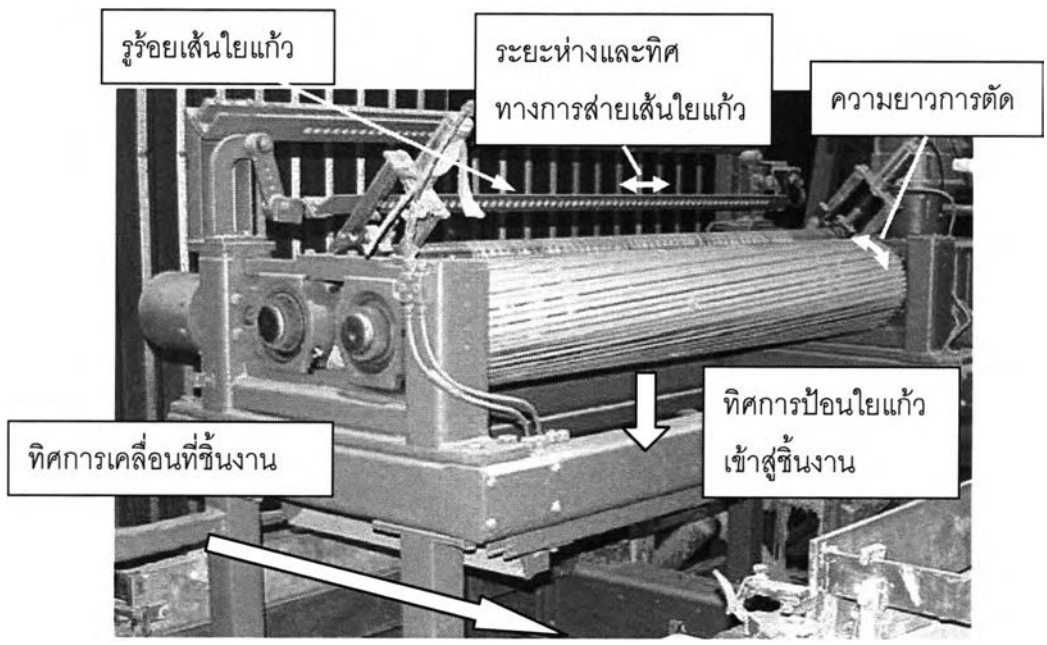
สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
วิธีดำเนินการวิจัย

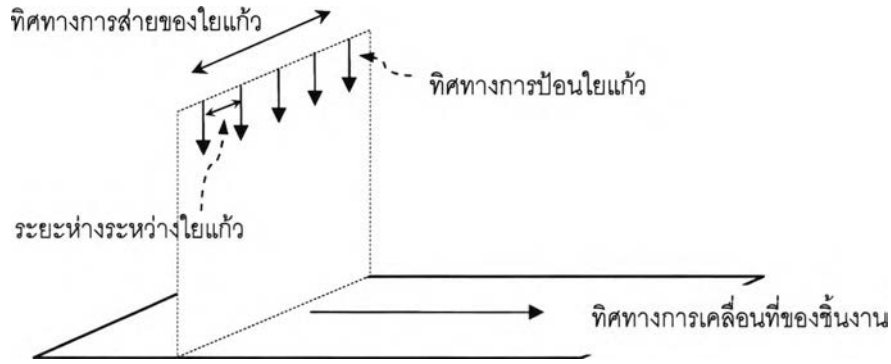
4.1 การค้นหาปัจจัยที่มีผลต่อความไม่สม่ำเสมอของใยแก้ว

จากบทที่ 3 การศึกษาพบว่าปัญหาการเกิดริ้วในชิ้นงานเกิดจากสัดส่วนใยแก้วไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นในหัวข้อนี้จะเป็นการค้นหาปัจจัยที่มีผลต่อความไม่สม่ำเสมอของใยแก้ว

