

การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์

ยุทธ ไถยวรรณ

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

Email: dr.yuth_go@hotmail.com

Received: Dec 12, 2021

Revised: Apr 25, 2022

Accepted: Jun 13, 2022

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์การทดลองทั่วไปจะมีการควบคุมปัจจัยภายนอกที่อาจมีผลต่อค่าที่สังเกตได้จากหน่วยทดลอง แต่ในการทดลองบางประเภท ผู้ทดลองไม่สามารถควบคุมปัจจัยภายนอกที่อาจแทรกซ้อนเข้ามาในหน่วยทดลองได้ หากผู้ทดลองนำค่าที่ได้จากการสังเกตในหน่วยทดลองไปวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อพิจารณาอิทธิพลของทรีตเมนต์ต่าง ๆ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะไม่น่าเชื่อถือ ดังนั้นหากการทดลองต้องการศึกษาอิทธิพลที่เกิดจากปัจจัยที่สนใจในการวิเคราะห์จะต้องแยกปัจจัยที่ไม่สนใจเหล่านี้ออกก่อนเพื่อให้ทราบผลของปัจจัยที่สนใจอย่างแท้จริง วิธีการวิเคราะห์ตามวิธีนี้ เรียกว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมหรือการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบโคแวนเรียนซ์ ในการทดลอง เรียกปัจจัยที่ไม่สนใจเหล่านี้ว่า ตัวแปรร่วมหรือปัจจัยร่วม การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมนั้น ตัวแปรอิสระหรือระดับปัจจัยนั้นเป็นตัวแปรเชิงกลุ่ม ส่วนตัวแปรร่วมและตัวแปรตามเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ ซึ่งการจัดผังการทดลองก็จัดตามแผนการทดลองที่สนใจ เช่น แบบสุ่มสมบูรณ์ แบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อกหรือแบบอื่น ๆ แต่ในบทความนี้จะอธิบายเฉพาะจัดตามผังการทดลองแบบ เท่านั้น

คำสำคัญ: การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม, การทดลอง, แบบสุ่มสมบูรณ์, แบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก

Analysis of Covariance in Completely Randomized Design

Yuth Kaiyawan

Faculty of Industrial Technology, Phranakhon Rajabhat University

Email: dr.yuth_go@hotmail.com

Received: Dec 12, 2021

Revised: Apr 25, 2022

Accepted: Jun 13, 2022

Abstract

General experimental analysis external factors that may affect the values observed in the experimental unit are controlled. But in some experiments Subject is unable to control external factors that may interfere with the experimental unit. If the experimenter takes the values obtained from the observations in the experimental unit to analyze the variance. In orders to determine the influence of different treatments, the results obtained from the analysis are not reliable.

Therefore, if an experiment wants to study the influences caused by the factors of interest in the analysis, these disregard factors must be excluded. In orders to know the effect of the factors that are genuinely interested in this method of analysis is called covariance analysis, or analysis of covariance (Analysis of Covariance (ANCOVA). In the experiment, these disregard factors were referred to as Covariate or Covariate (Covariate Variable), that covariance analysis Independent variables or factor levels are group variables. The covariates and dependent variables were quantitative variables. The experimental layout was arranged according to the experiment plan of interest, such as the Completely Randomized Design: CRD, Randomized Complete Block Design: model or other types, but here, it describes only the CRD experimental layout.

Keywords: Analysis of Covariance, experiment, Completely Randomized Design, Randomized Complete Block Design

บทนำ

การทดลองบางประเภท ผู้ทดลองไม่สามารถควบคุมปัจจัยภายนอกที่อาจแทรกซ้อนเข้ามา ในหน่วยทดลองได้ หากผู้ทดลองนำค่าที่ได้จากการสังเกตในหน่วยทดลองไปวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อพิจารณาอิทธิพลของทรีตเมนต์ต่าง ๆ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะไม่น่าเชื่อถือ หรือคำตอบที่ได้ อาจไม่ถูกต้อง ในการทดลองบางครั้งจะมีตัวแปรร่วม (x) ที่เราไม่สนใจ แต่จะมีอิทธิพลต่อตัวแปรตามหรือผลของทรีตเมนต์ (y) หรือตัวแปรร่วม (x) ซ่อนอยู่ร่วมกับตัวแปรตาม (y) ดังนั้นการวิเคราะห์จะต้องแยกตัวแปรร่วม (x) ออกก่อน โดยการวัดค่าของ x ก่อน จากนั้นจึงวัดค่า ตัวแปรตาม (y) หรือทรีตเมนต์ ซึ่งในที่นี้จะมีค่าของ x ซ่อนอยู่ ซึ่งค่าของ y จะมีค่าของ x ร่วมอยู่ด้วย การวิเคราะห์หากเราแยกค่าของ x และ y ออกจากกัน เรียกว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (Analysis of Covariance: ANCOVA) [1] การทดลองในโรงงานอุตสาหกรรมมีการนำการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมไปใช้เพื่อทดสอบหรือทดลองมากมาย และเป็นที่ยอมรับ ทั้งนี้เพราะระบบผลิตสินค้ามีสิ่ง

