# บทที่ 2

# ทฤษฎีประกอบการวิจัย

## 2.1 บทนำ

เทฟลอนเป็นชื่อการค้าของสารประกอบพอลิเมอร์ซึ่งเป็น Thermoplastic fluoropolymer ค้นพบโดย Roy J. Plunkett ซึ่งเป็นพนักงานของบริษัทดูปองท์ ในปี 1938 และได้นำมาแพร่หลายออกสู่ตลาดในปี 1946

เทฟลอน คือ polytetrafluoroethylene (PTFE) ซึ่งมีสูตรโครงสร้างเป็นดังนี้

เทฟลอนเป็นพลาสติกวิศวกรรม มีใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน จากคุณสมบัติในขั้นตอนการผลิตที่ใช้อะตอมของฟลูออรีนแทนที่อะตอมไฮโดรเจนในโมเลกุลเอทิลีน ทำให้เทฟลอนมีคุณสมบัติในเรื่องของการทนความร้อน, ทนแรงเสียดทานสูง, ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี ดังนั้น เทฟลอนจึงเหมาะในการใช้เป็นฉนวนไฟฟ้า งานสำหรับเคลือบผิวชิ้นส่วนเครื่องจักร, ตลับลูกปืน, เคลือบผิวเครื่องใช้อุปกรณ์ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น หม้อ กระทะ ในอุตสาหกรรมทั่วไป เช่น หน้าแปลน ซีลบอลวาล์ว ซีลไฮดรอลิคที่รับแรงดันสูง หรือมีความร้อน เช่น ไฮดรอลิกของรถแทรกเตอร์ รถยก เครื่องฉีดพลาสติก เป็นต้น ใช้ทำชิ้นส่วนเครื่องกรอง หัวฉีดพ่นสี และอุปกรณ์ทางด้านการแพทย์ เป็นต้น

### 2.1.1 วัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเทฟลอนคือ ฟลูออโรคาร์บอน (Fluorocarbon) ซึ่งเป็นพลาสติกที่สังเคราะห์จากโมโนเมอร์ Tetrafluoroethylene (TFE) ซึ่งเป็นก๊าซมีพิษ มีโครงสร้างโมเลกุล และมีลักษณะคล้ายขี้ผึ้งคล้ายโพลีเอทิลีน (Polyethylene) ในโมเลกุลของเทฟลอน อะตอมของไฮโดรเจนในโมเลกุลเอทิลีน ($CH_2$=$CH_2$) ถูกแทนที่ของอะตอมฟลูออรีนคือ $CF_2$=$CF_2$ การสังเคราะห์ tetrafluoroethylene มีอันตรายมากเพราะอาจมีการระเบิดได้ง่าย

*รูปที่ 2.1* วัตถุดิบเรซิน

**2.1.2 คุณสมบัติทางเคมี**

เนื่องจากเทฟลอนมีสายโซ่คาร์บอนที่เกือบจะถูกอะตอมของฟลูออรีนป้องกันเกือบทั้งหมด จึงมีสภาวะเป็นเกราะเคลือบสายโซ่คาร์บอนจากผลกระทบจากภายนอก จึงสามารถทำให้ทนสารเคมีได้ดี ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีตัวทำละลายชนิดใดสามารถละลายเทฟลอนได้ นอกจากนี้เทฟลอนยังมีคุณสมบัติเหมือนกับไนลอน คือมีแรงเสียดทานต่ำ และหล่อลื่นตัว

**2.1.3 คุณสมบัติโดยทั่วไป**

เทฟลอนมีจุดหลอมตัวสูงที่สุดในกลุ่มเทอร์โมพลาสติก คือประมาณ 330 °C การหล่อขึ้นรูปจึงทำได้ยาก ซึ่งจะต้องใช้เทคนิคการผลิตชั้นสูง และมีราคาแพง โดยปกติใช้ระบบการผลิต sintering มีน้ำหนักโมเลกุล 9,000,000 g/cm$^3$ ซึ่งวัดโดยวิธี Radio Activity Labelled Intiator

จากโครงสร้างอะตอมมีพันธะทางเคมีที่แข็งแกร่งระหว่างคาร์บอนกับฟลูออรีนหากจะใช้แรงแยกสลาย (Dissociation energy) ต้องใช้แรงถึง 460 Kj/mol ซึ่งถือว่าเป็นพันธะที่สูงที่สุดของสารอินทรีย์

*ตารางที่ 2.1* แสดงคุณสมบัติโดยทั่วไปของเทฟลอน

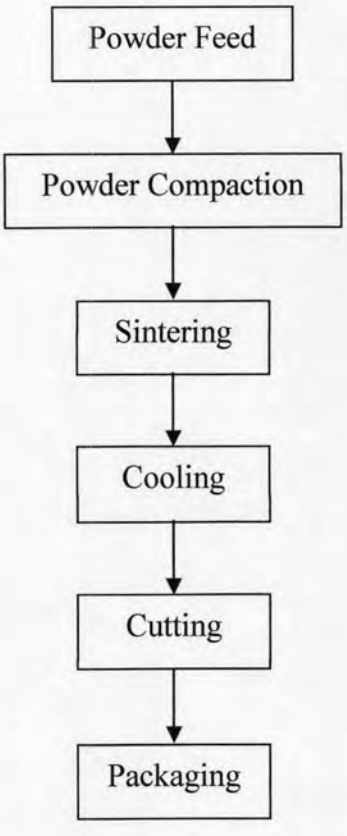
| คุณสมบัติ | หน่วย | ค่า |
|---|---|---|
| จุดหลอมเหลว | $^{o}C$ | 327 |
| ความหนาแน่น | N/a | 2.13-2.19 |
| แรงดึง (Tensile Strength) | MPa | 20-40 |
| การยืด (Elongation) | Elongation | 200-400% |
| ความแข็ง (Hardness) | Shore D | 55-59 |
| อุณหภูมิใช้งาน | $^{o}C$ | +260/-209 |

คุณสมบัติของเทฟลอนมีดังนี้

1. เมื่อเคลือบบนพื้นผิวจะทำให้น้ำหรือน้ำมันไม่เกาะติด
2. ไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆ
3. ทนทานต่ออุณหภูมิสูง
4. ทนต่อดินฟ้าอากาศ
5. ทนต่อการออกซิไดส์
6. ทนต่อแสงยูวี
7. มีความฝืดต่ำมาก

### 2.1.4 วิธีการผลิตเทฟลอน

ในการผลิตเทฟลอนเป็นการผลิตแบบต่อเนื่อง โดยวัตถุดิบที่ใช้คือผงเรซิน (resin powder) และทางบริษัทได้ใช้เครื่อง Ram extruder ซึ่งเป็นเครื่องที่ผลิตแบบอัตโนมัติในการผลิตโดยมีขั้นตอนโดยสังเขปดังนี้



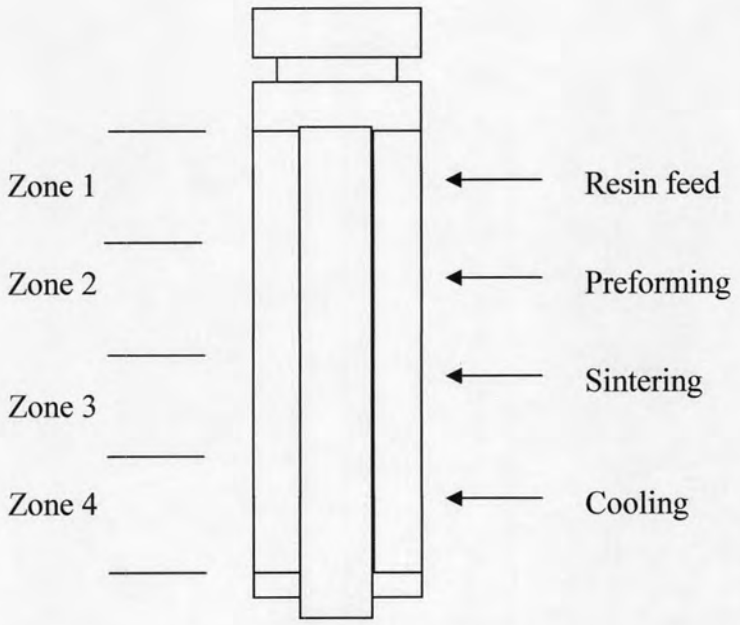

***รูปที่ 2.2*** แสดงผังการผลิตเทฟลอนโดยสังเขป

1. การป้อนผงเรซิน (Powder feed) เป็นการใส่เทฟลอนลงในถังบรรจุผงเรซิน (Powder hopper) โดยผงเรซินนั้นจะต้องได้รับการควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 21-30 °C เพื่อไม่ให้ผงเรซินนั้นมีความชื้น จากนั้นผงเรซินก็จะไหลลงสู่จานผสม (Rotating feed table) ที่มีใบพายเพื่อกวนเรซินให้ลงแม่พิมพ์ด้วยความสม่ำเสมอ

