INFOPRESS

การวิเคราะห์และออกแบบการทดลองด้วย Minitab

(Analysis and Design of Experiments with Minitab)

เหมาะสำหรับนิสิต นักศึกษา และผู้ที่สนใจทำการทดลองหรือการวิจัยด้วยตัวเอง

รศ. ดร.ยุทธ ไกยวรรณ์

สารบัญ

บทที่ 1 การวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) 1

คำศัพท์ที่ใช้ในการทดลอง 1
หลักการออกแบบแผนการวิจัยเชิงทดลอง 4
ปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนซ้ำในการทดลอง 5
รูปแบบการวิเคราะห์ความแปรปรวน 6
ความแตกต่างของรูปแบบการวิเคราะห์ความแปรปรวน CRD, RCBD และ LS 10
ผังการทดลอง CRD, RCBD และ LS 13
แบบฝึกหัด 14

บทที่ 2 การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) 17

สมมติฐานการทดลอง (Experimental Hypothesis) 17
การปฏิเสธสมมติฐาน H_0 19
การลดความคลาดเคลื่อน (Error) 20
การทดสอบค่าเฉลี่ยประชากร 1 กลุ่ม กรณีข้อมูลแจกแจงปกติ 21
การทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่ม 38
การทดสอบค่าเฉลี่ยกรณีหน่วยตัวอย่างจับคู่ 49
แบบฝึกหัด 53

บทที่ 3 การวิเคราะห์การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) 57

วิธีสุ่มและผังการทดลอง 58
ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนการทดลอง CRD 58
สมมติฐานที่กำหนดของแผนการทดลอง CRD 59
จำนวนทรีตเมนต์ 59
การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของรายคู่ทรีตเมนต์ 60
ข้อดีและข้อเสียของการวางแผนการทดลองแบบ CRD 60
การสร้างตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน CRD 61
การวิเคราะห์การทดลอง CRD ที่คำนวณหาค่าอำนาจการทดสอบ (P) 62
การวิเคราะห์ CRD ที่กำหนดขนาดของตัวอย่างจากสมการ $N - t \geq 9$ 70
แบบฝึกหัด 86

□□□□□□.indd 1 4/11/2565 BE 09:50

บทที่ 4 การวิเคราะห์การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก (Randomized Complete Block Design: RCBD)..... 89

ลักษณะของแผนการทดลองแบบ RCBD 90
วิธีการสุ่มของ RCBD 90
ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนการทดลอง RCBD 92
วัตถุประสงค์ของการทดลองแบบ RCBD 92
ข้อดีและข้อเสียของแผนการทดลอง RCBD 93
การสร้างตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน RCBD 94
การประมาณค่าที่ขาดหายไปของการทดลองแบบ RCBD 120
แบบฝึกหัด 123

บทที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (Analysis of Covariance: ANCOVA)..... 129

การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมใน CRD 131
การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมใน RCBD 153
แบบฝึกหัด 158

บทที่ 6 การวิเคราะห์แผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial Experimental Analysis) 163

การจัดการทดลองของแผนการทดลอง 164
อิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วม 166
การวิเคราะห์ความแปรปรวนแฟกทอเรียลใน CRD 167
การวิเคราะห์ความแปรปรวนแฟกทอเรียลใน RCBD 169
การใช้ Minitab วิเคราะห์การทดลองแบบแฟกทอเรียล 172
แบบฝึกหัด 247

บทที่ 7 การวิเคราะห์การทดลองแบบจัตุรัสลาติน (Latin Square: LS)..... 255

ข้อดีและข้อเสียของการจัดการทดลองแบบ LS 256
การสุ่มและรูปแบบตารางการวิเคราะห์การทดลอง LS 257
ผังการทดลอง LS 260
ตัวแบบ (Model) 261
ความผันแปรที่เกิดขึ้นในการทดลอง LS 261
ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน LS 262
การวิเคราะห์ความแปรปรวนใน LS 263
แบบฝึกหัด 285

บรรณานุกรม 289

ประวัติย่อผู้เขียน รองศาสตราจารย์ ดร.ยุทธ ไกยวรรณ์ 291

□□□□□□.indd 2 4/11/2565 BE 09:50

การปฏิเสธสมมติฐาน H_0

ปฏิเสธสมมติฐาน H_0 เมื่อผลการวิเคราะห์เป็นดังนี้

1) สถิติค่าที (T-Test) หรือสถิติค่าเอฟ (F-Test) จากการคำนวณมีค่ามากกว่าค่าที หรือค่าเอฟจากการเปิดตาราง

2) เมื่อทดสอบค่า F-Test: ค่า Sig. < α ที่กำหนด

3) เมื่อทดสอบค่า T-Test (One-Sample T-Test)

3.1) การทดสอบ 2 หาง

$H_0 : \mu = \mu_0$

$H_1 : \mu \neq \mu_0$

ปฏิเสธ H_0 เมื่อ Sig. (2-Tailed) < α ที่กำหนด

3.2) การทดสอบ 1 หาง

$H_0 : \mu \leq \mu_0$

$H_1 : \mu > \mu_0$

ปฏิเสธ H_0 เมื่อ (1) $\frac{\text{Sig. (2-Tailed)}}{2} < \alpha$ ที่กำหนด และ (2) ค่า T > 0 หรือค่า T มีค่าเป็นบวก (+)

3.3) การทดสอบ 1 หาง

$H_0 : \mu \geq \mu_0$

$H_1 : \mu < \mu_0$

ปฏิเสธ H_0 เมื่อ (1) $\frac{\text{Sig. (2-Tailed)}}{2} < \alpha$ ที่กำหนด และ (2) ค่า T < 0 หรือค่า T มีค่าเป็นลบ (-)

4) เมื่อทดสอบค่า T-Test (Independent Sample T-Test)

4.1) การทดสอบ 2 หาง

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$

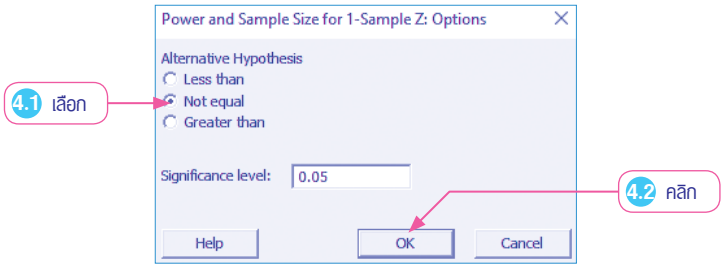
ปฏิเสธ H_0 เมื่อ Sig. (2-Tailed) < α ที่กำหนด