ต้องการคำตอบ หรือสิ่งอยากรู้ ในกระบวนการผลิตมีมากมาย และทุกครั้งทุกเวลา ที่มีการผลิตสินค้า เช่น การวัดขนาดความหนาของเคลือบโครเมียมเคลือบมือจับเปิด-ปิดประตูรถ เคลือบกันชน อาหารกระป๋อง นมผง เคลือบสังกะสีบนแผ่นเหล็ก ยาสีฟันลงในหลอด และผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่ไม่สามารถวัดขนาดหรือแยกตัวแปรร่วม (x) ออกจากตัวแปรตาม (y) ได้ชัดเจน แต่หากแยกตัวแปรร่วม (x) ออกจากตัวแปรตาม (y) ได้ชัดเจนแล้วก็อาจไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม ผู้วิเคราะห์เลือกการวิเคราะห์ความแปรปรวนปกติในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ หรือแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อกก็ได้แต่ในบทความนี้จะพูดถึงเฉพาะในแผนทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์เท่านั้น

ส่วนเนื้อหา

รูปแบบการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม
ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม [2]

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมในแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์

SOV	SS and Sum of Products				y Adjusted for x		
	df	y^2	xy	x^2	df	SS	MS
Treatment (Tr)	t - 1	T_{yy}	T_{xy}	T_{xx}	-	-	-
Error (E)	t(r - 1)	E_{yy}	E_{xy}	E_{xx}	t(r - 1)	E'_{yy}	$MS_{E(Adj)}$
Total	tr - 1	S_{yy}	S_{xy}	S_{xx}	-	-	-
(Tr + E)	tr - 1	S_{yy}	S_{xy}	S_{xx}	(tr - 1) - 1	S'_{yy}	-
(Treatment + Error)							
Treatment (Adjusted for Covariate)					t - 1	$S'_{yy} - E'_{yy}$	$MS_{T(Adj)}$

เมื่อ Tr หรือ t = ทรีตเมนต์หรือจำนวนสิ่งทดลอง r คือ จำนวนซ้ำ

ตัวอย่างที่ 1 การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ที่มีการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม มีสิ่งทดลอง 3 ทรีตเมนต์และซ้ำ 7 ซ้ำ ได้ผลการทดลอง ดังนี้ [3]

ตารางที่ 2 ข้อมูลการทดลองการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมของการทดลองแบบแบบสุ่มสมบูรณ์

ซ้ำ	ทรีตเมนต์ 1		ทรีตเมนต์ 2		ทรีตเมนต์ 3	
	x	y	x	y	x	y
1	3	6	4	8	3	6
2	1	4	5	9	2	7
3	3	5	5	7	2	7
4	1	3	4	9	3	7
5	2	4	3	8	4	8
6	1	3	1	5	1	5
7	4	6	2	7	4	7
ผลรวม	15	31	24	53	19	47
ผลรวมกำลังสอง	41	147	96	413	59	321
ผลรวมของ xy	75		191		132	

เมื่อ x คือ ตัวแปรร่วม y คือ ตัวแปรที่ต้องการศึกษา
จะได้

- 1) ผลรวมของ x ทั้งหมด = $15+24+19 = 58$
- 2) ผลรวมของ y ทั้งหมด = $31+53+47 = 131$
- 3) ผลรวมของ x^2 ทั้งหมด = $41+96+59 = 196$
- 4) ผลรวมของ y^2 ทั้งหมด = $147+413+321=881$
- 5) ผลรวมของ xy ทั้งหมด = $75+191+132=398$

$$T_{xx} = \frac{15^2 + 24^2 + 19^2}{r} - CT_x$$

$$= \frac{15^2 + 24^2 + 19^2}{7} - 160.19$$

$$= 166 - 160.19 = 5.81$$

4) Error SS ของ

$$E_{xx} = S_{xx} - T_{xx} = 35.81 - 5.81 = 30.00$$

วิธีการคำนวณ

1. คำนวณหาค่า SS (Sum of Square) แต่ละทรีตเมนต์
ของ x และ y ตามการวิเคราะห์ความแปรปรวนปกติ

