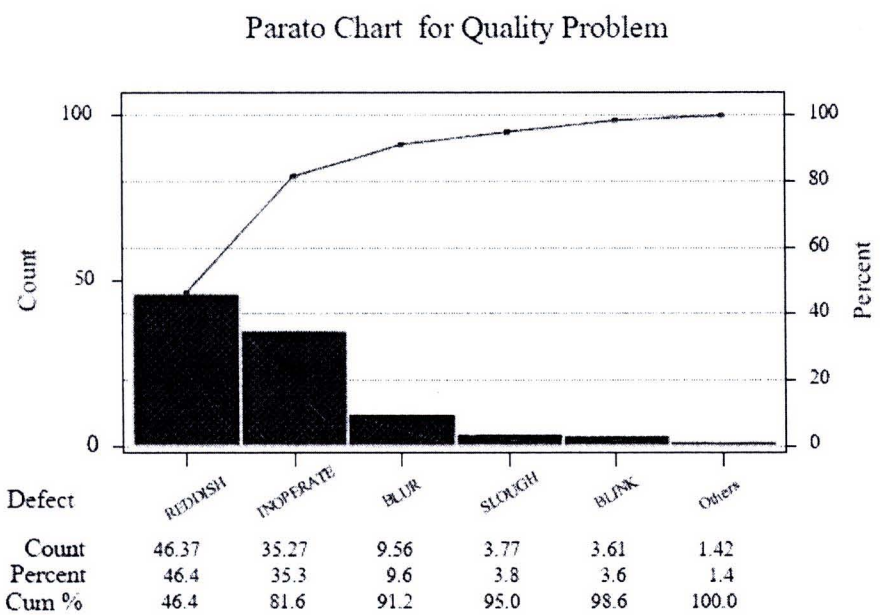
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แผนภาพพาเรโต

แผนภาพพาเรโต คือ ผังหรือแผนภูมิ หรือกราฟแท่งที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า หรือขนาดหรือความถี่ในการตรวจพบปัญหา หรือหน่วยวัด หรือลักษณะจำเพาะควบคุมใด ๆ ที่มีการจำแนกประเภทออกจากกัน และเขียนต่อกันโดยเรียงลำดับตามความสำคัญ ซึ่งเป็นเครื่องมือทางสถิติอีกตัวหนึ่งที่ใช้เพื่อแสดงให้เห็นถึงรายการ/จำนวน ประเภท หรือชนิดต่างๆ ของเหตุการณ์ หรือสถานการณ์อันพึงประสงค์ต่างๆ พร้อมกับระบุขนาดของความสำคัญของแต่ละปัจจัยที่นำเสนอนั้น โดยแผนภาพดังกล่าวจะอาศัยหลักการพาเรโตที่ระบุไว้ถึง "สิ่งที่มีความสำคัญมากจำนวนเล็กน้อย (The Vital Few) และสิ่งที่มีความสำคัญเพียงเล็กน้อยจำนวนมากมาย (The Trivial Many)" แสดงดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แผนภาพพาเรโต

การสร้างแผนภาพพาเรโต มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. บ่งชี้ลักษณะสมบัติของกระบวนการที่จะใช้ในการสร้างแผนภาพ ซึ่งขึ้นอยู่กับธรรมชาติของปัญหาที่ต้องการตัดสินใจ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 21 ส.ค. 2555
เลขทะเบียน 248279
หมายเรียกหนังสือ

2. กำหนดช่วงเวลาที่จะใช้เก็บรวบรวมข้อมูล และกำหนดช่วงเวลาควรเป็นไปหลังจากศึกษาธรรมชาติของปัญหาอย่างดีแล้ว เนื่องจากในการเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการแก้ไขปัญหาด้วยแผนภาพพาเรโตนั้น มีความจำเป็นจะต้องทำการเปรียบเทียบภายใต้ช่วงเวลาที่เท่ากัน

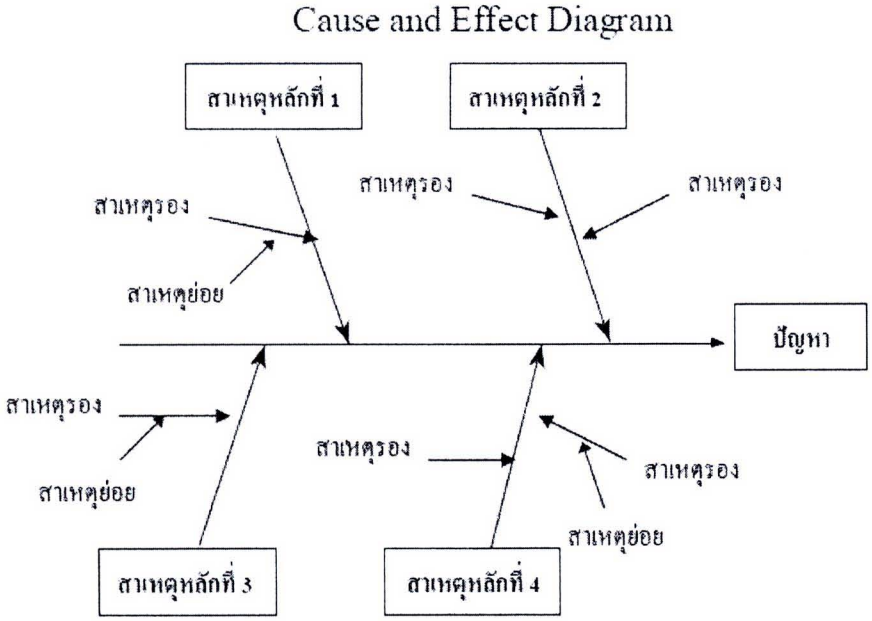
3. ทำการกำหนดสเกล x และ y สำหรับการเขียนกราฟ โดยปกติแล้วสเกลของ y หมายถึง ผล อันได้แก่ ค่าที่ใช้วัดปัญหา สำหรับสเกล x หมายถึง การจำแนกสาเหตุหรือผล

4. ทำการลากกราฟแท่งและกราฟสะสม โดยต้องให้แท่ง "อื่นๆ" อยู่ท้ายสุด มีข้อแนะนำว่าการเขียนแผนภาพพาเรโต ควรให้มีกราฟแท่งที่ใช้จำแนกประเภทประมาณ 6-10 แท่งเท่านั้น และแท่ง "อื่นๆ" ควรมีความสำคัญไม่เกิน 20% ของทั้งหมด

5. ทำการประยุกต์หลักการของพาเรโตกับแผนภาพดังกล่าว หากพบว่ากราฟดังกล่าวมิได้เป็นไปตามหลักการพาเรโต มีความจำเป็นต้องทำการทบทวนด้วยการเก็บข้อมูลใหม่ และพิจารณาตามขั้นตอนที่กล่าวมาแล้วอีกครั้ง (เปมิกา สุวรรณมณี, 2548)

2.2 ผังแสดงเหตุและผลหรืออิชิกาว่าไดอะแกรม

ผังแสดงเหตุและผล คือ ผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางคุณภาพกับปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งผังแสดงเหตุและผลเป็นแผนภาพที่มีประโยชน์อย่างมากในการนำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลสำหรับปัญหาที่พิจารณา ได้รับการพัฒนาครั้งแรกโดยศาสตราจารย์คาโอรุ อิชิกาว่า (Kaoru Ishikawa) จากแนวคิดเกี่ยวกับกระบวนการของชิวฮาร์ท (Shewhart) ว่า กระบวนการสามารถแยกเป็นสาเหตุหลักๆ ได้ 4 ประการ คือ คน เครื่องจักร วิธีการ และวัตถุดิบ ผังนี้จะแสดงความคิดที่เกี่ยวข้องต่างๆ ที่รวบรวมมา เนื่องจากผังนี้มีลักษณะโครงสร้างคล้ายก้างปลา อาจเรียกว่า ผังก้างปลา (นอกจากนี้ยังมีชื่อเรียกอื่นๆ อีก เช่น ผังรากไม้ (Tree-root Diagram), ผังต้นไม้ (Tree diagram), หรือผังลำน้ำ (River Diagram) ตลอดจนผังอิชิกาว่า ไดอะแกรม (Ishikawa Diagram) เพื่อเป็นเกียรติแก่ Kaoru Ishikawa ผู้นำเอาผังชนิดนี้มาใช้) ผังนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนโครงกระดูกที่เป็นตัวปลา ซึ่งได้รวบรวมปัจจัยอันเป็นสาเหตุของปัญหา และส่วนหัวปลาที่เป็นข้อสรุปของสาเหตุที่กลายเป็นตัวปัญหา นอกจากจะสามารถใช้ได้ทั้งการนำเสนอข้อมูลในรูปความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลแล้ว ยังสามารถใช้กับกิจกรรมการแก้ปัญหาแบบกลุ่มในการจัดลำดับและความสัมพันธ์ของสาเหตุปัญหา ในรูปของสมมติฐานของสาเหตุที่ได้มาจากการระดมสมอง แสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แผนภาพเหตุและผล

ในการสร้างผังเหตุและผล มีวิธีการดังนี้

1. เลือกคุณลักษณะที่เป็นปัญหามา 1 อย่าง เขียนทางกรอบขวามือ
2. เขียนสาเหตุหลักเติมลงบนเส้นกระดูกทั้งด้านบนและด้านล่าง
3. เขียนสาเหตุรองของแต่ละสาเหตุหลัก
4. เขียนสาเหตุย่อยของสาเหตุรองนั้น

การสร้างแผนภูมิก้างปลามักจะสร้างหลังแผนภูมิพาเรโต คือ เมื่อวิเคราะห์จากแผนภูมิพาเรโต แล้วว่าจะเลือกแก้ไขข้อบกพร่องใด จะนำข้อบกพร่องที่เลือกแก้ไขมาเป็นปัญหาในแผนภูมิก้างปลา แล้วระดมความคิดจากบุคคลหลายๆ คนที่เกี่ยวข้อง เพื่อแยกแยะสาเหตุหลักและสาเหตุย่อยที่ทำให้เกิดปัญหา เพื่อให้สามารถแก้ปัญหาได้ตรงจุดและมีประสิทธิภาพมากที่สุด ประโยชน์อีกประการหนึ่งของแผนภูมิก้างปลา คือ นอกจากจะใช้ในการแยกแยะสาเหตุต่างๆ ในปัญหาของผลิตภัณฑ์หรือการให้บริการแล้ว ยังใช้ในการแยกแยะสาเหตุต่างๆ ของปัญหาทั่วๆ ไปได้อีกด้วย (เปมิกา สุวรรณมณี, 2548)

2.3 วิธีพื้นผิวผลตอบ

วิธีพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Method, RSM) เป็นวิธีที่สร้างสมการของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (ระดับของปัจจัย, level of factor) กับตัวแปรผลตอบ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (regression) เพื่อหาค่าความเหมาะสม (optimal settings) ของระดับในแต่ละปัจจัยที่สนใจ ซึ่งวิธีพื้นผิวผลตอบเป็นเทคนิคที่ใช้ความรู้ด้านคณิตศาสตร์และสถิติมาทำ

การสร้างรูปแบบคณิตศาสตร์และทำการวิเคราะห์ เพื่อหาจุดที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลตอบ ซึ่งได้เป็นฟังก์ชันของตัวแปรตามสมการ

$$y = f(x_1, x_2, \ldots, x_n) + \varepsilon$$

โดยที่ ε เป็นค่าผิดพลาดที่ได้จากการทดลอง ค่าคาดหวังของผลตอบถูกแสดงด้วย

$$E(y) = \hat{y} = f(x_1, x_2, \ldots, x_n) + \varepsilon$$

เนื่องจากสมมติฐานที่ว่า $\varepsilon \sim NID(0, \delta^2)$ ผลตอบจะถูกแสดงด้วย

$$\hat{y} = f(x_1, x_2, \ldots, x_n)$$

ซึ่งเรียกว่า พื้นผิวผลตอบ (response surface) (Montgomery,1984)