Chapter_2.indd 19 18/11/2565 BE 10:43

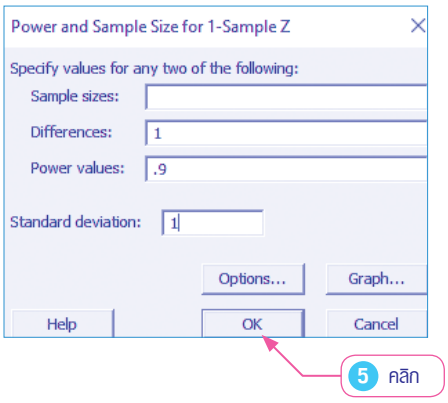
4) จะปรากฏหน้าต่าง Power and Sample Size for 1-Sample Z: Option ให้เลือก Not Equal ตามสมมติฐานที่กำหนดทดสอบ 2 หาง

H_0 : μ = 1,000

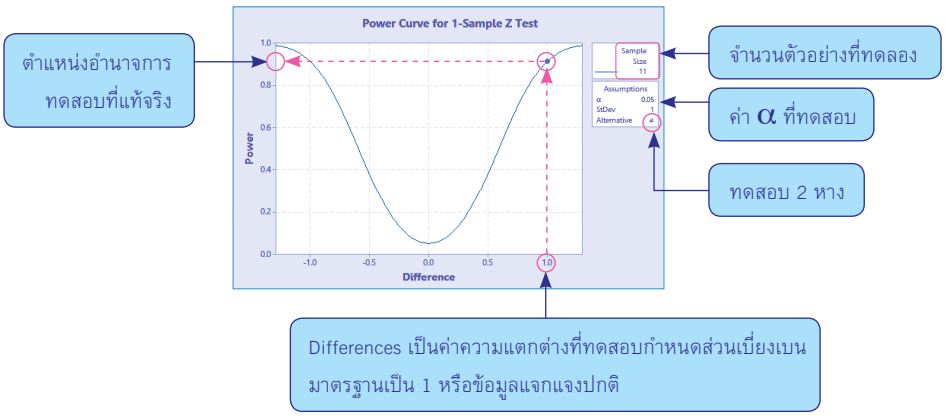
H_1 : $\mu \neq$ 1,000



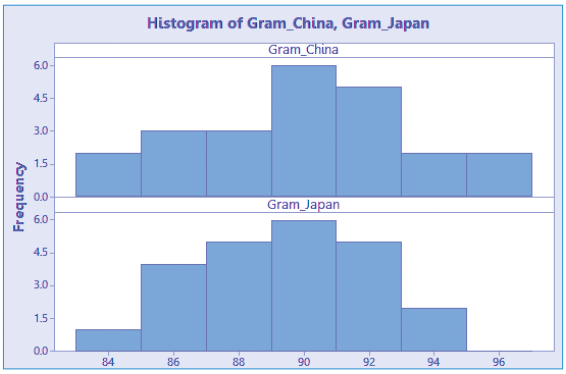
5) คลิกปุ่ม OK

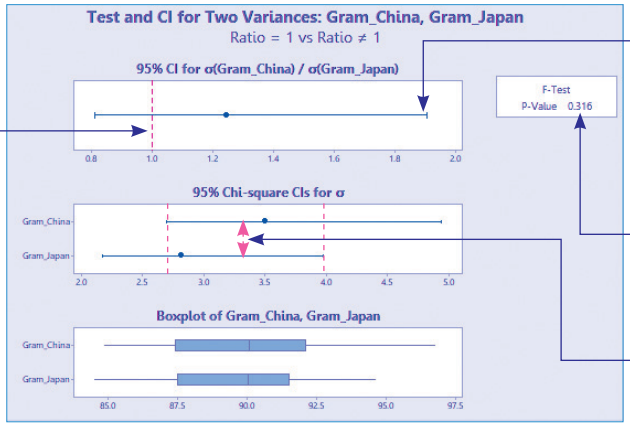


6) จะได้ผลลัพธ์ดังนี้



Chapter_2.indd 24 18/11/2565 BE 10:43





เส้น 0

แสดงสัดส่วนความแปรปรวนระหว่าง 2 กลุ่ม ถ้าเส้นช่วงความเชื่อมั่นทับเส้น 0 แสดงว่าความแปรปรวนของ 2 กลุ่มไม่แตกต่างกัน

สถิติทดสอบค่าเอฟมีค่า P-Value = 0.316

ช่วงทับซ้อนกัน แสดงว่าความแปรปรวนของ 2 กลุ่มไม่แตกต่างกัน

Test and CI for Two Variances: Gram_China, Gram_Japan

Method

σ_1: standard deviation of Gram_China
σ_2: standard deviation of Gram_Japan
Ratio: σ_1/σ_2
F method was used. This method is accurate for normal data only.

เทคนิคที่ใช้วิเคราะห์เป็นค่า StDev

Descriptive Statistics

Variable	N	StDev	Variance	95% CI for σ
Gram_China	23	3.494	12.210	(2.702, 4.946)
Gram_Japan	23	2.813	7.911	(2.175, 3.981)

สถิติบรรยาย

Ratio of Standard Deviations

Estimated Ratio	95% CI for Ratio using F
1.24230	(0.809, 1.908)

Test

Null hypothesis $H_0: \sigma_1 / \sigma_2 = 1$
Alternative hypothesis $H_1: \sigma_1 / \sigma_2 \neq 1$
Significance level $\alpha = 0.05$

