (tensile strength) ความแข็งบริเนลล์ (Brinell hardness) ความยืด (elongation) ส่วนด้านล่างของรูปแสดงถึงโครงสร้างของเหล็กว่ามีประโยชน์อย่างไรในปริมาณคาร์บอนต่างๆ กัน



ภาพที่ 2.5 แสดงสมบัติทางกลต่างๆ ของเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนต่างๆ

2.12.3 อิทธิพลของธาตุผสมในเหล็กกล้าคาร์บอน

เหล็กกล้าทั่วไป มักจะมีส่วนประกอบของแมงกานีสที่เหลือจากขบวนการดีออกซิเดชัน นอกจากแมงกานีสแล้ว ยังมีสารเจือปนพวก ซิลิกอน ชัลเฟอร์ และฟอสฟอรัส ผลกระทบของธาตุผสมต่อคุณสมบัติทางกลขึ้นอยู่กับธาตุผสมเหล่านี้จะกระจายทั่วในโครงสร้างของเหล็กหรือไม่ โดยแมงกานีสจะช่วยให้เหล็กกล้าคาร์บอนเพิ่มความแข็งแรง (Strength) และความเหนียว (Toughness) ดีขึ้น แต่ปริมาณของแมงกานีสไม่ควรเกินร้อยละ 0.3 ในเหล็กกล้าคาร์บอนสูง เพราะจะเกิดการแตกเนื่องจากการชุบแข็ง โดยเฉพาะการชุบแข็งโดยใช้น้ำ ซิลิกอนช่วยให้สมบัติการไหลตัว (Fluidity) ดีขึ้น ปริมาณซิลิกอนในเหล็กประเภทนี้จะมีปริมาณถึงร้อยละ 0.3 ฟอสฟอรัสในเหล็กจะเกิดเป็นฟอสไฟด์ซึ่งมีคุณสมบัติเปราะและละลายได้ในเหล็กมีผลทำให้เหล็ก



มีคุณสมบัติแข็งขึ้น แต่ต้องควบคุมปริมาณของฟอสฟอรัสให้อยู่ในช่วงร้อยละ 0.05 หรือน้อยกว่า เพราะถ้ามากกว่านี้เหล็กจะเปราะ

สำหรับซัลเฟอร์จะเป็นธาตุผสมที่มีอันตรายมากที่สุดเพราะจะเกิดเป็นซัลไฟด์ที่เปราะมาก ต้องมีการระวังการใช้เป็นอย่างดี ซัลไฟด์นี้จะละลายได้ในเหล็กเหลว แต่เมื่อเกิดการแข็งตัว ความสามารถในการละลายได้จะลดลงอย่างมาก เทียบได้กับซัลเฟอร์ร้อยละ 0.03 ซึ่งไม่ควรจะมีค่าเกินมากกว่านี้เพราะจะทำให้เกิดการแข็งเปราะ

2.12.4 การทดสอบค่าความแข็ง (Hardness Test)

ความแข็ง คือ ความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวร ที่เนื่องมาจากการกดหรือขีด เทคนิคการเปลี่ยนแปลงความแข็งแบบต่างๆ ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อสามารถวัดค่าความแข็งได้ครอบคลุมวัสดุที่มีความแข็งต่างๆ กัน ค่าความแข็งที่ได้จากทุกวิธีเป็นค่าเปรียบเทียบ (Not absolute) แต่ละวิธีมีสเกลเฉพาะและไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างกันและกัน ความแข็งไม่ได้ใช้ในการออกแบบแต่มักจะระบุไว้ในสมบัติของวัสดุและในแบบ นอกจากนี้ความแข็งมักใช้ในการควบคุมคุณภาพอีกด้วย

การทดสอบค่าความแข็งของโลหะจะเป็นลักษณะใช้หัวกดขึ้นทดสอบ โดยหัวกดแรงที่ใช้และสภาวะการทดสอบต้องเป็นไปตามมาตรฐาน รอยกดที่เกิดขึ้นบนชิ้นทดสอบนำมาหาค่าความแข็ง ในการทดสอบหาค่าความแข็งที่ใช้กันมี 4 แบบ คือ บริเนลล์ วิกเกอร์ส คุนูป และร็อกเวลล์ดังภาพ ในการวิจัยอุตสาหกรรมการผลิตสกรูนี้จะกล่าวถึงการหาค่าความแข็งแบบ Vickers hardness เท่านั้น การทดสอบความแข็งมีอยู่หลายวิธี แต่ที่ใช้กันมากที่สุดมี 3 วิธี คือ

(1) การทดสอบความแข็งแบบบริเนล (Brinell Hardness Test) วิธีการคือ ใช้ลูกบอลเหล็กที่ผ่านการชุบแข็งมาอย่างดี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มม. กดลงบนผิวเรียบของวัสดุที่จะวัด โดยใช้แรง 3,000 กิโลกรัมสำหรับวัสดุแข็ง และ 500 กิโลกรัมสำหรับวัสดุอ่อน โดยใช้เวลา 30 วินาที เป็นมาตรฐาน จากนั้นวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยบุ๋ม (Indentation) นำค่าที่ได้ไปคำนวณจะได้ค่าความแข็งแบบบริเนล (Brinell Hardness Number) การทดสอบความแข็งแบบบริเนลนี้ไม่เหมาะสมกับวัสดุแข็ง เนื่องจากความแข็งของหัวกดไม่มากนัก นอกจากนี้ยังไม่เหมาะกับชิ้นทดสอบที่บางกว่าขนาดของรอยบุ๋ม

