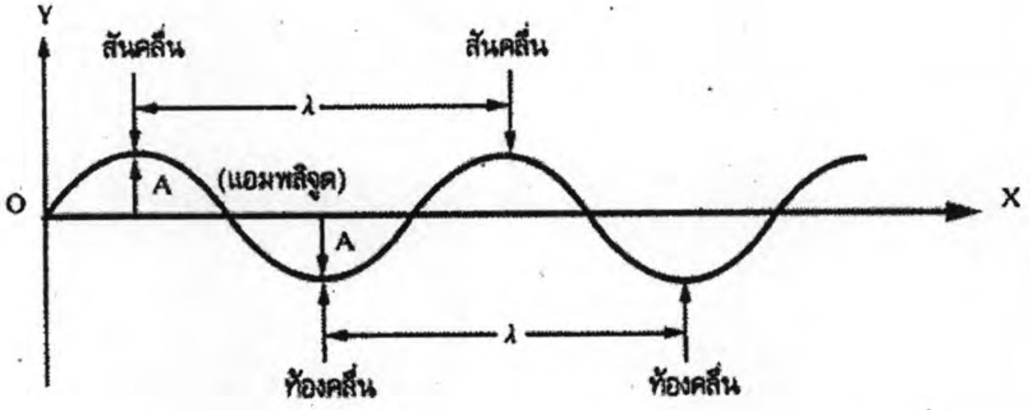
หอสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การสำรวจเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการศึกษา ประกอบไปด้วยความรู้ความเข้าใจเรื่องคลื่น เนื่องจากอัลตร้าโซนิค คือ คลื่นเสียงชนิดหนึ่ง ที่เรียกว่าคลื่นเหนือเสียง นอกจากนั้นยังกล่าวถึงกระบวนการเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิค ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องเชื่อมอุลตร้าโซนิค ทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบการทดลองที่เป็นส่วนสำคัญในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นิยามของความแข็งแรงต้านแรงดึง ในตอนท้ายของบทนี้ได้กล่าวถึงการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำการศึกษา

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับคลื่น



รูปที่ 2.1 ลักษณะและส่วนประกอบของคลื่น (www.rmutphysics.com.)

2.1.1 ส่วนประกอบของคลื่น

2.1.1.1 ความยาวคลื่น แทนด้วย (แลมด้า) λ คือระยะที่วัดระหว่างจุดสูงสุดใกล้กัน หรือจะวัดระหว่างจุดต่ำสุดใกล้กัน หรือถ้าจะวัดจากตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งก็ให้ไปสิ้นสุดที่ตำแหน่งเดิมนั้นถัดไป

2.1.1.2 อัตราเร็วของคลื่น แทนด้วย c คือ ระยะที่คลื่นเคลื่อนที่ไปใน 1 วินาที

2.1.1.3 คาบเวลา แทนด้วย τ คือ จำนวนที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่านจุด ๆ หนึ่งในเวลา 1 วินาที

2.1.1.4 แอมปลิจูด (A) คือ ระยะกระจัดสูงสุดวัดจากระยะสมดุล

สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการ ต่อไปนี้

$$f = \frac{c}{\lambda} \qquad \text{..............(1)}$$

หรือ

$$c = \lambda f \qquad \text{..............(2)}$$

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับคลื่นเสียง

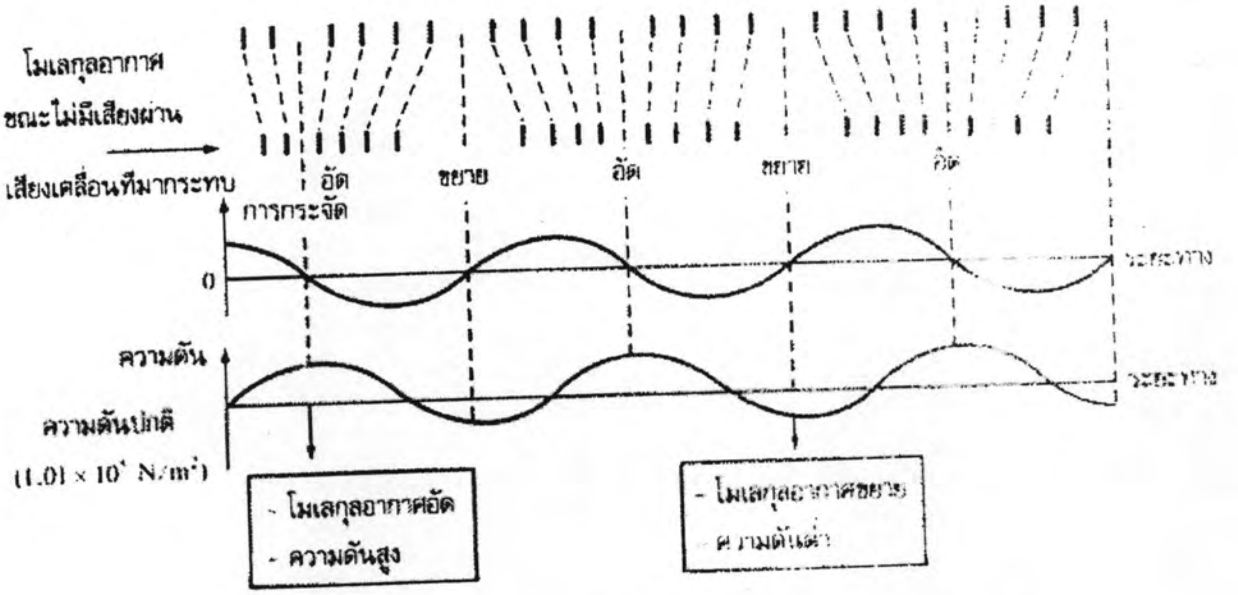
เพื่อความเข้าใจในหลักการของคลื่นมากขึ้น จึงนำทฤษฎีของคลื่นเสียงมาศึกษาเพิ่มเติม โดยมีรายละเอียดดังนี้

เสียงเกิดจาก การสั่นของวัตถุ เราสามารถทำให้วัตถุสั่นด้วยวิธีการ ดีด สี ตีและเป่า เมื่อแหล่งกำเนิดเสียงเกิดการสั่น จะทำให้โมเลกุลอากาศสั่นตามไปด้วยความถี่เท่ากับการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียง เกิดเป็นช่วงอัดช่วงขยายของโมเลกุลของอากาศ ซึ่งพลังงานของการสั่นจะแผ่ออกไปรอบๆแหล่งกำเนิดเสียง ตรงกลางส่วนอัดและตรงกลางส่วนขยายโมเลกุลอากาศจะไม่มีการเคลื่อนที่(การกระจัดเป็นศูนย์) แต่ตรงกลางส่วนอัดความดันอากาศจะมากและตรงกลางส่วนขยายความดันอากาศจะน้อยมาก ดังนั้นคลื่นเสียงจึงเป็นคลื่นตามยาวเพราะโมเลกุลของอากาศจะสั่นในทิศเดียวกับทิศที่เสียงเคลื่อนที่ไป

ความดังของเสียงจะขึ้นอยู่กับช่วงกว้างของการสั่น (แอมปลิจูด) ถ้าแอมปลิจูดมากเสียงจะดังมาก การเปลี่ยนแปลงความดันอากาศสามารถทำให้คลื่นเสียงเคลื่อนที่ไปข้างหน้า จนถึง หูของผู้ฟัง เมื่อคลื่นเสียงเดินทางเข้ากระทบเยื่อแก้วหูผู้ฟังทำให้เยื่อแก้วหูของผู้ฟังสั่น การสั่น แปรเป็นกระแสประสาทส่งไปยังสมอง

<u>การเกิดเสียงและการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียง</u>

คลื่นเสียงเกิดจากการสั่นของวัตถุ พลังงานจากการสั่นของวัตถุจะถ่ายทอดให้กับโมเลกุลของอากาศ ทำให้โมเลกุลของอากาศสั่น แล้วถ่ายทอดพลังงานที่ได้รับแก่โมเลกุลถัดไปเรื่อยๆ เกิดเป็นส่วนอัดและส่วนขยายของโมเลกุลอากาศ มีลักษณะคล้ายการสั่นของสปริงตามยาว ดังรูปที่ 2.2

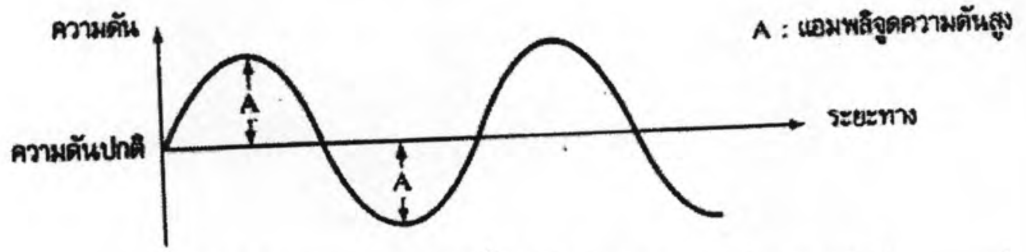


รูปที่ 2.2 ลักษณะการเกิดเสียงจากการสั่นของโมเลกุล (www.rmutphysics.com.)

<u>สรุปการเกิดเสียง</u>

1. เสียงเป็นคลื่นกลตามยาว เกิดจากการสั่นของอนุภาค

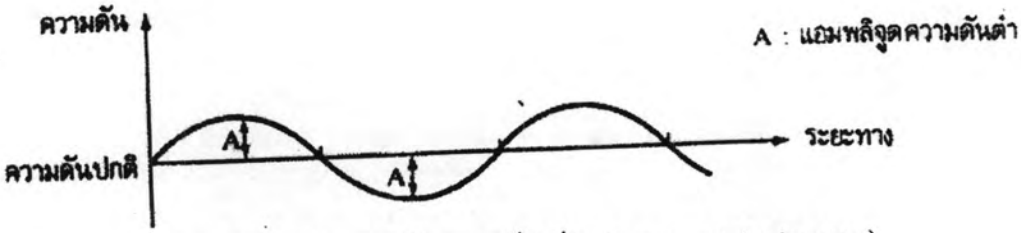
2. เสียงดัง แสดงว่าอนุภาคสั่นแรง มีพลังงานสูง มีการเปลี่ยนแปลงความดันอากาศมาก ดังรูปที่2.3



รูปที่ 2.3 ลักษณะของแอมปลิจูดของเสียงดัง (www.rmutphysics.com.)

