

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองเบื้องต้น ด้วยหลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ผลการทดลองเบื้องต้นอันเกี่ยวกับการคัดเลือกปัจจัยที่จะศึกษาถึงผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวโดยอาศัยการทดลองอย่างสุ่มสมบูรณ์ หรือการจำแนกทางเดียว (Complete Randomized Design; CRD หรือ One-Way ANOVA)

4.1 ผลการทดลองอย่างสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design; CRD)

ปัจจัยและระดับของปัจจัยของกระบวนการเคียวริง (Curing Process) ในการทดลองเป็นดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการเคียวริง

ตัวแปร	รายละเอียด	ช่วงที่เป็นไปได้
ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors)	1. อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) = ความร้อนที่ให้ในกระบวนการ 2. เวลา (นาที) = เวลาในการให้ความร้อน	150 - 180 55 - 70
ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Noise Factors)	1. ชนิดของกาว = กาวเพื่อสามารถติดแผ่นฉนวนลงบนแผ่นทองแดง 2. จำนวนชั้นนำเข้าของผลิตภัณฑ์ = จำนวนชั้นการวางผลิตภัณฑ์แต่ละรอบการทำงาน	Halogen , Non-Halogen 10 , 12
ผลลัพธ์ (Response)	เปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาว (Gel Ratio %)	

สามารถสรุปปัจจัยในการทำการทดลองเบื้องต้นได้ดังตาราง 4.2

ตารางที่ 4.2
ระดับของปัจจัยสำหรับการทดลอง

ปัจจัย	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3	ระดับที่ 4
อุณหภูมิ (°C)	150	160	170	180
เวลา (นาท)	55	60	65	70
ชนิดของกาว	Halogen	Non-Halogen		
จำนวนชั้นนำเข้า	10	12		

4.1.1 ผลการทดสอบทางสถิติในส่วนของการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ของปัจจัยต่างๆ

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทำการทำการคัดเลือกปัจจัยต่าง ๆ มีดังนี้

1. อุณหภูมิ ทำการเปลี่ยนแปลง 4 ระดับ ได้แก่

ระดับที่ 1 150°C, ระดับที่ 2 160°C, ระดับที่ 3 170°C, ระดับที่ 4 180°C

ส่วนปัจจัยอื่น ๆ กำหนดที่สภาวะปัจจุบันคือ เวลา เท่ากับ 65 นาที, จำนวนชั้นการนำเข้า เท่ากับ 10 ชั้น และใช้ชนิดของกาวทั้งสองชนิดในการทดลอง

สรุปตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ช่วงความเชื่อมั่น (CI) 95 % กรณีปัจจัย คือ อุณหภูมิ

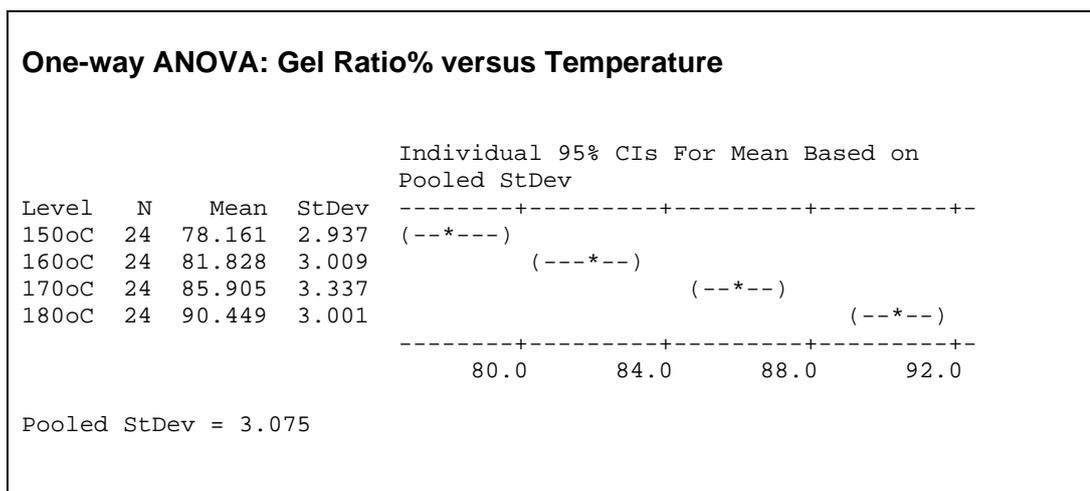
ตารางที่ 4.3

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) กรณีปัจจัย คือ อุณหภูมิ

Source	df	Sums of Squares	Mean Squares	F-Statistic	p-Value
อุณหภูมิ	3	2015.97	671.99	71.06	0.000
Error	92	870.03	9.46		
Total	95	2886.00			

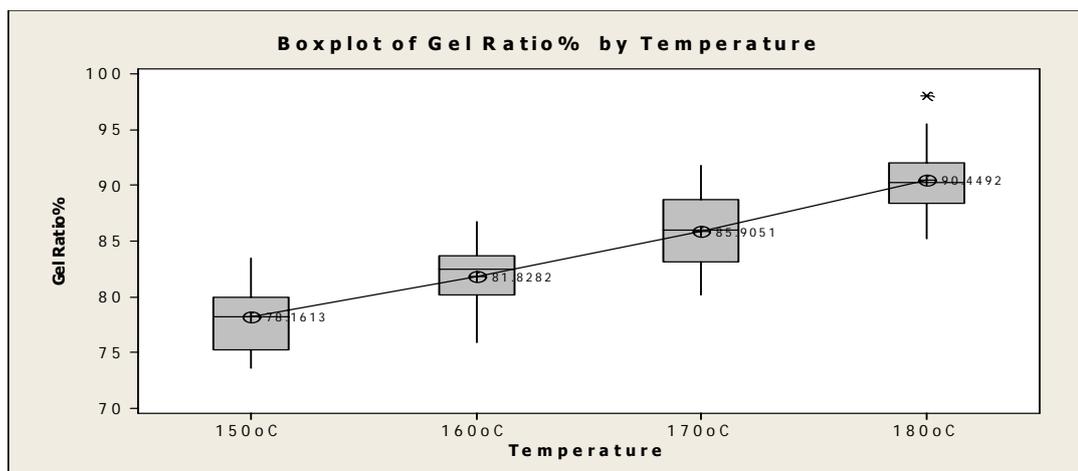
ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดย Minitab แสดงความแตกต่างผลเฉลี่ยระหว่างระดับของปัจจัยอุณหภูมิ

ตารางที่ 4.4
ความแตกต่างผลเฉลี่ยระหว่างระดับของปัจจัยอุณหภูมิ



จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรม Minitab เมื่อพิจารณาค่า P-value ในตาราง 4.2 พบว่าค่า P-value ของปัจจัยอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า α ที่กำหนดคือ 0.05 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาว ในกระบวนการเคียวริงอย่างมีนัยสำคัญ

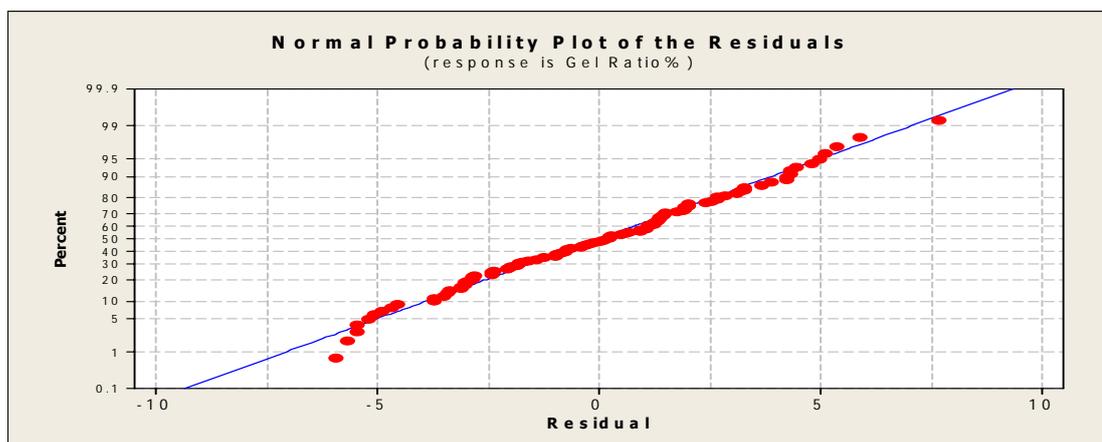
การเปรียบเทียบผลความแตกต่างของค่าเฉลี่ยจากภาพที่ 4.1 โดยแผนภาพกล่องในแต่ละระดับของปัจจัยอุณหภูมิ พบว่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวเพิ่มขึ้นเมื่อระดับของอุณหภูมิในการเคียวริงเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.1

แผนภาพกล่องแสดงผลของปัจจัย อุณหภูมิ ระดับที่ 1-4

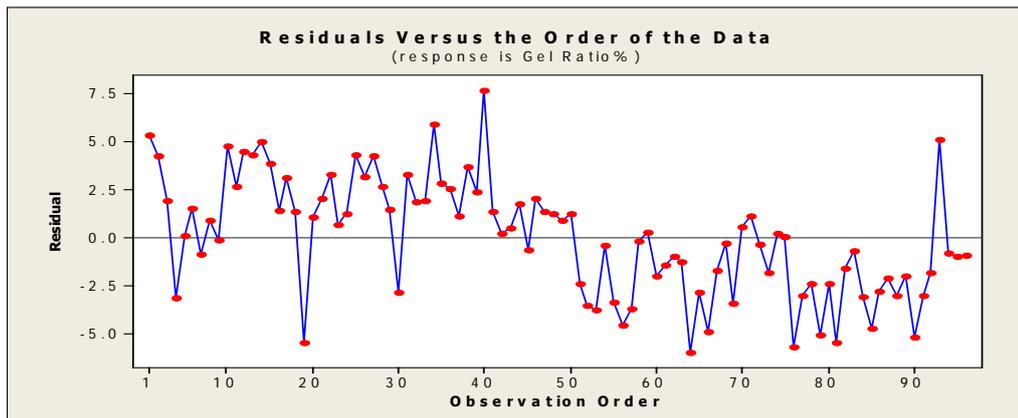
การตรวจสอบการกระจายของค่าความผิดพลาด (Residuals) ว่ามีการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) จากภาพที่ 4.2 พบว่าการกระจายของค่าความผิดพลาด (Residuals) ของข้อมูลมีการกระจายตามแนวเส้นตรง ทำให้สรุปได้ว่าค่าความผิดพลาด (Residuals) มีการกระจายแบบปกติ



