สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
ผลการดำเนินการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 ผลการค้นหาปัจจัยที่มีผลต่อความไม่สม่ำเสมอของใยแก้ว

จากการศึกษาการคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อความไม่สม่ำเสมอของใยแก้วแสดงดังผังก้างปลารูปที่ 4.3 เมื่อพิจารณาโดยการระดมสมอง (Brainstorming) จากผู้เชี่ยวชาญ ผู้มีประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องโดยอ้างอิงตามหลักการทางวิศวกรรม ข้อมูลจากการทดลองในอดีต ข้อจำกัดในทางปฏิบัติต่างๆ และหลักเกณฑ์ในการเลือกปัจจัยหลักมาพิจารณาสามารถแยกปัจจัยต่าง ๆ เพื่อแยกการควบคุม ได้ 2 กลุ่มคือ

5.1.1 ปัจจัยควบคุมกระบวนการผลิต (Process Operating Condition)

ปัจจัยควบคุมกระบวนการผลิตนี้ จะทำการควบคุมระดับของปัจจัยโดยอาศัยการออกแบบการทดลองโดยปัจจัยหลักเบื้องต้น ได้แก่

1. ระยะห่างของเส้นใยแก้วแต่ละเส้น
2. ความเร็วการส่ายไปกลับเส้นใยแก้ว
3. ความหนืดน้ำยา
4. ปริมาณใยแก้วในชิ้นงานโดยน้ำหนัก
5. ความเร็วการเคลื่อนที่ชิ้นงาน

5.1.2 ปัจจัยรบกวน

ดังนั้นจากผังก้างปลารูปที่ 4.3 จะเหลือปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งถือเป็นปัจจัยรบกวน ซึ่งจะทำการควบคุมโดยให้คงที่หรือลดระดับความแปรปรวนลง และเพื่อป้องกันปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นจากการเก็บข้อมูลที่คลาดเคลื่อน ปัจจัยรบกวนและวิธีการควบคุมมีดังนี้

1. <u>คุณสมบัติของใยแก้ว</u> ได้ถูกควบคุมโดยใช้วัตถุดิบชนิดเดียว ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนชนิดใยแก้ว จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพสินค้าด้านความสวยงาม และส่งผลต่อกระบวนการผลิต
2. <u>น้ำหนักกดทับใยแก้ว</u> โดยการกำหนดน้ำหนักกดทับให้เท่ากันตลอดการทดลอง
3. <u>แรงลม</u> มีการควบคุมโดยมีผนังปิดกั้นพื้นที่การโรยใยแก้วทั้ง 4 ทิศ

4. ความชื้นสัมพัทธ์ โดยปกติในแต่ละวันความชื้นสัมพัทธ์ในประเทศไทยมีความผันแปรไม่มากนัก แต่จะแปรผันมากระหว่างฤดูกาล ดังนั้นพื้นที่การเตรียมใยแก้วจึงมีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ไว้ที่ 60±10 % อยู่เสมอ
5. การกระตุกของสายพาน ควบคุมโดยใช้ Inverter ที่มี Feed back Control ให้กับมอเตอร์หลัก
6. หน้าที่เฉพาะ โดยกำหนดให้หน้าที่ที่การปฏิบัติงานอาจจะส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของใยแก้วให้กับพนักงานคุมเครื่องเท่านั้นที่มีสิทธิ์ในการปรับตั้งหรือแก้ไข เนื่องจากพนักงานคุมเครื่องเป็นผู้ปฏิบัติงานที่มีความชำนาญโดยตรง
7. การสื่อสารกันระหว่างปรับแต่งเครื่องจักร เป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบในวงกว้างไม่เฉพาะปัญหาริ้วเท่านั้น ดังนั้นในหน่วยงานจึงมีการกระตุ้นพนักงานอยู่เสมอในเรื่องการสื่อสาร โดยกระทำทั้งขณะอยู่หน้างาน, ขณะมีการประชุมประจำวัน หรือประชุมประจำเดือน

5.1.3 การกำหนดระดับของปัจจัยหลัก

หลังจากที่ได้ปัจจัยหลักจากหัวข้อ 5.1.1 จะทำการกำหนดระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง โดยอาศัยความรู้พื้นฐานในกระบวนการผลิต ข้อจำกัดด้านเครื่องจักร/อุปกรณ์ และคุณภาพสินค้าตาม มอก.612-2549

5.1.3.1 ระยะห่างของเส้นใยแก้วแต่ละเส้น

ในการผลิตสินค้าที่มีหน้ากว้างต่างๆ กัน พนักงานจะจัดเรียงเส้นใยแก้ว (Chop Roving) ด้วยระยะห่างที่เท่า ๆ กันจนเต็มหน้ากว้างของชิ้นงาน โดยมีเส้นที่ 1 อยู่ตรงกลาง และเส้นที่ 2, 3 ห่างออกไปทางซ้ายและขวาของชิ้นงาน ด้วยระยะมาตรฐานระยะห่าง 4.5 ซม. การจัดเรียงเส้นใยแก้วนี้อาศัยรางแผงเหล็กเจาะรู รูแต่ละรูจะห่างกัน 1.5 ซม. นั้นหมายความว่าการเรียงด้วยระยะห่าง 4.5 ซม. จะเรียงโดยใส่ใยแก้วหนึ่งรูเว้นสองรู

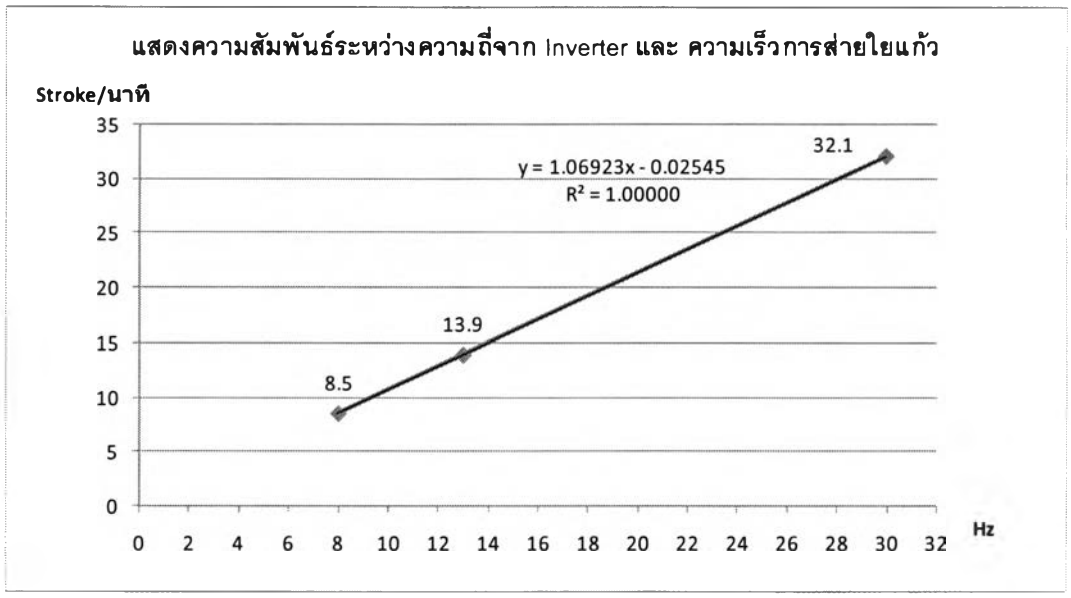
ดังนั้นในการกำหนดระดับของปัจจัยระยะห่างของเส้นใยแก้วแต่ละเส้น จะจัดได้ด้วยการเรียงแบบรูเว้นรู้ในระดับต่ำ (หรือระยะห่าง 3 ซม.) และเรียงแบบรูเว้นสามรูในระดับสูง (หรือระยะห่าง 6 ซม.)

สัญลักษณ์แทนปัจจัยนี้แทนด้วยอักษร “A”

ระดับ	ความห่างของเส้นใยแก้ว	หน่วย	สัญลักษณ์
-1 (ต่ำ)	3	cm.	A
0 (กลาง)	4.5	cm.	A
+1 (สูง)	6	cm.	A

5.1.3.2 ความเร็วการส่ายไปกลับเส้นใยแก้ว

ใยแก้วที่ถูกร้อยผ่านแผงเหล็กเจอะรูนั้นจะเคลื่อนที่ซ้าย-ขวา ในทิศขวางกับการเคลื่อนที่ของชิ้นงานด้วยระยะชัก 12 ซม. (1 รอบการเคลื่อนที่หรือ 1 Stroke มีระยะทาง 24 ซม.) ความเร็วในการเคลื่อนที่ไป-กลับจะถูกควบคุมด้วยความถี่ไฟฟ้าจาก Inverter ส่งให้มอเตอร์และอัตราทดลองมอเตอร์เกียร์ โดยระบบตัดใยแก้วของโรงานตัวอย่างมีความสัมพันธ์แสดงดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่จาก Inverter(Hz) กับความเร็วการส่ายไปกลับของใยแก้ว(Stroke/นาที)

ความถี่ในปัจจุบันที่ใช้ในการควบคุมความเร็วตั้งไว้ที่ 13 Hz หรือความเร็วการส่าย13.9 Stroke/นาที ความเร็วต่ำสุดที่สามารถทำได้โดยไม่กระทบต่อคุณภาพสินค้าอยู่ที่ 8 Hz หรือความเร็วการส่าย 8.5 Stroke/นาที (กำหนดเป็นระดับต่ำ) ส่วนการกำหนดระดับปัจจัยที่ระดับสูงนี้หากกำหนดที่ระห่างเท่ากันกับระดับต่ำจะอยู่ที่ 18 Hz ซึ่งจากการสังเกตพบว่าความเปลี่ยนแปลงของการโรยใยแก้วยังไม่ชัดเจนนัก จึงจะกำหนดระดับของปัจจัยที่ระดับสูงให้มากกว่า โดยเลือกที่ 30 Hz หรือ ความเร็วการส่าย 32.1 Stroke/นาที (กำหนดเป็นระดับสูง)

สัญลักษณ์แทนปัจจัยนี้แทนด้วยอักษร "B"

ระดับ	ความถี่จาก Inverter	หน่วย	ความเร็วการส่าย	หน่วย	สัญลักษณ์
-1 (ต่ำ)	8	Hz.	8.5	Stroke/min	B
0 (กลาง)	13	Hz.	13.9	Stroke/min	B
+1 (สูง)	30	Hz.	32.1	Stroke/min	B

5.1.3.3 ความหนืดน้ำยา

ค่าความหนืดของน้ำยาที่ใช้ในการผลิตสินค้าตามขอบเขตงานวิจัยนี้กำหนดไว้ที่ 450 cPs. และตามข้อกำหนดวัตถุดิบของเรซินที่ใช้ในการผลิตสินค้าตามขอบเขตงานวิจัยนี้ มีค่าความหนืดสูงสุดเท่ากับ 550 cPs. (กำหนดเป็นระดับสูง) ดังนั้นจึงกำหนดระดับของปัจจัยที่ระดับต่ำไว้เท่ากับ 350 cPs. (กำหนดเป็นระดับต่ำ)

สัญลักษณ์แทนปัจจัยนี้แทนด้วยอักษร "C"

ระดับ	ความหนืดน้ำยา	หน่วย	สัญลักษณ์
-1 (ต่ำ)	350	cPs.	C
0 (กลาง)	450	cPs.	C
+1 (สูง)	550	cPs.	C

5.1.3.4 ปริมาณใยแก้วในชิ้นงานโดยน้ำหนัก

เนื่องจากปริมาณใยแก้วที่ใช้ในสินค้าจะกระทบกับต้นทุนการผลิต ซึ่งตามมาตรฐานในการคำนวณต้นทุนและในการผลิตจริงได้กำหนดปริมาณมาตรฐานไว้ที่ 27% และจากการทดลองสามารถเพิ่มปริมาณใยแก้วได้ไม่เกิน 30% มิฉะนั้นจะกระทบกับคุณภาพสินค้า (กำหนดเป็นระดับสูง) ดังนั้นจึงกำหนดระดับของปัจจัยที่ระดับต่ำไว้เท่ากับ 23% (กำหนดเป็นระดับต่ำ)

สัญลักษณ์แทนปัจจัยนี้แทนด้วยอักษร "D"

ระดับ	ปริมาณใยแก้ว	หน่วย	สัญลักษณ์
-1 (ต่ำ)	24	% โดยน้ำหนัก	D
0 (กลาง)	27	% โดยน้ำหนัก	D
+1 (สูง)	30	% โดยน้ำหนัก	D

5.1.3.5 ความเร็วการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน หรือความเร็วเครื่อง

เนื่องจากความเร็วของการเคลื่อนที่ของชิ้นงานจะกระทบกับตำแหน่งการเปลี่ยนสถานะของน้ำยาจากของเหลวเป็นวุ้น (Gel Point) ดังนั้นในคู่มือการผลิตจึงกำหนดความเร็วมาตรฐานไว้ที่ 1.5 เมตร/นาที และเพื่อไม่ให้กระทบกับค่าควบคุมอื่น ๆ และคุณภาพชิ้นงาน ในกระบวนการปัจจุบันสามารถปรับความเร็วเพิ่มขึ้นได้ไม่เกิน 1.7 เมตร/นาที (กำหนดเป็นระดับสูง) และเพื่อให้ไม่กระทบกับอัตราการผลิต (Production Capacity) ดังนั้นจึงกำหนดระดับของปัจจัยที่ระดับต่ำไว้เท่ากับ 1.3 เมตร/นาที (กำหนดเป็นระดับต่ำ)

สัญลักษณ์แทนปัจจัยนี้แทนด้วยอักษร "E"

ระดับ	ความเร็วชิ้นงาน	หน่วย	สัญลักษณ์
-1 (ต่ำ)	1.3	m./min.	E
0 (กลาง)	1.5	m./min.	E
+1 (สูง)	1.7	m./min.	E

5.1.3.6 สรุป

จากข้อมูลข้างต้น สามารถสรุประดับต่าง ๆ ของปัจจัยทั้ง 5 ได้ดังตารางตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สรุประดับของปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับของปัจจัย			หน่วย
		-1 (ต่ำ)	0 (กลาง)	+1 (สูง)	
1. ระยะห่างของเส้นใยแก้วแต่ละเส้น	A	3	4.5	6	cm.
2. ความเร็วการสายไปกลับเส้นใยแก้ว	B	8.5	13.9	32.1	Stroke/min.
3. ความหนืดน้ำยา	C	350	450	550	cPs.
4. ปริมาณใยแก้วในชิ้นงานโดยน้ำหนัก	D	24	27	30	% by weight
5. ความเร็วการเคลื่อนที่ชิ้นงาน	E	1.3	1.5	1.7	m/min

5.1.4 ตัวแปรตอบสนอง

ตัวแปรตอบสนองสำหรับการทดลองนี้คือ ความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว มีหน่วยเป็น เมตร/ครั้ง (m/time)