3. เสียงค่อย แสดงว่าอนุภาคสั่นเบา มีพลังงานต่ำ มีการเปลี่ยนแปลงความดันอากาศน้อย ดังรูปที่2.4

4. ความถี่เสียงเท่ากับความถี่ของการสั่นของแหล่งกำเนิดเสียง



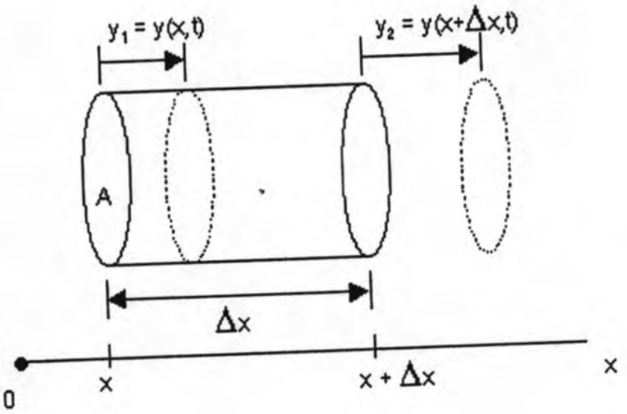
รูปที่ 2.4 ลักษณะของแอมปลิจูดของเสียงค่อย (www.rmutphysics.com.)

คลื่นเสียงมีลักษณะเป็นรูปไซน์ เคลื่อนที่อยู่ในตัวกลางสามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการได้ดังนี้

$$y = A\sin(kx - \omega t) \qquad \text{............ (3)}$$

y คือ ระยะกระจัดวัดจากระยะสมดุล

A คือ แอมปลิจูด เป็นระยะกระจัดสูงสุดวัดจากระยะสมดุล



รูปที่2.5 ปริมาตรของแก๊สรูปทรงกระบอกมีพื้นที่หน้าตัด A (www.rmutphysics.com.)

พิจารณาปริมาตรของแก๊สรูปทรงกระบอก พื้นที่หน้าตัด A ดังรูปที่2.5 เริ่มต้นยังไม่มีคลื่นเสียงผ่าน มีปริมาตรเท่ากับ $A\Delta x$ แต่เมื่อมีคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่าน การเปลี่ยนแปลงของปริมาตร ΔV จะเท่ากับ

$$A(y_2 - y_1) = A[y(x + \Delta x, t) - y(x, t)]$$

ใส่ค่าลิมิตโดยให้ $\Delta x \rightarrow 0$ อัตราส่วนของปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไปต่อปริมาตรเดิมจะเป็น

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{y(x+\Delta x,t)-y(x,t)}{\Delta x} = \frac{\partial y}{\partial x} \quad \text{............. (4)}$$

จากนิยามของบัลค์โมดูลัส B , p = $-B\dfrac{\Delta y}{V}$ เราจะได้

$$p = -B\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right) \quad \text{.........(5)}$$

ถ้า $\dfrac{\partial y}{\partial x}$ เป็นบวก แสดงว่า ระยะขจัดที่เคลื่อนที่ทางปลายข้างขวา จะมากกว่าปลายซ้าย ปริมาตรของทรงกระบอกจะเพิ่มขึ้น แต่ความดันกลับลดลง เหตุผลนี้จึงต้องใส่เครื่องหมายลบที่หน้าสมการบน

จากสมการ (3) เราจะได้

$$p = BkA\cos(kx-\omega t) \quad \text{................(6)}$$

ความดันของสมการ (6) เปลี่ยนแปลงในลักษณะของรูปคอส (cos) ดังนั้น แอมปลิจูดของความดันคือ

$$p_{\max} = BkA \quad \text{................(7)}$$

p_{max} เป็นสัดส่วนตรงกับแอมปลิจูด และเลขคลื่น โดยเลขคลื่นเป็นสัดส่วนกลับกับความยาวคลื่น แสดงว่าความยาวคลื่นสั้นจะให้ความดันสูง คลื่นจะมีการบีบอัดตัวมาก ในทางกลับกัน ถ้าความยาวคลื่นยาวจะให้ความดันต่ำ คลื่นจะมีการบีบอัดตัวน้อย

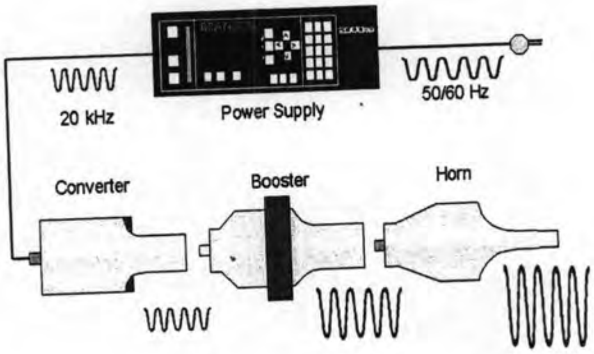
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับการเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิค

การเชื่อมด้วยวิธีการอุลตร้าโซนิคจะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า ฮอร์น (Horn) เพื่อส่งผ่านพลังงานเสียงที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนไปยังพื้นที่ที่ต้องการเชื่อม ซึ่งบริเวณดังกล่าวจะถูกเปลี่ยนให้เป็นความร้อน เนื่องจากแรงเสียดทานของจุดทั้งสองจนทำให้พลาสติกละลายรวมกัน

รูปที่ 2.6 หลักการเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิค

<u>ระบบการทำงานของอุลตร้าโซนิค</u>

เครื่องมือเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิคจะแปลงความถี่ของกระแสไฟฟ้าจาก 50 ถึง 60 เฮิร์ต ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าที่มีความถี่ 15, 20, 30 หรือ 40 กิโลเฮิร์ต โดยผ่านไปที่เครื่องจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบสารกึ่งตัวนำ พลังงานไฟฟ้าที่มีความถี่สูงนี้จะจ่ายไปยังอุปกรณ์แปลงพลังงาน เพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนที่ทางกลด้วยความถี่อุลตร้าโซนิค การเคลื่อนที่เชิงกลจะถูกส่งไปยังตัวแปลงแอมปลิจูดบูสเตอร์ (Amplitude-Modifying Booster) ก่อนที่จะผ่านไปที่ฮอร์น (Horn) ซึ่งฮอร์นจะเป็นอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณเสียงเพื่อทำให้เกิดพลังงานการสั่นสะเทือนส่งไปยังจุดที่ต้องการเชื่อม ส่วนประกอบหลัก ๆ ของระบบอุลตร้าโซนิคจะประกอบไปด้วย แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า (Power Supply) ตัวแปลงสัญญาณ(Converter) ตัวเพิ่มสัญญาณ(Booster) แหล่งกำเนินสัญญาณเสียง(Horn Stack) ที่สำหรับวางชิ้นงานที่ต้องการเชื่อม(Part Fixture) และจะเป็นตัวทำให้ฮอร์นแตะกับชิ้นงานที่ต้องการเชื่อม หรือตามปกติเรียกว่า Actuator



รูปที่2.7 แผนภาพแสดงการทำงานของระบบอุลตร้าโซนิค

2.4 หลักการทำงานเชื่อมด้วยวิธีต่าง ๆ

หลักการเชื่อมด้วยเคลื่อนอุลตร้าโซนิคสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่

2.4.1 หลักการทำงานของการประกอบชิ้นงานด้วยแสงเลเซอร์ชนิด IRAM

เลเซอร์ IRAM มีแนวคิดพื้นฐานมาจากการแผ่รังสีของแสงเลเซอร์ผ่านไปยังพลาสติกชิ้นแรกที่ต้องการเชื่อม และออกแบบให้พลาสติกอีกชิ้นหนึ่งที่ต้องการเชื่อมติดกันดูดกลืนแสงเลเซอร์เอาไว้ การดูดกลืนรังสีดังกล่าวจะทำให้เกิดความร้อนที่ผิวของพลาสติกจนหลอมละลาย หลังจากนั้นจะถูกกดด้วยแรงจากปากจับทำให้ชิ้นส่วนพลาสติกทั้งสองยึดติดกันโดยหลัก ๆ แล้วเทคโนโลยีการใช้แสงเลเซอร์ชนิด IRAM จะทำให้เกิดความร้อนที่ผิวสัมผัสของ

พลาสติกเพียงชิ้นเดียว โดยความร้อนที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นทีละจุด แล้วเคลื่อนที่ไปตามลำแสงของเลเซอร์ที่เคลื่อนที่ผ่านจุดที่ต้องการเชื่อม

2.4.2 หลักการทำงานของการประกอบชิ้นงานด้วยวิธีอุลตร้าโซนิค

การเชื่อมด้วยวิธีการอุลตร้าโซนิคจะใช้อุปกรณ์ที่ให้กำเนิดเสียงที่เรียกว่า ฮอร์น (Horn) เพื่อส่งผ่านพลังงานเสียงที่มีการสั่นสะเทือนไปยังพื้นที่ที่ต้องการเชื่อม ซึ่งบริเวณดังกล่าวจะถูกเปลี่ยนให้เป็นความร้อน เนื่องจากแรงเสียดทานของจุดทั้งสองจนทำให้พลาสติกละลายรวมกัน การเชื่อมด้วยวิธีอุลตร้าโซนิคไม่เพียงแต่จะใช้ในการเชื่อมวัสดุแข็งเท่านั้น แต่สามารถใช้กับวัสดุที่เป็นผ้าและวัสดุที่เป็นแผ่นบาง ๆ ได้ดีเช่นกัน

รูปที่ 2.8 หลักการทำงานของการเชื่อมด้วยอุลตร้าโซนิค

2.4.3 หลักการทำงานของการประกอบชิ้นงานด้วยวิธีการสั่นสะเทือนในแนวเส้นตรง (Vibration Linear)