ภาพที่ 4.2

การแจกแจงข้อมูลแบบปกติของค่าผิดพลาดจากปัจจัยเวลาอุณหภูมิ ระดับที่ 1-4

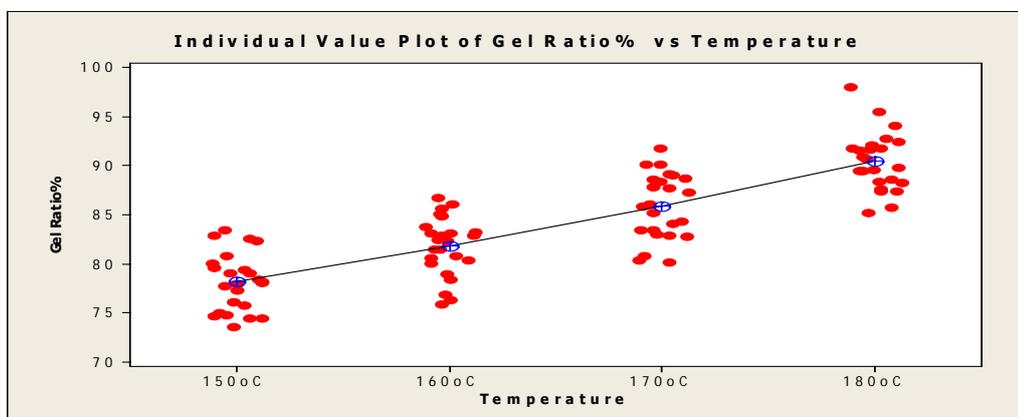
การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent) โดยพิจารณาจากแผนภูมิการกระจาย จากภาพที่ 4.3 พบว่าการกระจายตัวของค่าความผิดพลาด (Residuals) มีรูปแบบการกระจายเป็นอิสระ ไม่สามารถทำนายรูปแบบได้แน่นอน แสดงให้เห็นว่าค่าความผิดพลาด (Residuals) มีความเป็นอิสระต่อกัน



ภาพที่ 4.3

ความเป็นอิสระต่อกันของค่าผิดพลาดของปัจจัยอุณหภูมิ ระดับที่ 1 – 4

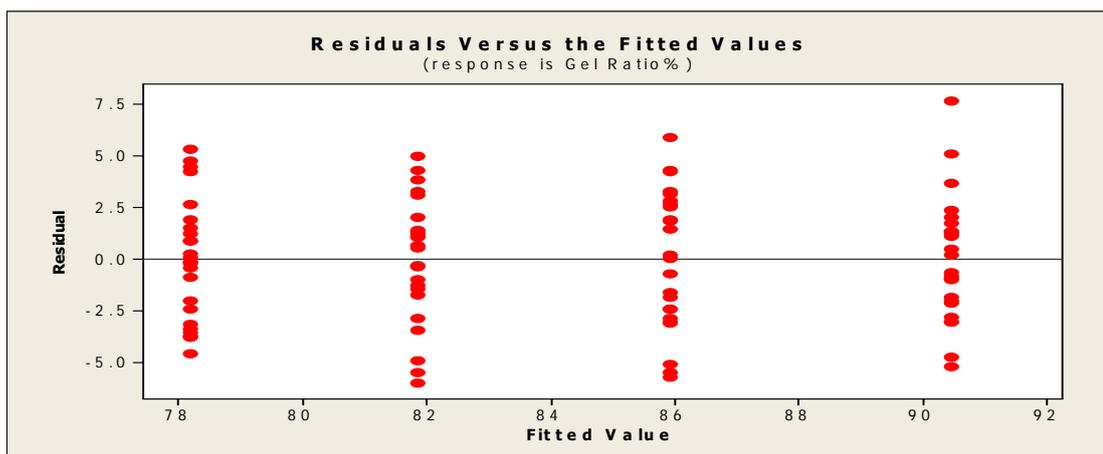
การตรวจสอบความแปรปรวนคงที่ของปัจจัยอุณหภูมิ โดยพิจารณาจากการกระจายตัวของค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวในแต่ละระดับของอุณหภูมิที่ทำการทดลอง จากภาพที่ 4.4 ไม่พบรูปแบบการกระจายตัวที่ผิดปกติ และมีแนวโน้มที่มีการกระจายตัวของความแปรปรวนของข้อมูลคงที่



ภาพที่ 4.4

ความคงที่ของความแปรปรวนที่เกิดขึ้นของปัจจัยอุณหภูมิ ระดับที่ 1-4

การตรวจสอบค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาด (Residuals) โดยพิจารณาจากแผนภูมิการกระจายของค่าความผิดพลาดของค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาว ภาพที่ 4.5 เทียบกับระดับปัจจัยอุณหภูมิ พบว่าค่าความผิดพลาดในแต่ละระดับ มีการกระจายในด้านบวกและลบมีความสมดุลกัน จึงประมาณได้ว่าค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดมีค่าใกล้เคียงศูนย์



ภาพที่ 4.5

การกระจายตัวของค่าความผิดพลาดเมื่อเทียบกับปัจจัยอุณหภูมิ ระดับที่ 1-4

จากภาพที่ 4.2-4.5 เป็นการตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของตัวแบบของปัจจัยอุณหภูมิ ตามหลักการ $\varepsilon_{ij} \approx NID(0, \sigma^2)$ พบว่ารูปแบบของ Residuals ที่ได้จากข้อมูลในการทดลองเป็นไปตามหลักการทุกประการ ดังนั้นข้อมูลของการทดลองชุดนี้มีความถูกต้องและเชื่อถือได้

2. เวลา ทำการเปลี่ยนแปลง 4 ระดับ ได้แก่

ระดับที่ 1 55 นาที, ระดับที่ 2 60 นาที, ระดับที่ 3 65 นาที, ระดับที่ 4 70 นาที ส่วนปัจจัยอื่นๆ กำหนดที่สภาวะปัจจุบันคือ อุณหภูมิ เท่ากับ 160 °C, จำนวนชั้นการนำเข้า เท่ากับ 10 ชั้น และใช้ชนิดของกาวทั้งสองประเภท

สรุปตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) กรณีปัจจัย คือ เวลา

ตารางที่ 4.5

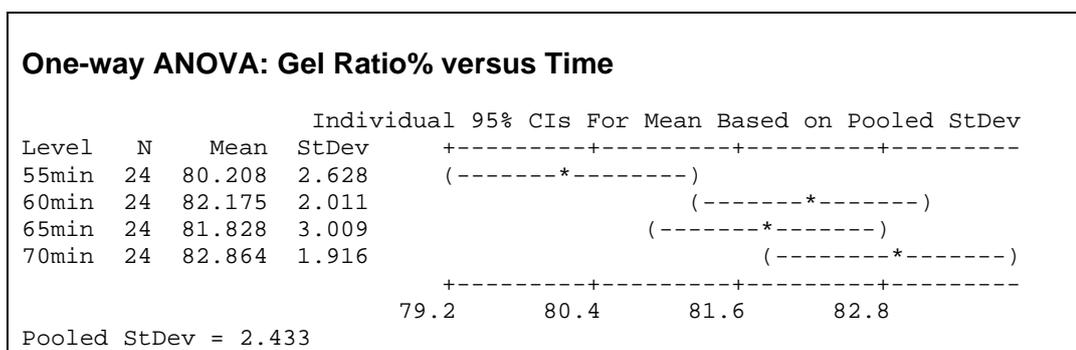
การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) กรณีปัจจัย คือ เวลา

Source	df	Sums of Squares	Mean Squares	F-Statistic	p-Value
เวลา	3	91.34	30.45	5.14	0.002
Error	92	544.52	5.92		
Total	95	635.86			

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดย Minitab แสดงความแตกต่างผลเฉลี่ยระหว่างระดับของปัจจัยเวลา

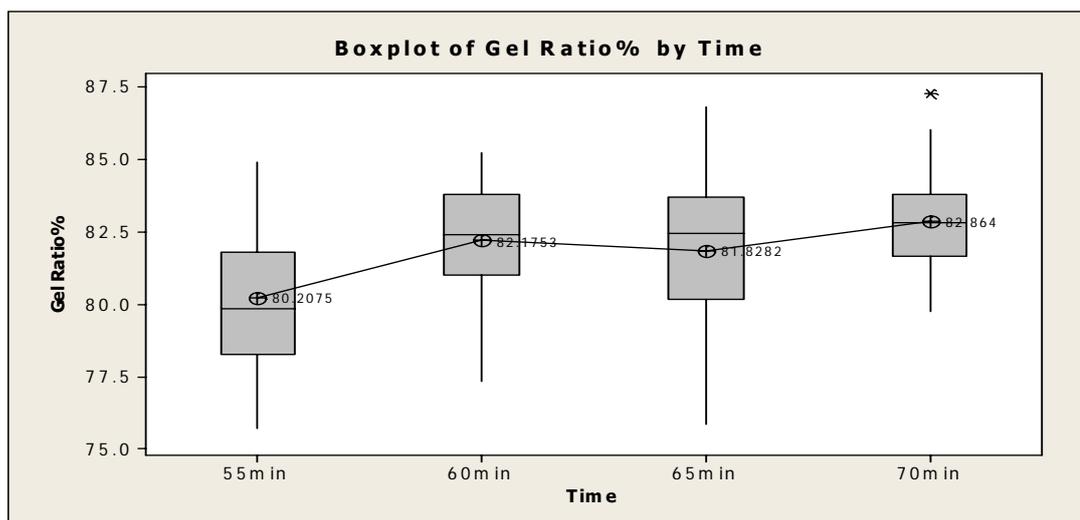
ตารางที่ 4.6

ความแตกต่างผลเฉลี่ยระหว่างระดับของปัจจัยเวลา



จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรม Minitab เมื่อพิจารณาค่า P-value ในตาราง 4.2 พบว่าค่า P-value ของปัจจัยคือ เวลา มีค่าเท่ากับ 0.002 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า α ที่กำหนดคือ 0.05 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า เวลาในการให้ความร้อนมีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาว ในกระบวนการเคียวริงอย่างมีนัยสำคัญ

การเปรียบเทียบผลความแตกต่างของค่าเฉลี่ยจากภาพที่ 4.6 โดยแผนภาพกล่องในแต่ละระดับของปัจจัยเวลา พบว่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อระดับของเวลาในการเคียวจริงเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.6

แผนภาพกล่องแสดงผลของปัจจัย เวลา ระดับที่ 1-4

การตรวจสอบการกระจายของค่าความผิดพลาด (Residuals) ว่ามีการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) จากภาคผนวก ก ภาพที่ ก-1 พบว่าการกระจายของค่าความผิดพลาด (Residuals) ของข้อมูลมีการกระจายตามแนวเส้นตรง ทำให้สรุปได้ว่าค่าความผิดพลาด (Residuals) มีการกระจายแบบปกติ

การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent) โดยพิจารณาจากแผนภูมิการกระจาย จากภาคผนวก ก ภาพที่ ก-2 พบว่าการกระจายตัวของค่าความผิดพลาด (Residuals) มีรูปแบบการกระจายเป็นอิสระ ไม่สามารถทำนายรูปแบบได้แน่นอน แสดงให้เห็นว่าค่าความผิดพลาด (Residuals) มีความเป็นอิสระต่อกัน

การตรวจสอบความแปรปรวนคงที่ของปัจจัยเวลา โดยพิจารณาจากการกระจายตัวของค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวในแต่ละระดับของอุณหภูมิที่ทำการทดลอง จากภาคผนวก ก ภาพที่ ก-3 ไม่พบรูปแบบการกระจายตัวที่ผิดปกติ และมีแนวโน้มที่มีการกระจายตัวของความแปรปรวนของข้อมูลคงที่

การตรวจสอบค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาด (Residuals) โดยพิจารณาจากแผนภูมิการกระจายของค่าความผิดพลาดของค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาว เทียบกับระดับปัจจัยเวลา จากภาคผนวก ก ภาพที่ ก-4 พบว่าค่าความผิดพลาดในแต่ละระดับ มีการกระจายในด้านบวกและลบมีความสมดุลกัน จึงประมาณได้ว่าค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดมีค่าใกล้เคียงศูนย์