1.1 ของตัวแปร x

1) Correction Term:

$$CT_{.x} = \frac{58^2}{(t)(r)} = \frac{58^2}{(7)(3)} = 160.19$$

2) Total SS ของ

$$S_{xx} = \sum x^2 - CT_{.x} = 196 - 160.19 = 35.81$$

3) Treatment SS ของ

1.2 ของตัวแปร y

1) Correction Term;

$$CT_{.y} = \frac{131^2}{(t)(r)} = \frac{131^2}{(7)(3)} = 817.19$$

1.3 Total SS ของ

$$S_{yy} = \sum y^2 - CT_{.y} = 881 - 817.19 = 63.81$$

1.4 Treatment SS ของ

$$T_{yy} = \frac{31^2 + 53^2 + 47^2}{r} - CT_{.y}$$

$$= \frac{31^2 + 53^2 + 47^2}{7} - 817.19$$

$$= 854.14 - 817.19 = 36.95$$

1.5 Error SS ของ

$$E_{yy} = S_{yy} - T_{yy} = 63.81 - 36.95 \\ = 26.86$$

1.6 Treatment SS ของ

$$T_{xy} = \frac{\text{ผลบวกของผลคูณของ } x \text{ กับ } y \text{ ในแต่ละทรีตเมนต์}}{\text{จำนวนซ้ำ}} - CT_{xy} \\ = \frac{(15)(31) + (24)(53) + (19)(47)}{(r)} - CT_{xy} \\ = \frac{(15)(31) + (24)(53) + (19)(47)}{(7)} - 361.81 \\ = 375.71 - 361.81 = 13.90$$

1.7 Error SP ของ

$$E_{xy} = S_{xy} - T_{xy} = 36.19 - 13.90 = 22.29$$

3. คำนวณหาค่า SP (Sum of Products)
หรือผลบวกของผลคูณแต่ละทรีตเมนต์ของตัวแปร x กับ y ซึ่งก็คือ xy

1) Correction Term:

$$CT_{xy} = \frac{(\text{ผลบวกของ } x)(\text{ผลบวกของ } y)}{\text{จำนวนข้อมูลที่ประกอบเป็นผลรวม}} \\ = \frac{(58)(131)}{(t)(r)} = \frac{(58)(131)}{(7)(3)} = 361.81$$

2) คำนวณหาส่วนของ Adjusted

(2.1) คำนวณ Error (Adjusted) ของ

$$SS \text{ หรือ } E'_{yy}$$

$$E'_{yy} = E_{xy} = \frac{E_{xy}^2}{E_{xx}} = 26.86 - \frac{(22.29)^2}{30.00}$$

$$= 26.86 - 16.56 = 10.30$$

(2.2) คำนวณ Error (Adjusted) ของ MS

หรือหา $MS_{E(Adj)}$

$$MS_{E(Adj)} = \frac{E'_{yy}}{df \text{ Error}(Adj)} = \frac{10.30}{t(r-1)-1} \\ = \frac{10.30}{3(7-1)-1} = \frac{10.30}{17} = 0.61$$

(2.3) คำนวณหา S'_{yy}

$$S'_{yy} = S_{yy} - \frac{S_{xy}^2}{S_{xx}} = 63.81 - \frac{(36.91)^2}{35.81} \\ = 63.81 - 36.57 = 27.24$$

(2.4) คำนวณหาค่า Treatment (Adjusted for Covariate) ของ SS หรือ $SS_{(Adj)}$

$$SS_{(Adj)} = S'_{yy} - E'_{yy} = 27.24 - 0.30 = 16.94$$

(2.5) คำนวณหา Treatment (Adjusted) ของ MS หรือ $MS_{T(Adj)}$

$$MS_{T(Adj)} = \frac{SS_{(Adj)}}{df \text{ Treatment}(Adj)} = \frac{SS_{(adj)}}{t-1} \\ = \frac{16.94}{3-1} = 8.47^{**}$$

