การออกแบบและวิเคราะห์การทดลองขั้นพื้นฐาน

Basic Design and Analysis of Experiments

SE-ED
inspiration starts here

รองศาสตราจารย์ศุภชัย นาทะพันธ์

ซีเอ็ด

การออกแบบและวิเคราะห์การทดลองขั้นพื้นฐาน

โดย รองศาสตราจารย์ศุภชัย นาทะพันธ์

สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย © พ.ศ. 2559 โดย รองศาสตราจารย์ศุภชัย นาทะพันธ์
ห้ามคัดลอก ลอกเลียน ดัดแปลง ทำซ้ำ จัดพิมพ์ หรือกระทำอื่นใด โดยวิธีการใดๆ ในรูปแบบใดๆ
ไม่ว่าส่วนหนึ่งส่วนใดของหนังสือเล่มนี้ เพื่อเผยแพร่ในสื่อทุกประเภท หรือเพื่อวัตถุประสงค์ใดๆ
นอกจากจะได้รับอนุญาต

SE-ED
inspiration starts here

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ

ศุภชัย นาทะพันธ์, รศ.
การออกแบบและวิเคราะห์การทดลองขั้นพื้นฐาน.—กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2559.
232 หน้า
1. การออกแบบ. 2. การวิเคราะห์.
I. ชื่อเรื่อง.
003

Barcode (e-book) 9786160841721

ผลิตและจัดจำหน่ายโดย

บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
SE-EDUCATION PUBLIC COMPANY LIMITED

เลขที่ 1858/87-90 ถนนเทพรัตน แขวงบางนาใต้ เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260
โทรศัพท์ 0-2739-8000

หากมีคำแนะนำหรือติชม สามารถติดต่อได้ที่ comment@se-ed.com

คำนำ

ในงานบริหารทางธุรกิจหรืองานอุตสาหกรรม นักบริหาร นักวิเคราะห์ วิศวกร และนักวิทยาศาสตร์ต้องมีการวิเคราะห์ว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อผลลัพธ์ที่ต้องการศึกษา โดยสร้างแบบจำลองทางสถิติเพื่อการวิเคราะห์หรือการทดลองกลุ่มตัวอย่าง แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองตามแบบจำลองทางสถิติมาพิจารณาเพื่อปรับปรุงระดับของปัจจัยให้เหมาะสม หรือพัฒนาการปฏิบัติงาน หรือตัดสินใจทางธุรกิจ ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการเรียบเรียงหนังสือการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองขั้นพื้นฐานคือ การให้แนวคิด *เบื้องต้น* ในการประยุกต์สถิติให้ถูกต้องกับรูปแบบของปัญหาที่ผลลัพธ์มีตัววัดผลการทดลองเพียงตัวเดียว ภายใต้ปัจจัยที่ส่งผลต่อผลลัพธ์ไม่เกิน 2 ปัจจัย เพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์และตัดสินใจในสถิติศาสตร์อิงพารามิเตอร์เท่านั้น สถิติศาสตร์อิงพารามิเตอร์จะเป็นการทดสอบสมมติฐานตามประชากรที่มีการแจกแจงแบบมีรูปแบบ ขณะที่สถิติศาสตร์ไม่อิงพารามิเตอร์จะใช้วิเคราะห์ข้อมูลที่ไม่มีรูปแบบการแจกแจง ซึ่งความน่าเชื่อถือจะต่ำกว่าสถิติศาสตร์อิงพารามิเตอร์ ส่งผลให้ต้องใช้จำนวนตัวอย่างมากกว่า

SE-ED
inspiration starts here

เนื้อหาของหนังสือกล่าวถึง การประยุกต์สถิติให้เหมาะกับรูปแบบของปัญหา โดยผู้อ่านควรทำความเข้าใจถึงวิธีการออกแบบการทดลองว่า ต้องมีการวางแผนก่อนการทดลองอย่างไร และหลักการออกแบบการทดลองมีอะไรบ้าง จึงจะทำให้แบบที่เลือกมานั้นเหมาะกับลักษณะของข้อมูล (บทที่ 1), เครื่องมือทางสถิติสำหรับการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง (บทที่ 2) ซึ่งสามารถอ่านข้ามไปได้ ถ้าผู้อ่านมีความเข้าใจพื้นฐานทางสถิติอยู่แล้ว, การออกแบบและวิเคราะห์การทดลองแบบหนึ่งปัจจัยหรือแบบปัจจัยเชิงเดี่ยว (บทที่ 3) เป็นบทพื้นฐานที่สำคัญที่ผู้อ่านไม่ควรอ่านข้าม เพราะบทที่ 3 จะอธิบายกระบวนการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองในบทที่ 1 ให้ผู้อ่านเกิดความกระจ่างได้มากยิ่งขึ้น, การออกแบบและวิเคราะห์การทดลองที่มีการบล็อกปัจจัยรบกวนที่ผู้ทดลอง

สามารถควบคุมได้ (บทที่ 4) แต่ยังคงเหลือหนึ่งปัจจัยให้วิเคราะห์ถึงผลกระทบต่อผลลัพธ์ที่ต้องการศึกษา, การออกแบบหลายปัจจัยหรือปัจจัยเชิงตัวประกอบ (บทที่ 5) ที่ไม่เกินสองปัจจัย จะเพิ่มความซับซ้อนในการวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลลัพธ์ที่ต้องการศึกษา เนื่องจากมีปัจจัยมากกว่าหนึ่งปัจจัยนอกเหนือไปจากการวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของปัจจัยหลัก ซึ่งจะทำให้เข้าใจถึงอิทธิพลของปัจจัยที่มีต่องานธุรกิจหรืองานอุตสาหกรรม

อย่างไรก็ตาม การออกแบบและวิเคราะห์การทดลองอาศัยการสร้างแบบจำลองทางสถิติเพื่อการวิเคราะห์ถึงปัจจัยต่างๆ ที่ต้องการศึกษา ภายใต้สมมติฐานที่ว่า ค่าสังเกตมีการแจกแจงปกติและเป็นอิสระต่อกัน ด้วยค่าความแปรปรวนที่เท่ากันสำหรับแต่ละระดับปัจจัย ดังนั้น ผู้อ่านจึงต้องให้ความสำคัญต่อการตรวจสอบแบบจำลองทางสถิติในทุกการออกแบบ และการสร้างตัวแบบจำลองด้วยวิธีการถดถอย (บทที่ 6) ซึ่งใช้สำหรับทำนายผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้นจากแบบจำลองทางสถิติ

หนังสือเล่มนี้สามารถทำความเข้าใจได้ง่าย เนื่องจากมีตัวอย่างช่วยเสริมความเข้าใจสำหรับแต่ละทฤษฎีในแต่ละบท นอกจากนั้นยังมีแบบฝึกหัดท้ายบทเพื่อให้ผู้อ่านสามารถฝึกฝนได้ด้วยตนเองโดยมีวิธีทำพร้อมเฉลยคำตอบสำหรับแต่ละข้อ

SE-ED
inspiration never stops here

รองศาสตราจารย์คุภชัย นาทะพันธ์

สารบัญ

บทที่ 1 กระบวนการทางสถิติที่จำเป็นต่อการตัดสินใจ 9

1.1 สถิติสำหรับผู้บริหาร *9*

1.2 การทดลอง *10*

1.3 การออกแบบการทดลอง *11*

1.3.1 วิธีการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง *14*

1.3.2 หลักการออกแบบการทดลอง *24*

แบบฝึกหัด *26*

บทที่ 2 สถิติสำหรับการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง 27

2.1 การนำเสนอข้อมูล *27*

2.1.1 กราฟแบบสี่เหลี่ยม *28*

2.2 การแจกแจงการสุ่มตัวอย่าง *30*

2.2.1 การแจกแจงปกติ *31*

2.2.2 การแจกแจงที *37*

2.2.3 การแจกแจงไคกำลังสอง *39*

2.2.4 การแจกแจงเอฟ *41*

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล *43*

2.3.1 การวิเคราะห์ค่าแนวโน้มสู่ศูนย์กลางของข้อมูล *43*

2.3.2 การวิเคราะห์ค่าการกระจายของข้อมูล *44*

SE-ED
inspiration starts here

2.4 การทดสอบสมมติฐาน 46
2.5 การประมาณค่าแบบช่วงของค่าเฉลี่ย 53
แบบฝึกหัด 57

บทที่ 3 การทดลองปัจจัยเชิงเดี่ยว 59
3.1 การทดลองปัจจัยเชิงเดี่ยวโดยการสุ่มอย่างสมบูรณ์ 59
3.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน 61
3.2.1 การวิเคราะห์แบบจำลองผลกระทบคงที่ 64
3.2.2 การวิเคราะห์แบบจำลองผลกระทบแบบสุ่ม 74
3.3 การตรวจสอบแบบจำลอง 76
3.3.1 การแจกแจงการสุ่มตัวอย่างของค่าเฉลี่ยเป็นแบบปกติ 77
3.3.2 ความเป็นอิสระของค่าตกค้าง 78
3.3.3 ความแปรปรวนของแต่ละระดับปัจจัยเท่ากัน 79
3.4 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระดับปัจจัย 82
3.5 แบบจำลองการถดถอย 84
3.6 ข้อแนะนำสำหรับการกำหนดจำนวนทดสอบ 86
แบบฝึกหัด 87

บทที่ 4 การทดลองแบบบล็อก 91
4.1 การทดลองแบบบล็อกโดยการสุ่มอย่างสมบูรณ์ 91
4.2 การทดลองแบบบล็อกหนึ่งกลุ่ม 92
4.3 การตรวจสอบแบบจำลองสำหรับการออกแบบการทดลองแบบบล็อกหนึ่งกลุ่ม 100
4.4 การทดลองแบบบล็อกสองกลุ่ม 103
4.5 การตรวจสอบแบบจำลองสำหรับการออกแบบการทดลองแบบบล็อกสองกลุ่ม 109
แบบฝึกหัด 113

