หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในการทดลองแต่ละครั้งผู้ทดลองจำเป็นที่จะต้องเลือกแผนการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองที่เหมาะสม เพื่อจะได้นำผลการทดลองไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งกลยุทธ์ของการทดลองนั้นมีหลายรูปแบบซึ่งแต่ละรูปแบบมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ในบทนี้จะได้นำเสนอกลยุทธ์ในแบบต่าง ๆ เหล่านั้น ขั้นตอนในการออกแบบการทดลองตลอดจนการวิเคราะห์ข้อมูลตามหลักการทางสถิติที่จำเป็นต่อการออกแบบการทดลอง และได้อธิบายถึงแผนการทดลองในการออกแบบการทดลองในหลายๆรูปแบบพอสังเขป ในตอนท้ายจะเป็นการสำรวจงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง

2.2 กลยุทธ์ของการทดลอง

การทดลองถูกสร้างขึ้นโดยผู้ทดลอง ซึ่งมาจากหลายสาขาอาชีพที่ต้องการค้นหาคำตอบจากกระบวนการหรือระบบที่ผู้ทดลองมีความสนใจ การทดลองในที่นี้อาจหมายถึงการทดสอบหรือชุดของการทดสอบที่คาดหมายว่าเมื่อเปลี่ยนตัวแปรป้อนเข้าของกระบวนการหรือระบบ จะเป็นผลให้ตัวแปรตอบสนองมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ในงานทางด้านวิศวกรรม การทดลองมีบทบาทสำคัญในการออกแบบผลิตใหม่ การพัฒนากรรมวิธีการผลิตของกระบวนการ และการปรับปรุงกระบวนการผลิต บางกรณีอาจต้องการพัฒนากระบวนการที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจากแหล่งภายนอกกระบวนการจะมีผลกระทบไม่มากต่อกระบวนการ (Robust Design)

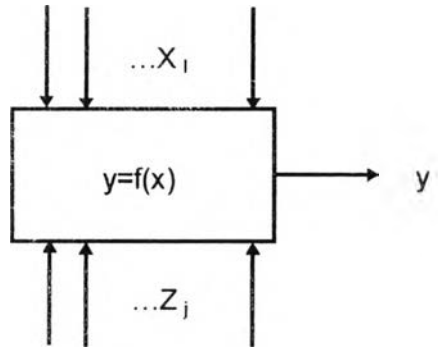
ตัวอย่างของการทดลอง เช่น ในงานวัสดุวิศวกรรมมีความสนใจที่จะศึกษาความแตกต่างของกระบวนการชุบแข็งสองกระบวนการคือ กระบวนการชุบแข็งด้วยน้ำมันและกระบวนการชุบแข็งด้วยน้ำเกลือของโลหะผสมชนิดหนึ่ง วัตถุประสงค์ของการทดลองคือการหาว่าของเหลวชนิดใดให้ค่าความแข็งสูงสุดสำหรับโลหะผสมชนิดนั้น วิศวกรกำหนดจำนวนของชิ้นงานทดสอบ สำหรับตัวกลางในการชุบแข็งแต่ละประเภท และทำการวัดค่าความแข็งหลังจากชุบแข็งแล้ว ค่าเฉลี่ยของความแข็งของชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งในแต่ละของเหลวนี้จะช่วยทำให้ได้ของเหลวที่ดีที่สุดที่ใช้ในการชุบแข็งโลหะผสมชนิดนี้

จากการทดลองที่กล่าวข้างต้นเราอาจมีคำถามที่มีความสำคัญเกิดขึ้น เช่น

1. มีของเหลวเพียง 2 ชนิดนี้ หรือที่มีผลต่อกระบวนการชุบแข็งนี้
2. มีปัจจัยอื่น ๆ อีกหรือไม่ ที่อาจจะมีผลกระทบต่อความแข็งของโลหะผสม
3. ชิ้นงานทดสอบเท่าไร ที่ควรใช้ในการทดสอบในแต่ละของเหลว
4. ลำดับในการทดลองควรเป็นอย่างไร
5. การวิเคราะห์ข้อมูลควรใช้วิธีการอะไร
6. ความแตกต่างของความแข็งระหว่างการใช้ตัวกลางสองชนิดนี้ เท่าไรจึงถือว่ามีนัยสำคัญ

คำถามทั้งหมดข้างต้น หรือคำถามอื่น ๆ จะต้องมีคำตอบที่น่าพอใจก่อนที่การทดลองจะเริ่มขึ้นนั้นคือในการวางแผนการทดลองต้องพิจารณาถึงขั้นตอนในการทำการทดลอง ทุกขั้นตอนและมีการเตรียมการอย่างมีระบบจึงจะทำให้การทดลองนั้นมีความน่าเชื่อถือได้

จากการทดลองการชุบแข็งข้างต้น ถ้าการทดลองชุบแข็งในน้ำมันใช้ความร้อนค่าหนึ่ง แต่การทดลองชุบแข็งในน้ำเกลือใช้ความร้อนอีกค่าหนึ่ง เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความแข็ง วิศวกรไม่สามารถบอกได้ว่าผลของการใช้ของเหลวในการชุบแข็งมีค่าความแข็งต่างกันเท่าไร และผลของการใช้ความร้อนมีค่าความแข็งต่างกันเท่าไร ดังนั้นวิธีการเก็บข้อมูลจะมีผลต่อการสรุปผลของการทดลองด้วย



y คือ ตัวแปรตามหรือผลิตภัณฑ์

Z,X คือ ตัวแปรอิสระหรือปัจจัย

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \in_{ij}$$

ซึ่ง μ คือ ค่าเฉลี่ย

τ_i คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย

$\in_{ij}$ คือ ความคลาดเคลื่อน

รูปที่ 2.1 *แสดงถึงรูปแบบของกระบวนการหรือระบบ*

โดยทั่วไปการทดลองถูกใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการหรือระบบ (Process or System) รูปที่ 2.1 แสดงถึงรูปแบบของกระบวนการหรือระบบ ส่วนใหญ่เรา

สามารถมองเห็นภาพของกระบวนการเป็นการร่วมกันของเครื่องจักร วิธีการ คน และทรัพยากรอื่นๆ และเมื่อมีสิ่งป้อนเข้า (Input) สู่กระบวนการจะถูกเปลี่ยนรูป จนออกมาได้เป็นผลลัพธ์ (Output) ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวอาจมีได้ตั้งแต่หนึ่งค่าหรือมากกว่าหนึ่งค่า

จากรูปที่ 2.1 จะเห็นว่ากระบวนการยังประกอบด้วยปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) คือ X_1 , X_2 , . . . , X_P และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) คือ Z_1 , Z_2 , . . . , Z_q

ปัจจัย (Factor)