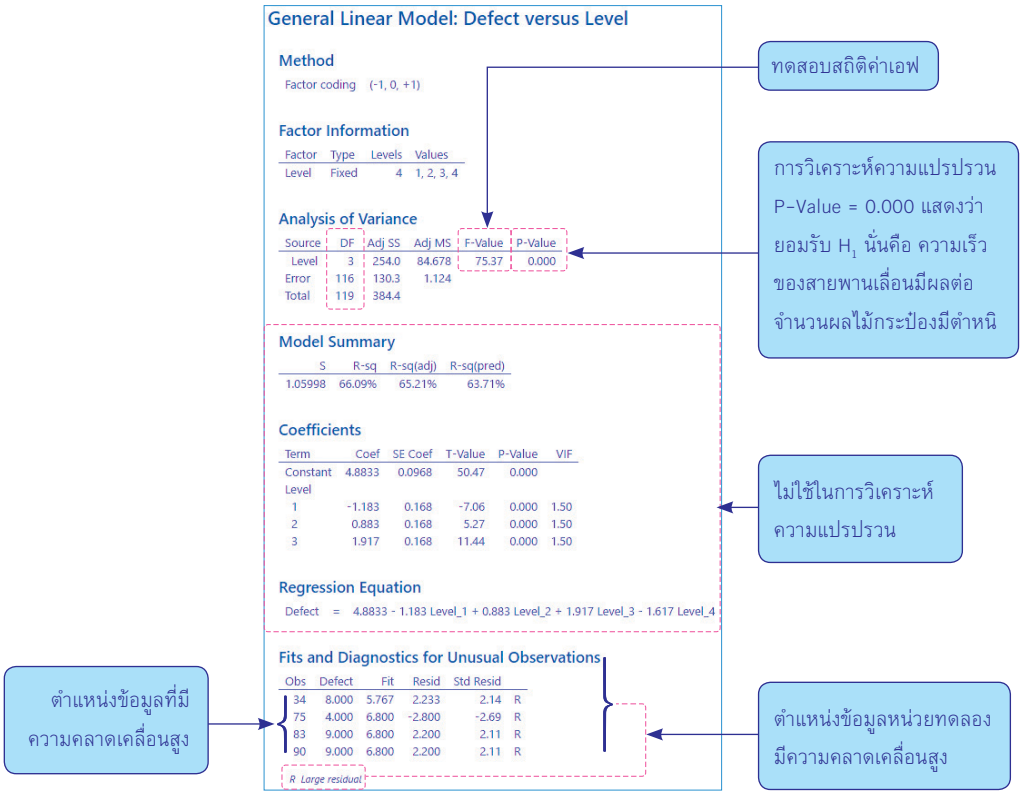
Method	Test Statistic	DF1	DF2	P-Value
F	1.54	22	22	0.316

ค่าสถิติเอฟ = 1.54

ทดสอบสถิติค่าเอฟ

P-Value > α ที่กำหนด จึงยอมรับ H_0

Chapter_2.indd 46 18/11/2565 BE 10:43



(6.1) ที่ Residual Plots for Defect

(6.1.1) Normal Probability Plot ตรวจสอบว่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติหรือไม่

(6.1.2) Versus Fits ตรวจสอบว่าความคลาดเคลื่อนมีความสม่ำเสมอหรือไม่ ปกติข้อมูลที่ดีต้องมีความสม่ำเสมอกันทุกกลุ่มที่ทดสอบ

(6.1.3) Versus Order ตรวจสอบความเป็นอิสระต่อกันของข้อมูล ลักษณะข้อมูลที่ดีต้องมีความคลาดเคลื่อนกระจายภายใต้การควบคุมที่ดีและเป็นแบบปกติ

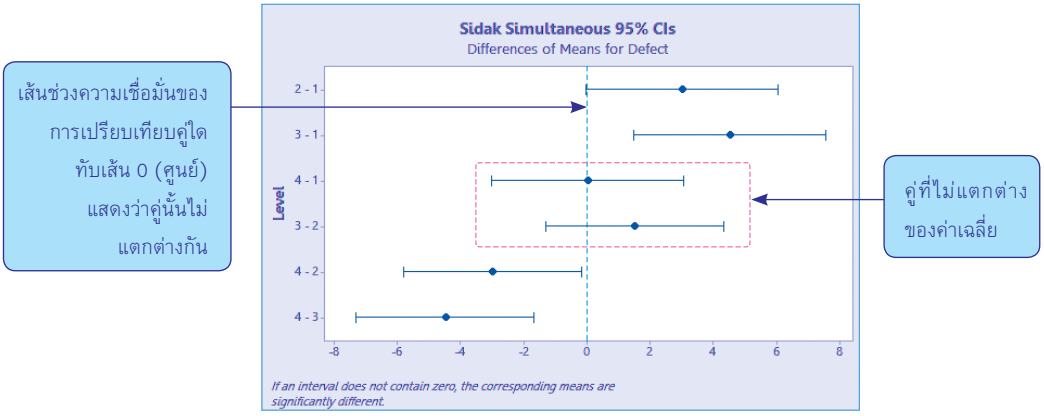
(6.2) ที่ General Linear Model: Defect Versus Level

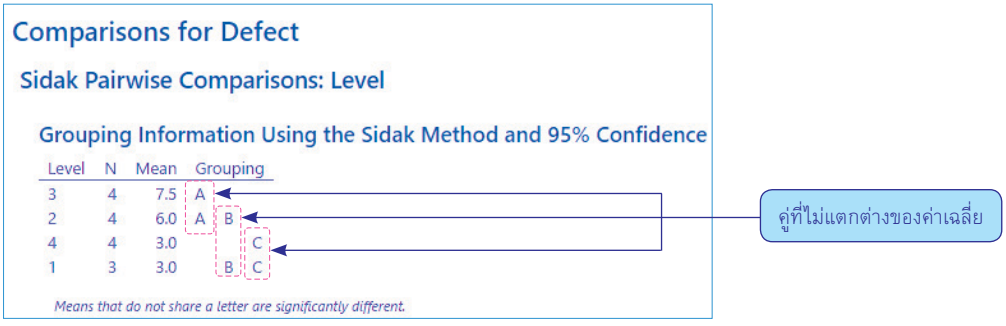
(6.2.1) ที่ Analysis of Variance แสดงตาราง ANOVA การวิเคราะห์ค่า P-Value = 0.000 ซึ่งน้อยกว่า α = 0.05 ที่กำหนด การทดสอบสมมติฐานจึงปฏิเสธ H_0

ในการวิเคราะห์ ANOVA หากพบว่ายอมรับ H_0 แสดงว่าค่าเฉลี่ยของประชากรเหล่านั้นไม่แตกต่างกัน การวิเคราะห์จะยุติเพียงเท่านั้น แต่หากผลการวิเคราะห์ปฏิเสธ H_0 แสดงว่าค่าเฉลี่ยของประชากรเหล่านั้นอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกัน จึงทดสอบต่อไปว่าคู่ใดแตกต่างกันบ้างในโปรแกรม Minitab จะใช้คำสั่งในฟังก์ชัน Comparisons