SE-ED
inspiration starts here

บทที่ 5 การทดลองปัจจัยเชิงตัวประกอบ 115

5.1 การทดลองแฟกทอเรียล *115*

5.2 การทดลองแฟกทอเรียลในทุกระดับปัจจัย *119*

5.2.1 กรณีการออกแบบที่แต่ละปัจจัยมีจำนวนระดับปัจจัยเท่ากัน *120*

5.2.2 กรณีการออกแบบที่ปัจจัยมีจำนวนระดับปัจจัยไม่เท่ากันทั้งหมด *126*

5.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน *126*

5.4 การตรวจสอบแบบจำลอง *138*

แบบฝึกหัด *141*

บทที่ 6 การพยากรณ์ด้วยวิธีการถดถอย 143

6.1 การถดถอยเชิงเส้น *144*

6.1.1 การตรวจสอบคุณสมบัติของตัวประมาณ $\hat{\beta}_0$ และ $\hat{\beta}_1$ *149*

6.1.2 การหาค่าความแปรปรวน $\hat{\beta}_0$ และ $\hat{\beta}_1$ *151*

6.1.3 การทดสอบสมมติฐานของแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น *152*

6.1.4 การประมาณค่าแบบช่วงเกี่ยวกับค่า β_1 และ β_0 *160*

6.2 การถดถอยเชิงพหุนาม *162*

6.2.1 การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย *164*

6.3 การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุคูณ *170*

6.3.1 การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย *171*

6.4 สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ *173*

แบบฝึกหัด *176*

ภาคผนวก ก. ตารางสถิติ 179

ตาราง ก.1 พื้นที่เส้นโค้งปกติมาตรฐาน *180*

ตาราง ก.2 ค่าวิกฤตของการแจกแจงที *182*

ตาราง ก.3 ค่าวิกฤตของการแจกแจงไคกำลังสอง *183*

ตาราง ก.4 ค่าวิกฤตของการแจกแจงเอฟ *184*

SE-ED
inspiration starts here

ภาคผนวก ข. การตรวจสอบแบบจำลอง 189

ตาราง ข.1 แบบฟอร์มสำหรับตรวจสอบการแจกแจงปกติ *190*

ตาราง ข.2 แบบฟอร์มสำหรับตรวจสอบการแจกแจงปกติด้วยค่ามาตรฐาน (Z) *190*

ตาราง ข.3 แบบฟอร์มสำหรับตรวจสอบการเป็นอิสระต่อกัน *191*

ตาราง ข.4 แบบฟอร์มสำหรับตรวจสอบความแปรปรวน *191*

เฉลยแบบฝึกหัด 193

แบบฝึกหัดบทที่ 1 *193*

แบบฝึกหัดบทที่ 2 *195*

แบบฝึกหัดบทที่ 3 *201*

แบบฝึกหัดบทที่ 4 *213*

แบบฝึกหัดบทที่ 5 *214*

แบบฝึกหัดบทที่ 6 *218*

ดัชนี 227

บรรณานุกรม 231

SE-ED
inspiration starts here

กระบวนการทางสถิติที่จำเป็นต่อการตัดสินใจ

1

สถิติ (Statistics) เป็นส่วนหนึ่งของคณิตศาสตร์ที่ช่วยแปลข้อมูลเป็นสารสนเทศที่มีประโยชน์ต่อผู้มีหน้าที่ในการตัดสินใจ (กรณีที่ข้อมูลมีจำนวนมาก ผู้บริหารควรใช้โปรแกรมทางสถิติช่วยคำนวณเพื่อลดเวลาที่ต้องใช้ในการคำนวณ) กล่าวได้ว่า สถิติช่วยผู้บริหารจัดการธุรกิจในการตัดสินใจปัญหาจากข้อมูลที่ได้รับการควบคุม โดยข้อมูลก่อนการตัดสินใจในหนังสือเล่มนี้ได้จาก ***การทดลอง*** เท่านั้น (ไม่ใช่จากการสำรวจ, การสังเกต และการคัดลอกจากเอกสาร) การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง พร้อมทั้งนำเสนอเป็นกราฟที่เหมาะสมต่อการตัดสินใจของผู้บริหารว่า ต่อไปธุรกิจควรจะดำเนินการอย่างไรจึงจะทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับการปรับปรุงคุณภาพได้อย่างถูกต้องและน่าเชื่อถือ

SE-ED
inspiration starts here

1.1 สถิติสำหรับผู้บริหาร

ในปัจจุบัน สถิติมีบทบาทเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากต่ออุตสาหกรรมไม่ว่าจะเป็นการนำเสนอ, การบรรยายผลการทดลอง, การอนุมานพารามิเตอร์ของประชากรจากสารสนเทศที่ได้รับจากกลุ่มตัวอย่าง และการพยากรณ์ผลลัพธ์อย่างน่าเชื่อถือ สถิติสำหรับผู้บริหาร (Statistics for Managers) หมายความว่าผู้บริหารต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอนการปฏิบัติ และวิธีการปฏิบัติในการประยุกต์สถิติก่อนการวิเคราะห์ตามหลักการทางสถิติ รวมถึงผู้บริหารต้องให้ความสำคัญกับข้อมูลและเครื่องมือทางสถิติที่จำเป็นต่อการปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อให้ผลลัพธ์มีความน่าเชื่อถือจึงจะช่วยปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพได้อย่างมีประสิทธิผล ขั้นตอนในการประยุกต์สถิติ

1. ผู้บริหารควรทราบสารสนเทศที่ต้องการรู้ก่อนล่วงหน้าว่า อะไรคือผลลัพธ์ที่ต้องการภายหลังการวิเคราะห์ตามรูปแบบการทดลองที่ต้องการ

2. ผู้บริหารต้องวางแผนการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกิดจากการทดลอง เช่น การทดลองอ้างอิงมาตรฐานอะไร (ถ้ามี), การเก็บรวบรวมข้อมูลควรรวบรวมอะไร, การเก็บรวบรวมควรรวบรวมเมื่อไหร่, การเก็บรวบรวมควรจัดเก็บที่ไหน (ง่ายต่อการสืบค้น), ใครควรเป็นผู้เก็บรวบรวมข้อมูล (ผู้ทำการทดลอง), จำนวนการทดลองต้องมีอย่างน้อยเท่าไร เป็นต้น เพื่อความถูกต้องของสารสนเทศ, ความถูกต้องต่อการวิเคราะห์ข้อมูล และความสะดวกต่อการควบคุมข้อมูลให้ปลอดภัย ข้อมูลที่สำคัญที่เหมาะสมจึงจะเพียงพอต่อการตัดสินใจในแต่ละสถานการณ์ตามการปรับเปลี่ยนปัจจัย (Factor) ก่อนการผลิตให้มีค่าเท่าเดิม, เพิ่มขึ้น หรือลดลง

3. ผู้บริหารจึงจะเริ่มการวางแผนก่อนการทดลอง (ศึกษาได้ในหัวข้อที่ 1.3.1)

1.2 การทดลอง

การทดลอง (Experiments) เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการตัดสินใจโดยอาศัยการสังเกตในอุตสาหกรรม, ในงานวิศวกรรม และในงานวิทยาศาสตร์ เมื่อผู้วิเคราะห์ต้องการทราบถึงผลของปัจจัยที่มีต่อกระบวนการผลิตหรือระบบการผลิต โดยแท้จริงแล้วการทดลองคือ การทดสอบหลายๆ ครั้ง (Series of Tests) โดยการเปลี่ยนค่าของตัวแปรของส่วนนำเข้า (Input Variable) ของกระบวนการผลิตหรือระบบการผลิต จากนั้นสังเกตและให้เหตุผลต่อการเปลี่ยนแปลงผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น (Output Response)

SE-ED
inspiration starts here

ตัวอย่างเช่น การตัดสินใจถึงอุณหภูมิบริเวณหัวดาย (ดังแสดงในรูปที่ 1.2) ของเครื่องเป่าขึ้นรูปพลาสติกที่องศาต่างๆ เพื่อผลิตขวดนมพลาสติก ทำให้ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักของขวดนมพลาสติกอยู่ในระดับที่ต้องการ (22.75 ± 0.25 กรัม) โดยแต่ละระดับอุณหภูมิที่ทดลองจะถูกทำการทดลองน้ำหนักของขวดนมพลาสติกด้วยจำนวนทดสอบ (n) ที่เท่ากัน ผลลัพธ์จากการทดลองจะถูกใช้ตัดสินว่าอุณหภูมิเท่าใดจึงจะทำให้ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักของขวดนมพลาสติกอยู่ในระดับที่ต้องการ

การตัดสินใจถึงการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิที่ปรับเปลี่ยนมี 2 ระดับปัจจัย (2 Treatments) คือ 150 องศาเซลเซียส และ 160 องศาเซลเซียส การออกแบบ การทดลอง และการวิเคราะห์จะใช้การทดสอบสมมุติฐาน (Tests of Hypotheses) (ดูรายละเอียดจากศุภชัย (2554), บทที่ 8) เพื่อตัดสินว่า อุณหภูมิ (ทั้ง 2 ระดับปัจจัย) มีผลต่อค่าเฉลี่ยของน้ำหนักของขวดนมพลาสติกหรือไม่ แต่ถ้าระดับปัจจัยมีมากกว่า 2 ระดับ กล่าวคือ 150 องศาเซลเซียส, 160 องศาเซลเซียส และ 170 องศาเซลเซียส (3 Treatments) แล้วการออกแบบ การทดลอง และการวิเคราะห์จะต้องอาศัยการวิเคราะห์

ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) เพื่อตัดสินว่าอุณหภูมิ (ทั้ง 3 ระดับปัจจัย) มีผลต่อค่าเฉลี่ยของน้ำหนักของขวดนมพลาสติกหรือไม่

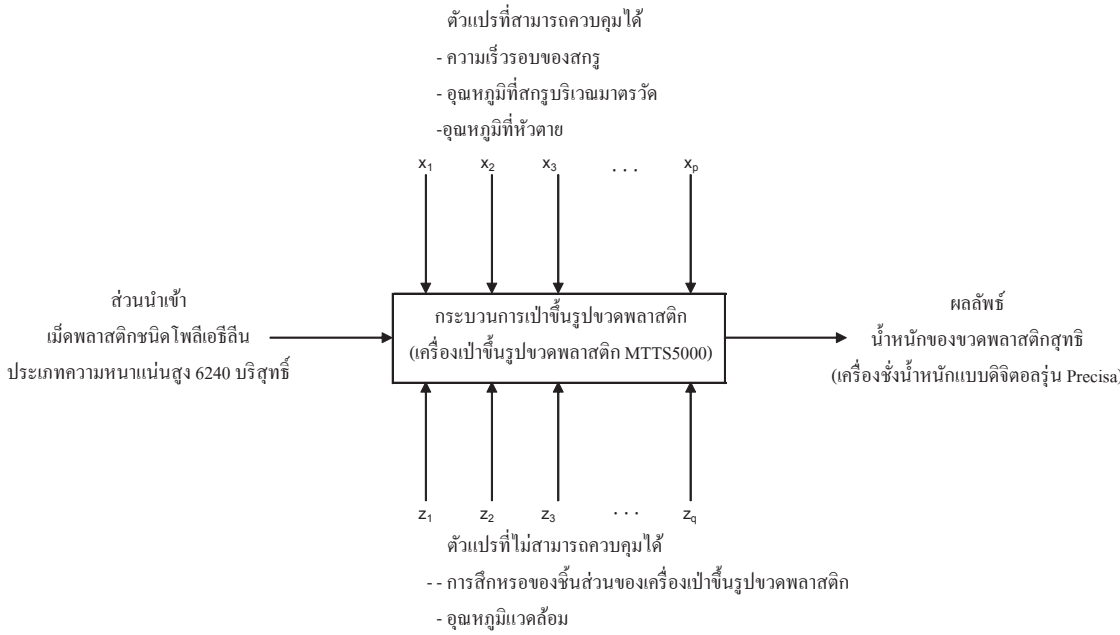
1.3 การออกแบบการทดลอง

เซอร์ โรนัลด์ เอ. ฟิชเชอร์ (Sir Ronald A. Fisher) เป็นผู้เริ่มประยุกต์วิธีการทางสถิติในการออกแบบการทดลองทางอุตสาหกรรมครั้งแรก ประมาณ พ.ศ.2473 ที่อุตสาหกรรมทอผ้าและขนสัตว์ ซึ่งเขารับผิดชอบในงานด้านการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยหลักการทางสถิติ

ฟิชเชอร์พัฒนาวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนให้เป็นวิธีพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์ ด้วยหลักทางสถิติสำหรับแบบการทดลองที่ถูกออกแบบไว้ ดังนั้น เขาจึงได้รับตำแหน่งศาสตราจารย์ที่มหาวิทยาลัยลอนดอนในปี พ.ศ. 2476 จากนั้นเขาได้ย้ายมาทำงานที่มหาวิทยาลัยแคมบริดจ์ และเป็นอาจารย์พิเศษช่วยสอนในอีกหลายมหาวิทยาลัยทั่วโลก หลังสงครามโลกครั้งที่ 2 วิธีการออกแบบการทดลองถูกนำไปประยุกต์ทั้งในสหรัฐอเมริกาและยุโรปตะวันตกในกลุ่มอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

SE-ED
inspiration starts here

การออกแบบการทดลอง (Experimental Design) ทางสถิติ มีประโยชน์ต่องานวิศวกรรมสำหรับการปรับปรุงและพัฒนาการปฏิบัติงานของกระบวนการผลิตให้แกร่ง (Robust Process) วิศวกรต้องทราบถึง ส่วนนำเข้า, ตัวแปรที่สามารถควบคุมได้, ตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ และผลลัพธ์ของกระบวนการผลิต เพื่อศึกษาว่าตัวแปรอิสระ (Independent Variables) หรือปัจจัย (Factors) ที่สามารถควบคุมได้ที่ศึกษานั้นส่งผลกระทบหรือไม่ต่อตัวแปรตาม (Dependent Variable) หรือตัวแปรที่ใช้วัดผลการทดลอง ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองดังรูปที่ 1.1

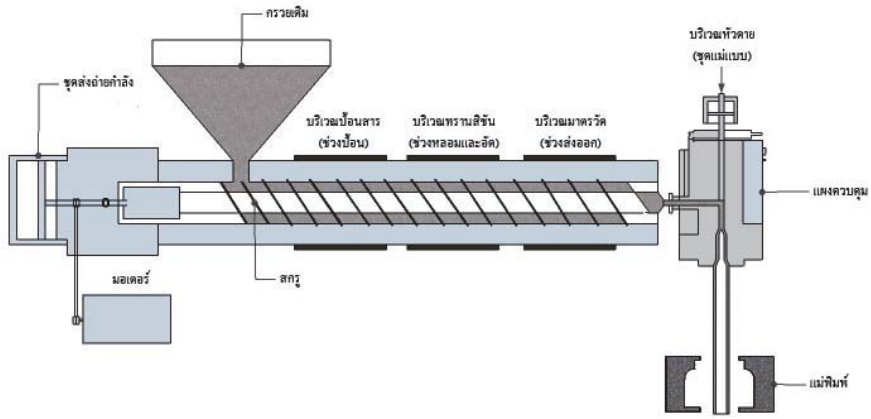


รูปที่ 1.1 แบบจำลองของกระบวนการเป่าขึ้นรูปขวดพลาสติก

SE-ED
inspiration starts here

ขณะที่ในการทดลองปกติที่ไม่ได้ประยุกต์การออกแบบการทดลอง ผู้ทดลองเลือกทดลองโดยศึกษาจากการปรับระดับปัจจัย (Treatments) เท่านั้น จากรูปที่ 1.1 แสดงถึงแบบจำลองของกระบวนการเป่าขึ้นรูปขวดพลาสติกที่ประยุกต์การออกแบบการทดลอง แบบจำลองนี้เปรียบเสมือนการนำ คน (People), เครื่องจักร (Machines), วิธีการการผลิต (Methods), วัตถุดิบ (Material), เครื่องมือวัด (Measurements) มารวมเข้าด้วยกัน เม็ดพลาสติกคือส่วนนำเข้า (Input) ในกระบวนการผลิต (Process) โดยมีผลลัพธ์ (Output) หรือผลิตภัณฑ์จากการทดลอง (y) คือขวดพลาสติก ซึ่งผู้ทำการทดลองต้องศึกษากระบวนการผลิตว่า อะไรเป็นตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ ($x_1, x_2, x_3, ...x_p$) จึงจะเรียกว่า ปัจจัย (Factors)

ตัวอย่างเช่น เครื่องเป่าขึ้นรูปขวดพลาสติกดังแสดงในรูปที่ 1.2 มีปัจจัยคือ ความเร็วรอบสกรู อุณหภูมิที่สกรูบริเวณมาตรวัด และอุณหภูมิที่หัวดาย เป็นต้น และอะไรเป็นตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ ($z_1, z_2, z_3, ...z_q$) เช่น การสึกหรอ, อุณหภูมิแวดล้อม เป็นต้น ซึ่งจะส่งผลต่อค่าคลาดเคลื่อนของค่าสังเกตที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 1.2 เครื่องเป่าขึ้นรูปขวดนมพลาสติก

วัตถุประสงค์ของการทดลองจะประกอบไปด้วย

1. ระบุตัวแปร (x) ที่มีผลมากต่อผลลัพธ์ (y)
2. ระบุว่าจะตั้งค่า x อย่างไร เพื่อที่จะให้ได้ค่า y ที่ต้องการ
3. ระบุว่าจะตั้งค่า x อย่างไร เพื่อที่จะได้ค่าความแปรผันของ y น้อยที่สุด
4. ระบุว่าจะตั้งค่า x อย่างไร โดยตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ (z) ส่งผลน้อยที่สุด

SE-ED
inspiration starts here

การออกแบบการทดลอง เป็นขั้นตอนที่สำคัญในกระบวนการทางวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ เพื่อใช้ในการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการผลิต ซึ่งมักจะพบมากในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ และการจัดการกระบวนการผลิต หรือแม้กระทั่งการประยุกต์ในการค้นหาสูตรในการเตรียมส่วนผสมอาหารที่เหมาะสมเพื่อพิมพ์ที่บรรจุภัณฑ์ ส่งผลให้ผู้บริโภคสามารถปรุงอาหารได้รูปลักษณ์ตามอุณหภูมิและเวลาที่กำหนด ประโยชน์ของการออกแบบการทดลองในการพัฒนากระบวนการผลิตคือ การลดความแปรปรวนของกระบวนการผลิตให้เข้าใกล้กับเป้าหมายที่ต้องการ การลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงและพัฒนา และการลดต้นทุนการผลิต

ผลที่ได้จากการออกแบบการทดลองในกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม คือ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความน่าเชื่อถือสูงกว่าคู่แข่งขัน ทำให้ต้นทุนในการดำเนินการลดลง และทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ถูกออกแบบ พัฒนา และผลิตได้ในเวลาที่น้อยลง โดยการหาพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์จริงๆ