จากภาคผนวก ก ภาพที่ ก-1 ถึง ก-4 เป็นการตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของตัวแบบ ของปัจจัยเวลา ตามหลักการ $\varepsilon_{ij} \approx NID(0, \sigma^2)$ พบว่ารูปแบบของ Residuals ที่ได้จากข้อมูลในการทดลองเป็นไปตามหลักการทุกประการ ดังนั้นข้อมูลของการทดลองชุดนี้มีความถูกต้องและเชื่อถือได้

3. ชนิดของกาว ทำการเปลี่ยนแปลง 2 ระดับ ได้แก่

ระดับที่ 1 Halogen และ ระดับที่ 2 Non Halogen ส่วนปัจจัยอื่นๆ กำหนดที่สภาวะปัจจุบันคือ อุณหภูมิ เท่ากับ 160 °C, เวลา เท่ากับ 65 นาที, จำนวนชั้นการนำเข้า เท่ากับ 10 ชั้น สรุปตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) กรณีปัจจัย คือ ชนิดของกาว Cover lay

ตารางที่ 4.7

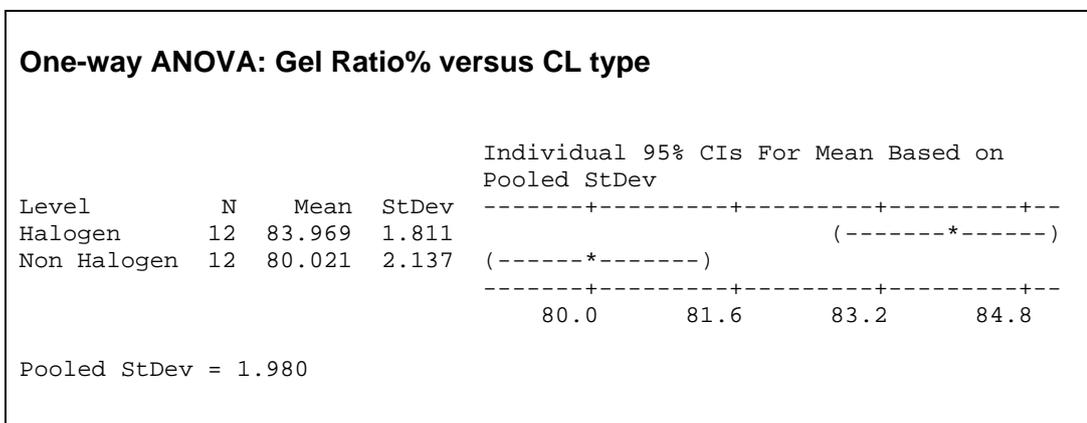
การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) กรณีปัจจัย คือ ชนิดของกาว Cover lay

Source	df	Sums of Squares	Mean Squares	F-Statistic	p-Value
ชนิดของกาว	1	93.51	93.51	23.84	0.000
Error	22	86.28	3.92		
Total	23	179.80			

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดย Minitab แสดงความแตกต่างผลเฉลี่ยระหว่างระดับของปัจจัยชนิดของกาว

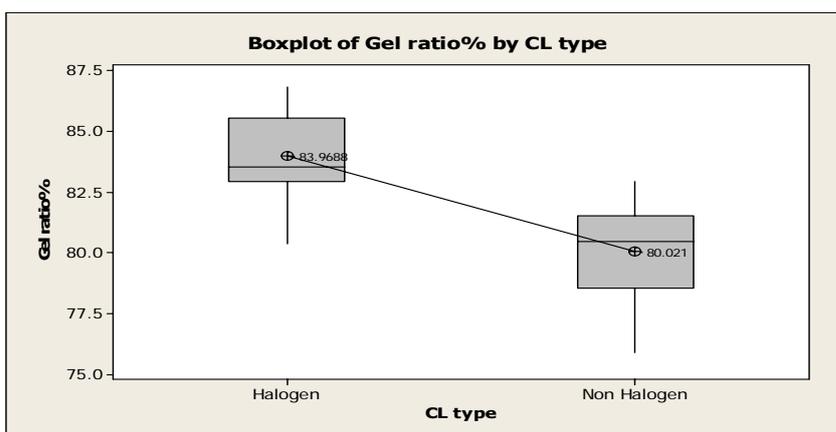
ตารางที่ 4.8

ความแตกต่างผลเฉลี่ยระหว่างระดับของปัจจัยชนิดของกา



ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรม Minitab เมื่อพิจารณาค่า P-value ในตาราง 4.2 พบว่าค่า P-value ของปัจจัยคือ ชนิดของกา Cover lay มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า α ที่กำหนดคือ 0.05 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า แต่ละชนิดของกามีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกา อย่างมีนัยสำคัญ

การเปรียบเทียบผลความแตกต่างของค่าเฉลี่ยจากภาพที่ 4.11 โดยแผนภาพกล่องในแต่ละระดับของปัจจัยชนิดของกา พบว่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาของกาชนิด Halogen มีค่าสูงกว่ากาชนิด Non-Halogen



ภาพที่ 4.7

แผนภาพกล่องแสดงผลของปัจจัย ชนิดของกา ระดับที่ 1-2

การตรวจสอบการกระจายของค่าความผิดพลาด (Residuals) ว่ามีการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) จากภาคผนวก ข ภาพที่ ข-1 พบว่าการกระจายของค่าความผิดพลาด (Residuals) ของข้อมูลมีการกระจายตามแนวเส้นตรง ทำให้สรุปได้ว่าค่าความผิดพลาด (Residuals) มีการกระจายแบบปกติ

การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent) โดยพิจารณาจากแผนภูมิการกระจาย จากภาคผนวก ข ภาพที่ ข-2 พบว่าการกระจายตัวของค่าความผิดพลาด (Residuals) มีรูปแบบการกระจายเป็นอิสระ ไม่สามารถทำนายรูปแบบได้แน่นอน แสดงให้เห็นว่าค่าความผิดพลาด (Residuals) มีความเป็นอิสระต่อกัน

การตรวจสอบความแปรปรวนคงที่ของปัจจัยชนิดของกาว Cover lay โดยพิจารณาจากการกระจายตัวของค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวในแต่ละระดับของชนิดของกาว Cover lay จากภาคผนวก ข ภาพที่ ข-3 ไม่พบรูปแบบการกระจายตัวที่ผิดปกติ และมีแนวโน้มที่มีการกระจายตัวของความแปรปรวนของข้อมูลคงที่

การตรวจสอบค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาด (Residuals) โดยพิจารณาจากแผนภูมิการกระจายของค่าความผิดพลาดของค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาว จากภาคผนวก ข ภาพที่ ข-4 เทียบกับระดับปัจจัยชนิดของกาว พบว่าค่าความผิดพลาดในแต่ละระดับ มีการกระจายในตำแหน่งและลบมีความสมดุลกัน จึงประมาณได้ว่าค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดมีค่าใกล้เคียงศูนย์

จากภาคผนวก ข ภาพที่ ข-1 ถึง ข-4 เป็นการตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของตัวแบบ ของปัจจัยชนิดของกาว ตามหลักการ $\varepsilon_{ij} \approx NID(0, \sigma^2)$ พบว่ารูปแบบของ Residuals ที่ได้จากข้อมูลในการทดลองเป็นไปตามหลักการทุกประการ ดังนั้นข้อมูลของการทดลองชุดนี้มีความถูกต้องและเชื่อถือได้

4. จำนวนชั้นการนำเข้าไปของผลิตภัณฑ์ ทำการเปลี่ยนแปลง 2 ระดับ คือ

ระดับที่ 1 10 ชั้น และ ระดับที่ 2 12 ชั้น ส่วนปัจจัยอื่น ๆ กำหนดที่สภาวะปัจจุบัน คือ อุณหภูมิ เท่ากับ 160 °C, เวลา เท่ากับ 65 นาที, และใช้กาวทั้งสองชนิด

สรุปตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) กรณีปัจจัย คือ จำนวนชั้นการนำเข้าไปของผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 4.9

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) กรณีปัจจัย คือ จำนวนชั้นการนำเข้าไปของผลิตภัณฑ์

Source	df	Sums of Squares	Mean Squares	F-Statistic	p-Value
จำนวนชั้น	1	36.9	36.9	3.48	0.069
Error	46	487.4	10.6		
Total	47	524.2			

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดย Minitab แสดงความแตกต่างผลเฉลี่ยระหว่างระดับของปัจจัยจำนวนชั้นการนำเข้าไปของผลิตภัณฑ์

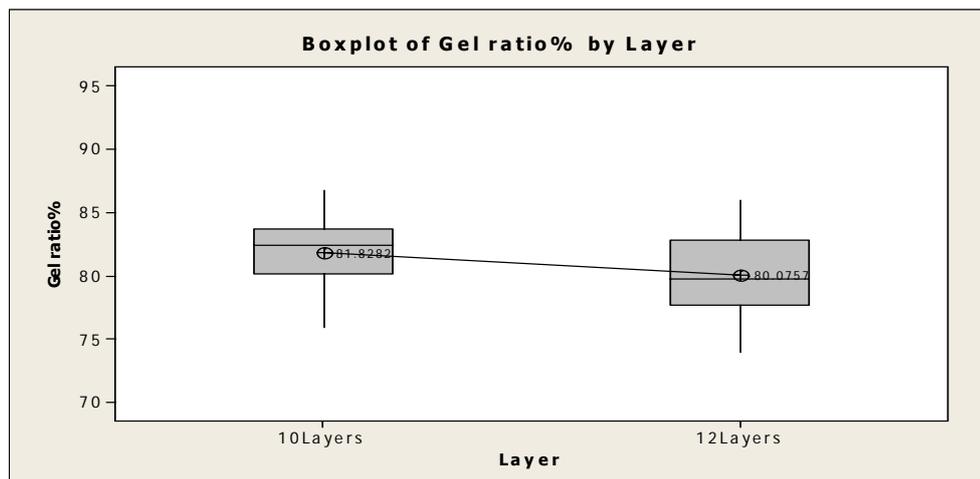
ตารางที่ 4.10

ความแตกต่างผลเฉลี่ยระหว่างระดับของปัจจัยจำนวนชั้นการนำเข้าไปของผลิตภัณฑ์

One-way ANOVA: Gel ratio% versus Layer				
				Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Level	N	Mean	StDev	-----+-----+-----+-----
10Layers	24	81.828	3.009	(-----*-----)
12Layers	24	80.076	3.483	(-----*-----)
				-----+-----+-----+-----
				79.2 80.4 81.6 82.8
Pooled StDev = 3.255				

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรม Minitab เมื่อพิจารณาค่า P-value ในตาราง 4.5 พบว่าค่า P-value ของปัจจัยเวลามีค่าเท่ากับ 0.069 ซึ่งมีค่ามากกว่า α ที่กำหนด คือ 0.05 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า จำนวนชั้นการนำเข้าไปของผลิตภัณฑ์เปรียบระหว่าง 10 และ 12 ชั้น ณ ที่สภาวะปัจจุบันอื่น ๆ ที่กำหนดให้กระบวนการ ไม่ทำให้เปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาว แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจากผลทางสถิติดังกล่าวทำให้สามารถตัดสินใจได้ว่า สามารถเพิ่มจำนวนชั้นการนำเข้าไปจากเดิม 10 ชั้น เป็น 12 ชั้นได้