วิธีการเชื่อมแบบแรงสั่นสะเทือนในแนวเส้นตรงจะเกิดขึ้นจากความร้อนของแรงเสียดทาน ณ จุดที่สัมผัสของพลาสติก 2 ชิ้น ความร้อนจะเกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่ของพลาสติกหนึ่งชิ้นด้วยแรงดันผ่านไปตามแนวระนาบที่ต้องการเชื่อมต่อ อาจจะเป็นในแนวราบหรือแนวดิ่งก็ได้ เมื่อวัสดุถึงจุดหลอมละลายก็จะทำให้ผิวสัมผัสทั้งสองเชื่อมติดกัน การสั่นสะเทือนก็จะหยุดลงหลังจากนั้นก็จะถูกกดด้วยปากจับ ในขณะที่พลาสติกละลาย จากนั้นพลาสติกก็จะแข็งตัวจนทำให้เกิดแรงยึดซึ่งกันและกัน

รูปที่ 2.9 หลักการทำงานของการเชื่อมด้วยวิธีการสั่นสะเทือนในแนวเส้นตรง

2.4.4 หลักการประกอบชิ้นงานด้วยแรงสั่นสะเทือนในแนวแกนหมุน (Orbital vibration welding)

การประกอบชิ้นงานด้วยการใช้แรงสั่นสะเทือนในแนวแกนหมุน จะใช้หลักการทำงานของแรงเสียดทานโดยอาศัยแรงขับทางแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อสร้างการหมุนระหว่างเทอร์โมพลาสติกสองชิ้น ด้วยความเร็วของการเคลื่อนที่ที่คงที่จะทำให้เกิดความร้อน จนอุณหภูมิสูงขึ้น

เรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงจุดหลอมเหลวของวัสดุ จะทำให้เกิดการเชื่อมต่อ ณ จุดที่ต้องการได้ การหมุนจะหยุดลงหลังจากวัสดุทั้งสองหลอมละลายได้ที่แล้ว หลังจากที่พลาสติกเริ่มแข็งตัวจะทำให้เกิดการเชื่อมต่ออย่างถาวร

รูปที่ 2.10 หลักการทำงานของการเชื่อมด้วยแรงสั่นสะเทือนในแนวแกนหมุน

2.4.5 หลักการประกอบชิ้นงานด้วยวิธีการเชื่อมด้วยแผ่นความร้อน (Hot plate welding)

หลักการทำงานของการเชื่อมด้วยแผ่นความร้อนจะใช้การควบคุมอุณหภูมิของแผ่นความร้อน ซึ่งจะเกิดขึ้นระหว่างอุปกรณ์สองชิ้นที่ต้องการประกอบ โดยทั้งสองชิ้นจะถูกนำมาวางติดกันหลักจากนั้นก็จะเริ่มการทำให้หลอมละลาย โดยต้องใช้เวลาพอประมาณในการวางชิ้นงานเพื่อให้เกิดความร้อนที่จุดสัมผัสจนทำให้ผิวของพลาสติกหลอมละลาย หลังจากนั้นแผ่นความร้อนจะถูกเลื่อนออกแล้วชิ้นงานจะถูกกดด้วยปากจับเข้าหากันเพื่อให้เชื่อมติดกัน โดยใช้ฟิกเจอร์เป็นตัวกำหนดระยะที่ต้องการให้ผิวสัมผัสมีความลึกเท่าใด

รูปที่ 2.11 หลักการทำงานของการเชื่อมด้วยแผ่นความร้อน

2.4.6 หลักการประกอบชิ้นงานด้วยการหมุนอย่างต่อเนื่อง

การเชื่อมพลาสติกด้วยวิธีการหมุนอย่างต่อเนื่องจะใช้กับชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นพลาสติกทรงกลม โดยทำให้ชิ้นส่วนทั้งสองสัมผัสกันภายใต้แรงดันที่เหมาะสม หลังจากนั้นก็จะทำให้เกิดการหมุนอย่างต่อเนื่อง โดยชิ้นงานชิ้นแรกจะถูกวางไว้บนฟิกเจอร์ ขณะที่อีกชิ้นหนึ่งจะถูกหมุนไปด้วยแรงกดที่คงที่ ความร้อนที่เกิดจากแรงเสียดทานจะทำให้ผิวสัมผัสของชิ้นงานทั้งสองชิ้นหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จนทำให้เกิดการผนึกรวมกันอย่างแข็งแรง

รูปที่ 2.12 หลักการทำงานของการเชื่อมด้วยการหมุนอย่างต่อเนื่อง

2.5 การประยุกต์ใช้เครื่องเชื่อมอุลตร้าโซนิคในอุตสาหกรรมสิ่งทอและฟิล์ม (Textiles&Films)

การทำงานของระบบอุลตร้าโซนิคมีประโยชน์มากมายในระบบอุตสาหกรรมนี้ คุณสามารถทำตะเข็บ ตัด เล็ม ขลิบ เชื่อม หรือตัดแล้วเชื่อมได้อย่างต่อเนื่อง ทำให้ระบบการผลิตมีความรวดเร็วสามารถเชื่อมได้มากกว่า 600 ฟุตต่อนาที ซึ่งวิธีการก็มีความง่ายและมีประสิทธิภาพสูงโดยไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์เสริมหรืออุปกรณ์สิ้นเปลืองอื่นๆ ในระบบ และมันยังมีความหลากหลาย ยืดหยุ่นในการทำงาน อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถดัหรือยึดติดบนโต๊ะทำงานด้นอกจากนี้ยังสามารถรวมเข้าไปกับระบบควบคุมแบบอัตโนมัติของสายการผลิตได้

สำหรับอุตสาหกรรมการตัดเย็บจะมีความได้เปรียบในหลายๆ ด้านเมื่อใช้การทำงานระบบอุลตร้าโซนิค ได้แก่

- ความรวดเร็ว ประหยัด และได้รอยต่อที่มั่นคงแข็งแรง
- ไม่ต้องใช้วัสดุสิ้นเปลือง เช่น คลิป ตัวหนีบกระดาษ หรือ เทปกาว
- ให้กำลังการผลิตที่สม่ำเสมอ ตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดกระบวนการผลิต
- ไม่ต้องใช้เวลาในการอุ่นเครื่อง และไม่ต้องเสียค่าบำรุงรักษาในเรื่องของอุณหภูมิ หรือ เวลาสูญเสียในการซ่อมแซมเมื่อสายการผลิตต้องหยุด
- ไม่มีของเสียเนื่องจากการตัดในแต่ละชิ้นงาน เนื่องจากเป็นการทำงานแบบ Single Operation Cut and Seal
- สามารถจำกัดความต้องการอื่น ๆ ที่ไม่จำเป็นได้ เช่น ด้าย, กระสวย, เครื่องย้อมสี, สินค้าคงคลัง, เครื่องลากและตัดผ้า
- ทำให้ไม่เกิดของเสีย และกำจัดสารพิษหรือสารละลายที่เป็นอันตรายได้
- มุมและความกว้างของรอยเชื่อมไม่มีรูสามารถป้องกันการซึมเปื้อนของของเหลวหรือสารเคมีได้ดี หรือป้องกันการซึมเปื้อนของเชื้อโรคได้ดี

<u>วิธีการทำงานและการติดตั้ง</u>

การประยุกต์ใช้งานและคุณประโยชน์ทั้งหมดของเครื่องจักรที่ใช้ระบบการผลิตด้วยอุลตร้าโซนิค จะมีวิธีการทำงานพื้นฐานอยู่ 2 วิธี คือ แบบไม่ต่อเนื่องและแบบต่อเนื่อง (plunge and continuous) ขึ้นอยู่กับตัวแปรที่เรานำไปประยุกต์ใช้งาน ส่วนการเชื่อมและการตัดจะสามารถทำงานในแบบที่ต่างออกไปได้ วิธีการทำงานแบบไม่ต่อเนื่องหัวอุลตร้าโซนิคฮอร์นจะทำงานในลักษณะตั้งฉากกับวัตถุดิบ ทำให้ชั้นของวัตถุดิบหลอมละลายเข้าด้วยกันโดยมีแท่นรองรับ เทคนิคดังกล่าวสามารถใช้กับการตัดและเชื่อมที่บริเวณปลายของวัตถุดิบได้ การประยุกต์ใช้โดยทั่วไปนั้น ยกตัวอย่างเช่น การทำสายชุดชั้นในและหัวเข็มขัด การเจาะรูกระดุม การทำให้ปกเสื้อคงรูป แป้นปาลูกดอก การปั๊มนูน

2.6 การออกแบบการทดลอง

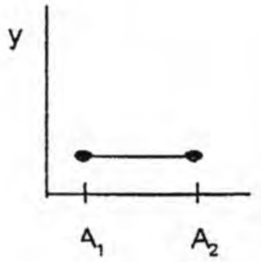
2.6.1 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

หมายถึง การออกแบบการทดลองเพื่อตรวจสอบดูว่า ปัจจัย (Factor) ใด หรือตัวแปร (Input Variable) ใดที่มีผลต่อสิ่งที่ให้ความสำคัญ (หรือความสนใจ) ในผลิตภัณฑ์ที่ออกมา โดยมีจุดมุ่งหมายดังนี้

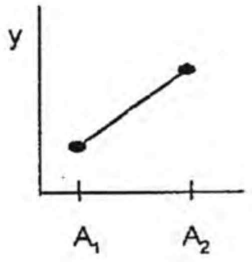
2.6.1.1 เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) คือ การพิสูจน์ถึงข้อเท็จจริงหรือความเชื่อจากประสบการณ์ หรือทฤษฎีบางอย่างที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการผลิต

2.6.1.2 เพื่อค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) คือ การศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขใหม่ที่มีผลต่อกระบวนการ

การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ได้ว่า ปัจจัยใดมีผลต่อผลิตภัณฑ์หรือไม่ ต้องทำการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยอย่างน้อย 2 ระดับ แล้วทำการทดลอง จากนั้นจึงวิเคราะห์ผลการทดลอง ตัวอย่างเช่น ให้ y คือค่าของความแข็งแรง และ A คือเวลาการบ่ม ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังกราฟตัวอย่าง ดังรูปที่ 2.16