ในกระบวนการผลิตสามารถแบ่งปัจจัยออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึงปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในกระบวนการ ซึ่งเป็นผลดีต่อการทดลองเพราะโดยส่วนใหญ่ผู้ทำการทดลองต้องการกำหนดค่าต่าง ๆ ที่คิดว่ามีผลต่อค่าตอบสนองที่สนใจ
2. ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดของปัจจัยนั้นได้ในกระบวนการ อันเนื่องมาจากเทคโนโลยีไม่ทันสมัยพอหรือต้นทุนในการควบคุมสูงมาก หรือมีความรู้ไม่เพียงพอ ฯลฯ ซึ่งอาจเป็นปัจจัยที่ผลต่อกระบวนอย่างมาก ผู้ทำการทดลองควรพยายามกำจัดปัจจัยลักษณะนี้ เพื่อให้เปลี่ยนเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ จึงจะเป็นประโยชน์ต่อการทดลอง

วัตถุประสงค์ของการทดลองอาจมีหัวข้อดังนี้

1. หาตัวแปรที่มีผลต่อค่าตอบสนอง y มากที่สุด
2. กำหนดค่า x ที่ทำให้ค่า y ใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการ
3. กำหนดค่า x ที่ทำให้ค่า y มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก
4. กำหนดค่า x ที่ทำให้ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) Z_1 , Z_2 , . . . , Z_q มีผลน้อยมาก

กลยุทธ์ที่ใช้ในการทดลองพอสรุปได้ดังนี้ **[1] Montgomery**

2.2.1 การคาดคะเนที่ดีที่สุด (Best - Guess Approach)

เป็นการทดลองที่ลองปรับค่าของตัวแปรที่ควบคุมได้ ตามความเชื่อหรือประสบการณ์ของผู้ทดลอง และพิจารณาค่าของตัวแปรตอบสนองที่ออกมาว่าได้ผลตามที่คาดคะเนไว้หรือไม่ การปรับค่าของตัวแปรที่ควบคุมได้ครั้งต่อไป จะพิจารณาจากผลการทดลองครั้งที่ผ่านมา แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีข้อเสียอยู่ 2 ประการคือ

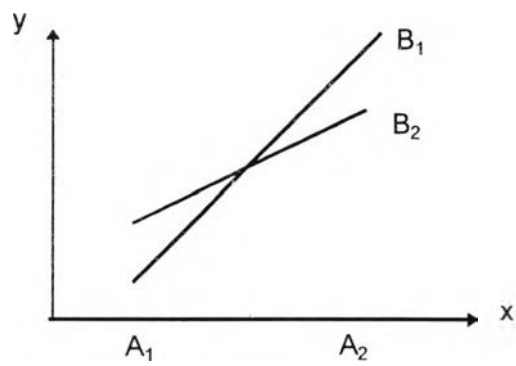
1. การทดลองครั้งแรกจะไม่ได้ผลตอบสนองที่ต้องการ อาจต้องทำการทดลองหลาย ๆ ครั้งจึงจะได้ผลตอบสนองที่ต้องการ
2. ถึงแม้การทดลองครั้งแรกจะได้ผลตอบสนองตามที่ต้องการ แต่ก็ไม่ได้ยืนยันว่าจะได้ผลตอบสนองที่ดีที่สุด

2.2.2 การพิจารณาครั้งละปัจจัย (One - Factor - at - a - Time)

การทดลองลักษณะนี้ จะกำหนดปัจจัยที่จะพิจารณาก่อน และกำหนดระดับพื้นฐาน (Baseline) ของแต่ละปัจจัย การทดลองจะทำการพิจารณาครั้งละปัจจัยโดยปัจจัยที่ถูกเลือกนั้นปรับค่าไปให้ครบทุกระดับ ขณะที่ปัจจัยอื่นกำหนดให้คงที่ ณ.ระดับพื้นฐานทั้งหมด เมื่อทำการทดลองในปัจจัยแรกเสร็จ ก็จะเปลี่ยนไปทำการทดลองกับปัจจัยอื่นต่อไป จนครบทุกปัจจัย ขอเสียของวิธีการนี้คือ อิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction) จะไม่ถูกนำมาพิจารณาด้วย ซึ่งปัจจัยร่วมนี้แสดงดังรูปที่ 2.2 เมื่อปรับปัจจัยAจาก A_1 เป็น A_2 จะทำให้ค่า y เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามจะขึ้นอยู่กับว่าปัจจัย B นั้นอยู่ในระดับ B_1 หรือ B_2 ซึ่งจะให้ค่า y ไม่เท่ากัน ฉะนั้นในการทดลองจึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยร่วมด้วย

2.2.3 การทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design)

การทดลองแบบนี้จะมีการเปลี่ยนระดับของปัจจัยต่าง ๆ ไปพร้อมกันทุกปัจจัย เช่น ปัจจัย A มีสองระดับ และปัจจัย B มีสามระดับ จะทำให้ต้องมีการทำการทดลองทั้งหมด 2x3 เท่ากับ6ครั้ง การทดลองแบบแฟคทอเรียลจะพิจารณาถึงอิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction) ด้วยซึ่งนับว่าเป็นข้อดีของวิธีนี้ การทดลองแบบนี้ยังแบ่งย่อยเป็นการทดลองอีกหลายแบบ ดังจะได้กล่าวต่อไป



รูปที่ 2.2 แสดงอิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction)

2.3 การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง [1]

การออกแบบการทดลองเป็นเครื่องมือสำคัญในระบบงานทางด้านวิศวกรรม สำหรับการเพิ่มสมรรถนะของกรรมวิธีการผลิตของกระบวนการ ซึ่งมักจะทำให้เกิดการพัฒนาในกระบวนการใหม่ การประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองในการพัฒนากระบวนการสามารถพิจารณาในรูปแบบต่อไปนี้

1. การเพิ่มผลผลิตของกระบวนการ
2. ลดความผันแปรของกระบวนการและกระบวนการมีค่าใกล้เคียงกับเป้าหมายที่ต้องการ
3. ลดเวลาที่ต้องใช้ในการพัฒนา
4. ลดต้นทุนโดยรวมของกระบวนการ

วิธีการออกแบบการทดลองมีบทบาทอย่างมาก ในการออกแบบทางวิศวกรรมทำให้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ออกมา การประยุกต์การออกแบบการทดลอง ในการออกแบบทางวิศวกรรมจะรวมถึงสิ่งต่อไปนี้

1. การประเมินและเปรียบเทียบของพื้นฐานการออกแบบ
2. การประเมินทางเลือกของวัสดุ
3. เลือกพารามิเตอร์ของการออกแบบที่เมื่อพารามิเตอร์นั้นมีการเปลี่ยนแปลงจะไม่มีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์
4. หาพารามิเตอร์ในการออกแบบที่มีผลต่อสมรรถภาพของผลิตภัณฑ์

การใช้การออกแบบการทดลองในลักษณะนี้ สามารถส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ คือ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีกรรมวิธีการผลิตที่ง่ายกว่า มีความน่าเชื่อถือ มีต้นทุนการผลิตต่ำกว่า และระยะเวลาในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่สั้นกว่า