การเปรียบเทียบผลความแตกต่างของค่าเฉลี่ยจากภาพที่ 4.8 โดยแผนภาพกล่องในแต่ละระดับของปัจจัยจำนวนชั้นการนำเข้าสู่ของผลิตภัณฑ์ พบว่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวที่จำนวนชั้นที่น้อยกว่า มีค่ามากกว่า จำนวนชั้นที่มากกว่า



ภาพที่ 4.8

แผนภาพกล่องแสดงผลของปัจจัย จำนวนชั้นการนำเข้าสู่ของผลิตภัณฑ์ ระดับที่ 1-2

การตรวจสอบการกระจายของค่าความผิดพลาด (Residuals) ว่ามีการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) กาว จากภาคผนวก ค ภาพที่ ค-1 พบว่าการกระจายของค่าความผิดพลาด (Residuals) ของข้อมูลมีการกระจายตามแนวเส้นตรง ทำให้สรุปได้ว่าค่าความผิดพลาด (Residuals) มีการกระจายแบบปกติ

การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent) โดยพิจารณาจากแผนภูมิการกระจาย จากภาคผนวก ค ภาพที่ ค-2 พบว่าการกระจายตัวของค่าความผิดพลาด (Residuals) มีรูปแบบการกระจายเป็นอิสระ ไม่สามารถทำนายรูปแบบได้แน่นอน แสดงให้เห็นว่าค่าความผิดพลาด (Residuals) มีความเป็นอิสระต่อกัน

การตรวจสอบความแปรปรวนคงที่ของปัจจัยจำนวนชั้นการนำเข้าสู่ของผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาจากการกระจายตัวของค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวในแต่ละระดับของอุณหภูมิที่ทำการทดลอง จากภาคผนวก ค ภาพที่ ค-3 ไม่พบรูปแบบการกระจายตัวที่ผิดปกติ และมีแนวโน้มที่มีการกระจายตัวของความแปรปรวนของข้อมูลคงที่

การตรวจสอบค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาด (Residuals) โดยพิจารณาจากแผนภูมิการกระจายของค่าความผิดพลาดของค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาว จากภาคผนวก ค ภาพ

ที่ ค-4 เทียบกับระดับปัจจัยจำนวนชั้นการนำเข้า พบว่าค่าความผิดพลาดในแต่ละระดับ มีการกระจายในด้านบวกและลบมีความสมดุลกัน จึงประมาณได้ว่าค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดมีค่าใกล้เคียงศูนย์

จากภาคผนวก ค ภาพที่ ค-1 ถึง ค-4 เป็นการตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของตัวแบบ ของปัจจัยจำนวนชั้นการนำเข้า ตามหลักการ $\varepsilon_{ij} \approx NID(0, \sigma^2)$ พบว่ารูปแบบของ Residuals ที่ได้จากข้อมูลในการทดลองเป็นไปตามหลักการทุกประการ ดังนั้นข้อมูลของการทดลองชุดนี้มีความถูกต้องและเชื่อถือได้

4.1.2 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลองขั้นต้นของการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์

ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองขั้นต้น เพื่อยืนยันผลกระทบของปัจจัย ที่เลือกสำหรับการทดลองว่ามีผลตอบสนองจริงต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาว เพื่อที่จะดำเนินการทดลองในขั้นตอนต่อไปได้ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแต่ละปัจจัยโดยวิธีการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) สามารถสรุประดับได้ตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.11

สรุประดับที่เลือกจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)
ของการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์

ปัจจัย	ระดับ	p-Value
อุณหภูมิ	180°C	0.000
เวลา	60 นาที	0.002
ชนิดของกาว	Halogen และ Non-Halogen	0.000
จำนวนชั้น	12 ชั้น	0.069

อุณหภูมิ เพื่อกำหนดสภาวะให้กับกระบวนการเคียวริง โดยใช้เปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวเป็นผลตอบสนอง โดยพิจารณาให้ค่ายิ่งมากยิ่งดี ดังนั้นจึงสามารถตัดสินระดับของอุณหภูมิ เท่ากับ 180°C เนื่องจากให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวมากที่สุด

เวลา จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยเวลา ที่ระดับ 2, 3 และ 4 คือที่เวลา 60 นาที, 65 นาที และ 70 นาที พบว่ามีผลต่างของค่าเฉลี่ยน้อย ดังนั้นจึงทำการทดสอบ

สมมติฐาน เปรียบเทียบความแปรปรวนของทั้งสามระดับ ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังนี้

สรุปตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) กรณีปัจจัย คือ เวลา ที่ 3 ระดับ การทดลอง คือ 60 นาที, 65 นาที และ 70 นาที

ตารางที่ 4.12

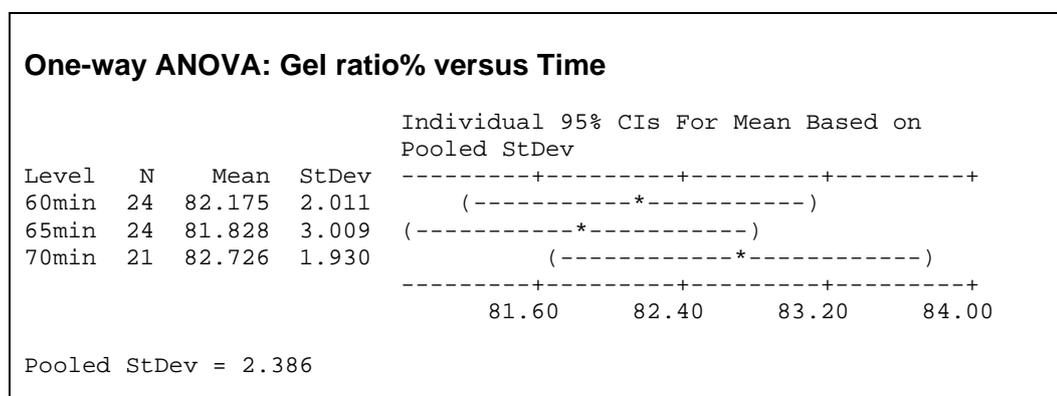
การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อทดสอบสมมติฐาน
เปรียบเทียบเวลา 3 ระดับ คือ 60 นาที, 65 นาที และ 70 นาที

Source	df	Sums of Squares	Mean Squares	F-Statistic	p-Value
เวลา	2	9.10	4.55	0.80	0.454
Error	66	375.74	5.69		
Total	68	384.84			

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดย Minitab ที่ช่วงความเชื่อมั่น (CI) 95 % แสดงความแตกต่างผลเฉลี่ยระหว่างปัจจัยเวลา 3 ระดับ คือ 60 นาที, 65 นาที และ 70 นาที

ตารางที่ 4.13

ความแตกต่างผลเฉลี่ยระหว่างระดับของปัจจัยจำนวนชิ้นการนำเข้าของผลิตภัณฑ์



ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรม Minitab เมื่อพิจารณาค่า P-value ในตาราง 4.11 พบว่าค่า P-value ของการทดสอบสมมติฐานเพื่อเปรียบเทียบปัจจัยคือ เวลา ของ 3 ระดับการทดสอบ คือ 60 นาที , 65 นาที และ 70 นาที มีค่าเท่ากับ 0.454 ซึ่งมีค่ามากกว่า α ที่กำหนดคือ 0.05 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าที่เวลาในการเคียวริงที่แตกต่างกันนี้ ไม่มีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นสามารถตัดสินใจระดับให้กระบวนการอ้างอิงจากผลการวิจัยในเบื้องต้นนี้ ที่เวลาเท่ากับ 60 นาที อันจะเป็นการไม่เพิ่มเวลานำในแต่ละรอบการทำงาน

ชนิดของกาว จากผลการทดลองขั้นต้นนี้ทำให้ทราบว่า ชนิดของกาวมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาว โดยกาวชนิด Halogen ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวมากกว่ากาวชนิด Non-Halogen แต่เนื่องจากชนิดของกาวขึ้นกับการออกแบบผลิตภัณฑ์ของลูกค้าบริษัทที่ศึกษาไม่สามารถเลือกได้ ดังนั้น การกำหนดสถานะของกระบวนการเคียวริงที่เหมาะสมจะต้องทำการทดลองต่อไป ให้เหมาะสมกับกาวทั้งสองชนิด

จำนวนชั้นการนำเข้าไปของผลิตภัณฑ์ (Layers) จากผลการวิเคราะห์แปรปรวนเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวของระดับของจำนวนชั้นการนำเข้าไปของผลิตภัณฑ์ 10 ชั้น และ 12 ชั้น ของสถานะกระบวนการอื่น ๆ ในปัจจุบัน ทำให้สามารถประมาณได้ว่าการเพิ่มจำนวนชั้นเป็น 12 ชั้น อาจไม่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวอย่างมีนัยสำคัญ ทำให้สามารถตัดสินใจกำหนดระดับได้เป็น 12 ชั้น ได้อันจะเป็นการเพิ่มกำลังการผลิตให้กับกระบวนการได้

4.2 การวิเคราะห์กราฟความน่าจะเป็นแจกแจงปกติของผลกระทบของปัจจัยและความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย

ในการยืนยันผลความมีนัยสำคัญของปัจจัย โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อค้นหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวรวมถึงผลกระทบร่วม โดยใช้หลักการวิเคราะห์ด้วยการพล็อตกราฟความน่าจะเป็นการแจกแจงปกติสำหรับผลกระทบของปัจจัย และความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย (Normal Probability Plot of the Standardized Effects)

โดยทำการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k ของปัจจัย อุณหภูมิ, เวลา, ชนิดของกาว และจำนวนชั้นการนำเข้าไปของผลิตภัณฑ์ ซึ่งระดับของปัจจัยที่ทำการวิเคราะห์ คือ เลือกระดับสูงสุด และ ระดับต่ำสุด ดังนี้

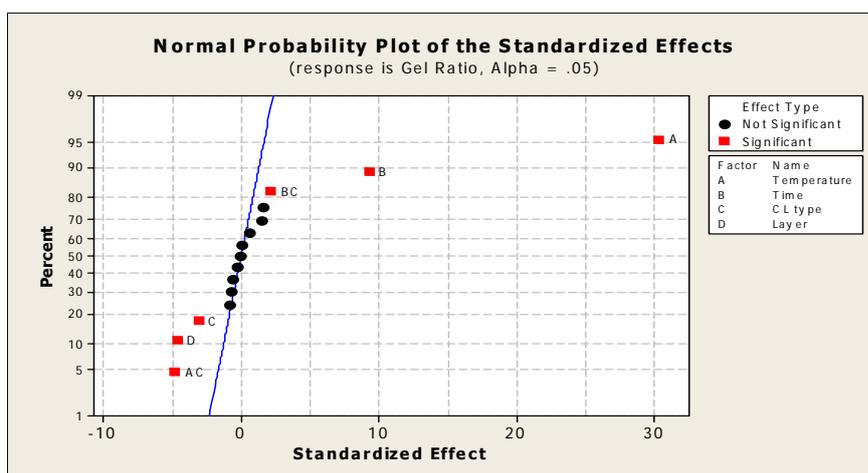
ตารางที่ 4.14

ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองวิเคราะห์ Normal Plot of the Standardized Effects

ปัจจัย	ระดับต่ำสุด	ระดับสูงสุด
อุณหภูมิ (°C)	150	180
เวลา (นาที)	55	70
ชนิดของกาว	Halogen	Non-Halogen
จำนวนชั้นนำเข้า	10	12

4.2.1 ผลการวิเคราะห์และการสรุปผลของกราฟความน่าจะเป็นการแจกแจงปกติสำหรับผลกระทบของปัจจัย และความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย

ค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาว (Gel Ratio %) ของการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k ของแต่ละปัจจัย ได้นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนและแสดงผลในภาพที่ 4.9 และตารางที่ 4.15 พบว่าปัจจัย A , B และ อันตรกิริยาของ BC มีอิทธิพลทางบวกอย่างมีนัยสำคัญในช่วงความเชื่อมั่น 95% ส่วนปัจจัย C , D และ อันตรกิริยาของ AC มีอิทธิพลทางลบอย่างมีนัยสำคัญในช่วงความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 4.9

Normal Probability Plot of Standard Effect ของ อุณหภูมิ เวลา ชนิดกาว และ จำนวนชั้นนำเข้า

ตารางที่ 4.15

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลอง 2^k ของแต่ละปัจจัย

Factorial Fit: Gel Ratio% versus Temperature, Time, CL type, Layer						
Estimated Effects and Coefficients for Gel Ratio% (coded units)						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	
Constant		82.2207	0.1978	415.73	0.000	
Temperature	12.0004	6.0002	0.1978	30.34	0.000	
Time	3.6663	1.8332	0.1978	9.27	0.000	
CL type	-1.2151	-0.6075	0.1978	-3.07	0.002	
Layer	-1.8276	-0.9138	0.1978	-4.62	0.000	
Temperature*Time	-0.1099	-0.0549	0.1978	-0.28	0.782	
Temperature*CL type	-1.9033	-0.9516	0.1978	-4.81	0.000	
Temperature*Layer	0.0011	0.0006	0.1978	0.00	0.998	
Time*CL type	0.8439	0.4219	0.1978	2.13	0.034	
Time*Layer	0.6050	0.3025	0.1978	1.53	0.128	
CL type*Layer	0.5947	0.2973	0.1978	1.50	0.135	
Temperature*Time*CL type	-0.2642	-0.1321	0.1978	-0.67	0.505	
Temperature*Time*Layer	-0.3485	-0.1742	0.1978	-0.88	0.380	
Temperature*CL type*Layer	-0.2906	-0.1453	0.1978	-0.73	0.464	
Time*CL type*Layer	-0.0201	-0.0100	0.1978	-0.05	0.960	
Temperature*Time*CL type*Layer	0.2480	0.1240	0.1978	0.63	0.531	
S = 2.74042 R-Sq = 85.89% R-Sq(adj) = 84.69%						
Analysis of Variance for Gel Ratio% (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	7788.91	7788.91	1947.23	259.29	0.000
2-Way Interactions	6	243.18	243.18	40.53	5.40	0.000
3-Way Interactions	4	13.25	13.25	3.31	0.44	0.779
4-Way Interactions	1	2.95	2.95	2.95	0.39	0.531
Residual Error	176	1321.74	1321.74	7.51		
Pure Error	176	1321.74	1321.74	7.51		
Total	191	9370.04				

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า คุณหนุมิมีอิทธิพลอย่างมากต่อการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาว และรองลงมาคือปัจจัยคุณหนุมิ ส่วนปัจจัย ชนิดของกาวและจำนวนชั้นการนำเข้าไป มีอิทธิพลใกล้เคียงกันรองลงมาตามลำดับ

ดังนั้นสามารถยืนยันได้ว่า แต่ละปัจจัยที่เลือกสำหรับทำการศึกษานั้นมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาว อันนำไปสู่การวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมในขั้นตอนต่อไป

4.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยและระดับที่เหมาะสมโดยใช้หลักการของทากูชิ

เพื่อเป็นการตัดสินใจการปรับเปลี่ยนระดับที่เกิดขึ้นของปัจจัยที่มีนัยสำคัญ โดยปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้การออกแบบการทดลองโดยวิธีทากูชิ สามารถแยกได้เป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ซึ่งเป็นตามตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16

ปัจจัยและรายละเอียดของปัจจัยรวมถึงระดับ ที่ใช้ในการทดลองของทากูชิ

ตัวแปร	รายละเอียด	ระดับการทดลอง
ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors)	1. อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) = ความร้อนที่ให้ในกระบวนการ 2. เวลา (นาที) = เวลาในการให้ความร้อน	150 160 170 180 55 60 65 70
ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Noise Factors)	3. ชนิดของกาว = กาวเพื่อสามารถติดแผ่นฉนวนลงบนแผ่น ทองแดง 4. จำนวนชั้นนำเข้าของผลิตภัณฑ์ = จำนวนชั้นการวางผลิตภัณฑ์แต่ละรอบการทำงาน	Halogen , Non-Halogen 10 , 12
ผลลัพธ์ (Response)	เปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาว (Gel Ratio %)	

ดังนั้น จึงสามารถออกแบบตารางแสดงผลการทดลองค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาว (Gel Ratio %) ได้ดังตารางที่ 4.17 โดยในแต่ละการทดลองใช้จำนวนแผ่น Cover lay 12 แผ่นต่อหนึ่งการทดลอง เพื่อนำค่าเฉลี่ยในแต่ละการทดลองบันทึกในตารางแสดงผล

สำหรับแผนการทดลองของ Outer Array สามารถออกแบบได้ตาม L16 Orthogonal Array

สำหรับแผนการทดลองของ Inner Array สามารถออกแบบได้ตาม L4 Orthogonal Array

อย่างไรก็ตามการออกแบบการทดลองนี้สามารถดำเนินการทดลองได้เต็มรูปแบบแพคทอเรียลและให้หลักการทากูชิเพื่อทำการวิเคราะห์ค่า Signal to Noise Ratios (S/N) **ในกรณีค่า ยิ่งมากยิ่งดี**

$$\begin{aligned} \text{ตามสูตรดังนี้ } S/N &= -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum \frac{1}{y_i} \right) \\ &= -10 \log \left(\frac{1}{n} * \left(\frac{1}{y_1} + \frac{1}{y_2} + \dots + \frac{1}{y_n} \right) \right) \\ y_i &= \text{สิ่งที่วัดในการทำซ้ำครั้งที่ } i \\ n &= \text{จำนวนที่ทดลองซ้ำ} \end{aligned}$$

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ จำนวนครั้งการซ้ำ เท่ากับ 1 และจำนวนตัวอย่างเท่ากับ 12

4.3.1 ผลการทดลองตามการวิธีการออกแบบของทากูชิ

ค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวที่ได้จากการทดลอง ดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17

ค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวที่ได้การทดลอง

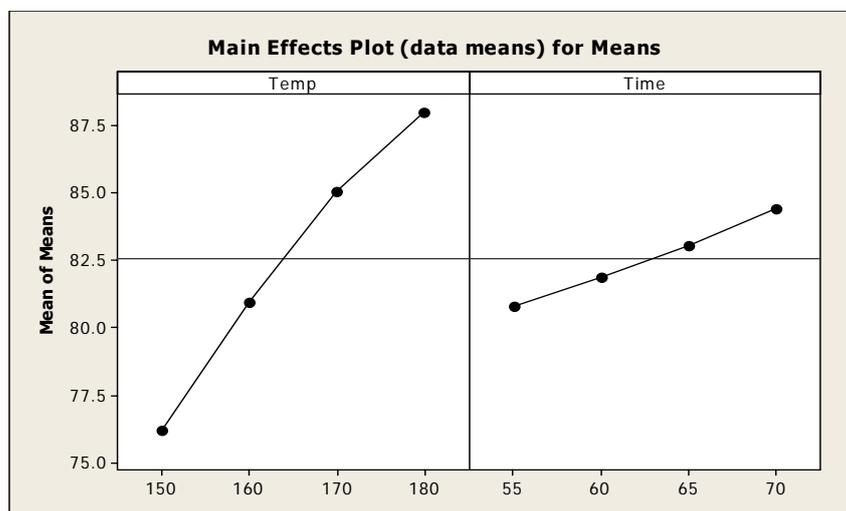
	Inner Array		Outer Array			
			Halogen		Non-Halogen	
No.	Temp	Time	10 lays	12 lays	10 lays	12 lays
1	150	55	76.510	72.575	74.937	73.308
2	150	60	78.483	76.966	73.974	72.221
3	150	65	79.968	76.822	76.105	75.288
4	150	70	79.136	76.464	77.957	78.878
5	160	55	81.542	80.537	78.873	76.875
6	160	60	82.525	79.317	81.826	78.751
7	160	65	83.969	81.400	80.021	79.838
8	160	70	83.426	81.843	82.302	81.843
9	170	55	85.906	83.892	82.670	80.077
10	170	60	85.481	84.163	85.605	83.420
11	170	65	88.505	86.978	83.305	84.472
12	170	70	88.216	86.923	86.026	84.860
13	180	55	88.401	87.212	85.597	83.590

ตารางที่ 4.17

ค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวที่ได้การทดลอง (ต่อ)

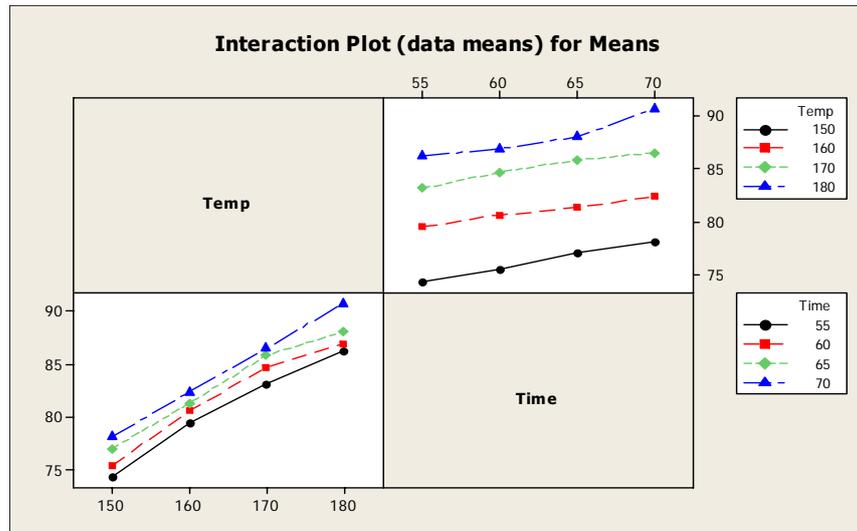
No.	Inner Array		Outer Array			
	Temp	Time	Halogen		Non-Halogen	
			10 lays	12 lays	10 lays	12 lays
14	180	60	89.371	86.541	86.817	84.777
15	180	65	89.249	88.211	88.579	86.027
16	180	70	92.319	90.217	90.640	89.748

นำผลการทดลองไปวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรม Minitab สามารถแสดงผลปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลกับค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาว และ อันตรกิริยาร่วมของปัจจัย ดังภาพที่ 4.10 และ 4.11