(2) การทดสอบความแข็งแบบร็อกเวล (Rockwell Hardness Test) การทดสอบแบบนี้คล้ายกับการทดสอบแบบบริเนล แต่ใช้หัวกดเล็กกว่าและแรงน้อยกว่า ค่าของแรงที่ใช้และชนิดหรือขนาดของหัวกดจะเปลี่ยนได้ขึ้นกับสเกลของความแข็งแบบร็อกเวลที่เราจะเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของวัสดุที่จะทดสอบ การอ่านค่าความแข็งจะอ่านโดยตรงจากเครื่อง กล่าวคือ ถ้าความลึกของรอยกดลงไปตื้น ค่าของตัวเลขจะสูง แสดงว่าวัสดุมีความแข็งมาก วิธีการทดสอบจะให้

แรงกระทำเล็กน้อยคือ 10 กิโลกรัม จากนั้นจะเพิ่มแรงกระทำขึ้น ซึ่งอาจจะมีตั้งแต่ 60-100 กิโลกรัม ขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของหัวกด นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่จะทดสอบด้วย หัวกดที่ใช้ อาจจะเป็นลูกบอลเหล็กหรือเพชรที่มีรูปกรวย การทดสอบแบบรอกเวลนี้นิยมใช้อย่างกว้างขวาง เพราะสามารถใช้วัดความแข็งของวัสดุชนิดต่างๆ ได้มากกว่า สามารถวัดความแข็งของวัสดุที่การทดสอบแบบบริเนลวัดไม่ได้ การใช้งานสะดวกอ่านค่าได้รวดเร็ว เพราะอ่านโดยตรงจากเครื่อง และเนื่องจากรอยบุ๋มมีขนาดเล็กจึงไม่ทำลายผิวของชิ้นทดสอบ

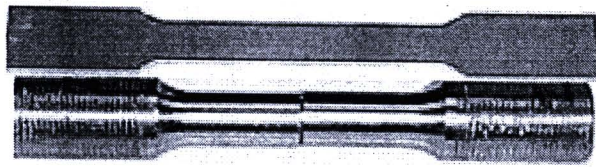
(3) การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers Hardness Test) การทดสอบแบบวิกเกอร์นี้คล้ายกับบริเนลในแง่ที่ว่า ค่าที่ได้เป็นอัตราส่วนระหว่างแรงที่ใช้ต่อพื้นที่ของรอยกด แต่ต่างกันที่หัวกดที่ใช้เป็นเพชรรูปปิระมิด แรงที่ใช้มีตั้งแต่ 5-120 กิโลกรัม ขึ้นอยู่กับความแข็งของวัสดุ

การทดสอบ	หัวกด	รูปทรงหัวกด	
		มองจากด้านข้าง	มองจากด้านบน
บริเนลล์	ทรงกลม		
วิกเกอร์	เพชรรูปปิระมิด		
คอป	เพชรรูปปิระมิด		
รอกเวลล์	เพชรรูปกรวย หรือ ทรงกลม 1/16, 1/8, 1/4, 1/2 นิ้ว		

ภาพที่ 2.6 แสดงตารางการทดสอบค่าความแข็ง



การทดสอบแรงดึงใช้สำหรับการประเมินความแข็งแรงของโลหะ หรือโลหะผสม ด้วยการใช้วิธีดึงจนขาดในช่วงเวลาสั้นๆ ด้วยอัตราคงที่ ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบจะมีลักษณะแตกต่างกันไปสำหรับโลหะอาจทำเป็นแผ่นหรืออาจทำเป็นแท่ง โดยข้อมูลที่ได้คือกราฟระหว่างความเค้นกับความเครียดทางวิศวกรรมหรือแรงและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นงาน



ภาพที่ 2.7 แสดงชิ้นทดสอบแรงดึงแบบแผ่นและแบบแท่ง

ความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate tensile strength) คือความแข็งแรงสูงสุดของวัสดุ พิจารณาจากความเค้นทางวิศวกรรม สูงสุดในแผนภาพความเค้นและความเครียดค่านี้ไม่ค่อยใช้มากในงานออกแบบทางวิศวกรรมก่อสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับพวกโลหะอ่อน (ductile alloy) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างรวดเร็ว อย่างมากก่อนถึงค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด แต่อย่างไรก็ตามค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดนี้ ยังสามารถบ่งชี้ได้ว่าโลหะนั้นมีความสมบูรณ์หรือไม่ถ้าโลหะนั้นไม่สมบูรณ์ เช่น มีรูพรุน (Porosity) จะทำให้ค่า strength ลดลง

เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Percent elongation (%Strain) ปริมาณเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นงานตัวอย่างภายใต้แรงดึง เมื่อเทียบกับระยะการวัด (gage length) ของชิ้นงานทดสอบ และยังเป็นค่าที่ใช้บอกถึงความอ่อน (ductile) ของวัสดุ โดยทั่วไปโลหะยิ่งอ่อนยิ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดมากแสดงว่าโลหะนั้นเปลี่ยนรูปมาก สำหรับโลหะอลูมิเนียมบริสุทธิ์ที่เป็นแผ่นหนา 0.062 นิ้ว (1.6 mm) จะมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูงถึง 35% แต่ถ้าเป็นโลหะอลูมิเนียมผสม (ความแข็งแรงสูงกว่า) 7075-T6 ที่หนาเท่ากัน จะมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวเพียง 11% เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดที่ขาดมีความสำคัญทางด้านวิศวกรรมมาก เพราะนอกจากจะทำให้เราทราบว่าโลหะนั้นอ่อนเพียงใดแล้วยังจะเป็นดัชนีที่ชี้ให้เห็นว่าโลหะนั้นมีคุณภาพอย่างไร