2.4 หลักในการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง เป็นกระบวนการวางแผนของการทดลองซึ่งข้อมูลในการทดลองนั้นจะถูกวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ จนกระทั่งได้ข้อสรุปของวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ หลักการทางสถิติถูกนำมาใช้ในการออกแบบการทดลองเพื่อทำความเข้าใจในข้อมูล และหาผลสรุปออกมานั้นเอง

หลักในการออกแบบการทดลองมีดังนี้ **[1]**

2.4.1 การทำซ้ำ (Replication)

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

2.4.2 การทำแบบสุ่ม (Randomization)

การทำแบบสุ่ม (Randomization) คือ การให้โอกาสในการเก็บข้อมูลของข้อมูลแต่ละตัวให้เท่ากัน เพื่อกระจายผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ให้กับข้อมูลทุกระดับในการทดลองให้เท่า ๆ กัน การทำแบบสุ่มสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธีดังนี้

1. การทำแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomization)
2. การทำแบบสุ่มอย่างง่าย (Simple Randomization)
3. การทำแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (Complete Randomization within Blocks)

2.4.3 การบล็อก (Blocking)

การบล็อก (Blocking) คือการจัดกลุ่มทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วง เพื่อลดผลจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ทำให้การทดลองนั้นมีความเที่ยงตรงมากขึ้น การบล็อกส่วนใหญ่เกิดขึ้นกับวัสดุที่ใช้ในการทดลองนั้นไม่มีความสม่ำเสมอจึงจำเป็นต้องแยกเอาผลของวัสดุที่แตกต่างกันออกไป จะสนใจผลการทดลองที่เกิดขึ้นในแต่ละบล็อกเท่านั้น

คำจำกัดความ (Definition)

ปัจจัย (Factor) หมายถึง สิ่งที่คิดว่ามีผลต่อตัวแปรตอบสนอง และนำมาพิจารณาในการทดลอง ปัจจัยอาจมีลักษณะเป็นเชิงคุณภาพ หรือเชิงปริมาณก็ได้ เช่น การทดลองการชุบแข็งเหล็กด้วยน้ำมันจะใช้ชนิดของน้ำมันและอุณหภูมิในการชุบแข็งเป็นปัจจัยในการทดลอง ในที่นี้ชนิดของน้ำมันจะมีลักษณะเป็นเชิงคุณภาพ แต่อุณหภูมิมีลักษณะเป็นเชิงปริมาณ

อิทธิพลหรือผล (Effect) หมายถึง ผลของตัวแปรต้นที่มีตัวแปรตาม ในการทดลองอาจพิจารณาอิทธิพลที่เกิดขึ้นได้หลายตัว

ระดับของปัจจัย (Level of Factor) หมายถึง สภาวะต่าง ๆ ของปัจจัยหนึ่ง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งในทุก ๆ ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองจำเป็นต้องมีระดับของปัจจัยอย่างน้อยสองปัจจัย

ปัจจัยรบกวน (Noise Factor) หมายถึง ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองน้อยมาก และเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้

2.5 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง [1]

การใช้หลักการทางสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองเป็นสิ่งจำเป็น ผู้ทำการทดลองต้องมีความเข้าใจวิธีการในการเก็บข้อมูลตลอดจนการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มา

2.5.1 การกำหนดปัญหา

เป็นการระบุว่าความต้องการในกระบวนการคืออะไร หรือต้องการรู้ อะไรจากกระบวนการ ซึ่งเมื่อกำหนดปัญหาได้แล้วก็จะใช้เป็นวัตถุประสงค์ของการทดลองบ่อยครั้งที่การกำหนดปัญหาใช้รูปแบบของกลุ่ม โดยการรวมกันของหลายฝ่าย เช่น วิศวกร ฝ่ายประกันคุณภาพ ฝ่ายการผลิต ฝ่ายการตลาด ผู้บริหาร ลูกค้า และพนักงานฝ่ายผลิต เป็นต้น

2.5.2 การเลือกปัจจัยที่มีอิทธิพล ระดับของปัจจัยและเรนจ์ (Ranges) ของปัจจัย

ขั้นตอนนี้จำเป็นต้องใช้หลักการทางทฤษฎี ประสบการณ์ที่ได้เรียนรู้จากการทำงานในกระบวนการ และการทดลองที่ได้ทำมาแล้วในอดีตเพื่อพิจารณาว่าปัจจัยใดบ้างที่ควรนำมาใช้ในการทดลอง และในแต่ละปัจจัยควรมีช่วง (Range) ในการทดลองเท่าไร เพื่อระบุระดับของปัจจัยในการทดลอง ซึ่งระดับของปัจจัยนั้นอาจเป็นค่าเชิงปริมาณหรือเชิงคุณภาพก็ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ถูกเลือกในการทดลอง

การกำหนดระดับของปัจจัยสามารถแบ่งเป็น3แบบดังนี้

1. แบบกำหนดตายตัว (Fixed Levels) หมายถึง การกำหนดระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุมได้คงที่แน่นอน โดยผู้ทดลองจะต้องกำหนดระดับของปัจจัยขึ้นเอง
2. แบบสุ่ม (Random Levels) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าได้แน่นอน ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะเป็นตัวแทนของทั้งปัจจัย มิได้เป็นตัวแทนของระดับใดระดับหนึ่ง
3. แบบผสม (Mixed Levels) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่เกิดจากแบบกำหนดตายตัว และแบบสุ่มรวมกัน

2.5.3 การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response Variables)

ในการเลือกตัวแปรตอบสนอง ผู้ทำการทดลองต้องมั่นใจว่าเลือกตัวแปรที่สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ ต่อกระบวนการที่ทำการศึกษา ค่าเฉลี่ยหรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าวัดจะใช้เป็นตัวแปรตอบสนอง โดยทั่วไปจะเก็บข้อมูลของตัวแปรตอบสนองเพียงค่าเดียว แต่ก็มีบ้างการทดลองที่ทำการวัดค่าตัวแปรตอบสนองหลายค่าการวัดค่าจะต้องมีความแม่นยำ รวมทั้งความถูกต้องของเครื่องมือวัดด้วย

2.5.4 การเลือกแบบการทดลอง

จะต้องพิจารณาถึงขนาดของข้อมูลหรือจำนวนที่ใช้ในการทำซ้ำ (Replicate) ความเหมาะสมของลำดับในการทดลองข้อจำกัดในการสุ่ม (Randomization) และการบล็อก (Blocking) ที่จำเป็นทั้งนี้ต้องนำมาเกี่ยวโยงกันในด้านความเสี่ยง และต้นทุนที่ใช้ในการทดลอง

2.5.5 ดำเนินการทดลอง

เมื่อทำการทดลอง ต้องทำการตรวจสอบการทดลองอย่างระมัดระวังว่ามีการดำเนินการตามที่วางแผนไว้ ข้อควรระวังในขณะทำการทดลอง คือความถูกต้องของกระบวนการ เครื่องมือวัด และความสม่ำเสมอในการทดลองเพื่อให้เกิดความผิดพลาด (Error) น้อยสุด เพราะความผิดพลาดในขั้นตอนนี้มักจะทำให้การทดลองล้มเหลวได้