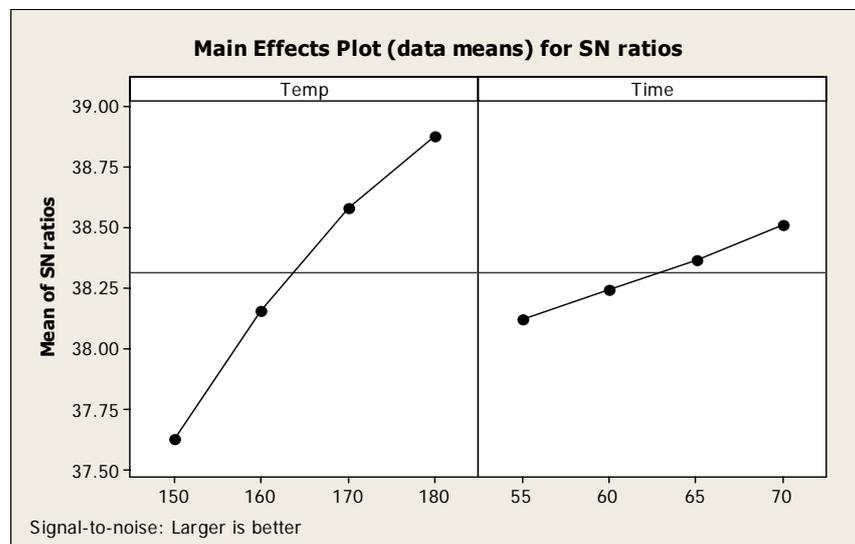
ภาพที่ 4.10

อิทธิพลหลักของค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวของปัจจัยอุณหภูมิและเวลา



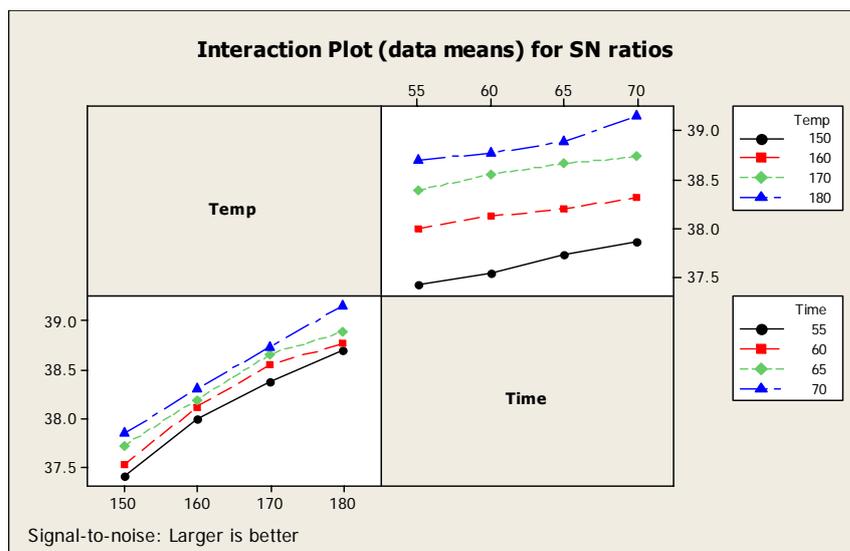
ภาพที่ 4.11

อันตรกิริยาระหว่างปัจจัยอุณหภูมิและเวลาที่มี
ต่อค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาว



ภาพที่ 4.12

อิทธิพลหลักของค่าเฉลี่ย Signal-to-noise ratio (S/N)
ของเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวของปัจจัยอุณหภูมิและเวลา



ภาพที่ 4.13

อันตรกิริยาระหว่างปัจจัยอุณหภูมิและเวลา ที่มีต่อค่าเฉลี่ย
Signal-to-noise ratio (S/N) ของเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาว

ตารางที่ 4.18

Signal-to-noise ratio (S/N) ของเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวของปัจจัยอุณหภูมิและเวลา

Response Table for Signal to Noise Ratios (S/N) Larger is better

Level	อุณหภูมิ (Temperature)	เวลา (Time)
1	37.63	38.13
2	38.16	38.25
3	38.59	38.37
4	38.88	38.51
Delta	1.25	0.39
Rank	1	2

ตารางที่ 4.19

ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวของปัจจัยอุณหภูมิและเวลา

Response Table for Means

Level	อุณหภูมิ (Temperature)	เวลา (Time)
1	76.22	80.78
2	80.93	81.78
3	85.03	83.05
4	87.96	84.42
Delta	11.73	3.64
Rank	1	2

จากผลการวิเคราะห์ค่า Signal-to-noise ratio (S/N) พบว่าลำดับของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาว (Gel ratio %) จากมากไปน้อย คือ อุณหภูมิ และเวลา ตามลำดับ ทั้งนี้ ผลตอบสนองของการวิจัยนี้คือกรณีค่ายิ่งมามากยิ่งดี และเป็นไปในทางเดียวกัน เมื่อพิจารณากราฟผลกระทบหลัก (Main effect plot) พบว่า ปัจจัยอุณหภูมิมีผลอย่างมากต่อการเพิ่มเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาว ซึ่งมีผลมากกว่าปัจจัยเวลา โดยสังเกตได้จากความชันของกราฟค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวที่มากกว่าเมื่อเทียบกับปัจจัยเวลา ที่แสดงในกราฟผลกระทบหลัก

อย่างไรก็ดีเพื่อกำหนดสภาวะที่เหมาะสมให้กระบวนการ ยังต้องพิจารณาผลตอบสนองอันเนื่องมาจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ด้วย ซึ่งสำหรับงานวิจัยนี้ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ได้แก่ ชนิดของกาวและจำนวนชั้นการนำเข้าของผลิตภัณฑ์

4.4 การวิเคราะห์ผลตอบสนองของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้

เพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ที่มีต่อเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาว โดยปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ของการศึกษานี้ได้แก่ ชนิดของกาว และ จำนวนชั้นการนำเข้าของผลิตภัณฑ์ ซึ่งแต่ละปัจจัยมีสองระดับ ดังนี้

ชนิดของกาว (CL type) ระดับที่ 1 คือ Halogen และ ระดับที่ 2 คือ Non-Halogen
จำนวนชั้นการนำเข้า (Layer) ระดับที่ 1 คือ 10 Layer และ ระดับที่ 2 คือ 12 Layer

โดยทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับปัจจัย ณ สภาวะของกระบวนการที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีทากูชิ ที่ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของ กาวมีค่ามากที่สุด คือที่ อุณหภูมิ 180°C และ เวลา 70 นาที

4.4.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบระดับของชนิดของกาว

ทำการเปรียบเทียบระดับปัจจัยชนิดของกาว 2 ชนิดคือ Halogen และ Non-Halogen ณที่สภาวะของปัจจัยคืออุณหภูมิและเวลาที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวมากที่สุดนั่นคือ ที่อุณหภูมิ 180°C และเวลา 70 นาที

สรุปตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เปรียบเทียบระดับของปัจจัย ชนิดของกาว

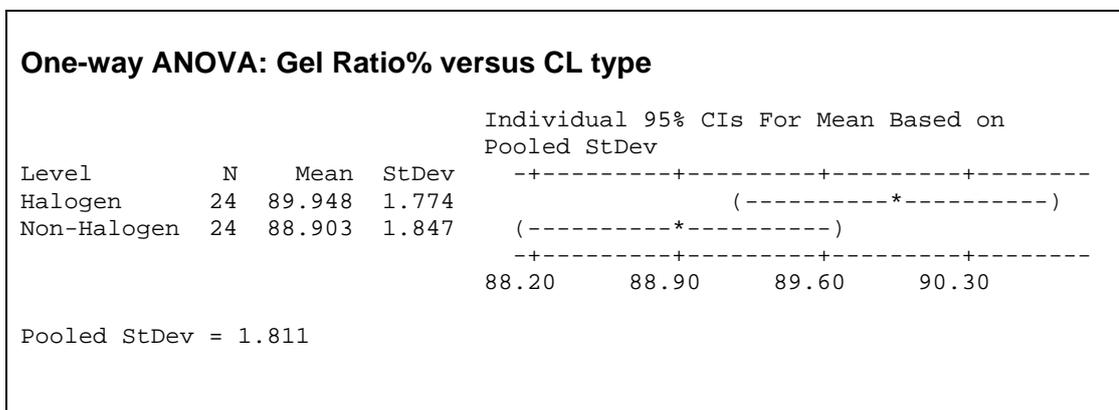
ตารางที่ 4.20

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) กรณีปัจจัย คือ ชนิดของกาว

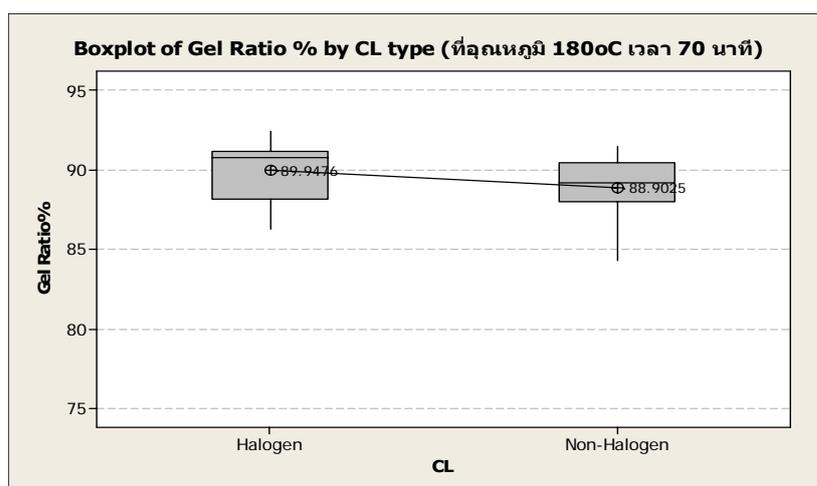
Source	df	Sums of Squares	Mean Squares	F-Statistic	p-Value
ชนิดของกาว	1	13.11	13.11	4.00	0.052
Error	46	150.88	3.28		
Total	47	163.99			

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดย Minitab แสดงความแตกต่างผลเฉลี่ยระหว่าง ระดับของปัจจัย ชนิดของกาวสองชนิด คือ Halogen และ Non-Halogen

ตารางที่ 4.21
ความแตกต่างผลเฉลี่ยระหว่าง Halogen และ Non-Halogen
ที่อุณหภูมิ 180°C และ เวลา 70 นาที



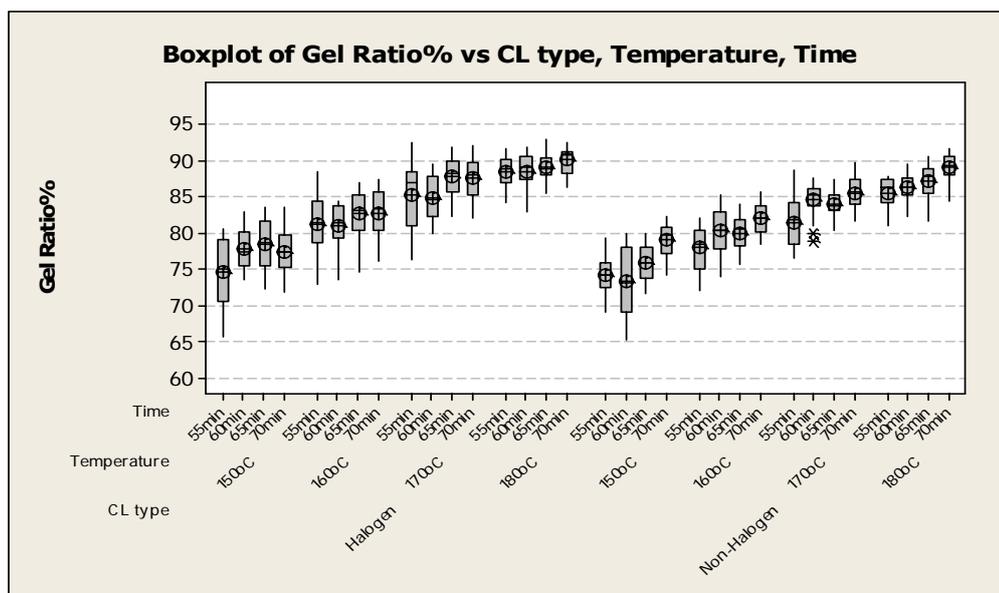
ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรม Minitab เมื่อพิจารณาค่า P-value ในตาราง 4.28 พบว่าค่า P-value ของปัจจัยเวลามีค่าเท่ากับ 0.052 ซึ่งมีค่ามากกว่า α ที่กำหนดคือ 0.05 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ชนิดของกาวมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวอย่างไม่มีนัยสำคัญ และจากแผนภาพกล่องดังภาพที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่ากาวชนิด Halogen ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวที่มากกว่ากาวชนิด Non-Halogen แต่มีค่าใกล้เคียงกันมากที่สภาวะ 180°C เวลา 70 นาที