1.3.1 วิธีการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง

ในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง ผู้ทดลองต้องเข้าใจถึงวิธีการวางแผนก่อนการทดลอง (Pre-experimental Planning) ซึ่งต้องทำเป็นทีม, การทดลอง (Conducting Experiments) ที่จะทำให้เข้าใจกระบวนการผลิตว่าเป็นไปตามสมมติฐานใดที่ได้คาดการณ์ไว้ และการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากผลการทดลองดังต่อไปนี้

1. การกำหนดปัญหา สามารถกำหนดได้จากการมีสมมติฐานที่จูงใจให้เกิดการทดลอง หรือกำหนดจากวัตถุประสงค์ของกลุ่มย่อย โดยที่คณะกรรมการในกลุ่มย่อยจะประกอบไปด้วยพนักงานจากหน่วยงานต่างๆ (เช่น การตลาด, การประกันคุณภาพ, การผลิต, วิศวกรรม, บริหาร เป็นต้น ถ้าเป็นไปได้ควรมีลูกค้าและพนักงานหน้าเครื่องรวมอยู่ด้วย) ซึ่งเกี่ยวข้องกับผลลัพธ์ที่ต้องการวิเคราะห์ การกำหนดปัญหาที่ชัดเจนจะทำให้สามารถแก้ปัญหาที่แท้จริงได้ ตัวอย่างเช่น

- ปัญหาน้ำหนักของขวดนมพลาสติกไม่เป็นไปตามข้อกำหนด (22.75 ± 0.25 กรัม)
- ปัญหาระดับความเข้มของเมล็ดกาแฟไม่คงที่ที่โรงคั่วเมล็ดกาแฟ อาจกำหนดเป็นปัญหาเพื่อให้วัดค่าได้คือ สีของเมล็ดกาแฟที่คั่วแต่ละครั้งแตกต่างกัน (สมมติว่า สายพันธุ์เดียวกัน และสถานที่เพาะปลูกเหมือนกัน)
- ปัญหาอะลูมิเนียมผสมมีค่าความแข็งไม่ได้ตามมาตรฐาน ซึ่งอาจเกิดจากชิ้นทดสอบผิดปกติเพราะผู้ทดสอบอาจไม่ทราบว่า การตัดตัวอย่างชิ้นทดสอบจะทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเนื่องจากความร้อน (ทั้งการคืนรูปผลึก การคืนตัว และการหลอมละลาย) ส่งผลให้จุดวัดค่าความแข็งมีค่าความแข็งสูงกว่าปกติ

SE-ED
inspiration starts here

2. การกำหนดปัจจัย (Factors) และระดับปัจจัย (Treatments หรือ Levels) ผู้ทดลองต้องกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อการทดลอง จากนั้นกำหนดระดับปัจจัยที่จะทำการทดลองจากประสบการณ์ในกระบวนการผลิตที่มีอยู่อย่างสมเหตุผล

การออกแบบการทดลองถูกใช้อย่างมีลำดับขั้นตอน กล่าวคือ การออกแบบการทดลองครั้งแรกต่อกระบวนการผลิตที่มีความซับซ้อน มักออกแบบให้กรองปัจจัยให้ลดลงเพื่อหาปัจจัยที่มีความสำคัญที่สุดจากปัจจัยที่สามารถควบคุมได้จำนวนมาก ผู้ทดลองควรกำหนดจำนวนระดับปัจจัยให้น้อยประมาณ 2 ระดับปัจจัย เมื่อทราบถึงปัจจัยที่มีผลแล้ว การออกแบบการทดลองครั้งที่สองกระทำเพื่อหาว่า ในแต่ละปัจจัยนั้นควรจะใช้ระดับปัจจัยเท่าใด ผู้ทดลองควรกำหนดจำนวนระดับ

ปัจจัยให้ละเอียดมากขึ้นกว่าเดิมในพิสัยของระดับปัจจัยนั้นๆ เพื่อจะได้เรียนรู้ว่าปัจจัยที่สำคัญนั้นควรประยุกต์ระดับปัจจัยเท่าไรจึงจะให้ค่าของผลลัพธ์ดีที่สุด

สิ่งสำคัญที่ผู้ทดลองต้องตระหนักคือ ปัจจัยต่างๆ ที่กำหนดขึ้นนั้นจะควบคุมให้ได้ค่าตามที่ต้องการได้อย่างไร และจะวัดค่าปัจจัยอย่างไร ตัวอย่างเช่น

- *การเป่าขึ้นรูปขวดนมพลาสติก* พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อน้ำหนักของขวดนมพลาสติกมี 3 ปัจจัยเท่านั้นคือ อุณหภูมิที่สกรูบริเวณมาตรวัด (180, 190 และ 200 องศาเซลเซียส), อุณหภูมิที่หัวดาย (150, 160 และ 170 องศาเซลเซียส) และความเร็วรอบสกรู (13.5, 14.5 และ 15.5 รอบต่อนาที)
- *การคั่วกาแฟ* วิศวกรได้กำหนดปัจจัยที่มีผลต่อสีของเมล็ดกาแฟไว้ 5 ตัวด้วยกัน คือ ปริมาณที่จะคั่ว, ความชื้นของเมล็ดกาแฟก่อนคั่ว, อุณหภูมิ, เวลา และความเร็วรอบของหม้อคั่ว วิศวกรต้องกำหนดพิสัยของระดับปัจจัยสำหรับแต่ละตัวแปร (ปัจจัย) แล้วจึงกำหนดระดับปัจจัยสำหรับแต่ละตัวแปรที่จะทำการทดลอง พบว่า ความรู้สำหรับกระบวนการคั่วกาแฟเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับขั้นตอนนี้ เพราะต้องอาศัยประสบการณ์ เช่น ปัจจัยใดมีผลต่อการคั่วกาแฟ เมื่อไหร่เมล็ดกาแฟจึงจะสุก เป็นต้น
- *การชุบแข็ง* พบว่า สื่อที่ใช้ในการชุบแข็งมีผลต่อความแข็งของอะลูมิเนียมผสม โดยมีระดับปัจจัย 3 ระดับคือ สื่อน้ำ สื่อน้ำมัน และสื่อน้ำเกลือ

SE-ED
inspiration starts here

จากตัวอย่างจะพบว่า การกำหนดระดับของปัจจัยไม่จำเป็นต้องเป็นตัวเลข ดังแสดงในตัวอย่างการชุบแข็ง

3. การกำหนดตัวแปรที่ใช้วัดผลการทดลองรวมถึงวิธีที่ต้องใช้ในการตรวจวัด ซึ่งตัวแปรที่ใช้วัดผลการทดลอง (Response Variable) *สำหรับหนังสือเล่มนี้ (ขั้นพื้นฐาน)* นั้น จะพิจารณาตัวแปรเพียงตัวเดียวที่จะให้สารสนเทศที่เป็นประโยชน์ต่อกระบวนการที่ศึกษาตามเป้าหมายที่องค์กรต้องการ ประกอบด้วย ค่าที่น้อยที่สุด (Minimized Value), ค่าที่มากที่สุด (Maximized Value) และค่าที่บรรลุเป้าหมาย (Target Value) ตัวอย่างเช่น

- น้ำหนักของขวดนมพลาสติก
- ระดับของสีเฉลี่ยของเมล็ดกาแฟที่ถูกคั่ว
- ค่าความแข็งมากที่สุดของอะลูมิเนียมผสมที่ผ่านกระบวนการชุบแข็ง

สมรรถภาพของเครื่องวัด (Gauge Capability) มักจะเป็นปัจจัยหลักที่สามารถกำหนดเป็นตัวแปรที่ใช้วัดผลการทดลอง เนื่องจากว่า ถ้าสมรรถภาพของเครื่องวัดไม่เพียงพอแล้ว ผลลัพธ์ที่วัดได้จะเกิดค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการวัด (Measurement Error) ของเครื่องวัดดังกล่าวสูง แต่ถ้าต้องการวิเคราะห์ ผู้ทดลองต้องเพิ่มจำนวนครั้งในการทดลองแต่ละระดับปัจจัย แล้วใช้ค่าเฉลี่ยแทนตัวแปรที่ใช้วัดผลการทดลอง

4. การเลือกแบบที่ใช้ทำการทดลอง จะส่งผลต่อการกำหนดจำนวนการทดลอง (Sample Size หรือ Number of Replicates) และกลุ่มที่ถูกทดลองภายใต้สภาวะการทดลองเหมือนกัน (Blocking) ซึ่งการเลือกแบบต้องพิจารณาจากวัตถุประสงค์ของการทดลองและต้นทุนที่ต้องใช้ในการทดลอง เพื่อให้เข้าใจมากยิ่งขึ้นจะอธิบายตัวอย่างปัญหา ดังนี้

ปัญหาการเป่าขึ้นรูปขวดนมพลาสติกให้ได้น้ำหนักขวดนมตามข้อกำหนด พบว่า การผลิตต้องควบคุม 5 ปัจจัยคือ อุณหภูมิที่สกรูบริเวณป้อนสาร, อุณหภูมิที่สกรูบริเวณทรานสิชัน, อุณหภูมิที่สกรูบริเวณมาตรวัด, อุณหภูมิที่หัวดาย และความเร็วรอบสกรู (ปุ่มควบคุมที่หน้าเครื่อง) แต่จากวิเคราะห์ข้อมูลในอดีตของวิศวกร สามารถลดต้นทุนในการทดลองได้โดยการตัด 2 ปัจจัยทิ้ง (กำหนดให้มีค่าคงที่ทั้ง 2 ปัจจัย) ดังนั้น คงเหลือเพียง 3 ปัจจัยเท่านั้นที่มีนัยสำคัญต่อน้ำหนักของขวดนมพลาสติก คือ อุณหภูมิที่สกรูบริเวณมาตรวัด, อุณหภูมิที่หัวดาย และความเร็วรอบสกรู