(1) ปัจจัย A ไม่มีผลต่อผลิตภัณฑ์



(2) ปัจจัย A มีผลต่อผลิตภัณฑ์

รูปที่ 2.13 อิทธิพลที่ไม่มีผล และอิทธิพลที่มีผลของปัจจัยต่อผลิตภัณฑ์

2.6.2 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของการทดลอง

2.6.2.1 ทรีทเมนต์ (Treatment) คือ สิ่งหรือวิธีที่เราปฏิบัติต่อสิ่งทดลอง เพื่อวัดผลเปรียบเทียบตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง

2.6.2.2 หน่วยทดลอง (Experiment Unit) เป็นมาตราหรือหน่วยซึ่งใช้วัดอิทธิพลของทรีทเมนต์ ซึ่งโดยคำจำกัดความแล้ว หมายถึง สิ่งหนึ่งหรือกลุ่มหนึ่งของสิ่งทดลองซึ่งได้รับทรีทเมนต์เดียวกันในการกระทำครั้งใดครั้งหนึ่ง หน่วยทดลองมีขนาดไม่จำกัด อาจผันแปรไปได้จากการทดลองหนึ่งไปสู่อีกการทดลองหนึ่ง แม้ว่าจะใช้สิ่งทดลองเหมือนกันก็ตาม ในการทำการทดลองแต่ละครั้งจึงต้องให้คำจำกัดความของหน่วยทดลองให้ชัดเจน

2.6.2.3 ปัจจัย (Factor) ได้แก่ กลุ่มของทรีทเมนต์ทั้งหลายที่มีความเกี่ยวข้องกัน (A Particular Class of Related Treatment) อาจใช้คำว่าตัวแปรอิสระแทนก็ได้ ปัจจัยนั้นอาจเป็นได้ทั้งข้อมูลเชิงคุณภาพ และเชิงปริมาณ

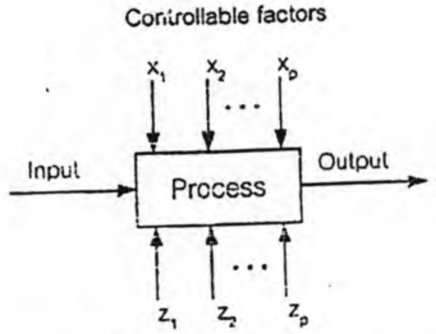
ปัจจัยสามารถแบ่งออกได้เป็น

1) ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการดำเนินการทดลอง

2) ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ อาจจะเนื่องมาจากมีข้อจำกัดทางด้านเทคโนโลยีและต้นทุน ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ แบ่งออกเป็น

a. ตัวแปรรบกวน (Noise Variable) หรือ Background Variable ซึ่งหมายถึง ตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) ในการทดลองแต่ไม่ใช่ปัจจัยที่เรากำลังทำการศึกษา ส่วนใหญ่มักได้แก่ เวลา หรือเครื่องมืออุปกรณ์ เป็นต้น

b. Nuisance Variable คือ ตัวแปรที่ถูกสังเกตหรือวัดค่าในการทดลอง เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ตัวแปรตาม ซึ่งเป็นตัวแปรที่สะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระนั่นเอง ในการทดลองหนึ่ง ๆ อาจวัดค่าตัวแปรตามมากกว่า 1 ก็ได้ การเลือกตัวแปรตามที่ดีควรพิจารณาจากความไว (Sensitivity) ความเชื่อถือ (Reliability) การแจกแจงของตัวแปรนั้นและความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ นอกจากนี้ ในการเลือกตัวแปรตามจะต้องพิจารณาว่า ค่าสังเกตที่ได้จากทรีทเมนต์หนึ่ง ๆ ควรมีการแจกแจงแบบปกติโดยประมาณ ซึ่งข้อสมมุตในเรื่องความเป็นปกติ (Normality) นี้ เป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบการทดลอง ซึ่งอาจจะใช้การแปลงข้อมูล (Transformation) ค่าสังเกตที่มีการแจกแจงไม่ปกติเป็นแบบปกติได้



รูปที่2.14 ปัจจัย และพารามิเตอร์ของกระบวนการ

2.6.3 ลำดับขั้นการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง

การทดลองต่าง ๆ จะต้องมีขั้นตอนของการทดลองดังนี้ คือ

2.6.3.1 การนิยามปัญหา (Recognition of and statement of the problem) เป็นการระบุว่า ความต้องการในการผลิตคืออะไร และต้องการรู้อะไรบ้างในการผลิต ซึ่งการนิยามปัญหานี้ จะเกี่ยวโยงไปถึงวัตถุประสงค์ของการทดลอง

2.6.3.2 การเลือกปัจจัย และระดับของปัจจัย (Choice of factors, levels and ranges) เป็นการใช้หลักการทางทฤษฎี และประสบการณ์จากงานวิจัยต่าง ๆ เพื่อระบุว่าปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลอง และในแต่ละปัจจัยนั้น ควรจะมีช่วงในการทดลองอย่างไร สุดท้ายคือ ระบุว่าระดับที่ใช้เป็นแบบกำหนด (Fixed Effect), แบบสุ่ม (Random Effect) หรือแบบผสม ซึ่งสามารถอธิบายได้พอสังเขปดังนี้

a. แบบกำหนด (Fixed Effect) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าได้แน่นอน

b. แบบสุ่ม (Random Effect) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าของปัจจัยได้แน่นอน

c. แบบผสม (Mixed Effect) หมายถึง การผสมผสานระดับของปัจจัยที่เป็นทั้งแบบกำหนด และแบบสุ่ม

2.6.3.3 การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Selection of the response variable) ในการเลือกตัวแปรตอบสนอง ผู้วิจัยจะต้องเลือกตัวแปรที่สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษา และการวัดค่านั้นจะต้องมีความแม่นยำและถูกต้องด้วย

2.6.3.4 การเลือกแบบการทดลอง (Choice of experimental design) เมื่อกำหนดทรีทเมนต์และตัวแปรตอบสนองแล้ว ต้องทำการตัดสินใจเกี่ยวกับขนาดของการทดลอง ซึ่งหมายถึงจำนวนซ้ำของการทดลอง ความเหมาะสม ข้อจำกัดในการสุ่ม และการบล็อกที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ต้องนำมาเกี่ยวโยงกันในด้านความเสี่ยง และต้นทุนที่ใช้ในการทดลองสำหรับการเลือกปัจจัย

2.6.3.5 ดำเนินการทดลอง (Performing the experiment) ในระหว่างการดำเนินการทดลอง ผู้วิจัยจะต้องศึกษาดูแลอย่างใกล้ชิด ปฏิบัติตามหลักการที่ได้ออกแบบไว้ ข้อควรระวังในขณะทำการทดลอง คือ ความถูกต้องของเครื่องมือวัด และความสม่ำเสมอในการทดลอง เพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ซึ่งจะมีเทคนิคแตกต่างกันไปในแต่ละสาขาวิจัย

2.6.3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล (Statistical analysis of data) ในการวิเคราะห์ข้อมูล จะใช้ความรู้ทางด้านสถิติเข้ามาวิเคราะห์และสรุปผล รวมทั้งตัดสินความถูกต้องของข้อมูลที่เกิดขึ้นก่อนที่จะตีความข้อมูลและวิธีการทางสถิติไม่สามารถบอกได้ว่าปัจจัยมีผล (Effect) เท่าใด

แน่นอน แต่เป็นเพียงเครื่องมือที่ให้แนวทางในการวิเคราะห์ภายใต้ความเชื่อมั่นเป็นเปอร์เซ็นต์ในการสรุปผล

2.6.3.7 สรุปผลและข้อเสนอแนะ (Conclusions and recommendations) เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลแล้วจะต้องสรุปผลการวิเคราะห์ อาจแสดงในรูปกราฟ ตาราง แผนภูมิ ฯลฯ และให้ข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดีขึ้น

2.6.4 หลักการในการออกแบบการทดลอง

2.6.4.1 การทำแบบสุ่ม (Randomization) คือ เทคนิคการจัดหน่วยทดลองให้แก่ทรีทเมนต์ หรือจัดหน่วยทรีทเมนต์ให้แก่หน่วยทดลอง โดยให้แต่ละหน่วยทดลองมีโอกาสที่จะได้รับทรีทเมนต์ใดทรีทเมนต์หนึ่งเท่า ๆ กันวัตถุประสงค์ของการสุ่มมีดังนี้

1) เพื่อขจัดอคติ หรือความเอนเอียงของผู้ทดลอง และเพื่อให้แน่ใจได้ว่าทรทเมนต์ต่าง ๆ จะไม่ได้เปรียบและเสียเปรียบกันในเรื่องที่เกี่ยวกับการทดลอง การสุ่มจึงเป็นการประกันว่าจะไม่มีอคติใด ๆ เกิดขึ้นในการทดลอง

2) การวิเคราะห์และทดสอบทางสถิตินั้นมีข้อกำหนดว่าความคลาดเคลื่อน (Error) จะต้องเกิดขึ้นโดยสุ่มเป็นอิสระต่อกัน การสุ่มจึงเป็นการทำให้ข้อมูลเป็นไปตามข้อกำหนดเหล่านี้ ทั้งนี้การสุ่มจะช่วยขจัด หรือเฉลี่ยความผันแปรภายนอกที่ควบคุมไม่ได้ให้เกิดขึ้นกับหน่วยทดลองด้วยโอกาสเท่า ๆ กัน

การทำแบบสุ่มยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี คือ

a. การทำแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomization)

b. การทำแบบสุ่มอย่างง่าย (Simple Ransomization)

c. การทำแบบสุ่มแบบสมบูรณ์ภายในบล็อก (Complete Randomization within Blocks)

2.6.4.2 การทำซ้ำ (Replication) คือการที่ทรีทเมนต์หนึ่งกระทำต่อหน่วยทดลองมากกว่า 1 หน่วยทดลอง โดยมีจุดประสงค์ของการทำซ้ำคือ

1) การทำซ้ำทำให้สามารถประมาณค่าความคลาดเคลื่อนในการทดลองได้ เพื่อนำค่าความผันแปรภายในกลุ่มนี้มาเป็นตัวทดสอบว่าทรีทเมนต์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติหรือไม่

2) เพิ่มความเที่ยง (Precision) ของการทดลองโดยการช่วยลดขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย ซึ่ง

$$\sigma_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}$$

จะเห็นว่า การเพิ่มจำนวนซ้ำ (n) จะช่วยลดค่า $\sigma_{\bar{y}}$ ได้

2.6.4.3 การบล็อก (Blocking) คือ การจัดกลุ่มทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วง เพื่อลดผลจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ แต่ไม่จำเป็นที่ต้องทำเสมอไป