2. การอัดผงเรซิน (Powder Compaction) ในกระบวนการนี้ผงเรซินจะถูกอัดด้วยหัวกด (Bucher) ซึ่งใช้ระบบไฮดรอลิค การอัดนั้นต้องมีการอัดอย่างช้าๆ และความดันที่คงที่นานพอเพียงเพื่อให้อากาศที่ผสมอยู่ในผงเรซินออกไป อากาศนั้นจะทำให้เกิดช่องว่าง จะเป็นบริเวณที่เรซินเริ่มจัดรูปแบบและมีการให้ความร้อน

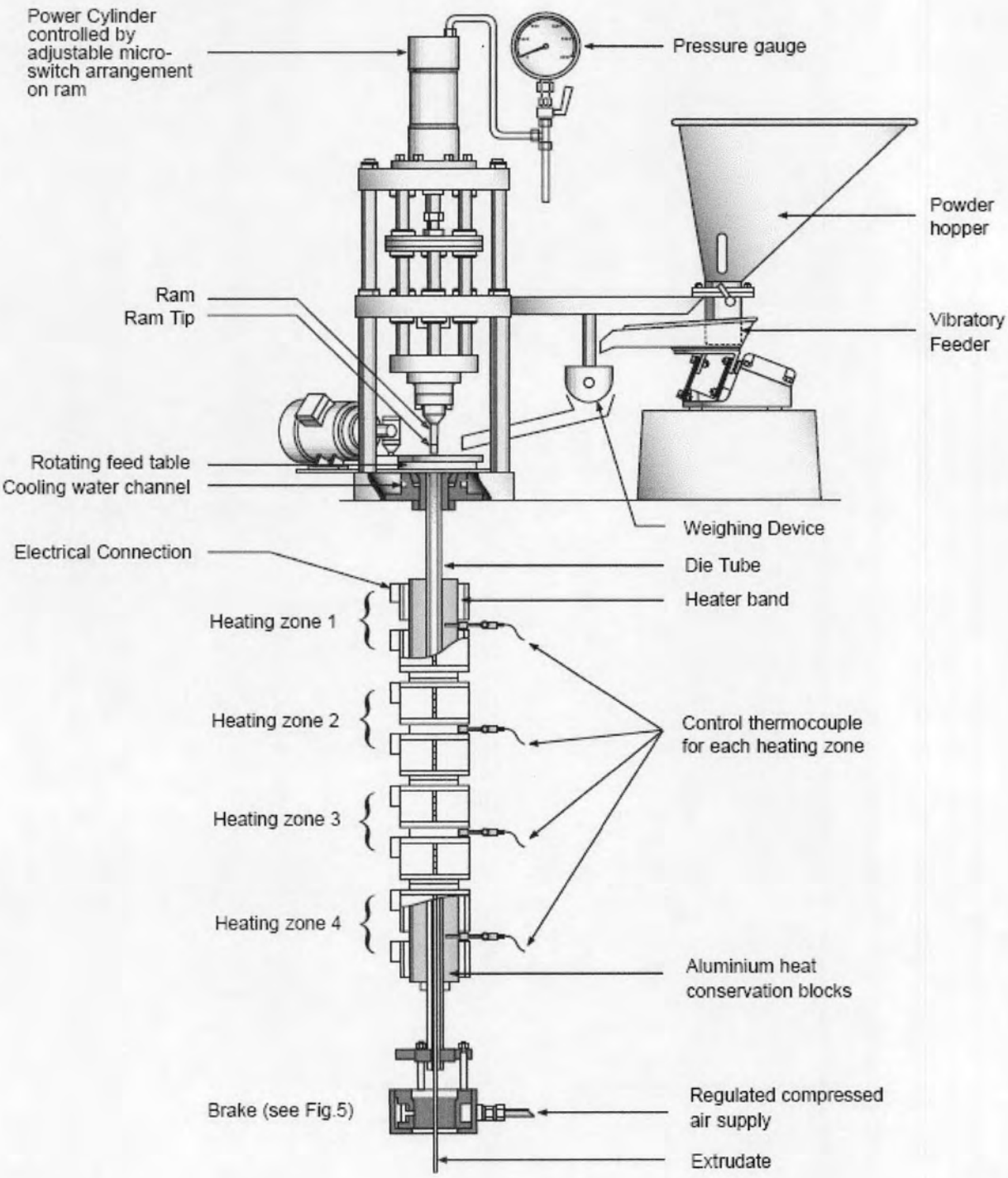
3. การเผา (Sintering) เมื่อผงเรซินที่ถูกอัดถูกส่งผ่านท่อแม่พิมพ์มาที่บริเวณให้ความร้อน ผงเรซินจะถูกให้ความร้อนจนอุณหภูมิถึงจุดหลอมเหลวโครงร่างผลึก (Crystalline melting point) คือช่วง 340-400°C และรักษาความดันมากเป็นเวลานานเพียงพอ

4. การลดอุณหภูมิ (Cooling) เมื่อเทฟลอนที่ผ่านการเผาแล้วเคลื่อนออกมาจากบริเวณให้ความร้อนจะถูกทิ้งไว้ที่อุณภูมิห้องเพื่อให้เทฟลอนนั้นเย็นลง เมื่อถึงความยาวที่กำหนดถึงจะตัดแล้วนำไปบรรจุต่อไป