SEED
inspiration starts here

วิธีการเลือกแบบการทดลองมี 3 วิธีดังต่อไปนี้

4.1 วิธีการคาดเดา (Guess Approach) วิธีการนี้เป็นที่นิยมใช้ของวิศวกรและนักวิทยาศาสตร์ เริ่มจากการกำหนดระดับปัจจัยของแต่ละปัจจัยโดยไม่มีกฎเกณฑ์ขึ้นมาทดลองก่อน ซึ่งเรียกว่า ระดับปัจจัยเริ่มต้น (Starting Point หรือ Baseline) เช่น การเลือกสภาวะในการชุบเคลือบผิวสายรัดโลหะโดยใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้า 4.5 โวลต์ ภายในเวลา 45 นาที โดยเติมสายรัดโลหะลงบ่อชุบในปริมาณ 16 กิโลกรัม จะทำให้ได้ค่าความหนาของสังกะสีเป็น 2.3 ไมโครเมตร ระหว่างทำการทดลองได้อาศัยประสบการณ์ในการปรับแรงเคลื่อนไฟฟ้าเพิ่มเป็น 5 โวลต์เพื่อให้ค่าความหนาเพิ่มเข้าใกล้เป้าหมายที่ 3 ± 0.5 ไมโครเมตร ส่งผลให้ความหนาของสังกะสีเพิ่มเป็น 2.85 ไมโครเมตร

จากนั้น การทดลองรอบที่สองปรับเวลาเพิ่มเป็น 50 นาที ขณะที่ปัจจัยอื่นๆ ไม่เปลี่ยนแปลง แล้วพิจารณาความหนาของสังกะสีครั้งที่สอง (โดยที่ระดับปัจจัยของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนไปก่อนหน้านี้แล้ว) ครั้งที่สามก็ลองเปลี่ยนค่าของระดับปัจจัยตัวอื่นต่อไป (โดยที่ระดับปัจจัยของแรงเคลื่อนไฟฟ้าและเวลาเปลี่ยนไปแล้ว) แล้วพิจารณาความหนาของสังกะสีของสายรัดโลหะเช่นเดิม

รอบต่อๆ ไปก็ทำเช่นเดียวกันจนสิ้นสุดการทดลอง (สมมุติว่าทดลอง 5 ครั้ง) ซึ่งอาจจะทำให้ความหนาของสังกะสีที่ได้ในครั้งหลังเป็น 3 ± 0.5 ไมโครเมตร

วิธีนี้เหมาะสำหรับผู้ทดลองที่มีความรู้ทางทฤษฎีในปัญหาที่ต้องการศึกษาเท่านั้น

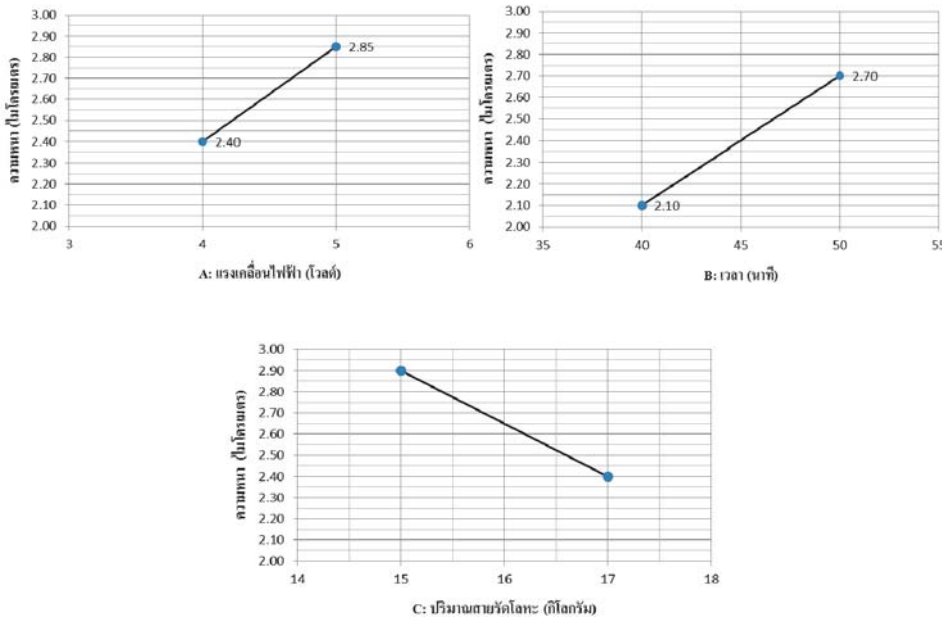
ข้อเสียของวิธีนี้คือ การเลือกระดับปัจจัยในครั้งแรกอาจไม่ได้ผลลัพธ์ที่สามารถแก้ปัญหาได้ นั่นคือการคาดเดาต้องเกิดขึ้นหลายครั้ง ส่งผลให้เสียเวลามากในการทดลอง และอาจไม่ได้ผลลัพธ์ที่สามารถแก้ปัญหาเมื่อมีเงื่อนไขของจำนวนครั้งในการทดลองมากำหนดเช่นกัน หรือการเลือกระดับปัจจัยในครั้งแรกอาจได้ผลลัพธ์ที่สามารถแก้ปัญหาได้แต่ไม่ใช่ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด (The Best Solution)

4.2 วิธีการปรับทีละปัจจัย (One-factor-at-a-time Approach) เริ่มจากการกำหนดระดับปัจจัยเริ่มต้น (Starting Point หรือ Baseline) เช่น การชุบเคลือบผิวสายรัดโลหะกำหนด 3 ปัจจัยต่อไปนี้ให้เป็นระดับปัจจัยเริ่มต้น แรงเคลื่อนไฟฟ้า 4.5 โวลต์ เวลา 45 นาที และปริมาณสายรัดโลหะ 16 กิโลกรัม เป็นต้น แล้วพิจารณาความหนาของสังกะสี จากนั้นเปลี่ยนระดับปัจจัยของปัจจัยที่หนึ่ง (เปลี่ยนระดับปัจจัยทุกค่าที่ได้กำหนดในพิสัยของระดับปัจจัย) ขณะที่ระดับปัจจัยตัวอื่นอยู่ที่ระดับปัจจัยเริ่มต้น แล้วพิจารณาค่าความหนาของสังกะสี ต่อมาเปลี่ยนระดับปัจจัยของปัจจัยที่สองขณะที่ระดับปัจจัยของปัจจัยตัวอื่นอยู่ที่ระดับปัจจัยเริ่มต้น (ระดับปัจจัยของปัจจัยที่หนึ่งก็ต้องอยู่ที่ระดับปัจจัยเริ่มต้นเช่นกัน) แล้วพิจารณาค่าความหนาของสังกะสี หลังจากได้ค่าความหนาของสังกะสีครบทุกระดับปัจจัย

SE-ED
inspiration starts here

การพิจารณาผลการปรับเปลี่ยนระดับปัจจัยของแต่ละปัจจัย พิจารณาได้จาก กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับตัวแปรที่ใช้วัดผลการทดลอง ตัวอย่างเช่น ในการชุบเคลือบผิวสายรัดโลหะเมื่อทดลองด้วยวิธีนี้ สมมติได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 1.3 ซึ่งสามารถตีความจากกราฟเส้นตรงได้ว่าถ้าแรงเคลื่อนไฟฟ้า และเวลาเพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนาของสังกะสีในกระบวนการชุบเคลือบผิวสายรัดโลหะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเพิ่มปริมาณสายรัดโลหะจะทำให้ความหนาของสังกะสีในกระบวนการชุบเคลือบผิวสายรัดโลหะลดลง

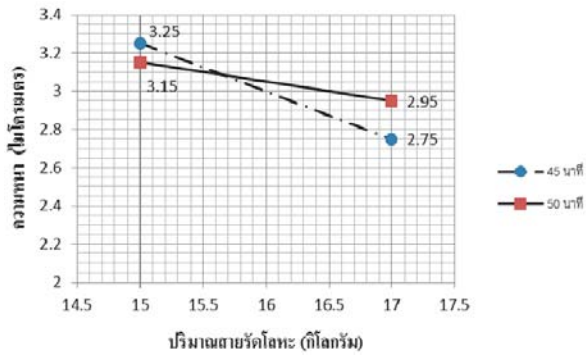
ข้อเสียของวิธีนี้คือ วิธีการปรับทีละปัจจัยไม่มีโอกาสที่จะได้พิจารณาปฏิสัมพันธ์หรืออันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างปัจจัย (เส้นกราฟตัดกัน) ดังแสดงในรูปที่ 1.4 กล่าวคือ ไม่มีโอกาสที่จะรู้ว่า เมื่อปัจจัยหนึ่งคงที่แต่ปัจจัยอื่นมีค่าเปลี่ยนแปลงไป ค่าของตัวแปรที่ใช้วัดผลการทดลองกลับมีค่าเท่าเดิม ดังนั้น แม้ว่าวิธีการปรับทีละปัจจัยจะดีว่าวิธีการคาดเดาก็ตาม แต่ก็เป็นวิธีที่นิยมใช้น้อยกว่าวิธีการออกแบบวิธีอื่น



รูปที่ 1.3 ค่าความหนาของสังกะสีที่ได้จากการชุบเคลือบผิวสายรัดโลหะ
เมื่อทดลองด้วยวิธีการปรับทีละปัจจัย