2.6.5 การเลือกแบบการทดลอง

2.6.5.1 แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) เป็นแผนการการทดลองแบบที่ง่ายที่สุด เหมาะสมกับการทดลองที่ไม่สามารถแยกได้ว่าหน่วยทดลองที่นำมาใช้นั้นมีลักษณะแตกต่างกันอย่างไรก่อนการทดลอง การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแผนการทดลองนี้จะแยกสาเหตุของความผันแปรของข้อมูลทั้งหมดว่า เนื่องมากจากอิทธิพลของทรีทเมนต์แต่เพียงอย่างเดียว ไม่มีสาเหตุจากปัจจัยอื่นอีก จึงเรียกข้อมูลนี้ว่า ข้อมูลแบบแจกแจงทางเดียว (One-Way Classification)

ตามแผนการทดลองนี้แสดงว่า เมื่อหน่วยทดลองได้รับทรีทเมนต์ที่ต้องการทดสอบแล้ว ความแตกต่างของข้อมูลที่เก็บได้จากแต่ละหน่วยทดลองจะต้องเกิดจากอิทธิพลของทรีทเมนต์ที่ต่างกันเท่านั้น ดังนั้น เพื่อให้แผนการทดลองนี้มีประสิทธิภาพสูงสุด หน่วยทดลองที่นำมาใช้จึงควรมีลักษณะที่สม่ำเสมอหรือคล้ายคลึงกันมากที่สุด (Homogenous) หรือมีความผันแปรระหว่างหน่วยทดลองน้อยที่สุด หลักสำคัญของแผนการทดลองนี้คือ การจัดทรีทเมนต์ให้กับหน่วยทดลอง หรือจัดหน่วยทดลองให้แก่ทรีทเมนต์จะต้องเป็นไปโดยสุ่ม ไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับการสุ่ม

ข้อดีและข้อเสีย

<u>ข้อดี</u>

1) เป็นแผนการทดลองที่จัดง่าย

2) ให้ค่าองศาแห่งความเป็นอิสระของความคลาดเคลื่อน (Degree of Freedom for Error) สูงสุด

3) วิธีการวิเคราะห์ง่ายที่สุดในบรรดาแผนการทดลองทั้งหลาย

4) ในแต่ละทรีทเมนต์ ถึงแม้ว่าจะมีจำนวนซ้ำไม่เท่ากัน ก็ไม่ทำให้การวิเคราะห์มีความซับซ้อนแต่อย่างใด

<u>ข้อเสีย</u>

1) มีข้อจำกัดว่าจะใช้ได้อย่างเหมาะสมเมื่อมีจำนวนทรีทเมนต์น้อย ๆ หากมีทรีทเมนต์จำนวนมากแล้ว จำเป็นต้องใช้หน่วยทดลองมากขึ้นอาจไม่สามารถกระทำได้

2) ใช้กับหน่วยทดลองที่มีความสม่ำเสมอ

3) ไม่สามารถตรวจสอบอิทธิพลของกริยาร่วมได้ (Interaction Effect)

<u>โครงรูปข้อมูล</u>

สมมุติให้ การทดลองมี

a ทรีทเมนต์ (หรือ a ระดับ)

n คือ จำนวนค่าสังเกตในแต่ละทรีทเมนต์

Y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

Treatment

	1	2	…	i	…	a	
	y_{11}	y_{21}		y_{i1}		y_{a1}	
	y_{12}	y_{22}		y_{i2}		y_{a2}	
	y_{13}	y_{23}		y_{i3}		y_{a3}	
	.	.		.		.	
	.	.		.		.	
	.	.		.		.	
	y_{1n}	y_{2n}		y_{in}		y_{an}	
Totals	y1.	$y_{2.}$	…	$y_{i.}$		$y_{a.}$	$y_{..}$ = Grand Total
Sample means	$\overline{y_{1.}}$	$\overline{y_{2.}}$	…	$\overline{y_{i.}}$		$\overline{y_{a.}}$	$\overline{y_{..}}$ = Grand mean

ตัวแบบทางสถิติของแผนการทดลองนี้ คือ

$$Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad ; \qquad i = 1, 2, \ldots, a$$

$j = 1, 2, \ldots, n$

โดยที่ Y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์ i

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

2.6.5.2 แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design : RCB) ในบางการทดลองอาจประสบปัญหาเกี่ยวกับหน่วยทดลองที่ใช้ไม่มีความสม่ำเสมอ ทำให้การใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอดไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากความผันแปรของข้อมูลจะไม่ใช่ผลของทรีทเมนต์เพียงอย่างเดียว แต่ยังมีความผันแปรที่เกิดจากหน่วยทดลองรวมอยู่ด้วย ซึ่งความผันแปรส่วนหลังนี้จะไปรวมอยู่กับความคลาดเคลื่อนของการทดลอง ทำให้ยอดรวมของผลบวกของกำลังสองของความคลาดเคลื่อนมีค่าสูงขึ้น มีผลต่อการทดสอบทำให้ผลิดพลาดได้ ดังนั้นจึงต้องพยายามแยกผลอันเกิดจากอิทธิพลอื่นที่ไม่ใช่ทรีทเมนต์ออกจากความแปรปรวนทั้งหมด เพื่อให้แน่ใจว่าผลที่นำมาวิเคราะห์นั้นเป็นอิทธิพลของทรีทเมนต์ (Treatment Effect) แต่เพียงอย่างเดียว

แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อก เป็นวิธีหนึ่งในหลาย ๆ วิธีของการจำแนกแบบ 2 ทาง (Two – Way Classification) จะใช้เมื่อหน่วยทดลองมีความแตกต่างกัน 2 ลักษณะ คือ ทางแนวนอน (Row) และแนวตั้ง (Column) มีหลักการคือ พยายามจัดหน่วยทดลองที่มีความคล้ายคลึงกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งเรียกว่าบล็อก ดังนั้นความแปรปรวนระหว่างหน่วยทดลองในบล็อกเดียวกันจึงมีค่าต่ำ และให้ความแตกต่างระหว่างบล็อกมีค่าสูง ในแต่ละบล็อกจะม่ครบทุกทรีทเมนต์ การจะให้ทรีทเมนต์ใดแก่หน่วยทดลองใดภายในแต่ละบล็อกจะม่ครบทุกทรีทเมนต์ การให้ทรีทเมนต์ใดแก่หน่วยทดลองใดภายในแต่ละบล็อกกระทำโดยสุ่มกรณีนี้จะทำให้เราแยกความแตกต่างระหว่างบล็อกออกมาจากยอดรวมของผลบวกของกำลังสองได้

ข้อดีและข้อเสีย

<u>ข้อดี</u>

1) มีความเที่ยงตรงสูงกว่า แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์
2) ไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับจำนวนทรีทเมนต์หรือบล็อก

หอสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) กรณีที่ข้อมูลในบล็อกใดหรือทรีทเมนต์ใดใช้ไม่ได้หรือสูญหายไป สามารถละเว้นได้โดยไม่ก่อให้เกิดความยุ่งยากในการคำนวณวิเคราะห์สำหรับส่วนข้อมูลที่เหลือ

<u>ข้อเสีย</u>

ถ้าหน่วยทดลองในแต่ละบล็อกมีความผันแปรมาก ความผันแปรที่เกิดขึ้นจากการทดลองย่อม มากตาม กรณีนี้มักเกิดขึ้นถ้าไม่สามารถควบคุมหน่วยทดลองภายในบล็อกให้สม่ำเสมอตลอดได้

<u>โครงรูปข้อมูล</u>

สมมุติให้การทดลองมี a ทรีทเมนต์ และ b บล็อก ตามแผนภาพจะเห็นว่ามีค่าสังเกต 1 ค่าต่อ 1 ทรีทเมนต์ในแต่ละบล็อก

Block 1	Block 2		Block b
y_{11}	y_{12}		y_{1b}
y_{21}	y_{22}		y_{2b}
y_{31}	y_{32}	…	y_{3b}
.	.		.
.	.		.
.	.		.
y_{a1}	y_{a2}		y_{ab}

ตัวแบบทางสถิติของแผนการทดลองนี้ คือ

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad ; \quad i = 1, 2, \ldots, a$$

$$j = 1, 2, \ldots, b$$

โดยที่ Y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์ i

β_j คือ อิทธิพลอันเกิดจากบล็อกที่ j

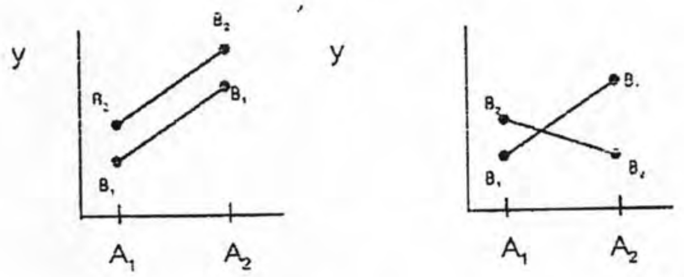
ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

2.6.5.3 แผนการทดลองแบบแฟคตอเรียล (Factorial Experiment) เป็นการทดลองที่มุ่งศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยมากกว่าหนึ่งปัจจัยพร้อม ๆ กัน โดยให้ความสนใจที่อิทธิพลร่วมของปัจจัยซึ่งเป็นอิทธิพลที่ส่งผลให้กับตัวแปรตอบสนอง

โดยทั่วไปแล้วอาจกล่าวได้ว่าการทดลองแบบแฟคตอเรียล เป็นแผนการทดลองที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการตรวจสอบอิทธิพลของหลาย ๆ แฟคเตอร์พร้อมกัน คำว่าแฟคตอเรียล หมายถึง การทดลองที่สมบูรณ์ในแต่ละครั้ง หรือแต่ละซ้ำของการทดลองนั้น กล่าวคือมีการใช้ระดับของแฟกเตอร์ต่าง ๆ ร่วมกัน จึงสามารถตรวจสอบอิทธิพลต่าง ๆ ในการทดลองครั้งหนึ่ง ๆ ได้พร้อมกัน เช่น ถ้าแฟกเตอร์ A มี a ระดับ แฟกเตอร์ B มี b ระดับ แต่ละซ้ำจะมี ab treatment combination แบ่งได้ 2 ประเภท คือ