ภาพที่ 4.14

แผนภาพกล่องแสดงผลของชนิดกาวสองชนิด ที่อุณหภูมิ 180°C และ เวลา 70 นาที

นอกจากนี้ได้ทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมเพื่อปรับระดับของปัจจัยให้เหมาะสมแยกตามชนิดของกาวทั้งสองชนิด โดยพิจารณาจากแผนภาพกล่องดังภาพที่ 4.15 จากระดับที่ใกล้เคียงกับระดับที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวมากที่สุด คือที่ อุณหภูมิ 180°C และเวลา 70 นาที



ภาพที่ 4.15

แผนภาพกล่องแสดงผลของกาวสองชนิดในแต่ละระดับต่าง ๆ ของอุณหภูมิและเวลา

ซึ่งจะทำการพิจารณาเปรียบเทียบระดับของปัจจัยเวลา กล่าวคือ ที่ 70 นาที, 65 นาที และ 60 นาที โดยการตรวจสอบสมมติฐานเพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังสรุประดับการเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22

ระดับเวลาในการให้ความร้อนเพื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนปรับระดับของเวลาสำหรับแต่ละชนิดของกาว

ชนิดของกาว	ระดับของเวลาทำการเปรียบเทียบ		
	ณ อุณหภูมิ 180 °C		
Halogen	60 นาที	65 นาที	70 นาที
Non-Halogen	-	65 นาที	70 นาที

1. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อปรับระดับเวลาของชนิดกาว

1.1 กาวชนิด Halogen

สรุปตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เปรียบเทียบระดับของปัจจัยเวลา สำหรับกำหนดสภาวะกับ กาวชนิด Halogen

ตารางที่ 4.23

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) กรณีปัจจัยเวลา 3 ระดับ

คือ 60, 65 และ 70 นาที ที่อุณหภูมิ 180°C

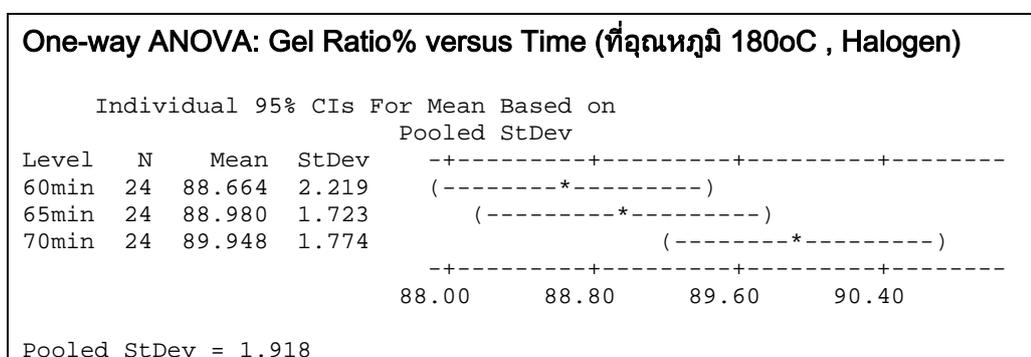
Source	df	Sums of Squares	Mean Squares	F-Statistic	p-Value
เวลา	2	21.46	10.73	2.92	0.061
Error	69	253.96	3.68		
Total	71	275.43			

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดย Minitab แสดงความแตกต่างผลเฉลี่ยระหว่างระดับของปัจจัยเวลาทั้ง 3 ระดับ ของกาวชนิด Halogen

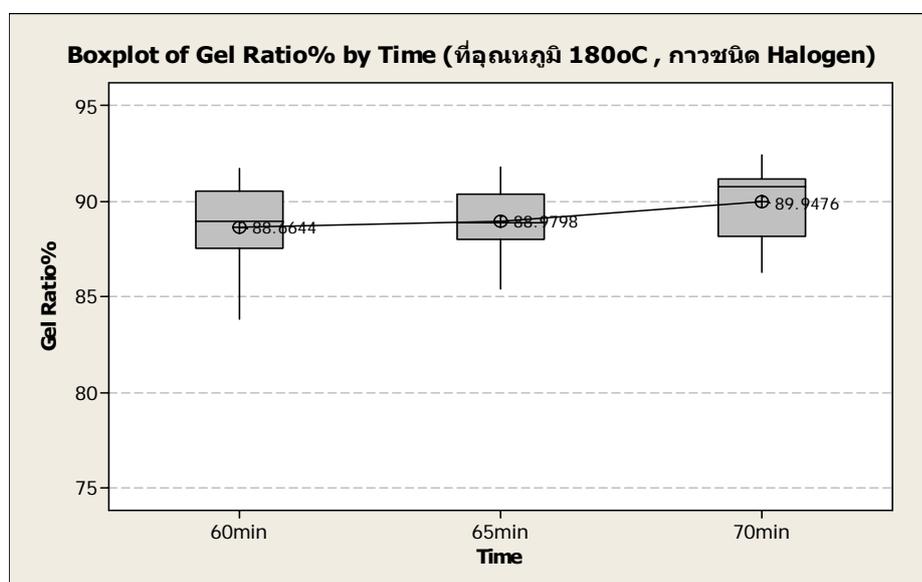
ตารางที่ 4.24

ความแตกต่างผลเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาว

กรณีเวลา 3 ระดับ ของกาวชนิด Halogen ที่อุณหภูมิ 180°C



ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรม Minitab เมื่อพิจารณาค่า P-value ในตาราง 4.26 พบว่าค่า P-value ของปัจจัยเวลามีค่าเท่ากับ 0.061 ซึ่งมีค่ามากกว่า α ที่กำหนดคือ 0.05 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ที่ระดับของเวลาทั้ง 3 ระดับ ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวอย่างมีนัยสำคัญ และจากแผนภาพกล่องดังภาพที่ 4.16 แสดงให้เห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวของเวลาทั้ง 3 ระดับมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นสามารถเลือกระดับเวลาสำหรับการเคียวผลิตภัณฑ์ที่ใช้กาวชนิด Halogen ที่เวลา 60 นาที ได้อันเป็นผลดีต่อการเพิ่มกำลังการผลิตให้กับกระบวนการได้



ภาพที่ 4.16

แผนภาพกล่องแสดงผลของปัจจัยเวลา 3 ระดับที่อุณหภูมิ 180°C ของกาวชนิด Halogen

1.2 กาวชนิด Non- Halogen

สรุปตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เปรียบเทียบระดับของปัจจัยเวลา ระหว่าง ที่ 65 และ 70 นาที สำหรับกาวชนิด Non-Halogen

ตารางที่ 4.25

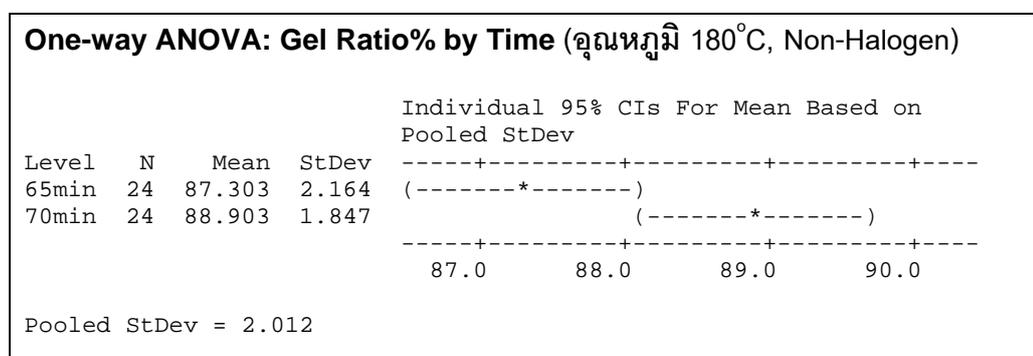
การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) กรณีปัจจัยเวลา 2 ระดับ
คือ 65 และ 70 นาที ที่อุณหภูมิ 180°C

Source	df	Sums of Squares	Mean Squares	F-Statistic	p-Value
เวลา	1	30.70	30.70	7.58	0.008
Error	46	186.21	4.05		
Total	47	216.91			

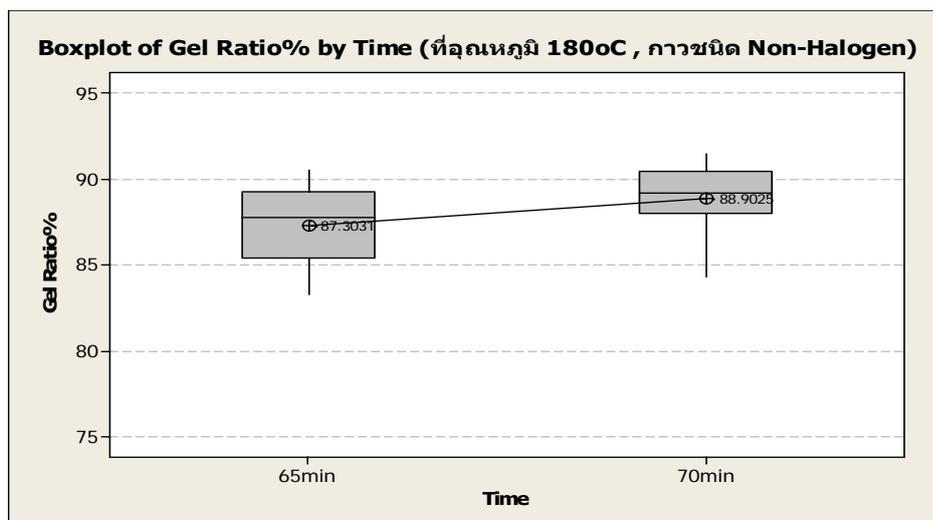
ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดย Minitab แสดงความแตกต่างผลเฉลี่ยระหว่างระดับของปัจจัย ชนิดของกาวสองชนิด คือ Halogen และ Non-Halogen

ตารางที่ 4.26

ความแตกต่างผลเฉลี่ยค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาว
กรณีเวลา 2 ระดับ ของกาวชนิด Non-Halogen ที่อุณหภูมิ 180°C



ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรม Minitab เมื่อพิจารณาค่า P-value ในตาราง 4.25 พบว่าค่า P-value ของปัจจัยเวลามีค่าเท่ากับ 0.008 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า α ที่กำหนดคือ 0.05 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ที่ระดับของเวลาทั้ง 2 ระดับ มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวอย่างมีนัยสำคัญ และจากแผนภาพกล่องดังภาพที่ 4.17 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวของเวลา 70 นาที มีค่ามากกว่าที่ 65 นาที อย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นระดับเวลาสำหรับการเคียวริงผลิตภัณฑ์ที่ใช้กาวชนิด Non-Halogen จึงควรกำหนดที่เวลา 70 นาที