จากการศึกษาขั้นตอนการผลิตของโรงงานตัวอย่าง และข้อมูลจากผู้ผลิตใยแก้วชนิดผืนเส้นสั้น (Chopped Strands Mat) พบว่าใยแก้วในชิ้นงานของโรงงานตัวอย่าง จะถูกแผ่ให้กระจายทั่วชิ้นงานด้วยระบบตัดใยแก้ว รายละเอียดแสดงรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 ดังนั้นระบบตัดใยแก้วย่อมจะส่งผลต่อการกระจายตัวของใยแก้วบนชิ้นงานซึ่งจะทำการศึกษาต่อไป

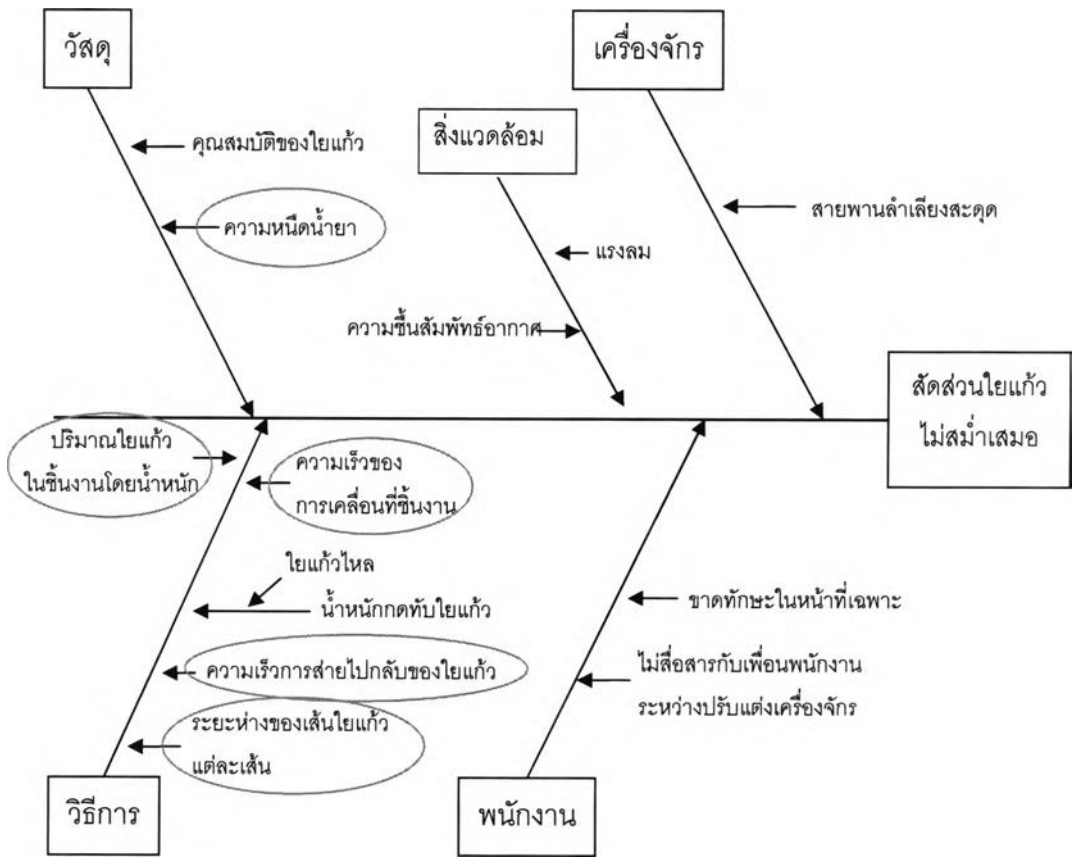


รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบระบบตัดใยแก้ว



รูปที่ 4.2 แผนภาพเชิงเส้นระบบตัดใยแก้ว

นอกจากระบบตัดใยแก้วที่อาจส่งผลต่อสัดส่วนใยแก้วแล้วนั้น พบว่ายังมีอีกหลายปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลกระทบซึ่งสามารถรวบรวมและแสดงได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ผังก้างปลาปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อสัดส่วนใยแก้ว