โดยทั่วไปแล้ว รูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบ (response) และตัวแปรอิสระ (independent variables) มีรูปแบบที่ไม่สามารถล่วงรู้มาก่อน ดังนั้น ขั้นตอนแรกของการวิเคราะห์ต้องหาฟังก์ชันที่เหมาะสม ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะใช้ฟังก์ชันที่เป็นเส้นตรง (first-order model) ดังสมการข้างล่าง

$$\hat{y} = \beta_0 + \sum_{j=1}^{k} \beta_j x_{ij} + \varepsilon_i, \quad i=1,2,\ldots,n$$

โดยที่ $\hat{y}$ คือ ผลตอบที่ได้จากการสังเกตในแต่ละการทดลอง

x_{ij} คือ ค่าสังเกตตัวที่ ith หรือระดับของตัวแปร x_j โดยมีค่าพารามิเตอร์β เป็นสัมประสิทธิ์ในแต่ละเทอมของแต่ละตัวแปรซึ่งมี k ตัวแปร

ε_i, คือ ส่วนค่าคลาดเคลื่อนซึ่งมีสมบัติ $E(\varepsilon) = 0$ และ $Var(\varepsilon) = \delta^2$

ถ้าความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบและตัวแปรมีรูปแบบที่ไม่เป็นเส้นตรง จะใช้ฟังก์ชันที่เป็นเส้นโค้ง (second-order model) (Raviraj Shetty และคณะ, 2008) ดังสมการ

$$\hat{y} = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i<j} \sum_{i<j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

2.4 วิธีการของทากูชิ

2.4.1 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง คือ การกำหนดเงื่อนไขสำหรับการทดลองที่จะทำให้สามารถตีความหมายถึงสาเหตุและผลที่ต้องตัดสินใจได้ โดยพิจารณาความแตกต่างของข้อมูลจากสาเหตุที่สามารถควบคุมได้ ซึ่งจุดประสงค์สำคัญของการทดลอง คือ การยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) และการค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) ซึ่งการทดลองกระทำได้ 2 วิธี คือ

1. การทดลองปฏิบัติงานจริง (Physical Experiment)

2. การทดลองด้วยการจำลองผล (Simulation)

ตารางที่ 2.1 พัฒนาการของการออกแบบการทดลอง

แบบเก่า	แบบใหม่
1. ปรับทีละตัวแปรต่อครั้ง 2. ทำทุกตัวแปรที่เป็นไปได้ในการปรับ 3. เลือกเอาเฉพาะการทดลองโดยการเดา	1. ปรับทุกตัวแปรทั้งหมด (Full Factorials) 2. ทำเพียงบางส่วน (Factional Factorials) 3. เลือกการทดลองโดยมีหลักการ (Screening Design)

จุดประสงค์สำคัญของการทดลองมี 2 ประการ คือ เป็นการยืนยันข้อเท็จจริง เป็นการพิสูจน์ถึงข้อเท็จจริง หรือความเชื่อจากประสบการณ์ หรือทฤษฎีบางอย่างที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการผลิตและเป็นการค้นหาข้อเท็จจริง เป็นการศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขใหม่ที่มีต่อระบบการผลิต

หลักการสำคัญ 3 ประการของการออกแบบการทดลอง

1. หลักการสุ่ม (Randomization) เป็นหลักการที่ให้ข้อมูลแต่ละตัวมีโอกาสถูกเก็บเท่า ๆ กัน เพื่อกระจายผลกระทบที่เกิดจากอิทธิพลแทรกซ้อน ให้กับทุกระดับที่ศึกษาให้เท่า ๆ กัน

2. หลักการซ้ำ (Replication) เป็นการทำการทดลองซ้ำในแต่ละข้อมูล เพื่อวัตถุประสงค์ในการกำจัดออกซึ่งอิทธิพลแทรกซ้อนต่าง ๆ ที่มีในข้อมูล

3. หลักการบล็อค (Blocking) เป็นการจัดกลุ่มทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วง เพื่อวัตถุประสงค์ในการลดอิทธิพลแทรกซ้อนออกไปเพื่อสร้างความแม่ยำในข้อมูลยิ่งขึ้น

หลักสำคัญสำหรับพิจารณาการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง สามารถแยกเป็นหัวข้อได้ดังนี้

1. การกำหนดปัญหา

1.1 การรับรู้ถึงปัญหา

1.2 การกำหนดตัวแปรตอบสนอง

1.3 การกำหนดปัจจัยที่จะให้แปรเปลี่ยนค่า

1.4 การกำหนดระดับของปัจจัย (ทรีทเมนต์)

1.4.1 ระดับเชิงคุณภาพ / ระดับเชิงปริมาณ

1.4.2 กำหนดแบบสุ่ม / กำหนดแบบคงที่ / กำหนดแบบผสม

1.5 สรุปผลเกี่ยวกับระดับปัจจัยต่าง ๆ ที่นำมารวมกัน

2. การออกแบบการทดลอง

2.1 ขนาดตัวอย่างที่ต้องการ

2.2 การเรียงลำดับของการทดลอง

2.3 วิธีการสุ่มตัวอย่างที่ใช้

2.4 รูปแบบ และสมมติฐานที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ

3. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 วิธีการประมวลผลจากข้อมูล

3.2 การคำนวณค่าทางสถิติที่ใช้สำหรับการทดสอบ

3.3 การตีความหมายผลที่ได้จากการทดลองเพื่ออธิบายลักษณะกระบวนการผลิต

3.4 การสรุปผลและกำหนดข้อเสนอแนะ

ลำดับขั้นการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง

ขั้นตอนที่ 1 การรับรู้และนิยามถึงปัญหาที่สนใจ เป็นการกำหนดถึงสิ่งที่ผู้ทดลองอยากทราบและกำหนดว่าจะต้องการอะไร โดยผู้ทดลองจะต้องศึกษาสิ่งที่เกี่ยวข้องอย่างรอบคอบ

ขั้นตอนที่ 2 การกำหนดตัวแปรอิสระ หรือระดับของปัจจัย (ทรีทเมนต์) แบ่งได้ดังนี้

2.1 การกำหนดปัจจัย

2.1.1 ปัจจัยเดี่ยว

2.1.2 2 ปัจจัย

2.1.3 3 ปัจจัย ฯลฯ

2.2 การกำหนดทรีทเมนต์

2.2.1 แบบสุ่ม

2.2.2 แบบคงที่

2.2.3 แบบผสม

ขั้นตอนที่ 3 การกำหนดตัวแปรตอบสนอง โดยต้องพิจารณาถึงความสามารถในการวัดได้และความถูกต้องกับความแม่นยำ

ขั้นตอนที่ 4 เลือกแบบการทดลองที่เหมาะสม ต้องให้ความสนใจถึงความมีประสิทธิภาพทางสถิติ (ความเสี่ยงในการตัดสินใจ) และความมีประสิทธิภาพทางเศรษฐศาสตร์ (ค่าใช้จ่ายในการทดลอง)

ขั้นตอนที่ 5 ดำเนินการทำการทดลอง ต้องให้ความสนใจถึงความสุ่ม ความถูกต้องในการวัด และความสม่ำเสมอในการทดลอง (กระบวนการอยู่ในการควบคุม)

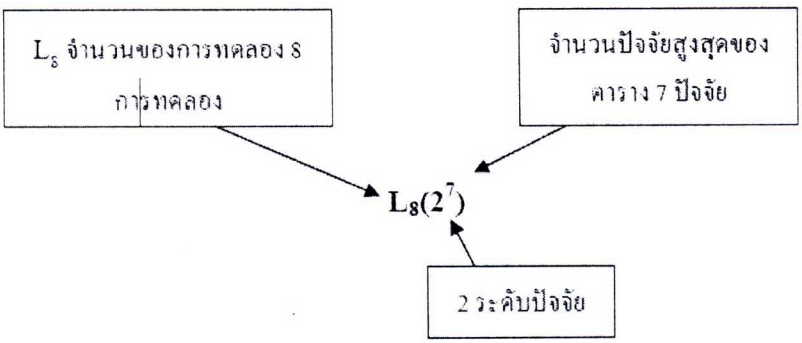
ขั้นตอนที่ 6 การวิเคราะห์ข้อมูล โดยทฤษฎีการอนุมานทางสถิติ

ขั้นตอนที่ 7 การสรุปผลและให้ข้อเสนอแนะ

การออกแบบการทดลองในอุตสาหกรรมปัจจุบัน จำเป็นต้องใช้การออกแบบทดลองที่มีการทดลองน้อย เพื่อประหยัดต้นทุนและเวลา รวมไปถึงข้อจำกัดอื่น ๆ เช่น ผลต่อสิ่งแวดล้อม การทดลองแบบต้องทำลายไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ หรือมีต้นทุนต่อการทดลองสูง ดังนั้นเพื่อเป็นการลดปัญหาต่าง ๆ โดยทั่วไปจึงนิยมใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองของทากูชิ ที่ใช้ตารางการทดลองออทอกอนอล อะเรย์ ในการลดจำนวนครั้งของการทดลอง

2.4.2 **ออทอกอนอล อะเรย์** (Orthogonal Array)

ออทอกอนอล อะเรย์ เป็นตารางมาตรฐานที่ใช้ในการลดจำนวนการทดลอง ซึ่งคิดค้นโดยศาสตราจารย์ ฟิสเชอร์ (R.A. Fisher) การนำออทอกอนอล อะเรย์ มาตรฐานไปใช้งานขึ้นอยู่กับระดับปัจจัย และจำนวนปัจจัยในการทดลอง ซึ่งจะได้จำนวนการทดลองตามมาตรฐานของออทอกอนอลอะเรย์ นั้น ใช้สัญลักษณ์ แอล (L) ตามด้วยตัวอักษรซึ่งบ่งบอกจำนวนการทดลอง ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แสดงสัญลักษณ์ของตารางออทอกอนอลอะเรย์

การใช้ตารางออทอกอนอล อะเรย์ มีข้อดีคือ ทำให้สามารถลดการทดลองให้น้อยลง และเป็นผลให้ลดเวลาและต้นทุนในการทดลองได้อย่างมาก เช่น

จำนวนปัจจัย	ระดับปัจจัย	การทดลองปกติใช้	การทดลองของทากูชิ
7 ปัจจัย	2	128 การทดลอง	8 การทดลอง (L_8)
11 ปัจจัย	2	2048 การทดลอง	12 การทดลอง (L_{12})

ดังนั้นทำให้ลดเวลาและต้นทุนในการทดลองได้อย่างมาก รายละเอียดของตารางออทอกอนอลอะเรย์ พิจารณาได้จากตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงรายละเอียดของตารางออทอกอนอลอะเรย์

ออทอกอนอลอะเรย์	จำนวนแถว	จำนวนปัจจัยสูงสุด	จำนวนสูงสุดของคอลัมภ์ที่ 3 ระดับ			
			2	3	4	5
L4	4	3	3	-	-	-
L8	8	7	7	-	-	-
L9	9	4	-	4	-	-
L12	12	11	11	-	-	-
L16	16	15	15	-	-	-
L'16	16	5	-	-	-	-
L18	18	8	1	7	-	-
L25	25	6	-	-	-	6
L27	27	13	-	13	-	-
L32	32	31	31	-	-	-
L'32	32	10	1	-	9	-
L36	36	23	11	12	-	-
L'36	36	16	3	13	-	-
L50	50	12	1	-	-	11
L54	54	26	1	25	-	-
L64	64	63	63	-	-	-
L'64	64	21	-	-	21	-
L81	81	40	-	40	-	-

ตารางมาตรฐานออทอกอนอลอะเรย์ แบ่งตามระดับของปัจจัยได้ 3 กลุ่ม คือ

1. ระดับปัจจัย มี 2 ระดับ ประกอบด้วยตาราง $L_4(2^3)$, $L_8(2^7)$, $L_{12}(2^{11})$, $L_{16}(2^{15})$, $L_{32}(2^{31})$ และ $L_{64}(2^{63})$

2. ระดับปัจจัย มี 3 ระดับ ประกอบด้วยตาราง $L_9(3^4)$, $L_{27}(3^{13})$, $L_{81}(3^{40})$

3. ระดับปัจจัย มี 5 ระดับ ประกอบด้วยตาราง $L_{25}(5^6)$

นอกจากนี้ ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการรวมปัจจัยที่มีระดับปัจจัยต่างกัน เช่น $L_{18}(2^1\times3^7)$, $L_{32}(2^1\times4^9)$, $L_{36}(2^{11}\times3^{12})$, $L_{36}(2^3\times3^{13})$, $L_{54}(2^1\times3^{25})$, $L_{50}(2^1\times5^{11})$ เป็นต้น