Chapter_3.indd 67 18/11/2565 BE 10:44

10) คลิกปุ่ม OK จะได้ผลลัพธ์ดังรูป





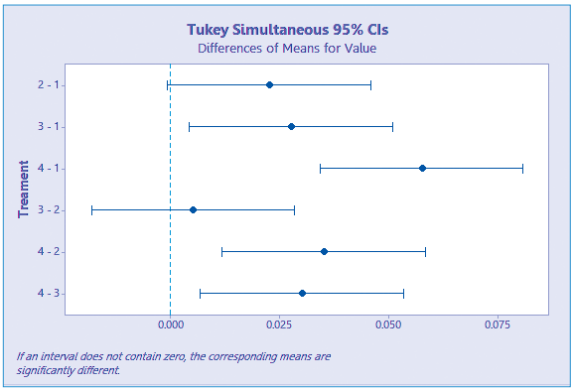
ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ Analysis of Variance เป็นการทดสอบด้วยสถิติค่าเอฟ มีค่าเท่ากับ 12.29 และ P-Value = 0.001 จึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 นั่นคือความเร็วของสายพานเลื่อนมีผลต่อจำนวนของผลไม้กระป๋องมีตำหนิแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธีของ Sidak มีคู่ที่แตกต่างกัน ดังนี้

1) Level 3 กับ Level 1
2) Level 4 กับ Level 2
3) Level 4 กับ Level 3

จุดอ่อนของการทดลองที่ใช้การวางแผนการทดลองแบบ CRD ตามตัวอย่างนี้ ผู้วิจัยไม่สามารถจัดวางผังการทดลองได้ตามรูปแบบแผนการทดลอง CRD เพราะธรรมชาติของการผลิต การวิเคราะห์จึงเป็นการใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way ANOVA)

Chapter_3.indd 76 18/11/2565 BE 10:44

10) คลิกปุ่ม OK จะได้ผลลัพธ์ดังรูป



Comparisons for Value

Tukey Pairwise Comparisons: Treament

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Treament	N	Mean	Grouping
4	4	0.0750	A
3	4	0.0450	B
2	4	0.0400	B C
1	4	0.0175	C

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey Simultaneous Tests for Differences of Means

Difference of Treament Levels	Difference of Means	SE of Difference	Simultaneous 95% CI	T-Value	Adjusted P-Value
2 - 1	0.02250	0.00784	(-0.00078, 0.04578)	2.87	0.059
3 - 1	0.02750	0.00784	(0.00422, 0.05078)	3.51	0.020
4 - 1	0.05750	0.00784	(0.03422, 0.08078)	7.33	0.000
3 - 2	0.00500	0.00784	(-0.01828, 0.02828)	0.64	0.918
4 - 2	0.03500	0.00784	(0.01172, 0.05828)	4.46	0.004
4 - 3	0.03000	0.00784	(0.00672, 0.05328)	3.83	0.011

Individual confidence level = 98.83%

ที่ Tukey Simultaneous 95% Cls แสดงคู่ที่แตกต่างกันกับคู่ที่ไม่แตกต่างกัน โดยคู่ที่แตกต่างกันเส้นการจับคู่จะทับเส้นประ ในที่นี้คู่ที่ไม่แตกต่างกัน ได้แก่ คู่ 2 กับ 1 และคู่ 3 กับ 2 นั่นคือ ทรีตเมนต์ 2 กับทรีตเมนต์ 1 ไม่แตกต่างกัน และทรีตเมนต์ 3 กับทรีตเมนต์ 2 ไม่แตกต่างกันเช่นเดียวกัน ส่วนทรีตเมนต์ 3 กับทรีตเมนต์ 1, ทรีตเมนต์ 4 กับทรีตเมนต์ 1, ทรีตเมนต์ 4 กับทรีตเมนต์ 2 และทรีตเมนต์ 4 กับทรีตเมนต์ 3 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ที่ Comparisons for Value เป็นการแสดงค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ เช่น ทรีตเมนต์ 1 เท่ากับ 0.0175 ทรีตเมนต์ 2, 3 และ 4 เท่ากับ 0.0400, 0.0450 และ 0.0750 ตามลำดับ

ที่ Tukey Simultaneous Tests for Differences of Means เป็นตารางแสดงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละคู่ของทรีตเมนต์ เช่น ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยคู่ทรีตเมนต์ 2 กับ 1 เป็น 0.0400 - 0.0175 = 0.0225 และแสดงค่าที (T-Value) และค่า P-Value ที่ปรับแล้ว และหากคู่ทรีตเมนต์ใดมีค่าน้อยกว่า .05 จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 นั่นคือทรีตเมนต์คู่นั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ทดสอบ นอกจากนี้โปรแกรมยังแสดงค่าระดับความเชื่อมั่นของข้อมูลที่เก็บรวบรวมมา ในที่นี้มีค่าเท่ากับ 98.83%

Chapter_3.indd 85 18/11/2565 BE 10:44

(4) การเปรียบเทียบรายคู่

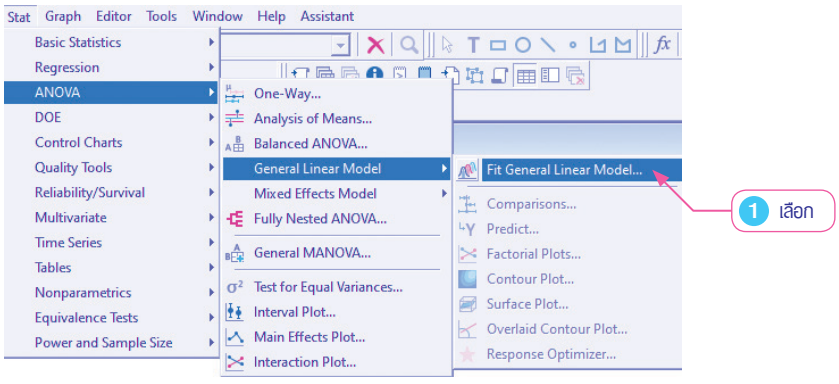
การเปรียบเทียบรายคู่กรณีการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม เมื่อพบว่าการทดสอบปฏิเสธ H_0 จะต้องวิเคราะห์เปรียบเทียบรายคู่เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ความแปรปรวน

การใช้ Minitab วิเคราะห์ ANCOVA ใน CRD มีการกรอกข้อมูลดังรูป

	C1	C2	C3
	Treament	X	Y
1	1	3	6
2	1	1	4
3	1	3	5
4	1	1	3
5	1	2	4
6	1	1	3
7	1	4	6
8	2	4	8
9	2	5	9
10	2	5	7
11	2	4	9
12	2	3	8
13	2	1	5
14	2	2	7
15	3	3	6
16	3	2	7
17	3	2	7
18	3	3	7
19	3	4	8
20	3	1	5
21	3	4	7

มีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

1) เลือกคำสั่ง Stat > ANOVA > General Linear Model > Fit General Linear Model



Chapter_5.indd 137 18/11/2565 BE 10:46

ตัวอย่างที่ 5.2 บริษัทแห่งหนึ่งต้องการทดสอบความหนาของสังกะสีที่เคลื่อนบนเหล็กแผ่น (Metal Sheet) จาก 3 บริษัท ว่าจะมีความหนาบางต่างกันหรือไม่ โดยความหนาของสังกะสีที่เคลือบบนเหล็กแผ่นนั้นจะวัดเป็นมิลลิเมตร ทั้งนี้มีผู้ตั้งข้อสังเกตว่าความหนาของสังกะสีที่เคลือบบนเหล็กแผ่นมิได้มีความหนาแตกต่างกันเพียงเพราะสาเหตุมาจากการเคลือบของบริษัทเท่านั้น หากแต่มีความแตกต่างกันเพราะความหนาของเหล็กแผ่นด้วย ดังนั้น ก่อนการเคลือบสังกะสีผู้ทดสอบจึงวัดความหนาของเหล็กแผ่นทั้ง 3 บริษัทก่อน และทดสอบว่าเหล็กแผ่นมีความหนาแตกต่างกันหรือไม่ ที่ α = 0.05

การวิเคราะห์ด้วย Minitab เพื่อหาอำนาจการทดสอบ (Power of Test: P) มีขั้นตอนดังนี้

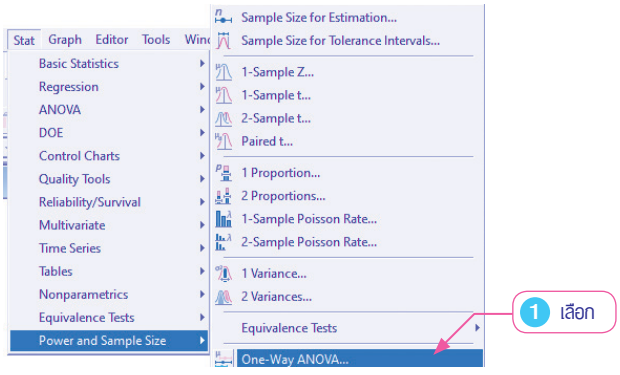
ขั้นที่ 1 ตั้งสมมติฐานการทดลอง

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_1 : \mu_i \neq \mu_j$

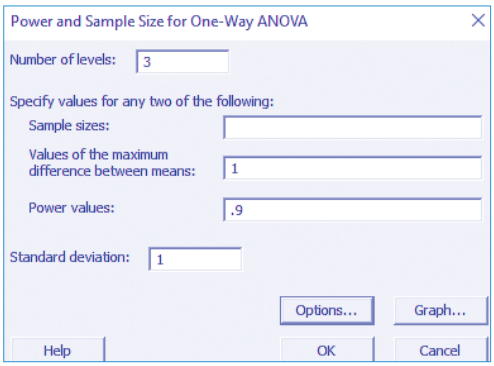
ขั้นที่ 2 หาจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ ANCOVA ใน CRD

1) เลือกคำสั่ง Stat > Power and Sample Size > One-Way ANOVA



2) จะปรากฏหน้าต่าง Power and Sample Size for One-Way ANOVA

3) กรอกข้อมูลดังรูป



Chapter_5.indd 142 18/11/2565 BE 10:46

การใช้ Minitab วิเคราะห์การทดลองแบบแฟกทอเรียล

การวิเคราะห์ความแปรปรวน Factorial in CRD ด้วย Minitab

ตัวอย่างที่ 6.1 ผู้วิจัยสนใจสูตร (Formula) สีน้ำพลาสติก (ปัจจัย A) ที่พัฒนาขึ้นมา 3 สูตร ต่อการยึดเกาะพื้นผิว (Adhesion) กำหนดเป็นปัจจัย B 2 ลักษณะ คือ พื้นไม้กับพื้นปูน เก็บข้อมูลจำนวนนับจุดสีจุดพื้นผิว จากการจัดกระทำด้วยแสงและการพ่นน้ำ ผู้วิจัยจึงวางแผนการทดลองแบบ Factorial Experiment Design 2 ปัจจัย ด้วยวิธี CRD แบบ 3 × 2 ซ้ำ 3 ครั้ง ได้ผลดังนี้

ปัจจัย A สูตรสีน้ำพลาสติก		A (a_1)		A (a_2)		A (a_3)	
ปัจจัย B (พื้น)		พื้นไม้ (b_1)	พื้นปูนซีเมนต์ (b_2)	พื้นไม้ (b_1)	พื้นปูนซีเมนต์ (b_2)	พื้นไม้ (b_1)	พื้นปูนซีเมนต์ (b_2)
	1	4	7	5	10	8	14
ซ้ำ (r)	2	3	6	6	12	9	16
	3	5	8	7	14	10	13

หรือรูปแบบดังนี้

การทดลอง	ปัจจัย A สูตรสีน้ำ (Formular)	ปัจจัย B พื้นผิว (Floor)	การยึดเกาะ (Adhesion)
1	Formular 1	Wooden	4
2	Formular 1	Wooden	3
3	Formular 1	Wooden	5
4	Formular 1	Cement	7
5	Formular 1	Cement	6
6	Formular 1	Cement	8
7	Formular 2	Wooden	5
8	Formular 2	Wooden	6
9	Formular 2	Wooden	7
10	Formular 2	Cement	10
11	Formular 2	Cement	12
12	Formular 2	Cement	14

Chapter_6.indd 172 18/11/2565 BE 10:47

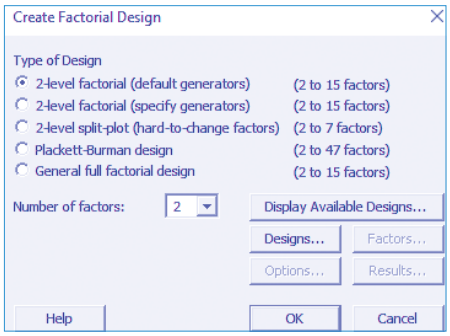
ตัวอย่างที่ 6.4 นักวิจัยสนใจอิทธิพลของส่วนผสมของแผ่นอิฐชนิดหนึ่ง ด้วยส่วนผสมของหินบะซอลต์ (Basalt) และหินทราย (Sandstone) กับวิธีการอัดขึ้นรูปของแผ่นอิฐ 2 วิธี ได้แก่ วิธีปกติ (Regular) และวิธีอัดขึ้นรูปด้วยแรงกดต่ำ (Low) จะส่งผลต่อความแข็งแรง (Strength) ของอิฐหรือไม่ โดยออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบสำหรับปัจจัย 2 ระดับ ได้ผลการทดลองดังนี้