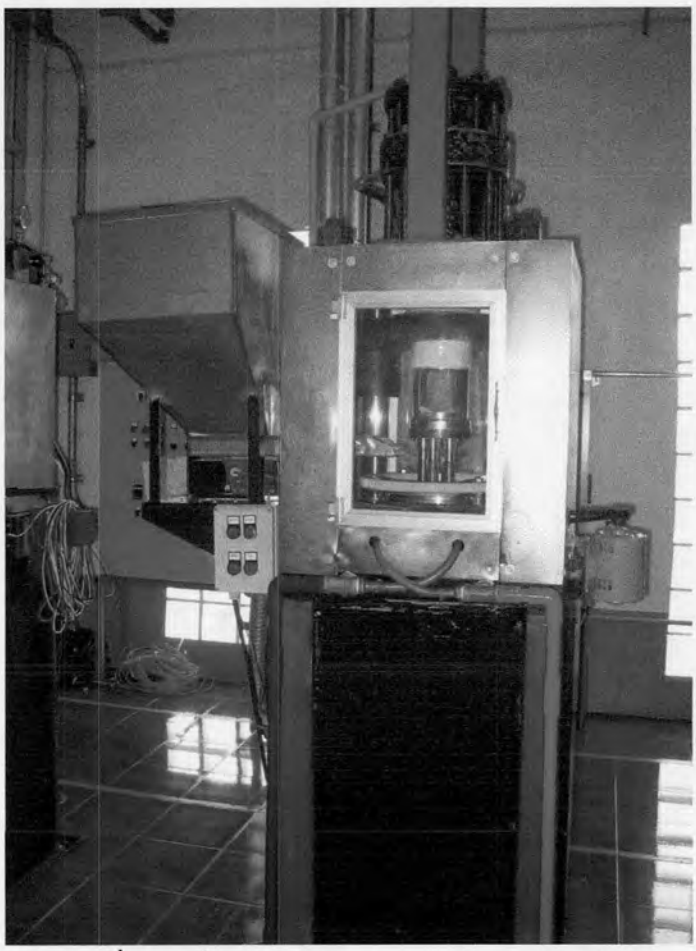



***รูปที่ 2.3*** แสดงบริเวณให้ความร้อนในแต่ละบริเวณ

จากรูปที่ 2.3 จะเห็นว่าบริเวณ resin feed นั้นจะมีฮีทเตอร์โซน 1 คอยให้ความร้อนซึ่งเป็นเหมือนการอุ่นเรซินให้พร้อม บริเวณ prefoming จะเป็นบริเวณตัวเรซินเริ่มเกิดการจัดรูปแบบซึ่งจะมีฮีทเตอร์โซนที่ 2 ให้ความร้อน บริเวณ Sintering จะเป็นบริเวณที่เรซินนั้นเกิดการเผา ทำให้เรซินหลอมเหลวเกิดการจับตัว สายโพลิเมอร์กลายเป็นเทฟลอน บริเวณ Cooling จะเป็นบริเวณที่ทำให้เทฟลอนนั้นเย็นลงโดยการให้ความร้อนด้วยฮีทเตอร์โซน 4 ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าโซนที่ 3 แต่จะต้องไม่ต่ำมากเพราะถ้าต่ำมากจะทำให้เทฟลอนนั้นแตกได้ ซึ่งเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตของโรงงานตัวอย่างดังแสดงรูปที่ 2.4 และรูปที่ 2.5




*รูปที่ 2.4* แสดงส่วนประกอบต่างๆของเครื่อง Ram Extruder



*รูปที่ 2.5* เครื่อง Ram extruder ของโรงงานตัวอย่าง

## 2.2 การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments) เป็นกระบวนการวางแผนการทดลองและนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์ด้วยหลักการทางสถิติและหาข้อสรุปว่าปัจจัยนำเข้า (Input Variable) ใดที่มีผลต่อสิ่งที่ให้ความสนใจในผลิตภัณฑ์หรือสิ่งที่ออกมาจากระบบ (Output Response) โดยทั่วไปการทดลองจะถูกใช้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการหรือระบบ ซึ่งโดยส่วนใหญ่ลักษณะของกระบวนการเริ่มจากการรวมกันของปัจจัยป้อนเข้า (Input) อันประกอบด้วย เครื่องจักร คน วิธีการ วัตถุดิบ และทรัพยากรอื่นๆ ผ่านเข้าไปยังกระบวนการและปัจจัยป้อนเข้าเหล่านั้นจะเปลี่ยนรูปออกมาเป็นผลลัพธ์ (Output)

## 2.3 วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ว่าปัจจัยใดมีผลต่อผลิตภัณฑ์หรือไม่ โดยต้องทำการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยอย่างน้อย 2 ระดับแล้วทำการทดลอง จากนั้นจึงวิเคราะห์ผลการ

ทดลองผลของปัจจัย A ที่มีผลต่อตัวแปรตาม Y ดังนั้นจึงสามารถสรุปวัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลองได้ดังนี้

1. หาตัวแปรอิสระในกระบวนการผลิตที่มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนองมากที่สุด
2. เพื่อกำหนดค่าตัวแปรอิสระในกระบวนการผลิตที่ทำให้ค่าตัวแปรตอบสนองใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายที่ต้องการมากที่สุด
3. เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) คือการพิสูจน์ข้อเท็จจริงหรือความเชื่อจากประสบการณ์หรือทฤษฎีบางอย่างที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการผลิต
4. การค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) คือการศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขใหม่ที่มีผลต่อกระบวนการ

## 2.4 ส่วนประกอบของการทดลอง

การออกแบบการทดลอง จำเป็นต้องศึกษาการทำงานและค้นคว้ารายละเอียดกระบวนการที่สนใจเพื่อให้ได้ข้อมูลที่จำเป็นสำหรับใช้เป็นส่วนประกอบในการออกแบบการทดลอง ซึ่งตามหลักการของการออกแบบการทดลองส่วนประกอบของการทดลองแสดงได้ดังนี้

### 2.4.1 ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factor)

หมายถึงปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยในการผลิตได้

### 2.4.2 ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factor)

หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยในการผลิตได้ โดยปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้สามารถแบ่งได้ดังนี้

- ตัวแปรรบกวน (Noise Variable) หมายถึงตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองในการทดลองแต่ไม่ใช่ปัจจัยที่เราสนใจศึกษา ส่วนใหญ่มักเป็นเวลาหรือเครื่องมืออุปกรณ์ เป็นต้น
- Nuisance Variable หมายถึงตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง แต่เราไม่ทราบมาก่อนว่าสามารถกำจัดอิทธิพลของตัวแปร Nuisance Variable โดยการสุ่ม
- ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) คือตัวแปรที่ถูกสังเกตหรือวัดค่าในการทดลอง ในการทดลองหนึ่งๆ อาจมีการวัดค่าตัวแปรตามมากกว่า 1 ค่าก็ได้ การเลือกตัวแปรตามที่ดีควรพิจารณาจากความไว (Sensitivity) ความเชื่อถือได้ (Reliability) การแจกแจงตัวแปรนั้นและความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ นอกจากนี้ ในการเลือกตัวแปรตามจะต้องพิจารณาว่าค่าที่สังเกต

ได้จากทรีทเมนต์หนึ่งๆ ควรมีการแจกแจงแบบปกติโดยประมาณซึ่งข้อสมมุติในเรื่องความเป็นปกติ (Normality) นี้เป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบการทดลอง ซึ่งอาจจะใช้การแปลงข้อมูลค่าสังเกตที่มีการแจกแจงที่ไม่ปกติให้เป็นปกติได้

**2.4.3 ทรีทเมนต์ (Treatment)**

คือวิธีที่เราปฏิบัติต่อการทดลองเพื่อวัดผลเปรียบเทียบตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง

**2.4.4 หน่วยการทดลอง (Treatment Unit)**

เป็นหน่วยที่ใช้วัดอิทธิพลของทรีทเมนต์ซึ่งโดยคำจำกัดความแล้ว หมายถึงกลุ่มของการทดลองซึ่งได้รับทรีทเมนต์ชุดเดียวกันในการกระทำครั้งใดครั้งหนึ่งหน่วยการทดลองมีขนาดไม่จำกัด อาจผันแปรไปได้สูง ดังนั้นในการทดลองจึงต้องให้คำจำกัดความที่ชัดเจน

**2.5 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง**

**2.5.1 การนิยามปัญหา (Recognition and Statement of Problem)**

เป็นการระบุว่าความต้องการในการผลิตคืออะไรและต้องการเรียนรู้อะไรบ้างในการผลิต ซึ่งการนิยามปัญหานี้จะเกี่ยวโยงไปยังวัตถุประสงค์ของการทดลอง

**2.5.2 การเลือกปัจจัยและระดับของปัจจัย (Choice of Factors Levels and Ranges)**

เป็นการใช้หลักการทางทฤษฎีและประสบการณ์จากงานวิจัยต่างๆ เพื่อระบุว่าปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลองและในแต่ละปัจจัยนั้นควรจะมีช่วงในการทดลองอย่างไร สุดท้ายคือระบุว่าระดับที่ใช้เป็นแบบกำหนด (Fixed Effect) แบบสุ่ม (Random Effect) หรือแบบผสม ซึ่งสามารถอธิบายได้พอเป็นสังเขปได้ดังนี้

- แบบกำหนด (Fixed Effect) หมายถึงระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าได้แน่นอน
- แบบสุ่ม (Random Effect) หมายถึงระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าได้แน่นอน

- แบบผสม (Mixed Effect) หมายถึงการผสมผสานระหว่างระดับของปัจจัยที่เป็นทั้งแบบกำหนดและแบบสุ่ม

**2.5.3 การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Selection of Response Variable)**

ในการเลือกผู้ทำการวิจัยจะต้องเลือกตัวแปรที่สามารถให้ข้อมูลที่มีประโยชน์ในการศึกษาและการวัดค่านั้นจะต้องมีความแม่นยำและถูกต้องด้วย