(3) ทดสอบสถิติค่าเอฟ (F-Test)

$$F = \frac{MS_{T(Adj)}}{MS_{E(Adj)}} = \frac{8.47}{0.61} = 13.88$$

df ที่เปิดตารางคือ df (Adjusted) ที่ t-1, t(r-1) ซึ่งก็คือ 2 และ 17 จะได้

$$F_{.01(2, 17)} = 3.59$$

$$F_{.05(2, 17)} = 6.11$$

เมื่อ $F_{\text{คำนวณ}} > F_{\text{ตาราง}}$ จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0

การวิเคราะห์แสดงค่าความแปรปรวนร่วมของ CRD ตัวอย่างที่ 1 ดังนี้

SOV	SS and Sum of Products				y Adjusted for x		
	df	y ²	xy	x ²	df	SS	MS
Treatment (Tr)	2	36.95	13.90	5.81	-	-	-
Error (E)	18	26.86	22.29	30.00	17	10.30	0.61
Total	20	63.81	36.19	35.81	-	-	-
(Tr + E)	20	63.81	36.19	35.81	19	27.24	-
Treatment (Adjusted for Covariate)					2	16.94	8.47**

df ปรับแล้ว = 2

df_{Treatment ปรับแล้ว} = 2

$\frac{SS}{df} = \frac{10.30}{17} = 0.605$

4. การเปรียบเทียบรายคู่

กรณีการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม เมื่อพบว่า การทดสอบปฏิเสธ H_0 จะต้องวิเคราะห์เปรียบเทียบรายคู่เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีขั้นตอน ดังนี้

จากตัวอย่างที่ 1 สร้างแฟ้มข้อมูลเพื่อวิเคราะห์คือ แฟ้มข้อมูลดังนี้

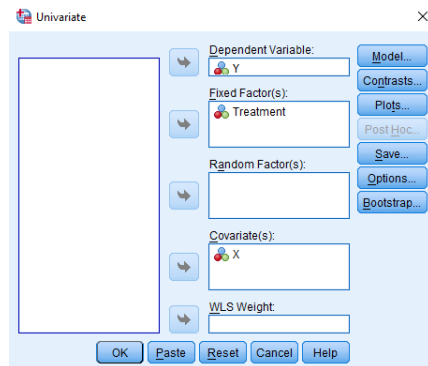
	Treatment	X	Y
1	1.00	3.00	6.00
2	1.00	1.00	4.00
3	1.00	3.00	5.00
4	1.00	1.00	3.00
5	1.00	2.00	4.00
6	1.00	1.00	3.00
7	1.00	4.00	6.00
8	2.00	4.00	8.00
9	2.00	5.00	9.00
10	2.00	5.00	7.00
11	2.00	4.00	9.00
12	2.00	3.00	8.00
13	2.00	1.00	5.00
14	2.00	2.00	7.00
15	3.00	3.00	6.00
16	3.00	2.00	7.00
17	3.00	2.00	7.00
18	3.00	3.00	7.00
19	3.00	4.00	8.00
20	3.00	1.00	5.00
21	3.00	4.00	7.00
22			

ใช้คำสั่ง Analyze → General Linear Model
→ Univariate

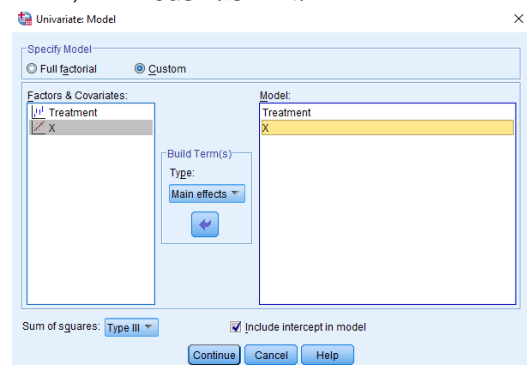
1) ที่ Dependent Variable ใส่ตัวแปรที่ทดสอบ ในที่นี้คือ y

2) ที่ Fixed Factor(s) ใส่ตัวแปรที่เป็นเชิงกลุ่ม ในที่นี้คือ Treatment

3) ที่ Covariate(s) ใส่ตัวแปรร่วม ในที่นี้คือ x ดังนี้



4) ที่ Model เลือก ดังนี้



5) ที่ Option เลือก ☒ Descriptive Statistics เพื่อดูสถิติบรรยายประกอบข้อมูลการทดลอง