จากผังก้างปลาสามารถแบ่งสาเหตุของการเกิดสัดส่วนใยแก้วไม่สม่ำเสมอเป็น 2 กลุ่ม คือ

สาเหตุจากปัจจัยควบคุมกระบวนการผลิต (Process Operating Condition) ได้แก่ ความหนืดน้ำยา, ปริมาณใยแก้วในชิ้นงานโดยน้ำหนัก, ความเร็วการเคลื่อนที่ชิ้นงาน, ความเร็วการสายไปกลับของใยแก้ว และระยะห่างของเส้นใยแก้วแต่ละเส้น

สาเหตุจากปัจจัยรบกวน ได้แก่แรงลม, ความชื้นสัมพัทธ์, สายพานลำเลียงสะดุด, คุณสมบัติใยแก้ว, น้ำหนักกดทับใยแก้ว พนักงานขาดทักษะในหน้าที่เฉพาะ และพนักงานไม่สื่อสารกับเพื่อนพนักงานระหว่างปรับแต่งเครื่องจักร โดยปัจจัยเหล่านี้จะต้องทำการการควบคุมให้คงที่หรือให้มีความแปรปรวนน้อยที่สุด

4.1.1 การเลือกปัจจัยหลักสำหรับการดำเนินการด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง

ปัจจัยหลักที่ใช้ในการวิจัยจะถูกเลือกมาทำการออกแบบการทดลอง เพื่อพิสูจน์ยืนยันถึงสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่าปัจจัยเหล่านั้น น่าจะมีผลต่อการเกิดของเสียประเภทริ้ว ในกระบวนการผลิตกระเบื้องมุงหลังคาพอลีเอสเตอร์เสริมใยแก้ว ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้หลักการทางสถิติวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้จากการออกแบบการทดลอง เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงสถิติแล้ว จะต้องทำการตีความหมายออกมาเพื่อใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยผลสรุปที่ได้จากการทดลอง จะสามารถบอกได้ว่า ปัจจัยใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองที่สนใจ

หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกปัจจัยหลักพิจารณาดังต่อไปนี้

1. ปัจจัยหลักที่ถูกเลือกนั้นสามารถวัดค่าได้โดยง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อนโดยใช้เครื่องมือที่ได้มาตรฐานผ่านการสอบเทียบมาเรียบร้อยแล้ว
2. ปัจจัยหลักที่จะถูกเลือกนั้นต้องสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายในการผลิตเพิ่มขึ้นและไม่สร้างความเสียหายต่อกระบวนการผลิต
3. ปัจจัยหลักที่ถูกเลือกนั้น จะต้องไม่มีผลกระทบต่อรอบเวลาในการผลิต (Cycle Time) มากนัก
4. ปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักร ซึ่งเป็นลักษณะที่เกี่ยวข้องกับความสามารถของเครื่องจักร จะไม่นำมาพิจารณาและกำหนดเป็นปัจจัยควบคุม

5. ปัจจัยหลักที่ถูกเลือกนั้น จะต้องไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของกระเบื้องมุงหลังคาพอลีเอสเตอร์เสริมใยแก้ว ตาม มอก.612-2549
6. ปัจจัยหลักที่ถูกเลือกควรเป็นปัจจัยที่มีลักษณะเฉพาะตามข้อกำหนดชิ้นงาน

4.1.2 การกำหนดระดับของปัจจัย

การกำหนดระดับของปัจจัยหลักในการทดลองนี้ จะกำหนดระดับของปัจจัย (Levels) เป็นแบบกำหนดคงที่ (Fixed Level) เนื่องจากเป็นปัจจัยที่กำหนดค่าได้แน่นอน โดยอาศัยความรู้พื้นฐานในกระบวนการการผลิต, ข้อจำกัดทางด้านเครื่องจักร/อุปกรณ์ และประสบการณ์จากพนักงานที่มีความชำนาญทำการกำหนดระดับของปัจจัยที่ควรใช้ในการทดลองเบื้องต้นออกเป็น 2 ระดับและทำการกำหนดระดับเพิ่มอีก 1 ระดับ เพื่อใช้ในการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม โดยใช้สภาวะในการผลิตในปัจจุบันไว้ที่ระดับกลางและกำหนดค่าที่เพิ่มขึ้นและลดลงของแต่ละปัจจัยในระดับที่สูงกว่าและต่ำกว่าเพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นและเปรียบเทียบกับสภาวะการผลิตในปัจจุบัน ซึ่งช่วง (Ranges) ที่ศึกษาของตัวแปรแต่ละตัวแปร จะเป็นจุดสนใจในกระบวนการการผลิตและเป็นช่วงที่เหมาะสมโดยไม่ส่งผลต่อคุณภาพคุณภาพของกระเบื้องมุงหลังคาพอลีเอสเตอร์เสริมใยแก้ว ตาม มอก.612-2549 การกำหนดช่วงจะต้องอาศัยความรู้ในกระบวนการผลิตเข้าช่วยในการตัดสินใจกำหนดระดับของปัจจัย