5.2 ผลการดำเนินการทดลองและการวิเคราะห์ผล

5.2.1 ผลการทดลองเบื้องต้น

ผลการทดลองในขั้นตอนการทดลองเบื้องต้นนี้ได้จากการทำการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบเศษส่วน ½ ของการออกแบบ 2^k หรือการออกแบบการทดลองแบบ 2^{5-1} Fractional Factorial Designs ทำการทดลองตามสภาวะและเก็บข้อมูลตามลำดับการสุ่ม (Random Order) มีจำนวนการทดลอง (Runs) 16 สภาวะที่แตกต่างกัน จำนวนการทดลองซ้ำ (Replicates) 1 ซ้ำ

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองในส่วนของการทดลองเบื้องต้น สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.2 โดยที่

ปัจจัย A คือ ระยะห่างระหว่างเส้นใยแก้ว มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

ปัจจัย B คือ ความเร็วการส่ายไปกลับเส้นใยแก้ว มีหน่วยเป็น Strokeต่อนาที (spm)

ปัจจัย C คือ ความหนืดน้ำยา มีหน่วยเป็น centipoises (cPs)

ปัจจัย D คือ ปริมาณใยแก้วโดยน้ำหนัก มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์

ปัจจัย E คือ ความเร็วการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน หรือความเร็วเครื่อง มีหน่วยเป็นเมตร/นาที

ตารางที่ 5.2 บันทึกผลการทดลองเบื้องต้น

Std Order	Run Order	Center Pt	Blocks	A (cm)	B (spm)	C (cPs)	D (%)	E (m/min)	Response (m/time)
1	6	1	1	3	8.5	350	24	1.7	10.79
2	4	1	1	6	8.5	350	24	1.3	17.00
3	2	1	1	3	32.1	350	24	1.3	16.10
4	15	1	1	6	32.1	350	24	1.7	20.00
5	11	1	1	3	8.5	550	24	1.3	15.09
6	1	1	1	6	8.5	550	24	1.7	18.38
7	16	1	1	3	32.1	550	24	1.7	22.00
8	9	1	1	6	32.1	550	24	1.3	26.29
9	5	1	1	3	8.5	350	30	1.3	14.23
10	14	1	1	6	8.5	350	30	1.7	21.70
11	7	1	1	3	32.1	350	30	1.7	22.00
12	13	1	1	6	32.1	350	30	1.3	28.00
13	3	1	1	3	8.5	550	30	1.7	10.87
14	12	1	1	6	8.5	550	30	1.3	16.40
15	10	1	1	3	32.1	550	30	1.3	19.29
16	8	1	1	6	32.1	550	30	1.7	23.00

5.2.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้น

นำข้อมูลที่รวบรวมได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ทดสอบนัยสำคัญทางสถิติหรือหาแนวโน้ม โดยใช้หลักการของการวิเคราะห์ผลการทดลองของการออกแบบการทดลองโดยวิธีแฟคทอเรียลเมื่อระดับของปัจจัยมี 2 ระดับ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนนี้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทางสถิติช่วยในการคำนวณและใช้ข้อมูลจากตารางที่ 5.2 ตารางบันทึกผลการทดลอง

5.2.2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variable)

ใช้การวิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้นของตัวแปรตอบสนองเพื่อดูว่าปัจจัยใดบ้างที่มีผลกับความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นวิธีการคำนวณแบบเลขคณิต

โดยการแยกผลรวมกำลังสองทั้งหมด (Total Sum of square) ออกเป็นส่วนต่าง ๆ ตามแหล่งกำเนิดหรือสาเหตุ โดยจะวิเคราะห์ว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อการทดลองโดยพิจารณาความแตกต่าง โดยวัดความแตกต่างรวมออกมาในรูปของความแปรปรวนแล้วแตกออกมาเป็นความแตกต่างย่อย ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างย่อยเหล่านั้น หากความแตกต่างใดมีค่ามากกว่าแสดงว่าปัจจัยนั้นทำให้เกิดความแตกต่างโดยมีผลต่อค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Square) ซึ่งเป็นดัวที่ประมาณค่าความแปรปรวนที่ดีที่สุด ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยหลักการทางสถิติวิศวกรรมโดยใช้โปรแกรมแสดงดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเบื้องต้น 5 ปัจจัย

Analysis of Variance for Result, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Distance	1	102.010	102.010	102.010	**	
Velocity	1	170.433	170.433	170.433	**	
Viscosit	1	0.141	0.141	0.141	**	
% Chop	1	6.052	6.052	6.052	**	
M/C Spee	1	0.837	0.837	0.837	**	
Distance*Velocity	1	1.322	1.322	1.322	**	
Distance*Viscosit	1	2.856	2.856	2.856	**	
Distance*% Chop	1	1.575	1.575	1.575	**	
Distance*M/C Spee	1	1.932	1.932	1.932	**	
Velocity*Viscosit	1	3.478	3.478	3.478	**	
Velocity*% Chop	1	2.220	2.220	2.220	**	
Velocity*M/C Spee	1	0.181	0.181	0.181	**	
Viscosit*% Chop	1	73.274	73.274	73.274	**	
Viscosit*M/C Spee	1	0.245	0.245	0.245	**	
% Chop*M/C Spee	1	0.548	0.548	0.548	**	
Error	0	0.000	0.000	0.000		
Total	15	367.103				

เนื่องแผนการทดลองได้ออกแบบให้มีทำทดลองซ้ำเท่ากับ 1 ซ้ำ จึงทำให้ผลที่แสดงดังตารางที่ 5.3 ไม่แสดงค่า P-Value จึงจะทำการดัดแปลงการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยการย้ายปัจจัยบางปัจจัยให้มาอยู่ใน Term ของ Error ซึ่งสังเกตได้ว่าปัจจัยหลัก M/C Speed และปัจจัยร่วมที่มีปัจจัย M/C Speed รวมอยู่มีค่าผลรวมกำลังสอง (Sum of Square) น้อย ดังนั้นจึงทำการย้ายปัจจัยหลัก M/C Speed และปัจจัยร่วมที่มีปัจจัย M/C Speed รวมอยู่ไปอยู่ใน Term ของ Error ผลแสดงดังError! Reference source not found.

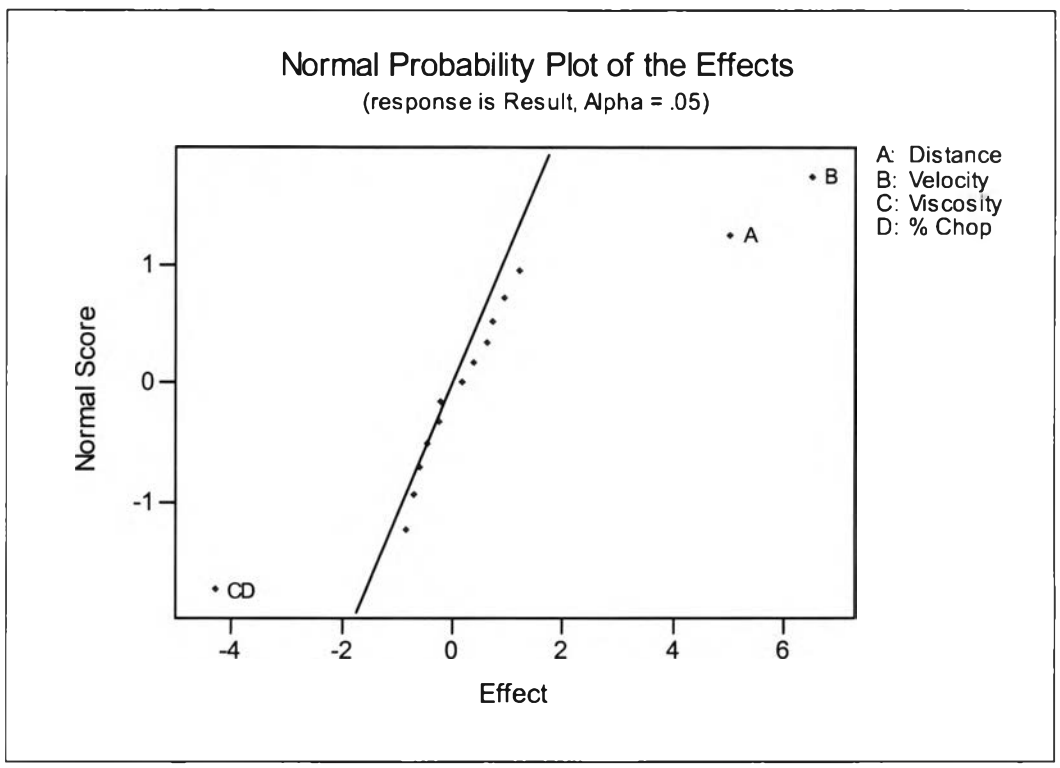
ตารางที่ 5.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเบื้องต้น (Without M/C Speed)

Analysis of Variance for Result, using Adjusted SS for Tests

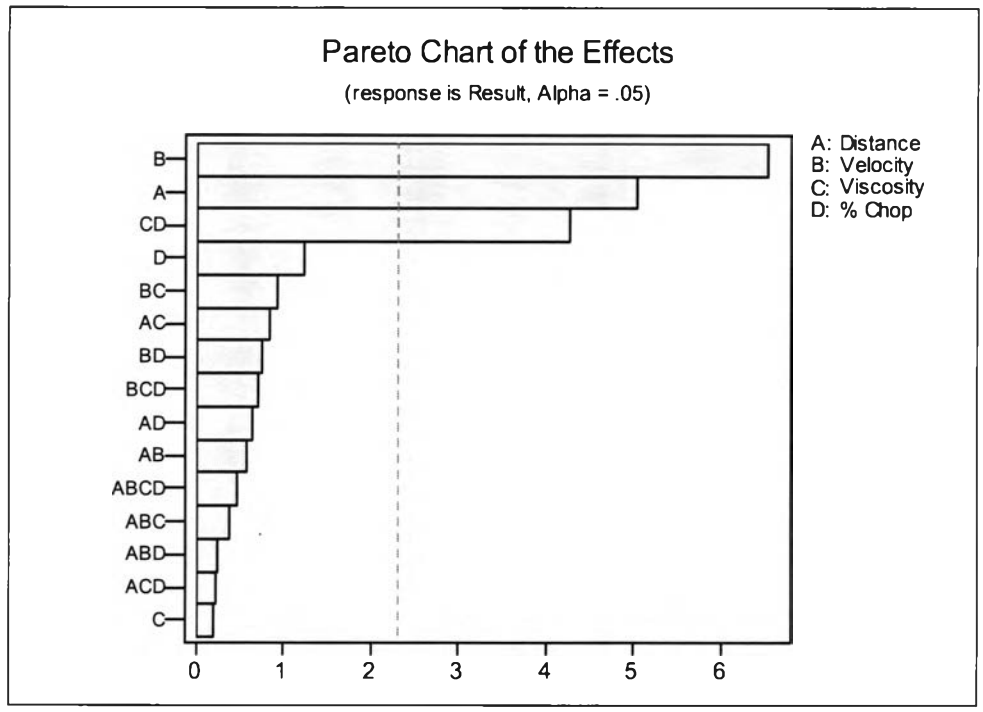
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Distance	1	102.010	102.010	102.010	136.28	0.000
Velocity	1	170.433	170.433	170.433	227.69	0.000
Viscosit	1	0.141	0.141	0.141	0.19	0.683
% Chop	1	6.052	6.052	6.052	8.08	0.036
Distance*Velocity	1	1.322	1.322	1.322	1.77	0.241
Distance*Viscosit	1	2.856	2.856	2.856	3.82	0.108
Distance*% Chop	1	1.575	1.575	1.575	2.10	0.207
Velocity*Viscosit	1	3.478	3.478	3.478	4.65	0.084
Velocity*% Chop	1	2.220	2.220	2.220	2.97	0.146
Viscosit*% Chop	1	73.274	73.274	73.274	97.89	0.000
Error	5	3.743	3.743	0.749		
Total	15	367.103				

5.2.2.2ตรวจสอบกราฟการแจกแจงปกติและค่า Effect

ใช้การวิเคราะห์หาปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมใด ๆ ที่มีอิทธิพลต่อความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว โดยมีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาว่ามีจุดใดที่บนกราฟแจกแจงปกติของรูปที่รูปที่ 5.2 และแผนภูมิพาเรโตแสดง Effect ของแต่ละปัจจัยดังรูปที่ 5.3 ว่ามีจุดใดอยู่ห่างจากเส้นตรงอย่างชัดเจนและพิจารณาค่า P-Value ในError! Reference source not found. ต้องน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ร่วมด้วยให้ถือว่าปัจจัยนั้นมีผลต่อความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว



รูปที่ 5.2 กราฟ Normal Probability Plot of Effect



รูปที่ 5.3 แผนภูมิพาเรโตของ Effect แต่ละปัจจัย

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจากข้อมูลข้างต้น พิจารณาค่า P-Value ซึ่งเป็นระดับความเชื่อมั่นน้อยสุดที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) ดังนั้นที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปัจจัยที่มีค่า P-Value < 0.05 แสดงว่าปัจจัยนั้น ๆ มีผลต่อความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว โดยจะพิจารณาดังนี้

1. เมื่อพิจารณาปัจจัยหลัก (Main Effect) พบว่าปัจจัย A (ระยะห่างของเส้นใยแก้ว; Distance) และปัจจัย B (ความเร็วการส่ายไปกลับเส้นใยแก้ว; Velocity) มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 และเป็นจุดที่อยู่ห่างจากเส้นตรงในรูปที่ 5.2 อย่างชัดเจน ส่วนปัจจัยหลักอื่น ๆ พบว่ามีค่า P-Value มากกว่า 0.05 จึงสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้วได้แก่ ปัจจัย A (ระยะห่างของเส้นใยแก้ว; Distance) และปัจจัย B (ความเร็วการส่ายไปกลับเส้นใยแก้ว; Velocity)
2. เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วม (Interaction Effect) พบว่าปัจจัยร่วมระหว่าง ปัจจัย C (ความหนืดน้ำยา; Viscosity) และ ปัจจัย D (ปริมาณใยแก้วในชิ้นงานโดยน้ำหนัก; %Chop) มีค่า P-Value เท่ากับ 0.032 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 และเป็นจุดที่อยู่ห่างจากเส้นตรงในรูปที่ 5.2 อย่างชัดเจน ส่วนปัจจัยร่วมอื่นมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 จึงสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยร่วมที่มีผลต่อความยาว