จากตารางที่ 2.3 แสดงออทอกอนอล อะเรย์ $L_8(2^7)$ มีระดับปัจจัยเท่ากับ 2 ระดับ และจำนวนของปัจจัยเท่ากับ 7 ปัจจัย จะมีการทดลอง 8 การทดลอง (Ross, 1988)

ตารางที่ 2.3 แสดงตารางออทอกอนอล อะเรย์มาตรฐาน L_8

ลำดับที่	ลำดับคอลัมน์						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

<u>ระดับขั้นความอิสระของตารางออทอกอนอลอะเรย์</u>

ระดับขั้นความอิสระของตารางออทอกอนอลอะเรย์ จะมีค่าเท่ากับระดับขั้นความอิสระของปัจจัยในแต่ละคอลัมน์คูณด้วยจำนวนคอลัมน์ หรืออาจบอกได้ว่า ระดับขั้นความอิสระของตารางออทอกอนอล อะเรย์จะมีค่าเท่ากับ จำนวนการทดลอง – 1

ตัวอย่างเช่น ออทอกอนอล อะเรย์ $L_9(3^4)$ จะมีคอลัมน์ทั้งหมดเท่ากับ 4 และระดับของปัจจัยเท่ากับ 3 ดังนั้น ระดับขั้นความอิสระในแต่ละคอลัมน์ = (ระดับของปัจจัย–1)×จำนวนคอลัมน์ = (3-1)×4 = 8

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

2.4.3 การเลือกตารางออทอกอนอล อะเรย์

การเลือกตารางออทอกอนอล อะเรย์ จะพิจารณาจากผลรวมของระดับขั้นความอิสระของปัจจัย และปัจจัยร่วมแล้วนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับระดับขั้นความอิสระของตารางออทอกอนอลอะเรย์ โดยมีการคำนวณ ดังนี้

การคำนวณระดับขั้นความอิสระของปัจจัยหลัก และปัจจัยร่วม

ระดับขั้นความอิสระของปัจจัยหลัก = (ระดับของปัจจัย – 1) × จำนวนปัจจัยหลัก

ระดับขั้นความอิสระของปัจจัยร่วม = (ระดับขั้นความอิสระของปัจจัยหลักที่ 1) × (ระดับขั้นความอิสระของปัจจัยหลักที่ 2) × จำนวนปัจจัยร่วม

ระดับขั้นความอิสระทั้งหมด = ระดับขั้นความอิสระของปัจจัยหลัก + ระดับขั้นความอิสระของปัจจัยร่วม

นำผลการคำนวณระดับขั้นความอิสระทั้งหมดของปัจจัย มาเปรียบเทียบกับระดับขั้นความอิสระของตาราง ออทอกทนอล อะเรย์มาตรฐาน โดยเลือกตารางออทอกอนอล อะเรย์ที่มีระดับขั้นความอิสระมากกว่าหรือเท่ากับ ระดับขั้นความอิสระทั้งหมดของปัจจัย

ตัวอย่างเช่น กำหนดให้ระดับของปัจจัยเท่ากับ 2 มีปัจจัยหลัก คือ A, B, C, D, E, F, G, H, I และ J และปัจจัยร่วม คือ A× B, A× C, C× D, E× F และ G× H

ระดับขั้นความอิสระของปัจจัยหลัก = (2-1) × 10 = 10

ระดับขั้นความอิสระของปัจจัยร่วม = (2 – 1) × (2 – 1) × 5 = 5

ดังนั้น ระดับขั้นความอิสระทั้งหมด = 10 + 5 = 15

จึงเลือกตาราง $L1_6(2^{15})$ ซึ่งมีระดับขั้นความอิสระของตารางออทอกอนอล อะเรย์ เท่ากับ 15 เพราะมีระดับขั้นความอิสระของตารางออทอกอนอล อะเรย์ เท่ากับ ระดับขั้นความอิสระทั้งหมดของปัจจัย ดังนั้นจากตัวอย่างจึงเลือกตาราง $L_{16}(2^{15})$ ได้ (เปมิกา สุวรรณมณี, 2548)

2.4.4 ปัจจัยสัญญาณรบกวน (Noise Factor)

ปัจจัยสัญญาณรบกวน คือ ปัจจัยที่เราไม่สามารถควบคุมได้ หรือยากแก่การควบคุมจึงไม่ทำการควบคุมในกระบวนการผลิต เราจึงกำหนดสิ่งนั้นเป็นสัญญาณรบกวน ซึ่งถือว่าเป็นค่าคลาดเคลื่อนในกระบวนการผลิตที่ทำให้เกิดความแปรปรวน แต่ในการคำนวณเราจะถือว่าไม่แสดงระดับปัจจัยโดยจะถือว่าเป็นจำนวนครั้งในการทดลอง

การทดลองจริงเป็นการทำให้บรรลุซึ่งผลสำเร็จ และการปฏิบัติการทดลองนี้เป็นการหาค่าตอบสนองของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ ผลการทดลองดิบจะถูกนำไปใส่ในตาราง โดยที่เครื่องชี้วัดการปฏิบัติสำหรับการทดลองทั้งหมด จะทำการแปลงให้อยู่ในรูปของ อัตราส่วนของ

Signal to Noise (S/N Ratio) โดยที่คุณลักษณะของ S/N Ratio สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

- Small – the – better type problem คือ ค่าความต้องการของค่าตอบสนองของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่ดีที่สุดมีค่าเป็นศูนย์ เช่น ต้องการให้เกิดข้อบกพร่องน้อยที่สุดในการผลิตคอมพิวเตอร์เวเฟอร์ ต้องการให้เกิดมลภาวะน้อยที่สุดจากโรงงาน และต้องการให้เกิดการรั่วของกระแสไฟน้อยที่สุด เป็นต้น

- Nominal – the – best – type problem คือ ค่าความต้องการของค่าตอบสนองของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่ดีที่สุด มีค่าเท่ากับค่าที่ได้กำหนดไว้หรือเป็นค่าที่จำกัดไว้ เช่น ความหนาของโพลีซิลิโคนที่ต้องการมีค่าตามที่ได้กำหนดไว้ในลักษณะที่มีคุณภาพ คือ สำหรับปัญหาแบบนี้เมื่อค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ ความแปรปรวนก็จะเป็นศูนย์ด้วย ค่ามากที่สุดของ nominal – the – best S/N ratio จะใช้ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของ y เมื่อ i คือจำนวนครั้งของการทดลองที่อยู่ในช่วงจาก 1 ถึง n ครั้ง

- Larger – the – better type problem คือ ค่าความต้องการของค่าตอบสนองของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่ดีที่สุดจะต้องมีค่าให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เช่น ต้องการให้ความแข็งแรงของสายไฟต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัดมีค่าให้มากที่สุด หรืออีกตัวอย่างหนึ่งคือ ต้องการให้น้ำมันของรถบรรทุกของสามารถขับเคลื่อนรถบรรทุกได้จำนวนไมล์มากที่สุด เป็นต้น

อัตราส่วนของ Signal to Noise (S/N Ratio) มีความสำคัญเป็นอย่างมาก ในการหาเป้าหมายที่ถูกต้องเพื่อหาค่าที่ดีที่สุด (Optimize) ของปัญหาของวิศวกรถ้าหากเกิดความล้มเหลวในการหาเป้าหมายก็จะนำไปสู่การสรุปผลที่ผิดพลาดได้ในเรื่องของระดับของปัจจัยที่เหมาะสม (กิตติกร ฤทธิ์สิงห์ และเลอศักดิ์ สุมาลย์, 2546)

2.4.5 การลดค่าอคติในการทดลอง

2.4.5.1 การลดค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง สามารถแบ่งได้ 2 กลุ่ม คือ

1. ความคลาดเคลื่อนหลัก เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ความคลาดเคลื่อนระหว่างการทดลอง ซึ่งความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นขณะที่มีการเปลี่ยนรูปแบบการทดลองหนึ่งโดยทั่วไปเกิดจากการเปลี่ยนกรรมวิธีการทดลอง ค่าความคลาดเคลื่อนนี้สามารถลดได้โดยการลดจำนวนครั้งในการเปลี่ยนรูปแบบการทดลองให้น้อยที่สุด (การกำหนดปัจจัยลงตารางการทดลองออทอกอนอล อะเรย์ ควรให้ปัจจัยที่มีความยุ่งยากในการเปลี่ยนรูปแบบการทดลองอยู่ในลำดับต้นๆ)

2. ความคลาดเคลื่อนรอง หรือที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ความคลาดเคลื่อนภายในการทดลอง ซึ่งเกิดจากการทำการทดลองหลายครั้งในรูปแบบการทดลองเดิม ซึ่งค่าของการคลาดเคลื่อนรองนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยของความคลาดเคลื่อนของระบบการวัดและความคลาดเคลื่อนตามธรรมชาติของการวัด โดยที่ธรรมชาติของการวัดแก้ไขโดยการหาค่าเฉลี่ยจากการทำการวัดหลาย ๆ ครั้ง ส่วนความคลาดเคลื่อนของระบบ แก้ไขการฝึกฝนการทำการทดลองและใช้เครื่องมือทำการทดลองที่มีความเที่ยงตรงสูง

2.4.5.2 การสุ่มการทดลอง ความคลาดเคลื่อนในการทดลองเกิดจากลำดับการทดลองที่มีค่าเสื่อมสภาพในตัวเองในการทำการทดลองหลายครั้ง หรือการรวมตัวเมื่อมีการทำการทดลองหลายครั้งซึ่งไม่สามารถแก้ไขทางกายภาพได้ เราสามารถทำการลดปัญหาความคลาดเคลื่อนนี้ โดยการสุ่มการทดลองเพื่อการกระจายความคลาดเคลื่อนออกไปอย่างทั่วถึง แต่ก็อาจจะเพิ่มความคลาดเคลื่อนในรูปแบบความคลาดเคลื่อนหลัก เราอาจใช้การทดลองแบบเป็นกลุ่มของการข้อมูลแทนการสุ่มการทดลองของแต่ละลำดับการทดลอง

2.4.6 การพิจารณาจำนวนการทดลอง

การพิจารณาจำนวนสำหรับการทดลอง (Ross, 1988) พิจารณาจากตารางต่อไปนี้

1. ข้อมูลผลลัพธ์ชนิดต่อเนื่อง (Variable Data)

ตารางที่ 2.4 การกำหนดจำนวนตัวอย่างสำหรับการทดลองของข้อมูลชนิดต่อเนื่องสำหรับออทอกอนอล อะเรย์ L_8

จำนวนการทดลอง	ขนาดของตัวอย่างทั้งหมด	ระดับของความเชื่อมั่น		
		90%	95%	99%
1	8	2.39	3.10	4.84
2	16	1.55	1.95	2.80
3	24	1.24	1.55	2.17
4	32	1.06	1.32	1.84
5	40	0.95	1.17	1.63
6	48	0.86	1.07	1.47

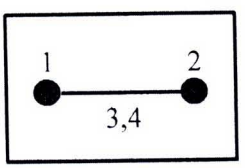
2. ข้อมูลผลลัพธ์ชนิดไม่ต่อเนื่อง (Attribute Data)

ตารางที่ 2.5 การกำหนดจำนวนตัวอย่างสำหรับการทดลองของข้อมูลชนิดไม่ต่อเนื่องสำหรับออทอกอนอล อะเรย์ L_8

ร้อยละของของเสียที่คาดหวัง	จำนวนตัวอย่างที่น้อยที่สุดต่อการทดลอง	จำนวนตัวอย่างทั้งหมด	ออคเคอเรนซ์ที่คาดหวังทั้งหมด
20	13	104	21
10	25	200	20
5	50	400	20
1	250	2000	20
0.5	500	4000	20
0.1	2500	20000	20

2.4.7 กราฟเชิงเส้น (Linear graph)

ในการวิจัยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดลองมีทั้งปัจจัยหลัก และปัจจัยร่วม ซึ่งเราต้องกำหนดปัจจัยในการทดลองเหล่านั้นลงในตารางออทอกอนอลอะเรย์ กราฟเชิงเส้นเป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งที่ช่วยในการกำหนดปัจจัยแต่ละปัจจัยลงในคอลัมน์ โดยมีกราฟเชิงเส้นมาตรฐานของแต่ละตารางมาตรฐานออทอกอนอลอะเรย์ไว้ ตัวอย่างในภาพที่ 2.4 เป็นกราฟเชิงเส้น $L_4(2^3)$ ซึ่งมีปัจจัย 3 ปัจจัย โดยที่ปัจจัยที่ 3 เป็นปัจจัยที่เกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ 1 และปัจจัยที่ 2 ซึ่งในกรณีที่มีปัจจัยหลัก 2 ปัจจัย และปัจจัยร่วม 1 ปัจจัย ปัจจัยที่ 3 จะเป็นตัวแทนของปัจจัยร่วม



ภาพที่ 2.4 แสดงกราฟเชิงเส้น $L_4(2^3)$

2.4.7.1 การกำหนดปัจจัยในกราฟเชิงเส้น

ในการกำหนดปัจจัยลงในตารางออทอกอนองอะเรย์ โดยใช้กราฟเชิงเส้น ปฏิบัติตามขั้นตอนดังนี้

1. การเลือกตารางออทอกอนอลอะเรย์ ในขั้นตอนนี้จะต้องทำการคำนวณหาค่าระดับขั้นความอิสระของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม โดยระดับขั้นความอิสระของปัจจัยที่ทดลองจะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับระดับขั้นความอิสระของตารางออทอกอนอลอะเรย์มาตรฐาน

2. วาดรูปกราฟเชิงเส้นของปัจจัยที่ทดลอง โดยเขียนความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม

3. เปรียบเทียบกราฟเชิงเส้นของปัจจัยที่ทดลองกับกราฟเชิงเส้นมาตรฐาน โดยเลือกกราฟเชิงเส้นมาตรฐานที่ใกล้เคียงกับกราฟเชิงเส้นของปัจจัยที่ทดลองให้มากที่สุด

4. ปรับปรุงกราฟเชิงเส้นของปัจจัยที่ทดลองให้เข้าสู่กราฟเชิงเส้นมาตรฐาน

5. กำหนดปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม ลงในกราฟเชิงเส้นที่ได้แปลงเป็นกราฟเชิงเส้นมาตรฐาน

6. ในกรณีที่กราฟเชิงเส้นของปัจจัย สามารถแปลงเป็นกราฟเชิงเส้นมาตรฐานได้หลายรูปแบบให้คำนึงถึงปัจจัยที่ลำบากในการเปลี่ยนแปลงค่าในการทดลอง โดยพิจารณาปัจจัยนั้นแทนค่าในตัวเลขน้อยของกราฟเชิงเส้นมาตรฐาน

2.4.7.2 การแปลงรูปแบบกราฟเชิงเส้นมาตรฐาน

ในบางครั้ง การแปลงกราฟเชิงเส้นของปัจจัยไม่สามารถแปลงเป็นกราฟเชิงเส้นมาตรฐานได้ จึงจำเป็นต้องมีการแปลงกราฟเชิงเส้นมาตรฐานให้เป็นกราฟเชิงเส้นที่เราต้องการ เราสามารถใช้ตารางในการแปลงกราฟเชิงเส้น ที่เรียกว่า ตารางปัจจัยร่วมระหว่างคอลัมน์ (Interaction between two column) ใช้ในการแปลงกราฟเชิงเส้น ซึ่งมีตัวอย่างดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างตารางปัจจัยร่วมระหว่างคอลัมน์ $L_{16}(2^{15})$

คอลัมน์ที่	ลำดับคอลัมน์													
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	3	2	5	4	7	6	9	8	11	10	13	12	15	14
2		1	6	7	4	5	10	11	8	9	14	15	12	13
3			7	6	5	4	11	10	9	8	15	14	13	12
4				1	2	3	12	13	14	15	8	9	10	11
5					3	2	13	12	15	14	9	8	11	10
6						1	14	15	12	13	10	11	8	9
7							15	14	13	12	11	10	9	8
8								1	2	3	4	5	6	7
9									3	2	5	4	7	6
10										1	6	7	4	5
11											7	6	5	4

คอลัมน์ที่	ลำดับคอลัมน์													
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
12												1	2	3
13													3	2
14														1

2.5 การวิเคราะห์การทดลอง

2.5.1 การตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของการวิเคราะห์

โดยพิจารณาจาก

1. ความเป็นอิสระของความคลาดเคลื่อน (Assumption of independent of error) ถ้าสุ่มระดับของตัวแปรทดลองให้กับกลุ่มของหน่วยทดลองแล้ว ความคลาดเคลื่อนในการทดลองจะเป็นอิสระภายในกลุ่มทดลองเดียวกันและระหว่างกลุ่มทดลอง

2. การแจกแจงของความคลาดเคลื่อน ($\varepsilon_{i(j)}$) จะเป็นโค้งปกติ (Assumption of Normality) ภายในแต่ละระดับการทดลองที่ j หรือหมายถึง Y_{ij} ผลการวัด i จากกลุ่มที่ j มีการแจกแจงเป็นโค้งปกติ

3. ความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวน (Assumption of homogeneity of variance) คือ ทุกกลุ่มมีความแปรปรวนเท่ากัน ($\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = ... = \sigma_p^2$)

<u>วิธีการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้น</u>

1. การตรวจสอบว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นปกติหรือไม่ (Normality) สามารถตรวจสอบเบื้องต้นด้วยการดูจากกราฟ จะต้องอาศัยความเชี่ยวชาญในการดูกราฟ และผิดพลาดได้ง่าย และเป็นไปได้ที่ผู้วิเคราะห์แต่ละคนจะสรุปแตกต่างกัน จึงควรใช้วิธีการตรวจสอบที่อย่างละเอียดด้วยการตรวจสอบทางสถิติควบคู่ไปด้วย เช่นใช้ Kolmogorov-Smirnov Test ในกรณีที่ไม่ทราบค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของประชากร จะใช้ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างแทน หรือใช้ Shapiro-Wilk Test ในกรณีที่ทราบหรือไม่ทราบค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของประชากรก็ได้ แต่กลุ่มตัวอย่างต้องมีขนาดไม่เกิน 50 ตัวอย่าง หรือ Lilliefors Test ซึ่งเป็น

วิธีการที่ปรับปรุงมาจากวิธีของ Kolmogorov-Smirnov แต่จะให้ค่าความน่าจะเป็นในการทดสอบน้อยกว่าวิธีของ Kolmogorov-Smirnov

2. การทดสอบความเป็นเอกพันธ์ของความแปรปรวน (Homogeneity of Variance) สามารถตรวจสอบได้ด้วยวิธีการทางสถิติ เช่น ในกรณี 2 กลุ่ม สามารถใช้ *F-ratio* เป็นสถิติทดสอบและกรณีมีตัวอย่างมากกว่า 2 กลุ่ม สามารถใช้การทดสอบความแปรปรวนเท่ากันด้วย Bartlett test, Levene test หรือ Fligner test เป็นต้น รวมถึงสามารถตรวจสอบเบื้องต้นด้วยการดูจากกราฟ Residual Plot

3. การตรวจสอบความเป็นอิสระของความคลาดเคลื่อน (Independence of Errors) สามารถตรวจสอบได้จากการออกแบบการวิจัย (เบญจมาภรณ์ เสนารัตน์ และสมประสงค์ เสนารัตน์, 2553)

2.5.2 การวิเคราะห์การทดลองด้วยหลักการอัตราส่วนซิกเนลทูนอยส์ (Signal to Noise Ratio)

จากการใช้หลักการวิเคราะห์การทดลองด้วยค่าเฉลี่ยนั้นมีข้อบกพร่อง คือ ค่าที่ใช้ในการคำนวณเป็นค่าข้อมูลที่เกิดจากค่าเฉลี่ยเพียงอย่างเดียว ในบางครั้งค่าเฉลี่ยไม่สามารถเป็นตัวแทนของข้อมูลได้ดีนัก ทากูชิจึงได้นำความแปรปรวนในการกระจายของข้อมูลมาพิจารณาด้วย ซึ่งเรียกการนำเสนอนี้ว่า "หลักการอัตราส่วนซิกเนลทูนอยส์" (Signal to Noise Ratio) ในการใช้อัตราส่วนสัญญาณซิกเนลทูนอยส์นั้น สามารเขียนในรูปสมการได้ คือ

$$S/N = -10\log(10 \times MSD)$$

โดยที่ S/N เป็นสัญลักษณ์แทน อัตราส่วนซิกเนลทูนอยส์

MSD คือ ค่ากำลังสองของความเบี่ยงเบน (Mean Square Deviation)

การใช้ MSD นี้มีรูปแบบการใช้ตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง กรณีใช้วิเคราะห์สัดส่วนของเสีย มีดังนี้

$$Loss = k\left(\frac{p}{1-p}\right)$$

$$S/N = -10\log\left(10\left(\frac{p}{1-p}\right)\right)$$

ด้วยวิธีดังกล่าวเรียกกันทั่วไปว่า โอเมก้า (Ω) ทรานเฟอร์ ดังนั้นสมการมีดังนี้

$$\Omega = -10\log\left(10\left(\frac{p}{1-p}\right)\right)\text{dB}$$

และสามารถแปลงกลับมาอยู่ในรูปของสัดส่วนได้ดังสมการต่อไปนี้

$$p = \frac{1}{1+10\left(\frac{\Omega}{-10}\right)}$$

การคาดการณ์สัดส่วนกระบวนการสภาวะการที่ดีที่สุด คือ การพิจารณาผลลัพธ์เฉลี่ยที่ดีรวมกับผลลัพธ์ที่ได้จากปัจจัยที่เฉลี่ยมาจากระดับปัจจัยที่ให้ผลลัพธ์ในการทดลองที่ดี เช่น การทดลองให้ค่าปัจจัย A B C เป็นปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทดลอง มีสมการดังนี้

$$\hat{p} = Y + (A - Y) + (B - Y) + (C - Y)$$

ดังนั้นสมการ คือ

$$\hat{p} = Y + (a - Y) + (b - Y) + ... + (n - Y)$$

เมื่อ Y เป็น ค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์รวม

a เป็น ค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ปัจจัย a

n เป็น ค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ปัจจัย n

2.5.3 การวิเคราะห์ค่าโดยดูผลต่างของแต่ละปัจจัย

2.5.3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลที่อ่านค่าได้ต่อเนื่อง (Variable Data)

การวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนซิกเนลทูนอยส์ มีขั้นตอน คือ

1. หาค่าของอัตราส่วนซิกเนลทูนอยส์ของในแต่ละลำดับการทดลอง
2. คำนวณหาค่าเฉลี่ยในแต่ละระดับของปัจจัย
3. เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนซิกเนลทูนอยส์ในแต่ละระดับของปัจจัยของแต่ละปัจจัย เพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทดลอง
4. กำหนดระดับของปัจจัยที่ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด
5. นำค่าปัจจัย และระดับปัจจัยที่เลือกมาใช้ในการหาค่าเฉลี่ยที่คาดว่าจะได้จากการทดลอง

2.5.3.2 **การวิเคราะห์สัดส่วนของเสีย (ข้อมูลที่อ่านค่าได้ไม่ต่อเนื่อง)** (Attribute Data) ในกรณีที่เราไม่สามารถทำการวัดผลการทดลองได้ด้วยค่าที่อ่านได้ เนื่องจากความจำกัดในการทำการทดลอง หรือข้อมูลที่ได้ไม่สามารถรวมกันได้ จึงต้องใช้การวัดค่าเป็นระดับ ในกรณีนี้เราจะพิจารณาเฉพาะปัจจัยหลัก เพื่อใช้ในการคำนวณผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผลลัพธ์ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการทดลอง เช่นเดียวกับการวิเคราะห์การทดลองด้วยค่าเฉลี่ย การคำนวณค่าก็จะพิจารณาในแต่ละระดับของแต่ละปัจจัย เช่นเดียวกับการวิเคราะห์การทดลองด้วยค่าเฉลี่ยเช่นกัน