4.1.3 การเลือกตัวแปรตอบสนอง

การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response Variables) จะกำหนดตามปัญหาที่สนใจ โดยมีความสนใจเพื่อการลดของเสียประเภทริ้วในกระบวนการผลิตกระเบื้องมุงหลังคาพอลีเอสเตอร์เสริมใยแก้ว โดยมีความต้องการให้ชิ้นงานเป็นชิ้นงานดีเฉลี่ยให้ยาวที่สุด (m/time)

4.1.4 การเลือกแผนการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองเป็นวิธีการที่ใช้ในการออกแบบแผนการทดสอบกระบวนการโดยการกำหนดค่าตัวแปรของกระบวนการ ซึ่งทำให้ทราบผลลัพธ์ของกระบวนการที่เปลี่ยนไป เทคนิคการออกแบบการทดลองนี้สามารถทำให้เกิดการปรับปรุง และพัฒนารูปแบบของวิธีการผลิต โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยที่สนใจ และหาเงื่อนไขการผลิตใหม่ที่เหมาะสม กับเป้าหมายที่ตั้งไว้ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกปัจจัย 5 ปัจจัย เพื่อนำมาใช้ทำการออกแบบการทดลอง จากนั้นนำข้อมูลจากการทดลองมาทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติและตีความหมายของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ว่าปัจจัยใดบ้างที่มีอิทธิพลกับตัวแปรตอบสนอง

การเลือกแผนการออกแบบการทดลอง จะใช้ปัจจัยหลักทั้งหมด 5 ปัจจัย และมีระดับของปัจจัย 3 ระดับ โดยในการทดลองเบื้องต้นใช้ระดับที่ -1 และระดับที่ +1 ใช้ในการทดลอง และในการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสม ใช้ปัจจัยระดับที่ –1, 0, และ +1 ดังนั้นแผนการทดลองที่เหมาะสมกับการทดลองนี้จึงมี 2 แบบ คือ การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design) เมื่อมี 2 ระดับ ซึ่งจะถูกใช้ในการทดลองเบื้องต้น และการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบผลกระทบคงที่ (Factorial Design with Fixed Effect Model) ซึ่งจะถูกใช้ในการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

4.1.4.1 เหตุผลในการทำการทดลอง 1 เรพลิเคด (Replicate)

เนื่องจากปัญหาด้านต้นทุนการผลิต, ระยะเวลาในการวิจัย, ระยะเวลาในการทดลองแต่ละแบบการทดลอง และต้องรอแผนผลิตสินค้ารุ่นเดียวกันกับขอบเขตการทดลอง โดยปกติภายใน 1 เดือน จะทำการผลิตรุ่นสินค้าที่จะทำการทดลองประมาณ 30 ครั้งเท่านั้น ถือเป็นปริมาณ 20% ของยอดผลิตทั้งหมด หรือคิดเป็นค่าใช้จ่ายประมาณ 1,200,000 บาท/เดือน/หนึ่งแผนการทดลองที่จะต้องอาจสูญเสียในการทดลองแต่ละแผนการทดลอง จึงเป็นเหตุให้ผู้บริหารอนุมัติให้ทำการทดลองตลอดการวิจัยนี้ สามารถทำการทดลองซ้ำได้เพียง 1 ซ้ำเท่านั้น

และเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตเป็นแบบอัตโนมัติใช้ Inverter และคอมพิวเตอร์ในการควบคุม ดังนั้นความแปรปรวนจึงน้อย

4.1.5 แผนการทดลองเบื้องต้น

ในการทดลองเบื้องต้นนี้ ผู้ทำการวิจัยจะใช้เทคนิคและการวิเคราะห์แบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล (Fractional Factorial Design) เมื่อปัจจัยมี 2 ระดับ (2^k Factorial Design) ทั้งนี้การออกแบบการทดลองอาจจะเป็นแบบ ½ของการออกแบบ 2^k (The one-half fraction of the 2^k design) โดยจะกำหนดให้ระดับของปัจจัยเป็นค่าสูงสุด (Maximum) และค่าต่ำสุด (Minimum) ซึ่งวิธีนี้จะเหมาะกับการทดลองหาปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนครั้งการเกิดริ้ว (Factor Screening Experiment) เพื่อตัดปัจจัยที่ไม่น่าจะมีผลต่อตัวแปรตอบสนอง หรือสิ่งที่ต้องการศึกษาออกไป ข้อดีของการทดลองแบบนี้คือใช้ตัวอย่างน้อยที่สุด (Smallest Number of Run) ทำให้สามารถประหยัดเวลาและทรัพยากรได้มาก ส่วนข้อเสียก็คือสารสนเทศที่ไม่มากพอ เพราะเป็นการกำหนดปัจจัยไว้เพียง 2 ระดับเท่านั้น แต่เนื่องจากการทดลองแต่ละครั้งต้องใช้เวลา และทรัพยากรสูงจึงไม่สามารถทำการทดลองได้ที่ทุก ๆ ระดับของแต่ละปัจจัย

4.1.6 แผนการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสม

หลังจากผู้วิจัยได้ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดริ้วแล้วก็จะทดลองหาสภาวะที่เหมาะสม เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยที่ทำให้เกิดริ้วน้อยที่สุด หรือได้ชิ้นงานดีเฉลี่ยยาวที่สุด โดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบผลกระทบคงที่ เมื่อปัจจัยมี 3 ระดับ (3^k Factorial Design with Fixed Effect Model) จำนวนการทดลองซ้ำ (Replicates) 1 ซ้ำ ซึ่งเทอมที่สำคัญของการทดลองแบบนี้ประกอบด้วย

1. อิทธิพลหลัก (Main Effect) หมายถึงอิทธิพลของปัจจัยที่ศึกษา
2. ปฏิกิริยาสัมพันธ์ (Interaction Effect) หมายถึงการแสดงออกของระดับต่างๆในปัจจัยหนึ่งไม่เท่ากัน เมื่อเปรียบเทียบจากระดับหนึ่งไปอีกระดับหนึ่งของอีกปัจจัย
3. ตัวแบบในการทดลองแบบแฟคทอเรียล

4.2 การดำเนินการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

4.2.1 การดำเนินการทดลองเบื้องต้น

การทดลองแบบแฟคทอเรียลเมื่อแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ มีปัจจัย (Factors) 5 ปัจจัย ซึ่งถ้าทำการทดลองเชิงแฟคทอเรียลจะต้องทำการทดลองเท่ากับ 32 การทดลอง ซึ่งจะเสียค่าใช้จ่ายในการทดลองเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงทำการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบเศษส่วน ½ ของการออกแบบ 2^k หรือการออกแบบการทดลองแบบ 2^{5-1} Fractional Factorial Designs เหลือแบบการทดลอง 16 แบบ จำนวนการทดลองซ้ำ (Replicates) 1 ซ้ำ ซึ่งจะได้จำนวนครั้งการทดลอง (Runs) 16 การทดลอง ในการทดลองเบื้องต้นใช้ระดับที่ -1 และระดับที่ +1 ตามตารางสรุประดับของปัจจัย