6) คลิกที่ OK จะได้ผลลัพธ์ ดังนี้

Descriptive Statistics

Dependent Variable: Y

Treatment	Mean	Std. Deviation	N
1.00	4.4286	1.27242	7
2.00	7.5714	1.39728	7
3.00	6.7143	.95119	7
Total	6.2381	1.78619	21

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Y

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	Sig.
Corrected Model	53.507 ^a	3	17.836	.000
Intercept	58.054	1	58.054	.000
Treatment	16.932	2	8.466	.000
X	16.555	1	16.555	.000
Error	10.302	17	.606	
Total	881.000	21		
Corrected Total	63.810	20		

a. R Squared = .839 (Adjusted R Squared = .810)

จะมีความหนาบางต่างกันหรือไม่ โดยความหนาของสังกะสีที่เคลือบบนเหล็กแผ่นนั้นจะวัดเป็นมิลลิเมตร อย่างไรก็ตามมีผู้ตั้งข้อสังเกตว่าความหนาของสังกะสีที่เคลือบบนเหล็กแผ่นนั้นไม่ได้มีความหนาแตกต่างกัน เพียงเพราะสาเหตุมาจากการเคลือบของบริษัทเท่านั้น แต่จะขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างความหนาของเหล็กแผ่นจากโรงงานผู้ผลิตเหล็กแผ่นด้วย ดังนั้น ก่อนการเคลือบสังกะสีผู้ทดสอบจึงวัดความหนาบางของเหล็กแผ่นทั้ง 3 บริษัทก่อน โดยข้อมูลของการวัดความหนาบางของเหล็กแผ่น (x) และความหนาบางของสังกะสีเคลือบบนเหล็กแผ่น (y) แสดงไว้ ดังนี้ [4]

ตัวอย่างที่ 2 ผู้ทดลอง สนใจความหนาของสังกะสีที่เคลือบเหล็กแผ่น (Metal Sheet) จาก 3 บริษัทว่า

จำนวนเหล็กแผ่น	บริษัทเคลือบสังกะสี					
	บริษัท A		บริษัท B		บริษัท C	
	x	y	x	y	x	y
1	.81	.11	1.10	.20	.98	.08
2	.75	.12	.98	.18	.99	.10
3	.84	.09	1.20	.09	1.24	.09
4	1.10	.18	1.01	.08	1.10	.08
5	.98	.21	.98	.06	1.22	.11
รวม	4.48	0.71	5.27	0.61	5.53	0.46

จึงทดสอบดูว่า

A) ควรจะใช้วิธีการทดสอบด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมหรือไม่

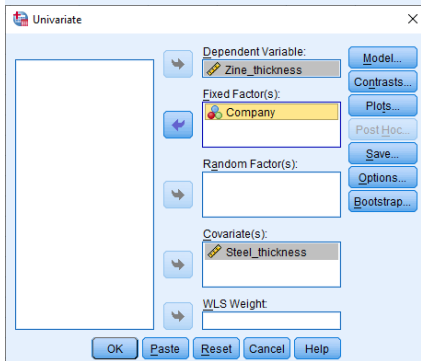
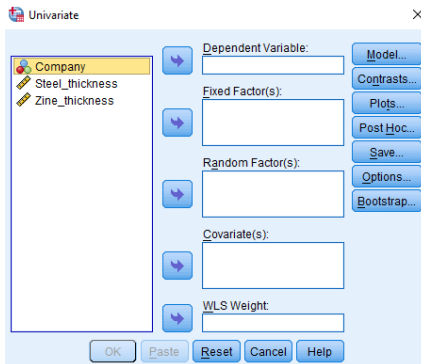
B) มีความแตกต่างกันระหว่างค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์หรือไม่

จากข้อมูลสร้างเป็นแฟ้มข้อมูล ดังนี้

16 : Zine_thickness			
	Company	Steel_thickness	Zine_thickness
1	1.00	.81	.11
2	1.00	.75	.12
3	1.00	.84	.09
4	1.00	1.10	.18
5	1.00	.98	.21
6	2.00	1.10	.20
7	2.00	.98	.18
8	2.00	1.20	.09
9	2.00	1.01	.08
10	2.00	.98	.06
11	3.00	.98	.08
12	3.00	.99	.10
13	3.00	1.24	.09
14	3.00	1.10	.08
15	3.00	1.22	.11