**2.5.4 การเลือกแบบการทดลอง (Choice of Experimental Design)**

เมื่อกำหนดทรีทเมนต์และตัวแปรตอบสนองแล้วต้องทำการตัดสินใจเกี่ยวกับขนาดของการทดลองซึ่งหมายถึงจำนวนซ้ำของการทดลอง ความเหมาะสม ข้อจำกัดในการสุ่มและการบล็อกที่เกี่ยวข้องทั้งนี้ต้องนำมาเกี่ยวโยงกันในด้านความเสี่ยงและต้นทุนที่ใช้ในการทดลองสำหรับการเลือกปัจจัย

**2.5.5 ดำเนินการทดลอง (Performing the Experiment)**

ในระหว่างดำเนินการทดลองผู้วิจัยต้องศึกษาและดูแลอย่างใกล้ชิด ปฏิบัติตามหลักการที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ ข้อควรระวังในขณะทำการทดลองคือ ความถูกต้องของเครื่องมือวัดและความสม่ำเสมอในการทดลองเพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

**2.5.6 การวิเคราะห์ข้อมูล (Statistical Analysis of Data)**

จะใช้ความรู้ทางด้านสถิติเข้ามาวิเคราะห์และสรุปผล รวมทั้งตัดสินความถูกต้องของข้อมูลที่เกิดขึ้นก่อนที่จะตีความข้อมูลและวิธีการทดลองสถิติไม่สามารถบอกได้ว่าปัจจัยมีผล (Effect) เท่าใดแน่นอน แต่ยังเป็นเครื่องมือที่ให้แนวทางในการวิเคราะห์ภายใต้ความเชื่อมั่นเป็นเปอร์เซ็นในการสรุปผล

**2.5.7 สรุปผลและข้อเสนอแนะ (Conclusion and Recommendation)**

เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลแล้วจะต้องสรุปผลการวิเคราะห์ อาจแสดงในรูปกราฟ ตาราง แผนภูมิ ฯลฯ และให้ข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดีขึ้น

## 2.6 แนวคิดพื้นฐานในการออกแบบการทดลอง

แนวคิดพื้นฐานของการออกแบบการทดลองประกอบด้วยสิ่งสำคัญดังนี้

### 2.6.1 การทำแบบสุ่ม (Randomization)

คือเทคนิคการจัดหน่วยการทดลอง โดยให้แต่ละหน่วยการทดลองมีโอกาสที่จะได้รับทรีทเมนต์หนึ่งเท่าๆ กัน โดยวัตถุประสงค์ของการทำแบบสุ่มมีดังนี้

1. เพื่อขจัดอคติหรือความเอนเอียงของผู้ทดลองและเพื่อให้แน่ใจว่าทรีทเมนต์ต่างๆ จะไม่มีการได้เปรียบเสียเปรียบในเรื่องเกี่ยวกับการทดลอง การสุ่มจึงเป็นการประกันได้ว่าจะไม่มีอคติใดๆ เกิดขึ้นในการทดลอง

2. การวิเคราะห์และทดสอบทางสถิตินั้นมีข้อกำหนดว่าความคลาดเคลื่น (Error) จะต้องเกิดขึ้นโดยสุ่มเป็นอิสระต่อกัน การสุ่มจึงเป็นการทำให้ข้อมูลเป็นไปตามข้อกำหนดทั้งนี้การสุ่มจะเป็นการช่วยกำจัดหรือเฉลี่ยความผันแปรภายนอกที่ควบคุมไม่ได้ให้เกิดขึ้นกับหน่วยการทดลองด้วยโอกาสเท่าๆ กัน

การทดลองสุ่มทำได้ 3 วิธี

1. การทำสุ่มแบบสมบูรณ์ (Complete Randomization)
2. การทำแบบสุ่มอย่างง่าย (Simple Randomization)
3. การทำสุ่มแบบสมบูรณ์ภายในบล็อก (Complete Randomization with Blocks)

### 2.6.2 การทำซ้ำ (Replication)

คือการที่ทรีทเมนต์หนึ่งกระทำต่อหน่วยการทดลองมากกว่า 1 หน่วยการทดลองโดยมีจุดประสงค์ในการทำซ้ำคือ

1. การทำซ้ำทำให้สามารถประมาณค่าความคลาดเคลื่อนในการทดลองได้ เพื่อนำค่าความผันแปรภายในกลุ่มนี้มาเป็นตัวทดสอบว่าทรีทเมนต์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติหรือไม่

2. ความเที่ยงตรง (Precision) ของการทดลองโดยช่วยลดขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเฉลี่ย

3. การบล็อก (Blocking) คือการจัดกลุ่มทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วง เพื่อลดผลจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้

## 2.7 การเลือกแบบการทดลอง

### 2.7.1 แบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design)

เป็นแผนการทดลองที่ง่ายที่สุดเหมาะสมกับการทดลองที่แยกได้ว่าหน่วยทดลองที่นำมาใช้นั้นมีลักษณะแตกต่างกันอย่างไรก่อนการทดลอง การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแผนการทดลองนี้จะแยกสาเหตุความผันแปรของข้อมูลทั้งหมดว่า เนื่องมาจากอิทธิพลของทรีทเมนต์แต่เพียงอย่างเดียว ไม่มีสาเหตุจากปัจจัยอื่นอีก จึงเรียกข้อมูลนี้ว่าข้อมูลแบบแจกแจงทางเดียว (One-Way Classification)

ตามแผนการทดลองนี้แสดงว่า เมื่อหน่วยการทดลองได้รับทรีทเมนต์ที่ต้องการทดสอบแล้วความแตกต่างของข้อมูลที่เก็บได้จากแต่ละหน่วยการทดลองจะต้องเกิดจากอิทธิพลของทรีทเมนต์ที่ต่างกันเท่านั้น ดังนั้นเพื่อให้แผนการทดลองนี้มีประสิทธิภาพสูงสุด หน่วยทดลองที่นำมาใช้จึงสมควรมีลักษณะที่สม่ำเสมอหรือคล้ายคลึงกันมากที่สุด (Homogenous) หรือมีความผันแปรระหว่างหน่วยทดลองหรือจัดหน่วยทดลองให้แก่ทรีทเมนต์จะต้องเป็นอย่างสุ่มและไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับการสุ่ม โดยโครงรูปของข้อมูลสมมุติให้การทดลองมี a ทรีทเมนต์ หรือ a ระดับ n คือ จำนวนค่าสังเกตในแต่ละทรีทเมนต์ และ $Y_{ij}$ 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 | $Y_{1.}$ | $Y_{2.}$ | | |
| Sample Means | $Y_{1.}$ | $Y_{2.}$ | | |

ตัวแบบทางสถิติของการทดลองนี้คือ

$$Y_{ij} = \mu_{ij} + \tau_{ij} + \varepsilon_{ij} \qquad i = 1,2,3,\ldots,a$$

$$j = 1,2,3,\ldots,n$$

โดยที่ $Y_{ij}$ คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

$\mu_{ij}$ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

$\tau_{ij}$ คือ อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์ i

$\varepsilon_{ij}$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม

### 2.7.2 การทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized complete Block Design)

ในบางการทดลองอาจเกิดปัญหาเกี่ยวกับหน่วยการทดลองที่ใช้ไม่มีความสม่ำเสมอ ทำให้การใช้แผนการทดลองอาจเกิดปัญหาเกี่ยวกับหน่วยการทดลองที่ใช้ไม่มีความสม่ำเสมอ ทำให้การใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอดไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากความผันแปรของข้อมูลจะไม่ใช่ผลของทรีทเมนต์เพียงอย่างเดียวแต่อาจมีความคลาดเคลื่อนของการทดลอง ทำให้ยอดรวมของผลบวกของกำลังสองของความคลาดเคลื่อนมีค่าสูงขึ้น มีผลต่อการทดสอบทำให้ผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงต้องพยายามแยกผลอันเกิดจากอิทธิพลอื่นที่ไม่ใช่ทรีทเมนต์ออกจากความแปรปรวนทั้งหมด เพื่อให้แน่ใจว่าผลที่นำมาวิเคราะห์นั้นเป็นอิทธิพลของทรีทเมนต์ (Treatment Effect) แต่เพียงอย่างเดียว

แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกเป็นวิธีหนึ่งในหลายวิธีของการจำแนกแบบ 2 ทาง (Two-Way Classification) จะใช้เมื่อหน่วยการทดลองมีความแตกต่างกัน 2 ลักษณะคือทางแนวนอน (Row) และแนวตั้ง (Column) มีหลักการคือพยายามจัดหน่วยทดลองที่มีความคล้ายคลึงกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกันซึ่งเรียกว่าบล็อก ดังนั้นความแปรปรวนระหว่างหน่วยทดลองในบล็อกเดียวกันจึงมีค่าต่ำและให้ค่าความแตกต่างระหว่างบล็อกมีค่าสูง ในแต่ละบล็อกจะมีครบทุกทรีทเมนต์การจะให้ทรีทเมนต์ใดแก่หน่วยการทดลองใดภายในแต่ละบล็อกกระทำโดยการสุ่ม กรณีนี้จะทำให้เราแยกความแตกต่างระหว่างบล็อกออกมาจากยอดรวมของผลบวกกำลังสองได้โครงสร้างของข้อมูล

### 2.7.3 แผนการทดลองแบบแฟคตอเรียล (Factorial Experiment)

เป็นการทดลองที่มุ่งศึกษาถึงผลของปัจจัยมากกว่าหนึ่งปัจจัยพร้อมๆ กัน การวิเคราะห์จะให้ความสนใจที่อิทธพลร่วมของปัจจัยซึ่งมีอิทธิพลและส่งผลกับตัวแปรสนอง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วอาจกล่าวได้ว่าการออกแบบการทดลองแบบแฟคตอเรียล เป็นแผนการทดลองที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการตรวจสอบอิทธิพลของหลายๆ ปัจจัยพร้อมกัน คำว่าแฟคตอเรียลหมายถึงการทดลองที่สมบูรณ์ในแต่ละครั้งหรือแต่ละซ้ำของการทดลองนั้น กล่าวคือมีการใช้ระดับของแฟคเตอร์ต่างๆ ร่วมกัน จึงสามารถตรวจสอบอิทธิพลต่างๆ ในการทดลองครั้งหนึ่งๆ ได้พร้อมกันเช่น ถ้าแฟคเตอร์ A มี a ระดับ แฟคเตอร์ B มี b ระดับแต่ละซ้ำจะมี ab Treatment Combination แบ่งได้ 2 ประเภทคือ

1. อิทธิพลหลัก (Main Effect) คืออิทธิพลของปัจจัยที่แสดงต่อตัวแปรตอบสนองด้วยตัวของมันเองเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยเกิดขึ้น

2. อิทธิพลร่วม (Interaction Effect) คืออิทธิพลของปัจจัยหนึ่งที่จะเปลี่ยนไปเมื่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยร่วมกัน

การทดลองแบบแฟคตอเรียลนั้นเป็นการประกอบกันของทรีทเมนต์ไม่ใช่ชนิดของแผนการทดลอง การประกอบกันของทรีทเมนต์นี้อาจใช้ในแผนการทดลองแบบใดๆ ก็ได้เช่น การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ แบบสุ่มบล็อก หรือจัตุรัสลาตินก็ได้ โดยมีข้อดีและข้อเสียดังนี้

ข้อดี

1. เป็นการใช้หน่วยทดลองทั้งหมดเพื่อตรวจสอบอิทธิพลของทรีทเมนต์หลายๆ ทรีทเมนต์พร้อมกันได้ จึงเป็นการประหยัดและเสียเวลาน้อยลงกว่าการทดสอบครั้งละ 1 แฟคเตอร์

2. ทำให้สามารถตรวจสอบอิทธิพลของกิริยาร่วมระหว่างแฟกเตอร์ได้จึงช่วยในการสรุปผลได้กว้างขวางกว่าการทดลองครั้งละ 1 แฟกเตอร์

ข้อเสีย

1. เนื่องจากมี Treatment Combination จึงต้องใช้หน่วยทดลองมากขึ้นซึ่งอาจมีข้อจำกัดเกี่ยวกับจำนวนหน่วยทดลอง

2. ในกรณีที่มีกิริยาร่วมเกิดขึ้น อาจทำให้การสรุปผลเป็นภาษาที่เข้าใจได้ยาก

3. ถ้าจำนวนปัจจัยมีมากขนาดของการทดลองก็จะใหญ่ขึ้น ซึ่งเป็นการเสียค่าใช้จ่ายสูงและการหาวัตถุทดลองที่มีความสม่ำเสมอจำนวนมากก็เป็นไปได้ยาก

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจาก 2 ปัจจัย

แผนการทดลองแบบแฟคตอเรียลทั่วไปมีรูปแบบคือ AxBxC... แฟคตอเรียล เช่น แฟคตอเรียล 3x2x3 รูปแบบของแผนการทดลองแบบแฟคตอเรียลที่สำคัญได้แก่

1. แบบ $2^k$ แฟคตอเรียล ใช้กับการทดลองหลายปัจจัย ที่กำหนดระดับของปัจจัยไว้ 2 ระดับในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย

2. แบบ $3^k$ แฟคตอเรียล ใช้กับการทดลองหลายปัจจัย ที่กำหนดระดับของปัจจัยไว้ 3 ระดับในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย

การออกแบบการทดลองแบบ $2^k$ แฟคตอเรียลเหมาะสมกับรูปแบบที่มีความเป็นเส้นตรงซึ่งจะสามารถตีความข้อมูลได้อย่างถูกต้อง แต่ถ้าหากว่าอิทธิพลของปัจจัยต่อตัวแปรตอบสนองมีความเป็นเส้นตรงไม่ดีแล้ว ใช้แบบ $3^k$ แฟคตอเรียลแทนจะเหมาะสมมากกว่า

**2.7.4 การออกแบบ $2^k$ แบบ 1 เรพลิเคต**

สำหรับการทดลองที่จำนวนของปัจจัยที่อยู่ในความสนใจมีปานกลาง จำนวนทั้งหมดของการทดลองร่วมปัจจัยของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ $2^k$ จะมีขนาดใหญ่ ตัวอย่างเช่น การออกแบบ $2^5$ จะประกอบไปด้วย 32 การทดลองร่วมปัจจัย การออกแบบ $2^6$ จะประกอบไปด้วย 64 การทดลองร่วมปัจจัย และเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ เนื่องจากความจำกัดของทรัพยากร ทำให้จำนวนของเรพลิเคตที่จะเกิดขึ้นในการทดลองนั้นๆ อาจจะมีค่าจำกัด มีบ่อยครั้งที่เราสามารถทำการทดลองได้เพียงเรพลิเคตเดียวเท่านั้น หรือมิฉะนั้นแล้วผู้ทำการทดลองจะต้องตัดปัจจัยเริ่มต้นบางตัวทิ้ง สำหรับกรณีเช่นนี้ ผู้ทำการทดลองจะต้องตั้งสมมติฐานไว้ก่อนหน้านี้แล้วว่า ความผิดพลาดแบบสุ่ม (สิ่งรบกวน) ที่เกิดขึ้นขณะทำการทดลองนั้นมีค่าน้อยพอสมควร

บางครั้งเราเรียก การทดลอง $2^k$ แบบ 1 เรพลิเคตว่า แฟกทอเรียลแบบไม่มีเรพลิเคต เมื่อทำการทดลองเพียง 1 เรพลิเคต เราจะไม่สามารถหาค่าประมาณสำหรับความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้ วิธีการหนึ่งที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์แฟกทอเรียลแบบไม่มีเรพลิเคตนี้ก็คือ การสมมติให้อันตรกิริยาที่อยู่ในขั้นสูง (High Order) มีค่าน้อยและตัดทิ้งได้ และรวมค่ากำลังสองเฉลี่ยของพวกอันตรกิริยาพวกนี้เข้าด้วยกันเพื่อใช้ประมาณค่าความผิดพลาด แนวความคิดนี้มาจากหลักการของผลที่มีนัยสำคัญจะเกิดจากปัจจัยจำนวนน้อย (Scarcity of Effects) กล่าวคือ ผลที่มีต่อระบบส่วนมากจะเป็นผลที่มาจากผลหลักและอันตรกิริยาที่อยู่ในขั้นต่ำ และอันตรกิริยาที่อยู่ในขั้นสูงจะมีค่าน้อยและสามารถตัดทิ้งได้