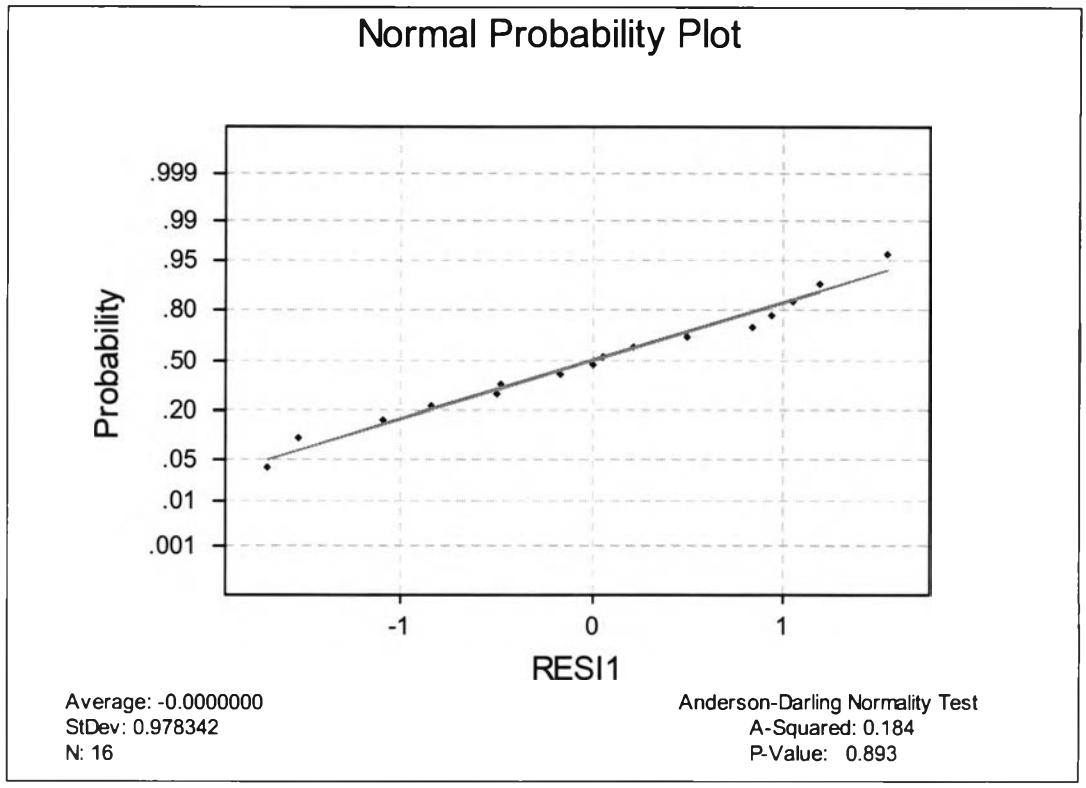
เฉลี่ยก่อนเกิดริ้วได้แก่ ปัจจัยร่วม CD (ความหนืดน้ำยา กับ ปริมาณใยแก้วในชิ้นงาน)

3. จากการสังเกตการณ์ พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างความหนืดน้ำยาและปริมาณใยแก้วนั้นมีความสัมพันธ์กันในรูปของความหนาแน่นของชิ้นงาน
4. จากการพิจารณาข้างต้นพบว่ามีปัจจัยอิสระอยู่ 3 ปัจจัยได้แก่ 1)ระยะห่างของเส้นใยแก้ว 2)ความเร็วการสายไปกลับเส้นใยแก้ว 3) ความหนาแน่นชิ้นงาน มีผลต่อความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว และจะนำไปใช้ในการทดลองเพื่อหา สภาวะการทำงานที่เหมาะสมต่อไป

5.2.2.3 ตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking)

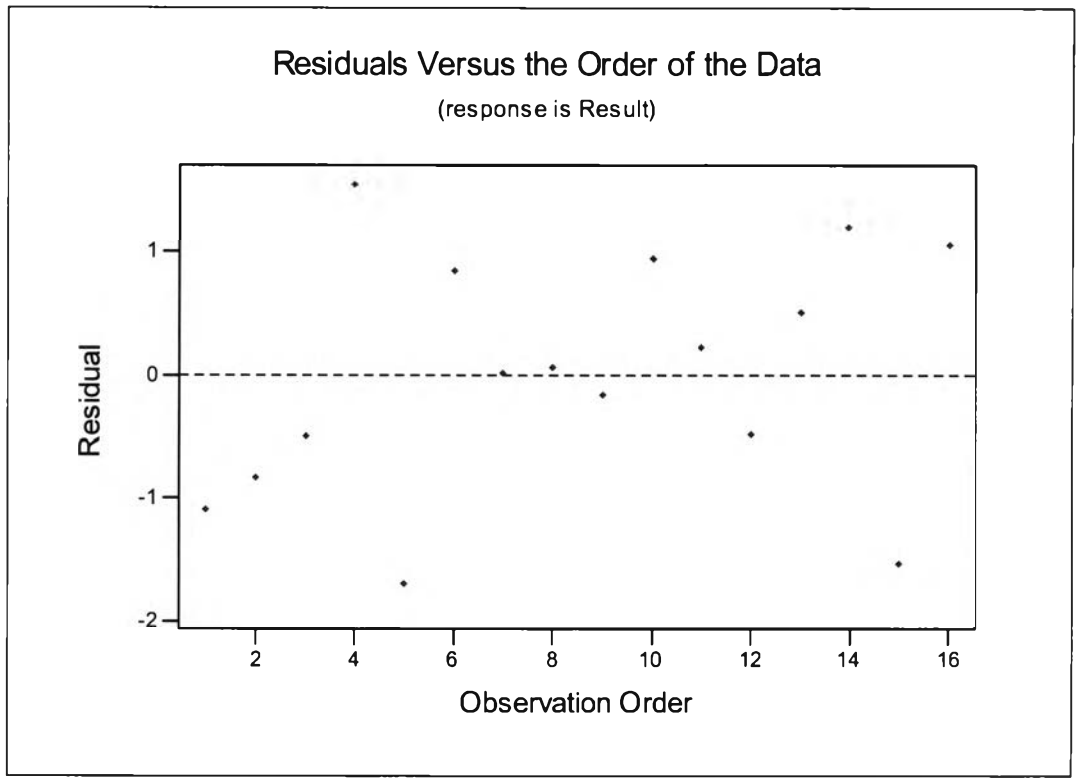
การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ เป็นวิธีการตรวจสอบที่ทำให้ทราบว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนมีความน่าเชื่อถือเป็นไปตามหลักการทางสถิติหรือไม่ โดยการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบมีอยู่ 3 ประเภท คือ

1. การตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติ(Normal Distribution) หรือไม่ โดยการใช้ค่าส่วนตกค้าง (Residual) ที่ถูกเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก กับค่าความน่าจะเป็นสะสม $P_k = (k-1/2)/n$ นำมาสร้าง Normal Probability Plot ของค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าความน่าจะเป็นสะสม $P_k = (k-1/2)/n$ โดย $P_k \times 100$ อยู่บนแกนตั้ง ส่วนแกนนอนจะเป็นค่าส่วนตกค้าง แสดงดังรูปที่ 5.4 ซึ่งไม่พบสิ่งปกติใด ๆ



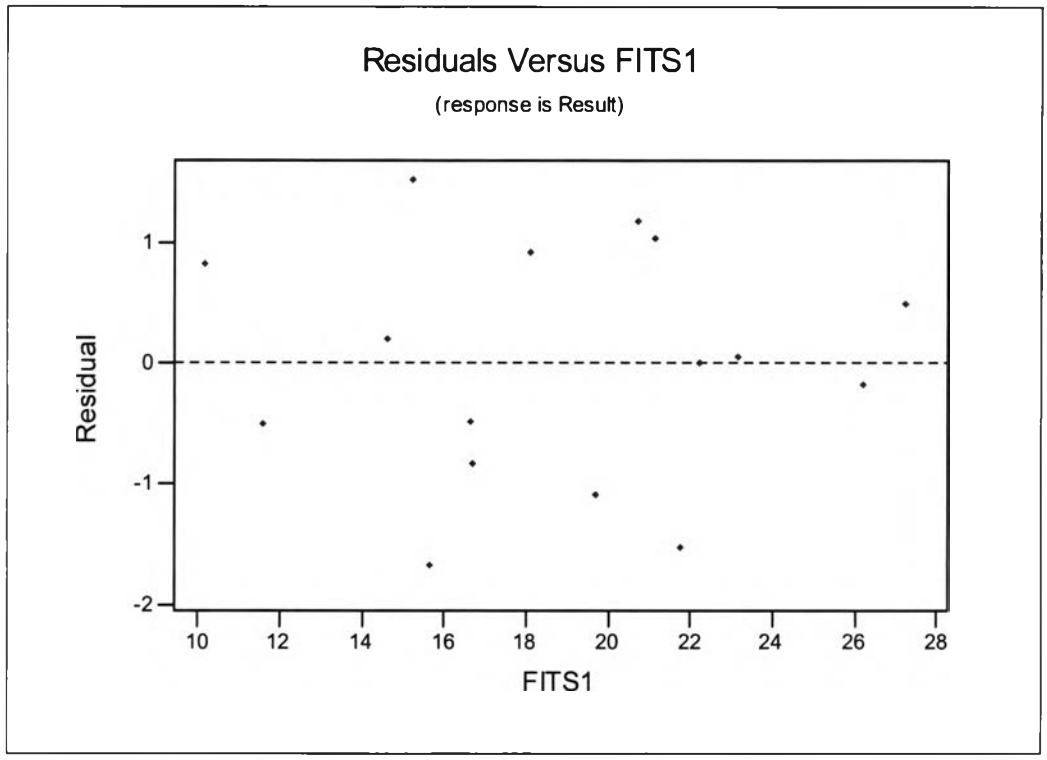
รูปที่ 5.4 กราฟ Normality Probability Plot ของค่าความคลาดเคลื่อน

2. การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล เป็นการตรวจสอบข้อมูลว่ามีความเป็นอิสระซึ่งกันหรือไม่ เป็นการทดสอบถึงความสัมพันธ์ของค่าส่วนตกค้าง (Residual) โดยการใช้ค่าส่วนตกค้าง และลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล มาทำการพล็อตกราฟ ซึ่งค่าส่วนตกค้างอยู่บนแกนตั้ง และลำดับเวลาของการเก็บข้อมูลอยู่บนแกนนอน แสดงดังรูปที่ 5.5 ซึ่งไม่พบสิ่งปกติใด ๆ



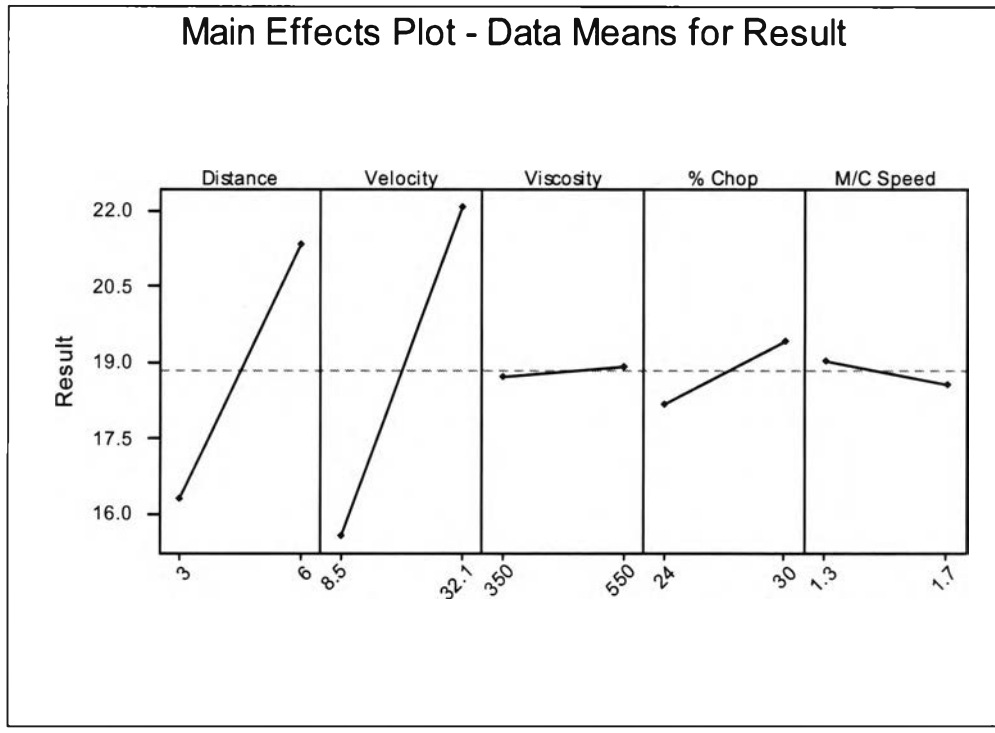
รูปที่ 5.5 ค่าส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล

3. การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน เป็นการทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล โดยการใช้ข้อมูลค่าส่วนตกค้าง (Residual) และค่าที่ถูกฟิต (fitted Value) ในที่นี้คือความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้วที่ถูกทำนาย (Predicted Response) มาทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าส่วนตกค้าง กับค่าที่ถูกฟิต ซึ่งค่าส่วนตกค้างอยู่บนแกนตั้ง และค่าที่ถูกฟิตอยู่บนแกนนอน แสดงดังรูปที่ 5.6 ซึ่งไม่พบสิ่งปกติใด ๆ

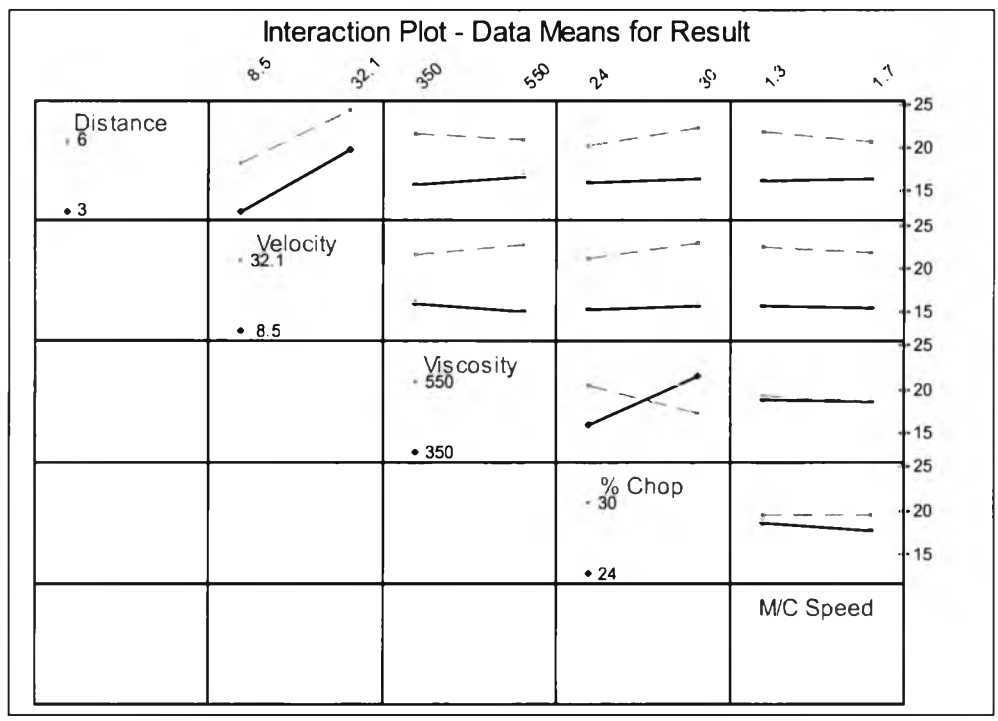


รูปที่ 5.6 ค่าส่วนตกค้างกับความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้วที่ถูกทำนาย