การวิเคราะห์ Analyze → General Linear Model → Univariate

1) ป้อนตัวแปร ดังนี้



Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Zinc_thickness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.010 ^a	3	.003	1.592	.247
Intercept	.000	1	.000	.071	.794
Company	.010	2	.005	2.387	.138
Steel_thickness	.004	1	.004	1.782	.209
Error	.023	11	.002		
Total	.245	15			
Corrected Total	.033	14			

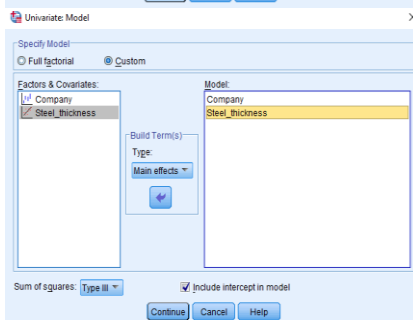
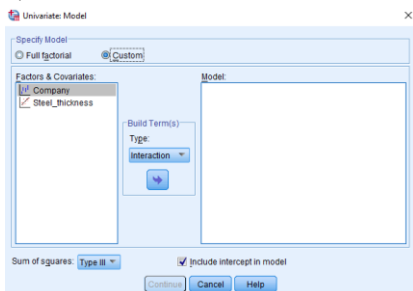
a. R Squared = .303 (Adjusted R Squared = .113)

A) ความหนาบางเหล็กแผ่นจาก 3 บริษัท (Company) (x) จะมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของ y หรือความหนาบางของสังกะสีหรือไม่

df คือ 1, 11 สถิติค่า F คือ 1.782 และ Sig. = .209 จึงยอมรับ H_0 ความหนาบางจาก 3 บริษัท ไม่แตกต่างกัน จึงไม่จำเป็นต้องวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม

B) เมื่อพิจารณาความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ที่ df = 2, 11 สถิติค่า F = 2.387 และ Sig. = .138 จึงยอมรับ H_0 หรือไม่มีความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของทรีตเมนต์ หรือความหนาบางของสังกะสีที่เคลือบบนเหล็กแผ่นไม่แตกต่างกัน

2) ที่ Model เลือก Custom ดังนี้



3) คลิก OK จะได้ผลลัพธ์ ดังนี้

ส่วนสรุปและอภิปราย

ในการทดลองทั่วไป ผู้ทดลองต้องการควบคุมให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด การควบคุมความคลาดเคลื่อนของการทดลอง ผู้ทดลองทำได้โดยการจัดแบ่งหน่วยทดลองออกเป็นกลุ่ม ๆ (grouping หรือ blocking) ตามความแตกต่างของหน่วยทดลอง แต่ในบางครั้งผู้ทดลองไม่สามารถแบ่งกลุ่มของหน่วยทดลองได้ เช่น ความหนาแน่นของผิวกระดาษ ความหนาแน่นของเนื้อดินเผา ก่อนเคลือบ ความหนาของโลหะแผ่นก่อนเคลือบด้วยสังกะสีเหล่านี้เป็นต้น เมื่อเริ่มทดลองผู้ทดลองต้องเก็บค่าของปัจจัยที่ไม่สนใจออก เพื่อให้ทราบค่าปัจจัยที่สนใจมาจากสิ่งที่ทดลองจริง ๆ วิธีวิเคราะห์ด้วยเทคนิคดังกล่าวเรียกว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม เก็บรวบรวมข้อมูลจากผังการทดลองหลายแบบ เช่น หากการทดลองไม่มีสถานการณ์ควบคุมก็จะเลือกใช้แบบสุ่มสมบูรณ์ เรียกการทดลองนี้ว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวน

ร่วมในการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ดังที่อธิบายในบทความนี้ แต่การทดลองหากมีสภาวะการควบคุม 1 สภาวะการ อาศัยวิธีด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมในการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ภายในบล็อก และหากมีสภาวะการควบคุม 2 สภาวะการ การวิเคราะห์จะใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมในการทดลองแบบจัตุรัสละติน (Latin Square Design: LSD)

References

- [1] M. C. Douglas, Design and Analysis of Experiments, Singapore: John Wiley and Sons (Asia) Inc, 2002.
- [2] S. Sinsomboon, agricultural experiment planning, Bangkok: Department of Applied Statistics Faculty of Science King Mongkut's University of Technology Ladkrabang, 2002.
- [3] Y. Kaiyawan, Planning an Experiment for Research, Bangkok: Chulalongkorn University Press, 2002.
- [4] P. Chutima, Engineering Experiment Design, Bangkok: Chulalongkorn University Press, 2002.