การทดลองที่	Mix	Method	Strength
1	Basalt	Regular	16
2	Sandstone	Low	11
3	Basalt	Low	7
4	Sandstone	Regular	21

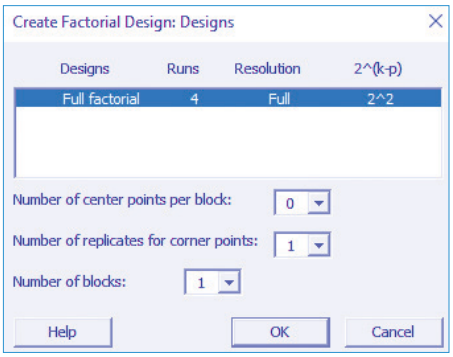
จงทดสอบอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมว่าส่งผลต่อความแข็งแรงของแผ่นอิฐหรือไม่

ขั้นตอนการวิเคราะห์

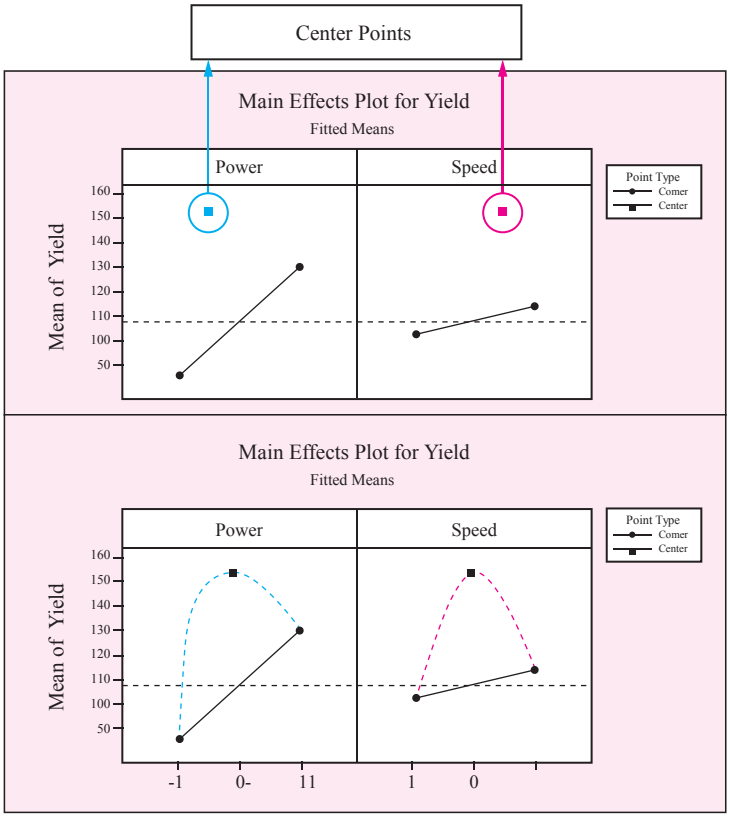
1) สร้าง Worksheet เลือกคำสั่ง Stat > DOE > Factorial > Create Factorial Design โดยเลือกข้อมูลดังนี้



1.1) ในส่วนของ Designs เลือกตามโปรแกรมดังนี้



Chapter_6.indd 200 18/11/2565 BE 10:47



ที่มา : (เฉลิมชาติ ธีระวิริยะ, 2563: 313)

การออกแบบการทดลองให้ได้สมการเส้นโค้ง จำเป็นต้องออกแบบการทดลองวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM) ซึ่งนิยมทำกัน 3 ลักษณะ ได้แก่ 1) การทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบสำหรับปัจจัย 3 ระดับ 2) การทดลองแบบส่วนประสมค่ากลาง (Central Composite Design: CCD) และ 3) การทดลองแบบบ็อกซ-เบห์นเกิน (Box-Behnken Design)

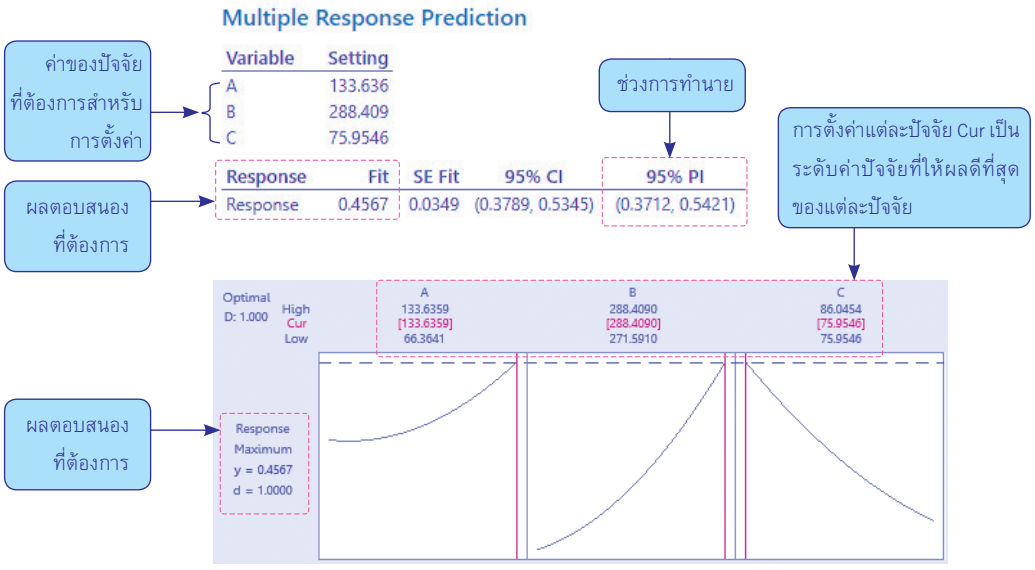
ใน Minitab ให้ฟังก์ชันมาเฉพาะ CCD และ Box-Behnken ดังนั้น ในตำรานี้จะเสนอรายละเอียดเฉพาะ 2 วิธีนี้เท่านั้น

1. การทดลองแบบส่วนประสมค่ากลาง (Central Composite Design: CCD)