รายละเอียดของแผนการออกแบบการทดลองเบื้องต้นมีดังนี้

1. วัตถุประสงค์ของการทดลอง ในการทดลองเบื้องต้นนี้ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยใช้เทคนิคการทดลองแบบแฟคทอเรียลเมื่อมีระดับของปัจจัย 2 ระดับ เพื่อทำการตัดปัจจัยที่ไม่มีผลกับการเกิดริ้ว
2. ปัจจัยควบคุมในการวิจัยขั้นตอนนี้ ได้กำหนดสภาวะให้เหมือนกันตลอดการทดลองดังต่อไปนี้
    2.1 พนักงานเก็บข้อมูล
    2.2 วัตถุดิบเรซินที่ใช้ในการผลิตสินค้า

2.3 ใยแก้วที่ใช้ในการผลิตสินค้า

2.4 รุ่นของสินค้า โดยใช้รุ่นสินค้าที่มีความหนา 1.2 มม.

2.5 เครื่องมือวัดความหนืด

2.6 Inverter ควบคุมความเร็วการส่ายใยแก้ว

2.7 เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต

2.8 มอเตอร์ควบคุมความเร็วการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน

3. วิธีการสุ่ม ทำการสุ่มแบบสมบูรณ์ (Complete Randomization) โดยลำดับในการทดลอง (Random No.) แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แผนการทดลองเบื้องต้น (Data Matrix Randomized)

Std Order	Run Order	ปัจจัยและระดับของปัจจัย					Treatment Combination	ความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว
		A	B	C	D	E		
1	6	-1	-1	-1	-1	+1	e	
2	4	+1	-1	-1	-1	-1	a	
3	2	-1	+1	-1	-1	-1	b	
4	15	+1	+1	-1	-1	+1	abe	
5	11	-1	-1	+1	-1	-1	c	
6	1	+1	-1	+1	-1	+1	ace	
7	16	-1	+1	+1	-1	+1	bce	
8	9	+1	+1	+1	-1	-1	abc	
9	5	-1	-1	-1	+1	-1	d	
10	14	+1	-1	-1	+1	+1	ade	
11	7	-1	+1	-1	+1	+1	bde	
12	13	+1	+1	-1	+1	-1	abd	
13	3	-1	-1	+1	+1	+1	cde	
14	12	+1	-1	+1	+1	-1	acd	
15	10	-1	+1	+1	+1	-1	bcd	
16	8	+1	+1	+1	+1	+1	abcde	

4.2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติสำหรับการทดลองเบื้องต้น

4.2.2.1 การวิเคราะห์การแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA)

ในกรณีนี้เลือกปัจจัยที่ 5 หรือตัวก่อกำเนิด E =ABCD และกำหนดความสัมพันธ์สำหรับการออกแบบ I = ABCDE ซึ่งจะส่งผลให้ได้คู่แฝดแฝง (Alias Structure) ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งพบว่าผลหลักทุกตัวจะคู่แฝดแฝงกับอันตรกิริยาแบบสี่ปัจจัย และอันตรกิริยาแบบสองปัจจัยทุกตัวจะคู่แฝดแฝงกับอันตรกิริยาแบบสามปัจจัย ดังนั้นการออกแบบตามมิตินี้ จะให้ข่าวสารที่ดีเยี่ยมกับผลหลักและอันตรกิริยาแบบสองปัจจัย

ตารางที่ 4.2 ตารางโครงสร้างคู่แฝดแฝง (Alias Structure)

A = BCDE;	B = ACDE	C = ABDE	D=ABCE	E = ABCD
AB = CDE	AC = BDE	AD = BCE	AE = BCD	BC = ADE
BD = ACE	BE = ACD	CD = ABE	CE = ABD	DE = ABC

ดังนั้นการวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของการทดลองเบื้องต้น จะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ซึ่งสามารถแสดงวิธีการคำนวณได้ตามตารางที่ 2.1 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.3 การคำนวณการวิเคราะห์ความแปรปรวน