ภาพที่ 4.17

แผนภาพกล่องแสดงผลของปัจจัยเวลา 2 ระดับ ที่อุณหภูมิ 180°C ของการชนิด Non-Halogen

สรุปสถานะกระบวนการเคียวริงที่ได้จากวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อกำหนดระดับของปัจจัยอุณหภูมิ และ เวลา สำหรับกาวทั้ง 2 ชนิด เป็นดังตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27

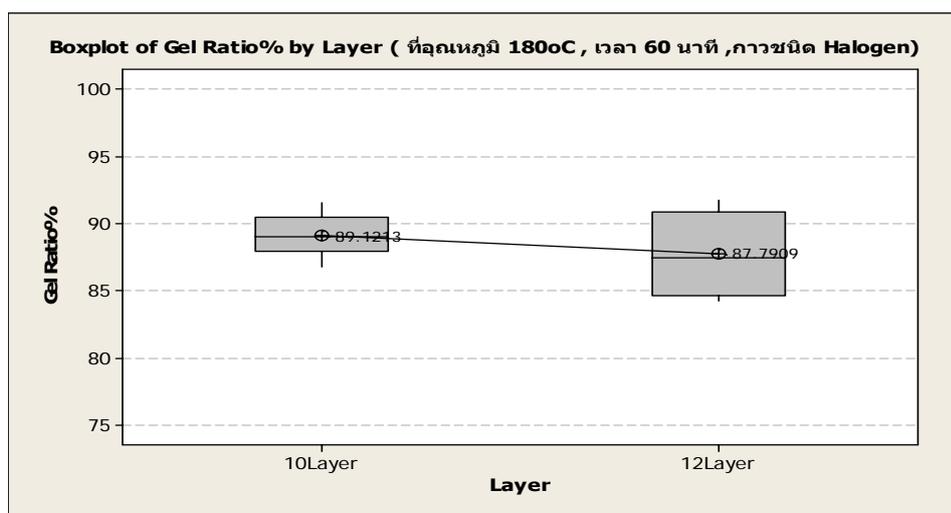
สรุประดับของปัจจัยอุณหภูมิและเวลา สำหรับกาวทั้งสองชนิด

ชนิดของกาว	ปัจจัย	
	อุณหภูมิ	เวลา
Halogen	180°C	60 นาที
Non-Halogen	180°C	70 นาที

4.4.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเปรียบเทียบระดับของจำนวนชั้นการนำเข้าของผลิตภัณฑ์ (Layer)

เมื่อได้ทำการวิเคราะห์เลือกระดับของปัจจัยของอุณหภูมิและเวลาสำหรับกาวทั้งสองชนิดแล้วกล่าวคือ กาวชนิด Halogen กำหนดที่สภาวะ 180°C เวลา 60 นาที และ กาวชนิด Non-Halogen กำหนดที่สภาวะ 180°C เวลา 70 นาที

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรม Minitab เมื่อพิจารณาค่า P-value ในตาราง 4.28 พบว่าค่า P-value ของปัจจัยเวลามีค่าเท่ากับ 0.172 ซึ่งมีค่ามากกว่า α ที่กำหนด คือ 0.05 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ที่จำนวนชั้นการนำเข้าไปทั้ง 2 ระดับ ไม่ทำให้เกิดความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญของเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาว



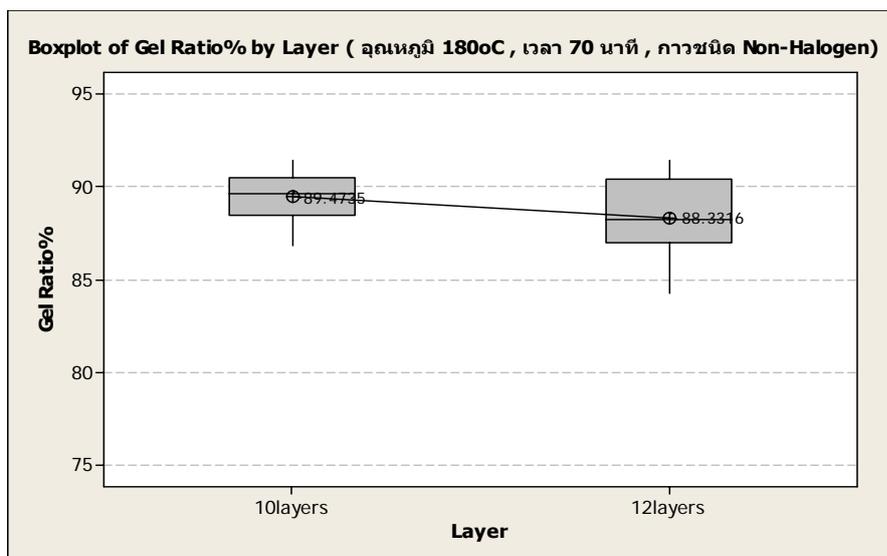
ภาพที่ 4.18

แผนภาพกล่องแสดงผลของปัจจัยจำนวนชั้นการนำเข้าไป 10 และ 12 Layer ที่อุณหภูมิ 180°C เวลา 60 นาที ของกาวชนิด Halogen

และจากแผนภาพกล่องดังภาพที่ 4.18 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวของจำนวนชั้นการนำเข้าไป 10 Layer ที่ค่ามากกว่า ที่ 12 Layer เพียงเล็กน้อย ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการเคียวผลิตภัณฑ์ที่ใช้กาวชนิด Halogen สามารถกำหนดจำนวนชั้นการนำเข้าไปของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 12 Layer ได้ อันส่งผลต่อการเพิ่มกำลังการผลิตให้กับกระบวนการได้

2. การวิเคราะห์จำนวนชั้นการนำเข้าไปของผลิตภัณฑ์ที่ใช้กาวชนิด Non-Halogen

สรุปตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เปรียบเทียบระดับของปัจจัยจำนวนชั้นการนำเข้าไป



ภาพที่ 4.19

แผนภาพกล่องแสดงผลของปัจจัยจำนวนชั้นการนำเข้า 10 และ 12 Layer
ที่อุณหภูมิ 180°C เวลา 60 นาที ของกาวชนิด Non-Halogen

และจากแผนภาพกล่องดังภาพที่ 4.19 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวของจำนวนชั้นการนำเข้า 10 Layer มีค่าใกล้เคียงกับ 12 Layer ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า การเคียวริงผลิตภัณฑ์ที่ใช้กาวชนิด Non-Halogen สามารถกำหนดจำนวนชั้นการนำเข้าของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 12 Layer ได้ อันส่งผลดีต่อการเพิ่มกำลังการผลิตให้กับกระบวนการได้เช่นเดียวกับกาวชนิด Halogen

สรุปปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ดีที่สุดที่ได้จากการวิจัย เปรียบเทียบกับสถานะของกระบวนการในปัจจุบัน และกำลังการผลิต แสดงดังตารางที่ 4.32

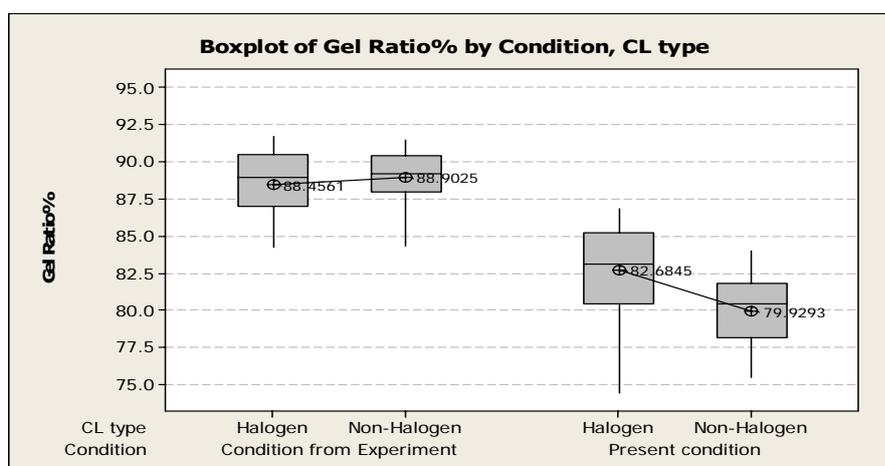
ตารางที่ 4.32

สภาวะของกระบวนการเคียวริง ในปัจจุบันและที่ได้จากการวิจัย

ปัจจัย	สภาวะปัจจุบัน	สภาวะที่ได้จากการวิจัย	
		Halogen	Non-Halogen
ชนิดกาว	Halogen/ Non-Halogen	Halogen	Non-Halogen
อุณหภูมิ	160 °C	180 °C	180 °C
เวลา	65 นาที	60 นาที	70 นาที
จำนวนชั้นการนำเข้าไป	10 Layer	12 Layer	12 Layer
จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่อหนึ่งรอบการทำงาน	400 sheet	480 sheet	480 sheet
กำลังการผลิต (ต่อหนึ่งรอบการทำงาน)	-	เพิ่มขึ้น 20%	เพิ่มขึ้น 20%
		เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 20%	

หมายเหตุ : กำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้นสามารถคำนวณได้จาก จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่อหนึ่งรอบการทำงานที่เพิ่มขึ้นของสภาวะที่ได้จากการวิจัยเทียบกับสภาวะปัจจุบันนั้นคือ $[(480-400)/400]*100 = 20\%$

4.5 การตรวจสอบสภาวะที่ดีที่สุดจากการวิจัยกับสภาวะการผลิตปัจจุบัน



ภาพที่ 4.20

แผนภาพกล่องแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวทั้งสองชนิด
เปรียบเทียบระหว่างสภาวะปัจจุบันกับสภาวะที่ได้จากการทดลอง

ค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาว (Gel Ratio %) ของสภาวะที่ดีที่สุดของกระบวนการเคียวริงที่ได้จากการวิจัย กับสภาวะของกระบวนการผลิตในปัจจุบันได้ถูกวิเคราะห์เปรียบเทียบกันด้วยการแสดงผังแผนภาพกล่อง ดังภาพที่ 4.20

ตารางที่ 4.33

ข้อมูลทางสถิติของค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาว
ระหว่างสภาวะปัจจุบัน และ สภาวะที่ได้จากการวิจัย

Condition	N	Mean	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน (SD)	Minimum	ควอร์ไทล์ แรก (Q1)	Median	ควอร์ไทล์ ที่สาม (Q3)	Maximum
สภาวะ ปัจจุบัน	48	81.307	3.124	74.429	79.429	81.322	83.690	86.786
สภาวะที่ ได้จาก การวิจัย	48	88.679	2.108	84.199	87.473	88.927	90.431	91.706

จากแผนภาพกล่องแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวที่ได้จากการเคียวริงที่สภาวะปัจจุบันของกระบวนการเทียบกับสภาวะที่ได้จากการวิจัยนี้ ดังภาพที่ 4.20 และข้อมูลทางสถิติดังตารางที่ 4.33 พบว่าค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวที่ได้จากการวิจัยมีค่ามากกว่าสภาวะปัจจุบัน และให้ค่าที่ใกล้เคียงกันระหว่างกาวทั้งสองชนิด นอกจากนี้สภาวะที่ได้จากการวิจัยยังสามารถลดความแปรปรวนของค่าเปอร์เซ็นต์ความสมบูรณ์ของกาวที่เกิดขึ้นในกระบวนการได้