การทดลองแบบ CCD เป็นการออกแบบการทดลอง มีความคล้ายคลึงกับการทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบสำหรับปัจจัย 2 ระดับ แต่การทดลองแบบ CCD มีการเพิ่มแนวแกน (Axial Points หรือ Star Points) เพื่อการสร้างสมการกำลังสอง ซึ่งจุดที่เพิ่มเข้ามาใหม่ทำให้การทดลองมีค่ากลางคือ 0 เพิ่มอีก 1 ค่า ดังนั้น การทดลองจึงมีค่าเป็น 3 ระดับ ได้แก่ +1, 0, -1 เพื่อให้เพียงพอต่อการวิเคราะห์สมการกำลังสอง และยังคงวิเคราะห์หาอิทธิพลหลัก (Main Effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) ได้เหมือนการวิเคราะห์การทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบสำหรับปัจจัย 2 ระดับตามปกติ

Chapter_6.indd 227 18/11/2565 BE 10:47

(1.2) คลิกปุ่ม OK จะได้ผลลัพธ์ดังรูป



กราฟแสดงผลลัพธ์การหาค่าผลลัพธ์ที่ต่ำที่สุด ในตาราง Multiple Response Prediction แสดงปัจจัยที่ต้องการสำหรับการตั้งค่า เพื่อที่จะให้ได้คำตอบของผลลัพธ์ที่ต่ำที่สุด ในที่นี้คือ A = 133.6359, B = 288.4090 และ C = 75.9546 ที่ Response ผลลัพธ์ที่ต้องการคือ 0.4567 โดยช่วงความเชื่อมั่น (Confidence Interval) นั่นคือหากการทดลองแบบเดิมซ้ำๆ และหาค่าเฉลี่ยจะพบว่าโอกาสที่จะได้รับค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองคือต่ำสุดของผลิตภัณฑ์เสียในกระบวนการผลิตตกอยู่ในช่วง 0.3789-0.5345 ประมาณ 95% (95% CI) ส่วนที่ 95% PI (Prediction Interval) เป็นช่วงการทำนาย นั่นคือหากการทดลองแบบเดิมซ้ำๆ และหาค่าเฉลี่ยจะพบว่าโอกาสที่จะได้รับค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองคือ ต่ำสุดของผลิตภัณฑ์เสียในกระบวนการผลิตตกอยู่ในช่วง 0.3712-0.5421 ประมาณ 95% (95% PI)

2. การทดลองแบบบ็อกซ-เบห์นเกิน (Box-Behnken Design)

การทดลองแบบบ็อกซ-เบห์นเกิน (Box-Behnken Design) เป็นการทดลองที่คล้ายกับแฟกทอเรียล โดยที่การทดลองแฟกทอเรียลจะใช้ค่าตำแหน่งมุมสุด ส่วนการทดลองแบบ Box-Behnken จะใช้ตำแหน่งค่ากลางของแต่ละปัจจัยแทนเพื่อสร้างสมการกำลังสอง เช่นเดียวกับการทดลองแบบ CCD และการทดลองแบบ Box-Behnken ต้องมี 3 ปัจจัยขึ้นไป แต่ละปัจจัยมีค่า 3 ระดับ คือ +1, 0 และ -1 ตำแหน่งค่าการทดลองแบบ Box-Behnken แสดงไว้ดังรูป

Chapter_6.indd 238 18/11/2565 BE 10:47

แบบฝึกหัด

1. การทดสอบเพื่อการออกแบบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ในด้านอายุการใช้งานจากอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ได้แก่ (1) ชนิดของวัตถุดิบที่นำมาผลิตแบตเตอรี่ (Material_Type) และ (2) อุณหภูมิ (Temperature) ในการใช้งาน นับเป็นจำนวนวันการใช้งาน จากข้อมูลของการนำแบตเตอรี่ไปทดลองใช้ และจำนวนวันใช้งาน แสดงไว้ดังตารางต่อไปนี้ (Douglas, 2009: 167)

A; ชนิดวัตถุดิบ (Material_Type)								
1 (a_1)			2 (a_2)			3 (a_3)		
B; อุณหภูมิการใช้งาน (^{0}F) (Temperature)								
15^0F (b_1)	70^0F (b_2)	125^0F (b_3)	15^0F (b_1)	70^0F (b_2)	125^0F (b_3)	15^0F (b_1)	70^0F (b_2)	125^0F (b_3)
130	34	20	150	136	25	138	174	96
74	80	78	159	106	58	168	150	82
155	40	70	188	122	70	110	120	104
180	75	58	126	115	25	160	139	60

ที่มา : (Douglas, 2009: 167)

2. แผนตรวจสอบคุณภาพของโรงงานตัดเย็บเสื้อผ้าแห่งหนึ่ง ผู้วิจัยสนใจศึกษาผลของการย้อมสีผ้าฝ้ายสังเคราะห์ที่นำมาตัดเสื้อเชิ้ตชายจาก 3 ปัจจัย ได้แก่ (1) สูตรสีย้อมผ้าที่ใช้ 3 สูตร ระดับความเข้มส่วนผสม ได้แก่ สูตร 1, 2 และ 3 (2) อุณหภูมิที่ใช้ต้ม กำหนดเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 30, 45 และ 60 นาที และ (3) การกลับข้างหม้อต้มเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับ 1 = 5 นาที, ระดับ 2 = 10 นาที และระดับ 3 = 15 นาที

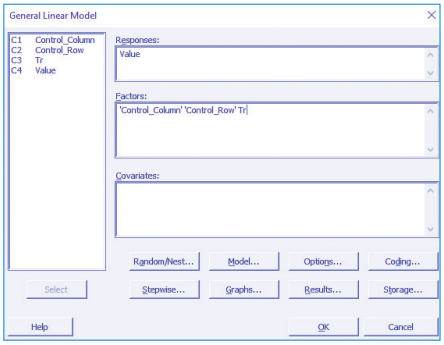
โดยใช้คนงานทำงานใน 3 ช่วงเวลาทำงาน เป็น Blocks ได้แก่ ช่วงแรกเวลาเช้า 8.30-11.30 น. ช่วงที่ 2 (กลางวัน) เวลา 11.31-14.30 น. และช่วงที่ 3 เวลา 14.31-17.30 น. หลังทำงานสุ่มตัวอย่างผ้ามาทดสอบความเข้มของสีที่ติดบนเนื้อผ้า รวบรวมข้อมูลแสดงได้ดังนี้