2.5.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

หลักการทางสถิติถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลจากการทดลอง การวิเคราะห์ข้อมูลอาจใช้ซอฟต์แวร์ (Software) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ด้วย ซึ่งปัจจุบันมีซอฟต์แวร์อยู่หลายประเภทที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้ วิธีการถูกมาใช้อย่างได้ผลคือกราฟอย่างง่ายโดยช่วยในการวิเคราะห์และตีความข้อมูลจากการทดลอง การตรวจสอบความเพียงพอของโมเดล (Model Adequacy Checking) เป็นสิ่งที่จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์เพื่อความเชื่อมั่นของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลอง พึงจำไว้ว่าวิธีการทางสถิติไม่สามารถพิสูจน์ได้ว่าปัจจัยใดมีอิทธิพล (Effect) ได้แน่นอน เพียงแต่เป็นเครื่องมือที่ให้แนวทางในการวิเคราะห์ภายใต้ความเชื่อมั่น โดยระบุเป็นเปอร์เซ็นต์ในการสรุปผลการทดลอง แต่อย่างไรก็ดีการใช้หลักการทางสถิติช่วยให้การตัดสินใจเป็นนามธรรมมากขึ้น

2.5.7 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

เมื่อข้อมูลถูกวิเคราะห์ จะต้องสรุปผลของการวิเคราะห์ซึ่งอาจแสดงในรูปแบบกราฟ ตาราง แผนภูมิ ฯลฯ ตลอดจนให้ข้อเสนอแนะจากการทดลอง เมื่อสรุปผลแล้วควรมีการทดสอบเพื่อยืนยันผลจากการทดลองอีกครั้งหนึ่ง

2.6 การใช้หลักการการทางสถิติในการทดลอง [1]

การใช้หลักการทางสถิติในการทดลองนั้นผู้ทำการทดลองต้องมีความเข้าใจประเด็นต่าง ๆ ต่อไป

1. ใช้ความรู้ที่ไม่ใช่วิธีการทางสถิติในการพิจารณาปัญหาที่เกิดขึ้น ผู้ทำการทดลองต้องมีความรู้เกี่ยวกับงานในสาขาที่จะทำการทดลอง
2. เลือกการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ที่ง่ายและไม่สับซ้อน
3. เข้าใจถึงความแตกต่างระหว่างนัยสำคัญในทางปฏิบัติและนัยสำคัญทางสถิติ เพราะว่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในการทดลอง ซึ่งเรียกว่าความแตกต่างทางด้านสถิติ นั้นไม่สามารถประกันได้ว่า จะมีความแตกต่างมากเพียงพอที่จะใช้ในทางปฏิบัติจะต้องคำนึงต้นทุนว่าคุ้มค่าในการลงทุนหรือไม่
4. ควรทำการทดลองซ้ำ ๆ หลายครั้งเพื่อให้มั่นใจว่าผลที่ได้ถูกต้อง

2.7 การตั้งสมมติฐานในการตรวจสอบ (Hypothesis Testing)

2.7.1 ความหมายของสมมติฐานทางสถิติ [2]กัลยา วานิชย์บัญชา

สมมติฐานคือ ความเชื่อของบุคคลใดบุคคลหนึ่งหรือของกลุ่มบุคคลใดๆ หรืออาจกล่าวได้ว่าสมมติฐานเป็นสิ่งที่บุคคลหรือองค์กรคาดว่าจะเกิดขึ้น ความเชื่อหรือสิ่งที่คาดนั้นอาจเป็นจริงหรือไม่ก็ได้

2.7.2 การตั้งสมมติฐานทางสถิติ

การทดสอบสมมติฐานโดยการเก็บข้อมูลจากการทดลองเพื่อสรุปว่าสมมติฐานนั้นจริงหรือไม่ สิ่งที่สำคัญที่สุดคือการตั้งสมมติฐานเพื่อการทดสอบ 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

2.7.3 หลักเกณฑ์ในการตั้งสมมติฐาน

ถ้าสิ่งที่คาดหมายไว้มีเครื่องหมายเท่ากับอยู่ด้วยให้ไว้ในH_0และสมมติฐานH_1 จะอยู่ในทิศทางตรงกันข้ามกับH_0เสมอ แต่ถ้าสิ่งที่คาดไว้ไม่มีเครื่องหมายเท่ากับให้ใส่ไว้ในH_1 และใน H_0 อยู่ในทิศตรงกันข้าม เหตุที่นำสิ่งที่มีเครื่องหมายเท่ากับอยู่ใน H_0 เนื่องจากจะมีการนำค่าที่เท่ากับนั้นไปคำนวณหาค่าสถิติทดสอบเพื่อสรุปผลว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธ H_0

2.7.4 ความผิดพลาดในการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ

ความผิดพลาดแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

1. ความผิดพลาดประเภทที่ 1 (Type I Error) เป็นความผิดพลาดเนื่องจากไม่ยอมรับ H_0 เป็นจริง และมักจะเรียกความผิดพลาดชนิดนี้ว่า "ระดับนัยสำคัญ" (Level of Significance) และใช้สัญลักษณ์ α
   โดยที่ $\alpha = P$ (ปฏิเสธ H_0 โดยที่H_0 เป็นจริง)
2. ความผิดพลาดประเภทที่ 2 (Type II Error) เป็นความผิดพลาดเนื่องจากยอมรับ H_0 โดยที่ H_0 ไม่เป็นจริงและใช้สัญลักษณ์ β
   โดยที่ $\beta = P$ (ยอมรับ H_0 โดยที H_0 ไม่เป็นจริง)

ในการทดสอบสมมติฐานแต่ละครั้ง ผู้ทดลองย่อมต้องการที่จะให้มีความผิดพลาดทั้ง2 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. กรณีการทดลองเป็นรูปแบบกำหนดตายตัว (Fixed Effects Model) จะทำการตรวจสอบว่าปัจจัยต่าง ๆ มีผลกระทบต่อกระบวนการหรือไม่ สามารถตั้งสมมติฐานได้ดังนี้

H_0 : ปัจจัยไม่มีผลต่อกระบวนการ

H_1 : ปัจจัยมีผลต่อกระบวน

หรือสามารถเขียนอยู่ในรูปสัญลักษณ์ μ เมื่อ μ คือค่าเฉลี่ยของปัจจัย

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

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

หรือสามารถเขียนอยู่ในรูปสัญลักษณ์ τ เมื่อ τ คืออิทธิพลของปัจจัย (Treatment Effect)

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

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

2. กรณีการทดลองเป็นรูปแบบสุ่ม (Random Effects Model)

จะทำการตรวจสอบว่า ความแปรปรวน $\left(\sigma_\tau^2\right)$ จะมีค่าเท่ากับ 0 หรือไม่ เพราะไม่สามารถหาค่าของอิทธิพล (Effect) ของระดับของปัจจัยที่เกิดขึ้นได้แน่นอน