ขั้นตอนในการคำนวณ มีขั้นตอน ดังนี้

1. รวมค่าผลลัพธ์ในแต่ละระดับผลลัพธ์ของแต่ละระดับของปัจจัย

ผลรวมตามลักษณะปัจจัย = ผลรวมของแต่ละปัจจัยแต่ละระดับ

2. พิจารณาผลลัพธ์ในระดับผลลัพธ์ที่เราสนใจแต่ละปัจจัย

ค่าเฉลี่ยสัดส่วนของเสีย (y) = ผลรวมของกลุ่มที่สนใจ/จำนวนทั้งหมด

3. หาค่าเปอร์เซ็นต์ระดับผลลัพธ์ที่สนใจแต่ละปัจจัย เทียบกับการทดลองรวมของระดับผลลัพธ์

สัดส่วนของเสียที่ปัจจัยใดๆ = จำนวนในกลุ่มที่สนใจ/จำนวนการทดลองที่สนใจ

ดังนั้น กระบวนการเฉลี่ย ณ การคาดการณ์สภาวะที่ดีที่สุด คือ

$$\hat{p} = y + (a - y) + (b - y) + ... + (n - y)$$

4. แปลงข้อมูลจากขั้นตอนที่ 3 ด้วยหลักการแปลงข้อมูลโอเมกาทรานเฟอร์ (Omega Transfer) กรณีค่า P predicted เป็นค่าติดลบต้องแปลงข้อมูลด้วยหลักการโอเมกาทรานเฟอร์

$$\Omega = 10\log 10\left(\left(\frac{1}{p}\right) - 1\right) \text{dB}$$

5. ทำการคำนวณค่าเฉลี่ย ซึ่งค่าเฉลี่ยที่ได้จะอยู่ในรูปแบบเดซิเบล

$$\hat{\Omega} = \Omega_y + (\Omega_a - \Omega_y) + (\Omega_b - \Omega_y) + ... + (\Omega_n - \Omega_y)$$

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

6. แปลค่าเฉลี่ยที่ได้ในรูปแบบเดซิเบลกลับในรูปเปอร์เซ็นต์

$$p = \frac{1}{1+10\left(\frac{\Omega}{-10}\right)}$$

<u>สรุป</u> การคำนวณค่าจะพิจารณาในแต่ละระดับของแต่ละปัจจัย คือ

1. ปัญหา Small – the – better type จะได้สมการเท่ากับ

$$\frac{S}{N} = 10\log\frac{\bar{y}}{s_y^2}$$

2. Nominal – the – best – type problem จะได้สมการเท่ากับ

$$\frac{S}{N} = -10\log\frac{1}{n}(\sum y^2)$$

3. Larger – the – better type problem จะได้สมการเท่ากับ

$$\frac{S}{N} = -10\log\frac{1}{n}(\sum\frac{1}{y^2})$$

เมื่อ $\bar{y}$ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกต y

s_y^2 คือ ความแปรปรวนของ y

n คือ จำนวนข้อมูล

y คือ ค่าสังเกต

2.5.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analsis of Variance: ANOVA)

2.5.4.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยข้อมูลที่อ่านค่าได้ต่อเนื่อง

ในกระบวนการผลิต ทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตมีความเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ สิ่งที่ผู้เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตต้องการผลิต คือ ทำอย่างไรตัวแปรในกระบวนการผลิตจึงจะมีสภาพที่เหมาะสม และสามารถทำให้ผลผลิตออกมาตามความต้องการมากที่สุด ในการกำหนดค่าปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการผลิต เราสามารถทำได้ด้วยหลักการง่าย ๆ คือ ทำการเปลี่ยนค่าของปัจจัยแล้วสรุปผลการทดลองที่ได้ ซึ่งในกรณีที่กระบวนการผลิตมีปัจจัยในการผลิตมากกว่า 1 ปัจจัยขึ้นไปแล้ว การเกิดปัจจัยร่วม และความคลาดเคลื่อนในการปฏิบัติจะเป็นผลมาเกี่ยวข้องด้วยในวัตถุประสงค์ของการทดลอง สิ่งที่เราสนใจลำดับแรก คือ ความแปรปรวนซึ่งเราต้องลดค่าความแปรปรวนและต้องสามารถควบคุมได้ การใช้หลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งเป็นวิธีทางสถิติค่าคิดค้นจาก Ronald Fisher ในปี ค.ศ.1930 ความจริงแล้วการวิเคราะห์ความ

แปรปรวนนั้นเป็นเพียงเครื่องมือที่ใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์ และหลักการทางสถิติในการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของกลุ่ม โดยใช้ความแปรปรวนเป็นตัวแปรในการคำนวณ ซึ่งการวิเคราะห์ความแปรปรวนไม่ใช่เครื่องตัดสินใจ การตัดสินใจขึ้นอยู่กับการตีความหมายจากผลลัพธ์หลักการคำนวณด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน มีดังนี้

1. **การหาผลรวมกำลังสอง** (Sum of Square)

การคำนวณค่าผลรวมกำลังสองของแต่ละปัจจัย คือ การนำข้อมูลที่อยู่ในระดับเดียวกันมารวมกันโดยใช้การยกกำลัง เพื่อหักล้างผลกระทบเรื่องเครื่องหมาย โดยที่ความแตกต่างของผลรวมกำลังสองของปัจจัยทั้งหมดและผลรวมกำลังสองของแต่ละปัจจัย คือ ผลรวมกำลังสองของค่าคลาดเคลื่อน

$$SS_{tr} = \sum_{i=1}^{a} \frac{Y_{1.}^2}{n} - \frac{Y_{..}^2}{an}$$

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

$$SSE = SST - (SS_{tr} + SS_{tr} + ... + SS_{n})$$

2. **การหาระดับขั้นความอิสระ** (Degree of Freedom)

ค่าระดับขั้นความอิสระของแต่ละปัจจัย (υ_t) = (จำนวนระดับของปัจจัย – 1)

= n – 1

ระดับขั้นความอิสระรวม (υ_T) = (จำนวนการทดลองทั้งหมด - 1) × (จำนวนกลุ่ม – 1)

ระดับขั้นความอิสระของความคลาดเคลื่อน $(\upsilon_e) = \upsilon_T - (\upsilon_{tr} + \upsilon_{tr} + ... + \upsilon_n)$

3. **การหาค่ากำลังสองโดยเฉลี่ย** (Mean Sum Square)

ค่ากำลังสองโดยเฉลี่ยเป็นการสมมติฐานตามหลักการทฤษฎีการกระจายเข้าสู่ศูนย์กลาง (Central Limit Theorem) ซึ่งถือว่าค่ากำลังสองโดยเฉลี่ยเทียบได้กับ ค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่าง โดยที่ค่ากำลังสองโดยเฉลี่ยจะมีค่าเท่ากับผลรวมกำลังสองหารด้วยระดับขั้นความอิสระ ใช้สัญลักษณ์ V หรือ MS ซึ่งการหากำลังสองโดยเฉลี่ย

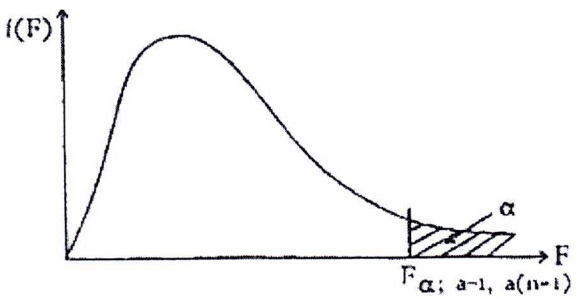
$$MS_t = \frac{SS_{tr}}{n-1}$$

4. การหาค่าตัวทดสอบ F และการใช้ตารางแจกแจง F ในการเปรียบเทียบความแปรปรวน

การหาค่าตัวทดสอบ F = ค่ากำลังสองเฉลี่ยของปัจจัย / ค่ากำลังสองโดยเฉลี่ยค่าคลาดเคลื่อน

$$F_{ir} = \frac{MS_i}{MS_{ir}}$$

การพิจารณาผลการคำนวณค่าทดสอบ F ของปัจจัยใด ๆ ที่ระดับการยอมรับ $(1-\alpha)$ จะสามารถพิจารณาค่า F ของปัจจัยเหล่านั้น จากการเปิดตารางการแจกแจง F เทียบ (ภาคผนวก) กรณีค่าที่ได้จากการเปิดตารางแจกแจง F($F_{\alpha,a-1,a(n-1)}$)) มีค่าน้อยกว่าค่าคำนวณ (F_{ir}) แสดงว่าปัจจัยการทดลองมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 2.5 แสดงการแจกแจงความน่าจะเป็นของ F

5. การปรับค่าความคลาดเคลื่อน (Pulling)

ในการทดลองบางครั้ง ผลการคำนวณหาค่ากำลังสองโดยเฉลี่ยของแต่ละปัจจัยในบางปัจจัยนั้นมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับปัจจัยอื่นที่มีค่ามาก จึงสามารถรวมปัจจัยที่น้อยนั้นรวมเข้ากับปัจจัยของความคลาดเคลื่อนในแนวของทากูชิ จะใช้หลักการพลูลิ่งอัฟ (Pulling Up) คือ การใช้ตัวทดสอบ F ทดสอบกับปัจจัยที่มีค่ากำลังสองโดยเฉลี่ยของปัจจัยที่มีค่าน้อยที่สุด ถ้าผลการทดสอบอยู่ในของเขตของตารางการแจกแจง F ก็จะทำการรวมค่ากำลังสองโดยเฉลี่ยของปัจจัยนั้นเข้ากับค่ากำลังสองโดยเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อน และจะทำการทดสอบกับปัจจัยที่ค่ากำลังสองโดยเฉลี่ยมีค่าน้อยลำดับต่อไปจนกว่าจะไม่ผ่านการทดสอบเทียบกับตัวทดสอบ F อ้างอิง

6. การพิจารณาอิทธิพลของปัจจัย (Percent Contribution)

อิทธิพลของปัจจัย เป็นการบอกถึงผลลัพธ์ของอัตราส่วนของปัจจัยที่พิจารณาเทียบกับอิทธิพลของปัจจัยทั้งหมด ซึ่งจากการทดสอบด้วยการใช้ตาราง F สามารถบอกได้

เฉพาะตัวปัจจัยที่มีผลต่อการทดลอง ส่วนอิทธิพลของปัจจัยจะบอกได้ว่าปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อการทดลองด้วยอัตราส่วนเท่าใดเมื่อเทียบกับอิทธิพลของปัจจัยทั้งหมด

$$\%Ptr = \left(\frac{SS_{tr}}{SST}\right) \times 100$$

มีจำนวนประชากรบางส่วนมีค่าเฉลี่ย (μ) ที่เราสนใจ ขนาดตัวอย่างที่สุ่มมาจากประชากรอาจมีขนาดต่าง ๆ ที่ไม่เท่ากัน ประชากรสามารถพิจารณาเป็นเซตของสิ่งทดลอง ซึ่งมีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง สิ่งทดลอง (ทรีทเมนต์) เป็นปัจจัย 1 ปัจจัยที่สนใจในระดับต่าง ๆ ค่าเฉลี่ยแต่ละค่าเป็นค่าเฉลี่ยตอบสนองจากสิ่งทดลอง

ตารางที่ 2.7 รูปแบบข้อมูลจากการทดลอง

สิ่งทดลอง	**ค่าสังกต**	**ผลรวมของสิ่งทดลอง**	**ค่าเฉลี่ยสิ่งทดลอง**
1	$Y_{11}, Y_{12}, ..., Y_{1n}$	$Y_{1.}$	$\overline{Y}_{1.}$
2	$Y_{21}, Y_{22}, ..., Y_{2n}$	$Y_{2.}$	$\overline{Y}_{2.}$
.	.	.	.
.	.	.	
a	$Y_{a1}, Y_{a2}, ..., Y_{an}$	$Y_{a.}$	$\overline{Y}_{a.}$
		$Y_{..}$	$\overline{Y}_{..}$

ตารางที่ 2.8 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

แหล่งความผันแปร	ผลรวมกำลังสอง (SS)	องศาความอิสระ (df)	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (MS)	ตัวทดสอบ (Fe)
ระหว่างสิ่งทดลอง	SS_{tr}	a-1	MS_{tr}	$\frac{MS_{tr}}{MS_E}$
ภายในสิ่งทดลอง	$SS_E = SS_T - SS_{tr}$	a(n-1)	MS_E	
ทั้งหมด	SS_T	an-1		