2.12.5 กรรมวิธีทางความร้อนของเหล็กกล้า

กรรมวิธีทางความร้อนในที่นี้ รวมถึงกรรมวิธีทางความร้อนอื่นๆ นอกเหนือจากการคลายความเค้น (Stress relief annealing) เหล็ก - คาร์บอนเป็นโลหะผสมที่สามารถนำมาผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเพื่อปรับปรุงสมบัติทางกลต่างๆ เช่น ความแข็ง ความแข็งแรง ความเหนียว สมบัติยึดดึง ซึ่งสามารถเลือกกรรมวิธีทางความร้อนที่เหมาะสม ตามปริมาณคาร์บอนในเหล็ก

กระบวนการที่มีความจำเป็นในการปรับปรุงคุณสมบัติของเหล็กกล้าคาร์บอนที่จะนำมาใช้ในการผลิตสกรูนั้น สกรูบางประเภทต้องการการอบอ่อน (Annealing) โดยการอบอ่อนสามารถแบ่งออกได้หลายแบบตามลักษณะและผลที่ได้รับจากการอบอ่อนนั้น การอบอ่อนเพื่อลดความเค้น (Stress relief annealing) อุณหภูมิของการตกผลึกใหม่ของเหล็กกล้าจะขึ้นอยู่กับขนาดอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ดังนั้นการขึ้นรูปร้อนจะมีการตกผลึกใหม่ขึ้น และความเค้นที่เกิดจากการขึ้นรูปก็จะถูกลดลงทันที แต่ในบางกรณีเราจำเป็นต้องใช้วิธีการขึ้นรูปเย็น เช่น การดึงเป็นเส้น อุณหภูมิที่ใช้ไม่สูงพอที่จะเกิดการตกผลึกใหม่ ดังนั้นความเค้นจะเกิดขึ้นในชิ้นงาน ทำให้เหล็กแข็งและเปราะ การลดความเค้นจึงจำเป็น การอบอ่อนเพื่อลดความเค้นนี้เป็นขบวนการอบเหล็กที่อุณหภูมิประมาณ 650 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิของการตกผลึกใหม่ การตกผลึกใหม่จะเกิดขึ้นในเวลาไม่นานหลังจากอุณหภูมิขึ้นจนถึงอุณหภูมิสูงสุด และการทิ้งไว้ที่อุณหภูมิสูงนานเกินไป ก็จะทำให้เกิดผลเสียได้ เนื่องจากเกรนจะมีขนาดโตขึ้น จะทำให้ความแข็งแรงลดลงถึงแม้สมบัติยึดดึงเพิ่มขึ้นก็ตาม

2.12.6 การชุบแข็ง (Hardening)

การชุบแข็ง คือ การอบชุบความร้อนวิธีหนึ่งเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของเหล็กกล้าคาร์บอนในด้านความแข็งแรงและความต้านทานการขัดสี กระบวนการนี้เริ่มต้นด้วยการให้ความร้อนแก่เหล็กจนถึงอุณหภูมิที่โครงสร้างเปลี่ยนเป็นออสเทนไนท์ ปลดปล่อยไว้ในเตาจนกระทั่งได้โครงสร้างออสเทนไนท์ที่สม่ำเสมอ แล้วทำให้เย็นตัวด้วยอัตราเร็วพอที่ทำให้เกิดโครงสร้างมาร์เทนไซต์ หรืออัตราการเย็นตัววิกฤต (Critical cooling rate) เพื่อให้ได้โครงสร้างมาร์เทนไซต์ที่สม่ำเสมอ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องมีดังต่อไปนี้

(1) ปริมาณของธาตุคาร์บอน : เหล็กกล้าที่มีปริมาณร้อยละของธาตุคาร์บอนยิ่งสูง จะทำให้มีโอกาสในการเกิดโครงสร้างมาร์เทนไซต์มากขึ้น นอกจากนั้น ธาตุผสมอื่น เช่น นิกเกิล โครเมียม และ โมลิบดีนัม ยังช่วยเพิ่มความสามารถในการชุบแข็ง (Hardenability) โดยการลดอัตราการเย็นตัววิกฤตอีกด้วย

(2) อัตราการเย็นตัว : อัตราการเย็นตัวที่ต้องการเพื่อให้ได้โครงสร้างมาร์เทนไซต์นั้น ไม่ควรต่ำกว่าอัตราการเย็นตัววิกฤต และมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

- ผิวของชิ้นงานจะมีอัตราการเย็นตัวมากกว่าใจกลางเสมอ นอกจากนั้น ยิ่งชิ้นงานมีขนาดใหญ่ อัตราเร็วการเย็นตัวตลอด ชิ้นก็จะต่ำลงด้วย ด้วยเหตุนี้ที่สภาวะเดียวกัน ชิ้นงานที่ยิ่งเล็กจะยิ่งมีโอกาสที่จะได้โครงสร้างมาร์เทนไซต์ที่สมบูรณ์

- ตัวกลางการเย็นตัวที่ต่างกัน จะให้อัตราเร็วการเย็นตัวที่ต่างกันด้วย เช่น น้ำและน้ำเกลือ (น้ำที่มีโซเดียมคลอไรด์หรือแคลเซียมคลอไรด์ละลายอยู่ด้วยปริมาณหนึ่ง) จะให้