4. การวิเคราะห์ Main Effect Plot และ Interaction Effect Plot ดังแสดงในรูปที่ 5.7 และรูปที่ 5.8 หมายถึงอิทธิพล (Effect) ของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว โดยสังเกตว่าในรูปที่ 5.7 กราฟ Distance และ Velocity มีความชันมากกว่า Viscosity, %Chop และ M/C Speed แสดงว่าเมื่อปัจจัย Distance และ/หรือ Velocity มีการเปลี่ยนแปลงจะมีผลต่อค่าความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ความแปรปรวน และเมื่อสังเกตรูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง Viscosity กับ %Chop เส้นไม่ขนานกัน สามารถกล่าวได้ว่าอันตรกิริยาระหว่าง Viscosity กับ %Chop มีผลต่อค่าความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว ได้ผลเช่นเดียวกับหัวข้อ 5.2.2.2



รูปที่ 5.7 กราฟ Main Effect Plot ของค่าความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว



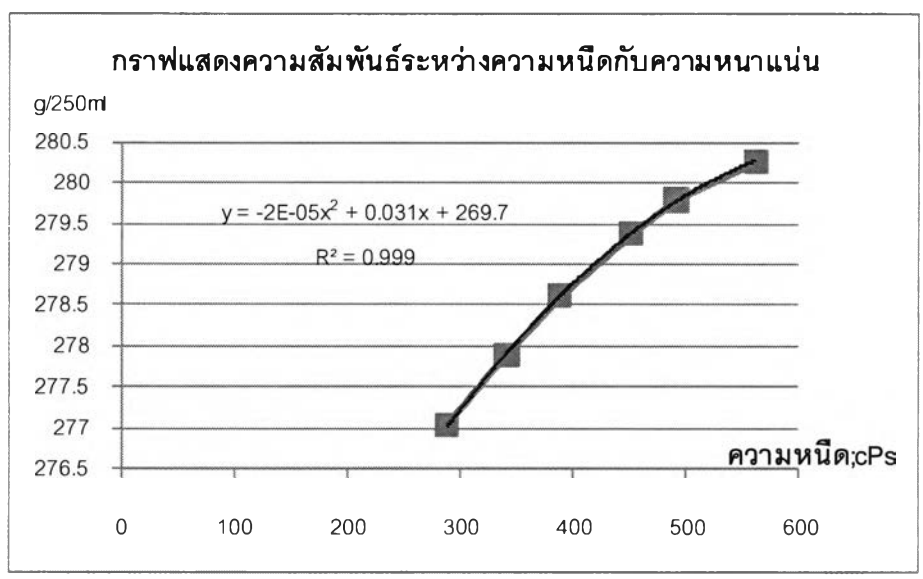
รูปที่ 5.8 กราฟ Interaction Effect Plot ของค่าความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว

5.2.3 ผลการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

5.2.3.1 หาความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดน้ำยากับปริมาณใยแก้ว

การทดลองเบื้องต้น แสดงให้เห็นว่าปัจจัยร่วมระหว่างความหนืดน้ำยาและปริมาณใยแก้วส่งผลต่อค่าความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว และจากการสังเกตการณ์พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างความหนืดน้ำยาและปริมาณใยแก้วนั้นมีความสัมพันธ์กันในรูปของความหนาแน่นของชิ้นงาน กล่าวคือที่ขนาดชิ้นงานเท่าเดิม เมื่อความหนืดน้ำยาเปลี่ยนไปเนื่องจากการเติมสารละลาย (Solvent) หรือปริมาณใยแก้วเปลี่ยนไป น้ำหนักของชิ้นงานจะเปลี่ยนไป ซึ่งก็คือทำให้ความหนาแน่นของชิ้นงานมีการเปลี่ยนไปด้วย จึงตั้งข้อสันนิษฐานว่าความหนาแน่นชิ้นงานเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อค่าความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว จึงได้ทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ของความหนืดน้ำยาและปริมาณใยแก้ว เพื่อให้สามารถเปลี่ยนปัจจัยร่วมเป็นปัจจัยความหนาแน่นชิ้นงานได้

ดังนั้นจึงเริ่มต้นด้วยการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดที่เปลี่ยนไปของน้ำยากับความหนาแน่นของน้ำยา โดยการปรับความหนืดนั้นใช้วิธีเดียวกับการผลิตจริง คือใช้การผสมสไตรีนโมโนเมอร์จนได้ความหนืดที่ต้องการแล้วทำการชั่งน้ำหนัก ปริมาตรที่ใช้ในการชั่งน้ำหนักนี้เท่ากับ 250 ml. ความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถสรุปอยู่ในรูปกราฟได้ดังแสดงในรูปที่ 5.9 และได้สมการในการหาความหนาแน่นที่ช่วงความหนืดอื่น ๆ อีกด้วย



รูปที่ 5.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับความหนาแน่น

ขั้นตอนต่อไปจะนำค่าความหนาแน่นน้ำยาที่ความหนืดต่าง ๆ ไปคำนวณร่วมกับน้ำหนักใยแก้วในชิ้นงานเพื่อหาความหนาแน่นชิ้นงานต่อไป

ทำการคำนวณหาน้ำหนักน้ำยาและน้ำหนักใยแก้วที่ระดับต่างๆ โดยชั่งน้ำหนักให้รวมกันได้ 100 กรัม เช่น ที่สัดส่วนใยแก้ว 24 % โดยน้ำหนัก ชั่งใยแก้วหนัก 24 กรัม จะต้องเตรียมน้ำยาน้ำหนัก 76 กรัม ที่ความหนืดใดก็ได้ แล้วคำนวณหาปริมาตรของใยแก้ว 24 กรัมและน้ำยา 76 กรัม ว่ามีปริมาตรเท่าใด และถ้าที่สัดส่วนใยแก้ว 27% โดยน้ำหนัก ชั่งใยแก้วหนัก 27 กรัม จะต้องเตรียมน้ำยาน้ำหนัก 73 กรัม ที่ความหนืดใดก็ได้ แล้วจึงคำนวณหาปริมาตรน้ำยาและใยแก้ว

ในการหาปริมาตรน้ำยาต้องอาศัยสมการจากรูปที่ 5.9 เพื่อนำค่าความหนาแน่นที่ความหนืดต่าง ๆ และน้ำหนักน้ำยามาคำนวณหาปริมาตร โดยใช้สมการ

ปริมาตรน้ำยา = น้ำหนักน้ำยา / ความหนาแน่นน้ำยา

ตารางที่ 5.5 การคำนวณหาปริมาตรน้ำยาที่ความหนืดและสัดส่วนต่าง ๆ

ความหนืด (cPs.)	ความหนาแน่นน้ำยา (g/cu.cm.)	สัดส่วนน้ำยาโดยน้ำหนัก (%)	น้ำหนักน้ำยา (g)	ปริมาตรน้ำยา (cu.cm.)
300	1.1088	76	76	68.543
350	1.1124	76	76	68.321
400	1.1156	76	76	68.125
450	1.1184	76	76	67.954
500	1.1208	76	76	67.809
550	1.1228	76	76	67.688
300	1.1088	73	73	65.837
350	1.1124	73	73	65.624
400	1.1156	73	73	65.436
450	1.1184	73	73	65.272
500	1.1208	73	73	65.132
550	1.1228	73	73	65.016
300	1.1088	70	70	63.131
350	1.1124	70	70	62.927
400	1.1156	70	70	62.747
450	1.1184	70	70	62.589
500	1.1208	70	70	62.455
550	1.1228	70	70	62.344

หลังจากได้ปริมาตรน้ำยาแล้วดังตารางที่ 5.5 ขั้นตอนต่อไปจะคำนวณหาปริมาตรใยแก้วที่สัดส่วนต่าง ๆ เช่นกันโดยใช้สมการ

ปริมาตรใยแก้ว = น้ำหนักใยแก้ว / ความหนาแน่นใยแก้ว

ความหนาแน่นใยแก้วในการทดลองนี้เป็นค่าเฉพาะของวัตถุดิบที่ใช้ในโรงงานตัวอย่างเท่านั้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.459 g/cu.cm.

ผลการคำนวณหาปริมาณใยแก้วแสดงดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ปริมาตรใยแก้วที่สัดส่วนต่าง ๆ

สัดส่วนใยแก้วโดยน้ำหนัก (%)	น้ำหนักใยแก้ว (g)	ปริมาตรใยแก้ว (cu.cm.)
24	24	16.45
24	24	16.45
24	24	16.45
24	24	16.45
24	24	16.45
24	24	16.45
27	27	18.506
27	27	18.506
27	27	18.506
27	27	18.506
27	27	18.506
27	27	18.506
30	30	20.562
30	30	20.562
30	30	20.562
30	30	20.562
30	30	20.562
30	30	20.562

ทำการหาความหนาแน่นของชิ้นงานที่ความหนืดน้ำยาและสัดส่วนใยแก้วต่าง โดยนำปริมาตรน้ำยาและใยแก้วที่คำนวณได้จากตารางที่ 5.5 และตารางที่ 5.6 โดยใช้สมการ

ความหนาแน่นชิ้นงาน = น้ำหนักชิ้นงาน / (ปริมาตรน้ำยา+ปริมาตรใยแก้ว)

ผลการคำนวณหาความหนาแน่นชิ้นงานแสดงดังตารางที่ 5.7 และจัดเรียงลำดับความหนาแน่นจากน้อยไปมากในตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.7 ความหนาแน่นชิ้นงานที่ความหนืดและสัดส่วนใยแก้วต่าง ๆ

ความหนืด (cPs.)	สัดส่วนใยแก้ว (%)	ปริมาตรใยแก้ว (cu.cm.)	ปริมาตรน้ำยา (cu.cm.)	น้ำหนักชิ้นงาน (g)	ปริมาตรชิ้นงาน (cu.cm)	ความหนาแน่น (กรัม/cu.cm.)
300	24	16.45	68.543	100	84.993	1.1770
350	24	16.45	68.321	100	84.771	1.1800
400	24	16.45	68.125	100	84.575	1.1820
450	24	16.45	67.954	100	84.404	1.1850
500	24	16.45	67.809	100	84.259	1.1870
550	24	16.45	67.688	100	84.138	1.1890
300	27	18.506	65.837	100	84.343	1.1860
350	27	18.506	65.624	100	84.13	1.1890
400	27	18.506	65.436	100	83.942	1.1910
450	27	18.506	65.272	100	83.778	1.1940
500	27	18.506	65.132	100	83.638	1.1960
550	27	18.506	65.016	100	83.522	1.1970
300	30	20.562	63.131	100	83.693	1.1950
350	30	20.562	62.927	100	83.489	1.1980
400	30	20.562	62.747	100	83.309	1.2000
450	30	20.562	62.589	100	83.151	1.2030
500	30	20.562	62.455	100	83.017	1.2050
550	30	20.562	62.344	100	82.906	1.2060

ตารางที่ 5.8 ความหนาแน่นชิ้นงานเรียงลำดับจากน้อยไปมาก

ความหนืด(cPs.)	ปริมาณใยแก้ว (%)	ความหนาแน่น (g/cu.cm.)
300	24	1.177
350	24	1.180
400	24	1.182
450	24	1.185
300	27	1.186
500	24	1.187
550	24	1.189
350	27	1.189
400	27	1.191
450	27	1.194
300	30	1.195
500	27	1.196
550	27	1.197
350	30	1.198
400	30	1.200
450	30	1.203
500	30	1.205
550	30	1.206

จากอันตรกิริยาระหว่าง Viscosity กับ %Chop ในหัวข้อ 5.2.2 จึงเปลี่ยนเป็นความหนาแน่นชิ้นงาน ดังแสดงในตารางที่ 5.8 ผู้วิจัยจึงนำความหนาแน่นชิ้นงานนี้ กำหนดเป็นปัจจัยแทนอันตรกิริยาระหว่าง Viscosity กับ %Chop เลือกความหนาแน่น 3 ระดับเพื่อนำไปทดลองร่วมกับปัจจัยปัจจัย A (ระยะห่างของเส้นใยแก้ว; Distance) และปัจจัย B (ความเร็วการสายไปกลับเส้นใยแก้ว; Velocity) เพื่อนำไปทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมต่อไป การเลือกความหนาแน่นได้นำผลการทดลองเบื้องต้นมาตัดสินใจเลือกความหนาแน่นในขั้นตอนนี้ โดยจะไม่เลือกที่ปริมาณใยแก้วมาก-ความหนืดมาก และไม่เลือกที่ปริมาณใยแก้วมีค่าน้อย-ความหนืดน้อย ให้ผลต่อความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้วที่ไม่ดีนัก

ดังนั้นจึงทำการเลือกที่ปริมาณใยแก้วและความหนืดอยู่ในค่ากลางคือ

ความหนืด (cPs)	สัดส่วนใยแก้ว (%)	ความหนาแน่น (g/cu.cm.)
450	24	1.185
450	27	1.191
450	30	1.203

และกำหนดระดับในการทดลองให้กับปัจจัยความหนาแน่นชิ้นงานดังแสงในตารางที่ 5.9 สัญลักษณ์แทนปัจจัยนี้แทนด้วยอักษร "C"

ตารางที่ 5.9 ระดับการทดลองของปัจจัยความหนาแน่น

ระดับ	ความหนาแน่น	หน่วย	สัญลักษณ์
-1 (ต่ำ)	1.185	กรัม/ลบ.ซม.	C
0 (กลาง)	1.191	กรัม/ลบ.ซม.	C
+1 (สูง)	1.203	กรัม/ลบ.ซม.	C

5.2.3.2 ดำเนินการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

การทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมจะใช้การออกแบบการทดลองแบบอิทธิพลคงที่โดยนำปัจจัย 3 ปัจจัยที่มีผลต่อความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว จากหัวข้อ5.2.2 และหัวข้อ5.2.3.1 และใช้ปัจจัยมี 3 ระดับ (3^k Factorial Design with Fixed Effect Model) จำนวนการทดลองซ้ำ (Replicates) 1 ซ้ำ ทำการทดลองตามสภาวะและเก็บข้อมูลตามลำดับการสุ่ม (Random Order) มีจำนวนการทดลอง (Runs) 27 สภาวะที่แตกต่างกัน

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองในส่วนของการทดลองเบื้องต้น สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.10 และตารางที่ 5.11 โดยที่

ปัจจัย A คือ ระยะห่างของเส้นใยแก้ว มีหน่วยเป็นเซนติเมตร (cm.)

ปัจจัย B คือ ความเร็วการส่ายไปกลับเส้นใยแก้ว มีหน่วยเป็น Stroke/min (spm)

ปัจจัย C คือ ความหนาแน่นชิ้นงาน มีหน่วยเป็น กรัม/ลบ.ซม. (g/cu.cm.)