สามารถตั้งสมมติฐานได้ดังนี้

H_0 : $\sigma_\tau^2 = 0$

H_1 : $\sigma_\tau^2 \rangle 0$

3. กรณีการทดลองเป็นรูปแบบผสม (Mixed Model) เมื่อปัจจัยในการทดลองมีลักษณะเป็นแบบกำหนดตายตัว (Fixed Levels) และแบบสุ่ม (Random Levels) รวมกันอยู่จะต้องใช้การตั้งสมมติฐานของ 2 กรณีที่กล่าวข้างต้นโดยแยกตามลักษณะรูปแบบของปัจจัยนั้น ๆ

2.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) [2]

การวิเคราะห์ความแปรปรวนจะทำให้สามารถทราบว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง หลักเกณฑ์สำคัญที่ใช้ในการทดสอบ คือ การแยกความแปรปรวนทั้งหมดของข้อมูล

ออกตามสาเหตุที่ทำให้ข้อมูลแตกต่างกันนั่นคือ แยกความแปรปรวนหรือความผันแปรทั้งหมดของข้อมูลออกเป็น

1. ความผันแปร หรือความแตกต่างระหว่างทรีทเม้นต์
2. ความผันแปร หรือความแตกต่างภายในทรีทเม้นต์เดียวกัน

ความผันแปรทั้งหมด = ความผันแปรระหว่างทรีทเม้นต์ + ความแปรภายในทรีทเม้นต์เดียวกัน

ถ้าความผันแปรระหว่างทรีทเม้นต์ มีค่ามากเมื่อเทียบกับความผันแปรภายในทรีทเม้นต์เดียวกันแสดงว่า ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของทรีทเม้นต์มากกว่าความแตกต่างภายในทรีทเม้นต์เดียวกัน ในกรณีเช่นนี้จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ที่กำหนดว่าค่าเฉลี่ยของทรีทเม้นต์เท่ากัน หรือสรุปได้ว่ามีค่าเฉลี่ยของทรีทเม้นต์อย่างน้อย 1 ทรีทเม้นต์ แต่ที่แตกต่างจากทรีทเม้นต์อื่น สามารถตีความหมายได้ว่าปัจจัยดังกล่าวนี้มีอิทธิพล (Effect) ต่อกระบวนการหรือมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองที่สนใจนั่นเอง

แต่ถ้าความผันแปรภายในทรีทเม้นต์เดียวกัน มีค่ามากกว่าความผันแปรระหว่างทรีทเม้นต์ หรือมีค่ามากเมื่อเทียบกับความผันแปรระหว่างทรีทเม้นต์ จะทำให้สรุปได้ว่า ค่าเฉลี่ยของทรีทเม้นต์ที่ต้องการทดสอบไม่แตกต่างกันคือปฏิเสธ H_1 หรือยอมรับ H_0 นั่นเองซึ่งหมายถึงปัจจัยดังกล่าวไม่มีอิทธิพล (Effect) ต่อกระบวนการ

การวัดความผันแปรหรือความแปรปรวนจากข้อมูลในการทดลองนั้น จะใช้ตัวประมาณค่าของความแปรปรวน (Variance) ที่ดีที่สุดคือค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Square : MS) โดยที่ค่า MS สามารถคำนวณจาก

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

เมื่อ SS คือผลรวมกำลังสอง (Sum of Square)
และ df คือขั้นของความอิสระ (Degree of Freedom)

ความผันแปรทั้งหมด = ความผันแปรระหว่างทรีทเม้นต์ + ความผันแปรภายในทรีทเม้นต์เดียวกัน

หรือ $SS_T = SS_{Tr} + SS_E$

โดยที่ SS_T = ความผันแปรทั้งหมด

SS_{Tr} = ความผันแปรระหว่างทรีทเม้นต์

SS_E = ความผันแปรภายในทรีทเม้นต์เดียวหรือเรียกว่าผลบวกของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง

$= SS_T - SS_{Tr}$

สำหรับขั้นของความอิสระ (Degree of Freedom) จะแบ่งออกเป็นสองส่วนเช่นเดียวกัน ดังนี้

ขั้นของความอิสระทั้งหมด = ขั้นของความอิสระ (ระหว่างทรีทเม้นต์) + ขั้นของความอิสระ (ภายในทรีทเม้นต์)

สถิติทดสอบ (Test Statistic) ที่ใช้นำมาเปรียบเทียบค่าความแปรปรวนคือ

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

เมื่อ MS_{Tr} (Mean Square for Treatment) คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองระหว่างทรีทเม้นต์
MS_E (Mean Square for Error) คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองภายในทรีทเม้นต์เดียวกัน

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

เมื่อ $\propto$ คือ ระดับนัยสำคัญ (Significance Level)
ν_1 คือ ขั้นของความอิสระระหว่างทรีทเม้นต์ของปัจจัยนั้น
ν_2 คือ ขั้นของความอิสระภายในทรีทเม้นต์เดียวกัน

2.8.1 โมเดลเชิงเส้นทางสถิติ (Linear Statistical Model) [1]

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนนั้นจำเป็นต้องมีการสร้างโมเดลเชิงเส้นขึ้นด้วย ซึ่งลักษณะโมเดลเชิงเส้นจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของแผนการทดลองดังจะแสดงตัวอย่างต่อไปนี้

การวิเคราะห์ความแปรปรวนกรณีที่มีปัจจัย 2 ปัจจัย

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

โดยที่ I = 1,2, . . . , a (ระดับของปัจจัย A)
j = 1,2, . . . , b (ระดับของปัจจัย B)
k = 1,2, . . . , n (จำนวนซ้ำ)

และ y_{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 ความผิดพลาด (Random Error)

ข้อมูลจะถูกนำมาคำนวณและใส่ในตารางที่2.1 ซึ่งเป็นตารางของ การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัย

ตารางที่2.1 *การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัย 2 ปัจจัย (ANOVA TABLE)*

แหล่งความผันแปร	ผลรวมกำลังสอง (SS)	ขั้นของความอิสระ (df.)	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (MS)	ค่าสถิติทดสอบ (F_0)
A	$\frac{\sum_{i=1}^{a} y_{i..}}{bn} - \frac{y^2}{abn}$	*a-1*	MS_A	$\frac{MS_A}{MS_E}$
B	$\frac{\sum_{j=1}^{b} y_{.j.}}{an} - \frac{y^2_{...}}{abn}$	*b-1*	MS_B	$\frac{MS_B}{MS_E}$
AxB	$\frac{\sum_{j=1}^{b}\sum_{i=1}^{a} y_{ij.}}{n} - \frac{y^2}{abn} - SS_A - SS_B$	*(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	$\sum_{k=1}^{n}\sum_{j=1}^{b}\sum_{i=1}^{a} y_{ijk}^2 - \frac{y^2_{...}}{abn}$	*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 จะใช้ค่าสถิติทดสอบที่มีการแจกแจงแบบเอฟ (F-Distribution) โดยกำหนดค่า α ก่อน หากค่า $F_0 \leq F_{\alpha,v_1,v_2}$ จะยอมรับ H_0 นั่นคือปัจจัยนั้นไม่มีผลต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ แต่ถ้าค่าของ $F_0 \rangle F_{\alpha,v_1,v_2}$ จะปฏิเสธ H_0นั่นคือ ปัจจัยนั้นมีผลต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ

2.8.2 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking) [1]

เงื่อนไขของการวิเคราะห์ความแปรปรวน

1. ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution)
2. ค่าความแปรปรวนแต่ละทรีทเม้นต์ต้องเท่ากัน คือ $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \ldots\ldots = \sigma_a^2$
3. การสุ่มตัวอย่างแต่ละชุดจากแต่ละทรีทเม้นต์จะเป็นอิสระต่อกัน

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

โดยที่ μ คือ ค่าเฉลี่ย

τ_i คือ ค่าที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัย

$\in_{ij}$ คือ ความคลาดเคลื่อน

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

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบมีอยู่ 3 ขั้นตอน คือ

1. การตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) หรือไม่ โดยนำค่าเรสซิดวล (Residuals) ไปตรวจสอบค่าเรสซิดวลสามารถหาได้ดังนี้

$$e_{ij} = y_{ij} - y_{ij}$$

โดยที่ e_{ij} คือผลต่างระหว่างค่าตัวแปรตอบสนองกับค่าเฉลี่ย (Residuals)

y_{ij} คือ ค่าตัวแปรตอบสนอง

y_{ij} คือ ตัวประมาณค่าของ y_{ij}

$$y_{ij} = \mu + \tau_i$$
$$= \bar{y}_{..} + (\bar{y}_i - \bar{y}_{..})$$
$$= \bar{y}_i$$

โดยที่ $\bar{y}_i$ = คือค่าเฉลี่ยของทรีทเม้นต์นั้น

เมื่อคำนวณค่า $\in_{ij}$ ได้แล้วจะนำไปทดสอบการแจกแจงแบบปกติโดยใช้ **[3]**

- การทดสอบแบบไคร์สแควร์ (χ^2 - Goodness of Fit Test)
- การทดสอบแบบโคโมโกรอฟ - สเมอร์นอฟ (Kolgomorov - Smirnov Test)
- การทดสอบโดยใช้กระดาษตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติ (NOPP)

2. การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent)

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

3. การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability)

วิธีการตรวจสอบจะใช้แผนภูมิการกระจายซึ่งเป็นแผนภูมิระหว่างค่า e_{ij} (Residual) กับทรีทเม้นต์แต่ละทรีทเมนต์ โดยรูปร่างที่ออกมาจะต้องมีลักษณะเป็นทรงกระบอก จึงจะถือว่าความแปรปรวนมีความเสถียรแต่ถ้ารูปของแผนภูมิมีลักษณะการเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นลำดับ (Megaphone) แสดงว่าข้อมูลนั้นไม่มีความเสถียรของความแปรปรวน

2.9 ชนิดของแผนการทดลอง

2.9.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีปัจจัยเดียว (Single-Factor ANOVA)

การทดลองแบบนี้จะต้องเก็บข้อมูลโดยกำหนดระดับของปัจจัย**[2]** หรือทรีทเม้นต์ (Treatment) เพื่อทดสอบว่าทรีทเม้นต์ต่างๆ มีผลต่อค่าตอบสนองหรือไม่ โดยการทดลองแบบมีปัจจัยเดียวสามารถแบ่งเป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.9.1.1 การทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD)

- เป็นการทดลองที่มีปัจจัยเดียว แต่จะทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างทรีทเม้นต์
- ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้มีผลกระทบน้อย และไม่มีปัจจัยรบกวน
- การทดลองนั้นใช้หลักการทำแบบสุ่ม (Randomization) และการทำซ้ำ (Replication)

ขั้นตอนในการทำการทดลอง

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

2.9.1.2 แผนการทดลองแบบสุ่มโดยสมบูรณ์ภายในบล็อก (Randomized Block Design)

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

หลักการของการบล็อกสุ่ม คือ

1. แบ่งการทดลองเป็น a ทรีทเม้นต์ โดยให้แต่ละทรีทเม้นต์แบ่งหน่วยทดลองเท่าๆ กัน คือ b หน่วย หรือ b บล็อก และให้ในแต่ละบล็อกมีลักษณะอื่นๆ ที่ผลต่อตัวแปรตอบสนองคล้ายคลึงกันมากที่สุด
2. ทำการสุ่ม (Randomization)
3. ทำซ้ำทุกๆหน่วยทดลอง

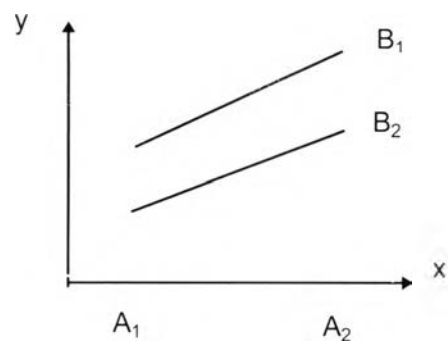
ขั้นตอนในการทำการทดลอง

1. ออกแบบและวางแผนการทดลอง
2. เก็บและรวบรวมข้อมูล
3. วิเคราะห์ควรแปรปรวน (ANOVA)
4. สรุปผลการทดลอง

2.9.2 แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design) [1]

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

อิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction Effect) คือ อิทธิพลที่เกิดขึ้นจากหลายปัจจัยร่วมกัน เช่น เมื่อกำหนดปัจจัย B อยู่ที่ทรีทเม้นต์หนึ่งแล้ว ทำการปรับค่าปัจจัย A จะส่วผลต่อค่าตอบสนองให้มีการเปลี่ยนแปลง และเมื่อเปลี่ยนค่าปัจจัย B ไปอีกทรีทเม้นต์หนึ่งแล้วปรับค่าปัจจัย A จะส่งผลต่อค่าตอบสนองให้มีการเปลี่ยนแปลงในอีกทิศทางหนึ่ง ดังรูปที่ 2.2 ในทางตรงกันเมื่อไม่มีอิทธิพลของปัจจัยร่วมจะมีลักษณะดังในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 *แสดงกราฟที่ไม่มีอิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction)*

แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลโดยทั่วไป จะประกอบด้วยปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป เช่น การทดลองหนึ่งมี 3 ปัจจัยคือ A, B, C โดยแต่ละปัจจัยจะมีจำนวนทรีทเม้นต์เท่ากับ 3, 3, 2 ตามลำดับ และมีการทำซ้ำ 2 ครั้ง ฉะนั้นจะต้องมีการเก็บข้อมูลทั้งหมดเท่ากับ 3 x 3 x 2 x 2 = 36 ตัว

รูปแบบของแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลยังแบ่งย่อยในกรณีที่แผนการทดลองมีลักษณะเฉพาะตัวอีกดังนี้