เมื่อ n = จำนวนค่าสังเกตในแต่ละสิ่งทดลอง

a = จำนวนสิ่งทดลอง

2.5.4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยข้อมูลที่อ่านค่าได้ไม่ต่อเนื่อง

การวิเคราะห์ความแปรปรวนในลักษณะข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่องมีหลักการคำนวณดังนี้

1. คำนวณสัดส่วนของเสียในทุกประเภท
2. คำนวณหาน้ำหนักทุกประเภท
3. คำนวณหาผลรวมกำลังสองโดยเฉลี่ยทั้งหมด (Sm)
4. คำนวณหาผลรวมกำลังสองทั้งหมด (SST)
5. คำนวณหาผลรวมกำลังสองของแต่ละปัจจัย (Str)
6. คำนวณหาผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Se)
7. การหาระดับค่าความอิสระ
8. การหาความแปรปรวนของแต่ละปัจจัย (V)
9. การหาค่าตัวทดสอบ F และการใช้ตารางแจกแจง F ในการเปรียบเทียบความแปรปรวน
10. การปรับค่าความคลาดเคลื่อน
11. การหาอิทธิพลของปัจจัย ในการดูอัตราส่วนแปรปรวนการทดลอง

2.5.5 สถิติทดสอบ t (t-Test Statistics)

เป็นการทดสอบสมมติฐานชนิดหนึ่งที่ผู้วิจัยใช้กลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก $(n < 30)$ การทดสอบผู้วิจัยจะต้องทราบค่าความแปรปรวนของประชากร (σ^2) หรือในกรณีไม่ทราบค่าความแปรปรวนของประชากร เพราะในงานวิจัยผู้วิจัยจะไม่มีโอกาสทราบค่าความแปรปรวนของประชากร ผู้วิจัยก็อาจจะใช้ค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่าง (S^2) แทน

การทดสอบที (t - test) ใช้ทดสอบกรณีต่าง ๆ ดังนี้

1. การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มเดียว
2. การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่ม
   - 2.1 กรณีกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มเป็นอิสระจากกัน
   - 2.2 กรณีกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มไม่เป็นอิสระจากกัน

2.5.5.1 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มเดียว

การทดสอบแบบนี้ใช้ในกรณีผู้วิจัยสุ่มตัวอย่างมาเพียงกลุ่มเดียว แล้วต้องการทดสอบว่าคะแนนเฉลี่ยของกลุ่มนี้จะแตกต่างจากค่าเฉลี่ยมาตรฐานอื่น ๆ หรือไม่ค่าต่าง ๆ ที่กำหนดเป็นเกณฑ์ถือว่าเป็นค่าเฉลี่ยของประชากร (μ)

ขั้นตอนในการทดสอบ มีดังนี้

1. ตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของสถิติทดสอบที

   - กลุ่มตัวอย่างได้มาจากการสุ่ม และเป็นอิสระจากกัน
   - ประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ
   - ไม่ทราบค่าความแปรปรวนของประชากร
   - ข้อมูลอยู่ในมาตราอันตราภาค หรืออัตราส่วน

2. กำหนดสมมติฐาน

   สำหรับการทดสอบแบบสองทิศทาง

   $$H_0 : \ \mu = \mu_0$$

   $$H_1 : \ \mu \neq \mu_0$$

   สำหรับการทดสอบแบบทิศทางเดียว

   $$H_0 : \ \mu = \mu_0$$

   $H_1 : \ \mu > \mu_0$ หรือ $\mu < \mu_0$ อย่างใดอย่างหนึ่ง

3. กำหนด α

4. คำนวณค่าสถิติ t จากสูตร

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{N}}} \qquad \text{เมื่อ } df = N - 1$$

5. กำหนดขอบเขตวิกฤต โดยหาค่า t วิกฤต (t_α หรือ $t_{\frac{\alpha}{2}}$)

   5.1 $t \geq -t_{\frac{\alpha}{2}}$ และ $t \geq t_{\frac{\alpha}{2}}$ สำหรับ $H_1 : \ \mu \neq \mu_0$

   5.2 $t \leq -t_a$ สำหรับ $\mu < \mu_0$

   5.3 $t \geq t_a$ สำหรับ $\mu > \mu_0$

6. สรุปผล โดยพิจารณาตัวเลขเท่านั้น ไม่คิดเครื่องหมาย หาก $t \geq t$ วิกฤต จะปฏิเสธ H_0 และ $t < t$ วิกฤต จะยอมรับ H_0

2.5.5.2 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากรสองกลุ่ม

กรณีกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มเป็นอิสระจากกัน (Independent Samples)

เป็นการทดสอบสมมติฐานเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลมุ่ ตัวอย่างสองกลุ่ม ในกรณีที่ไม่ทราบความแปรปรวนของประชากร และกลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มที่มีขนาดเล็ก กล่าวคือ $n_1 < 30$ และ $n_2 < 30$ ซึ่งก่อนที่จะทำการทดสอบ โดยใช้สถิติทดสอบที จะต้องนำค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มไปทดสอบ เพื่อสรุปว่าประชากรที่ศึกษานั้นมีความแปรปรวนเท่ากันหรือไม่

ขั้นตอนในการทดสอบ มีดังนี้

1. ตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของสถิติทดสอบที
   - กลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มได้มาจากการสุ่มอย่างเป็นอิสระจากกัน
   - ประชากรทั้งสองกลุ่มมีการแจกแจงแบบปกติ
   - ไม่ทราบค่าความแปรปรวนของประชากร
   - ข้อมูลอยู่ในมาตราอันตราภาค หรืออัตราส่วน

2. กำหนดสมมติฐาน

   สำหรับการทดสอบแบบสองทิศทาง

   $$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

   $$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

   สำหรับการทดสอบแบบทิศทางเดียว

   $$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

   $$H_1 : \mu_1 > \mu_2 \text{ หรือ } \mu_1 < \mu_2 \text{ อย่างใดอย่างหนึ่ง}$$

3. กำหนด α

4. คำนวณค่าสถิติ t จากสูตรใดสูตรหนึ่งใน 2 สูตร นี้

   4.1 เมื่อทดสอบได้ว่า $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ (สูตร t-test ชนิด Pooled Variance)

   $$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{S_p^2\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \qquad \text{โดยมี } df = N_1 + N_2 - 2$$

   เมื่อ S_p^2 แทน ความแปรปรวนร่วม (Pooled Variance)

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

4.2 เมื่อทดสอบได้ว่า $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ (สูตร t-test ชนิด Separated Variance)

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)}}$$

$$\text{โดยมี } df = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{S_1^2}{n1}\right)^2}{(n_1 - 1)} + \frac{\left(\frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{(n_2 - 1)}}$$

5. กำหนดขอบเขตวิกฤต โดยหาค่า t วิกฤต

6. สรุปผล โดยพิจารณาตัวเลขเท่านั้น ไม่คิดเครื่องหมาย หาก $t \geq t$ วิกฤต จะปฏิเสธ H_0 และ $t < t$ วิกฤต จะยอมรับ H_0

กรณีกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มไม่เป็นอิสระจากกัน (Dependent Samples)

เป็นการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของประชากร ในกรณีกลุ่มตัวอย่างไม่เป็นอิสระจากกัน หรือกลุ่มตัวอย่างทั้งสองสัมพันธ์กัน (Correlated Samples) อาจเรียกว่า การทดสอบความแตกต่างโดยวิธีจับคู่ (Paired-difference Test) หรือการทดสอบทีสำหรับกลุ่มตัวอย่างที่เกี่ยวข้องกัน (Paired Samples t-test or Two Related Samples t-test)

ขั้นตอนในการทดสอบ มีดังนี้

1. ตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของสถิติทดสอบที
   - กลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มได้มาจากการสุ่มและมีความสัมพันธ์กัน
   - ประชากรทั้งสองกลุ่มมีการแจกแจงแบบปกติ
   - ข้อมูลอยู่ในมาตราอันตราภาค หรืออัตราส่วน

2. กำหนดสมมติฐาน

   สำหรับการทดสอบแบบสองทิศทาง

   $H_0 : \mu_1 = \mu_2$

   $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$

สำหรับการทดสอบแบบทิศทางเดียว

$H_0: \mu_1 = \mu_2$

$H_1: \mu_1 > \mu_2$ หรือ $\mu_1 < \mu_2$ อย่างใดอย่างหนึ่ง

3. กำหนด α

4. คำนวณค่าสถิติ t จากสูตร

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{(n\sum D^2 - (\sum D)^2)}{n-1}}}$$ โดยมี $df = N - 1$

เมื่อ D แทน ผลต่างระหว่างข้อมูลแต่ละคู่

n แทน จำนวนคู่ของข้อมูล

5. กำหนดขอบเขตวิกฤต โดยหาค่า t วิกฤต

6. สรุปผล โดยพิจารณาตัวเลขเท่านั้น ไม่คิดเครื่องหมาย หาก $t \geq t$ วิกฤต จะปฏิเสธ H_0 และ $t < t$ วิกฤต จะยอมรับ H_0

2.5.6 **การทดสอบโคลโมโกรอฟ-สไมร์นอฟ** (The Kolmogorov-Sminov test)

การทดสอบโคลโมโกรอฟ-สไมร์นอฟ เป็นการทดสอบภาวะสารูปสนิทดีเหมือนการทดสอบไคสแควร์ คือเป็นการทดสอบว่าข้อมูลมีการแจกแจงสอดคล้องกับการแจกแจงตามที่คาดไว้หรือไม่ เช่นเป็นการทดสอบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ เป็นต้น การทดสอบภาวะสารูปสนิทดีของโคโมโกรอฟได้รับความนิยมมากกว่าการทดสอบของไคสแควร์เมื่อตัวอย่างมีขนาดเล็ก เพราะให้ผลลัพธ์ที่แท้จริง ในขณะที่การทดสอบไคสแควร์ต้องการจำนวนตัวอย่างที่ใหญ่ เพื่อที่จะทำให้สามารถใช้การแจกแจงไคสแควร์ประมาณการแจกแจงของสถิติทดสอบได้ดีพอ การทดสอบของโคลโมโกรอฟบางทีจะมีอำนาจการทดสอบมากกว่าการทดสอบไคสแควร์ในหลายๆ สถานการณ์ เมื่อข้อมูลเป็นข้อมูลแบบอันดับ

การทดสอบโคลโมโกรอฟจะใช้ความถี่สัมพัทธ์สะสม หรือฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสม $(F(x))$ ในการวิเคราะห์ โดยหลักการคือจะเป็นการทดสอบว่า ความถี่สัมพัทธ์สะสมของค่าสังเกตแตกต่างจากค่าความถี่สัมพัทธ์สะสมตามที่คาดไว้หรือไม่ ซึ่งหมายความว่า ถ้าสุ่มตัวอย่างจากประชากรที่ไม่ทราบฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสม $(F(x))$ สามารถจะสรุปได้หรือไม่ว่า $F(x) = F_0(x)$ สำหรับทุก ๆ ค่าของ x เมื่อ $F_0(x)$ เป็นฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสมที่ทราบการแจกแจง การทดสอบโคลโมโกรอฟ-สไมร์

นอฟ จะมีประสิทธิภาพมากกว่าการทดสอบคไสแควร์ และสามารถใช้ได้กับข้อมูลทุกกรณีแม้ว่าข้อมูลจะมีความถี่เท่ากับ 0 และตัวอย่างมีขนาดเล็กก็ตาม

สถิติทดสอบ

ให้ $S(x)$ เป็นฟังก์ชันการแจกแจงสะสมหรือความถี่สัมพัทธ์สะสมจากตัวอย่างสุ่ม $X_1, X_2, ..., X_n$

โดย $S(x) = (\text{จำนวนค่าสังเกตที่ } X \le x) / n$

$$= \frac{\#(X \le x)}{n}$$

เมื่อ $X_{(k)}$ เป็นสถิติลำดับที่ k ของ X ซึ่งโดยทั่วไป การทดสอบจะเป็นการทดสอบแบบสองหางดังนี้

การทดสอบสมมติฐาน

สมมติฐานการทดสอบ

กำหนดให้ $\dot{F}(x)$ เป็นฟังก์ชันการแจกแจงสะสมตามสมมติฐาน H_0

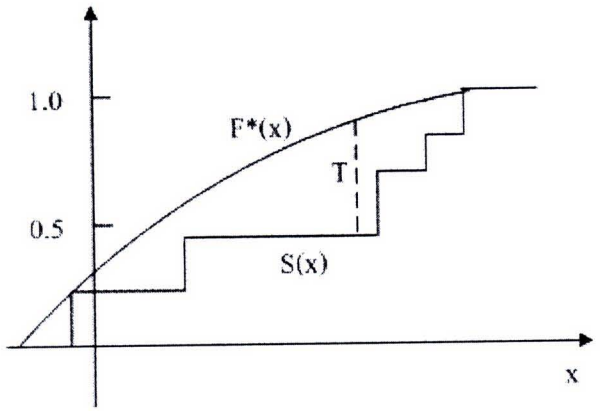
$H_0 : F(x) = \dot{F}(x)$ (ข้อมูลมีการแจกแจงเป็นไปตามที่คาดหมาย)

$H_1 : F(x) \neq \dot{F}(x)$ (ข้อมูลไม่มีการแจกแจงเป็นไปตามที่คาดหมาย)

ให้สถิติทดสอบ t เป็นระยะห่างที่กว้างที่สุดตามแนวตั้งระหว่าง $S(x)$ และ $\dot{F}(x)$ นั่นคือ

$$t = Max\,|\,\dot{F}(x) - S(x)\,|$$

ซึ่งรูปฟังก์ชันการแจกแจงสะสมตามสมมติฐาน ($\dot{F}(x)$) และฟังก์ชันการแจกแจงสะสมจากตัวอย่าง ($S(x)$) แสดงได้ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 แสดงฟังก์ชันการแจกแจงสะสมตามสมมติฐาน ($\dot{F}(x)$) และฟังก์ชันการแจกแจงสะสมจากตัวอย่าง ($S(x)$)

ถ้าข้อมูลจากตัวอย่างสุ่มมาจากการแจกแจงที่ระบุไว้ในสมมติฐาน H_0 ความแตกต่างระหว่าง $S(x)$ และ $\dot{F}(x)$ จะน้อย ในทางตรงกันข้าม ถ้า H_0 ไม่จริง หรือตัวอย่างไม่ได้มาจากการแจกแจงที่ระบุไว้ในสมมติฐาน ความแตกต่างระหว่าง $S(x)$ และ $\dot{F}(x)$ จะมีค่ามาก

การทดสอบแบบสองหาง จะปฏิเสธ H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ α ถ้า t มากกว่าค่าวิกฤตในตารางสถิติทดสอบโคลโมโกรอฟ-สไมร์นอฟ (ธิดาเดียว มยุรีสวรรค์, 2553)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ภาษาไทย

วิชญา วิชยาภัย บุนนาค (2543) ศึกษาผลของปัจจัยในการบ่มต่อสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ ประกอบแต่งอีพอกซีสำหรับเคลือบพื้นโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งประกอบด้วย อีพอกซีเรซิน (diglycidyl ether of bisphenol A (DGEBA)) สารบ่ม diethylene triamine (DETA) เส้นใยแก้ว และทราย โดยศึกษาผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งอีพอกซีเรซินทั้งในรูปแบบของสารเคลือบที่ยังไม่ได้นำไปเคลือบผิว และแบบที่เคลือบแล้วโดยจำลองขึ้นจากการเคลือบผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งอีพอกซีเรซินลงบนคอนกรีตหรือมอร์ตา มีการออกแบบการทดลองแปรสภาวะในหาบ่มสารเคลือบผิว โดยประยุกต์ใช้หลักการออกแบบเซ็นทรัลคอมโพสิทโรเททาเบิล (Central Composite Rotatable, CCR) และเลือกใช้การวิเคราะห์ผลโดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) ทำให้ได้สมการพื้นผิวตอบสนองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในการบ่มกับ สมบัติเชิงกลตอบสนองของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งอีพอกซีเรซิน ผลจากการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยในการบ่มซึ่งได้แก่ อุณหภูมิการบ่ม ระยะเวลาในการบ่ม และปริมาณทรายที่ใช้เป็นสารเติมแต่งที่มีต่อสมบัติเชิงกล พบว่าของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งอีพอกซีเรซินที่บ่ม ณ อุณหภูมิห้อง (31°

C) จะมีความสามารถในการรับแรงกระแทก (impact strength) และค่าความเหนียวเมื่อแตก (fracture toughness) สูง ในขณะที่ความสามารถในการรับแรงกด (compressive strength) ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการรับแรงกดดันของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งที่บ่ม ณ อุณหภูมิสูง (99°C) การเพิ่มเวลาในการบ่มจะช่วยให้คุณสมบัติในการรับแรงกดดีขึ้น ส่วนการใส่ทรายเพื่อเป็นสารเติมแต่งไม่ได้มีผลต่อการรับแรงกดเท่าใดนัก แต่กลับช่วยให้พลังงานการแตก (fracture energy) ของผลิตภัณฑ์ประกอบแต่งอีพอกซีเรซินสูงขึ้นมากแต่ขณะเดียวกันก็ทำให้สมบัติ ในการรับแรงกดและแรงกระแทกลดลงเล็กน้อย ผลจากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า แต่ละสมบัติเชิงกลจะมีสภาวะที่เหมาะสมในการบ่มจะแตกต่างกันออกไป โดยแนวโน้มของความสามารถในการรับแรงกดจะเพิ่มขึ้นอีกเมื่อเพิ่มเวลาในการบ่มออกไปอีก

ศิริวดี เอื้ออรัญโชติ (2546) ได้เสนอแนวทางการควบคุมคุณภาพโดยใช้แนวทางของซิกซ์ซิกม่า เพื่อปรับปรุงข้อบกพร่องอันเนื่องมาจากคราบสกปรก (Contamination) ของกระบวนผลิตหัวอ่าน-เขียนสำหรับคอมพิวเตอร์ ระบบการดำเนินการคุณภาพตามแนวทางของซิกซ์ซิกม่าจะใช้หลักการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติเป็นสำคัญ ขั้นตอนตามวิธีการทางซิกซ์ซิกม่า 5 ขั้นตอน โดยเริ่มจากขั้นตอนการนิยามปัญหา (Define), ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure), ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze), ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve), และขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต (Control) ตามลำดับ ในแต่ละขั้นของการสำรวจผลวิจัยสามารถระบุสาเหตุของปัญหา และแก้ไขโดยใช้หลักการทางสถิติวิศวกรรม ซึ่งขั้นตอนเริ่มต้นของการศึกษาได้นิยามปัญหา ศึกษาความแม่นยำและความถูกต้องของระบบการวัด การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาทำโดยแผนภาพแสดงเหตุและผล และเชื่อมโยงเพื่อหาความรุนแรงของปัญหาด้วยวิธีการ FMEA หลังจากนั้นวิเคราะห์สาเหตุต่างๆ เหล่านั้นว่ามีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อกระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียน เมื่อสามารถระบุถึงสาเหตุของปัญหา ขั้นตอนต่อไปคือการปรับปรุงเพื่อลดสัดส่วนของเสียเนื่องจากคราบสกปรก (Contamination defect proportion) โดยใช้หลักการทางสถิติวิศวกรรม เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองเช่นเดียวกัน สุดท้ายคือการจัดทำมาตราการควบคุมและป้องกันปัญหา

กิตติกร ฤทธิ์สิงห์ และเลอศักดิ์ สุมาลย์ (2546) ทำการศึกษาบรอนซ์ผสม (Nickel–Aluminum Bronze) ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ผลิตเครื่องจักรกล ชิ้นส่วนยานยนต์และอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ การหล่อโลหะจำพวกบรอนซ์ผสม จะเกิดปัญหาจากผลิตภัณฑ์มีความแข็งและเปราะ และเกิดข้อบกพร่องในงานหล่อ การพัฒนาและการปรับปรุงคุณภาพของงานหล่อบรอนซ์ผสมดังกล่าวใช้วิธีการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลโดยหลักการของทากูชิ และใช้แผนการทดลอง ตาม

มาตรฐานของ Taguchi Method กำหนดตัวแปรที่มีผลต่องานหล่อ มี 4 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิเท ส่วนผสมทางเคมีของนิกเกิล ส่วนผสมทางเคมีของอลูมิเนียม และส่วนผสมทางเคมีของสังกะสี

เปมิกา สุวรรณมณี (2548) ทำการศึกษาเพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมของการพ่นสีที่ทำให้เกิดของเสียสีเป็นผิวส้มน้อยที่สุด โดยใช้หลักการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง เมื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา พบว่ามีปัจจัย 5 ปัจจัย คือ ความสูงของหัวปืนพ่นสี (ระยะห่างระหว่างงานกับหัวปืนพ่นสี) ความเร็วของหัวปืนพ่นสี ความเร็วของสายพาน แรงดันลม และความหนืดสี ที่ทำให้เกิดปัญหาดังกล่าว ดังนั้นจึงนำปัจจัยดังกล่าวมาออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองของทากูชิ พบว่า ความหนืดสี และแรงดันลม มีอิทธิพลต่อการปัญหาสีเป็นผิวส้มอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความสูงของหัวปืนพ่นสี ความเร็วของหัวปืนพ่นสี และความเร็วของสายพาน ตามมาตรฐานการทำงานปัจจุบันไม่มีนัยสำคัญต่อการเกิดปัญหานี้ และเมื่อนำปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทดลองมาทำการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3 ระดับ เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมด้วยเทคนิคพื้นผิวตอบสนอง และจากการนำผลการวิจัยไปใช้ในการทำงานจริง พบว่าจำนวนของเสียสีเป็นผิวส้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และสามารถลดค่าใช้จ่ายในการแก้ไขงานได้

ชาญณรงค์ สายแก้ว และ นิพนธ์ ชิลพัฒน์ (2549) ทำการออกแบบและสร้างเครื่องย่อยขวดแก้ว และประเมินปัจจัยที่มีผลต่อขนาดเศษแก้วของเครื่องย่อยขวดแก้ว โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง 2^k แฟคตอเรียลถูกนำมาใช้ในการเก็บข้อมูล และทำการสร้างเข้ากับรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของพื้นผิวผลตอบสนอง ค่าเปอร์เซนต์ของขนาดเศษแก้วที่มีขนาดเล็กกว่ารูตะแกรงและสามารถลอดผ่านได้เป็นค่าที่ถูกบันทึกไว้ เพื่อนำไปใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน และหาจุดที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรที่มีผลกระทบต่อขนาดของเศษแก้ว ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยขวดแก้วให้ได้ขนาดและปริมาณที่มาก คือ ความเร็วรอบและอัตราการป้อนขวดแก้ว นอกจากนี้ ความเร็วรอบประมาณ 450 รอบต่อนาที และอัตราการป้อนขวดแก้ว 15 ขวดต่อนาที ซึ่งเป็นการออกแบบที่เหมาะสมที่สุดของเครื่อง เพื่อให้ได้ขนาดของเศษแก้วตามที่ตลาดต้องการและได้ปริมาณมากที่สุดโดยเฉลี่ย

ปาณิกา เสนาะดนตรี และ สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร (2550) ทำการศึกษาปัญหาในโรงงานเครื่องประดับ พบว่ามีปัญหาการเกิดผื่นบนผิวชิ้นเครื่องประดับ โดยคาดว่ากระบวนการที่ทำให้เกิดผื่นคือ การหล่อ เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยในการหล่อ พบว่าปัจจัยที่อาจส่งผลต่อการเกิดผื่นคือ อุณหภูมิการหล่อ เวลาอบเบ้า อุณหภูมิน้ำโลหะ มุมเอียงชิ้นงาน และขนาดทางเดินน้ำโลหะ เมื่อทำการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดผื่นอย่างมีนัยสำคัญโดยวิธีทากูชิ พบว่าอุณหภูมิ

การหล่อและอุณหภูมิน้ำโลหะมีผลต่อการเกิดผื่นบนผิวชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ จึงนำปัจจัยที่มีอิทธิพลดังกล่าวมาทำการทดลองเชิงแฟคทอเรียล เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมโดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง และนำระดับปัจจัยดังกล่าวไปหล่อชิ้นงานตัวอย่าง พบว่าสามารถลดจำนวนการเกิดผื่นลง สรุปได้ว่า สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการหล่อได้

องค์การ ศิริสวัสดิ์ (2551) ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสียอันเนื่องมาจากการผลิตเทฟลอน และหาสภาวะที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยโดยการออกแบบการทดลอง โดยทำการทดลองกับผลิตภัณฑ์ 2 รุ่น ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเป็นปริมาณมากและเกิดของเสียในปริมาณมากด้วย คือ PV103(F4PN) และ PV102(G201) โดยเริ่มจากจากใช้แผนภาพแสดงเหตุและผลและการระดมสมอง ซึ่งทำให้ได้ปัจจัยเบื้องต้น 5 ปัจจัย คือ อุณหภูมิฮีทเตอร์โซน 1 อุณหภูมิฮีทเตอร์โซน 2 อุณหภูมิฮีทเตอร์โซน 3 อุณหภูมิฮีทเตอร์โซน 4 และความเร็วผลิตภัณฑ์ ซึ่งจากผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลโดยอาศัยหลักการทางสถิติ พบว่า มี 4 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเกิดของเสียในการผลิตเทฟลอน คือ อุณหภูมิฮีทเตอร์โซน 1 อุณหภูมิฮีทเตอร์โซน 2 อุณหภูมิฮีทเตอร์โซน 3 และอุณหภูมิฮีทเตอร์โซน 4 จากผลการทดลองเพื่อการยืนยันผลการทดลองของเทฟลอนทั้งสองรุ่น โดยเปรียบเทียบสัดส่วนของการเกิดของเสียในการผลิตเทฟลอนที่ได้จากการใช้ระดับปัจจัยที่ได้จากการทดลองมาใช้ในการผลิตจริง สามารถลดของเสียของผลิตภัณฑ์ได้

ปิยะชาติ อริยโชติมา (2552) ทำการศึกษากระบวนการล้างของเครื่องล้างอัลตราโซนิคอัตโนมัติเครื่องใหม่ เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการล้างชิ้นงานให้เกิดของเสียอันเกิดจากคราบสกปรกรวมกันทุกประเภทที่ไม่ใช่คราบสนิมให้เหลือน้อยที่สุดไม่เกินห้าสิบเปอร์เซ็นต์ของเปอร์เซ็นต์ของเสียเดิมหรือน้อยกว่าหนึ่งเปอร์เซ็นต์ โดยใช้เทคนิคทางสถิติวิศวกรรม และทำการจัดตั้งเวลามาตรฐานในการล้างงานแต่ละชิ้นงาน ด้วยวิธีการของโปรแกรมเชิงเส้น รวมถึงเทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหการอื่น ๆ โดยดูผลจากแต่ละเงื่อนไขที่เปลี่ยนไปและพิจารณาถึงต้นทุนในการล้างและกำลังการผลิตตามแผนการของโรงงานกรณีศึกษา

สินี ทองมี (2552) ทำการศึกษาเพื่อปรับปรุงกระบวนการชุบผิวด้วยไฟฟ้าของชิ้นส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ โดยกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในการขัดเตรียมผิวชิ้นงานก่อนชุบและการชุบผิวด้วยไฟฟ้า เพื่อลดการนำชิ้นงานกลับมาซ่อมและเพื่อควบคุมความหนาของผิวชุบนิเกิลและทองตามเป้าหมายที่กำหนด ปัจจัยทั้งหมดที่มีผลต่อการแตกของชิ้นงาน คุณภาพผิวของชิ้นงานในการขัดเตรียมผิว และความหนาผิวชุบในการชุบนิเกิลและทอง โดยใช้แผนภาพแสดงเหตุและผล ผู้วิจัยได้เลือกปัจจัยเพื่อทำการทดลองในการขัดเตรียมผิวชิ้นงาน คือ ปริมาณวัสดุขัด,

ปริมาณน้ำยาขัด, เวลาขัดชิ้นงานด้วยน้ำยาขัด และเวลาล้างชิ้นงาน และปัจจัยที่เลือกในการชุบนิเกิลและทอง คือ ความเข้มข้นของนิเกิลซัลเฟตในน้ำยาชุบนิเกิล, ความเข้มข้นของทองในน้ำยาชุบทอง, ค่า pH ของน้ำยาชุบนิเกิลและทอง, กระแสไฟฟ้าและเวลาในการชุบนิเกิลและทอง วิธีพื้นผิวผลตอบได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสม หลังจากการปรับปรุงกระบวนการขัดผิวและชุบผิวด้วยไฟฟ้าแล้ว พบว่า ไม่มีชิ้นงานที่ต้องนำกลับมาซ่อมอีก และสมการความสัมพันธ์ที่หาได้จากการทดลองนี้ ใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการชุบต่อไปได้ โดยใช้กำหนดค่าของปัจจัยต่างๆของกระบวนการชุบจากสมการความสัมพันธ์นี้ เพื่อควบคุมความหนาของนิเกิลและทองให้ได้ตามเป้าหมายที่กำหนด

ภาษาอังกฤษ

Yang W. H. **และ** Tarng, Y. S. (1998) ทำการศึกษาพารามิเตอร์ของการตัดที่เหมาะสมในกระบวนการกลึง โดยใช้วิธีการของทากูชิ ทั้งออทอกอนอล อะเรย์, อัตราส่วน signal-to-noise (S/N) และการวิเคราะห์การแปรปรวน (ANOVA) ในการตัดเหล็ก S45C ด้วยทังสเตนคาร์ไบด์ รวมถึง ศึกษาอิทธิผลที่มีค่อคุณภาพการตัดในกระบวนกลึงอีกด้วย และผลจากการทดลองสามารถยินยันประสิทธิภาพของการตัดได้

Angsumalin S., Somkiat T. **และ** Napassavong R. (2008) ศึกษาเพื่อปรับปรุงและหากระบวนการล้างที่เป็นมาตรฐาน โดยวัดจากจำนวนชิ้นงานที่มีคราบน้ำมันจากกระบวนการตัด กระบวนการ dipping ได้ถูกออกแบบมาใช้แทนที่กระบวนการล้างแบบเดิม การทดลองได้ออกแบบขึ้นเพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ที่ควบคุมได้ และจากการทดสอบสมมติฐานและ general linear model นั้น พบว่า กระบวนการ dipping process ใน Careclean PC ด้วยถาดพลาสติกแบบมีหมุดมีนัยสำคัญทางสถิติ

Raviraj S., Raghuvir P., Srikanth S.R. **และ** Vasanth K. (2008) ศึกษาเพื่อพัฒนาส่วนประกอบเมทัลเมทริกซ์ (metal matrix) ที่มี discontinuously reinforced เพื่อปรับปรุงความแข็งและความอ่อนตัวของเหล็ก โดยใช้การออกแบบการทดลองของทากูชิและวิธีพื้นผิวผลตอบ ในการศึกษาความเรียบของพื้นผิวในการกลึงของ discontinuously reinforced aluminium composites (DRACs) ที่มีอะลูมิเนียมอัลลอย 6061 เป็นส่วนกระกอบ และมีซิลิคอลคาร์ไบด์15 vol. % ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 μm ภายใต้การตัดแบบแห้ง ผลลัพธ์ที่ได้รวบรวมและทำการวิเคราะห์ด้วย MINITAB15 พารามิเตอร์ในการทดลองประกอบด้วยความเร็วในการตัด อัตราการป้อน และความลึกในการตัด พิจารณาอิทธิพลของพาราเตอร์ในการตัดที่มีต่อความเรียบของพื้นผิว

และหาสภาวะที่เหมาะสมในการตัด จากนั้นวิธีพื้นผิวผลตอบ ถูกใช้เพื่อสร้างสมการกำลังสองของพารามิเตอร์ในการตัดและความเรียบของพื้นผิว จากการทดลอง พบว่า พารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อความเรียบของพื้นผิว คือ อัตราการป้อน รองลงมาคือ ความเร็วในการตัด และมีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ค่าความเรียบด้วยสมการที่สร้างขึ้น

Kadirgama, K., Noor, M.M., Rahman, M.M., Bakar, R.A., **และ** Abou-El-Hossein, K.A., (2009) ศึกษาเพื่อพัฒนาโมเดลทางคณิตศาสตร์ของการกัดแม่พิมพ์ของ AISI ชนิด 618 วิธีการพื้นผิวผลตอบถูกนำมาใช้ในการพยากรณ์อิทธิผลของการกัดแม่พิมพ์ จากความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกระบวนการในการผลิต ซึ่งมีปัจจัย คือ ความเร็วในการตัด อัตราการป้อน ความลึกตัด และความกว้างตัด อิทธิพลของปัจจัยถูกใช้ในการสร้างสมการกำลังหนึ่ง ถึงกำลังสี่ ซึ่งผลลัพธ์แสดงว่า การกลึงมีรอบหมุนเพิ่มขึ้น เมื่อลดความเร็วในการตัด เพิ่มอัตราการป้อน เพิ่มความลึกตัด และเพิ่มความกว้างตัด และจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า สมการกำลังสองมีความแม่นยำมากกว่า และสามารถพยากรณ์การกลึงได้ใกล้เคียง ส่วนสมการกำลังสาม และสมการกำลังสี่ ถูกสร้างขึ้นเพื่อศึกษาปฏิกิริยาระหว่างปัจจัย แบบ 3 ทาง และ 4 ทาง ตามลำดับ แต่พบว่ามีนัยสำคัญน้อยสำหรับทุกตัวแปร

Kadirgama, K., Noor, M.M., Rahman, M.M., Rejab, M.R.M., Haron, C.H.C., **และ** Abou-El-Hossein, K.A. (2009) ศึกษาเพื่อศึกษาความเรียบของพื้นผิวของการ milling mould ของอะลูมิเนียทอัลลอยชนิด 6061-T6 ด้วยมีดตัดคาร์ไบด์ ซึ่งการหาสภาวะที่เหมาะสมของ milling มีความสำคัญต่อการลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายสำหรับการหล่อชิ้นงาน และสร้างสมการเพื่อการพยากรณ์ของความเรียบของพื้นผิวของอะลูมิเนียทอัลลอยชนิด 6061-T6 ด้วยปัจจัยใช้ปัจจัยความเร็วในการตัด อัตราการป้อน ความลึกตัด และความกว้างตัด โดยใช้วิธีการทางสถิติและหาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้วิธีการพื้นผิวผลตอบ จากสมการกำลังหนึ่งพบว่าอัตราการป้อนมีนัยสำคัญมากที่สุด ซึ่งมีอิทธิพลต่อความเรียบของพื้วผิว และในส่วนสมการกำลังสอง ก็ไม่มีปฏิกิริยาระหว่างตัวแปรและผลตอบ

Reddy, B. Sidda; Kumar, J. Suresh; Reddy, K. Vijaya Kumar and Kumari, A.A. (2009) ทำศึกษาโดยใช้วิธีการของทากูชิและวิธีพื้นผิวผลตอบในการหา yield สูงสุดของไบโอดีเซลจาก alkali catalysed transesterification ของน้ำมันเสียที่ใช้ในการอาหาร ใช้ออทอกอนอลอะเรย์ L_9 ของทากูชิ ในการออกแบบการทดลองใช้ พารามิเตอร์ของกระบวนการ คือ อุณภูมิ, เวลา , ปริมาณของเมทานอล และปริมาณของคะตาไลท์ พิจารณาสภาวะที่เหมาะสม yield ของไบโอ

ดีเซล จากอัตราส่วน signal to noise (S/N) สมการกำลังสองสร้างขึ้นจากพารามิเตอร์ของกระบวนการและ yield ของไบโอดีเซล ด้วยวิธีการพื้นผิวผลตอบ และตรวจสอบความแม่นยำของสมการด้วย coefficient of determination (R) พบว่า มีค่า R^2 เท่ากับ 1 ซึ่งสามารถนำไปพยากรณ์ค่าสังเกตค่อนข้างแม่นยำ