ตารางที่ 5.10 ตารางการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสม

StdOrder	RunOrder	Blocks	A (cm.)	B (Stroke/min)	C (g/cu.cm.)	Response (m/time)
1	6	1	3	8.5	1.185	4.56
2	21	1	4.5	8.5	1.185	9.15
3	3	1	6	8.5	1.185	13.42
4	16	1	3	13.9	1.185	12.27
5	4	1	4.5	13.9	1.185	10.52
6	8	1	6	13.9	1.185	19.6
7	1	1	3	32.1	1.185	11
8	12	1	4.5	32.1	1.185	11.5
9	19	1	6	32.1	1.185	20.56
10	11	1	3	8.5	1.191	14.15
11	2	1	4.5	8.5	1.191	21
12	17	1	6	8.5	1.191	28
13	18	1	3	13.9	1.191	21.8
14	15	1	4.5	13.9	1.191	26
15	23	1	6	13.9	1.191	31.2
16	20	1	3	32.1	1.191	27.6
17	24	1	4.5	32.1	1.191	31
18	27	1	6	32.1	1.191	34
19	7	1	3	8.5	1.203	13.63
20	14	1	4.5	8.5	1.203	19.62
21	25	1	6	8.5	1.203	23.62
22	10	1	3	13.9	1.203	21.62
23	22	1	4.5	13.9	1.203	19.62
24	5	1	6	13.9	1.203	29.5
25	13	1	3	32.1	1.203	24.95
26	9	1	4.5	32.1	1.203	25.31
27	26	1	6	32.1	1.203	29.95

ตารางที่ 5.11 ตารางสรุปการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสม

ความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว (m/time)		ระยะห่างของเส้นใยแก้ว (A; cm.)								
		3			4.5			6		
		ความเร็วการส่าย (B; Stroke/min)			ความเร็วการส่าย (B; Stroke/min)			ความเร็วการส่าย (B; Stroke/min)		
		8.5	13.9	32.1	8.5	13.9	32.1	8.5	13.9	32.1
ความหนาแน่น (C; g/cu.cm.)	1.185	4.56	12.27	11.00	9.15	10.52	11.50	13.42	19.60	20.56
	1.191	14.13	21.80	27.60	21.00	26.00	31.00	28.00	31.20	34.00
	1.203	13.63	21.62	24.95	19.62	19.62	25.31	23.63	29.50	29.95

5.2.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองหาสภาวะเหมาะสม

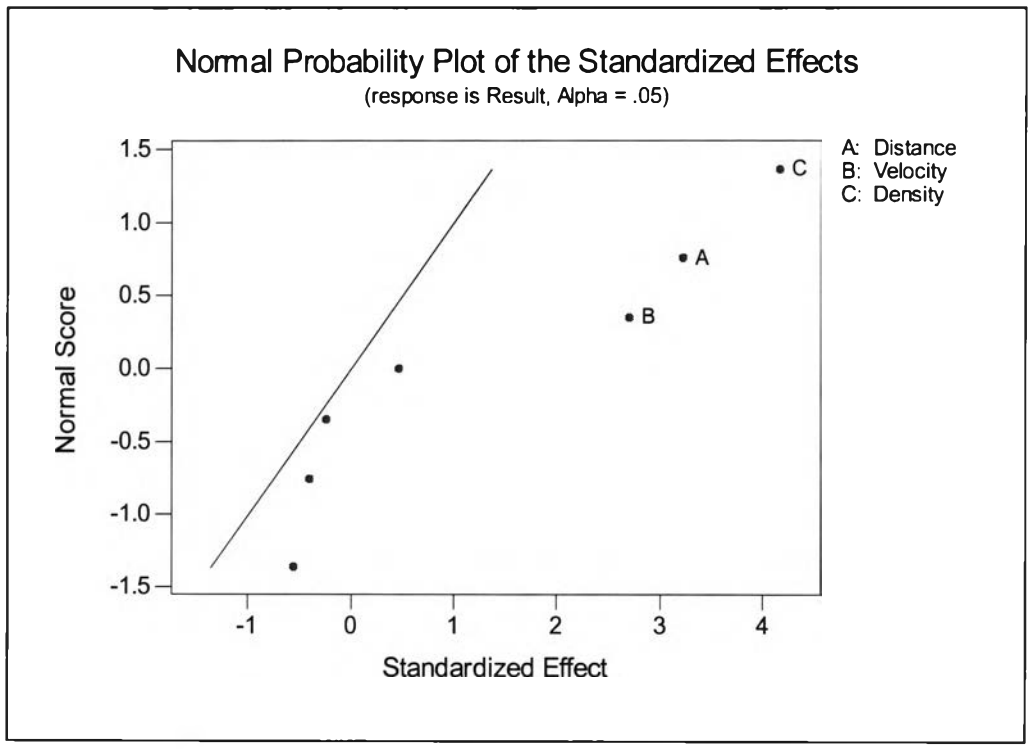
5.2.4.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variable)

การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของตัวแปรตอบสนองนำข้อมูลจากตารางบันทึกผลการทดลองตารางที่ 5.10 โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณได้ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงดังตารางที่ 5.12

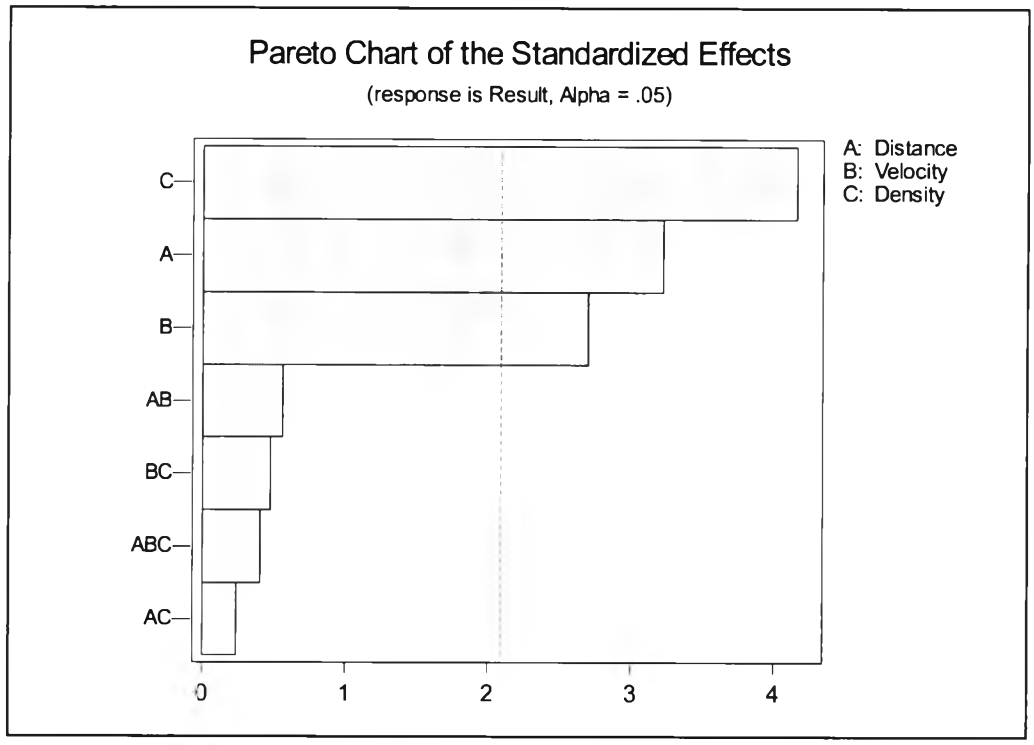
ตารางที่ 5.12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองหาสภาวะเหมาะสม

Analysis of Variance for Result, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Distance	2	361.739	361.739	180.869	77.30	0.000
Velocity	2	270.712	270.712	135.356	57.85	0.000
Density	2	915.607	915.607	457.804	195.64	0.000
Distance*Velocity	4	30.726	30.726	7.682	3.28	0.072
Distance*Density	4	13.855	13.855	3.464	1.48	0.295
Velocity*Density	4	20.108	20.108	5.027	2.15	0.166
Error	8	18.720	18.720	2.340		
Total	26	1631.467				



รูปที่ 5.10 กราฟ Normal Probability Plot of Effect



รูปที่ 5.11 แผนภูมิพาเรโตของ Effect แต่ละปัจจัย

5.2.4.2 ตรวจสอบกราฟการแจกแจงปกติและค่า Effect

ใช้การวิเคราะห์หาปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมใด ๆ ที่มีอิทธิพลต่อความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว โดยมีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาว่ามีจุดใดที่บนกราฟแจกแจงปกติของรูปที่ 5.10 และแผนภูมิพาเรโตแสดง Effect ของแต่ละปัจจัยดังรูปที่ 5.11ว่ามีจุดใดอยู่ห่างจากเส้นตรงอย่างชัดเจนและพิจารณาค่า P-Value ใน ตารางที่ 5.12 ต้องน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ร่วมด้วยให้ถือว่าปัจจัยนั้นมีผลต่อความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว

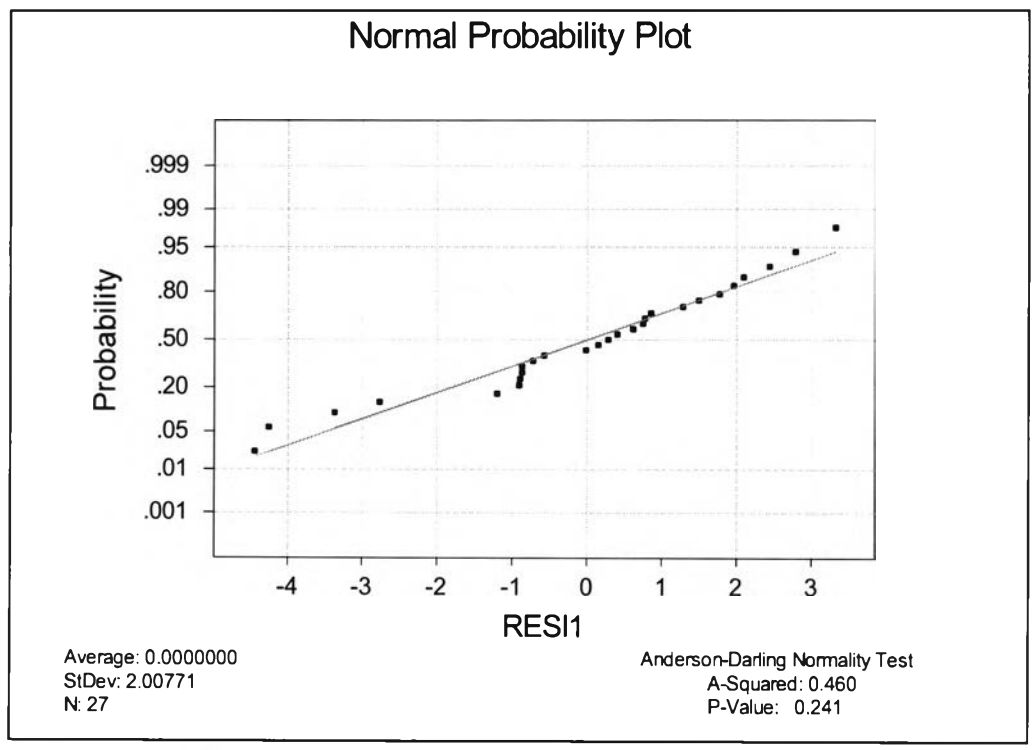
จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจากข้อมูลข้างต้น พิจารณาค่า P-Value ซึ่งเป็นระดับความเชื่อมั่นน้อยสุดที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) ดังนั้นที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปัจจัยที่มีค่า P-Value < 0.05 แสดงว่าปัจจัยนั้น ๆ มีผลต่อความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว โดยจะพิจารณาดังนี้

1. เมื่อพิจารณาปัจจัยหลัก (Main Effect) พบว่าปัจจัย A (ระยะห่างของเส้นใยแก้ว; Distance), ปัจจัย B (ความเร็วการส่ายไปกลับเส้นใยแก้ว; Velocity) และปัจจัย C (ความหนาแน่นชิ้นงาน; Density) มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 และเป็นจุดที่อยู่ห่างจากเส้นตรงในรูปที่ 5.10 อย่างชัดเจน จึงสรุปได้ว่าปัจจัยหลักทั้ง 3 มีผลต่อความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว
2. เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วม (Interaction Effect) พบไม่มีปัจจัยใด มีค่า P-Value มากกว่า 0.05 จึงสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยร่วมไม่มีผลต่อความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว
3. จากการพิจารณาข้างต้นทราบว่ามี 3 ปัจจัยหลักเท่านั้น ที่มีผลต่อความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว อย่างมีนัยสำคัญ

5.2.4.3 ตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking)

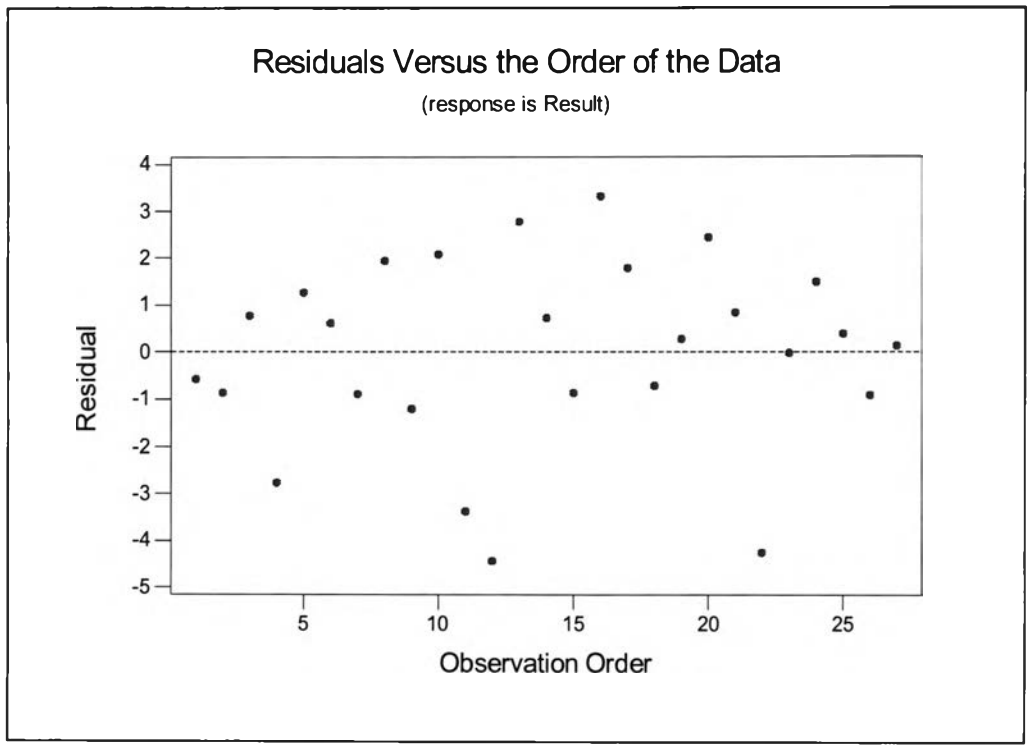
การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ ในการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม ได้ตั้งสมมติฐานในการวิเคราะห์จากการที่ความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้วจะมีการกระจายแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ได้ต้องให้ ε_{ijk} มีการกระจายแบบปกติด้วยและต้องเป็นการกระจายที่เป็นอิสระตามสมมติฐาน $\varepsilon_{ijk} \sim NID(0,\sigma^2)$ การตรวจสอบที่ทำให้ทราบว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนมีความน่าเชื่อถือเป็นไปตามหลักการทางสถิติทำได้โดยการตรวจสอบε_{ij} มีอยู่ 3 ประเภท คือ

1. การตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติ(Normal Distribution) หรือไม่ โดยการใช้ค่าส่วนตกค้าง (Residual) ที่ถูกเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก กับค่าความน่าจะเป็นสะสม P_k = (k-1/2)/n นำมาสร้าง Normal Probability Plot ของค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าความน่าจะเป็นสะสม P_k = (k-1/2)/n โดย P_k x 100 อยู่บนแกนตั้ง ส่วนแกนนอนจะเป็นค่าส่วนตกค้าง แสดงดังรูปที่ 5.12 ซึ่งไม่พบสิ่งปกติใด ๆ



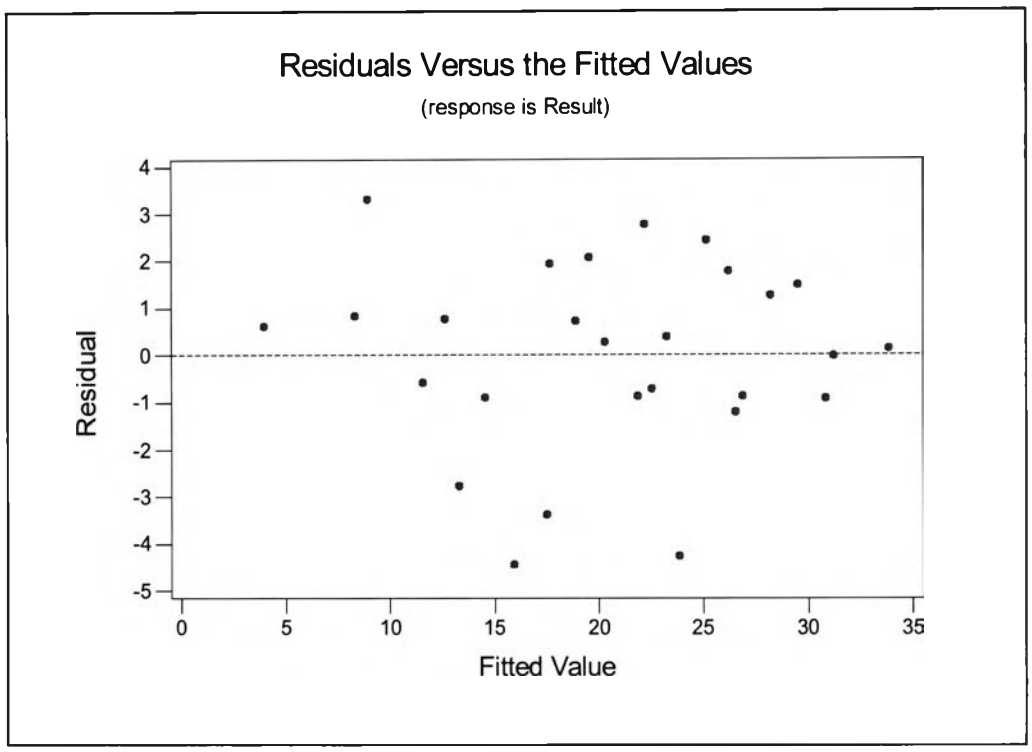
รูปที่ 5.12 กราฟ Normality Probability Plot

2. การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล เป็นการตรวจสอบข้อมูลว่ามีความเป็นอิสระซึ่งกันหรือไม่ เป็นการทดสอบถึงความสัมพันธ์ของค่าส่วนตกค้าง (Residual) โดยการใช้ค่าส่วนตกค้าง และลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล มาทำการพล็อตกราฟ ซึ่งค่าส่วนตกค้างอยู่บนแกนตั้ง และลำดับเวลาของการเก็บข้อมูลอยู่บนแกนนอน แสดงดังรูปที่ 5.13 ซึ่งไม่พบสิ่งปกติใด ๆ



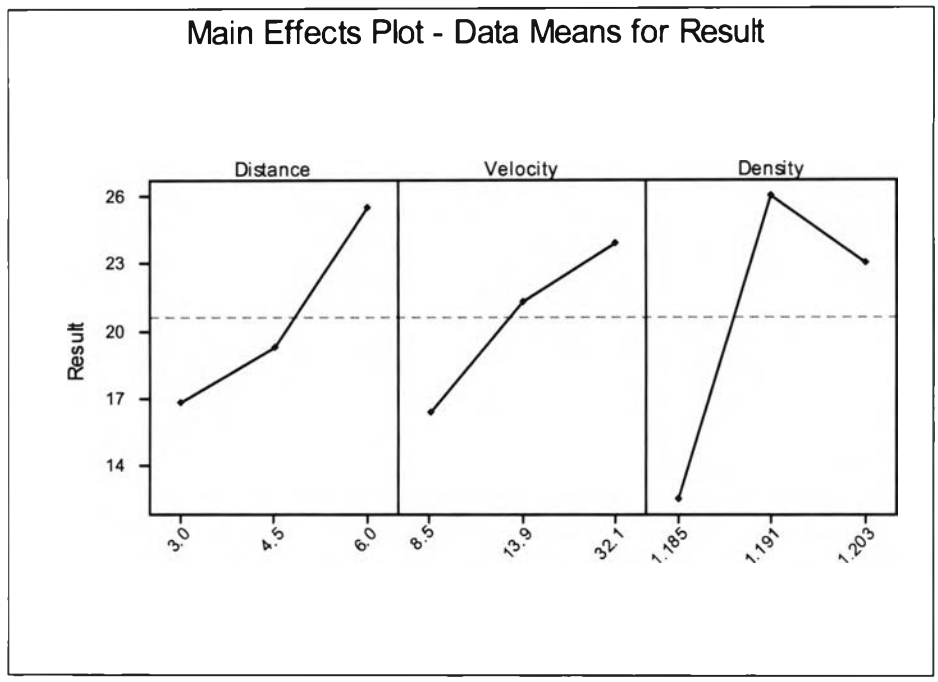
รูปที่ 5.13 ค่าส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล

3. การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน เป็นการทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล โดยการใช้ข้อมูลค่าส่วนตกค้าง (Residual) และค่าที่ถูกฟิต (fitted Value) ในที่นี้คือความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้วที่ถูกทำนาย (Predicted Response) มาทำการพล็อตกราฟระหว่างค่าส่วนตกค้าง กับค่าที่ถูกฟิต ซึ่งค่าส่วนตกค้างอยู่บนแกนตั้ง และค่าที่ถูกฟิตอยู่บนแกนนอน แสดงดังรูปที่ 5.14 ซึ่งไม่พบสิ่งปกติใด ๆ

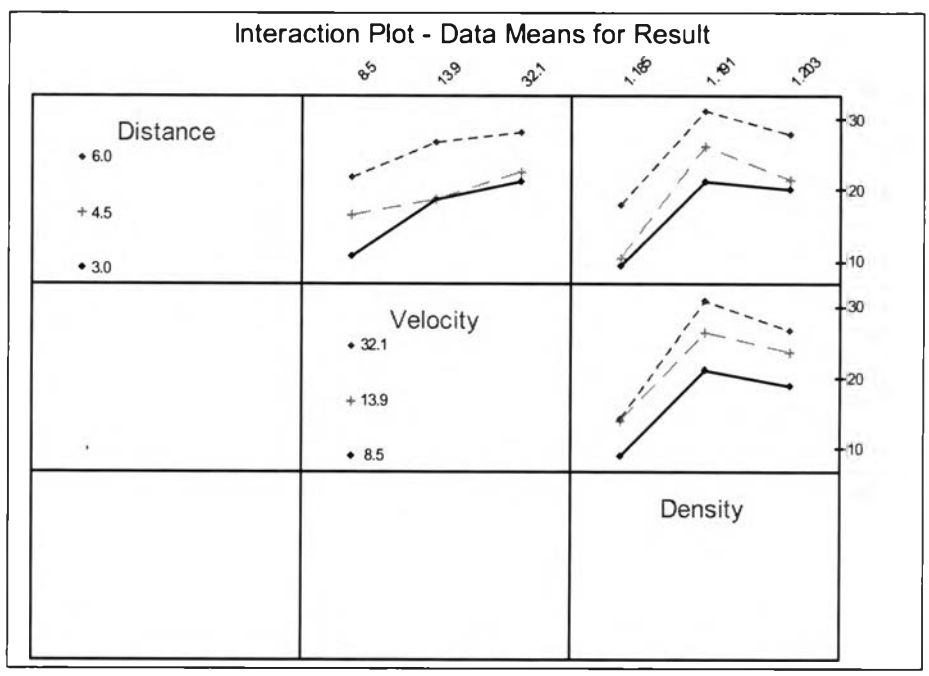


รูปที่ 5.14 ค่าส่วนตกค้างกับความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้วที่ถูกทำนาย

4. การวิเคราะห์ Main Effect Plot และ Interaction Effect Plot ดังแสดงในรูปที่ 5.15 และรูปที่ 5.16 หมายถึงอิทธิพล (Effect) ของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว โดยสังเกตว่าในรูปที่ 5.15 กราฟ Distance, Velocity และDensity มีความชัน แสดงว่าเมื่อปัจจัย Distance, Velocity และ/หรือ Density มีการเปลี่ยนแปลงจะมีผลต่อค่าความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ความแปรปรวน และเมื่อสังเกตรูปที่ 5.16 พบความสัมพันธ์ร่วมระหว่างปัจจัย เป็นในทิศทางเดียวกัน สามารถกล่าวได้ว่าอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย ไม่มีผลต่อค่าความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว



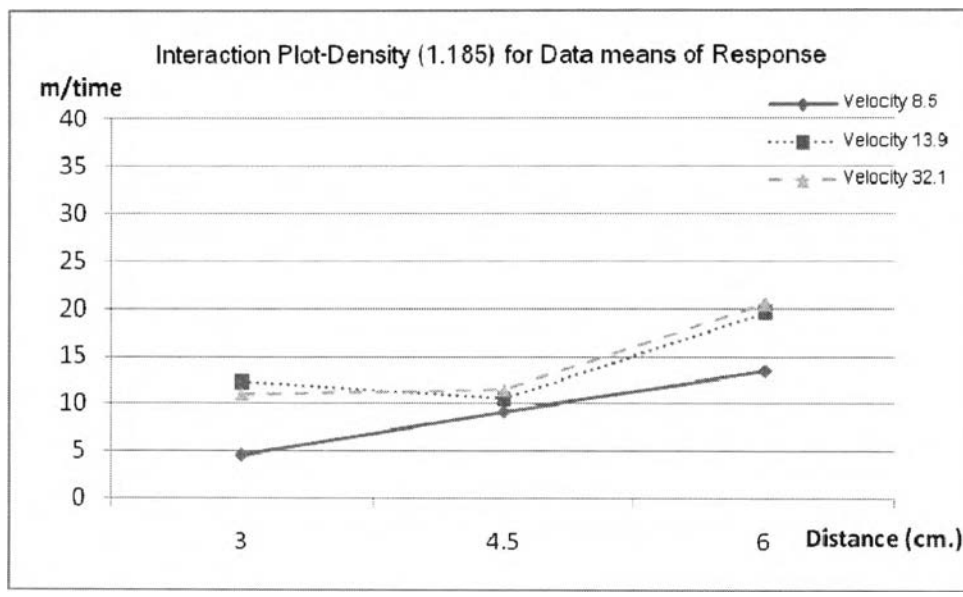
รูปที่ 5.15 กราฟ Main Effect Plot ของค่าความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว



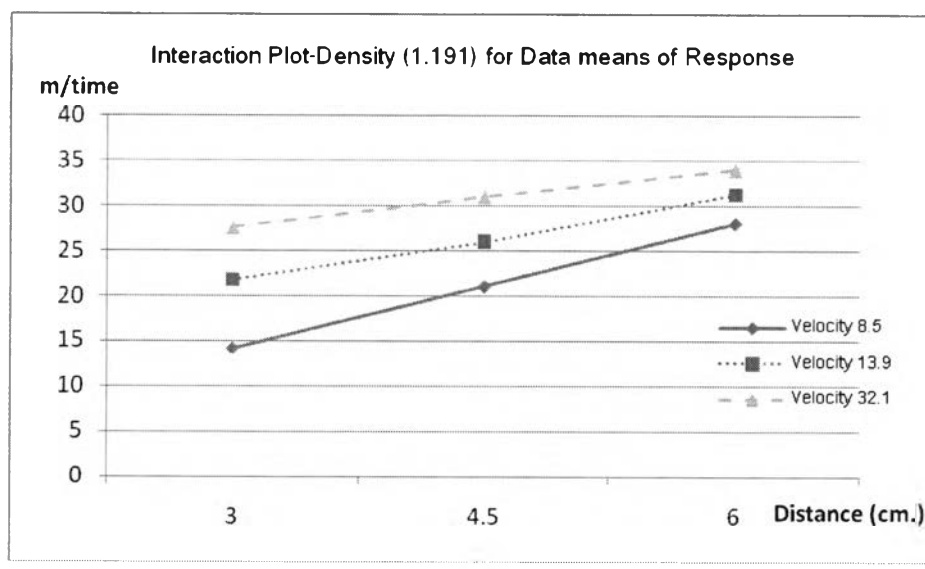
รูปที่ 5.16 กราฟ Interaction Effect Plot ของค่าความยาวเฉลี่ยมากสุดก่อน

อันตรกิริยาระหว่างระยะห่างของเส้นใยแก้วกับความเร็วการสายไปกลับเส้นใยแก้วที่ความหนาแน่นชิ้นงาน 1.185 cu.cm แสดงดังรูปที่ 5.17, อันตรกิริยาระหว่างระยะห่างของเส้นใยแก้วกับความเร็วการสายไปกลับเส้นใยแก้วที่ความหนาแน่นชิ้นงาน 1.191 cu.cm แสดงดังรูปที่

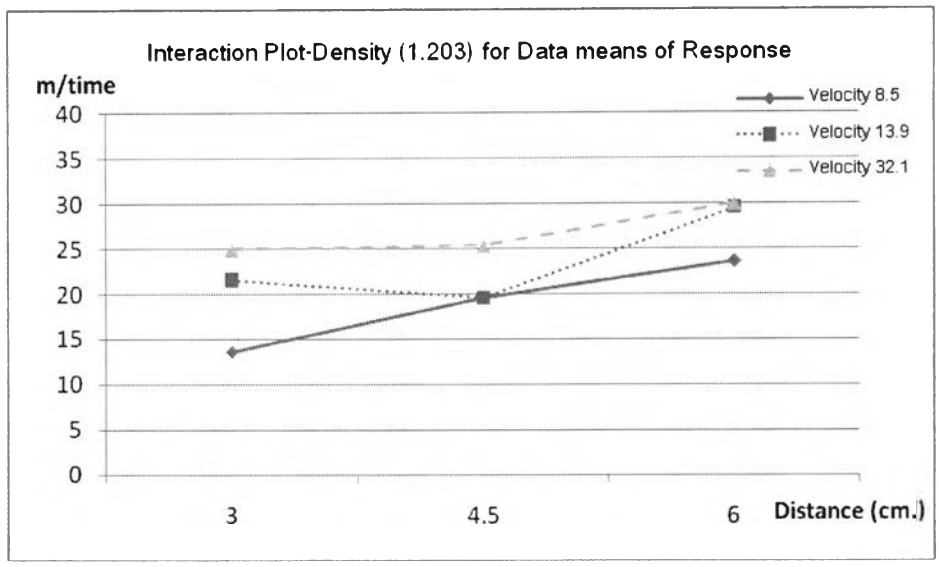
5.18 และอันตรกิริยาระหว่างระยะห่างของเส้นใยแก้วกับความเร็วการสายไปกลับเส้นใยแก้วที่ความหนาแน่นชิ้นงาน 1.203 cu.cm แสดงดังรูปที่ 5.19 พบว่ามีแนวโน้มที่ระยะห่างเส้นใยแก้ว 6 cm และที่ความเร็วการสายไปกลับเส้นใยแก้ว 32.1 รอบ/นาที และที่ความหนาแน่นชิ้นงาน 1.191 g/cu.cm จะให้ค่าความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้วมากที่สุด ซึ่งจะทำการหาระดับที่แน่นนอนโดยวิเคราะห์สมการถดถอยในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 5.17 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของเส้นใยแก้วกับความเร็วการสายไปกลับเส้นใยแก้วที่ความหนาแน่นชิ้นงาน 1.185 g/cu.cm