2.9.2.1 2^k แฟคทอเรียล

เป็นการทดลองที่มี k ปัจจัย แต่ละปัจจัยจะมีระดับของปัจจัยอยู่ 2 ระดับ การทดลองแบบนี้เหมาะสำหรับการทดลองที่มีปัจจัยมากๆ เป็นการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลเบื้องต้นจะช่วยในการทำการทดลองที่เจาะลึกต่อไป

2.9.2.2 3^k แฟคทอเรียล

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

2.9.2.3 แผนการทดลองแบบแฟรกชั่นนอลแฟคทอเรียล (Frational Factorial Design)

เป็นรูปแบบการทดลองที่ใช้ในกรณีเมื่อการทดลองมีหลายปัจจัย ทำให้ต้องเสียเวลาเก็บข้อมูลมาก ดังนั้นจะทำให้ความสัมพันธ์ของทรีทเม้นต์ (Treatment Combination) บางตัวถูกตัดออกโดยอาศัยหลักการของการคอนเฟาวด์ (Confound) ซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองนั้นลดลง

การคอนเฟาวด์ (Confound)

มีปัญหาส่วนหนึ่งไม่สามารถทำการทดลองให้สมบูรณ์ได้ในหนึ่งบล็อก การคอนเฟาวด์ เป็นวิธีการสำหรับปรับให้การทดลองแบบแฟคทอเรียลลงในบล็อกที่กำหนด ซึ่งขนาดของจำนวนบล็อกจะน้อยกว่าจำนวนความสัมพันธ์ของทรีทเม้นต์ในการทำซ้ำหนึ่งครั้ง (One Replication) โดยส่วนใหญ่จะเลือกปัจจัยร่วมในลำดับสูงๆ (High-Order Interaction) เป็นตัวคอนเฟาวด์

2.9.2.3.1 แผนการทดลองแฟรกชั่นนอลแบบครึ่งหนึ่งของ2^kแฟคทอเรียล

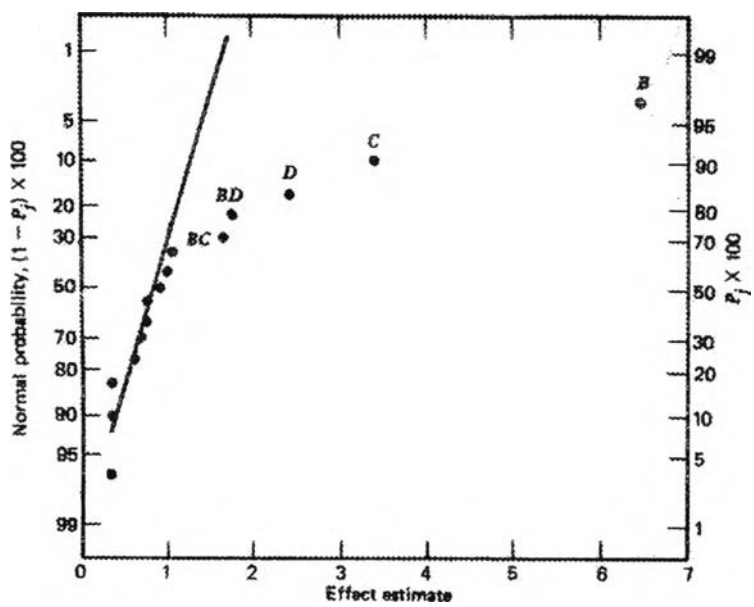
การทดลองแบบนี้จะเก็บข้อมูลเพียงครึ่งหนึ่ง โดยมีสมมติฐานว่าปัจจัยร่วมในระดับสูง (High-Order Interaction) ไม่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนอง จึงไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณา การวิเคราะห์ความแปรปรวนจะนำผล (Effect) ของปัจจัยร่วมในระดับสูง (High-

Order Interaction) ไปรวมกับ ผล (Effect) ของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมในระดับต่ำ และใช้สัญลักษณ์เป็น 2^{k-1}

ตัวอย่างเช่น แผนการทดลอง 2^{5-1} แฟคทอเรียล คือ แผนการทดลองแฟรกชั่นนอลแบบครึ่งหนึ่งของ 2^5 แฟคทอเรียล โดยมีดีไฟนิ่งรีเลชั่น (Defining Relation) I = ABCDE จะมีผลของปัจจัยต่างๆ รวมกัน ดังนี้คือ

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 ในกระดาษตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติ (NOPP) ดังเช่น ในรูปที่ 2.4 **[1]**



รูปที่2.4 แสดงการหาปัจจัยที่มีความสำคัญ (Important Effects)

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

2.9.2.3.2 แผนการทดลองแฟรกชั่นนอลแบบหนึ่งในสี่ของ 2^k แฟคทอเรียล

แผนการทดลองแบบนี้จะใช้สัญลักษณ์เป็น 2^{k-2} จะมีลักษณะคล้ายแผนการทดลองแฟรกชั่นนอลแบบครึ่งหนึ่งของ 2^k แฟคทอเรียล แต่วิธีนี้จะเก็บข้อมูลเพียงหนึ่งในสี่ของแผนการทดลอง 2^k แฟคทอเรียล การวิเคราะห์ข้อมูลจะมีลักษณะคล้ายกับแผนการทดลองแบบครึ่งเดียวของ 2^k แฟคทอเรียลทุกประการ แผนการทดลองแบบนี้เหมาะสำหรับการทดลองที่มีปัจจัยมากและใช้เวลาในการเก็บข้อมูลนาน

นอกจากนี้แผนการทดลองแบบแฟรคชั่นนอลแฟคทอเรียลสามารถใช้กับแผนการทดลองแบบ 3^k แฟคทอเรียล ได้เช่นกัน โดยจะประยุกต์ใช้หลักการของการคอนเฟาวด์ (Confound) เพื่อลดจำนวนข้อมูล และจากนั้นทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนต่อไป

2.9.3 แผนการทดลองอื่น ๆ

- แผนการทดลองลาตินสแควร์ (Latin Squares Design)
- แผนการทดลองเนสเต็ด (Nested Design)
- แผนการทดลองสปิทพล็อท (Split-Plot-Design)

2.10 การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Square)

เป็นสัมประสิทธิ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ว่าแผนการทดลองที่ใช้นั้นมีความผันแปรส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากปัจจัยที่กำหนดหรือเกิดจากธรรมชาติของกระบวนการ

$$R^2 = \frac{SSModel}{SSTotal}$$

โดยที่ R^2 คือ สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square)

SS Model คือ ผลรวมกำลังสองของรูปแบบ (Model)

SS Total คือ ผลรวมกำลังสองของทั้งหมด

ถ้าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square) สูง แสดงว่าความผันแปรส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นมาจากปัจจัยที่กำหนด แต่ถ้าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square) ต่ำแสดงว่าความผันแปรเกิดขึ้นจากธรรมชาติของกระบวนแสดงว่าแผนการทดลองที่ใช้ไม่เหมาะสม และต้องกลับไปพิจารณาถึงปัจจัยที่ใช้ในการทดลองว่ามีอิทธิพลจริงหรือไม่ ตลอดจนตรวจสอบการเก็บรวบรวมข้อมูลว่ามีข้อผิดพลาดหรือไม่