SE-ED
Inspiration starts here

รูปที่ 1.4 แสดงถึงการเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสายรัดโลหะและเวลา นั่นคือ ถ้าเลือกปริมาณสายรัดโลหะในระดับต่ำ (15 กิโลกรัม) และถ้าใช้เวลาในระดับต่ำ (45 นาที) แล้วจะทำให้ค่าความหนาของสังกะสีมาก ขณะที่ถ้าเลือกปริมาณสายรัดโลหะในระดับสูง (17 กิโลกรัม) และถ้าใช้เวลาในระดับสูง (50 นาที) จึงจะทำให้ค่าความหนาของสังกะสีมาก



รูปที่ 1.4 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสายรัดโลหะและเวลา

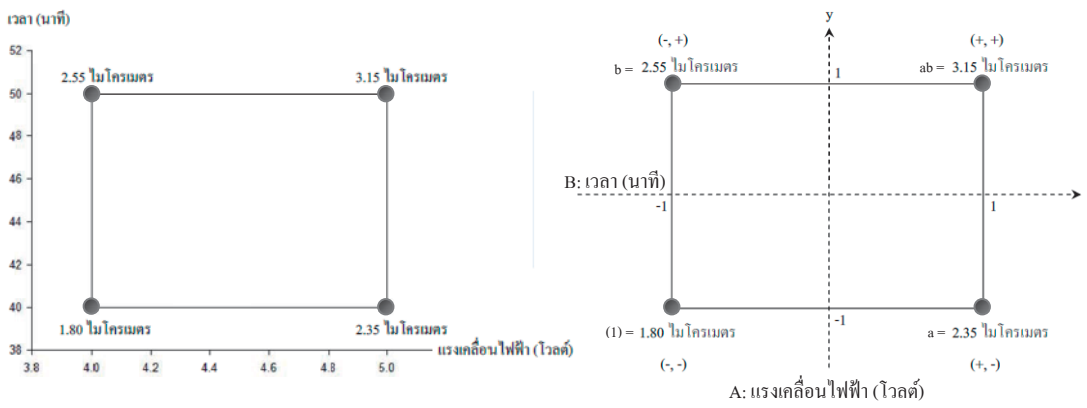
4.3 วิธีการแฟกทอเรียล (Factorial Approach) เป็นวิธีการปรับหลายๆ ปัจจัยพร้อมๆ กัน ซึ่งทำให้ประมาณผลลัพธ์ที่เกิดจากแต่ละปัจจัยใกล้เคียงกับเป้าหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพ และวิธีแฟกทอเรียลยังทำให้ประมาณผลลัพธ์ที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ระหว่างปัจจัยต่างๆ ได้อีกด้วย

นอกจากนั้น วิธีแฟกทอเรียลเป็นวิธีที่สามารถตอบคำถามได้ว่า ***ปัจจัยใดส่งผลต่อผลลัพธ์มากที่สุด*** และปัจจัยต่างๆ ควรกำหนดค่าเป็นเท่าใดจึงจะทำให้เกิดผลลัพธ์ดีที่สุด เช่น การชุบเคลือบผิวด้วยเครื่องอัตโนมัติ ภายใต้แรงเคลื่อนไฟฟ้าและเวลาเท่าไร จึงทำให้สายรัดโลหะมีความหนาของสังกะสีได้ตามข้อกำหนดของลูกค้า (3 ± 0.5 ไมโครเมตร)

การออกแบบการทดลองด้วยวิธีแฟกทอเรียล ต้องอาศัยแผนภาพแฟกทอเรียลที่แทนด้วยรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากเพื่อใช้ในการศึกษาแซมเปิลสเปซ (Sample Space) ทั้งหมดที่ต้องทดลอง โดยกำหนดให้ จุดที่มุมของสี่เหลี่ยมแทนผลการทดลอง, เส้นตรงระหว่างจุดแทนการเชื่อมต่อระหว่างระดับปัจจัยต่ำและระดับปัจจัยสูงของปัจจัยที่พิจารณา ดังแสดงในรูปที่ 1.5 (ก) และสภาวะที่ต้องทดลองทั้งหมดพิจารณาจากการโปรเจคชั่นจุดกลับไปที่แกน (x, y) ดังแสดงในรูปที่ 1.5 (ข) นั่นคือ ถ้ามี 2 ปัจจัยแล้ว ต้องโปรเจคชั่นจุดกลับไปที่ 2 แกน (x, y) แต่ถ้ามี 3 ปัจจัยแล้ว ต้องโปรเจคชั่นจุดกลับไปที่ 3 แกน (x, y, z)

SE-ED
inspiration starts here

กรณีการออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลที่มีสองปัจจัย (Two-factor Factorial Experimental Design หรือ 2^2 Factorial Design) ดังแสดงในรูปที่ 1.5 ซึ่งมี 2 ปัจจัย และ 2 ระดับปัจจัย โดยที่ ปัจจัยเป็นเลขชี้กำลัง และระดับปัจจัยเป็นเลขฐาน



(ก) (ข)

รูปที่ 1.5 แผนภาพแฟกทอเรียลที่มีสองปัจจัย โดยที่แต่ละปัจจัยมีสองระดับปัจจัย

จากรูปที่ 1.5 (ก) แสดงผลการทดลอง (ความหนาของสังกะสี) จากการชุบเคลือบผิวสายรัดโลหะด้วยสังกะสี พิจารณาที่มุมของรูปสี่เหลี่ยมตาม 4 สภาวะการทดลอง (จุดดำ) จากการปรับปัจจัยที่ระดับปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

(1) ณ แรงเคลื่อนไฟฟ้า 4 โวลต์ และใช้เวลา 40 นาที สายรัดโลหะมีความหนาของสังกะสี 1.80 ไมโครเมตร

(2) ณ แรงเคลื่อนไฟฟ้า 5 โวลต์ และใช้เวลา 40 นาที สายรัดโลหะมีความหนาของสังกะสี 2.35 ไมโครเมตร

(3) ณ แรงเคลื่อนไฟฟ้า 4 โวลต์ และใช้เวลา 50 นาที สายรัดโลหะมีความหนาของสังกะสี 2.55 ไมโครเมตร

(4) ณ แรงเคลื่อนไฟฟ้า 5 โวลต์ และใช้เวลา 50 นาที สายรัดโลหะมีความหนาของสังกะสี 3.15 ไมโครเมตร

SE-ED
inspiration starts here

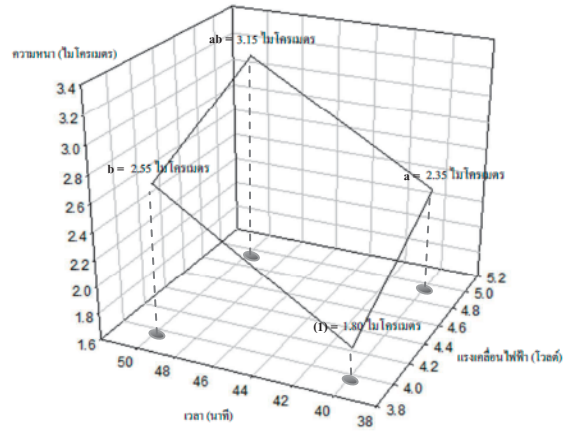
ส่วนรูปที่ 1.5 (ข) แสดงผลการทดลองที่มุมของรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากได้เช่นเดียวกับรูปที่ 1.5 (ก) เพียงแต่เลื่อนแกน (x, y) ไปที่กลางรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก (เมื่อผู้ออกแบบการทดลองชำนาญแล้วสามารถละแกนทิ้งได้) โดยมีระยะที่จุดตัดแกนเท่ากับ 1 ทั้งหมด และ **ใช้อักษรตัวใหญ่ A และ B แทนปัจจัย** แรงเคลื่อนไฟฟ้า และเวลา ตามลำดับ ส่งผลให้สภาวะการทดลองตามระดับปัจจัย (ต่ำและสูง) ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าและเวลาสามารถลดรูปสภาวะการทดลอง (จุดดำ) ณ ตำแหน่งเดียวกับมุมสี่เหลี่ยมซึ่งนำเสนอผลการทดลองดังต่อไปนี้

(-1, -1), (+1, -1), (-1, +1), (+1, +1) หรือ (-, -), (+, -), (-, +), (+, +)

การนำเสนอสภาวะการทดลอง (จุดดำ) และผลการทดลอง ณ แต่ละมุมของรูปสี่เหลี่ยม (รูปที่ 1.5) โดยใช้อักษรตัวเล็ก (a และ b) แทนระดับปัจจัยสูงของปัจจัย (A และ B) นั่นคือ

a แทน ผลลัพธ์ของการจัดหมู่ของระดับปัจจัยที่ปัจจัย A ปรับค่าที่ระดับปัจจัยสูง และปัจจัย B ปรับค่าที่ระดับปัจจัยต่ำ, b แทน ผลลัพธ์ของการจัดหมู่ของระดับปัจจัยที่ปัจจัย B ปรับค่าที่ระดับปัจจัยสูงและปัจจัย A ปรับค่าที่ระดับปัจจัยต่ำ, ab แทน ผลลัพธ์ของการจัดหมู่ของระดับปัจจัยที่ทั้งปัจจัย A และ B ปรับค่าที่ระดับปัจจัยสูง และ (1) แทนผลลัพธ์ของการจัดหมู่ของระดับปัจจัยต่ำที่ทั้งปัจจัย A และ B

เพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจได้มากยิ่งขึ้น ผู้เขียนจึงนำเสนอรูปที่ 1.5 ในรูปสามมิติ ดังแสดงในรูปที่ 1.6 อย่างไรก็ตาม อุตสาหกรรมการผลิตมักออกแบบการทดลองโดยใช้รูปที่ 1.5 (ข) มากกว่ารูปที่ 1.5 (ก) และรูปที่ 1.6