อัตราการเย็นตัวที่รวดเร็วกว่าน้ำมัน นอกจากนั้นการปั่นกวสารถัวกลางยังเป็นการเพิ่มอัตราการเย็นตัวอีกวิธีหนึ่งด้วย

2.12.7 ลักษณะของผลิตภัณฑ์สกรู

สกรู คือ สลักเกลียวประเภทหนึ่งที่ใช้ยึดจับกับชิ้นส่วนต่างๆ เพื่อให้ยึดติดกันหรือประกอบกันให้เป็นชิ้นส่วนเดียวกัน โดยสิ่งที่สำคัญที่สุดของสกรูคือเกลียว เพราะจะมีส่วนสำคัญต่อการใช้งาน แต่จุดอื่นๆ ก็มีความสำคัญเพื่อให้ชิ้นงานมีความสมบูรณ์และให้มีลักษณะภายนอกที่สวยงาม

2.12.7.1 วัตถุดิบและกระบวนการผลิตสกรู

วัตถุดิบที่ใช้ทำสกรู คือ เหล็กกลวดคาร์บอนต่ำชนิด SWRCH 22A ซึ่งปัจจุบันในประเทศไทยยังไม่มีโรงงานผลิตเหล็กประเภทนี้ จึงต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศในรูปของ Wire rod ซึ่งต้องนำเข้าสู่กรรมวิธีการดัดขนาดและผ่านขั้นตอนการอบเพื่อลดความเค้นของเหล็ก ดังนั้นการควบคุมกระบวนการดัดเส้นลวดเพื่อลดขนาดจึงต้องมีวิธีการควบคุมคุณภาพที่ดี เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อการใช้งานใช้ผลิตสกรู โดยเฉพาะกระบวนการแรก คือ กระบวนการตีขึ้นรูป

ตารางที่ 2.3 แสดงส่วนผสมทางเคมี SWRCH 22A (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

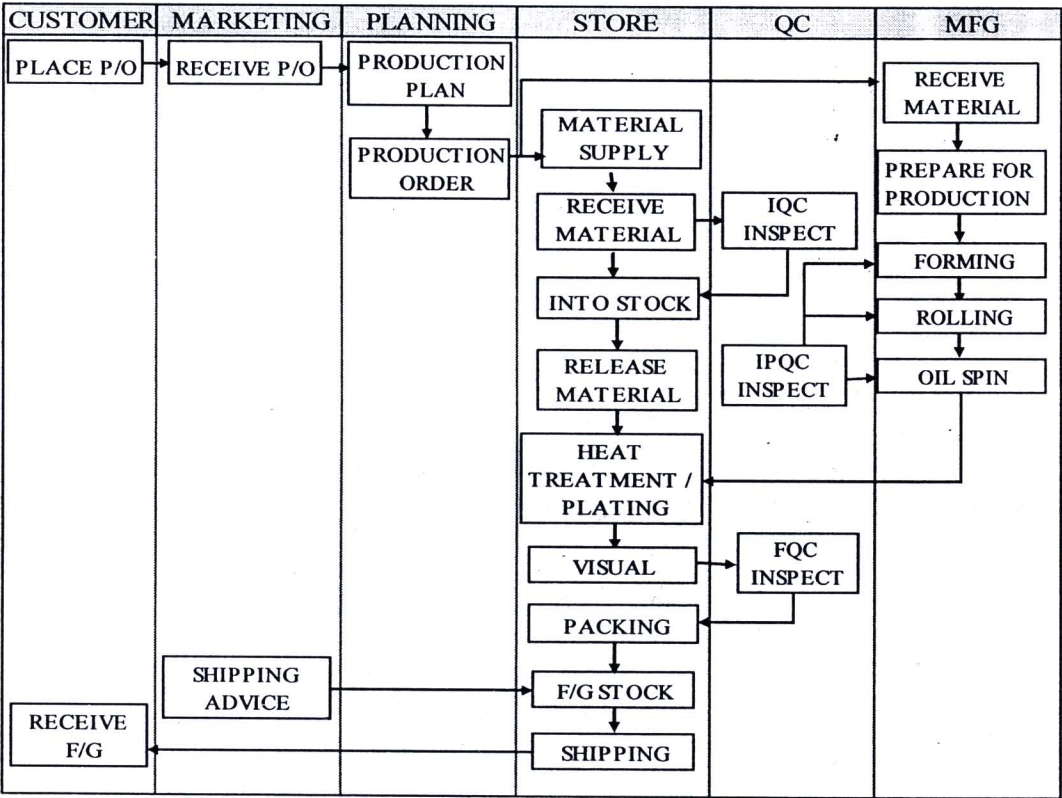
SWRCH 22A	C	Si	Mn	P	S	Al
	0.18~0.23	0.10max	0.70~1.00	0.030max	0.035max	0.02 min

การทำให้เส้นเหล็กกลวดคาร์บอนต่ำชนิด SWRCH 22A เป็นสกรู คือ การนำเส้นลวดมาผ่านเข้าเครื่องจักรตีขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ (Mold) ขึ้นรูป 2 ส่วน คือ ส่วนแรกใช้สำหรับการขึ้นรูปหัวสกรู โดยเครื่องจักรจะตีขึ้นรูปเป็นจันทะแรกและส่วนที่สองใช้สำหรับการตีให้ได้ลักษณะหัวสกรูตามแบบและทำช่องขัน (Driver) พร้อมกัน โดยเครื่องจักรจะตีขึ้นรูปเป็นจันทะที่สองซึ่งถือว่าการเสร็จสมบูรณ์ของกระบวนการตีขึ้นรูป