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทศพล เกียรติเจริญผล **[3]**

การวิจัยครั้งนี้ได้ใช้หลักการของการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง มาทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงปัจจัย4ปัจจัยคือ ชนิดของแลกเกอร์ น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ อุณหภูมิบ่ม เวลาที่ใช้ในการบ่ม ที่มีผลต่อลักษณะของผิวเคลือบแลกเกอร์ โดยทำการทดสอบลักษณะของผิวเคลือบแลกเกอร์ 6 ลักษณะคือ การทดสอบความยืดหยุ่น การทดสอบการทนต่อการขีดข่วน การทดสอบการทนต่อการขัดถู การทดสอบการทดต่อการแทรกซึมของไอน้ำ การทดสอบความแข็งแรงในการยึดเกาะระหว่างแลกเกอร์กับเนื้อเหล็ก และการทดสอบการหลุดลอกของแลกเกอร์จากการต้มฆ่าเชื้อและทำการศึกษาวิเคราะห์ปัจจัยและหาเงื่อนไขที่เหมาะสมจากการทดลอง

สุขชีพ โลพันธ์ศรี **[4]**

การวิจัยครั้งนี้ศึกษาถึงการใช้เม็ดมีดกลึงสำเร็จรูปที่เป็นวัสดุคาร์ ไบด์เคลือบผิวและวัสดุเซรามิก ในการกลึงชิ้นงานที่เป็นวัสดุเหล็กหล่อสีเทาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาผลกระทบของอัตราป้อนและความเร็วตัดของมีดกลึงที่มีต่อความสึกหรอของใบมีดและความเรียบผิวของชิ้นงานสำหรับงานกลึงละเอียด 2) ศึกษาอายุการใช้งานที่กำหนดจากความสึกหรอของมีดกลึงและความเรียบผิวของชิ้นงาน เพื่อให้ได้จุดที่สภาวะเงื่อนไขการตัดที่ให้ผลตอบแทนสูงสุด

จากการทดลองพบว่า ความเร็วตัดและอัตราป้อนใบมีดจะมีผลต่ออายุการใช้งานของมีดกลึงกล่าวคือเมื่อเพิ่มความเร็วตัดและอัตราป้อนเพิ่มขึ้น การสึกหรอก็จะเพิ่มมากขึ้นโดยอัตราป้อนใบมีดมีผลกระทบน้อยกว่าความเร็วตัด นอกจากนี้อัตราป้อนใบมีดยังมีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงานคือเมื่ออัตราป้อนใบมีดเพิ่มขึ้น จะมีผลให้ชิ้นงานมีความเรียบผิวที่มีแนวโน้มลดลง

ไสว สุขวิทยาวงษ์ **[5]**

การวิจัยครั้งนี้ มีจุดมุ่งหมายเพื่อทำการศึกษาหาสภาวะการที่ตัดที่เหมาะที่สุด ซึ่งประกอบด้วยความเร็วในการตัด และอัตราการป้อนตัดระหว่างมีดตัดคาร์ไบด์และมีดตัดโค๊ต ที่ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการตัดต่อชิ้นงานต่ำที่สุด พร้อมทั้งทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการตัดของมีดทั้งสอง

การวิจัยได้ใช้วัสดุชิ้นงานเป็นเหล็ก AISI 1045 ณ จุดสภาวะการตัดหนึ่งๆ ได้ทำการศึกษาความสึกหรอและอายุการใช้งานของมีดตัด เพื่อใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายในการตัดชิ้นงาน หลังจากนั้นทำการพิจารณาหาสภาวะการตัดที่ดีกว่าด้วยวิธีการของ Optimum Gradient Method จนกระทั่งสามารถกำหนดสภาวะการตัดที่เหมาะสมที่สุด ที่ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการตัดต่ำที่สุด

คำรณ พิทักษ์ **[6]**

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะและวิธีการที่เหมาะสมในการนำไปใช้กะเทาะเมล็ดมะม่วงหิมพานต์โดยเครื่องเหวี่ยง การวิจัยได้ทดลองหาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกะเทาะเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ เช่น ขนาดของเมล็ด ความชื้นของเมล็ดก่อนจะมีการกะเทาะ ความเร็วของเมล็ด และอุณหภูมิในการทอด เป็นต้น

จากการวิเคราะห์ผลการวิจัยโดยวิธีการทางสถิติและกราฟ ก็จะทำให้ได้สภาวะที่เหมาะสมในการกะเทาะเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ และได้สภาวะที่เหมาะสมไปใช้ในการกะเทาะด้วยเครื่องเหวี่ยงจริงๆจะได้เปอร์เซ็นต์ในประกบคู่ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์

สุทธิวัฒน์ มหัศมปกรณ์ **[7]**

การศึกษาปัจจัยของกรรมวิธีการเชื่อมระบบ TIG ที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของรอยเชื่อมสำหรับท่อเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกชนิด SUS 436L โดยการทดลองเชื่อมตามหลักการออกแบบการทดลอง กำหนดค่าของปัจจัยที่ระดับสูง และระดับต่ำลงในเงื่อนไขการทดลองจำนวน 8 เงื่อนไข เพื่อทำการทดลองเชื่อมโดยใช้ค่าของปัจจัยตามที่กำหนดไว้ นำท่อที่ได้จากการทดลองเชื่อมมาทำการทดสอบทางกล วัดค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของตะเข็บเชื่อม และเส้นผ่านศูนย์กลางขยายของชิ้นงานทดสอบการบานท่อ ประกอบกับการดูภาพโครงสร้างทางโลหะบริเวณแนวเชื่อม จากนั้นนำผลการทดสอบมาวิเคราะห์พร้อมกับนำค่าของปัจจัยไปลองใช้งาน

สมเจตน์ สังหพันธุ์ **[8]**

การศึกษานี้ได้ศึกษาผลของเงื่อนไขการทำงานที่สภาวะการทำงานต่างๆ ของขบวนการแปรรูปโลหะด้วยวิธีอีดีเอ็ม ที่มีต่อลักษณะเฉพาะที่สำคัญของกรรมวิธี 4 ประการ คือ อัตราการกัดเนื้อโลหะ อัตราการสึกหรอของอีเล็คโตรด ความหยาบของผิวงาน และระยะดิสชาร์จ การทดลองโดยการแปรค่ากระแสดิสชาร์จในช่วง 9.85 - 30.5 A และระยะพัลส์ 50 - 1000 μs โดยการใช้ทองแดงและอลูมิเนียมเป็นอีเล็กโตรดกัดชิ้นงานซึ่งเป็นเหล็กกล้า AISI 4140

2.12 สรุป

จากทฤษฎีการออกแบบการทดลอง และการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้นจะได้ใช้เป็นแนวทางในการนำไปออกแบบแผนการทดลองที่เหมาะสม โดยจะใช้ขั้นตอนการออกแบบการทดลองทั้ง 7 ขั้นตอน และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เป็นแนวทางในการทดลองต่อไป