Factorial_3 × 3 × 3 RCBD ซ้ำ 3 ซ้ำ

Chapter_6.indd 247 18/11/2565 BE 10:47

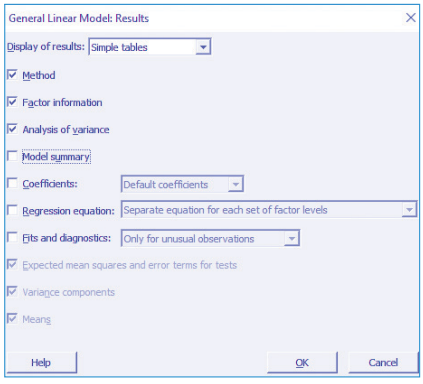
การวิเคราะห์

1) เลือกคำสั่ง Stat > ANOVA > General Linear Model > Fit General Linear Model และกรอกข้อมูลเลือกดังรูป



2) ในส่วนของ Model เลือกตามที่โปรแกรมกำหนดให้

3) ในส่วนของ Results เลือกดังนี้



4) คลิกปุ่ม OK จะได้ผลลัพธ์ดังนี้

General Linear Model: Value versus Control_Column, Control_Row, Tr

Method

Factor coding (-1, 0, +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Control_Column	Fixed	4	1, 2, 3, 4
Control_Row	Fixed	4	1, 2, 3, 4
Tr	Fixed	4	1, 2, 3, 4

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Control_Column	3	7.500	2.5000	5.76	0.002
Control_Row	3	10.500	3.5000	8.06	0.000
Tr	3	16.500	5.5000	12.67	0.000
Error	38	16.500	0.4342		
Lack-of-Fit	6	4.500	0.7500	2.00	0.095
Pure Error	32	12.000	0.3750		
Total	47	51.000			

มีนัยสำคัญทางสถิติ

จาก Analysis of Variance ที่ Control_Column, Control_Row และ Tr มีค่า P-Value < 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 จึงทดสอบเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ต่อไป

Chapter_7.indd 278 18/11/2565 BE 10:49

Sidak Pairwise Comparisons: Control_Row

Grouping Information Using the Sidak Method and 95% Confidence

Control_Row	N	Mean	Grouping
3	12	2.50	A
4	12	1.75	B
2	12	1.50	B
1	12	1.25	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Sidak Simultaneous Tests for Differences of Means

Difference of Control_Row Levels	Difference of Means	SE of Difference	Simultaneous 95% CI	T-Value	Adjusted P-Value
2 - 1	0.250	0.269	(-0.497, 0.997)	0.93	0.930
3 - 1	1.250	0.269	(0.503, 1.997)	4.65	0.000
4 - 1	0.500	0.269	(-0.247, 1.247)	1.86	0.356
3 - 2	1.000	0.269	(0.253, 1.747)	3.72	0.004
4 - 2	0.250	0.269	(-0.497, 0.997)	0.93	0.930
4 - 3	-0.750	0.269	(-1.497, -0.003)	-2.79	0.048

Individual confidence level = 99.15%

เปรียบเทียบรายคู่
ปัจจัยควบคุมทาง Row

Sidak Pairwise Comparisons: Tr

Grouping Information Using the Sidak Method and 95% Confidence

Tr	N	Mean	Grouping
3	12	2.75	A
1	12	1.50	B
2	12	1.50	B
4	12	1.25	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Sidak Simultaneous Tests for Differences of Means

Difference of Tr Levels	Difference of Means	SE of Difference	Simultaneous 95% CI	T-Value	Adjusted P-Value
2 - 1	-0.000	0.269	(-0.747, 0.747)	-0.00	1.000
3 - 1	1.250	0.269	(0.503, 1.997)	4.65	0.000
4 - 1	-0.250	0.269	(-0.997, 0.497)	-0.93	0.930
3 - 2	1.250	0.269	(0.503, 1.997)	4.65	0.000
4 - 2	-0.250	0.269	(-0.997, 0.497)	-0.93	0.930
4 - 3	-1.500	0.269	(-2.247, -0.753)	-5.58	0.000

Individual confidence level = 99.15%

เปรียบเทียบรายคู่
ปัจจัยที่น่าสนใจ ได้แก่ Treatment: Tr

ที่ Sidak Pairwise Comparisons: Control_Column พบว่าคอลัมน์ 2 แตกต่างจากคอลัมน์ 3 และคอลัมน์ 4 ส่วนคอลัมน์ 1 แตกต่างจากคอลัมน์ 3 และคอลัมน์ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ส่วนที่ Sidak Pairwise Comparisons: Control_Row พบว่าแถว 1 แตกต่างจากแถว 2 แถว 3 และแถว 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และแถว 2 แถว 3 และแถว 4 ไม่แตกต่างกัน

ที่ Sidak Pairwise Comparisons: Control_Tr พบว่าทรีตเมนต์ 1 แตกต่างจากทรีตเมนต์ 2 ทรีตเมนต์ 3 และทรีตเมนต์ 4 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และทรีตเมนต์ 2 ทรีตเมนต์ 3 และทรีตเมนต์ 4 ไม่แตกต่างกัน

Chapter_7.indd 280 18/11/2565 BE 10:49

แบบฝึกหัด

1. ข้อมูลต่อไปนี้ให้ท่านวิเคราะห์ความแปรปรวน LS

		ปัจจัยที่เกี่ยวข้องตัวที่ 1			
		1	2	3	4
ปัจจัยที่เกี่ยวข้องตัวที่ 2	1	D = 1	C = 2	B = 3	A = 3
	2	A = 4	B = 2	C = 2	D = 2
	3	C = 2	A = 5	D = 2	B = 1
	4	B = 1	D = 1	A = 4	C = 1

โดยมีปัจจัยสนใจ 1 ปัจจัย 4 ระดับ ได้แก่ A, B, C และ D ให้ทดสอบความแตกต่างของทรีตเมนต์ที่ α = 0.05

2. การทดลองแบบ LS ประกอบด้วย 4 สิ่งทดลอง คือ A, B, C และ D แต่ละหน่วยทดลองเก็บข้อมูล 3 ค่า ผลการทดลองดังนี้

		คอลัมน์ (ปัจจัยที่เกี่ยวข้องตัวที่ 1)			
		1	**2**	**3**	**4**
แถว (ปัจจัยที่เกี่ยวข้องตัวที่ 2)	1	(B) 1, 3, 1	(D) 1, 1, 1	(A) 1, 2, 2	(C) 3, 3, 3
	2	(C) 4, 2, 3	(A) 2, 2, 1	(D) 1, 2, 1	(B) 1, 2, 2
	3	(D) 1, 2, 1	(C) 3, 2, 3	(B) 2, 2, 1	(A) 2, 3, 1
	4	(A) 2, 1, 1	(B) 2, 3, 1	(C) 2, 2, 2	(D) 1, 1, 1

โดยทดสอบที่ α = 0.05

Chapter_7.indd 285 18/11/2565 BE 10:49