ภาพที่ 2.8 แม่พิมพ์ขึ้นรูปหลักจากการติดตั้ง

2.12.8 ขั้นตอนการผลิตสกรู



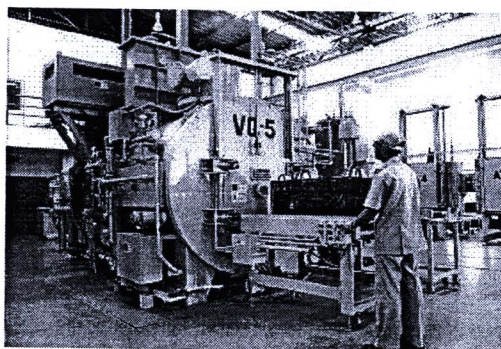
ภาพที่ 2.9 ผังแสดงการไหลของกระบวนการผลิตสกรู

2.12.8.1 ขั้นตอนการออกแบบสั่งผลิต (Production Sheet) การออกแบบสั่งผลิตต้องกำหนดรายละเอียดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องทำการผลิตให้ครบถ้วนและชัดเจน ใบสั่งผลิตจะได้ข้อมูลมาจากการอนุมัติชิ้นส่วนและแบบที่ลูกค้าอนุมัติ ข้อมูลในใบสั่งผลิตแสดงรายละเอียดของแม่พิมพ์ (Mold)

2.12.8.2 ขั้นตอนการขึ้นรูป (Forming Process) การขึ้นรูปสกรูเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญมากเป็นอันดับแรก เนื่องจากต้องควบคุมตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการผลิตให้คงที่ เพื่อให้การขึ้นรูปตรงตามมาตรฐานที่กำหนดและเมื่อนำเข้าสู่กระบวนการถัดไป คือการทำเกลียวก็จะได้ขนาดของเกลียวที่ถูกต้อง การขึ้นรูปสกรูนอกจากขนาดจะถูกต้องตามมาตรฐานแล้วลักษณะภายนอกก็ต้องมีความสวยงามไม่แตก บิ่น และต้องไม่มีรอยตำหนิต่างๆ โดยเฉพาะบริเวณหัวสกรูที่ถือได้ว่าเป็นจุดที่สำคัญต่อการมองเห็นของกลุ่มลูกค้า จึงต้องมีการควบคุมในเรื่องขนาดพร้อมกับความสวยงามไปพร้อมกัน

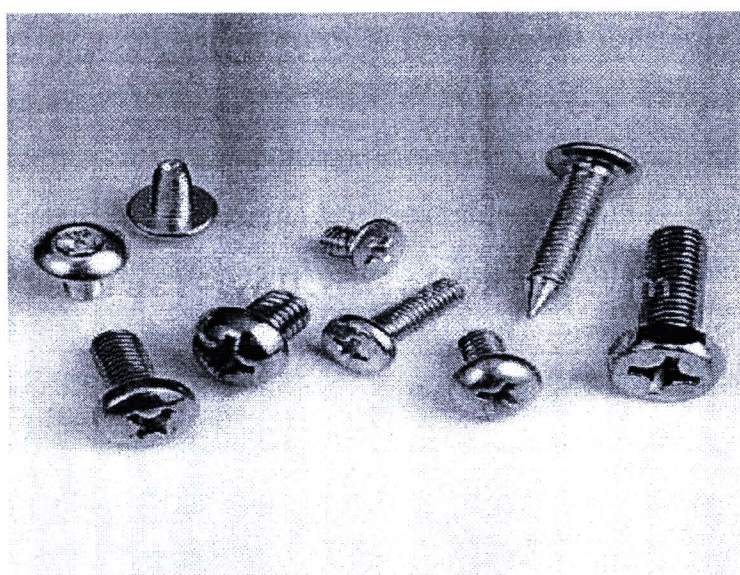
2.12.8.3 ขั้นตอนการรีดเกลียว (Rolling Process) การรีดเกลียวเป็นกระบวนการที่ต่อเนื่องจากกระบวนการขึ้นรูป ซึ่งเกลียวของสกรูนั้นจะมีขนาดที่ถูกต้องตามแบบหรือตามมาตรฐานถึงจะสามารถนำไปใช้งานได้ หากสกรูที่ผ่านกระบวนการรีดเกลียวแล้วพบว่า เกลียวไม่ถูกต้องตามมาตรฐานหรือตามแบบของลูกค้า สกรูก็จะไม่สามารถใช้งานได้เพราะในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนต่างๆ ที่ต้องใช้สกรูต้องการเวลาในการประกอบค่อนข้างสั้น ดังนั้นการควบคุมขนาดของเกลียวถือว่าเป็นสิ่งที่สำคัญต่อการนำไปใช้งาน

2.12.8.4 ขั้นตอนการชุบแข็ง (Hardening) การชุบแข็งสกรูเป็นการเพิ่มคาร์บอนเข้าไปในเนื้อเหล็กเพื่อให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ไม่เสี่ยงต่อการแตกหักเมื่อนำมาใช้งาน การชุบแข็งสกรูต้องพิจารณาถึงเกรดของเหล็กด้วยเพราะเหล็กแต่ละชนิดมีปริมาณคาร์บอนไม่เท่ากัน จึงต้องควบคุมทั้งปริมาณคาร์บอน อุณหภูมิและเวลาการชุบแข็งในเตาชุบแข็งด้วย