ในบางครั้งเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลจากการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบไม่มีเรพลิเคต เราอาจจะพบว่าอันตรกิริยาที่อยู่ในขั้นสูงมีผล การใช้วิธีการดังกล่าวข้างต้นจะไม่เหมาะสมสำหรับกรณีเช่นนี้ ดังนั้นเราจะใช้วิธีการตรวจสอบกราฟการพล็อตความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าประมาณของผล แทนผลที่สามารถตัดทิ้งได้จะมีการกระจายแบบปกติ ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวน $\sigma^2$ และค่าเหล่านี้จะเรียงตัวอยู่บนเส้นตรงของกราฟที่สร้างขึ้นมา และในแบบจำลองเบื้องต้นที่สร้างขึ้นมาก็ควรจะประกอบด้วยปัจจัยที่มีค่าเฉลี่ยไม่เท่ากับ 0 โดยดูจากกราฟการพล็อตความน่าจะเป็นแบบปกติและผลที่ไม่มีผลจะถูกนำมารวมกันเพื่อใช้เป็นตัวประมาณค่าของความผิดพลาด

## 2.8 หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล

### 2.8.1 การทดลองสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Square)

เป็นการวิเคราะห์ว่าการออกแบบที่ได้ออกแบบขึ้นมาใช้ในการทดลองมีความเหมาะสมเพียงใด ซึ่งในการทดลองทุกครั้งจะต้องมีความผันแปรที่อธิบายไม่ได้ (Unexplained Variable) หรือความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ การออกแบบการทดลองที่ดี จะต้องทำให้เกิดความผันแปรที่อธิบายไม่ได้น้อยที่สุด

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

ถ้าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square) ต่ำสามารถแก้ไขได้โดย

- เพิ่มจำนวนซ้ำในการทดลอง
- ตรวจสอบหาปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องแล้วออกแบบการทดลองใหม่
- ถ้าทำการเพิ่มปัจจัยอื่นแล้วค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจยังต่ำอยู่แสดงว่าผลจากปัจจัยรบกวน (Noise Factor) มีมากต้องทำการบล็อก (Blocking) เพื่อลดปัจจัยรบกวน

### 2.8.2 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking)

จากสมการ

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

ซึ่ง $\mu$ คือ ค่าเฉลี่ย

$\tau_i$ คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย

$\varepsilon_{ijk}$ คือ ความคลาดเคลื่อน

ในการออกแบบการทดลองส่วนใหญ่ มักจะตั้งสมมติฐานในการวิเคราะห์จากการที่ Y ซึ่งเป็นตัวแปรตามมีการกระจายแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ดังนั้น Y จะมีการกระจายแบบนี้ได้ต้องให้ $\varepsilon_{ijk}$ มีการกระจายแบบปกติด้วยและต้องเป็นการกระจายที่เป็นอิสระตามสมมติฐาน ($\varepsilon_{ij} \sim NID(0,\sigma^2)$) การตรวจสอบ $\varepsilon_{ij}$ มี 3 ขั้นตอนคือ

1. การตรวจสอบการกระจายว่าเป็นแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) หรือไม่โดยใช้วิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

- การทดสอบแบบไคร์สแควร์ (2-Goodness of Fit Test)
- การทดสอบแบบโคโมรอฟ – สเมอร์นอฟ (Kolgomgrov – Smirnov Test)
- การทดสอบโดยใช้กระดาษตรวจสอบการแจกแจงปกติ (NOPP)

2. การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) โดยใช้แผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) แล้วดูลักษณะการกระจายของจุดที่แทนข้อมูลแผนภูมิ ว่าเป็นรูปแบบอิสระหรือไม่

3.การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยใช้แผนภูมิการกระจาย ซึ่งเป็นแผนภูมิการกระจายค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ในแต่ละระดับของปัจจัยถ้ารูปร่างของการกระจายของข้อมูลที่ออกมาไม่เป็นลักษณะของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความแปรปรวน (Megaphone) แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน

## 2.9 การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

การทดสอบสมมติฐานเชิงสถิติ เป็นถ้อยแถลงที่เกี่ยวกับความน่าจะเป็นของตัวแปรแบบสุ่มที่มีความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ที่มากกว่าหรือเท่ากับหนึ่งค่าพารามิเตอร์ โดยสมมติฐานแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. สมมติฐานที่กำหนด (Null Hypothesis) เป็นข้อสงสัยหรือข้อสมมุติเกี่ยวกับลักษณะต่างๆ ในประชากรที่ต้องการจะพิสูจน์ว่าจริงหรือไม่ โดยใช้สัญลักษณ์ $H_0$

2. สมมติฐานแย้ง (Alternative Hypothesis) เป็นข้อความหรือความคิดเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่หวังว่าจะเป็นและจะต้องมีความหมายที่แย้งกับสมมติฐานที่กำหนดโดยชัดเจน โดยใช้สัญลักษณ์ $H_1$

โอกาสหรือความน่าจะเป็นที่จะทำการปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด (Reject $H_0$) จะถูกกำหนดโดยระดับนัยสำคัญ ซึ่งเป็นโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่น้อยมากที่ค่าพารามิเตอร์จะตกอยู่ในช่วงของการปฏิเสธสมมติฐานเมื่อสมมติฐานเป็นจริง โดยทั่วไปมักจะทำการเปลี่ยนช่วงของการปฏิเสธสมมติฐานหรือระดับของความมีนัยสำคัญเป็นค่าวิกฤต เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบหรือใช้ในการตัดสินใจว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด

การตัดสินใจที่จะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด อาจเกิดความผิดพลาดได้ 2 กรณี คือ

1. ความผิดพลาดที่เกิดจากการปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด โดยที่สมมติฐานที่กำหนดมีความถูกต้องหรือมีความเป็นจริงเรียกว่า ความผิดพลาดแบบที่ 1 (Type I Error) ซึ่งความผิดพลาดนี้คือ ระดับความมีนัยสำคัญในการตรวจสอบสมมติฐาน

2. ความผิดพลาดที่เกิดจากการยอมรับสมมติฐานที่กำหนดโดยที่สมมติฐานที่กำหนดมีความไม่ถูกต้องหรือไม่มีความจริงเรียกว่าความผิดพลาดแบบที่ 2 (Type II Error) ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.2

***ตารางที่ 2.2*** การตัดสินใจในการทดสอบสมมติฐาน

| สมมติฐานที่กำหนด | สมมติฐานที่กำหนดมีความถูกต้อง | สมมติฐานที่กำหนดไม่มีความถูกต้อง |
|---|---|---|
| ยอมรับ | การตัดสินใจถูกต้อง | ความผิดพลาดแบบที่ 2 |
| ปฏิเสธ | ความผิดพลาดแบบที่ 1 | การตัดสินใจถูกต้อง |

โอกาสหรือความน่าจะเป็นที่เกิดความผิดพลาดแบบที่ 1 และแบบที่ 2 สามารถแสดงได้ดังนี้คือ

$\alpha$ = P (ความผิดพลาดแบบที่ 1)

= P (การปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด: สมมติฐานที่กำหนดถูกต้อง)

$\beta$ = P (ความผิดพลาดแบบที่ 2)

= P (การยอมรับสมมติฐานที่กำหนด: สมมติฐานที่กำหนดไม่ถูกต้อง)

โดย $1-\beta$ = อำนาจของการทดสอบ

= P (การปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด: สมมติฐานที่กำหนดถูกต้อง)

**2.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA)**

ภายหลังจากที่ได้ออกแบบการทดลองและทำการทดลองแล้วงานต่อไปก็คือ การนำข้อมูลที่รวบรวมได้จากการทดลองมาวิเคราะห์เพื่อทดสอบนัยสำคัญทางสถิติหรือหาแนวโน้มต่อไปโดยใช้หลักการของ ANOVA หรือการถดถอย

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นวิธีการคำนวณแบบเลขคณิต โดยการแยกผลรวมกำลังสองทั้งหมด (Total Sum of Square; SST) ออกเป็นส่วนต่างๆ ตามแหล่งกำเนิดหรือสาเหตุ โดยจะวิเคราะห์ว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อการทดลองโดยพิจารณาความแตกต่าง โดยวัดความแตกต่างรวมออกมาในรูปของความแปรปรวนแล้วแตกออกมาเป็นความแตกต่างย่อยทำการเปรียบเทียบความแตกต่างย่อยเหล่านั้น หากความแตกต่างใดมีค่ามากกว่าแสดงว่าปัจจัยนั้นทำให้เกิดความแตกต่างโดยมีผลต่อค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Square; MS) ซึ่งเป็นตัวที่ประมาณค่าความแปรปรวนที่ดีที่สุด ซึ่งกำหนดให้

MS = SS/df

เมื่อ SS คือ ผลรวมกำลังสอง (Sum of Square)

df คือ ขั้นของความอิสระ (Degree of Freedom)

สามารถอธิบายการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแต่ละแบบการทดลองได้ดังนี้

### 2.10.1 การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD)

เราจะแยกความแปรปรวนทั้งหมดออกเป็น 2 ส่วน คือ ความแปรปรวนเนื่องจากการให้ทรีทเมนต์ต่างกันและความแปรปรวนเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการทดลอง โดยที่

ตัวอย่างการสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบที่มีอิทธิพลเป็นค่าคงที่ (Fixed Effect Model) ตัวแบบคือ

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ijk}; \qquad i = 1,2,\ldots,a$$
$$j = 1,2,\ldots,n$$

โดยที่ $Y_{ij}$ คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์

$\mu$ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

$\tau_i$ คือ อิทธิพลที่เกิดจากทรีทเมนต์ i

$\varepsilon_{ijk}$ คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

ในการวิเคราะห์จะทำโดยการแบ่งความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตออกเป็นส่วนๆ โดยจะกำหนดความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตในรูปของผลรวมกำลังสองทั้งหมด (The Total Sum of Squares: SST) โดยที่

$$SST = (\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} Y_{ij}^2) - (Y^2../N)$$

$$SSTr = \sum_{i=1}^{a} Y_i^2/N) - (Y^2../N)$$

$$SSE = SST\text{-}SSTr$$

ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ของผลรวมกำลังสองของแต่ละตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3 โดยที่ถ้าหากค่า $F_0 \leq (F_{(\alpha,V1,V2)})$ แล้วถือว่าปัจจัยนั้นไม่มีผลต่อตัวแปรตาม นั่นคือสามารถยอมรับ Null Hypothesis ได้

***ตารางที่ 2.3*** การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับ One-way ANOVA

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

### 2.10.2 การทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCB)

เราจะแยกความแปรปรวนทั้งหมดออกเป็น 3 ส่วนคือ ความแปรปรวนเนื่องจากการให้ทรีทเมนต์ต่างกันความแปรปรวนเนื่องจากบล็อก และความแปรปรวนเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการทดลอง ตัวอย่างการสร้างการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบที่มีอิทธิพลเป็นค่าคงที่ (Fixed Effect Model)

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

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

โดยที่ $Y_{ij}$ คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์

$\mu$ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

$\tau_i$ คือ อิทธิพลที่เกิดจากทรีทเมนต์ i

$\beta_j$ คือ อิทธิพลอันเกิดจากบล็อกที่ j

$\varepsilon_{ij}$ คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

ในการวิเคราะห์จะทำโดยการแบ่งความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตออกเป็นส่วนๆ โดยจะกำหนดความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตในรูปของผลรวมกำลังสองทั้งหมด (The Total Sum of Squares) SST โดยที่

$$SST = (\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} Y_{ij}^2) - (Y^2../N)$$

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

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

$$SSE = (SST\text{-}SSTr\text{-}SSB)$$

ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ของผลรวมกำลังสองของแต่ละตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.4 โดยที่ถ้าหากค่า $F_0 \leq (F_{(\alpha,V1,V2)})$ แล้วถือว่าปัจจัยนั้นไม่มีผลต่อตัวแปรตาม ดังนั้นเราสามารถยอมรับ Null Hypothesis ได้

***ตารางที่ 2.4*** 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 | | |

**2.10.3 การทดลองแบบแฟกตอเรียล (Factorial Experiment)**

เราแยกความแปรปรวนทั้งหมดออกเป็นความแปรปรวนเนื่องจากปัจจัยต่างๆ ความแปรปรวนเนื่องจากอิทธิพลร่วมและความแปรปรวนเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการทดลอง ตัวอย่างการสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนกรณีที่มีตัวแปร 2 ตัวของตัวแบบที่มีอิทธิพลเป็นค่าคงที่ (Fixed Effect Model)

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

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

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

โดยที่ $Y_{ijk}$ คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์

$\mu$ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

$\tau_i$ คือ อิทธิพลที่เกิดจากทรีทเมนต์ i

$\beta_j$ คือ อิทธิพลอันเกิดจากบล็อกที่ j

$(\tau\beta)_{ij}$ คือ อิทธิพลร่วมของปัจจัย A ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ i และปัจจัยที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ j

$\varepsilon_{ijk}$ คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

ในการวิเคราะห์จะทำโดยการแบ่งความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตออกเป็นส่วนๆ โดยจะกำหนดความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตในรูปของผลรวมกำลังสองทั้งหมด (The Total Sum of Squares) SST โดยที่

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

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

$$\text{SSB} = \left(\sum_{j=1}^{b} Y_{.j.}^2/bn\right) - (Y^2.../abn)$$

ผลรวมกำลังสองของอิทธิพลร่วมกันของปัจจัย 2 ตัว (The Two Factors Interaction Sum of Squares) คือ

$$\text{SST} = \left(\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} Y_{ij.}^2/n\right) - (Y^2.../abn) \text{ -SSA-SSB}$$

$$= \text{SSsubtotals(AB)} - \text{SSA} - \text{SSB}$$

ดังนั้นเมื่อเอาผลรวมกำลังสองของ Main effect แต่ละตัวเลขของ Interaction ไปหักออกจากผลรวมกำลังสองของทั้งหมด ก็จะได้ค่าผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (error) ดังสมการ

$$SSE = SST-SSsubtotal(AB)$$

ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ของผลรวมกำลังสองของแต่ละตัวได้แสดงไว้ในตาราง 2.5 โดยที่ถ้าหากค่า $F_0 \leq (F_{(\alpha,V1,V2)})$ แล้วถือว่าปัจจัยนั้นไม่มีผลสามารถยอมรับ Null Hypothesis ได้

***ตารางที่ 2.5*** การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับการทดลอง Two-Factor Fixed Effect Model

| Source of Variation (SOV) | Sum of Squares (SS) | Degree of Freedom (df) | Mean Squares | $F_0$ |
|---|---|---|---|---|
| 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) | $MS_{AB}$ | $MS_{AB}/MSE$ |
| Error | $SS_E$ | ab(n-1) | $MS_E$ | $MS_E/MSE$ |
| Total | $SS_T$ | abn-1 | | |

## 2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**วัชรศักดิ์ ทวีสุข (2546)**

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อลดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูลงาน โดยการนำเทคนิคการใช้แผนภาพเหตุและผลมาเป็นเครื่องมือเพื่อช่วยพิจารณาระบุปัจจัยที่จะนำไปทำการทดลอง ได้ระดมความคิดของผู้เชี่ยวชาญสามารถเลือกปัจจัยที่มีศักยภาพจำนวน 6 ปัจจัย คือตำแหน่งของกาวโครงสร้าง ตำแหน่งของกาวตัวนำไฟฟ้า ขนาดของกาวโครงสร้าง ขนาดของกาวตัวนำไฟฟ้า ระยะห่างจากปลายท่อนำแสง UV ถึงตัวงาน และ ระยะเวลาในการให้แสง UV และพิจารณาหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่เป็นไปได้จริงในทางปฏิบัติ ใช้แผนการทดลองแบบแฟรกชันนอลแบบครึ่งหนึ่งของวิธีแฟคทอเรียลเพราะข้อจำกัดในเรื่องค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการดำเนินการทดลอง

จากการศึกษาพบว่าตำแหน่งของกาวโครงสร้างควรจะอยู่ที่ระยะห่างเท่ากับ 32 mil ในแนวแกน x และตำแหน่งของกาวตัวนำไฟฟ้าควรจะอยู่ที่ระยะ 36 mil จากรูอ้างอิง ในแนวแกน Y ส่วนปัจจัยอื่นให้ใช้ค่าที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และผลจากการทดลองเพื่อการยืนยันผล ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0481 ส่วนในล้านส่วนของหนึ่งนิ้ว และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0309 ส่วนในล้าน

ส่วนของหนึ่งนิ้ว และสามารถสรุปได้ว่าสามารถลดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัวลงมาอยู่ที่ระดับ 0.033 ส่วนในล้านส่วนของหนึ่งนิ้ว ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

**พรเทพ ลาภธุวะศิริ (2544)**

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อลดของเสียที่เกิดจากการทดสอบค่าสมดุลเกินจากข้อกำหนดและศึกษาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าสมดุลของเพลากลาง โดยการนำเทคนิคการใช้แผนภาพแสดงเหตุและผล จากนั้นเรียงลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย โดยการวิเคราะห์ข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต (Failure Mode and Effect Analysis) แล้วจึงเลือกปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อค่าสมดุลของเพลากลาง 4 ปัจจัยได้ดังนี้ แรงดันไฟฟ้าของเครื่องเชื่อม อัตราการป้อนลวดของเครื่องเชื่อม ค่าความร่วมศูนย์กลางของโยก และค่าทอร์กของการประกอบโยก และได้เลือกระดับของปัจจัยที่ 2 ระดับ โดยใช้ค่าที่ใช้อยู่ในปัจจุบันกับค่าที่หาจากข้อมูลในอดีตซึ่งเป็นค่าที่เป็นไปได้ ใช้การวิเคราะห์ถดถอยในการหาสภาวะที่เหมาะสม หาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ

จากผลการวิเคราะห์ด้วยหลักการทางสถิติวิศวกรรม สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าสมดุลมีค่า 10 กรัม คือแรงดันไฟฟ้าของเครื่องเชื่อมที่ 28.5036 โวลท์ อัตราการป้อนลวดของเครื่องเชื่อมที่ 22.0191 วินาที/รอบ และค่าความร่วมศูนย์ที่ 0.1436 มิลลิเมตร เมื่อสภาวะการผลิตใหม่ที่ได้ไปทดสอบเพื่อยืนยันผล แล้วนำค่าเฉลี่ยความสมดุลของเพลากลางนี้ ไปเปรียบเทียบเชิงสถิติกับพบว่าค่าสมดุลใหม่นี้มีค่าลดลง 14.68 กรัมจากค่าสมดุลของเพลากลางปัจจุบันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

**สรียา กสิกพันธุ์ (2543)**

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มมูลค่าของเศษแผ่นพาร์ทิเคิลที่เหลือจากการใช้ประโยชน์ โดยหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงและความคงขนาดของแผ่นพาร์ทิเคิล และหาเงื่อนไขส่วนผสมที่เหมาะสมในการนำเศษแผ่นพาร์ทิเคิลจากการตัดริมมาเป็นส่วนผสมในการผลิตแผ่นพาร์ทิเคิล โดยอาศัยหลักการออกแบบการทดลอง จากการทดลองศึกษาปัจจัย 4 ปัจจัย คือ ปริมาณเศษแผ่นพาร์ทิเคิล ปริมาณกาวผิว ปริมาณกาวไส้ และปริมาณสารเร่งแข็ง ปัจจัยเหล่านี้ถูกนำไปทดลองเบื้องต้น พบว่า ปริมาณสารเร่งแข็งก่อให้เกิดปัญหาในการผลิต จึงพิจารณาปัจจัยที่เหลือเพียง 3 ปัจจัย และนำปัจจัยเหล่านี้ไปทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ โดยทดสอบคุณสมบัติด้านความแข็งแรงและความคงขนาดของแผ่นพาร์ทิเคิลตามข้อกำหนดของ มอก.876-2532 และศึกษาวิเคราะห์หาปัจจัยและส่วนผสมที่เหมาะสมจากผลการทดลอง แล้วนำไปทดลองผลิตจริง จากการศึกษาโดยอาศัยผลการทดสอบความแข็งแรงและความคงขนาดแผ่นพาร์ทิเคิลตาม มอก.876-2532 สรุปส่วนผสมที่เหมาะสมที่ระดับนัยสำคัญ alpha 0.05 ได้ดังนี้ คือ ปริมาณเศษแผ่นพาร์ทิเคิล 5% ของไม้ทั้งหมด ปริมาณกาวผิว 16% ของเนื้อไม้แห้ง และปริมาณกาวไส้ 9% ของเนื้อไม้แห้ง ซึ่ง

เมื่อนำสภาวะการทดลองที่ได้ไปทดลองผลิตจริงพบว่าได้ผลของค่าความแข็งแรงและความคงขนาดใกล้เคียงกับที่ได้ในการทดลอง

**กฤษดา อัศวรุ่งแสงกุล (2542)**

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อ ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดรอยบิ่นและรอยร้าวในกระบวนการตัดขั้นตอนสุดท้ายของการตัดหัวอ่านเขียนข้อมูลฮาร์ดดิสก์ และหาเงื่อนไขหรือวิธีการปรับปรุงที่เหมาะสม โดยการนำเทคนิคการใช้แผนภาพแสดงเหตุและผล ทำให้สามารถเลือกปัจจัยได้ทั้งหมด 5 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบในการตัด ความลึกของใบมีดในการตัด อัตราการป้อนตัด จำนวนครั้งในการเดินลับมีดและทิศทางในการตัด ได้อาศัยความรู้ ความชำนาญจากผู้เชี่ยวชาญในการผลิตทำการกำหนดระดับของปัจจัยที่ควรจะใช้ในการทดลอง เป็น 2 ระดับโดยพิจารณาถึงช่วงที่เหมาะสมต่อการใช้งานจริง ตัวแปรตอบสนองที่ใช้ คือ จำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวซึ่งเป็นตัวแปรตอบสนองที่มีลักษณะเชิงคุณภาพ โดยจะใช้ผู้ตรวจสอบเป็นผู้ตัดสินใจว่ามีการเกิดรอยบิ่นและรอยร้าวนั้นมีขนาดเกินกว่าข้อกำหนด ก็นับว่าเป็นของเสีย จากนั้นนำผลการทดลองมาวิเคราะห์และนำไปใช้งานต่อไป

**Isaias Ochoa, Savvas G. Hatzikiriakos(2004)**

งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของความหนืดและความเครียดที่ผิวเมื่อใส่สารหล่อลื่นผสมกับเรซินในการผลิตเทฟลอนด้วยวิธี extrusion พบว่าความดันและเวลาในการกดที่ดีที่สุดคือ ความดัน 2 MPa เป็นเวลา 30 วินาที

**Fluon (2000)**

เป็นการแนะนำจากบริษัทผู้ผลิตเรซิน ในการผลิตเทฟลอนด้วยเครื่อง Ram Extrusion กล่าวถึง วัตถุดิบ รายละเอียดเครื่อง Ram Extrusion วิธีการผลิตเทฟลอน รวมถึงแนะนำค่าอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตเทฟลอนดังนี้ อุณหภูมิฮีทเตอร์โซน 1 คือ 350°C อุณหภูมิฮีทเตอร์โซน 2 คือ 400°C อุณหภูมิฮีทเตอร์โซน 3 คือ 400°C อุณหภูมิฮีทเตอร์โซน 4 คือ 280°C ความเร็วของผลิตภัณฑ์คือ 1 เมตรต่อชั่วโมง และกล่าวถึง ของเสีย สาเหตุที่เป็นไปได้ในการเกิดของเสีย