Source of Variation	Sum of Square	Degree of Freedom	Mean Square	F_0
A	SS_A	a-1	SS_A/DF	MS_A/MS_e
B	SS_B	b-1	SS_B/DF	MS_B/MS_e
C	SS_C	c-1	SS_C/DF	MS_C/MS_e
D	SS_D	d-1	SS_D/DF	MS_D/MS_e
E	SS_E	e-1	SS_E/DF	MS_E/MS_e
Error	SS_e	abc(n-1)	SS_e/DF	
Total	SS_T	abcn-1		

$$SS_T = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c}\sum_{l=1}^{d}\sum_{m=1}^{e}\sum_{n=1}^{n} y^2_{ijklmn} - \frac{y^2_{...}}{abcden}$$

$$SS_E = SS_T - SS_{ABCDE}$$

$$SS_{AB...E} = \frac{(contrast_{AB...E})^2}{n2^k}$$

$$contrast_{AB...E} = (a+1)(b+1)...(e+1)$$

โดยสัญลักษณ์ในวงเล็บแต่ละชุดจะเป็นลบถ้าปัจจัยนั้นได้ถูกรวมไว้ในคอนแทรสต์ และเป็นบวกถ้าปัจจัยนั้นไม่ได้ถูกรวมไว้

การทดสอบสมมติฐานของการทดลอง จะใช้ค่าสถิติทดสอบที่มีการกระจายแบบเอฟ (F-Distribution) โดยกำหนดค่า α ก่อน หากค่า $F < F_{\alpha,v_1,v_2}$ ยอมรับ H_0 นั่นคือปัจจัยนั้นไม่มีผลต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น (1-α)% แต่ถ้าหาก $F >= F_{\alpha,v_1,v_2}$ ปฏิเสธ H_0 นั่นคือปัจจัยนั้นมีผลต่อค่าตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น (1-α)%

ทั้งนี้การวิเคราะห์ความแปรปรวนจะถูกคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ จะคำนวณค่า P Value ออกมาให้ ซึ่งในการพิจารณาค่า P Value นั้นจะทำการเปรียบเทียบกับค่า α ถ้าค่า P Value ที่คำนวณได้ในแต่ละปัจจัย มีค่าน้อยกว่าค่า α แสดงว่าปัจจัยนั้นๆ มีผลต่อการตัวแปรตอบสนอง แต่ถ้าค่า P Value ที่คำนวณได้ในแต่ละปัจจัย มีค่ามากกว่าค่า α แสดงว่าปัจจัยนั้นๆ ไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง โดยในการวิจัยนี้ได้กำหนดให้ค่า α มีค่าเท่ากับ 0.05

4.2.2.2 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

1. ทดสอบการกระจายแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normality test) โดยนำค่าส่วนตกค้าง (Residual) เรียงลำดับจากน้อยไปมากให้อยู่ในแกนนอนกับค่าความน่าจะเป็นสะสม $P_k = (k-1/2)/n$ โดย P_k x 100 อยู่บนแกนตั้ง
2. การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent Test) โดยการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างนำค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับการทดลอง
3. การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน เป็นการทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล โดยการใช้ข้อมูลค่าส่วนตกค้าง (Residual) และค่าที่ถูกฟิต (fitted Value)

4.2.3 การดำเนินการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสม

ใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบผลกระทบคงที่ เมื่อปัจจัยมี 3 ระดับ (3^k Factorial Design with Fixed Effect Model) จำนวนการทดลองซ้ำ (Replicates) 1 ซ้ำ ในการทดลองในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้เทคนิคการทดสอบแบบแฟคทอเรียลตัวแบบอิทธิพลคงที่ เนื่องจากผู้วิจัยไม่สามารถทำการทดลองได้ในทุก ๆ ระดับของแต่ละปัจจัยจึงจำเป็นต้องกำหนดมาเพียงบางระดับเพื่อทำการหาสภาวะที่เหมาะสม

รายละเอียดของแผนการออกแบบการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมมีดังนี้