รูปที่ 5.18 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของเส้นใยแก้วกับความเร็วการสายไปกลับเส้นใยแก้วที่ความหนาแน่นชิ้นงาน 1.191 g/cu.cm



รูปที่ 5.19 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของเส้นใยแก้วกับความเร็วการส่ายไปกลับเส้นใยแก้วที่ความหนาแน่นชิ้นงาน 1.203 g/cu.cm

5.2.4.4 การหาสภาวะที่เหมาะสม

จากผลการวิเคราะห์การทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมพบว่ามีปัจจัยหลัก 3 ปัจจัยที่มีผลต่อความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว ในขั้นตอนนี้จะทำการหาความสัมพันธ์ของปัจจัยทั้ง 3 โดยใช้วิธี Stepwise Regression ด้วยโปรแกรม MINITAB เพื่อหาพจน์ที่จำเป็นสำหรับสมการถดถอย ที่ทำให้ได้ค่า R^2 สูงสุด ทั้งนี้จากตารางที่ 5.12 แสดงให้เห็นว่าปัจจัย Distance, Velocity และ Density มีค่า P-Value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ ผู้วิจัยจึงกำหนดให้ทั้ง 3 ปัจจัย เป็นปัจจัยเริ่มต้นของการทำ Stepwise ผลการดำเนินการด้วยวิธี Stepwise แสดงดังตารางที่ 5.13 แสดงให้เห็นว่า Step ที่ 4 ให้ค่า R^2 สูงสุดคือ 94.89% สรุปได้ว่า พจน์ที่จำเป็นสำหรับสมการถดถอย คือ Distance, Velocity, Density, $Density^2$, $Velocity^2$ และ $Distance^2$ สามารถสร้างเป็นสมการถดถอยได้คือ

ความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว (m/time)

= -199,638 -4.65(Distance) + 1.666(Velocity) + 333,815(Density)
-0.839(Distance*Distance) - 0.0331(Velocity*Velocity)
-139,542(Density*Density)

ตารางที่ 5.13 ผลการดำเนินการตามวิธี Stepwise Resression

Stepwise Regression: Result versus Distance, Velocity, ...

Alpha-to-Enter: 0.05 Alpha-to-Remove: 0.05

Response is Result on 7 predictors, with N = 27

Step	1	2	3	4	5
Constant	-556.2	-199627	-199638	-199623	-199427
Distance	2.90	2.90	2.90	-4.65	
T-Value	3.24	6.79	8.26	-1.39	
P-Value	0.004	0.000	0.000	0.180	
Velocity	0.278	0.278	1.666	1.666	1.666
T-Value	2.56	5.37	4.06	4.44	4.35
P-Value	0.017	0.000	0.001	0.000	0.000
Density	468	333815	333815	333815	333815
T-Value	3.20	-8.36	-10.18	-11.13	-10.89
P-Value	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
den2		-139542	-139542	-139542	-139542
T-Value		8.89	10.82	11.83	11.58
P-Value		0.000	0.000	0.000	0.000
vel2			-0.0331	-0.0331	-0.0331
T-Value			-3.40	-3.72	-3.64
P-Value			0.003	0.001	0.002
dis2				0.839	0.327
T-Value				2.26	9.01
P-Value				0.035	0.000
S	5.70	2.72	2.23	2.04	2.09
R-Sq	54.24	90.04	93.58	94.89	94.39
R-Sq(adj)	48.27	88.23	92.05	93.35	93.06

นอกจากวิธี Stepwise ที่ทำให้สามารถทราบสัมประสิทธิ์และพจน์ที่จำเป็นแล้ว สามารถทำการหาสมการถดถอยได้ด้วยวิธี Response Surface Regression ในโปรแกรม MINITAB ผู้ดำเนินการวิจัยได้ทำการทดลองเพิ่มและลดพจน์ (Term) ที่ละพจน์เพื่อตรวจสอบค่า R^2 ว่ารูปแบบของสมการถดถอยใดที่ให้ค่า R^2 มากสุด จากการทดลองเพิ่มและลดพจน์ได้รูปแบบของสมการถดถอยที่ให้ R^2 มากสุดแสดงผลดังตารางที่ 5.14 และตารางที่ 5.15

สมการถดถอยของกระบวนการ (Coded units) ที่ได้จากวิธี Response Surface Regression คือ ความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว (m/time)

= 31.580 + 4.348(Distance) + 4.505(Velocity) + 5.291(Density)
+1.888(Distance*Distance) – 4.002(Velocity*Velocity)
– 11.303(Density*Density)

ตารางที่ 5.14 การวิเคราะห์สมการถดถอย (Coded units)

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Result

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	31.580	1.3488	23.413	0.000
Distance	4.348	0.4813	9.034	0.000
Velocity	4.505	0.5781	7.793	0.000
Density	5.291	0.4813	10.992	0.000
Distance*Distance	1.888	0.8337	2.265	0.035
Velocity*Velocity	-4.002	1.0756	-3.721	0.001
Density*Density	-11.303	0.9551	-11.834	0.000

S = 2.04216 PRESS = 152.012
R-Sq = 94.89% R-Sq(pred) = 90.68% R-Sq(adj) = 93.35%

Analysis of Variance for Result

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	6	1548.06	1548.06	258.010	61.87	0.000
Linear	3	884.90	1097.55	365.851	87.73	0.000
Square	3	663.16	663.16	221.054	53.00	0.000
Residual Error	20	83.41	83.41	4.170		
Total	26	1631.47				

และได้สมการถดถอยของกระบวนการ (Uncoded units) คือ
ความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว (m/time)

= -199,638 -4.65(Distance) + 1.666(Velocity) + 333,815(Density)
-0.839(Distance*Distance) - 0.0331(Velocity*Velocity)
-139,542(Density*Density)

ตารางที่ 5.15 การวิเคราะห์สมการถดถอย (Uncoded units)

```
Estimated Regression Coefficients for Result using data in uncoded units

Term                      Coef
Constant                -199623
Distance               -4.65444
Velocity                1.66641
Density                  333815
Distance*Distance       0.839259
Velocity*Velocity     -0.0330755
Density*Density         -139542
```

จากการดำเนินการหาสมการถดถอยด้วยวิธีทั้งสอง สังเกตได้ว่าสมการถดถอยเป็นสมการเดียวกัน ดังนั้นในการหาสมการถดถอยเพื่อใช้ในการประมาณค่าตัวแปรตอบสนอง ในกรณีที่ระดับของปัจจัยเปลี่ยนไปสามารถดำเนินการด้วยวิธีใดก็ได้

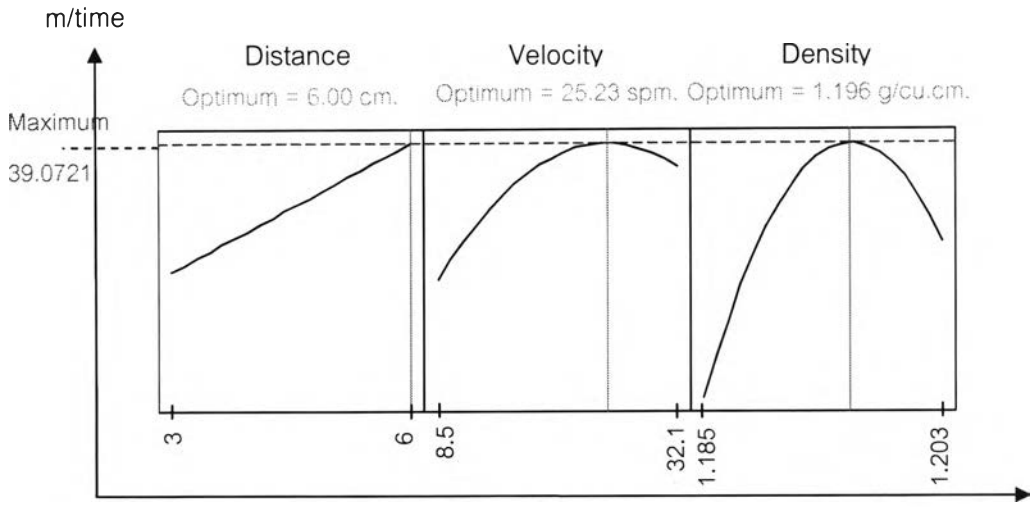
ในการหาสภาวะเหมาะสมหรือระดับของปัจจัยที่ทำให้ได้ค่าความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว (m/time) มากสุด หาได้จากวิธี Response Optimizer ในโปรแกรม MINITAB ประยุกต์กับการเปลี่ยนค่าระดับ (เส้นแนวตั้ง) เพื่อหาค่า y มากสุด ผลการดำเนินการหาสภาวะเหมาะสมแสดงดังรูปที่ 5.20 สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตควรทำการผลิตตามสภาวะดังนี้

ระยะห่างเส้นใยแก้ว (Distance) = 6 cm.

ความเร็วการส่ายไปกลับเส้นใยแก้ว (Velocity) = 25.23 spm.

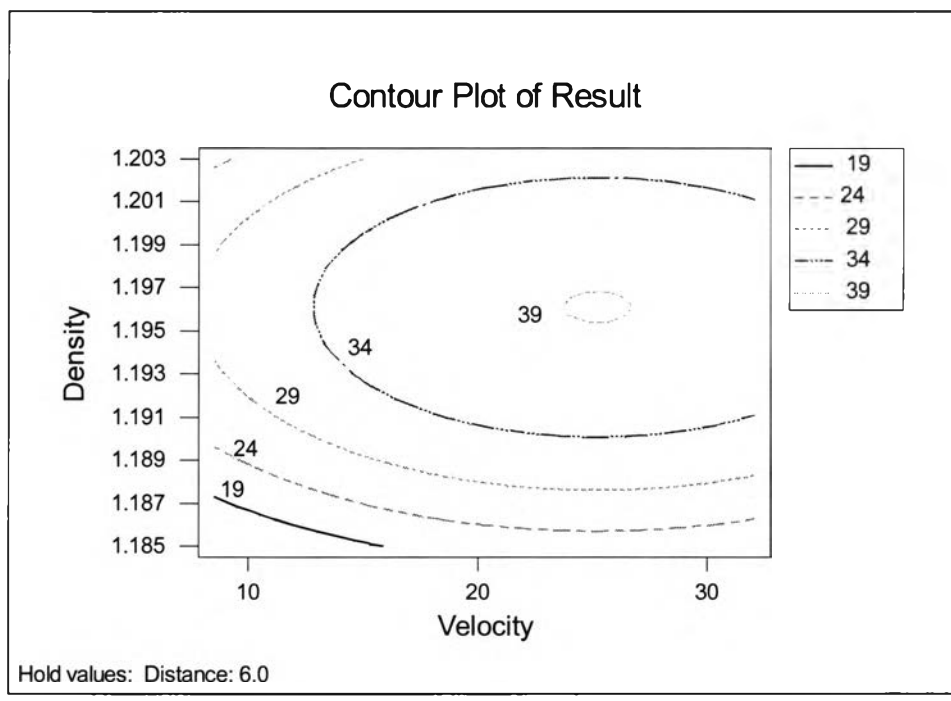
ความหนาแน่นชิ้นงาน (Density) = 1.196 g/cu.cm.

จากตารางที่ 5.8 สามารถแปลงความหนาแน่นชิ้นงานเป็นค่าที่ใช้ในการควบคุมการผลิตได้คือใช้ความหนืดน้ำยาเท่ากับ 500 cPs. และใช้ปริมาณใยแก้วเท่ากับ 27 %



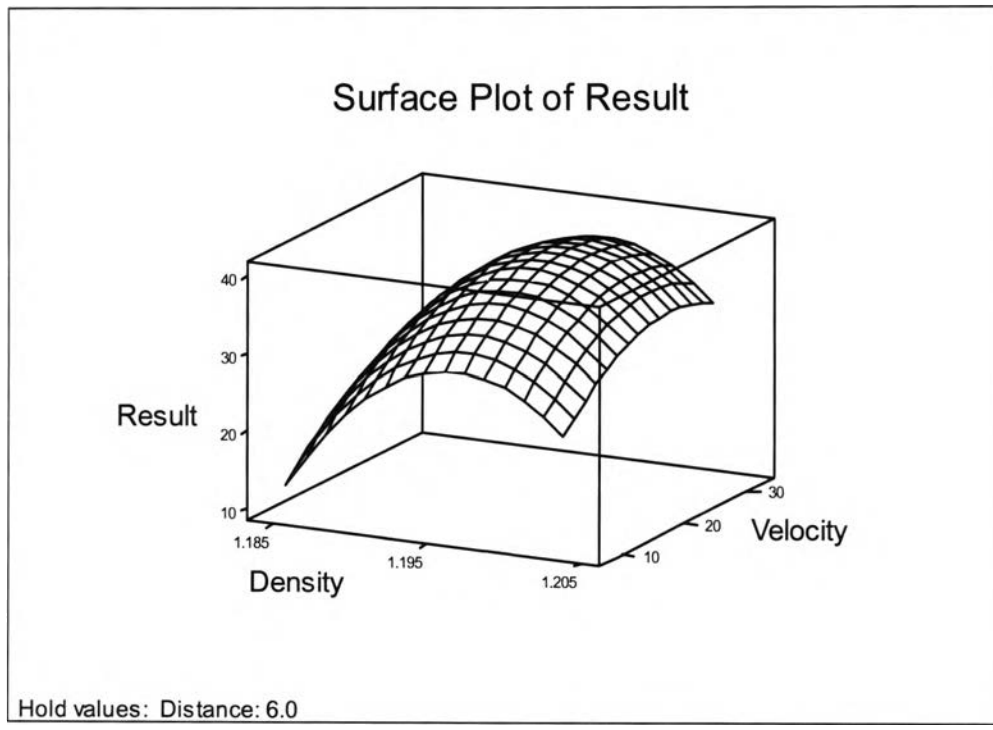
รูปที่ 5.20 กราฟสภาวะที่เหมาะสมที่มีผลกับค่าความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว (m/time)