ภาพที่ 2.10 แสดงเตาชุบแข็ง

2.12.8.5 ขั้นตอนการชุบสี (Plating) สกรูที่ผ่านการชุบแข็งแล้วหรือสกรูบางประเภทที่ไม่ต้องผ่านกระบวนการชุบแข็ง เมื่อกระบวนการต่างๆ เสร็จสมบูรณ์แล้วต้องนำเข้าสู่กระบวนการชุบสี เพื่อป้องกันการเกิดสนิมและเพื่อความสวยงามเมื่อยึดกับชิ้นส่วนต่างๆ การชุบสีของสกรูนั้นจะมีการชุบสีต่างๆ ตามความต้องการของลูกค้า โดยจะมีการควบคุมความหนาของผิวไม่ให้บางเกินไปหรือหนาเกินไป เพราะหากการชุบสีบางเกินไปก็จะทำให้ไม่สามารถทนต่อการเกิดสนิมหรือมีโอกาสที่สีจะเปลี่ยนแปลงไปในระยะเวลาที่สั้นและหากการชุบสีหนาไปก็อาจส่งผลให้เกลียวของสกรูใช้งานไม่ได้เช่นกัน



ภาพที่ 2.11 แสดงสกรูหลังจากผ่านกระบวนการชุบสี

2.12.8.6 กระบวนการบรรจุ (Packing) เมื่อสกรูผ่านการชุบสี ซึ่งถือว่าเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการผลิตสกรูแล้วต้องทำการบรรจุตามมาตรฐานการบรรจุ (Packing Standard) เพื่อจัดเก็บเข้าคลังสินค้าก่อนส่งมอบให้ลูกค้าต่อไป

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.2.1 แผนภาพพาเรโต (Pareto Diagram)

แผนภูมิพาเรโตเป็นเครื่องมือที่จะตรวจสอบปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในสถานประกอบการ เช่น จำนวนคุณภาพสินค้าไม่ดี ข้อบกพร่องต่างๆ คำร้องเรียนจากลูกค้า โดยการนำเอาสาเหตุเหล่านั้นมาแบ่งแยกประเภท แล้วเรียงลำดับตามจำนวนสินค้าที่ไม่ดีหรือความสูญเสียค่าทางการเงิน ซึ่งจะ

เรียงลำดับจากมากไปหาน้อย โดยจะแสดงขนาดความมากน้อยด้วยกราฟแท่ง แผนภูมิพาเรโต เป็นแผนภูมิที่แสดงว่ามูลเหตุใดเป็นมูลเหตุสำคัญที่สุด วิธีการเขียนแผนภูมิพาเรโตเริ่มจากการใช้ตารางตรวจสอบเก็บข้อมูลก่อน แล้วจึงจำแนกข้อมูลออกเป็นหมวดหมู่ตามสาเหตุต่างๆ นอกจากจะแสดงมูลเหตุที่สำคัญที่สุดและเรียงมูลเหตุอื่นๆ ตามลำดับความสำคัญแล้วก็จะแสดงกราฟสะสมไว้ด้วย

2.2.2 ฟังก้างปลา (Fish Bone Diagram)

ฟังก้างปลาหรือแผนภาพแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Analysis) คือ แผนภาพที่จัดแจงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะสมบัติ (ผล) ที่มีปัญหาจำต้องหาทางแก้ไขกับสิ่งที่เราคิดว่าเป็นสาเหตุสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปัญหาไว้เป็นอย่างระเบียบเรียบร้อย โดยรวบรวมไว้มีลักษณะคล้ายก้างปลา แผนภาพแสดงเหตุและผลนับเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในอันที่จะดำเนินการควบคุมและปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดีขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ สิ่งที่คุณจะง่ายแต่ทำได้ยากได้แก่ วิธีการเขียนแผนภาพแสดงเหตุและผลที่สามารถใช้งานได้อย่างดีนั้น จะต้องมีการเข้าร่วมจากบุคคลหลายๆ ฝ่ายที่เกี่ยวข้องกับปัญหา มีการถกเถียงถึงจุดมุ่งหมายของปัญหาอย่างแจ่มชัด แล้วถึงแสดงความคิดเห็นต่างๆ ออกมาเพื่อเขียนออกมาเป็นแผนภาพเพื่อแสดงเหตุและผลของลักษณะปัญหาที่เกิดขึ้น

2.2.3 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องของผลกระทบ (Fail Mode and Effect Analysis)

FMEA เป็นเครื่องมือที่ใช้ช่วยในการวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากข้อบกพร่อง โดยการวิเคราะห์จะหาลักษณะของข้อบกพร่องที่คาดว่าจะเกิดและสาเหตุหรือกลไกที่ก่อให้เกิดข้อบกพร่องเพื่อทำการกำหนดแนวทางป้องกัน ซึ่งจะใช้หลักการในการให้คะแนน โดยให้ความสำคัญใน 3 เรื่อง คือ ความรุนแรง (Severity: S), โอกาสในการเกิด (Occurrence: O), การตรวจจับ (Detection: D) นำความสำคัญทั้ง 3 เรื่องมาหาค่า RPN (Risk Priority Number) โดยค่า RPN ที่มีค่าสูงๆ มีความจำเป็นต้องดำเนินการปฏิบัติการแก้ไขเพื่อการลดค่า RPN ลงและไม่ว่า RPN จะมีค่าเท่าใดก็ตาม เราควรที่จะเอาใจใส่เป็นกรณีพิเศษถ้าหากคะแนนของความรุนแรงมีค่าสูงมาก