1) อิทธิพลหลัก (Main Effect) คือ อิทธิพลของปัจจัยที่แสดงต่อตัวแปรตอบสนองด้วยตัวของมันเองเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยเกิดขึ้น

2) อิทธิพลร่วม (Interaction Effect) คือ อิทธิพลของปัจจัยหนึ่งที่จะเปลี่ยนไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยร่วมกัน



(1) อิทธิพลของปัจจัยร่วมไม่มีผล (2) อิทธิพลของปัจจัยร่วมมีผล

รูปที่2.15 แสดงอิทธิพลของปัจจัยร่วมที่ไม่มีผล และมีผล

การทดลองแบบแฟคตอเรียลนั้น เป็นการประกอบกันของทรีทเมนต์ ไม่ใช่ชนิดของแผนการทดลอง การประกอบกันของทรีทเมนต์นี้อาจใช้ในแผนการทดลองแบบใด ๆ ก็ได้ เช่น การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ แบบสุ่มบล็อก หรือจัตุรัสลาตินก็ได้

ข้อดีและข้อเสีย

ข้อดี

1) เป็นการใช้หน่วยทดลองทั้งหมดเพื่อตรวจสอบอิทธิพลของทรีทเมนต์หลาย ๆ ทรีทเมนต์พร้อมกันได้ จึงเป็นการประหยัดและเสียเวลาน้อยลงกว่าการทดสอบครั้งละ 1 แฟกเตอร์

2) ทำให้สามารถตรวจสอบอิทธิพลของกริยาร่วมระหว่างแฟกเตอร์ได้ จึงช่วยในการสรุปผลได้กว้างขวางกว่าการทดลองครั้งละ 1 แฟกเตอร์

ข้อเสีย

1) เนื่องจากมี treatment combination จึงต้องใช้หน่วยทดลองมากขึ้น จึงอาจมีข้อจำกัดเกี่ยวกับจำนวนหน่วยทดลอง

2) ในกรณีที่มีกิริยาร่วมเกิดขึ้น อาจทำให้การสรุปผลเป็นภาษาที่เข้าใจง่ายได้ยาก

3) ถ้าจำนวนปัจจัยมีมาก ขนาดของการทดลองก็จะใหญ่ขึ้น ซึ่งเป็นการเสียค่าใช้จ่ายสูง และการหาวัตถุทดลองที่มีความสม่ำเสมอจำนวนมากก็เป็นไปได้ยาก

โครงรูปข้อมูล

สมมติการทดลองปัจจัย A มี i ระดับ (I = 1, 2,...,a) และปัจจัย B มี j ระดับ (j = 1, 2,...,b) ทำการทดลอง k ซ้ำ (k = 1, 2,...,n) การทดลองแฟคตอเรียลของปัจจัย 2 ปัจจัยสามารถแสดงได้ดังนี้

Factor B

		1	2	...	b
Factor A	1	y_{111}, $y_{112}, \cdots, y_{11n}$	y_{121}, $y_{122}, \cdots, y_{12n}$	...	y_{1b1}, $y_{1b2}, \cdots, y_{1bn}$
	2	Y_{211}, $y_{212}, \cdots, y_{21n}$	Y_{221}, $y_{222}, \cdots, y_{22n}$	...	Y_{2b1}, $y_{2b2}, \cdots, y_{2bn}$
	...				
	4	Y_{a11}, $y_{a12}, \cdots, y_{a1n}$	Y_{a21}, $y_{a22}, \cdots, y_{a2n}$	...	Y_{ab1}, $y_{ab2}, \cdots, y_{abn}$

ตัวแบบทางสถิติของแผนการทดลองนี้ คือ

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad ; \quad I = 1, 2, \ldots, a$$

$$j = 1, 2, \ldots, b$$

$$k = 1, 2, \ldots, n$$

โดยที่ Y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลของปัจจัย A ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ i

β_j คือ อิทธิพลของปัจจัย B ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ j

$(\tau\beta)_{ij}$ คือ อิทธิพลร่วมของปัจจัย A ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ I และปัจจัย B ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ j

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

แผนการทดลองแบบแผคตอเรียลทั่วไปมีรูปแบบ คือ A x B x C .... แฟคตอเรียล เช่น แฟคตอเรียล 3x2x3 รูปแบบของแผนการทดลองแบบแฟคตอเรียลที่สำคัญได้แก่

ก) 2^k แฟคตอเรียล ใช้กับการทดลองหลายปัจจัย ที่กำหนดระดับของปัจจัยไว้ 2 ระดับ ในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย

ข) 3^k แฟคตอเรียล ใช้กับการรทดลองหลายปัจจัย ที่กำหนดระดับของปัจจัยไว้ 3 ระดับ ในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย

2^k แฟคตอเรียลเหมาะสมกับรูปแบบที่มีความเป็นเส้นตรง ซึ่งจะทำให้สามารถตีความข้อมูลได้อย่างถูกต้อง แต่ถ้าหากว่าอิทธิพลของหัจจัยต่อตัวแปรตอบสนองมีความเป็นเส้นตรงไม่ดีแล้ว ใช้แบบ 3^k แฟคตอเรียล แทนจะเหมาะสมกว่า

2.6.6 หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล

2.6.6.1 การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ(R-Square) เป็นการวิเคราะห์ว่าการออกแบบที่ได้ออกแบบขึ้นมาใช้ในการทดลองมีความเหมาะสมเพียงใด ซึ่งในการทดลองทุกครั้งจะต้องมีความผันแปรที่อธิบายไม่ได้ (Unexplained Variable) หรือ ความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ การออกแบบการทดลองที่ดี จะต้องทำให้เกิดความผันแปรที่อธิบายไม่ได้น้อยที่สุด

$$\text{สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R – Square)} = \frac{\text{ความผันแปรที่อธิบายได้}}{\text{ความผันแปรทั้งหมด}} \times 100\%$$

ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R – Square) ต่ำสามารถแก้ไขได้โดย

1) เพิ่มจำนวนซ้ำในการทดลอง

2) ตรวจสอบหาปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องแล้วออกแบบการทดลองใหม่

3) ถ้าทำการเพิ่มปัจจัยอื่นแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R – Square) ยังต่ำอยู่ แสดงว่าผลจากปัจจัยรบกวน (Noise Factor) มีมาก ต้องทำการบล็อก (Blocking) เพื่อลดปัจจัยรบกวน

2.6.6.2 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking)

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

ซึ่ง μ คือ ค่าเฉลี่ย

τ คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย

ε คือ ความคลาดเคลื่อน

ในการออกแบบการทดลองส่วนใหญ่ มักจะตั้งสมมติฐานในการวิเคราะห์จากการที่ y (ตัวแปร) มีการกระจายแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ดังนั้น y จะมีการกระจายแบบนี้ได้ต้องให้ มีการกระจายแบบปกติด้วย และต้องเป็นการกระจายที่เป็นอิสระ $\varepsilon_{ij} \sim NID(o, \sigma^2)$

การตรวจสอบ ε_{ij} มี 3 ขั้นตอน คือ

1) การตรวจสอบการกระจายว่าเป็นแบบแจกแจงปกติ (Normal distribution) หรือไม่ โดยใช้

a. การทดสอบแบบไคร์สแควร์ (χ^2- Goodness of Fit Test)

b. การทดสอบแบบโคโมโกรอฟ – สเมอร์นอฟ (Kolgomorv-Smirnov Test)

c. การทดสอบโดยใช้กระดาษตรวจสอบการแจกแจงปกติ (NOPP)

2) ตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) โดยใช้แผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) แล้วดูลักษณะการกระจายของจุดที่แทนข้อมูลบนแผนภูมิ ว่าเป็นรูปแบบอิสระหรือไม่

3) การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยใช้แผนภูมิการกระจาย ซึ่งเป็นแผนภูมิการกระจายค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ในแต่ละระดับของปัจจัย ถ้ารูปร่างของการกระจายของข้อมูลที่ออกมาไม่เป็นลักษณะของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความแปรปรวน (Megaphone) แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน

2.6.6.3 การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

การทดสอบสมมติฐานเชิงสถิติ เป็นถ้อยแถลงที่เกี่ยวกับความน่าจะเป็นของตัวแปรแบบสุ่มที่มีความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ที่มากกว่าหรือเท่ากับหนึ่งค่าพารามิเตอร์ โดยสมมติฐานแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

1) สมมติฐานที่กำหนด (Null Hypothesis) เป็นข้อสงสัยหรือข้อสมมติเกี่ยวกับลักษณะต่าง ๆ ในประชากรที่ต้องการจะพิสูจน์ว่าจริงหรือไม่ โดยใช้สัญลักษณ์ H_0

2) สมมติฐานแย้ง (Alternative Hypothesis) เป็นข้อความหรือความคิดเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่หวังว่าจะเป็น โดยจะต้องมีความหมายที่แย้งกับสมมติฐานที่กำหนดโดยชัดเจนโดยใช้สัญลักษณ์ H_1

โดยโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่จะทำการปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด (Reject H_0) จะถูกกำหนดโดยระดับนัยสำคัญ ซึ่งเป็นโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่น้อยมากที่ค่าพารามิเตอร์จะตกอยู่ในช่วงของการปฏิเสธสมมติฐานเมื่อสมมติฐานเป็นจริง โดยทั่วไปมักจะทำการเปลี่ยนช่วงของการปฏิเสธสมมติฐานหรือระดับความมีนัยสำคัญเป็นค่าวิกฤต เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบหรือใช้ในการตัดสินใจว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด

การตัดสินใจที่จะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด อาจเกิดความผิดพลาดได้ 2 กรณี คือ

a. ความผิดพลาดที่เกิดจากการปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด โดยที่สมมติฐานที่กำหนดมีความถูกต้องหรือมีความเป็นจริง เรียกว่า ความผิดพลาดแบบที่ 1 (Type I error) ซึ่งความผิดพลาดนี้คือ ระดับความมีนัยสำคัญในการตรวจสอบสมมติฐาน

b. ความผิดพลาดที่เกิดจากการยอมรับสมมติฐานที่กำหนด โดยที่สมมติฐานที่กำหนดมีความไม่ถูกต้องหรือไม่มีความจริง เรียกว่า ความผิดพลาดแบบที่ 2 (Type II error) ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่2.1