นอกจากนี้การแสดงบริเวณการเกิดความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว (m/time) มากสุดโดยกราฟ Contour plot ดังรูปที่ 5.21 ช่วยทำให้เห็นภาพว่าที่ระดับปัจจัยต่างไป ส่งผลให้ความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้วเปลี่ยนแปลงมากน้อยเพียงใด เช่นหากมีการผลิตที่ ความหนาแน่นระหว่าง 1.191 ถึง 1.200 และความเร็วการสายไปกลับเส้นใยแก้วระหว่าง 15 ถึง 30 Stroke/min จะให้ผลตอบ 34 ถึง 39 m/time และถ้าใช้ระดับของปัจจัยที่ได้จากรูปที่ 5.20 จะให้ผลตอบเท่ากับ 39 m/time



รูปที่ 5.21 กราฟ Contour plot ของอันตรกิริยาระหว่างความหนาแน่นชิ้นงานกับความเร็วการสายไปกลับเส้นใยแก้วที่ระยะห่างเส้นใยแก้ว 6.0 cm

รูปที่ 5.22 แสดง Surface plot ช่วยให้เห็นภาพการเปลี่ยนไปของผลตอบที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ พื้นที่ของการตอบสนองเป็นลักษณะนูนเนินเขา แสดงว่าที่ขอบของระดับจะส่งผลให้ผลตอบมีค่าต่ำ โดยเฉพาะที่ระดับต่ำของทั้งสองปัจจัย



รูปที่ 5.22 กราฟ Surface plot ของความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นชิ้นงานกับความเร็วการสายไปกลับเส้นใยแก้วที่ระยะห่างเส้นใยแก้ว 6.0 cm

5.3 ผลการประยุกต์ใช้เงื่อนไขสภาวะเหมาะสม

เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้วมากสุดแล้ว จะต้องทำการประยุกต์ใช้เงื่อนไขของปัจจัยเพื่อให้มั่นใจได้ว่าวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างถูกต้อง สามารถทำการประยุกต์ใช้เงื่อนไขของปัจจัยได้ดังต่อไปนี้

5.3.1 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองการประยุกต์ใช้เงื่อนไข

ระดับของปัจจัยที่สภาวะปัจจุบันและที่สภาวะที่เหมาะสมแสดงดังตารางที่ 5.16 โดยข้อมูลที่ได้จากผลิต แสดงดังตารางที่ 5.17

ตารางที่ 5.16 ระดับของปัจจัยที่สภาวะปัจจุบันและที่สภาวะที่เหมาะสม

สภาวะ	ระยะห่างเส้นใยแก้ว (cm.)	ความเร็วการส่ายไปกลับเส้นใยแก้ว (Stroke/min)	ความหนืดน้ำยา (cPs.)	ปริมาณใยแก้ว (%)
ปัจจุบัน	4.5	13.9	450	27
เหมาะสม	6	25.23	500	27

ตารางที่ 5.17 ผลการเก็บข้อมูลการประยุกต์ใช้เงื่อนไข

No.	ความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว	
	สภาวะปัจจุบัน (ข้อมูลการผลิตเดือนมกราคม)	สภาวะที่เหมาะสม (ข้อมูลการผลิต 17มีค.-8เมย.)
1	26.14	48.02
2	34.10	39.00
3	39.00	37.60
4	29.11	47.33
5	16.87	44.14
6	34.88	39.67
7	27.10	37.88
8	30.06	47.00
9	33.03	45.00
10	36.00	-
11	30.08	-
เฉลี่ย	30.58	42.85

5.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลการประยุกต์ใช้เงื่อนไข

จากข้อมูลที่ได้จากการผลิตโดยประยุกต์ใช้เงื่อนไข นำมาวิเคราะห์โดยใช้การทดสอบพารามิเตอร์ของสองประชากร (Test of Two Parameters) โดยทดสอบสมมติฐานว่า ค่าเฉลี่ยของสองประชากรซึ่งมีการแจกแจงของความน่าจะเป็นแบบปกติ โดยที่ไม่ทราบค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของทั้งสองประชากร และคิดว่าไม่เท่ากัน (Test of the hypothesis that the means of two normal distributions are equal, assuming that the standard deviations are unknown and not equal.) ซึ่งสามารถกำหนดวิธีการตัดสินใจในรูปการทดสอบสมมติฐานได้ดังต่อไปนี้

$$H_0 : \mu_x = \mu_y$$

$$H_1 : \mu_x < \mu_y$$

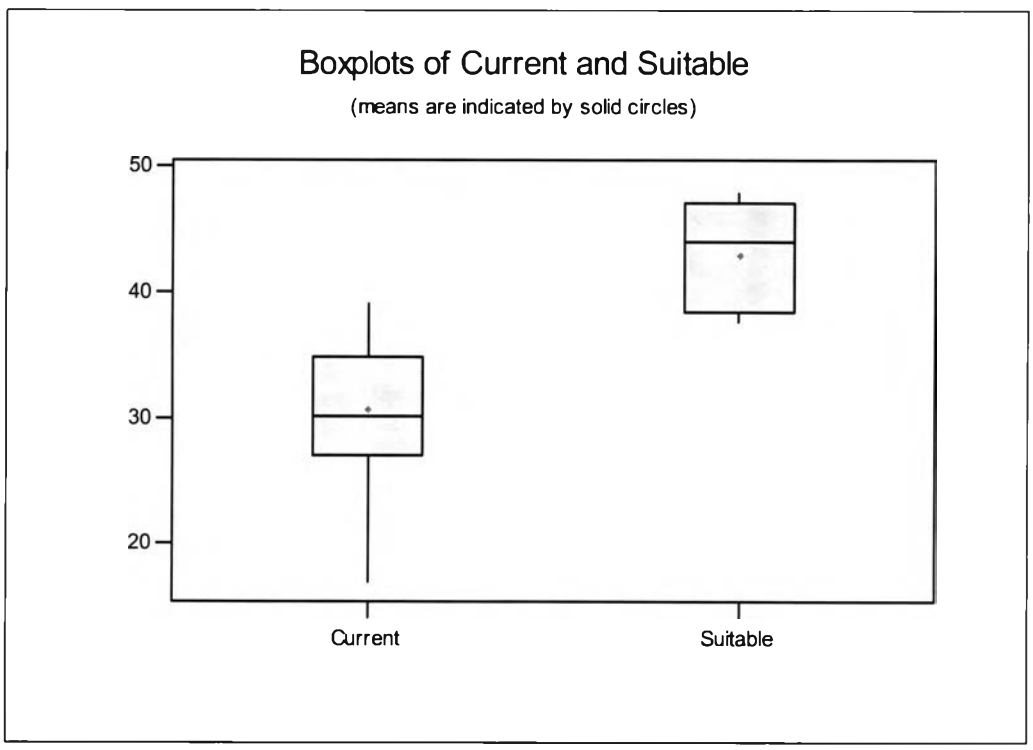
หลังจากนั้นนำมาพล็อตกราฟระหว่างที่สภาวะปัจจุบัน (Current Condition; x) และที่สภาวะที่เหมาะสม (Suitable Condition; y) กับความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว (m/time) เพื่อหาค่าเฉลี่ยของทั้งสองประชากร แสดงได้ดังตารางที่ 5.18 และรูปที่ 5.23

ตารางที่ 5.18 ตารางการทดสอบสมมติฐาน

```
Two-sample T for Current vs Suitable

           N      Mean     StDev   SE Mean
Current   11     30.58      6.00       1.8
Suitable   9     42.85      4.29       1.4

Difference = mu Current - mu Suitable
Estimate for difference:  -12.27
95% upper bound for difference: -8.13
T-Test of difference = 0 (vs <): T-Value = -5.14  P-Value = 0.000  DF = 18
Both use Pooled StDev = 5.31
```



รูปที่ 5.23 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทั้งสองประชากร

ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ของค่าเฉลี่ยของทั้งสองประชากรโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ พบว่าค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งเมื่อเทียบกับค่าวิกฤต คือ 0.05 พบว่า ค่า P-Value มีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤต จึงสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของสภาวะที่เหมาะสมมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยสภาวะปัจจุบันอย่างมีนัยสำคัญ นั่นก็หมายความว่าที่สภาวะที่เหมาะสม (Suitable Condition) ให้ค่าความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้วมากกว่าที่สภาวะปัจจุบัน (Current Condition) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

5.3.3 สรุปผลการประยุกต์ใช้เงื่อนไข

จากการเปรียบเทียบค่าความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้วทั้งสองสภาวะที่คำนวณได้จากวิธี Response Surface Regression ได้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณจากวิธี Response Optimizer และใกล้เคียงกับผลการผลิตจริง โดยค่าที่ได้จากสมการถดถอยทั้งสองยังอยู่ใช่ช่วงเบี่ยงเบนมาตรฐานของการผลิตจริง แสดงดังตารางที่ 5.19

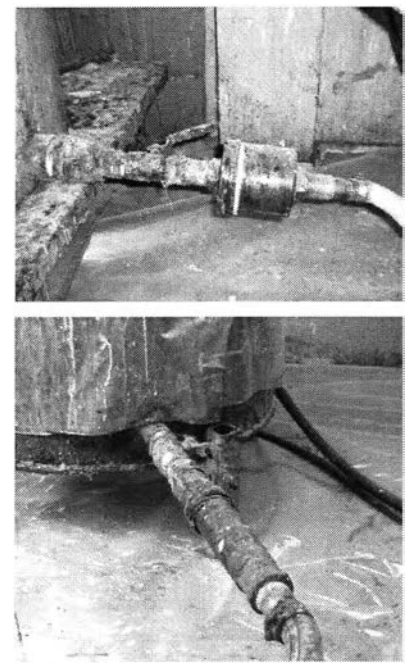
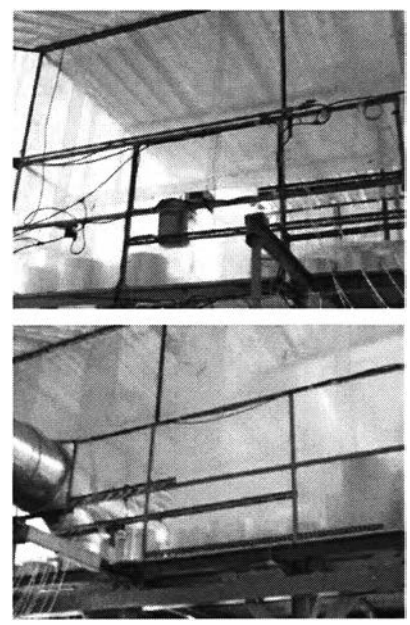
ตารางที่ 5.19 ตารางเปรียบเทียบค่าความยาวเฉลี่ยเกิดริ้วที่คำนวณได้จาก Model กับผลการผลิตจริง

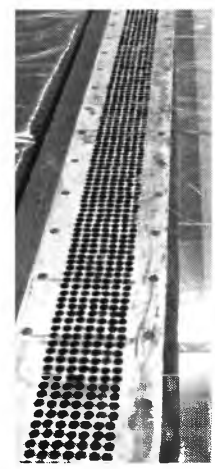
สภาวะ	ความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว			
	Model จาก Response Surface Regression (m/time)	Model จาก Response Optimizer (m/time)	การผลิตจริง (m/time)	ผลต่างระหว่าง Response Optimizer และการผลิตจริง (%)
ปัจจุบัน	28.14	30.82	30.58±6.00	-0.78
เหมาะสม	39.90	39.07	42.85±4.29	9.67

5.4 การแก้ไขปัญหาผลิตภัณฑ์ไม่ได้คุณภาพประเภทอื่น ๆ

จากตารางที่ 3.4 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ไม่ได้คุณภาพประเภทต่าง ๆ ซึ่งข้อมูลที่ได้พบว่ามีผลิตภัณฑ์ไม่ได้คุณภาพหลายอาการที่ทราบแนวทางแก้ไขแล้วแต่ยังไม่ได้ลงมือปฏิบัติ โดยมีสาเหตุมาจาก การยังไม่ได้ทำการศึกษาปัญหาอย่างจริงจัง และไม่ได้นำเสนอปัญหาต่อผู้บริหารเพื่อของบประมาณ, เวลา และ บุคลากร ในการดำเนินการแก้ไข ทั้งนี้หลังจากได้ทราบปัญหาและนำเสนอแนวทางแก้ไขแล้ว จึงได้ดำเนินปรับปรุง/แก้ไข ตามแนวทาง โดยการปรับปรุงได้แสดงดังตารางที่ 5.20

ตารางที่ 5.20 การแก้ไขปัญหาผลิตภัณฑ์ไม่ได้คุณภาพที่ทราบสาเหตุแล้ว

Defective Item	วิธีการแก้ไข/ปรับปรุง
1. น้ำยาสกปรก	ติดตั้งฝาครอบภาชนะบรรจุน้ำยาระหว่างการเตรียม และติดตั้งอุปกรณ์กรองเศษสกปรกก่อนนำไปใช้งาน 
2. มีเศษสกปรก	ปรับปรุงพื้นที่วางใยแก้วและพื้นที่รอบ ๆ เปลี่ยนหลอดไปจากสีขาวเป็นสีเหลืองเพื่อป้องกันแมลงมาตอมไฟแสงสว่าง 

Defective Item	วิธีการแก้ไข/ปรับปรุง
3. เรซินเป็นก้อน	ศึกษาปริมาณน้ำยาค้างบริเวณปิดทับผิวหน้า ให้มีปริมาณที่เหมาะสม แล้วกำหนดเป็นค่าควบคุม โดยค่าที่ใช้ในการควบคุมนี้คือ ปริมาณน้ำยาหน้าคานปิดทับผิวหน้าให้อยู่ระหว่าง เท่ากับ 2- 5 ซม
4. Film ล่างขาด	เช่นเดี่ยวกับข้อ 2
5. Film ล่างพับ	ทำความสะอาดระบบ Vacuum ดูดแผ่นรองอย่างสม่ำเสมอ 
6. ปมต่อใยแก้ว	ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจปมใยแก้ว เมื่อมีปมใยแก้วมาถึงจะส่งสัญญาณให้พนักงานดึงออก
7. ฟองอากาศ	เช่นเดี่ยวกับข้อ 3
8. ปีกเป็นคลื่น	จัดทำจุดตรวจการเบี่ยงเบนของ Center line เป็นระยะ ๆ
9. ข้างไม่พอ	เช่นเดียวกับข้อ 8 และติดตั้ง Timer เพื่อเตือนพนักงานให้เข้าไปตรวจสอบเป็นระยะ ๆ
10. ล้อเหยียบแตก	ติดตั้ง Sensor วัดอุณหภูมิชิ้นงานก่อนเขาล้อกดตลอดเวลาเพื่อแจ้งเตือนกรณีอุณหภูมิออกค่าควบคุม ค่าควบคุมเท่ากับ 60 ± 10 °c
11. หัวแตก/แบบกดแตก	เพิ่มชุดอุปกรณ์ตัดความยาวลงในแผน Preventive Maintenance มีความถี่ 1 ครั้ง/เดือน