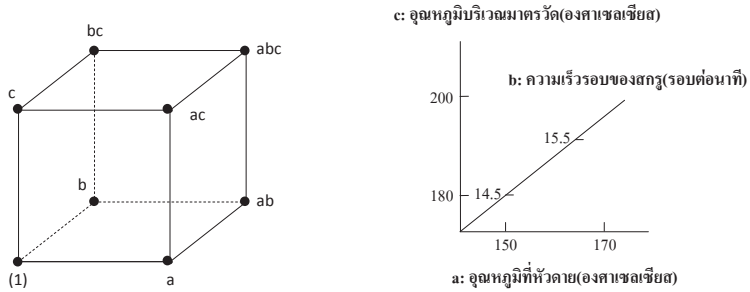


รูปที่ 1.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะการทดลองกับผลการทดลอง

SE-ED
inspiration starts here

การออกแบบดังกล่าวต้องทำการทดลองทั้งหมดอย่างน้อย 4 ครั้ง ตามการจัดหมู่ของระดับปัจจัยทั้งหมด (All combinations) 4 ค่า โดยความหนาของสังกะสีจะมีค่าใกล้ข้อกำหนดมากที่สุดที่แรงเคลื่อนไฟฟ้าอยู่ในระดับสูงและเวลาถูกปรับอยู่ในระดับสูง สมมติว่าทดลอง 8 ครั้ง ดังนั้น ในแต่ละการเรียงสับเปลี่ยน สามารถทำการทดลองซ้ำ (Replication) ได้ 2 ครั้งต่อคู่ของระดับปัจจัย ส่งผลให้ผู้ทำการทดลองสามารถวิเคราะห์ค่าผลกระทบหลัก (Main Effects) ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าและเวลาที่มีผลต่อความหนาของสังกะสีได้ และวิเคราะห์ถึงค่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสองได้ (ดูรายละเอียดในบทที่ 5)

กรณีที่ความเร็วรอบสกรู, อุณหภูมิบริเวณมาตรวัด และอุณหภูมิบริเวณหัวดาย มีผลต่อน้ำหนักของขวดนมพลาสติก (3 ปัจจัย) ดังนั้น การออกแบบการทดลองที่ได้คือ การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลที่มีสามปัจจัย (Three-factor Factorial Experimental Design หรือ 2^3 Factorial Design) กล่าวคือ เป็นการออกแบบเพื่อศึกษาถึงปฏิสัมพันธ์ของทั้ง 3 ปัจจัยที่แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับปัจจัย ดังรูปที่ 1.7



รูปที่ 1.7 แผนภาพแฟกทอเรียลที่มีสามปัจจัย
(ความเร็วรอบของสกรู, อุณหภูมิบริเวณหัวดาย และอุณหภูมิบริเวณมาตรวัด)

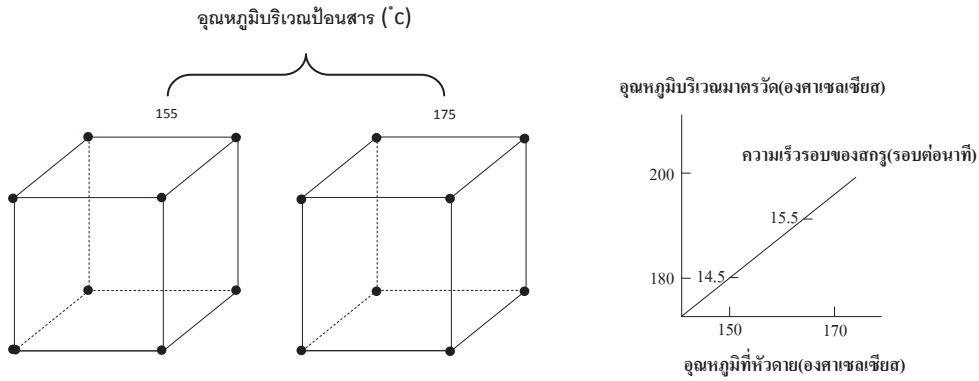
จากรูปที่ 1.7 พบว่า การออกแบบดังกล่าวต้องทำการทดลองทั้งหมด 8 ครั้ง (เพราะว่า $2^3 = 8$) เนื่องจากผลของการเรียงสับเปลี่ยนระดับปัจจัยเกิดขึ้นได้ทั้งหมด 8 คู่ คือ ที่มุมทั้ง 8 ของลูกบาศก์ สมมติว่า การเป่าขึ้นรูปขวดพลาสติกทั้ง 8 ครั้ง ดังนั้น ในแต่ละการเรียงสับเปลี่ยนจะไม่มีการทดลองซ้ำ

SE-ED
inspiration starts here

ถ้าเปรียบเทียบแฟกทอเรียลที่มีสามปัจจัยกับแฟกทอเรียลที่มีสองปัจจัย จะพบว่าการออกแบบทั้งสองรูปแบบให้สารสนเทศเกี่ยวกับผลกระทบหลักเหมือนกัน เช่น จำนวนการทดลองใช้อุณหภูมิบริเวณหัวดาย 150 องศาเซลเซียส เท่ากับ 4 ครั้ง และจำนวนการทดลองใช้อุณหภูมิบริเวณหัวดาย 170 องศาเซลเซียส เท่ากับ 4 ครั้ง เท่ากับทั้ง 2 รูปแบบ เป็นต้น

กรณีที่อุณหภูมิที่สกรูบริเวณป้อนสาร, ความเร็วรอบของสกรู, อุณหภูมิบริเวณหัวดาย และอุณหภูมิบริเวณมาตรวัดมีผลต่อน้ำหนักของขวดนมพลาสติกแต่ละครั้งในการเป่าขึ้นรูปขวดพลาสติก (4 ปัจจัย) ดังนั้น การออกแบบการทดลองที่ได้คือ การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลที่มีสี่ปัจจัย (Four-factor Factorial Experimental Design หรือ 2^4 Factorial Design) กล่าวคือ เป็นการออกแบบเพื่อศึกษาถึงปฏิสัมพันธ์ของทั้ง 4 ปัจจัย ที่แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับปัจจัย ดังรูปที่ 1.8

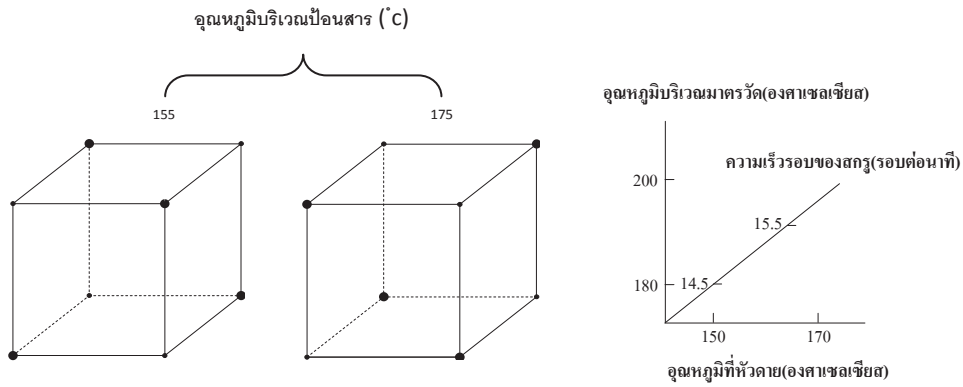
ทั้งนี้ จากรูปที่ 1.8 พบว่าการออกแบบดังกล่าวต้องทำการทดลองทั้งหมด 16 ครั้ง (เพราะว่า $2^4 = 16$) สมมติว่า ทดลอง 8 ครั้ง แสดงว่าไม่สามารถทดลองได้ครบทุกรูปแบบ



รูปที่ 1.8 แผนภาพแฟกทอเรียลที่มีสี่ปัจจัย (อุณหภูมิที่สกรูบริเวณป้อนสาร, ความเร็วรอบของสกรู, อุณหภูมิบริเวณหัวดาย และอุณหภูมิบริเวณมาตรวัด)

สรุปได้ว่า เมื่อจำนวนของปัจจัยเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้จำนวนครั้งของการทดลองเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในการออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองที่มีจำนวนปัจจัยมาก อีกทั้งงบในการทดลองมีจำกัด ดังนั้น ผู้ออกแบบไม่จำเป็นที่จะต้องทำการทดลองเท่ากับจำนวนของผลการเรียงสับเปลี่ยนของระดับปัจจัยที่เกิดขึ้น แต่ให้ทำการทดลองแฟกทอเรียลแบบไม่เต็มรูปแบบ (Fractional Factorial Experiment) นั่นคือ การออกแบบแฟกทอเรียลแบบไม่เต็มรูปแบบ (Fractional Factorial Design) ดังรูปที่ 1.9

SE-ED
inspiration starts here



รูปที่ 1.9 แผนภาพแฟกทอเรียลแบบไม่เต็มรูปแบบของสี่ปัจจัย (อุณหภูมิที่สกรูบริเวณป้อนสาร, ความเร็วรอบของสกรู, อุณหภูมิบริเวณหัวดาย และอุณหภูมิบริเวณมาตรวัด)

จากรูปที่ 1.9 จะเห็นว่า การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลแบบไม่เต็มรูปแบบ จะทำการทดลองเพียง 8 ครั้งเท่านั้นโดยยังคงทำให้สารสนเทศถูกต้อง ดังนั้น เมื่อทำการทดลอง 8 ครั้ง ผู้ทดลองสามารถทำการวิเคราะห์ถึงค่าผลกระทบได้ครบทั้ง 4 ปัจจัย และค่าปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยเหล่านี้ได้ด้วย

เรียกการออกแบบการทดลองในลักษณะดังกล่าวว่า การออกแบบแฟกทอเรียลแบบทดลองเพียงครึ่งเดียว (One-half Fraction)