2.2.4 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design)

การทดลองส่วนมากในทางปฏิบัติจะเกี่ยวข้องกับการศึกษาถึงผลของปัจจัย (Factor) ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป ในกรณีของการออกแบบการทดลองนี้ เรียกว่า การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design) จะเป็นวิธีการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลหมายถึง การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ (Level) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น ตัวอย่างเช่น กรณี 2 ปัจจัย ถ้าปัจจัย A ประกอบไปด้วย a ระดับและปัจจัย B ประกอบไปด้วย b ระดับ ในการทดลอง 1 เรพลีเคต (Replicate) จะประกอบด้วยการทดลอง

ทั้งหมด ab การทดลอง และเมื่อปัจจัยที่เกี่ยวข้องถูกนำมาจัดให้อยู่ในรูปแบบของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล จะกล่าวได้ว่าปัจจัยเหล่านี้มีการไขว้ (Crossed) ซึ่งกันและกัน

2.2.5 โปรแกรม Minitab

โปรแกรม Minitab เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ช่วยประมวลผลข้อมูลทางสถิติที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในภาคการศึกษา ในด้านวิจัย และภาคอุตสาหกรรม ใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ข้อมูล, แสดงรายละเอียดข้อมูลออกมาในรูปแบบกราฟ และมีเครื่องมือในการปรับปรุงคุณภาพ ในปัจจุบันเป็นที่รู้จักกันดีสำหรับผู้ที่กำลังเพิ่มประสิทธิภาพหรือปรับปรุงคุณภาพการผลิตที่ต้องการผลวิเคราะห์ที่แม่นยำ ต้องการแสดงผลทั้งผลเชิงตัวเลขและการนำเสนอผลการวิเคราะห์ในรูปแบบของกราฟ นิยมใช้ Minitab ในการวิเคราะห์สถิติ การประยุกต์ใช้กับงานด้านคุณภาพ และการออกแบบการทดลอง

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณัฐพล สันตะการผล (2543) ศึกษาการลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องของเพลาช่างรถยนต์ในกระบวนการตีขึ้นรูป โดยได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยหลักที่ทำให้มีผลต่อการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทหน้าแปลนไม่เต็ม ซึ่งพบว่าเกิดจากสาเหตุจากพารามิเตอร์ต่างๆ สามตัวด้วยกัน ประกอบด้วยค่า Upsetting Temperature, Spindle Pressure, Forging Force จากนั้นทำการหาความสัมพันธ์ของการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทหน้าแปลนไม่เต็ม โดยความสัมพันธ์เป็นดังนี้ ถ้าให้ Spindle Pressure มีความดันเพิ่มขึ้น 1 Kg/cm^2 แล้วจะทำให้จำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องลดลง 335 ppm ถ้าให้ Upsetting Temperature มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียสแล้วจะทำให้ผลิตภัณฑ์บกพร่องลดลง 719 ppm และถ้าให้ Forging Force ลดลง 1 Ton แล้วจะทำให้จำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องเพิ่มขึ้น 563 ppm ซึ่งในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ จะไม่ทำการศึกษาถึงอิทธิพลร่วมของ Upsetting Temperature และ Spindle Pressure ต่อการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทหน้าแปลนไม่เต็ม, Upsetting Temperature และ Forging Force ต่อการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทหน้าแปลนไม่เต็ม, Spindle Pressure และ Forging Force ต่อการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องหน้าแปลนไม่เต็ม รวมทั้งไม่ศึกษาถึงอิทธิพลร่วมของทั้ง 3 ปัจจัย คือ ทั้ง Upsetting Temperature, Spindle Pressure และ Forging Force ต่อการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องหน้าแปลนไม่เต็ม จากนั้นทำการหาค่าที่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทหน้าแปลนไม่เต็มน้อยที่สุด พบว่ามีสถานะคือ ให้ปรับค่า Upsetting Temperature เท่ากับ 1200 องศาเซลเซียส, Spindle Pressure เท่ากับ 70 kg/cm^2 และ Forging Force เท่ากับ 1250 ตัน ในการควบคุมให้คุณภาพของฝ่ายผลิตที่ทำการศึกษาให้มีคุณภาพดีขึ้นนั้น จะทำการควบคุมค่าของพารามิเตอร์โดยอ้างอิงผลจากการทดลองและวิจัย ซึ่งสามารถสรุปได้ คือ

การเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทหน้าแปลนไม่เต็มนั้นเป็นผลมาจากแรงอัดในการขึ้นรูปร้อนและอุณหภูมิในการขึ้นรูปร้อนด้วยเครื่อง Electric Upsetter ซึ่งในทางปฏิบัติใช้เครื่องยี่ห้อ GOHSYU ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้จึงใช้ได้เฉพาะเครื่องรุ่นนี้เท่านั้น โดยการปรับค่าพารามิเตอร์สำหรับการผลิตให้ปรับเครื่องดังนี้ ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 1,200 องศาเซลเซียส และตั้งค่าของ Spindle Pressure ไว้ที่ 70 kg/cm² และค่าของแรงที่ใช้ในการตีขึ้นรูปที่เครื่อง Screw Press ยี่ห้อ ENOMOTO โดยการปรับค่าของ Down Power Set เท่ากับ 39