1. วัตถุประสงค์ของการทดลอง ในการทดลองนี้ เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดริ้วอย่างแท้จริง และเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตให้ได้ความยาวเฉลี่ยชิ้นงานยาวที่สุดก่อนการเกิดริ้ว
2. ปัจจัยควบคุมในการวิจัยขั้นตอนนี้ ได้กำหนดสภาวะให้เหมือนกันตลอดการทดลองดังต่อไปนี้
    2.1 พนักงานเก็บข้อมูล
    2.2 วัตถุดิบเรซินที่ใช้ในการผลิตสินค้า
    2.3 ใยแก้วที่ใช้ในการผลิตสินค้า
    2.4 รุ่นของสินค้า โดยใช้รุ่นสินค้าที่มีความหนา 1.2 มม.
    2.5 เครื่องมือวัดความหนืด
    2.6 Inverter ควบคุมความเร็วการสายใยแก้ว
    2.7 เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต
    2.8 มอเตอร์ควบคุมความเร็วการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน
3. วิธีการสุ่ม ทำการสุ่มแบบสมบูรณ์ (Complete Randomization) โดยลำดับในการทดลอง (Random No.) กำหนดโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

4.2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติสำหรับการทดลองเพื่อหาสภาวะเหมาะสม

4.2.4.1 การวิเคราะห์การแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA)

เช่นเดียวกับหัวข้อ 4.2.2.1 โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ จะคำนวณค่า P Value ออกมาให้ ซึ่งในการพิจารณาค่า P Value นั้น จะทำการเปรียบเทียบกับค่า α ถ้าค่า P Value ที่คำนวณได้ในแต่ละปัจจัย มีค่าน้อยกว่าค่า α แสดงว่าปัจจัยนั้นๆ มีผลต่อการตัวแปรตอบสนอง แต่ถ้าค่า

P Valueที่คำนวณได้ในแต่ละปัจจัย มีค่ามากกว่าค่า α แสดงว่าปัจจัยนั้นๆ ไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง โดยในการวิจัยนี้ได้กำหนดให้ค่า α มีค่าเท่ากับ 0.05

4.2.4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

1. ทดสอบการกระจายแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normality test) โดยนำค่าส่วนตกค้าง (Residual) เรียงลำดับจากน้อยไปมากให้อยู่ในแกนนอนกับค่าความน่าจะเป็นสะสม $P_k = (k-1/2)/n$ โดย $P_k \times 100$ อยู่บนแกนตั้ง
2. การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent Test) โดยการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างนำค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับการทดลอง
3. การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน เป็นการทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล โดยการใช้ข้อมูลค่าส่วนตกค้าง (Residual) และค่าที่ถูกฟิต (fitted Value)

4.2.4.3 การหาสภาวะเหมาะสม

หลังจากได้ผลการทดสอบปัจจัยว่าปัจจัยใดมีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญแล้ว จะทำการหาสมการถดถอย (Model) ใช้สำหรับคาดการณ์ผลลัพธ์ที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ และทำการหาสภาวะเหมาะซึ่งแสดงระดับของปัจจัยที่ส่งผลให้ได้ความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้วมากสุด โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

4.3 การประยุกต์ใช้เงื่อนไขสภาวะเหมาะสม

เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้วแล้ว จะต้องทำการประยุกต์ใช้เงื่อนไขของปัจจัยเพื่อให้มั่นใจได้ว่าวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างถูกต้อง

4.3.1 การทดลองการประยุกต์ใช้เงื่อนไข

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพื่อยืนผลการทดลอง โดยจะทำการเปรียบเทียบสภาวะที่ได้จากการทดลองและสภาวะที่ใช้งานในปัจจุบันดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ตารางเปรียบเทียบระดับของปัจจัยที่สภาวะปัจจุบันและที่สภาวะที่เหมาะสม

สภาวะ	ปัจจัย			
	1	2	3	4
ปัจจุบัน				
เหมาะสม				

4.3.2 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

$$H_0 : \mu_x = \mu_y$$

$$H_1 : \mu_x \neq \mu_y$$

หลังจากนั้นนำมาพล็อตกราฟระหว่างที่สภาวะปัจจุบัน (Current Condition) และที่สภาวะที่เหมาะสม (Suitable Condition) กับความยาวเฉลี่ยก่อนเกิดริ้ว (m/time) เพื่อหาค่าเฉลี่ยของทั้งสองประชากร