ตารางที่2.1 การตัดสินใจในการทดสอบสมมติฐาน

สมมติฐานที่กำหนด	สมมติฐานที่กำหนดมีความถูกต้อง	สมมติฐานที่กำหนดไม่มีความถูกต้อง
ยอมรับ	การตัดสินใจถูกต้อง	ความผิดพลาดแบบที่ 2
ปฏิเสธ	ความผิดพลาดแบบที่ 1	การตัดสินใจถูกต้อง

โอกาสหรือความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดแบบที่ 1 และแบบที่ 2 สามารถแสดงได้ดังนี้

α = P (ความผิดพลาดแบบที่ 1)

= P (การปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด : สมมติฐานที่กำหนดถูกต้อง)

β = P (ความผิดพลาดแบบที่ 2)

= P (การยอมรับสมมติฐานที่กำหนด : สมมติฐานที่กำหนดไม่ถูกต้อง)

โดยที่ $1-\beta$ = อำนาจของการทดสอบ

= P (การปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด : สมมติฐานที่กำหนดถูกต้อง)

2.6.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance ; ANOVA)

ภายหลังจากที่ได้ออกแบบการทดลอง และทำการทดลองแล้ว งานขั้นต่อไปก็คือการนำข้อมูลที่รวบรวมได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ เพื่อทดสอบนัยสำคัญทางสถิติหรือหาแนวโน้มต่อไป โดยใช้หลักการของ ANOVA หรือการถดถอย

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นวิธีการคำนวณแบบเลขคณิต โดยการแยกผลรวมกำลังสองทั้งหมด (Total Sum of Square ; SST) ออกเป็นส่วนต่าง ๆ ตามแหล่งกำเนิดหรือสาเหตุโดยจะวิเคราะห์ว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อการทดลองโดยพิจารณาความแตกต่าง โดยวัดความแตกต่างรวมออกมาในรูปของความแปรปรวนแล้วแตกออกมาเป็นความแตกต่างย่อย ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างย่อยเหล่านั้น หากความแตกต่างใดมีค่ามากกว่า แสดงว่าปัจจัยนั้นทำให้เกิดความแตกต่าง โดยมีผลต่อค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Square ; MS) ซึ่งเป็นตัวที่ประมาณค่าความแปรปรวนที่ดีที่สุด ซึ่ง

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

เมื่อ SS คือ ผลรวมกำลังสอง (Sum of Square)

df คือ ขั้นของความอิสระ (Degree of Freedom)

สามารถอธิบายการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแต่ละแบบการทดลองได้ดังนี้

2.6.7.1 การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD)

เราจะแยกความแปรปรวนทั้งหมดออกเป็น 2 ส่วน คือ ความแปรปรวนเนื่องจากการให้ทรีทเมนต์ต่างกัน และความแปรปรวนเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

ตัวอย่างการสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่มีอิทธิพลเป็นค่าคงที่ (Fixed Effect Model)

ตัวแบบ : $Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$ $\quad i = 1, 2, \dots, a$

$j = 1, 2, \dots, n$

โดยที่ Y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์ i

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

ในการวิเคราะห์จะทำโดยการแบ่งความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตออกเป็นส่วน ๆ โดยจะกำหนดความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตในรูปของผลรวมกำลังสองทั้งหมด (The Total Sum of Squares ; SST) โดยที่

$$SST = \left(\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n} Y_{ij}^2\right) - \left(\frac{Y^2..}{N}\right)$$

$$SSTr = \left(\frac{\sum_{i=1}^{a} Y_i^2}{n}\right) - \left(\frac{Y^2..}{N}\right)$$

$$SSE = SST - SSTr$$

ซึ่งรายละเอียดต่าง ๆของผลรวมกำลังสองของแต่ละตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 โดยที่ถ้าหากค่า $F_0 \le F_{\alpha,v_1,v_2}$ แล้ว ถือว่าปัจจัยนั้นไม่มีผล สามารถยอมรับ Null Hypothesis ได้

ตารางที่2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับ One-Way ANOVA

Source of Variation (SOV)	Sum of Square (SS)	Degree of Freedom (df)	Mean Square (MS)	F_0
Treatment	SSTr	a-1	MSTr	MSTr / MSE
Error	SSE	N-a	MSE	
Total	SST	N-1		

2.6.7.2 การทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design : RCB)

เราจะแยกความแปรปรวนทั้งหมดออกเป็น 3 ส่วน คือ ความแปรปรวนเนื่องจากการให้ทรีทเมนต์ต่างกัน ความแปรปรวนเนื่องจากการบล็อก และความแปรปรวนเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

ตัวอย่างการสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบที่มีอิทธิพลเป็นค่าคงที่ (Fixed Effect Model)

ตัวแบบ : $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$; i = 1, 2, ... , a

j = 1, 2, ... , b

โดยที่ Y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์ i

β_j คือ อิทธิพลอันเกิดจากบล็อกที่ j

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

ในการวิเคราะห์จะทำโดยการแบ่งความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตออกเป็นส่วนๆ โดยจะกำหนดความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตในรูปของผลรวมกำลังสองทั้งหมด (The Total Sum of Square ; SST) โดยที่

$$SST = \left(\sum_{i=1}^{a} \sum_{j=1}^{n} Y_{ij}^2 \right) - \left(\frac{Y^2}{N} \right)$$

$$SSTr = \left(\frac{\sum_{i=1}^{a} Y_{i.}^2}{b} \right) - \left(\frac{Y^2..}{N} \right)$$

$$SSB = \left(\frac{\sum_{j=1}^{b} Y_{.j}^2}{a} \right) - \left(\frac{Y^2..}{N} \right)$$

$$SSE = SST - SSTr - SSB$$

ซึ่งรายละเอียดต่าง ๆ ของผลรวมกำลังสองของแต่ละตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 3 โดยที่ถ้าหากค่า $F_0 \le F_{\alpha,v_1,v_2}$ แล้ว ถือว่าปัจจัยนั้นไม่มีผล สามารถยอมรับ Null Hypothesis ได้

ตารางที่2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับการทดลองแบบสุ่มในบล็อก

Source of Variation (SOV)	Sum of Squares (SS)	Degree of Freedom (df)	Mean Squares (MS)	F_0
Treatment	SSTr	a-1	MSTr	MSTr / MSE
Blocks	SSB	b-1	MSB	MSB / MSE
Error	SSE	(a-1) / (b-1)	MSE	
Total	SST	N-1		

2.6.7.3 การทดลองแบบแฟกตอเรียล (Factorial Experiment)

เราจะแยกความแปรปรวนทั้งหมดออกเป็นความแปรปรวนทั้งหมดออกเป็นความแปรปรวนเนื่องจากการปัจจัยต่าง ๆ ความแปรปรวนเนื่องจากอิทธิพลร่วม และความแปรปรวนเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

ตัวอย่างการสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนกรณีที่มีตัวแปร 2 ตัว ของตัวแบบที่มีอิทธิพลเป็นค่าคงที่ (Fixed Effect Model)

ตัวแบบ : $Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$

โดยที่ i = 1, 2, … , a

j = 1, 2, …, b

k = 1, 2, …, n

เมื่อ Y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j ในทรีทเมนต์ที่ i

μ คือ พารามิเตอร์ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทั้งหมด

τ_i คือ อิทธิพลของปัจจัย A ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ i

β_j คือ อิทธิพลของปัจจัย B ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ j

$(\tau\beta)_{ij}$ คือ อิทธิพลร่วมของปัจจัยที่ A ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ i และปัจจัย B ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ j

ε_{ijkl} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

ในการวิเคราะห์จะทำโดยการแบ่งความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตออกเป็นส่วนๆ โดยจะกำหนดความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตในรูปของผลรวมกำลังสองทั้งหมด (The Total Sum of Square ; SS_T) โดยที่

$$SS_T = \left(\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n} Y_{ijk}^2\right) - \left(\frac{Y^2...}{abn}\right)$$

$$SS_A = \left(\frac{\sum_{i=1}^{a} Y_{i..}^2}{bn}\right) - \left(\frac{Y^2...}{abn}\right)$$

$$SS_B = \left(\frac{\sum_{j=1}^{b} Y_{.j.}^2}{an}\right) - \left(\frac{Y^2}{abn}\right)$$

ผลรวมกำลังสองของอิทธิพลร่วมกันของปัจจัย 2 ตัว (The two factors interaction sum of squares)

$$SS_{AB} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} Y_{ij.}^2}{n}\right)\left(\frac{Y^2...}{abn}\right) SS_A - SS_B$$

$$= SS_{subtotals(AB)} - SS_A - SS_B$$

ดังนั้นเมื่อเอาผลรวมกำลังสองของ Main Effect แต่ละตัวและของ Interaction ไปหักออกจากผลรวมกำลังสองทั้งหมด ก็จะได้ค่าผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (error) ดังสมการ

$$SS_E = SS_T - SS_{subtotals(AB)}$$

ซึ่งรายละเอียดต่าง ๆ ของผลรวมกำลังสองของแต่ละตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 4 โดยที่ถ้าหากค่า $F_0 \le F_{\alpha,v_1v_2}$ แล้ว ถือว่าปัจจัยนั้นไม่มีผล สามารถยอมรับ Null Hypothesis ได้

ตารางที่2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับ Two-Factor Fixed Effect Model

Source of Variation (SOV)	Sum of Squares (SS)	Degree of Freedom (df)	Mean Square (MS)	F_0
A	SS_A	a-1	MS_A	MS_A / MSE
B	SS_B	b-1	MS_B	MS_B / MSE
AB	SS_{AB}	(a-1)(b-1)	MS_{AB}	MS_{AR} / MSE
Error	SSE	ab(n-1)	MSE	
Total	SST	Abn-1		

2.7 นิยามของความแข็งแรงต้านแรงดึง (Tensile Strength)