อภิชาติ ศรีธนิษฐ์ (2548) ได้ศึกษาวิธีการลดของเสียในโรงงานอุตสาหกรรมฉีดพลาสติก โดยศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ Mold ให้สูงขึ้นแล้วทำให้ขนาดของชิ้นงานลดลง เพราะการเย็นตัวของชิ้นงานพลาสติกเกิดจากไม่สามารถถ่ายเทความร้อนได้เร็ว จึงเป็นผลทำให้ชิ้นงานมีขนาดลดลง ในส่วนของระยะเวลาการฉีดนั้นสามารถอธิบายได้ว่าเนื่องจากพลาสติกทุกชนิดมีคุณสมบัติในการหดตัวอยู่แล้วเมื่อเราทำการฉีดพลาสติกเหลวเข้าไปในแบบพลาสติกจะเริ่มมีการหดตัวเพื่อถ่ายเทความร้อนแต่เมื่อระยะเวลาในการเย็นตัวใน Mold นานจะทำให้พลาสติกไม่สามารถหดตัวได้อย่างอิสระจึงทำให้ขนาดไม่สามารถลดลงได้ แต่ถ้าระยะเวลาในการเย็นตัวใน Mold น้อยเวลาที่นำชิ้นงานออกจาก Mold ชิ้นงานจะสามารถถ่ายเทความร้อนสู่อากาศและเกิดการหดตัวได้อย่างอิสระ จึงทำให้ขนาดลดลงจากนั้นได้ทำการคัดเลือกหาปัจจัยป้อนเข้าที่น่าจะส่งผลกระทบต่อการศึกษาของเสียแบบขนาดโดยของผลิตภัณฑ์ UZQ02600100 โดยผ่านเครื่องมือคือ แผนภาพแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ภายใต้การระดมสมองและการวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากลักษณะข้อบกพร่อง (FMEA) โดยทำการวิเคราะห์ผ่านพาเรโตพบว่าปัจจัยที่มีความสำคัญส่งผลกระทบต่อปัญหาที่ทำการศึกษา คือ อุณหภูมิ Mold, Cycle Time, Holding Pressure ผลการทดลองสรุปได้ว่าที่ Mold Temp เท่ากับ 75 องศาเซลเซียส Cycle Time เท่ากับ 22 วินาที และ Holding Pressure เท่ากับ 10 MPa ทำให้ได้ขนาดของชิ้นงานอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้คือ 99.75 – 100.05 มิลลิเมตร

กฤษฎา อัสวรุ่งแสงกุล (2542) ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพของหัวอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง ซึ่งจากการศึกษาพบว่าได้ปัจจัยที่จะใช้ในการทดลองเบื้องต้น 5 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบในการตัด อัตราการป้อนตัด จำนวนครั้งในการเดินลับใบมีด ความลึกของใบมีดในการตัด และทิศทางการตัด หลังจากนั้นใช้แผนการทดลองแฟรคชันนอลแบบครึ่งหนึ่งของ 2^k แฟกทอเรียล เพื่อวิเคราะห์ว่าปัจจัยทั้ง 5 นั้นมีอิทธิพลต่อการเกิดรอยบิ่นและรอยร้าวหรือไม่ หลังจากทำการเก็บข้อมูลโดยการออกแบบการทดลองและทำการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่ามี 2 ปัจจัย ที่มีผลต่อรอยบิ่นและรอยร้าวอย่างมีนัยสำคัญคือความเร็วรอบในการตัด ทิศทางในการตัด จากการพิจารณาค่าในตารางของตัวแปรตอบสนองพบว่าสภาวะการตัดที่เหมาะสม

เพื่อให้จำนวนรอยบินและรอยร้าวลดลง คือ ความเร็วรอบ 8,500 รอบต่อนาที และทิศทางการตัดจากด้าน Pole สู่ด้าน Taper จากนั้นได้ทำการทดลองเพื่อยืนยันผล โดยเปรียบเทียบสภาวะการตัดที่ใช้อยู่ในปัจจุบันกับสภาวะการตัดที่เหมาะสมพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ของเสียลดลงไม่ได้มากตามที่ต้องการ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปัจจัยทั้ง 2 มีนัยสำคัญต่อการเกิดรอยบินและรอยร้าว แต่ไม่มีนัยสำคัญเพียงพอที่จะทำให้จำนวนรอยบินและรอยร้าวลดลงในการใช้งานจริงตามที่ตั้งวัตถุประสงค์ไว้ ผู้วิจัยจึงได้พยายามหาปัจจัยใหม่ที่น่าจะมีผลต่อการเกิดปัญหา ซึ่งได้พิจารณาถึงความคมของใบมีด จึงได้เลือกปัจจัยคือ ความถี่ในการลับใบมีดระหว่างการตัดมาใช้ในการทดลองเพิ่มเติมนี้ โดยใช้แผนการทดลองแบบปัจจัยเดียว และมีระดับของปัจจัยเท่ากับ 3 ระดับ จากการทดลองเพิ่มเติม นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ตามหลักการทางสถิติพบว่าปัจจัยนี้มีผลต่อการเกิดรอยบินและรอยร้าวอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจากการวิเคราะห์จากกราฟของ Response Plot พบว่าที่การลับใบมีดทุกๆ CUT และเดินลับเพียงครั้งเดียวจะมีจำนวนรอยบินและรอยร้าวต่ำที่สุด

จากทฤษฎีการออกแบบการทดลองและทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องรวมถึงการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้นจะได้ใช้เป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบการทดลองที่เหมาะสม โดยจะใช้ขั้นตอนการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลและวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเป็นแนวทางในการทดลองต่อไป