5. การดำเนินการทดลอง เพื่อตรวจสอบปัญหาที่ได้กำหนดขึ้น เมื่อทำการทดลอง เราจะต้องติดตามดูกระบวนการทำงานอย่างระมัดระวัง เพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการทุกอย่างเป็นไปตามแผน ถ้ามีอะไรผิดพลาดเกิดขึ้นเกี่ยวกับวิธีการทดลองในขั้นตอนนี้ จะทำให้การทดลองที่ทำนั้นใช้ไม่ได้ ดังนั้น การวางแผนในตอนแรกจะมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความสำเร็จที่จะเกิดขึ้น

6. การวิเคราะห์ข้อมูลโดยอาศัยหลักทางสถิติ ใช้เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยและระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดต่อกระบวนการซึ่งมีผลต่อการแก้ปัญหาที่ถูกกำหนดขึ้น, ใช้หาช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ยของระดับปัจจัยต่างๆ, ใช้ตรวจสอบแบบจำลองทางสถิติ ส่งผลให้ผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง

ถ้าการทดลองได้ถูกออกแบบไว้เป็นอย่างดี และทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ ข้อได้เปรียบของวิธีการทางสถิติ คือ ทำให้ผู้มีอำนาจในการตัดสินใจมีเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์อย่างมีประสิทธิภาพ และถ้าเรานำเอาวิธีการทางสถิติมาผนวกกับความรู้ทางวิศวกรรม ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ จะทำให้ได้ข้อสรุปที่ได้ออกมานั้นมีเหตุผลสนับสนุนและน่าเชื่อถือ

SE-ED
inspiration starts here

7. การสรุปผลวิธีการที่เลือกในการทดลอง (ใช้เวลาในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ลดลง, มีความปลอดภัย และใช้ต้นทุนไม่สูง) เพื่อการปรับปรุงกระบวนการผลิต นิยมใช้วิธีการทางกราฟในการสรุปผลและการนำเสนอเพื่อเข้าใจถึงสิ่งที่ได้เรียนรู้จากปัญหาที่ถูกกำหนดขึ้น นอกจากนี้แล้วการทำการทดลองเพื่อยืนยันผล (Confirmation Testing) ควรจะทำขึ้นเพื่อที่จะตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่เกิดขึ้นอีกด้วย

1.3.2 หลักการออกแบบการทดลอง

วิธีการออกแบบการทดลองโดยอาศัยหลักการทางสถิติที่ดี ต้องออกแบบให้เหมาะกับลักษณะของข้อมูลที่ต้องการจะวิเคราะห์ให้ถูกต้อง และออกแบบให้สามารถสรุปปัญหาที่ถูกกำหนดขึ้นได้ตรงจุด โดยที่ข้อมูลต้องเกี่ยวกับเรื่องของค่าผิดพลาดของการทดลอง (Experimental Errors) ดังนั้น ในการทดลองจึงมีปัญหาที่เกี่ยวข้อง 2 ด้านคือ การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments) และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ (Statistical Analysis of Data) โดยที่วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล (Method of Analysis) จะขึ้นอยู่กับแบบการทดลองที่จะใช้

หลักการพื้นฐานที่ใช้ในการออกแบบการทดลองมี 3 ประการคือ

1. การทดลองซ้ำ (Replication) เป็นการทดลองในเงื่อนไขการทดลองเดิม เพื่อให้ผู้ทดลองสามารถประมาณ (Estimate) ค่าผิดพลาดของการทดลอง (Experimental Errors) เพื่อพิจารณาถึงความแตกต่างของค่าสังเกตว่าต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ และประมาณค่าผลกระทบของแต่ละปัจจัยเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยทั้งหมดของการทดลองให้ถูกต้องมากยิ่งขึ้นเนื่องจากทราบค่าความแปรผันของผลลัพธ์ในทุกระดับปัจจัย ดังนั้น ต้องออกแบบตารางที่ใช้บันทึกผลการทดลองให้สามารถบันทึกผลได้มากกว่า 1 ครั้งในแต่ละกลุ่มการทดลอง ที่ต้องมีการทดลองโดยปรับระดับปัจจัยร่วมกัน

2. การสุ่ม (Randomization) เป็นการกำหนดลำดับการทดลองให้เกิดขึ้นอย่างสุ่มเพื่อป้องกันผลของปัจจัยที่ไม่ได้คาดคิด นั่นย่อมต้องหมายรวมถึงการกำหนดลำดับของวัตถุดิบที่ต้องใช้ทดลองด้วย หลักการที่ 2 นี้เป็นหลักการที่สำคัญอย่างมากในการประยุกต์วิธีการทางสถิติเพื่อออกแบบการทดลอง เพราะผลการทดลองที่บันทึกต้องมีการแจกแจงปกติและเป็น*อิสระต่อกัน*ด้วยค่าความแปรปรวนที่เท่ากัน ดังนั้น การสุ่มจะทำให้ค่าสังเกตที่ได้จากการทดลองเป็นอิสระต่อกัน

SE-ED
inspiration starts here

การสุ่มเป็นการกระจายผลกระทบจากปัจจัยที่ไม่เกี่ยวข้อง (Extraneous Factors) ซึ่งอาจเกิดขึ้นให้กระจายในทุกระดับปัจจัย ไม่ใช่ให้ผลกระทบจากปัจจัยที่ไม่เกี่ยวข้องตกอยู่ที่ระดับปัจจัยใดระดับปัจจัยหนึ่ง และการที่เราทำการสุ่มนั้นจะทำให้สามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

3. การบล็อก (Blocking) เป็นการจัดการต่อปัจจัยที่ผู้ทดลองไม่ได้สนใจในการทดลองที่ต้องการศึกษา ซึ่งการบล็อกเป็นการจัดกลุ่ม (Block) วัสดุหรือเครื่องจักรที่มีคุณลักษณะเหมือนกันภายใต้ข้อสมมติว่า “กลุ่มที่ถูกจัดไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกัน”

ตัวอย่างเช่น การควบคุมเฉดสีระหว่างกระเบื้องและครอบกระเบื้องให้มีเฉดสีไม่ต่างกัน โดยการทดลองที่ออกแบบไว้ต้องทดลอง 16 ครั้ง แต่ครอบกระเบื้องมีไม่ถึง 16 ชิ้น ขณะที่ครอบกระเบื้องมีการทาน้ำยาก่อนการพ่นสีด้วยน้ำยาสองชนิด ดังนั้น การทดลองสามารถจะนำครอบกระเบื้อง 8 ชิ้นที่ทาด้วยน้ำยาชนิดที่หนึ่ง ทดลองร่วมกับครอบกระเบื้องอีก 8 ชิ้นที่ทาด้วยน้ำยาอีกชนิดหนึ่ง จากนั้นทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบสภาวะการทดลองภายในแต่ละกลุ่ม ซึ่งจะทำให้ทราบถึงปฏิกิริยาของชนิดน้ำยาที่ทาก่อนพ่นเคลือบสี หลักการนี้เป็นเทคนิคที่ใช้เพิ่มความถูกต้องให้กับการทดลองที่จัดการกับความแปรผันที่อาจเกิดขึ้นโดยการบล็อก (ดูรายละเอียดในบทที่ 4)

การออกแบบและวิเคราะห์การทดลองขั้นพื้นฐาน

Basic Design and Analysis of Experiments

นำเสนอการประยุกต์สถิติให้เหมาะกับรูปแบบของปัญหา โดยผู้อ่านควรทำความเข้าใจถึงวิธีการออกแบบการทดลองว่า ต้องมีการวางแผนก่อนการทดลองอย่างไร และหลักการออกแบบการทดลองมีอะไรบ้าง จึงจะทำให้แบบที่เลือกมานั้นเหมาะกับลักษณะของข้อมูลที่มีอยู่ และผู้อ่านต้องให้ความสำคัญต่อการตรวจสอบแบบจำลองทางสถิติในทุกการออกแบบ และการสร้างตัวแบบจำลองด้วยวิธีการถดถอย ซึ่งใช้สำหรับทำนายผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้นจากแบบจำลองทางสถิติ หนังสือเล่มนี้สามารถทำความเข้าใจได้ง่าย เนื่องจากมีตัวอย่างช่วยเสริมความเข้าใจสำหรับแต่ละทฤษฎีในแต่ละบท นอกจากนั้นยังมีแบบฝึกหัดท้ายบท เพื่อให้ผู้อ่านสามารถฝึกฝนได้ด้วยตนเองโดยมีวิธีทำพร้อมเฉลยคำตอบสำหรับแต่ละข้อ

ประวัติผู้เขียน

รองศาสตราจารย์ศุภชัย นาทะพันธ์

การศึกษา

- วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

การทำงาน

- ปี 2555-2558 รองคณบดีฝ่ายแผนยุทธศาสตร์และประกันคุณภาพ
- ปี 2554-2555 รองคณบดีฝ่ายประกันคุณภาพ
- ปี 2552-2554 สมาชิกสภาคณาจารย์ประเภทผู้แทนทั่วไป
- ปี 2551-2554 ที่ปรึกษาหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
- ปี 2547-2551 หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
- ปี 2544-2547 กรรมการประจำคณะ
- ปี 2543-2544 ผู้ช่วยคณบดี

ผลงานทางวิชาการ

- เขียนหนังสือเรื่อง *"ความน่าจะเป็นและสถิติ"*
- เขียนหนังสือเรื่อง *"การควบคุมคุณภาพ"*

SE-ED
Inspiration starts here

ISBN 978-616-08-4173-8

9 786160 841738

149 บาท

เศรษฐศาสตร์ / สถิติศาสตร์

www.se-ed.com

sbc.fans