ความแข็งแรงต้านแรงดึง กำหนดโดยการดึงปลายทั้งสองของชิ้นงานทดสอบ เมื่อชิ้นงานถูกดึง หน้าตัดส่วนที่มีการลดขนาดจะคอดเล็กลงจากพื้นที่ A จนเหลือ A_1 รวมทั้งจะมีการเพิ่มความยาวจาก L เป็น L_1 ในทางวิศวกรรมส่วนใหญ่จะใช้พื้นที่ A ในการคำนวณ เนื่องจากพื้นที่ A_1 นั้นยากแก่การวัด ผลลัพธ์ต่าง ๆ ที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงของความยาวจะพิจารณาที่ความยาวเริ่มต้นและความยาวที่จุดแตกทำลายหรือจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงความยาวอื่น ๆ แล้วนำข้อมูลความเค้น (stress) และความเครียด (strain) มาเขียนเป็นเส้นโค้ง โดย

$$\text{ความเค้น} = \frac{\text{แรง}}{\text{พื้นที่ A}}$$

$$\text{ความเครียด} = \frac{L_1 - L}{L}$$

2.8 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษางานวิจัยครั้งนี้ ได้แบ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องออกเป็น 2 ด้าน ได้แก่

2.8.1 การจัดสมดุลการผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ได้แก่

จิรวรรณ คล้อยภยันต์ (2535)

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาระบบการวางแผนที่ไม่ดีพอและมีข้อบกพร่องเกิดขึ้นในการติดตามงานเป็นเหตุให้ การดำเนินการผลิตอาจจะไม่ทันตามกำหนด หรือผลิตได้ไม่ครบตามปริมาณที่สั่ง ซึ่งจะก่อให้เกิดผลเสียหลายประการ ในส่วนของงานวิจัยนี้ได้ใช้โรงงานอุตสาหกรรมผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปเป็นกรณีศึกษา และศึกษาการวางแผนและการติดตามผลด้วยเทคนิค PERT LOB จากนั้นจึงทำการติดตาผลการดำเนินงานด้วยเทคนิค Line of Balance (LOB)

เจริญ เจตวิจิตร (2535)

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการจัดทำเวลาและการปฏิบัติงานมาตรฐานเพื่อใช้ควบคุมการผลิตในระบบการผลิตแบบเป็นรุ่น ซึ่งชิ้นงานที่ผลิตมีความหลากหลายและมักจะมีเส้นทางของกระบวนการผลิตที่ไม่ตายตัวนั้นนับเป็นงานสำคัญงานหนึ่งที่วิศวกรอุตสาหการในโรงงานจะต้องดำเนินการให้เป็นผลสำเร็จ มาตรฐานดังกล่าวจะใช้เป็นฐานข้อมูลที่ำคัญในการวางแผนการผลิต ความต้องการพัสดุ และการกำหนดต้นทุนการผลิต

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการจัดทำเวลาและการปฏิบัติงานมาตรฐานเฉพาะกระบวนการตัดอัดเฉือนและพับ ในแผนกโลหะแผ่นของโรงงานผลิตเครื่องปรับอากาศ คุณลักษณะของงานที่ศึกษานี้มีความเหมาะสมที่จะใช้วิธีการวัดงานด้วยระบบ Predetermined Motion Time System (PMTS) โดยใช้เทคนิค Maynard Operation Sequence (Most)

ประเสริฐ ธัญจรูญ (2536)

งานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยได้ทดลองนำเอาระบบการจ่ายวัสดุแบบทันเวลาพอดีไปประยุกต์ใช้กับสายการประกอบหลังาไฟเบอร์กลาสสำหรับรถยนต์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากวัสดุเสียหายหรือสูญเสียในสายการประกอบ โดยมีขอบเขตของการวิจัยอยู่ในส่วนการประกอบหลังาไฟเบอร์กับรถยนต์ดัดแปลง การดำเนินการวิจัยเริ่มจากผู้วิจัยได้ออกแบบสายการประกอบหลังคาไฟเบอร์กลาสสำหรับรถยนต์ซึ่งเป็นสายการประกอบใหม่ โดยศึกษาขั้นตอนการประกอบ เวลาที่ใช้ การปรับปรุงการทำงานและการจัดสมดุลของสายการประกอบ (Line Balancing) จากนั้นจึงออกแบบระบบการจ่ายวัสดุแบบทันเวลาพอดีโดยใช้บัตรเรียกชิ้นส่วน

ทำการเก็บข้อมูลวัสดุที่ใช้ในสายการประกอบใหม่นี้ นำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลการใช้วัสดุของสายการประกอบเดิม

กีรติ ตรีสุวรรณ (2537)

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอวิธีการเพิ่มผลผลิตที่สามารถปรับปรุงการแก้ไขปัญหาในเรื่องของการขาดประสิทธิภาพและความไม่ประหยัดในการดำเนินการผลิต โดยได้ทำการศึกษาและวิจัยเน้นเฉพาะการผลิตของโรงงานตัวอย่างโรงงานหนึ่ง ซึ่งทำการผลิตคลัตซ์รถยนต์ คาดว่าจะสามารถใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาของการผลิตที่มีลักษณะการทำงานที่คล้ายคลึงกันโดยได้ทำเวลามาตรฐานของการผลิต เพื่อเป็นแนวทางในการทำเวลามาตรฐานของการผลิตผลิตภัณฑ์อื่นๆ ปรับปรุงวิธีการทำงานเพื่อลดเวลาไร้ประสิทธิภาพ ปรับปรุงผังการผลิตและการขนถ่ายวัสดุ เพื่อให้เกิดความสะดวก ลดเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้าย เพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน จากการศึกษาพบว่า การปรับปรุงการทำงาน สามารถลดเวลาและค่าใช้จ่ายของการผลิตลงได้

ฐานันดร์ แก้วทอง (2538)

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อท่จะศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในสายการผลิตและหาแนวทางในการประยุกต์วิชาการด้านวิศวกรรมอุตสาหการในการแก้ปัญหา โดยจะนำระบบการผลิตที่เรียกว่าระบบการจัดสมดุลการผลิต / การผลิตทันเวลาพอดี เข้ามาใช้เพื่อเป็นแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้กับโรงงานตัวอย่างซึ่งเป็นโรงงานผลิตพัดลม

เฉลิมชัย ชื่นเจริญ (2540)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัญหาการผลิตธนบัตรไทยและประยุกต์วิชาการด้านวิศวกรรมอุตสาหการเพื่อเพิ่มผลผลิตของธนบัตรชนิดราคา 100 บาท ตลอดจนใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตธนบัตรชนิดราคาอื่น ๆ ต่อไป

จากการศึกษาและวิเคราะห์พบว่าปัญหาที่ทำให้ประสิทธิภาพการผลิตธนบัตรต่ำได้แก่ปัญหาความไม่สมดุลของความสามารถในการผลิตแต่ละขั้นตอนการผลิต ปัญหาด้านการจัดการ และข้อจำกัดของพื้นที่สำหรับผลิตธนบัตร การวิจัยครั้งนี้เน้นการแก้ปัญหาที่จุดคอคอด (Bottle neck) ของสายการผลิตคือ ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพแผ่นพิมพ์ธนบัตรโดยใช้เทคนิคกรศึกษาการทำงาน (Work – study) เพื่อจัดทำมาตรฐานการตรวจสอบคุณภาพแผ่นพิมพ์ธนบัตรขึ้นใหม่

นางสาวสุรสา มหากันธา (2541)

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิผลโดยการลดเวลาสูญเสียในสายการผลิตชิ้นส่วนปั้มน้ำ ปั้มน้ำมันของเครื่องยนต์ การสูญเสียในสายการผลิตแบ่งเป็น 4 ประเภท ไดแก่การสูญเสียที่ได้วางแฟนไว้ล่วงหน้า การสูญเสียที่ไม่ได้วางแผนไว้ล่วงหน้า การสูญเสียที่ไม่ได้วางแผนไว้ การสูญเสียจากการทำงานที่ไม่สมดุลและการสูญเสียจากการผลิตของเสีย จากการวิเคราะห์ปัญหาของโรงงานตัวอย่างพบว่าสาเหตุหลักของการสูญเสียเกิดจากการสูญเสียจากการทำงาที่ไม่สมดุล และการสูญเสียนอกเหนือจากการวางแผน

2.8.2 การออกแบบการทดลองหาปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ได้แก่

ทศพล เกียรติเจริญผล (2537)

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเคลือบแลกเกอ์บนแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก และเงื่อนไขที่เหมาะสมจากการออกแบบการทดลองทีทำให้การเคลือบแลกเกอร์ที่ได้มีคุณภาพดีเหมาะสมต่อการใช้งาน และเป็นมาตรฐานอ้างอิงในการทำงาน

การวิจัยครั้งนี้ใช้หลักการของการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง มาทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่เหมาะสม

ทรงพล พิเชษฐ์วัฒนา (2541)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแรงดึงดูดระหว่าง Slider และ Flexure ของหัวอ่านเขียนข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ และเสนอเงื่อนไขที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มคุณภาพของแรงดึงของหัวอ่านเขียนข้อมูลดังกล่าวภายใต้เงื่อนไขที่เป็นไปได้จริง งานวิจัยนี้เริ่มต้นจากการอาศัยความรู้และความชำนาญของผู้เชี่ยวชาญและจากเอกสารจำนวนมากที่เกี่ยวข้องเพื่อระบุถึงปัจจัยทั้งหมดที่มีผลต่อแรงดึงของหัวอ่านเขียนข้อมูลโดยใชแผนภาพแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

สุรพล สุรบรรเจิดพร

งานวิจัยฉบับนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเชื่อมดีบุก-ตะกั่วบนแผ่นลายวงจรพิมพ์ด้วยเครื่องเชื่อมอัตโนมัติ และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมจากการทดลอง เพื่อลดจุดบกพร่องของรอยเชื่อม พร้อมพัฒนากระบวนการให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

บุญส่ง คำอ่อน (2545)

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการมวนและบรรจุบุหรี่ของโรงงานผลิตยาสูบ 5 โดยจะทำการศึกษาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลทำให้ประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตบุหรี่ลดต่ำลง จากนั้นทำการวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพ