บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การวิเคราะห์ปัจจัยในการทำงานของสิ่งใดสิ่งหนึ่ง จำเป็นจะต้องอาศัยทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้อง นำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาที่จะทำการศึกษา ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีต่างๆที่กล่างถึงการวิเคราะห์และออกแบบการทดลอง ตลอดจนการวิเคราะห์หาจุดบกพร่องในการพ่นสีด้วยหัวพ่นสีแบบระฆัง

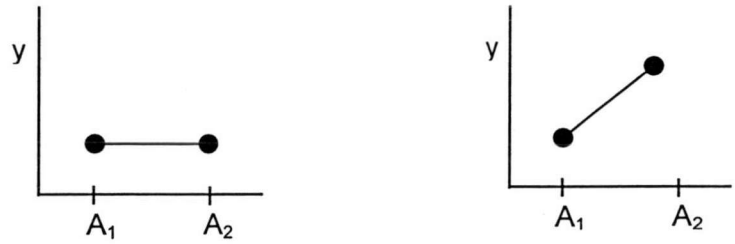
2.1 การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์การทดลองเชิงสถิติ

2.1.1 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

หมายถึง การออกแบบการทดลองเพื่อตรวจสอบดูว่า ปัจจัย (Factor) ใด หรือตัวแปร (Input Variable)ใดที่มีผลต่อสิ่งที่ให้ความสำคัญในผลิตภัณฑ์ที่ออกมา โดยมีจุดมุ่งหมายดังนี้

1. เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) คือ การพิสูจน์ข้อเท็จจริงหรือความเชื่อจากประสบการณ์หรือทฤษฎีบางอย่างที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการผลิต
2. เพื่อค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) คือ การศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขใหม่ที่มีผลต่อกระบวนการ

การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ว่าปัจจัยใดมีผลต่อผลิตภัณฑ์หรือไม่ต้องทำการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยอย่างน้อย 2 ระดับ แล้วทำการทดลอง จากนั้นวิเคราะห์ผลการทดลอง ตัวอย่างเช่น ให้ y คือ ค่าความราบเรียบสี และ A คือ จำนวนร่องรีดสี ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังกราฟตัวอย่าง ดังรูปที่ 2.1



(1) ปัจจัย A ไม่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ (2) ปัจจัย A มีผลต่อผลิตภัณฑ์

รูปที่ 2.1 *แสดงอิทธิพลที่ไม่มีผล และอิทธิพลที่มีผลของปัจจัยต่อผลิตภัณฑ์*

2.1.2 ส่วนประกอบต่างๆ ของการทดลอง

1) ทรีทเมนต์ (Treatment) คือ สิ่งหรือวิธีที่เราปฏิบัติต่อสิ่งทดลอง เพื่อวัดผลเปรียบเทียบตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง

2) หน่วยทดลอง (Experiment Unit) เป็นมาตราหรือหน่วยซึ่งใช้วัดอิทธิพลของทรีทเมนต์ซึ่งโดยคำจำกัดความแล้ว หมายถึง สิ่งหนึ่งหรือกลุ่มหนึ่งของสิ่งทดลอง ซึ่งได้รับจากทรีทเมนต์เดียวกันในการกระทำครั้งใดครั้งหนึ่ง หน่วยทดลองมีขนาดไม่จำกัด อาจผันแปรไปได้จากการทดลองหนึ่งไปสู่อีกการทดลองหนึ่ง แม้ว่าจะใช้สิ่งทดลองเหมือนกันก็ตาม ในการทำการทดลองแต่ละครั้งจึงต้องให้คำจำกัดความของหน่วยทดลองให้ชัดเจน

3) ปัจจัย (Factor) ได้แก่ กลุ่มของทรีทเมนต์ทั้งหลายที่มีความเกี่ยวข้องกันอาจใช้คำว่าตัวแปรอิสระก็ได้ ปัจจัยนั้นอาจเป็นได้ทั้งข้อมูลเชิงคุณภาพ และเชิงปริมาณ ปัจจัยสามารถแบ่งออกได้เป็น

3.1) ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการดำเนินการทดลอง

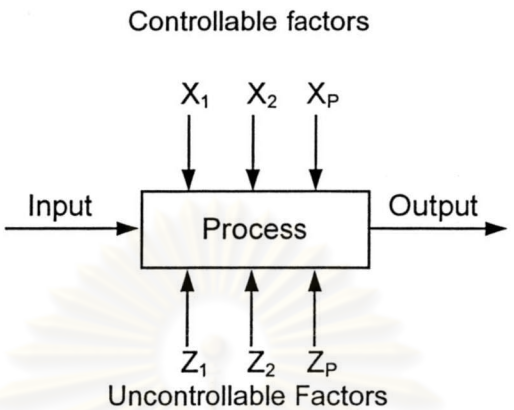
3.2) ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึงปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ อาจจะเนื่องมาจากมีข้อจำกัดทางด้านเทคโนโลยีและต้นทุน ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ แบ่งออกเป็น

3.2.1) ตัวแปรรบกวน (Noise Variable) หรือ Background Variable ซึ่งหมายถึงตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) ในการทดลองแต่ไม่ใช่ปัจจัยที่เรากำลังทำการศึกษา ส่วนใหญ่มักได้แก่ เวลา หรือเครื่องมืออุปกรณ์ เป็นต้น

3.2.2) Nuisance Variable คือ ตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง แต่เราไม่ทราบมาก่อน เราสามารถกำจัดอิทธิพลของ Nuisance Variable ได้โดยการสุ่ม

4) ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) คือ ตัวแปรที่ถูกสังเกตหรือวัดค่าในการทดลอง เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ตัวแปรตาม ซึ่งเป็นตัวแปรที่สะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระนั่นเอง ในการทดลองหนึ่งๆ อาจวัดค่าตัวแปรตามมากกว่า 1 ก็ได้ การเลือกตัวแปรตามที่ดี ควรพิจารณาจากความไว (Sensitivity) ความเชื่อถือได้ (Reliability) การแจกแจง

ของตัวแปรนั้นและความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ นอกจากนี้ ในการเลือกตัวแปรตามจะต้องพิจารณาว่า ค่าสังเกตที่ได้จากทรีทเมนต์หนึ่งๆ ควรมีการแจกแจงแบบการทดลอง ซึ่งอาจจะใช้การแปลงข้อมูล (Transformation) ค่าสังเกตที่มีการแจกแจงไม่ปกติเป็นแบบปกติได้



รูปที่ 2.2 *แสดงปัจจัย และพารามิเตอร์ของกระบวนการ*

2.1.3 ลำดับขั้นการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง

การทดลองต่างๆ จะต้องมีขั้นตอนของการทดลองดังนี้ คือ

1. การนิยามปัญหา (Recognition of and Statement of the Problem) เป็นการระบุว่าความต้องการในการผลิตคืออะไร และต้องการรู้อะไรบ้างในการผลิต ซึ่งการนิยามปัญหานี้ จะเกี่ยวโยงไปถึงวัตถุประสงค์ของการทดลอง

2. การเลือกปัจจัย และระดับของปัจจัย (Choice of Factors, Levels , and Ranges) เป็นการใช้หลักการทางทฤษฎี และประสบการณ์จากงานวิจัยต่างๆ เพื่อระบุว่าปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลอง และในแต่ละปัจจัยนั้น ควรจะมีช่วงในการทดลองอย่างไร สุดท้ายคือ ระบุว่าระดับที่ใช้เป็นแบบกำหนด (Fixed effect) แบบสุ่ม (Random Effect) หรือแบบผสม ซึ่งสามารถอธิบายได้พอเป็นสังเขปดังนี้

2.1 แบบกำหนด (Fixed Effect) หมายถึงระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าได้แน่นอน

2.2 แบบสุ่ม (Random Effect) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าของปัจจัยได้แน่นอน

2.3 แบบผสม (Mixed Effect) หมายถึง การผสมผสานระดับของปัจจัยที่เป็นทั้งแบบกำหนด และแบบสุ่ม

3. การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Selection of the Response Variable) ในการเลือกตัวแปรตอบสนอง ผู้วิจัยจะต้องเลือกตัวแปรที่สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษา และการวัดค่านั้นจะต้องมีความแม่นยำและถูกต้องด้วย

4. การเลือกแบบการทดลอง (Choice of Experimental Design) เมื่อกำหนดทรีทเมนต์และตัวแปรตอบสนองแล้ว ต้องทำการตัดสินใจเกี่ยวกับขนาดของการทดลอง ซึ่งหมายถึงจำนวนซ้ำของการทดลอง ความเหมาะสม ข้อจำกัดในการสุ่ม และการบล๊อกที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ต้องนำมาเกี่ยวโยงกันในด้านความเสี่ยง และต้นทุนที่ใช้ในการทดลองสำหรับการเลือกปัจจัย

5. ดำเนินการทดลอง (Performing the Experiment) ในระหว่างการดำเนินการทดลอง ผู้วิจัยจะต้องศึกษาดูแลอย่างใกล้ชิด ปฏิบัติตามหลักการที่ได้ออกแบบไว้ ข้อควรระวังในขณะทำการทดลอง คือ ความถูกต้องของเครื่องมือวัด และความสม่ำเสมอในการทดลอง เพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ซึ่งจะมีเทคนิคแตกต่างกันไปในแต่ละสาขาวิจัย

6. การวิเคราะห์ข้อมูล (Statistical Analysis of Data) ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้ความรู้ทางด้านสถิติเข้ามาวิเคราะห์และสรุปผล รวมทั้งตัดสินความถูกต้องของข้อมูลที่เกิดขึ้นก่อนที่จะตีความข้อมูลและวิธีการทางสถิติไม่สามารถบอกได้ว่าปัจจัยมีผล (Effect) เท่าใดแน่นอน แต่เป็นเพียงเครื่องมือที่ให้แนวทางในการวิเคราะห์ภายใต้ความเชื่อมั่นเป็นเปอร์เซ็นต์ในการสรุปผล

7. สรุปผลและข้อเสนอแนะ (Conclusions and Recommendations) เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูล แล้วจะต้องสรุปผลการวิเคราะห์ อาจแสดงในรูปกราฟ ตาราง แผนภูมิ ฯลฯ และให้ข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดีขึ้น

2.1.4 หลักในการออกแบบการทดลอง

1. การทำแบบสุ่ม (Randomization) คือ เทคนิคการจัดหน่วยทดลองให้แก่ทรีทเมนต์ หรือ จัดหน่วยทรีทเมนต์ให้แก่หน่วยทดลอง โดยให้แต่ละหน่วยทดลองมีโอกาสที่จะได้รับทรีทเมนต์ใดทรีทเมนต์หนึ่งเท่าๆ กัน

วัตถุประสงค์ของการสุ่มมีดังนี้

ก) เพื่อขจัดอคติหรือความเอนเอียงของผู้ทดลองและเพื่อให้แน่ใจได้ว่าทรีทเมนต์ต่างๆ จะไม่ได้เปรียบและเสียเปรียบกันในเรื่องที่เกี่ยวกับการทดลอง การสุ่มจึงเป็นการประกันว่าจะไม่มีอคติใดๆ เกิดขึ้นในการทดลอง

ข) การวิเคราะห์ และทดสอบทางสถิตินั้นมีข้อกำหนดว่าความคลาดเคลื่อน (Error) จะต้องเกิดขึ้นโดยสุ่มเป็นอิสระต่อกัน การสุ่มจึงเป็นการทำให้ข้อ

มูลเป็นไปตามข้อกำหนดเหล่านี้ ทั้งนี้การสุ่มจะช่วยขจัด หรือเฉลี่ยความผันแปรภายนอกที่ควบคุมไม่ได้ให้เกิดขึ้นกับหน่วยทดลองด้วยโอกาสเท่าๆ กัน

การทำแบบสุ่มยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี คือ

1.1 การทำแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomization)

1.2 การทำแบบสุ่มอย่างง่าย (Simple Randomization)

1.3 การทำแบบสุ่มแบบสมบูรณ์ภายในบล็อก (Complete Randomization within Blocks)

2. การทำซ้ำ (Replication) คือ การที่ทรีทเมนต์หนึ่งกระทำต่อหน่วยทดลองมากกว่า 1 หน่วยทดลอง โดยมีจุดประสงค์ของการทำซ้ำ คือ

2.1 การทำซ้ำทำให้สามารถประมาณค่าความคลาดเคลื่อน ในการทดลองได้ เพื่อนำค่าความผันแปรภายในกลุ่มนี้มาเป็นตัวทดสอบว่าทรีทเมนต์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในทางสถิติหรือไม่

2.2 เพิ่มความเที่ยง (Precision) ของการทดลองโดยการช่วยลดขนาดของค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย ซึ่ง

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

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

2.1.5 การเลือกแบบการทดลอง

1) แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD)

เป็นแผนการทดลองแบบที่ง่ายที่สุด เหมาะสมกับการทดลองที่ไม่สามารถแยกได้ว่า หน่วยทดลองที่นำมาใช้นั้นมีลักษณะแตกต่างกันอย่างไรก่อนทำการทดลอง การวิเคราะห์ความแปร ปรวนสำหรับการทดลองนี้จะแยกสาเหตุของความผันแปรของข้อมูลทั้งหมดว่า เนื่องมาจากอิทธิพลของทรีทเมนต์แต่เพียงอย่างเดียว ไม่มีสาเหตุจากปัจจัยอื่น จึงเรียกข้อมูลนี้ว่า ข้อมูลแจกแจงทางเดียว (One –Way Classification)

ตามแผนการทดลองนี้แสดงว่า เมื่อหน่วยทดลองได้รับทรีทเมนต์ที่ต้องการทดสอบแล้ว ความแตกต่างของข้อมูลที่เก็บได้จากอิทธิพลของทรีทเมนต์ที่แตกต่างกันเท่านั้น ดังนั้น เพื่อให้แผนการทดลองนี้มีประสิทธิภาพสูงสุด หน่วยการทดลองนี้นำมาใช้จึงควรมีลักษณะที่สม่ำเสมอหรือคล้ายคลึงกันมากที่สุด (Homogenous) หรือมีความผันแปรระหว่างหน่วยทดลองที่น้อยที่สุด หลักสำคัญของแผนการทดลองนี้คือ การจัดทรีทเมนต์ให้กับหน่วยทดลองหรือจัดหน่วยทดลองให้แก่ ทรีทเมนต์จะต้องเป็นไปโดยสุ่ม ไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับการสุ่ม

1.1) ข้อดีและข้อเสีย

ข้อดี

1. เป็นแผนการทดลองที่จัดง่าย
2. ให้ค่าองศาความเป็นอิสระของความคลาดเคลื่อน(Degree of Freedom for Error) สูงสุด
3. วิธีการวิเคราะห์ง่ายที่สุดในบรรดาแผนการทดลองทั้งหลาย
4. ในแต่ละทรีทเมนต์ ถึงแม้จะมีจำนวนซ้ำไม่เท่ากัน ก็ไม่ทำให้การวิเคราะห์มีความซับซ้อนแต่อย่างใด

ข้อเสีย

1. มีข้อจำกัดว่าจะใช้ได้อย่างเหมาะสมเมื่อมีจำนวนทรีทเมนต์น้อยๆ หากมีทรีทเมนต์จำนวนมากแล้ว จำเป็นต้องใช้หน่วยทดลองมากขึ้นอาจไม่สามารถกระทำได้
2. ใช้กับหน่วยทดลองที่มีความสม่ำเสมอ
3. ไม่สามารถตรวจสอบอิทธิพลของกิริยาร่วมได้ (Interaction Effect)

1.2) โครงรูปข้อมูล

สมมุติให้ การทดลองมี a ทรีทเมนต์ (หรือ a ระดับ)

n คือจำนวนค่าสังเกตในแต่ละทรีทเมนต์

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	$y_{1.}$	$y_{2.}$	...	$y_{i.}$		y_{an} $y_{..}$ =Grand Total
Sample means	$\bar{y}_{1.}$	$\bar{y}_{2.}$	...	$\bar{y}_{i.}$		$\bar{y}_{a.}$ $y_{..}$ =Grand mean

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวแบบทางสถิติของแผนกการทดลองนี้ คือ

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

โดยที่ Y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์ i

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

2) แผนการทดลองแบบบล๊อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design : RCB)

ในบางการทดลองอาจประสบปัญหาเกี่ยวกับหน่วยทดลองที่ใช้ไม่มีความสม่ำเสมอ ทำให้การใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอดไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากความผันแปรของข้อมูลจะไม่ใช่ผลของทรีทเมนต์เพียงอย่างเดียว แต่ยังมีความผันแปรที่เกิดจากหน่วยทดลองรวมอยู่ด้วย ซึ่งความผันแปร ส่วนหลังนี้จะไปรวมอยู่กับความคลาดเคลื่อนของการทดลอง ทำให้ยอดรวมของผลบวกของกำลังสองของความคลาดเคลื่อนมีค่าสูงขึ้น มีผลต่อการทดสอบทำให้ผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงต้องพยายามแยกผลอันเกิดจากอิทธิพลอื่น ที่ไม่ใช่ทรีทเมนต์ออกจากความแปรปรวนทั้งหมด เพื่อให้แน่ใจว่าผลที่นำมาวิเคราะห์นั้นเป็นอิทธิพลของทรีทเมนต์ (Treatment Effect) แต่เพียงอย่างเดียว

แผนการทดลองแบบสุ่มในบล๊อก เป็นวิธีหนึ่งในหลายๆ วิธีของการจำแนกแบบ 2 ทาง (Two-way Classification) จะใช้เมื่อหน่วยทดลองมีความแตกต่างกัน 2 ลักษณะ คือ ทางแนวนอน (Row) และแนวตั้ง (Column) มีหลักการ คือ พยายามจัดหน่วยทดลองที่มีความคล้ายคลึงกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งจะเรียกว่า บล๊อก ดังนั้นความแปรปรวนระหว่างหน่วยทดลองในบล๊อกเดียวกันจึงมีค่าต่ำ และให้ความแตกต่างระหว่างบล๊อกมีค่าสูง ในแต่ละบล๊อกจะมีครบทุกทรีทเมนต์ การจะให้ทรีทเมนต์ใดแก่หน่วยทดลองใดภายในแต่ละบล๊อกกระทำโดยสุ่ม กรณีนี้จะทำให้เราแยกความแตกต่างระหว่างบล๊อกออกมาจากยอดรวมของผลบวกของกำลังสองได้

2.1) ข้อดีและข้อเสีย

ข้อดี

1. ไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับจำนวนทรีทเมนต์หรือบล๊อก
2. ถ้าหากจำเป็นที่จะต้องมีซ้ำสำหรับทรีทเมนต์ใด ก็อาจเพิ่มหน่วยทดลองเป็นสองหรือมากกว่านั้นในแต่ละบล๊อก

3. กรณีที่ข้อมูลในบล๊อกใด หรือทรีทเมนต์ใดใช้ไม่ได้หรือสูญหายไป สามารถละเว้นได้โดยไม่ก่อให้เกิดความยุ่งยากในการคำนวณวิเคราะห์สำหรับส่วนข้อมูลที่เหลือ

ข้อเสีย

1. ถ้าหน่วยทดลองใน แต่ละบล๊อกมีความผันแปรมาก ความผันแปรที่เกิดขึ้นจากการทดลองย่อมมากตาม กรณีนี้มักเกิดขึ้ถ้าไม่สามารถควบคุมหน่วยทดลองภายในบล๊อกให้สม่ำเสมอตลอดได้

2.2) โครงรูปข้อมูล

สมมติให้การทดลองมี a ทรีทเมนต์ และ b บล๊อก ตามแผนภาพจะเห็นว่ามีค่าสังเกต 1 ค่าต่อ 1 ทรีทเมนต์ในแต่ละบล๊อก

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}

ตัวแบบทางสถิติของแผนการทดลองนี้คือ

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

โดยที่ Y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์ i

β_j คือ อิทธิพลอันเกิดจากบล๊อกที่ j

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Experiment)

เป็นการทดลองที่มุ่งศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยมากกว่าหนึ่งปัจจัยพร้อมๆ กัน โดยให้ความสนใจที่อิทธิพลร่วมของปัจจัยซึ่งเป็นอิทธิพลที่ส่งผลให้กับตัวแปรตอบสนอง

โดยทั่วไปแล้วอาจกล่าวได้ว่าการทดลองแบบแฟคทอเรียล เป็นแผนการทดลองที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการตรวจสอบอิทธิพลของหลายๆ แฟคเตอร์พร้อมกัน คำว่า แฟคทอเรียล หมายถึง การทดลองที่สมบูรณ์ในและครั้ง หรือแต่ละซ้ำของการทดลองนั้น กล่าวคือมีการใช้ระดับของแฟคเตอร์ต่างๆ ร่วมกัน จึงสามารถตรวจสอบอิทธิพลต่างๆ ในการทดลองครั้งหนึ่งๆ 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

รูปที่ 2.3 *แสดงอิทธิพลของปัจจัยร่วมที่ไม่มีผล และมีผล*

การทดลองแบบแฟคทอเรียลนั้น เป็นการประกอบกันของทรีทเมนต์ ไม่ใช่ชนิดของแผนการทดลอง การประกอบกันของทรีทเมนต์นี้อาจใช้ในแผนการทดลองแบบใดๆ ก็ได้ เช่น การทดลองแบบสมบูรณ์ แบบสุ่มบล๊อก หรือจัตุรัสลาตินก็ได้

3.1) ข้อดีและข้อเสีย

ข้อดี

1. เป็นการใช้หน่วยทดลองทั้งหมด เพื่อตรวจสอบอิทธิพลของทรีทเมนต์หลายๆ ทรีทเมนต์พร้อมกันได้ จึงเป็นการประหยัดและเสียเวลาน้อยลงกว่าการทดสอบครั้งละ 1 แฟคเตอร์
2. ทำให้สามารถตรวจสอบอิทธิพลของกิริยาร่วมระหว่างปัจจัยได้ จึงช่วยในการสรุปผลได้กว้างขวางกว่าการทดลองครั้งละ 1 แฟคเตอร์

ข้อเสีย

1. เนื่องจากมี Treatment Combination จึงต้องใช้หน่วยทดลองมากขึ้น จึงอาจมีข้อจำกัดเกี่ยวกับจำนวนหน่วยทดลอง
2. ในกรณีที่มีกิริยาร่วมเกิดขึ้น อาจทำให้การสรุปผลเป็นภาษาที่เข้าใจง่ายได้ยาก
3. ถ้าจำนวนปัจจัยมีมาก ขนาดของการทดลองก็จะใหญ่ขึ้น ซึ่งเป็นการเสียค่าใช้จ่ายสูง และการหาวัตถุทดลองที่มีความสม่ำเสมอจำนวนมากก็เป็นไปได้ยาก

3.2) 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) การทดลองแฟคทอเรียลของปัจจัย 2 ปัจจัยสามารถแสดงได้ดังนี้

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

ตัวแบบทางสถิติของแผนการทดลองนี้ คือ

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

โดยที่ Y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลของปัจจัย A ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ i

β_j คือ อิทธิพลของปัจจัย B ที่เกิดจากทรีทเมนต์ j

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

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลทั่วไปมีรูปแบบ คือ A x B x C .... แฟคทอเรียล เช่น แฟคทอเรียล 3x2x3 รูปแบบของแผนการทดลองแบบแฟคเตอเรียลที่สำคัญ ได้แก่

1. 2^k แฟคทอเรียล ใช้กับการทดลองหลายปัจจัย ที่กำหนดระดับของปัจจัยไว้ 2 ระดับ ในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย

2. 3^k แฟคทอเรียล ใช้กับการทดลองปลายปัจจัย ที่กำหนดระดับของปัจจัยไว้ 3 ระดับ ในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย

2^k แฟคทอเรียลเหมาะสมกับรูปแบบที่ความเป็นเส้นตรง ซึ่งจะทำให้สามารถตีความข้อมูลได้อย่างถูกต้อง แต่ถ้าหากว่าอิทธิพลของปัจจัยต่อตัวแปรตอบสนองมีความเป็นเส้นไม่ดีแล้ว ใช้แบบ 3^k แฟคทอเรียล แทนจะเหมาะสมกว่า

2.1.6 หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล

1) การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R–Square)

เป็นการวิเคราะห์ว่าการออกแบบที่ได้ออกแบบขึ้นมาใช้ในการทดลองที่ความเหมาะสมเพียงใดซึ่งในการทดลองทุกครั้งจะต้องมีความผันแปรที่อธิบายไม่ได้ (Unexplained Variable) หรือความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ การออกแบบการทดลองที่ดี จะต้องทำให้เกิดความผันแปรที่อธิบายไม่ได้น้อยที่สุด

$$\text{สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R – Square)} = \frac{\text{ความผันแปรที่อธิบายได้}}{\text{ความผันแปรทั้งหมด}} \text{x100\%}$$

ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R – Square) ต่ำสามารถแก้ไขได้โดย

1.1) เพิ่มจำนวนซ้ำในการทดลอง

1.2) ตรวจสอบหาปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องแล้วออกแบบการทดลองใหม่

1.3) ถ้าทำการเพิ่มปัจจัยอื่นแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R = Square) ยังต่ำอยู่แสดงว่าผลจากปัจจัยรบกวน (Noise Factor) มีมาก ต้องทำการบล็อก (Blocking) เพื่อลดปัจจัยรบกวน

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 จะมีการกระจายแบบ

นี้ได้ต้องให้ ε มีการกระจายแบบปกติด้วย และต้องเป็นการกระจายที่เป็นอิสระ $\varepsilon_{ij} \sim NID(0,\sigma^2)$

การตรวจสอบ ε_{ij} มี 3 ขั้นตอน คือ

2.1) การตรวจสอบการกระจายว่าเป็นแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) หรือไม่ โดยใช้

- การทดลองแบบไคร์สแควร์ (χ^2-Goodness of Fit Test)
- การทดสอบแบบโคโมโกรอฟ-สเมอร์นอฟ (Kolgomorov-Smirnov Test)
- การทดสอบโดยใช้กระดาษตรวจสอบการแจกแจงปกติ (NOPP)

2.2) การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) โดยใช้แผนภูมิแสดงการกระจาย (Scatter Plot) แล้วดูลักษณะการกระจายของจุดที่แทนข้อมูลบนแผนภูมิ ว่าเป็นรูปแบบอิสระหรือไม่

2.3) การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยใช้แผนภูมิการกระจาย ซึ่งเป็นแผนภูมิการกระจายค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ในแต่ละระดับของของปัจจัย ถ้ารูปร่างของการกระจายของข้อมูลที่ออกมาไม่เป็นลักษณะของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความแปรปรวน (Megaphone) แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน

3) การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

การทดสอบสมมติฐานเชิงสถิติ เป็นถ้อยแถลงที่เกี่ยวกับความน่าจะเป็นของตัวแปรแบบสุ่มที่มีความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ที่มากกว่าหรือเท่ากับหนึ่งค่าพารามิเตอร์ โดยสมมติฐานแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

3.1) สมมติฐานที่กำหนด (Null Hypothesis)เป็นข้อสงสัยหรือข้อสมมติเกี่ยวกับลักษณะต่างๆ ในประชาการที่ต้องการพิสูจน์ว่าจริงหรือไม่ โดยใช้สัญลักษณ์ H_0

3.2) สมมติฐานแย้ง (Alternative Hypothesis) เป็นข้อความหรือความคิดเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่หวังว่าจะเป็นโดยจะต้องมีความหมายที่แย้งกับสมมติฐานที่กำหนดโดยชัดเจน โดยใช้สัญลักษณ์ H_1

โดยโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่จะทำการปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด (Reject H_0) จะถูกกำหนดโดยระดับนัยสำคัญ ซึ่งเป็นโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่น้อยมากที่ค่าพารามิเตอร์จะตกอยู่ในช่วงของการปฏิเสธสมมติฐานเมื่อสมมติฐานเป็นจริง โดยทั่วไปมักจะทำการเปลี่ยนแปลงช่วงของการปฏิเสธสมมติฐานหรือระดับความมีนัยสำคัญเป็นค่าวิกฤติ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบหรือใช้ในการตัดสินใจว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด

การตัดสินใจที่จะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนดอาจเกิดความผิดพลาดได้ 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 ความผิดพลาดที่เกิดจากการปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด โดยที่สมมติฐานที่กำหนดมีความถูกต้อง หรือมีความเป็นจริง เรียก ความผิดพลาดแบบที่ 1 (Type I Error) ซึ่งความผิดพลาดนี้คือ ระดับความมีนัยสำคัญในการตรวจสอบสมมติฐาน

กรณีที่ 2 ความผิดพลาดที่เกิดจากการยอมรับสมมติฐานที่กำหนด โดยที่สมมติฐานที่กำหนดมีความไม่ถูกต้องหรือไม่มีความจริง เรียกว่า ความผิดพลาดแบบที่ 2 (Type II Error) ซึ่งสามารถสรุปได้ดัง ตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 *การตัดสินใจในการทดสอบสมมติฐาน*

สมมติฐานที่กำหนด	สมมติฐานที่กำหนด มีความถูกต้อง	สมมติฐานที่กำหนด ไม่มีความถูกต้อง
ยอมรับ	การตัดสินใจถูกต้อง	ความผิดพลาดแบบที่ 2
ปฏิเสธ	ความผิดพลาดแบบที่ 1	การตัดสินใจที่ถูกต้อง

โอกาสหรือความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดแบบที่ 1 และแบบที่ 2 สามารถแสดงได้ดังนี้

α = P (ความผิดพลาดแบบที่ 1)

= P (การปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด : สมมติฐานที่กำหนดถูกต้อง)

β = P (ความผิดพลาดแบบที่ 2)

= P (การยอมรับสมมติฐานที่กำหนด : สมมติฐานที่กำหนดไม่ถูกต้อง)

โดย $1-\beta$ = อำนาจของการทดสอบ

= P (การปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด:สมมติฐานที่กำหนดถูกต้อง)

2.1.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance ; ANOVA)

ภายหลังจากที่ได้ออกแบบการทดลอง และทำการทดลองแล้ว งานขั้นต่อไปก็คือ การนำข้อมูลที่รวบรวมได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ เพื่อทดสอบนัยสำคัญทางสถิติหรือหาแนวโน้มต่อไปโดยใช้หลักการของ ANOVA หรือการถดถอย

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นวิธีการคำนวณแบบเลขคณิต โดยการแยกผลรวมกำลังสองทั้งหมด (Total Sum of Square ; SST) ออกเป็นส่วนต่างๆ ตามแหล่งกำเนิดหรือสาเหตุ โดยจะวิเคราะห์ว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อการทดลองโดยพิจารณาความแตกต่าง โดยวัดความแตกต่างรวมออกมาในรูปของความแปรปรวนแล้วแตกออกมาเป็นแตกต่างย่อย 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

1) การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD)

เราจะแยกความแปรปรวนทั้งหมดออกเป็น 2 ส่วน คือ ความแปรปรวนเนื่องจากการให้ทรีทเมนต์ต่างกัน และความแปรปรวนเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

ตัวอย่างการสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบที่มีอิทธิพลเป็นค่าคงที่ (Fixed Effect Model)

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

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

โดยที่ Y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุประชากร

τ_i คือ อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์ i

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

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

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

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

$$SSE = SST - SSTr$$

ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ของผลรวมกำลังสองของแต่ละตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.2 โดยที่ถ้าหากค่า $F_0 \leq F_{\alpha,\, \nu_1,\, \nu_2}$ แล้ว ถือว่าปัจจัยนั้นไม่มีผล สามารถยอมรับ Null Hypothesis ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 *การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ 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 /
Error	SSE	N-a	MSE	MSE
Total	SST	N-1		

2) การทดลองแบบบล๊อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design : RCB)

เราจะแยกความแปรปรวนทั้งหมดออกเป็น 3 ส่วน คือ ความแปรปรวนเนื่องจากการให้ทรีทเมนต์ต่างกัน ความแปรปรวนเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

ตัวอย่างการสร้างตารางการวิเคราะหความแปรปรวนแบบที่มีอิทธิพลเป็นค่าคงที่ (Fixed Effect Model)

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

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

โดยที่ Y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์ i

β_j คือ อิทธิพลอันเกิดจากบล๊อกที่ j

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

ในการวิเคราะห์จะทำโดยการแบ่งความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตออกเป็นส่วนๆ โดยจะกำหนดควมผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตในรูปของผลรวมกำลังสองทั้งหมด (The Total Sum of Squares) SST โดยที่

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

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

SSE = SST – SSTr – SSB

ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ของผลรวมกำลังสองของแต่ละตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3 โดยที่ถ้าหากค่า $F_0 \leq F_{\alpha,\ \nu1,\ \nu2}$ แล้ว ถือว่าปัจจัยนั้นไม่มีผล สามารถยอมรับ Null Hypothesis ได้

ตารางที่ 2.3 *การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับการทดลองแบบสุ่มในบล๊อก*

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

3) การทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Experiment)

เราจะแยกความแปรปรวนทั้งหมดออกเป็นความแปรปรวนเนื่องจากการปัจจัยต่างๆ ความแปรปรวนเนื่องจากอิทธิพลร่วม และความแปรปรวนเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

ตัวอย่างการสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนกรณีที่มีตัวแปร 2 ตัว ของตัวแบบที่มีอิทธิพลเป็นค่าคงที่ (Fixed Effect Model)

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

โดย $i = 1,2,\ldots,a$

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

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

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 ที่เกิดจากทรีทเมนต์ j

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

ε_{ijk} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการวิเคราะห์จะทำโดยการแบ่งความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตออกเป็นส่วนๆ โดยจะกำหนดความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตในรูปของผลรวมกำลังสองทั้งหมด (The Total Sum of Squares) SS_T โดยที่

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

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

$$SS_B = \left(\sum_{i=1}^{b} Y^2_{i..}/bn \right) - \left(Y^2_{...}/abn \right)$$

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

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

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

ดังนั้นเมื่อเอาผลรวมกำลังสองของ Main Effect แต่ละตัวและของ Interaction ไปหักออกจากผลรวมกำลังสองของทั้งหมด ก็จะได้ค่าผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Error) ดังสมการ

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

ซึ่งรายละเอียดต่าง ๆ ของผลรวมกำลังสองของแต่ละตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.4 โดยที่ถ้าหาก $F_0 \leq F_{\alpha,\, \nu 1,\, \nu 2}$ แล้ว ถือว่าปัจจัยนั้นไม่มีผล สามารถยอมรับ Null Hypothesis ได้

ตารางที่ 2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ Two – Factor Fixed Effect Model

Source of Variation (SOV)	Sum of Squares (SS)	Degree of Freedom (df)	Mean Squares (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_{AB} /
Error	SSE	ab(n-1)	MSE	MSE
Total	SST	Abn-1		

2.2 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต (Failure Mode and Effect Analysis)

FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) เป็นการศึกษาถึงความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้น เพื่อจะระบุผลของมัน จุดประสงค์หลักของ FMEA คือเพื่อกำหนดแง่มุมของการออกแบบผลิตภัณฑ์ การผลิตหรือการปฏิบัติงาน ซึ่งมีความวิกฤตต่อการเกิดความล้มเหลวในรูปแบบต่างๆ เพื่อที่จะลดความล้มเหลวนั้น

FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) หรือการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบเป็นเทคนิคทางวิศวกรรมตัวหนึ่ง ที่ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการ ศึกษา วิเคราะห์ถึงข้อบกพร่องที่อาจจะเกิดขึ้น หรือเกิดขึ้นแล้ว เพื่อ

1. ระบุไปถึงผลกระทบ และความรุนแรงของข้อบกพร่องเหล่านั้น จะนำไปสู่การบ่งชี้และระบุสาเหตุของข้อบกพร่องเหล่านั้น รวมถึงการพิจารณาอัตราการเกิดขึ้นของสาเหตุนั้นๆ
2. ตรวจสอบการควบคุมในปัจจุบันว่า มีการควบคุมหรือป้องกันไม่ให้สาเหตุที่ถูกระบุมานั้นเกิดขึ้นได้อย่างไร มีประสิทธิภาพในการควบคุม ตรวจสอบ และป้องกันได้ดีเพียงไร
3. จัดลำดับความสำคัญและเร่งด่วนในการแก้ไขปัญหา
4. ทำการแก้ปัญหา (Corrective Action) สำหรับปัญหาและสาเหตุที่วิกฤต
5. รวบรวมแนวทางในการแก้ปัญหาโดยจัดเก็บเป็นลักษณะเอกสาร เพื่อให้สามารถนำมาศึกษาถึงแนวทางการปฏิบัติที่ผ่านมา

จุดประสงค์หลักของ FMEA คือ การลดข้อบกพร่องต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้น หรือเกิดขึ้นในการผลิตหรือการปฏิบัติงาน ซึ่งจำเป็นจะต้องใช้ประสบการณ์ ความสามารถและความเชี่ยวชาญจากแผนกต่างๆ เพื่อที่จะได้มาประชุมร่วมกันเพื่อระบุถึง

1. ข้อบกพร่อง
2. ผลกระทบ และความรุนแรง
3. สาเหตุ และอัตราการเกิด
4. วิธีการควบคุม และประสิทธิภาพในการควบคุม
5. แนวทางแก้ไข

FMEA มีหลายประเภท ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน เช่น

1. Design FMEA เป็นการวิเคราะห์ลักษณะความล้มเหลวและผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากความล้มเหลวนั้นในการใช้งานผลิตภัณฑ์ โดยผู้ออกแบบ (Design) จะต้องคำนึงว่าในการใช้งานจริงนั้น จะเกิดความล้มเหลว (Failure) แบบใดขึ้นบ้าง และจะส่งผลกระทบไปยังชิ้นส่วนอื่นๆ อย่างไร
2. Process FMEA เป็นการวิเคราะห์ลักษณะความล้มเหลวและผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต หรือกระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์

นอกจากนั้น ยังมีประเภทอื่นอีก เช่น Product FMEA หรือ System FMEA เป็นต้น

ขั้นตอนในการวิเคราะห์ FMEA

1. ระบุผลิตภัณฑ์หรือองค์ประกอบของระบบหรือส่วนของกระบวนการ
2. ทำรายการ Mode ของความล้มเหลวแต่ละส่วนนั้น
3. กำหนดผลที่แต่ละ Mode ของความล้มเหลวจะมีต่อส่วนต่างๆ ในข้อ 1.
4. ทำรายการสาเหตุที่เป็นไปได้ของแต่ละ Mode ของความล้มเหลว
5. ให้ประเมิน Mode ของความล้มเหลวนั้นเป็นตัวเลข มีสเกล 1–10 อาจจะใช้ประสบการณ์หรือข้อมูลความเชื่อถืออื่นใด ร่วมกับวิจารณญาณเพื่อกำหนดค่าดังกล่าวให้กับ
   - O : โอกาสในการเกิดความล้มเหลว (1 = low , 10 = high)
   - S : ความร้ายแรงหรือความวิกฤตของความล้มเหลวนั้น (1 = low , 10 = high)
   - D : ความยากลำบากในการค้นพบความเสียหายนั้นก่อนที่จะถึงมือลูกค้า (1 = ง่าย 10 = ยาก)
6. คำนวณผลคูณของ O x C x D ซึ่งจะเรียกค่านี้ว่า RPN (Risk Priority Number) ทำให้การคำนวณทุก mode ของความล้มเหลว ค่า RPN จะแสดงถึงความเร่งด่วนเมื่อเทียบกับ Mode อื่นๆ
7. ให้ระบุการดำเนินการแก้ไข

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เฉลิมพล ลีลาผาติกุล ,(2540)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดและควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการคุณภาพของยางรถยนต์ โดยการใช้การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบในกระบวนการผลิต(Failure Mode and Effect Analysis; FMEA) มาใช้ในการวิเคราะห์และควบคุมกระบวนการผลิตยางรถยนต์ โดยเริ่มจากการศึกษากระบวนการผลิตอย่างละเอียดและหาปัจจัยที่มีผลกระทบทุกขั้นตอนการผลิต นอกจากนี้ยังใช้แผนภาพความสัมพันธ์และแผนภาพต้นไม้ช่วยในการค้นหาปัจจัยต่างๆ เมื่อสามารถค้นหาควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องแล้ว จึงทำการวิเคราะห์และประเมินเพื่อคำนวณค่าดัชนีความเสี่ยงชี้นำ (Risk Priority Number; RPN) เพื่อกำหนดจุดที่มีความจำเป็นในการปรับปรุง

ภายหลังการจากการศึกษาและประเมิน จึงทำการปรับปรุงและแก้ไข โดยจัดทำแผนภูมิการตรวจสอบ จัดทำรายละเอียดและค่ามาตราฐานในการทำงานของเครื่องจักร ทำให้ลด % ของเสียในการผลิตลงอย่างต่อเนื่องจาก 1.009% เหลือ 0.392% ในส่วนของยางเรเดียล และจาก 0.025% เป็น 0.00% ในส่วนของยางรถบรรทุกไบแอส ซึ่งภายหลังการทำการปรับปรุง ได้มีการจัดทำแผนการควบคุม (Control Plan)เพื่อป้องกันการเกิดข้อบกพร่องเกิดซ้ำอีก

พิเชษฐ ศรียวรยาตร ,(2543)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับความโค้งของกระจกรถยนต์ เพื่อสร้างความหลากหลายสำหรับเตา T-91 ซึ่งในการเพิ่มความสามารถในการปรับความโค้ง เพื่อใช้ในการผลิตทดแทนเตาอบ T-51 และ T-81 ซึ่งมีต้นทุนการผลิตที่สูงกว่า โดยขั้นตอนในการศึกษา ขั้นแรกจะเป็นการกำหนดปัจจัยที่ใช้ ได้แก่ อุณหภูมิของกระจก แรงดันลมบน ล่าง และสีของกระจก จากนั้นจึงทำการทดลองปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามที่ได้ออกแบบการทดลอง

ภายหลังการทดลอง พบว่าเมื่อทำการปรับค่าพารามิเตอร์ของค่าแรงดันลมบนและล่างให้อยู่ในช่วง 800-1,200 มม.น้ำ จะทำให้กระจกทดสอบคุณการแตกไม่ผ่านตามมาตรฐาน และยังทำการวิเคราะห์ต้นทุนเปรียบเทียบระหว่างเตา T-91 กับ T-81 พบว่าสามารถลดต้นทุนการผลิตเป็นจำนวน 615,896 บาท

สุรพล สุรบรรเจิดพร ,(2542)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเชื่อมดีบุก-ตะกั่วบนแผ่นลายวงจรพิมพ์ด้วยเครื่องเชื่อมอัตโนมัติ และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมจากการทดลองเพื่อลดจุดบกพร่องของรอยเชื่อม และพัฒนากระบวนการให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยการทดลองนี้ใช้หลักการของการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองเพื่อศึกษาปัจจัย 4 ปัจจัย ได้แก่

ความเร็วสายพาน อุณหภูมิการอบความร้อน ค่าถ่วงจำเพาะของฟลักซ์ และลักษณะการไหลของโลหะผสมโซลเดอร์ โดยมุ่งเน้นที่การตรวจสอบลักษณะจุดบกพร่องของรอยเชื่อมประเภท Excessive Solder Insufficient Solder และ Bridging

ภายหลังการศึกษาพบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนจุดบกพร่องคือ ลักษณะการไหลของโลหะผสมโซลเดอร์และความเร็วของสายพาน ส่วนปัจจัยทางด้านอุณหภูมิในส่วนของการอบความร้อนและค่าความถ่วงจำเพาะของฟลักซ์มีอิทธิพลค่อนข้างน้อย ซึ่งภายหลังการศึกษาได้ทำการปรับลักษณะการไหลของโลหะผสมโซลเดอร์ให้มีการเคลื่อนที่ทั้ง 2 ด้าน และกำหนดความเร็วของสายพานที่ 108 ซม./นาที จะสามารถลดจำนวนจุดบกพร่องได้

ทรงพล พิเชษฐวัฒนา ,(2542)

งานวิจัยฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแรงดึงระหว่าง Slider และ Flexure ของหัวอ่านเขียนข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ และเสนอเงื่อนไขที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มคุณภาพของแรงดึงของหัวอ่านเขียนข้อมูล การศึกษาเริ่มจากการอาศัยความรู้ความชำนาญจากเอกสารจำนวนมากที่เกี่ยวข้องเพื่อระบุปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อแรงดึง โดยอาศัยแผนภาพแสดงเหตุและผลในการวิเคราะห์ ซึ่งได้แก่ อัตราส่วนผสมของสารยึดเหนี่ยว อุณหภูมิการอบ เวลาในการอบ และชนิดของน้ำหนักกด เมื่อได้กำหนดปัจจัยที่เกี่ยวข้องแล้วจึงทำการทดลอง พบว่ามีปัจจัยเพียง 3 ชนิดที่มีผลต่อแรงดึง คือ อัตราส่วนของสารยึดเหนี่ยว อุณหภูมิการอบ และเวลาในการอบ จากนั้นจึงทำการทดลองอีกครั้งโดยเพิ่มจำนวนของการทำซ้ำ(Replication) ของแต่ละปัจจัย เพื่อหาสภาวะการทำงานที่เหมาสมที่สุดโดยที่ไม่ขัดต่อเงื่อนไขทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับหัวอ่านเขียน

ผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้หัวอ่านเขียนมีค่าแรงดึงที่สูงสุดคือ อัตราส่วนผสม 4:1 อุณหภูมิการอบที่ 300 องศาฟาเรนไฮต์ และเวลาในการอบ 16 นาที

สุวิทย์ บุญชูจรัส ,(2539)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการวิจัยการพัฒนาระบบควบคุมคุณภาพที่เหมาะสมสำหรับการพ่นสีตัวถังรถยนต์ วัตถุประสงค์ของการศึกษาในครั้งนี้ เพื่อพัฒนาระบบควบคุมคุณภาพที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการทำสีตัวถังรถยนต์ จากการทำการวิจัยนี้พบปัญหา การขาดการวางแผนการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพที่ดี

การวิจัยครั้งนี้ จึงเสนอวิธีการปรับปรุงพัฒนาระบบควบคุมคุณภาพ ที่มีทั้งสิ้น 3 ขั้นตอน ได้แก่ทำการพัฒนาตรวจสอบวัสดุนำเข้า ได้มีการจัดทำระบบการตรวจสอบวัสดุก่อนนำเข้าใช้งาน โดยวัสดุที่กล่าวถึง คือ สี ซึ่งจากการตรวจสอบพบว่าสีที่ไม่ได้คุณภาพได้เข้าสู่กระบวนการผลิตคิดเป็น 26.2 %ของทั้งหมด ขั้นที่ 2 คือการพัฒนาการตรวจสอบและควบคุมในกระบวนการผลิต ได้แก่ การลำดับหัวข้อการควบคุมในแต่ละกระบวนการย่อย การจัดแบ่งหน้าที่การทำงาน มาตรฐานการควบคุม วิธีการใช้ การติดตามบันทึกผล และขั้นสุดท้าย คือ

การพัฒนาการตรวจสอบคุณภาพผลผลิต คือพัฒนาการตรวจสอบคุณภาพผลผลิตในแต่ละกระบวนการย่อย โดยจัดทำแผนการตรวจสอบ วิธีการตรวจสอบ การบันทึกผล

ประภาส รติสิน , (2539)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการวิจัยการศึกษาพื้นที่ซ่อมแซมบกพร่องในกระบวนการพ่นสีของอุตสาหกรรมรถยนต์ เพื่อศึกษาพฤติกรรมและปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการกำหนดสถานีบริการในพื้นที่ซ่อมแซมบกพร่อง โดยใช้เทคนิคการจำลองแบบปัญหาด้วยโปรแกรม Microsoft Fox-Pro

การวิจัยในครั้งนี้ มีขอบเขตและสมมติฐานของการวิจัย คือ ศึกษาเฉพาะสถานีบริการซ่อมแซมสีที่บกพร่องจากการผลิต โดยการจำลองแบบปัญหาพบว่ามีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 2 ปัจจัย ได้แก่ อัตราการรับการซ่อมแซมสี และเวลาที่ใช้ในการซ่อมแซมสี จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ความไวโดยการแปรค่า และกำหนดจำนวนสถานีการทำงานระหว่าง 3-5 สถานี จากการศึกษาพบว่า จำนวนสถานีบริการจำนวน 5 สถานี จะได้เวลารอคอยน้อยที่สุด

สุวิทย์ กล่ำเพ็ง , (2543)

วิทยานิพนธ์ ฉบับนี้ เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีต่อคุณภาพในการพ่นสีรถยนต์ โดยทำการศึกษาถึงปัญหาที่มีมากที่สุดของโรงงานตัวอย่าง คือการเกิดปัญหาฝุ่นผง สิ่งสกปรกในสี และการเกิดปัญหาร่อยด่างของสีมาทำการแก้ไข โดยขอบเขตของการวิจัยในครั้งนี้จะศึกษาเฉพาะระบบพ่นสีในอุตสาหกรรมรถยนต์เท่านั้น และเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบหาสาเหตุของปัญหา การแก้ไขปัญหา ได้แก่การใช้ การระดมสมอง เทคนิคของการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ(SQC) และการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ

ภายหลังทำการแก้ไขสามารถทำให้ของเสียในกระบวนการลดลงอย่างต่อเนื่องโดยสามารถลดปัญหาเปอร์เซ็นต์ NG ของการผลิตจาก 3.30 % ลงเหลือ 1.53 % ในเดือนสุดท้ายของการประเมินผล และยึดเป็นแนวทางในการควบคุมการปฏิบัติในการพ่นสีอย่างต่อเนื่อง

ข้อแตกต่างระหว่างการวิจัยฉบับนี้กับการวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับปรุงหัวพ่นสีแบบระฆัง คือ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษาปัญหาคุณภาพของโรงงานพ่นสีรถยนต์โดยเน้นที่การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาคุณภาพของฟิล์มสีจากการพ่นสีโดยรวม ได้แก่ ปัญหาเม็ดฝุ่นผงและสิ่งสกปรกในการพ่นสี ปัญหาสีไหล ปัญหาการเตรียมสีก่อนทำการพ่น การทำความสะอาดอุปกรณ์ในการพ่นสี ไม่ได้เน้นที่ปัญหาอย่างใดอย่างหนึ่ง และดำเนินการในการการแก้ปัญหาเพื่อลดปัญหาคุณภาพของฟิล์มสี การวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับปรุงหัวพ่นสีแบบระฆัง จะทำการศึกษาวิจัย ปัจจัยของการพ่นสีด้วยปืนพ่นสีอัตโนมัติที่ใช้อุปกรณ์หัวพ่นสีแบบระฆัง เพื่อทำการปรับปรุงการซ่อมให้สามารถใช้งานได้โดยไม่เกิดปัญหาด้านคุณภาพของฟิล์มสี

2.4 สรุป

จากทฤษฎีที่ที่ได้กล่าวมาทั้งหมด เป็นการกล่าวถึงขั้นตอนและกระบวนการในการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ ที่ผู้วิจัยจะต้องทำการศึกษาก่อนจะเริ่มทำการวิจัย โดยจุดสำคัญที่ต้องพิจารณา คือ

1. ลักษณะการออกแบบการทดลอง
2. ส่วนประกอบต่างๆ ของการทดลอง
3. ลำดับขั้นตอนต่างๆ ในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง
4. หลักในการออกแบบการทดลองที่ต้องพิจารณา
5. การเลือกรูปแบบการทดลอง
6. หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล
7. การวิเคราะห์ความแปรปรวนในการทดลอง

สิ่งต่างๆ เหล่านี้จำเป็นต่อการทดลองทางวิศวกรรมเพื่อให้ได้ผลการทดลองและข้อสรุปที่ถูกต้องแม่นยำ โดยการประยุกต์ใช้กับการทดลองนั้น จะต้องพิจารณาร่วมกับความเหมาะสม งบประมาณ และความเป็นไปได้ในการทดลองด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย