การลดของเสียจากข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขนในกระบวนการดึงยืดเส้นด้าย

นางสาวภารินี แก้วสม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

DEFECTIVE REDUCTION FROM BROKEN FILAMENT DEFECT IN DIRECT SPIN DRAW PROCESS

Miss Parinee Kaewsom

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดของเสียจากข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขนใน กระบวนการดึงยืดเส้นด้าย
โดย	นางสาวภารินี แก้วสม
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญวา ธรรมพิทักษ์กุล)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภารินี แก้วสม : การลดของเสียจากข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขนในกระบวนการดึงยืดเส้นด้าย. (DEFECTIVE REDUCTION FROM BROKEN FILAMENT DEFECT IN DIRECT SPIN DRAW PROCESS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ, 95 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการสำหรับลดสัดส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องประเภทเส้นด้ายเป็นขนในกระบวนการผลิตดึงยืดเส้นด้าย โดยนำแนวคิดซิกซ์ ซิกม่ามาทำการประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการ ซึ่งข้อบกพร่องประเภทเส้นด้ายเป็นขนมีของเสีย 3.35% ของปริมาณการผลิต มีผลทำให้เกิดความสูญเสียเป็นเงิน 585,486 บาทต่อปีในเครื่องจักรที่ทำการศึกษา งานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการลดสัดส่วนของเสียลง 50%

การดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย 5 ขั้นตอนตามแนวคิดของซิกซ์ ซิกม่า เริ่มจากระยะของการนิยามปัญหาได้ทำศึกษากระบวนการและสภาพของปัญหา กำหนดวัตถุประสงค์ เป้าหมายและขอบเขตของการทำการปรับปรุง ถัดมาเข้าสู่ระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา ได้ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดเพื่อให้มั่นใจได้ว่าระบบการวัดมีความถูกต้องและแม่นยำ ทำการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยที่คาดว่ามีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขนด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์สาเหตุและผลและการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ จากนั้นในระยะของการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาได้นำปัจจัยที่ถูกเลือกมาทำการวิเคราะห์และทำการทดสอบความมีนัยสำคัญด้วยวิธีทางสถิติเพื่อหาแนวทางการปรับปรุง จากนั้นทำการปรับปรุงด้วยการหาค่าที่เหมาะสมให้กับแต่ละปัจจัยโดยการออกแบบการทดลอง จากนั้นทำการทดสอบยืนยันผลและทำการกำหนดแผนควบคุมเพื่อติดตามควบคุมปัจจัยให้เป็นไปตามมาตรฐานหลังการปรับปรุง

ผลหลังจากทำการปรับปรุง พบว่าสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทเส้นด้ายเป็นขนลดลงจาก 3.35% เหลือ 1.47% หรือลดลงถึง 56.1% คิดเป็นมูลค่าความสูญเสียที่ลดลงได้ 293,632 บาทต่อปีสำหรับเครื่องจักรที่ทำการศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2556

5570329921 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEYWORDS: DEFECTIVE REDUCTION / BROKEN FILAMENT / EXPERIMENTAL DESIGN / YARN / INVERSE BINOMIAL SAMPLING

PARINEE KAEWSOM: DEFECTIVE REDUCTION FROM BROKEN FILAMENT DEFECT IN DIRECT SPIN DRAW PROCESS. ADVISOR: ASST. PROF. NAPASSAVONG ROJANAROWAN, Ph.D., 95 pp.

This thesis presents the methodology to reduce the defective rate from broken filament defect of yarn in the Direct Spin Draw process. The Six Sigma approach was applied to improve this process. The defective rate from broken filament defects was 3.35% of the production volume. It led to the loss of 585,486 baht per year for the machine under the study. This thesis sets the goal to reduce 50% of the defective rate.

This thesis consists of 5 stages based on the Six Sigma approach. First, in the define phase, problem statement, project objective, project scope were indentified. Second, in the measure phase, the measurement system was assessed for its precision and accuracy. Then, the potential causes of variation were brainstormed. After that, the key process input variables (KPIVs) were prioritized by using the Cause and Effect Matrix and the criteria of the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). Next, in the analysis phase, the causes with high priority were tested for the statistical significance by applying the fractional factorial experimental design. Then, in the improvement phase, the optimal levels of significant factors that yielded minimum defective rate were determined by the Response Surface Methodology. Then, confirmatory experiments were performed. Last, in the control phase, new control plan, standard operating procedure and work instruction were updated in order to control the process after improvement.

As a result, the defective rate from broken filament defects decreased from 3.35% to 1.47% equivalent to 56.1% reduction. In addition, according to the production forecast, the improvement can possibly save the loss up to 293,632 baht per year for the machine under study.

CHULALONGKORN UNIVERSITY

Department: Industrial Engineering Student's Signature .....

Field of Study: Industrial Engineering Advisor's Signature .....

Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องด้วยความช่วยเหลือและเสียสละเวลาในการให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ซึ่งให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆระหว่างการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดีตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์ผู้วิจัยขอถือโอกาสนี้กราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทยและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญวา ธรรมพิทักษ์กุล กรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำแนะนำตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณโรงงานกรณีศึกษาสำหรับความกรุณาให้ทำการศึกษาและโอกาสในการเข้าไปทำงานวิจัยรวมถึงความร่วมมือในการประชุมจัดตั้งคณะทำงานในการให้ข้อคิดเห็นระดมสมองเก็บข้อมูลและร่วมทำการทดลองเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และให้คำแนะนำจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัวที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์รวมทั้งขอบคุณสำหรับกำลังใจจากเพื่อนๆพี่ๆน้องๆและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในงานวิจัยที่ไม่ได้กล่าวถึงมาณที่นี้ด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญรูป ..... ฎ
บทที่ 1 1
บทนำ 1
1.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานกรณีศึกษา 1
1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 4
1.4 ขอบเขตของการวิจัย 4
1.5 ผลที่ได้รับ 5
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ 5
1.7 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 5
1.8 ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย 8
บทที่ 2 9
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9
2.1 ความหมายคุณภาพ 9
2.2 ความหมายของปัญหาคุณภาพ 10
2.3 ซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma) 10
2.4 เครื่องมือซิกซ์ ซิกมาในเชิงคุณภาพ 11
2.5 การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Design of Experiments; DOE) 14
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 19

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3 26
การนิยามปัญหา 26
3.1 การจัดตั้งทีมคณะทำงาน 26
3.2 ศึกษากระบวนการผลิตดึงยืดเส้นด้าย (Direct Spin Draw process) 27
3.3 สภาพปัญหาในปัจจุบัน 28
3.4 กำหนดวัตถุประสงค์และเป้าหมาย 31
3.5 สรุประยะนิยามปัญหา 31
บทที่ 4 33
การวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา 33
4.1 การวิเคราะห์ความเที่ยงและความแม่นของระบบการวัด 33
4.2 การระดมสมอง (Brainstorming) เพื่อหาปัจจัยนำเข้า 33
4.2.1 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์สาเหตุและผล 34
4.2.2 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) 38
4.3 สรุประยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา 43
บทที่ 5 45
การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา 45
5.1 การออกแบบการทดลอง 45
5.1.1 การกำหนดตัวแปรนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง 45
5.1.2 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลบางส่วน (Fractional Factorial Design) 46
5.1.3 การกำหนดขนาดตัวอย่างในการทำการทดลอง 47
5.2 แผนการวิเคราะห์การทดลอง 48
5.3 ผลการทดลอง 50
5.4 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง 51
5.5 สรุประยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา 53
บทที่ 6 54

การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ 54
6.1 แนวทางการปรับปรุงสำหรับปัจจัยที่ได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่องและผลกระทบ 54
6.2 การออกแบบการทดลองเพิ่มเติม 62
6.2.1 การออกแบบการทดลองพื้นผิวผลตอบแบบ Central Composite Design 62
6.2.2 การกำหนดขนาดตัวอย่างในการเก็บข้อมูล 63
6.3 แผนการวิเคราะห์การทดลองพื้นผิวผลตอบแบบ Central Composite Design 63
6.4 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเพิ่มเติม 66
6.4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 66
6.4.2 การประมาณตัวแบบสมการพยากรณ์ (Stepwise Regression) 68
6.5 สรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ 70
บทที่ 7 72
การตรวจติดตามควบคุมการผลิต 72
7.1 ผลจากการทดสอบยืนยันผล 72
7.1.1 การทำการทดสอบเพื่อยืนยันผล 73
7.1.2 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงและค่าใช้จ่ายที่สามารถลดได้ 73
7.2 การตรวจติดตามควบคุมการผลิต 74
7.3 สรุประยะการทดสอบเพื่อยืนยันผลและตรวจติดตามควบคุมกระบวนการผลิต 76
บทที่ 8 77
บทสรุปและข้อเสนอแนะ 77
8.1 บทสรุปของระยะนิยามปัญหา 77
8.2 สรุประยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา 77
8.3 สรุประยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา 78
8.4 สรุประยะการปรับปรุงและแก้ไขกระบวนการ 79
8.5 สรุประยะการทดสอบยืนยันผลและตรวจติดตามควบคุมกระบวนการ 80
8.6 ข้อจำกัดและอุปสรรคในการทำงานวิจัย 80

CHULALONGKORN UNIVERSITY

8.7 ข้อเสนอแนะ 81
รายการอ้างอิง 83
ภาคผนวก 85
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 95

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1. 1 ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย 8
ตารางที่ 2. 1 ตัวอย่างกราฟที่จำแนกออกตามจุดประสงค์การใช้งาน 12
ตารางที่ 2. 2 รายละเอียดความสัมพันธ์ของผลกระทบที่การกำหนดค่า Resolution ต่างๆ 17
ตารางที่ 2. 3 สูตรการแปลงข้อมูลเมื่อปัจจัยตอบสนองเป็นสัดส่วนของเสียหรือจำนวนข้อบกพร่อง 22
ตารางที่ 2. 4 ค่ากฎการหยุด (r) และค่า b(r) 23
ตารางที่ 3. 1 Project Charter..... 32
ตารางที่ 4. 1 เกณฑ์การให้คะแนนการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล..... 34
ตารางที่ 4. 2 การประเมินความความสำคัญของปัจจัยที่คาดว่ามีผลต่อการเกิดเส้นด้ายเป็นขน..... 36
ตารางที่ 4. 3 เกณฑ์การประเมินโอกาสในการเกิดสาเหตุของข้อบกพร่อง 39
ตารางที่ 4. 4 เกณฑ์การประเมินการตรวจจับ 39
ตารางที่ 4. 5 ผลการวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่องและผลกระทบ 40
ตารางที่ 4. 6 ปัจจัยในแต่ละกลุ่ม 43
ตารางที่ 5. 1 การกำหนดระดับให้กับปัจจัยนำเข้าขั้นตอนคัดกรองปัจจัย (Screening)..... 46
ตารางที่ 5. 2 รายละเอียดการออกแบบการทดลอง..... 47
ตารางที่ 5. 3 ตารางการออกแบบ เพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง..... 49
ตารางที่ 5. 4 ผลการทดลองและการแปลงข้อมูลด้วยวิธีของ Bisgaard และ Gertsbakh..... 50
ตารางที่ 5. 5 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทำการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน..... 51
ตารางที่ 6. 1 แนวทางในการปรับปรุงแก้ไขปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปัญหาเส้นด้ายเป็นขน..... 57
ตารางที่ 6. 2 การกำหนดระดับให้กับปัจจัยนำเข้าขั้นตอนการหาเงื่อนไขที่ดีที่สุด (Optimization). 62
ตารางที่ 6. 3 รายละเอียดการออกแบบการทดลอง..... 63
ตารางที่ 6. 4 ตารางการออกแบบ เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม..... 64
ตารางที่ 6. 5 ผลการทดลองและการแปลงข้อมูลด้วยวิธีของ Bisgaard และ Gertsbakh..... 64
ตารางที่ 6. **6** ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลผลการทดลองในตารางที่ 6.5 67
ตารางที่ 7. 1 ค่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่จะกำหนดเพื่อทำการปรับปรุง..... 72

สารบัญรูป

รูปที่ 1. 1 แผนภูมิแสดงกำลังการผลิตและสัดส่วนของเสียของผลิตภัณฑ์ 2
รูปที่ 1. 2 แผนภูมิแสดงสัดส่วนการผลิตของผลิตภัณฑ์ของเส้นด้าย DSD..... 3
รูปที่ 1. 3 แผนภาพพาเรโตแสดงสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทต่างๆ 3
รูปที่ 1. 4 แผนภาพพาเรโตแสดงกำลังการผลิตของเครื่องจักรที่มีการผลิต 1500-144-702C..... 4
รูปที่ 1. 5 แผนภาพพาเรโตแสดงสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขนที่เครื่องจักร 16 4
รูปที่ 2. 1 ประเภทของปัญหาคุณภาพ 10
รูปที่ 2. 2 หลักการของพาเรโต 12
รูปที่ 2. 3 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ในกระบวนการหรือระบบที่สนใจ 15
รูปที่ 2. 4 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 16
รูปที่ 3. 1 กระบวนการผลิตเส้นด้ายประเภท DSD..... 28
รูปที่ 3. 2 แผนภูมิแสดงสัดส่วนการผลิตของผลิตภัณฑ์ของเส้นด้าย DSD..... 29
รูปที่ 3. 3 แผนภาพพาเรโตแสดงสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทต่างๆ 29
รูปที่ 3. 4 ลักษณะข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขน 30
รูปที่ 3. 5 แผนภาพพาเรโตแสดงกำลังการผลิตของเครื่องจักรที่มีการผลิต 1500-144-702C..... 30
รูปที่ 5. 1 กราฟ Normal Plot ของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง 52
รูปที่ 6. 1 ผลการทำ Response Optimizer เพื่อหาค่าปรับตั้งที่ดีที่สุดให้กับแต่ละปัจจัย..... 68
รูปที่ 6. 2 ลักษณะเส้นด้ายหย่อน (Tarumi)..... 69
รูปที่ 6. 3 ผลการทำ Response Optimizer เพื่อหาค่าปรับตั้งที่เหมาะสมให้กับแต่ละปัจจัย 70
รูปที่ 7. 1 ตัวอย่างแผนภูมิควบคุมอุณหภูมิของ 1st Godet Roller..... 75
รูปที่ 7. 2 ตัวอย่างแผนภูมิควบคุมอุณหภูมิของ 2nd Godet Roller..... 75

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

การดำเนินธุรกิจของโรงงานกรณีศึกษาถือเป็นอุตสาหกรรมขั้นต้นของกลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยกลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอนั้นเป็นอีกกลุ่มอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีบทบาทในการสร้างรายได้ให้กับประเทศเป็นเวลามากกว่า 40 ปี ประกอบกับกลุ่มอุตสาหกรรมประเภทนี้ยังมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องและมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย เพื่อให้อุตสาหกรรมนี้มีความสามารถในการแข่งขันในตลาดโลกได้ จึงควรหันมาให้ความสำคัญศึกษาอุตสาหกรรมประเภทนี้ หาวิธีการในการแก้ปัญหาหรือปรับปรุงให้อุตสาหกรรมมีเทคโนโลยีที่ก้าวหน้า สามารถทำการผลิตให้มีผลผลิตและคุณภาพสูงได้มาตรฐานเป็นที่พึงพอใจและได้รับการยอมของกลุ่มลูกค้าทั้งในและต่างประเทศ

เนื่องจากอุตสาหกรรมสิ่งทอมีหลักๆคือ เส้นใยธรรมชาติ เส้นใยสังเคราะห์ และเส้นใยขนสัตว์ แต่ในประเทศไทยมีวัตถุดิบที่จะมาทำเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยขนสัตว์ยังไม่เพียงพอและคุณภาพก็ยังไม่ค่อยเป็นที่ยอมรับเท่าเส้นใยสังเคราะห์ที่สามารถหาวัตถุดิบที่มีคุณภาพมาผลิตได้ และในอุตสาหกรรมเส้นใยสังเคราะห์ ประกอบกับในกระบวนการผลิตนั้นมีต้นทุนที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากในกระบวนการและองค์ประกอบหลายๆอย่าง ส่งผลให้ต้นทุนทางด้านการผลิตสูงตามไปด้วย ถ้าต้นทุนสูงราคาขายก็ต้องสูงตามด้วย ทำให้สภาพการแข่งขันในตลาดอุตสาหกรรมจะค่อนข้างที่ลำบาก จึงควรมีการลดต้นทุนในส่วนของสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเส้นใยสังเคราะห์

1.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานกรณีศึกษา

การดำเนินธุรกิจของโรงงานกรณีศึกษาถือเป็นอุตสาหกรรมขั้นต้นของกลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยโรงงานกรณีศึกษาดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับการผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์หลักดังต่อไปนี้

(1) เส้นใยสังเคราะห์ชนิดเส้นด้ายไนล่อนฟิลาเม้นท์
ไนล่อนนำไปใช้กับเครื่องนุ่งห่ม เช่น ชุดว่ายน้ำ ชุดสกี และชุดชั้นใน ในขณะที่การใช้งานทางอุตสาหกรรมจะเกี่ยวข้องกับแหจับปลา ฯลฯ ไนล่อนมีคุณสมบัติเด่นมากมาย เช่น มีความต้านทานแรงดึงที่ดีเยี่ยม ความต้านทานการกัดกร่อน และความทนต่อสารเคมี

(2) เส้นใยสังเคราะห์ชนิดเส้นด้ายโพลีเอสเตอร์ฟิลาเม้นท์
เส้นใยโพลิเอสเตอร์เป็นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดหนึ่ง ซึ่งมีคุณสมบัติ มีความแข็งแรงสูง มีความยืดหยุ่นต่ำ ทนทานต่อการขัดสี ทนทานต่อสารเคมี ทนทานต่อแสง และไม่ดูดซับน้ำ ลักษณะการดูแลรักษาได้โดยง่ายช่วยให้สไตล์การออกแบบเครื่องแต่งกายทำได้สะดวกสบายมากยิ่งขึ้น ซึ่งเหมาะกับการใช้งานหลากหลายชนิด การใช้งานทางอุตสาหกรรมและงานก่อสร้าง เช่น เบาะนั่งรถยนต์ เข็มขัดนิรภัย ผลิตภัณฑ์เพื่อการอยู่อาศัย เข็มขัดและตาข่ายนิรภัยแบบต่างๆ ฯลฯ

(3) เม็ดพลาสติกเพื่ออุตสาหกรรม
- เม็ดพลาสติกไนล่อน Amilan® เป็นพลาสติกวิศวกรรมทั่วไป ที่มีคุณสมบัติเหนียวเป็นพิเศษ ทนความร้อนและน้ำมันได้อย่างดีเยี่ยม เม็ดพลาสติกประเภทไนล่อน Amilan® ได้

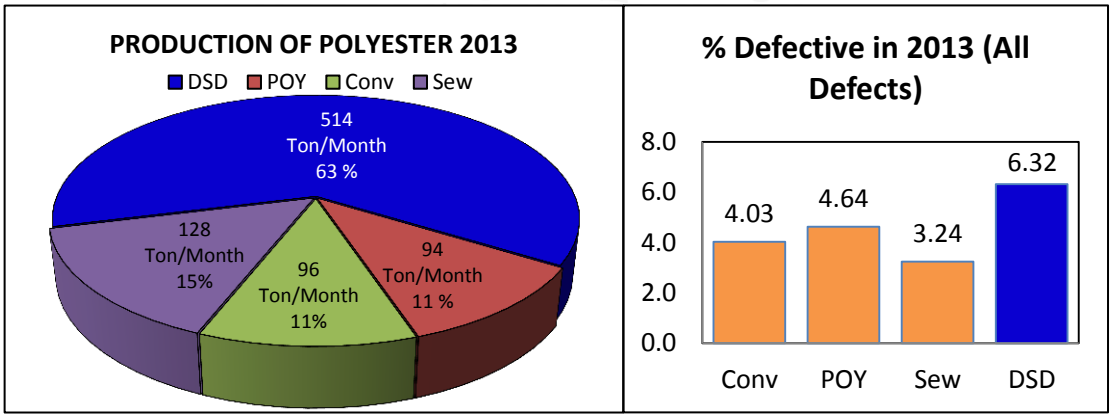
ถูกนำมาใช้ในชิ้นส่วนยานยนต์ อุปกรณ์เชื่อมต่อ และชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ รวมทั้งชิ้นส่วนเครื่องจักร

- เม็ดพลาสติกประเภท PBT Toraycon© เป็นเรซินเทอร์โมพลาสติก ที่ทำจากโพลิเอสเตอร์ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยการใช้ความเชี่ยวชาญทางเทคโนโลยี ในด้านการเกิดโพลิเมอร์ของโพลิเอสเตอร์และวัสดุผสมที่เสริมแรงด้วยเรซิน นอกจากนี้ ยังมีคุณสมบัติที่โดดเด่น เช่น ทนต่อความร้อนได้ยาวนาน ทนต่อสารเคมี ทนต่อสภาพอากาศ และทนต่อไฟฟ้าอีกด้วย เม็ดพลาสติกประเภท PBT Toraycon© มีการใช้กันอย่างกว้างขวางในอุปกรณ์เชื่อมต่อและชิ้นส่วนยานยนต์อื่นๆ กระสวยด้าย กล่องบรรจุขดลวด ตลอดจนส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้าอื่นๆ และชิ้นส่วนขนาดเล็กสำหรับอุปกรณ์สำนักงาน

1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

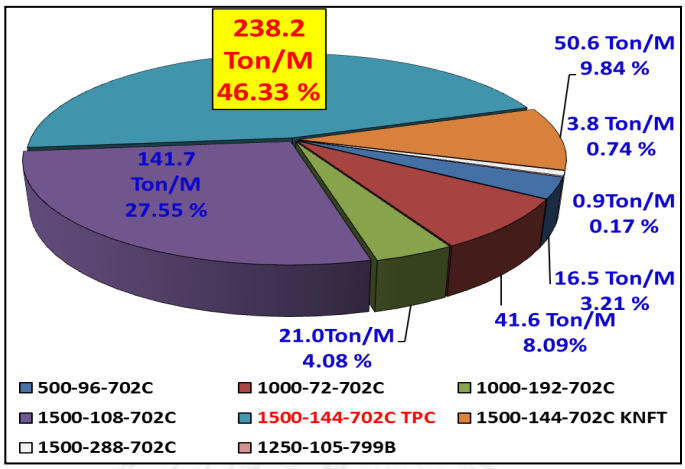
ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ในส่วนของกระบวนการผลิตเส้นด้ายโพลิเอสเตอร์ ต้องประสบกับปัญหาด้านคุณภาพโดยมีสัดส่วนของเสียเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตสูงเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ตัวอื่นๆ ทำให้ค่าเฉลี่ยของเงินที่ได้จากการขายนั้นต่ำกว่าต้นทุนการผลิต ทางโรงงานต้องสูญเสียรายได้ในส่วนนี้ไป เพราะราคาขายของเส้นด้ายที่เป็นของเสียต่ำกว่าราคาขายปกติและมีเปอร์เซ็นต์ของเสียที่ค่อนข้างจะสูง จึงควรทำการศึกษาหาสาเหตุและหาวิธีการปรับปรุงแก้ไขเพื่อลดสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้น

รูปที่ 1.1 แสดงข้อมูลการผลิตตั้งแต่มกราคม-กรกฎาคม พ.ศ. 2556 พบว่า เส้นด้าย Direct Spin Draw (DSD) มียอดการผลิตคิดเป็น 63% เส้นด้าย Conventional Yarn (CONV.) มียอดการผลิตคิดเป็น 15% เส้นด้าย Pre-oriented Yarn (POY) มียอดการผลิตคิดเป็น 11% และเส้นด้าย Sewing Yarn (SEW) มียอดการผลิตคิดเป็น 11% จากข้อมูลการผลิตจะเห็นได้ว่าเส้นด้าย Direct Spin Draw (DSD) มียอดการผลิตสูงสุดคิดเป็น63% ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดและยังมีสัดส่วนงานที่เป็นสินค้าตกเกรด (Subgrade) ที่สูงถึง 6.32% จึงเลือกพิจารณาผลิตภัณฑ์เส้นด้าย DSD



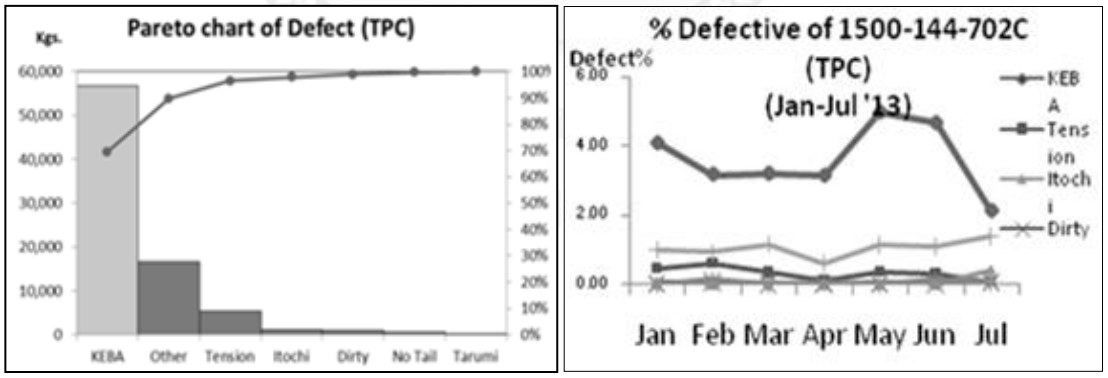
รูปที่ 1. 1 แผนภูมิแสดงกำลังการผลิตและสัดส่วนของเสียของผลิตภัณฑ์

หลังจากที่ทำการเลือกพิจารณาเส้นด้าย DSD แล้วจะต้องมาทำการเลือกพิจารณาชนิดของผลิตภัณฑ์ของเส้นด้าย DSD ที่จะทำการศึกษาจากรูปที่ 1.2 จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ชนิด 1500-144-702C มียอดการผลิตอย่างต่อเนื่องและสูงที่สุดจึงทำการพิจารณาเส้นด้าย DSD ชนิด 1500-144-702C (TPC)



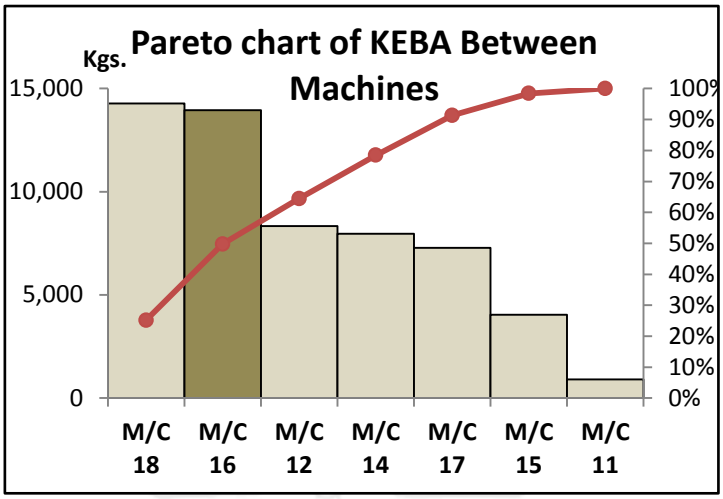
รูปที่ 1. 2 แผนภูมิแสดงสัดส่วนการผลิตของผลิตภัณฑ์ของเส้นด้าย DSD

หลังจากทำการพิจารณาชนิดของเส้นด้ายเรียบร้อยแล้วคือ 1500-144-702C TPCจากนั้นทำการหาสาเหตุของปัญหาที่ส่งผลทำให้สินค้าตกเกรด (Subgrade) มีเปอร์เซ็นต์ค่อนข้างสูง (6.32%) โดยพิจารณาจากกราฟพาเรโตดังแสดงในรูปที่ 1.3 ซึ่งจะเห็นได้ว่า 80% ของปัญหาทั้งหมดเกิดขึ้นจากข้อบกพร่องประเภทเส้นด้ายเป็นขน ดังนั้นจึงตัดสินใจเลือกที่จะทำการปรับปรุงลดของเสียจากข้อบกพร่องประเภทปัญหาเส้นด้ายเป็นขน

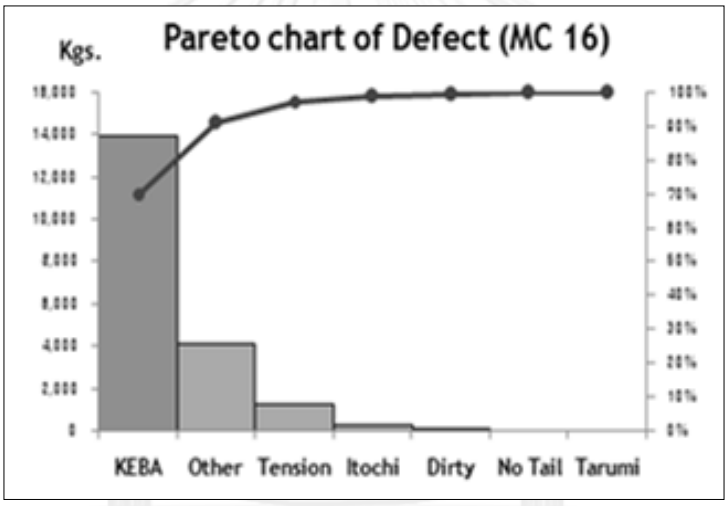


รูปที่ 1. 3 แผนภาพพาเรโตแสดงสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทต่างๆ

กราฟพาเรโตในรูปที่ 1.4 แสดงให้เห็นว่าเครื่องจักรที่ผลิตผลิตภัณฑ์ 1500-144-702C ที่มีสัดส่วนของเสียสูงมี 2 เครื่องได้แก่ เครื่องจักร 18 และ 16 แต่ในที่นี้จะเลือกเครื่องจักร 16 มาทำการปรับปรุง ดังแสดงในกราฟพาเรโตรูปที่ 1.5 เนื่องจากเป็นเครื่องจักรที่มีการผลิต 1500-144-702C อย่างต่อเนื่องและมีปริมาณของข้อบกพร่องที่มีลักษณะเส้นด้ายเป็นขน ที่สูง ในขณะที่เครื่องจักร 18 ผลิต 1500-144-702C ไม่ต่อเนื่อง



รูปที่ 1. 4 แผนภาพพาเรโตแสดงกำลังการผลิตของเครื่องจักรที่มีการผลิต 1500-144-702C



รูปที่ 1. 5 แผนภาพพาเรโตแสดงสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขนที่เครื่องจักร 16

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะหาวิธีการในการลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทเส้นด้ายเป็นขน โดยศึกษาที่เครื่องจักร 16 ในการผลิตผลิตภัณฑ์ 1500-144-702C

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อลดสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเส้นด้าย DSD จากข้อบกพร่องประเภทเส้นด้ายเป็นขน

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1) ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเพื่อหาวิธีการในการลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทเส้นด้ายเป็นขน ซึ่งเป็นข้อบกพร่องที่ทำให้เกิดการสูญเสียต้นทุนสูงที่สุด
2) ทำการศึกษาเส้นด้ายประเภท DSD รุ่นผลิตภัณฑ์ 1500-144-702C
3) ทำการศึกษาในกระบวนการดึงยืดเส้นด้าย (Direct Spin Draw process)

4) ทำการศึกษาที่เครื่องจักร 16 ซึ่งเป็นเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตผลิตภัณฑ์ 1500-144-702C สูง และเป็นเครื่องจักรที่มีสภาพการใช้งานในปัจจุบันดี

1.5 ผลที่ได้รับ

1) สมการความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของเสียกับปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทเส้นด้ายเป็นขน
2) ระดับปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมที่ทำให้สัดส่วนของเสียลดลงถึงเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้
3) มาตรฐานวิธีการปฏิบัติงานที่จะช่วยลดสัดส่วนของจากข้อบกพร่องประเภทเส้นด้ายเป็นขน

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

1) ลดปริมาณสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นจากข้อบกพร่องประเภทเส้นด้ายเป็นขน
2) เพิ่มความพึงพอใจให้แก่ลูกค้า
3) ลดต้นทุนความสูญเสียจากข้อบกพร่องประเภทเส้นด้ายเป็นขน

เป็นแนวทางให้กับทางโรงงาน เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรเครื่องอื่นๆ หรือผลิตภัณฑ์ตัวอื่นๆ ต่อไป

1.7 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยจะเลือกใช้หลักการ Six Sigma เป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพ โดยจะมีขั้นตอนดังนี้ คือ

1) ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
2) นิยามปัญหา (Define)
   2.1) ศึกษากระบวนการผลิตเส้นด้าย DSD ซึ่งเป็นกระบวนการที่ถูกเลือกมาทำการปรับปรุงอย่างละเอียด รวมถึงทำการรวบรวมข้อมูลสภาพปัญหาในปัจจุบัน
   2.2) กำหนดวัตถุประสงค์ เป้าหมายและระยะเวลาของการทำโครงการ
   2.3) จัดตั้งคณะทำงานในการทำโครงการ
   2.4) จัดทำ Project Charter
   2.5) ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
3) ตรวจสอบระบบการวัด (Measure)
   3.1) ทำการประเมินความเที่ยง (Accuracy) และความแม่น (Precision) ของระบบการตรวจสอบข้อบกพร่องประเภทเส้นด้ายเป็นขน
4) วิเคราะห์หาปัจจัยนำเข้า (Analysis)
   4.1) คณะทำงานช่วยกันระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่อาจจะมีผลต่อข้อบกพร่องประเภทเส้นด้ายเป็นขน ตามหลักการ 5M1E โดยใช้เมทริกซ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล (Cause & Effect Matrix)
   4.2) กรองปัจจัยโดยเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าด้วยเกณฑ์ที่ประยุกต์จากเกณฑ์การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ โดยทีมงานและผู้ที่มีความเชี่ยวชาญหน้า

งานช่วยกันประเมินและให้คะแนน เพื่อทำการกรองสาเหตุให้เหลือเฉพาะที่คาดว่าอาจมีผลกระทบสูงต่อปัญหาเส้นด้ายเป็นขน

4.3) คัดเลือกปัจจัยนำเข้าที่คาดว่าอาจมีผลกระทบสูงต่อข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นไปทดสอบความมีนัยสำคัญและกำหนดวิธีการปรับปรุงต่อไป

5) ปรับปรุง (Improve)

แนวทางการปรับปรุงมี 2 แนวทางคือ

5.1) ปรับปรุงวิธีการตรวจจับ (Detection) ความผิดปกติของปัจจัยนำเข้าให้มีประสิทธิผลมากยิ่งขึ้น

5.2) ออกแบบและทำการทดลองเพื่อกำหนดระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญที่จะลดสัดส่วนของเสีย เนื่องจากในปัจจุบันการปรับตั้งเครื่องจักรยังไม่เหมาะสม ก่อนหน้านี้ทางโรงงานได้ทำการลองผิดลองถูกให้กับปัจจัยที่คาดว่ามีผลที่ค่าต่างๆ นอกจากจะเป็นการแก้ปัญหาที่ยืดเยื้อทำให้เสียเวลาแล้วก็ยังเกิดข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขนอีกเหมือนเดิม เมื่อเป็นเช่นนี้จึงควรใช้การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมให้กับปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขน ทำให้สามารถทำการปรับปรุงและออกแบบกระบวนการที่สนใจได้อย่างเป็นระบบและผลที่ได้จากการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ซึ่งรายละเอียดของการออกแบบการทดลองมีดังนี้

(1) กำหนดค่าตัวแปรตอบสนอง

เนื่องจากสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องประเภทเส้นด้ายเป็นขนมีค่าต่ำ (ประมาณ 3.35%) จึงจะใช้ตัวแปรตอบสนองเป็น จำนวนม้วนงานที่ผลิตจนกระทั่งพบจำนวนม้วนงานที่เป็นของเสียครบ r ม้วนตามเทคนิคของ Inverse Binomial Sampling (Bisgaard และ Gertsbakh, 1997) และค่าตัวแปรตอบสนองที่ทำการเก็บข้อมูลจากการทำการทดลองนั้น จะต้องนำไปทำการแปลงข้อมูลให้มีการกระจายตัวแบบปกติก่อนการวิเคราะห์ผลต่อไป โดยจะใช้วิธีการแปลงข้อมูลด้วยสองวิธีด้วยกัน คือ แปลงข้อมูลด้วยวิธี Inverse Binomial Sampling และแปลงข้อมูลด้วยวิธีของ Box-Cox เพื่อทำการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้หลังการแปลงว่าวิธีใดได้ข้อมูลที่มีความเหมาะสมกว่ากัน พิจารณาจากค่า p-value ของ Normality Test

(2) กำหนดปัจจัยนำเข้าที่จะทำการทดลอง โดยศึกษาปัจจัยที่ได้คัดกรองจากขั้นตอนก่อนหน้า

(3) เลือกแบบการทดลอง ซึ่งผู้วิจัยวางแผนว่าจะทำการทดลอง 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 ทำการทดลองเพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีนัยสำคัญด้วยแบบแผนการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลโดยเพิ่มการทดลองที่จุดกึ่งกลางเพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้ง (Curvature) ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับตัวแปรตอบสนอง

ขั้นตอนที่ 2 นำปัจจัยนำเข้าที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเกิดเส้นด้ายเป็นขนไปทำการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology) เพื่อหาค่าที่ดีสุดให้กับปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญเหล่านั้น โดยนำผลการทดลองไปสร้างสมการพยากรณ์ และใช้สมการพยากรณ์ในการกำหนดค่าที่ดีที่สุด

6) ควบคุม (Control)

6.1) ทำการทดลองเพื่อยืนยันผลการปรับปรุง

6.2) จัดทำมาตรฐานการปฏิบัติงานใหม่ และวิธีการควบคุมปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญ และกำหนดเป็นแผนควบคุม

6.3) จัดทำระบบป้องกันความผิดพลาด (poka-yoke)

6.4) ออกแบบ jig & fixture ช่วยให้เครื่องจักรทำงานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

7) ทำการสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

8) จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.8 ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 1. 1 ระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอน	ระยะเวลาการดำเนินงาน (เดือน)											
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	
1.ระยะการนิยามปัญหา (D)	■	■	■	■								
2.ระยะการตรวจสอบระบบการวัด (M)			■	■	■							
3.ระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุ (A)					■	■						
4.ระยะการปรับปรุง (I)					■	■	■					
5.ระยะการควบคุม (C)						■	■	■				
6.ทำการสรุปผลและข้อเสนอแนะ								■	■			
7.จัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์								■	■	■	■	

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายคุณภาพ

กิติศักดิ์ (2550) ได้นำเสนอเกี่ยวกับความหมายของ คุณภาพ ในมุมมองของนักวิชาการหลาย ๆ ท่านซึ่งได้พยายามให้ความหมายของคุณภาพไว้ โดยอาจมีทั้งความคล้ายคลึงกันหรือแตกต่างกัน เนื่องด้วยแต่ละท่านมีแนวความคิดที่แตกต่างกัน ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างความหมายคุณภาพของนักวิชาการดังนี้

Shewhart (1931) ได้ให้นิยามของคำว่า คุณภาพ ว่าหมายถึง ความดีของสิ่งที่สนใจ โดยได้กำหนดคุณภาพใน 2 ลักษณะ คือ ความแตกต่างของผลิตภัณฑ์โดยธรรมชาติ และผิดธรรมชาติ

Deming (1951) ได้นิยามคำว่า คุณภาพ ว่าหมายถึง การออกแบบผลิตภัณฑ์และการผลิตให้ตรงตามแบบที่กำหนดเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภค คุณภาพจึงประกอบด้วย 2 ด้าน คือ คุณภาพในการออกแบบ และคุณภาพแห่งความถูกต้อง

Juran (2001) ได้นิยามคำว่า คุณภาพ ว่าคือ ความเหมาะสมในการใช้งาน หรือการสร้างความพึงพอใจและความจงรักภักดีแก่ลูกค้า

Ishikawa (1990) ได้ให้นิยามคำว่า คุณภาพ ใน 2 ด้านด้วยกัน คือ ความง่ายในการใช้งาน และความปราศจากข้อบกพร่อง

Kano (1986) ได้ให้นิยามคำว่า คุณภาพ ไว้ 2 แนวความคิด คือ แนวความคิดดั้งเดิม ซึ่งคุณภาพหมายถึงระดับแห่งความถูกต้องตรงตามมาตรฐาน และแนวความคิดสมัยใหม่ ซึ่งคุณภาพหมายถึงความพึงพอใจของผู้ใช้

Harry (2000) ได้ให้นิยามความหมายของคำว่าคุณภาพไว้ว่าคือระดับที่ดีที่สุดของคุณค่า ซึ่งคุณค่าในที่นี้หมายถึง มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ อรรถประโยชน์เชิงปฏิบัติ และความพร้อมใช้

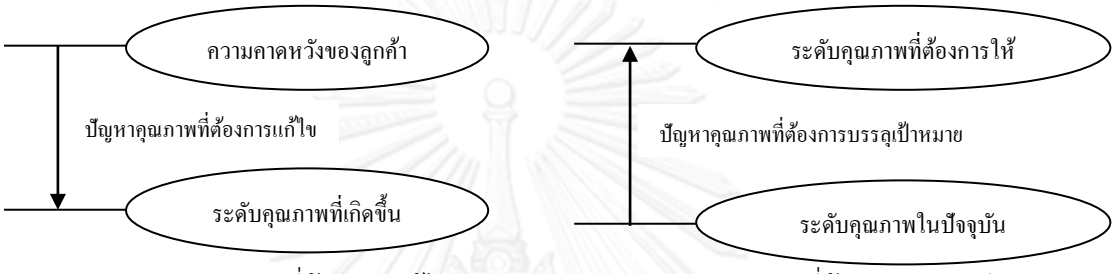
Taguchi (1986) ได้ในความหมายของคุณภาพไว้ว่าคือ ความสูญเสียทั้งหมดที่มีต่อสังคมอันเนื่องจากผลิตภัณฑ์นับจากจากการส่งมอบ

ISO 8402 (1994) ได้ให้ความหมายของคุณภาพว่าหมายถึง คุณลักษณะเบ็ดเสร็จของสิ่งที่ให้ความสนใจที่จะแสดงให้เห็นว่ามีความสามารถต่อการตอบสนองต่อความต้องการทั้งที่ระบุแบะที่ต้องแปลความ

และนอกจากนี้ยังมีนักวิชาการอีกหลายท่านที่พยายามให้คำนิยามหรือความหมายของคำว่าคุณภาพไว้ ซึ่งจากนิยามหรือความหมายของคุณภาพที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ อาจกล่าวได้ว่า คุณภาพคือ การที่สามารถผลิตสินค้าได้ตรงตามข้อกำหนดเฉพาะ จนทำให้เกิดความพึงพอใจแก่ลูกค้า และทำให้ลูกค้าเกิดความจงรักภักดีต่อผู้ผลิต

2.2 ความหมายของปัญหาคุณภาพ

จากนิยามของนักวิชาการหลายๆท่าน อาจให้ความหมายของปัญหาคุณภาพได้ว่า เป็นความเบี่ยงเบนของคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์หรือระดับคุณภาพที่เกิดขึ้นจริงจากค่าความคาดหวังของลูกค้า ซึ่งปัญหาในลักษณะนี้เป็นปัญหาคุณภาพที่ต้องการการแก้ไข หรืออาจให้ความหมายของปัญหาคุณภาพได้อีกประการหนึ่งว่าเป็นความแตกต่างของคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์หรือระดับคุณภาพในปัจจุบันกับระดับคุณภาพที่ต้องการให้เป็น ซึ่งปัญหาในลักษณะนี้เป็นปัญหาคุณภาพที่ต้องการบรรลุเป้าหมาย ดังแสดงในรูป 2.1



(ก) ปัญหาคุณภาพที่ต้องการแก้ไข (ข) ปัญหาคุณภาพที่ต้องการบรรลุเป้าหมาย

รูปที่ 2. 1 ประเภทของปัญหาคุณภาพ (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2550)

ดังนั้นในการนิยามปัญหาคุณภาพ จึงจำเป็นต้องทำความเข้าใจองค์ประกอบต่อไปนี้

- กระบวนการคืออะไร
- ผลิตภัณฑ์คืออะไร
- ลูกค้าคือใคร
- ความคาดหวังของลูกค้าคืออะไร
- ระดับคุณภาพที่เกิดขึ้นจริงคืออะไร

2.3 ซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma)

พรเทพ (2553) ได้อธิบายว่า วิธีซิกซ์ ซิกมา เป็นวิธีการแก้ปัญหาที่มีแนวทางเฉพาะ และมีเครื่องมือต่างๆ เพื่อช่วยในการปรับปรุงกระบวนการและผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ใช้ข้อมูลเป็นตัวขับเคลื่อน (Data-driven) โดยที่มีเป้าหมายเพื่อลดปริมาณผลิตภัณฑ์หรือเหตุการณ์ที่ไม่ได้มาตรฐานลง วิธีการนี้จะต้องอาศัยความร่วมมือจากหลายๆส่วนในองค์กรให้สามารถดำเนินการได้อย่างเป็นระบบ โดย กิติศักดิ์ ได้อธิบาย ขั้นตอนของการปรับปรุงด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกมาแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนด้วยกัน ได้แก่

1) ขั้นตอนการนิยาม (Define - D)

ขั้นตอนนี้จะเป็นการกำหนดปัญหาทางธุรกิจด้วยแนวความคิดของการมองภาพองค์รวมในการนิยามปัญหาจากตัววัด แล้วมองปัญหาในภาพองค์รวมโดยอาศัยตัววัดทางธุรกิจเพื่อกำหนดปัญหาที่ต้องการแก้ไขโดยอาศัยตัววัดของโครงการ หลังจากได้ปัญหามาแล้วก็จะดำเนินการ

กำหนดเป้าหมายในการแก้ปัญหาต่อไป โดยพิจารณาเทียบเคียงในเชิงการแข่งขันและผลงานที่เคยทำได้ดีที่สุดในอดีต เพื่อการตัดสินใจบนพื้นฐานของระดับคุณภาพที่สามารถทำได้ในปัจจุบัน

2) ขั้นตอนการวัด (Measure - M)

ขั้นตอนนี้จะเริ่มต้นด้วยการกำหนดระบบการวัด เพื่อให้มั่นใจว่าจะไม่มีผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องหลุดไปถึงมือลูกค้า หลังจากนั้นจะต้องมีการทวนสอบความผันแปรของระบบการวัดว่ามาจากแหล่งใดเพื่อลดหรือกำจัดความผันแปรเหล่านั้น เรียกกระบวนการนี้ว่า การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA)

3) ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analysis - A)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่จะต้องมีการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหา และดำเนินการพิสูจน์ว่าสาเหตุไหนบ้างเป็นสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาแล้วจึงนำไปดำเนินการปรับปรุงต่อไป ซึ่งจะต้องอาศัยเครื่องมือทางคุณภาพต่าง ๆ ช่วยในการวิเคราะห์ เช่น การหาความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล (Cause and Effect) การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis; FMEA) เป็นต้น

4) ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve - I)

หลังจากที่ทราบพารามิเตอร์ของกระบวนที่เป็นสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาจากขั้นตอนก่อนหน้า ในขั้นตอนนี้จะเป็นการค่าที่เหมาะสมที่สุดให้กับพารามิเตอร์เหล่านั้น ซึ่งการหาค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์นั้นมักจะอาศัยกลยุทธ์ของการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments: DOE) เพราะในการหาค่าที่เหมาะสมให้กับพารามิเตอร์นั้นจะต้องดำเนินการภายใต้สภาพในปัจจุบันของกระบวนการที่อาจจะมีผลกระทบต่อระบบการผลิต

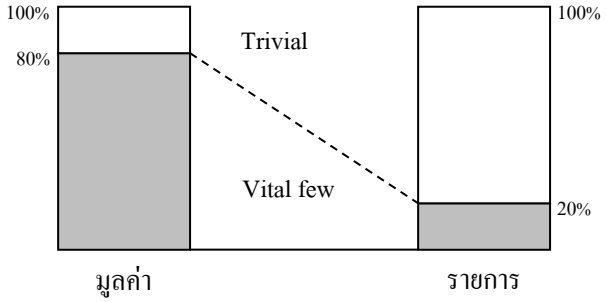
5) ขั้นตอนการควบคุม (Control - C)

ขั้นตอนนี้ถือว่าเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการแก้ปัญหาด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกมา ในขั้นตอนนี้จะเป็นการควบคุมกระบวนการ เป็นการติดตามผลจากขั้นตอนการปรับปรุง เพื่อให้มั่นใจได้ว่าผลที่ได้จากขั้นตอนการปรับปรุงสามารถนำไปใช้งานได้จริง และส่งผลให้กระบวนการหลังจากทำการปรับปรุงมีความผิดพลาดน้อยที่สุด

2.4 เครื่องมือซิกซ์ ซิกมาในเชิงคุณภาพ

1) แผนภาพพาเรโต

เป็นแผนภาพที่ช่วยในการจำแนกประเภทของข้อมูลรวมถึงช่วยวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของข้อมูลที่มีการจำแนกประเภทและมีการสะสมตามเวลา แผนภาพนี้จะแสดงถึงหลักการของพาเรโต คือ “สิ่งที่มีความสำคัญมากจะมีจำนวนน้อยและสิ่งที่มีความสำคัญเล็กน้อยจะมีจำนวนมาก” ในบางครั้งอาจเรียกหลักการพาเรโตว่า หลักการ 80 – 20 เนื่องจากเคยมีการศึกษากรณีตัวอย่างแล้วพบว่า สิ่งที่มีความสำคัญจะมีค่าประมาณ 80% ของมูลค่าทั้งหมด อีกประมาณ 20% จะมาจากรายการอื่นเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในรูป 2.2



รูปที่ 2. 2 หลักการของพาเรโต (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2550)

2) กราฟ

กราฟเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้เข้าใจภาพรวมของปัญหา ทำให้เข้าใจกับผันแปรของข้อมูล ซึ่ง Karatsu และ Ikeda ได้ให้คำนิยามกราฟไว้ว่า คือ แผนภาพที่แสดงถึงตัวเลขผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่สามารถทำให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจโดยอาศัยการพิจารณาด้วยตาเปล่าได้ และในปัจจุบันนี้กราฟก็มีอยู่หลายประเภทด้วยกัน ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และลักษณะข้อมูลที่ใช้ประกอบการวิเคราะห์ยกตัวอย่างเช่น

ตารางที่ 2. 1 ตัวอย่างกราฟที่จำแนกออกตามจุดประสงค์การใช้งาน

ชื่อกราฟ	จุดประสงค์
กราฟเส้น	แสดงถึงความผันแปรของข้อมูลเชิงตัวเลข ส่วนใหญ่จะใช้ในการแสดงแนวโน้มของข้อมูล
กราฟแท่ง	แสดงถึงการเปรียบเทียบปริมาณของข้อมูลแต่ละประเภท
กราฟวงกลม	แสดงถึงการเปรียบเทียบสัดส่วนของข้อมูลแต่ละประเภท
ฯลฯ	

3) ใบตรวจสอบ

ในการใช้กราฟช่วยในการวิเคราะห์นั้นจะให้ภาพกว้าง ซึ่งในการจะวิเคราะห์ปัญหาใดๆ นั้น เพื่อนำไปสู่การแก้ปัญหาให้ตรงจุดต้องมีการวิเคราะห์ที่เฉพาะลงไป ฉะนั้นใบตรวจสอบจึงเป็นเครื่องมือที่เหมาะสม เพราะจะทำให้ตอบคำถามพื้นฐานเหล่านี้ก่อนที่จะทำการรวบรวมข้อมูลได้ คำถามนี้จึงมักประกอบด้วย

- อาการปัญหา (What)
- เวลาที่เกิดปัญหา (When)
- ตำแหน่งที่เกิด (Where)

- บุคลากร (Who)
- วิธีการปฏิบัติงาน (How)

แล้วระบุในเชิงปริมาณ (How much) และควรมีการวิเคราะห์ความผันแปรควบคู่ไปด้วยในระหว่างการรวบรวมข้อมูล ด้วยคำถามว่าทำไม (Why) หรือกล่าวได้ว่า ใบตรวจสอบ คือ ฟอร์มสำหรับการบันทึกข้อมูลซึ่งได้รับการออกแบบพิเศษสำหรับการตีความหมายผลลัพธ์ทันทีที่กรอกแบบฟอร์มเสร็จสิ้น

4) ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix)

เป็นตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าที่สำคัญกับตัวแปรตอบสนองที่จะทำการศึกษา (KPOVs) ที่ได้จากการที่ทีมงานช่วยกันระดมสมอง โดยในการวิเคราะห์ความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองนั้นจะต้องอาศัยความรู้ความชำนาญและประสบการณ์ในการปฏิบัติงานผู้ร่วมระดมสมอง เครื่องมือตัวนี้จะทำให้สามารถเลือกปัจจัยนำเข้าที่มีความสำคัญในระดับต้นๆ เพื่อนำไปทำการแก้ไขก่อน หรือนำผลที่ได้ไปใช้ในการการประเมินแผนควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิต

ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลจะต้องมีกำหนดหลักเกณฑ์คะแนนตามความสำคัญของเป้าหมายเชิงกลยุทธ์ของธุรกิจหรือตามความคาดหวังของลูกค้า โดยคะแนนสูงแสดงถึงสาเหตุนั้นมีผลกระทบต่อผลมากไปด้วย และนั่นคือพารามิเตอร์ที่ควรจับตามองและนำไปวิเคราะห์ให้ละเอียดต่อไป

5) การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis; FMEA)

เป็นตารางที่ช่วยในการวิเคราะห์ว่าข้อบกพร่องใดมีกระทบมากโดยตรงต่อปัญหาที่ต้องการศึกษา โดยการนำลักษณะข้อบกพร่องเหล่านั้นมาทำการเรียงลำดับตามคะแนนความเสี่ยงสูงไปต่ำ ซึ่งจะช่วยให้ทราบว่าควรจะปรับปรุงหรือแก้ไขที่กระบวนการหรือจุดใดก่อน จุดประสงค์ของการปรับปรุงจากการทำการวิเคราะห์รูปแบบนี้คือ เพื่อลดความรุนแรงของผลที่เกิดจากลักษณะข้อบกพร่อง ลดโอกาสในการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง นั่นหมายความว่าคะแนนความเสี่ยงจากข้อบกพร่องเหล่านั้นก็จะลดลงไปด้วย ถือได้ว่าเป็นเครื่องมือที่สำคัญตัวหนึ่งที่ช่วยในการคัดกรองพารามิเตอร์ของการทำซิกซ์ ซิกมา

Chulalongkorn University

<u>ขั้นตอนการทำการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ</u>

(1) ศึกษากระบวนการผลิตโดยละเอียด
(2) ทีมงานทำการระดมสมองพิจารณาว่ามีปัจจัยนำเข้าสำคัญ (KPIVs) ใดบ้างที่มีความเกี่ยวข้องกับปัญหาในแต่ละกระบวนการย่อย โดยอาศัยหลักการ 5M1E เพื่อให้การวิเคราะห์เป็นระบบยิ่งขึ้น
(3) ทำการวิเคราะห์ Potential Failure Mode (PFM) สำหรับแต่ละปัจจัยนำเข้าที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้า โดยอธิบายลักษณะผิดปกติที่เกิดขึ้น และควรพิจารณาด้วยว่าความผิดปกติดังกล่าวนั้นจะเป็นสาเหตุให้เกิดความผิดปกติในกระบวนการถัดไปด้วยอย่างไร แนวทางหนึ่ง

ที่ใช้ในการพิจารณาข้อบกพร่องคือ การศึกษาผลลัพธ์ของแต่ละกระบวนการย่อย จะทำให้ทราบได้ว่ากระบวนการย่อยนั้นส่งผลให้ได้ผลลัพธ์ที่ไม่ได้ตามต้องการหรือข้อกำหนดอย่างไร

(4) ทำการวิเคราะห์หา Potential Failure Effect ของ PFM แต่ละตัว โดยทำการพิจารณาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น ซึ่งจะทำให้ทราบสาเหตุของปัญหาที่ทำการศึกษา

(5) ทำการกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนของความร้ายแรง (Severity Score; S) เพื่อใช้ในการประเมินความร้ายแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้น โดยจะต้องอาศัยทีมงานช่วยกันให้คะแนน ซึ่งเกณฑ์โดยทั่วไปมักจะใช้ช่วงคะแนน 1 ถึง 10 ขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้ของปัญหาที่ทำการศึกษาว่าแต่ละคะแนนควรมีหลักเกณฑ์ว่าอย่างไร คะแนนยิ่งมากแสดงว่าผลกระทบนั้นก็มีความรุนแรงมากตามไปด้วย

(6) พิจารณาสาเหตุของแต่ละ PFM (Potential cause of failure) ทำให้ทราบถึงจุดด้อยของการออกแบบที่เป็นสาเหตุการเกิดลักษณะข้อบกพร่องนั้น จะต้องให้รายละเอียดที่บ่งบอกถึงสาเหตุที่แท้จริงอย่างรัดกุมและครบสมบูรณ์ ข้อสังเกตประการหนึ่งคือ PFM แต่ละตัวอาจมีที่มาจากสาเหตุมากกว่าหนึ่งสาเหตุได้

(7) ทำการกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนโอกาสในการเกิด (Occurrence Score; O) เพื่อใช้ในการประเมินโดยการคาดคะเนความน่าจะเป็นที่สาเหตุเหล่านั้นจะเกิดขึ้น ควรอ้างอิงจากข้อมูลที่เป็นจริงในอดีต ในการกำหนดช่วงคะแนนของความถี่ควรเป็นช่วงตัวเลขที่เหมือนกับคะแนนความรุนแรง โดยการกำหนดหลักเกณฑ์อย่างไรก็ควรให้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงที่เกิดขึ้น

(8) ทำการกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนการตรวจจับ (Detection Score; D) เพื่อใช้ในการประเมินความสามารถของการหลุดลอดจากการตรวจจับ PFM ของระบบการควบคุมที่ถูกระบุไว้ คะแนนนี้จะทำให้เห็นประสิทธิภาพของระบบการควบคุมในปัจจุบันว่ามีการตรวจจับข้อบกพร่องต่างๆ ได้ดีมากน้อยเพียงใด

(9) ทำการคำนวณค่า RPN (Risk Priority Number) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ 2.1

$$RPN = S \times O \times D \qquad (2.1)$$

(10) เมื่อได้ค่า RPN มาแล้วก็จะทำการเรียงลำดับ Potential Cause of Failure จากคะแนนสูงไปหาต่ำ เนื่องจากค่า RPN เป็นการแสดงค่าวิกฤตรวมของขั้นตอนการผลิต ดังนั้นตัวที่มีคะแนนสูงๆ แสดง ว่ามีความวิกฤตมาก จึงมีลำดับความสำคัญที่จะต้องได้รับการแก้ไขก่อน

2.5 การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Design of Experiments; DOE)

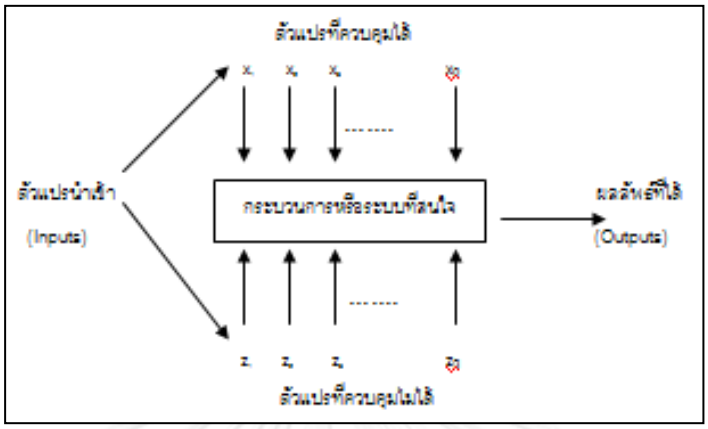
ประไพศรี และ พงศ์ชนัน (2551) ได้อธิบายเกี่ยวกับการออกแบบการทดลองไว้ดังนี้

การออกแบบ (Design) หมายถึง การเลือกรูปแบบที่เหมาะสมในการศึกษาระบบที่สนใจ

การทดลอง (Experiments) หมายถึง สิ่งที่จัดทำขึ้นเพื่อการค้นหาองค์ความรู้หรือข้อมูลส่วนที่ยังขาดไปเกี่ยวกับกระบวนการหรือระบบที่สนใจ

ดังนั้นการออกแบบการทดลอง ก็คือ การทดสอบเพียงครั้งเดียวหรือต่อเนื่องโดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้าในระบบหรือกระบวนการที่สนใจ เพื่อที่จะทำให้สามารถสังเกตและชี้ถึง

สาเหตุต่างๆ ที่ก่อนให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการหรือระบบนั้นๆ โดยตัวแปรนำเข้าจะมีแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ควบคุมได้ เรียกปัจจัยที่ควบคุมได้หรือที่สามารถออกแบบได้ และกลุ่มที่ควบคุมไม่ได้ เรียกปัจจัยที่รบกวนระบบ ดังแสดงในรูป 2.3



รูปที่ 2. 3 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ในกระบวนการหรือระบบที่สนใจ

(ประไพศรี และ พงศ์ชนัน, 2551)

<u>ประเภทของการทดลอง</u> (Types of Experiment)

(1) การทดลองเดี่ยวหรือการทดลองเพียงครั้งเดียว (single Experiment) คือ การทดลองที่ผู้ทำการทดลองมีความรู้ความเข้าใจกระบวนการเป็นอย่างดีอยู่แล้ว และก็ทราบว่าปัจจัยใดบ้างที่มีความสำคัญต่อกระบวนการ แต่อยากทราบและชี้บ่งถึงสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย

(2) การทดลองอย่างต่อเนื่อง (Continuous Experiment) คือ การทดลองเพื่อที่จะลดค่าการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการโดยมีเป้าหมายชัดเจนในการที่จะปรับปรุงคุณภาพ แต่ผู้ทดลองไม่มีความรู้ความเข้าใจในกระบวนการหรือระบบมากนัก รู้เพียงว่ากระบวนการยังไม่ได้มาตรฐานแล้วส่งผลให้เกิดของเสียมากเกินไป

(3) การทดลองแบบคัดทิ้ง (Screening Experiment) เป็นการทดลองที่วัตถุประสงค์ เพื่อพยายามปรับลดรายละเอียดของปัจจัยในกระบวนการ ให้เหลือเพียงปัจจัยที่มีผลและมีจำนวนปัจจัยที่เหมาะสม สามารถนำไปทำการทดลองได้จริงในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดให้กับปัจจัยที่จะใช้ในกระบวนการหรือระบบต่อไป

(4) การทดลองแบบเจาะจง (Focusing Experiment) คือ การทดลองที่ทำขึ้นโดยมีเป้าหมายกำหนดจากความต้องการในการแก้ปัญหา โดยจะทำการกำหนดค่าที่เหมาะสมให้กับปัจจัยที่เลือกมาทำการศึกษา

(5) การทดลองเชิงลำดับ (Sequential Experiment) คือ การทดลองทำขึ้นเนื่องจากกระบวนการที่สนใจสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนหรือกระบวนการย่อยๆ ได้จำนวนมาก ทำให้มีปัจจัยที่จะศึกษาในภาพรวมมากตามไปด้วย จึงจำเป็นต้องแบ่งกระบวนการเป็นส่วนๆ แล้วจึงทำการทดลองกำหนดปัจจัย หลังจากนั้นจึงค่อยนำมารวมเป็นข้อกำหนดของกระบวนการในภาพรวมเพื่อให้การทดลองสามารถทำได้จริง

<u>ขั้นตอนในการออกแบบแผนการทดลอง</u> แบ่งเป็น 7 ขั้นตอนด้วยกัน คือ

(1) กำหนดปัญหาที่ต้องการจะแก้ไข ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นในการระบุวัตถุประสงค์ของการทดลอง

(2) เลือกปัจจัยที่จะทำการแปรค่าในการทดลอง และจำนวนระดับที่ใช้ในการทดลอง

(3) กำหนดตัวแปรตอบสนองหรือตัวแปรผลลัพธ์ (ควรสอดคล้องกับวัตถุประสงค์)

(4) การเลือกแบบแผนการทดลอง ขึ้นอยู่กับรายละเอียดของจำนวนปัจจัยที่ใช้ ต้องพิจารณาถึงจำนวนข้อมูลที่ทำซ้ำในการทดลอง (Replication) ความเหมาะสม ข้อจำกัดในการสุ่ม (Randomization) และการบล็อก (Blocking) ที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ต้องนำมาเกี่ยวโยงกันในด้านความเสี่ยง รวมถึงต้นทุนที่ใช้ในการทดลองสำหรับการเลือกปัจจัยต่าง ๆ

(5) การทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยขณะทำการทดลอง จะต้องปฏิบัติตามหลักการที่ได้ออกแบบไว้ คือ ต้องมีการสุ่ม การทำซ้ำ และข้อควรระวังในขณะทำการทดลองคือ ความถูกต้องของเครื่องมือวัด และความสม่ำเสมอในการทดลอง เพื่อให้ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมีน้อยที่สุด

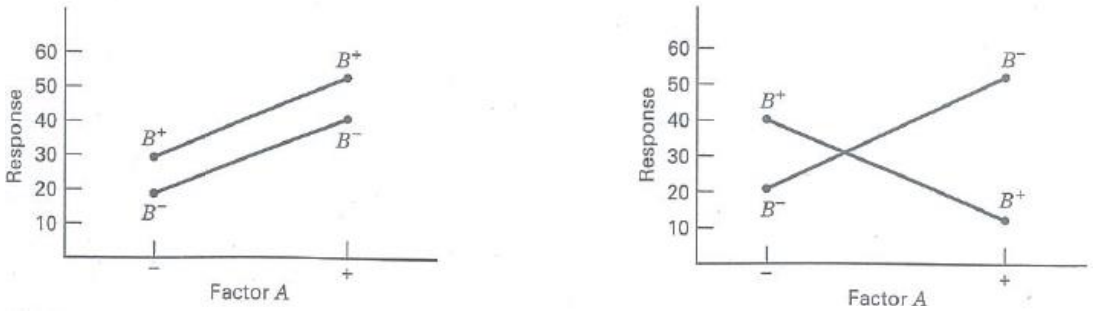
(6) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้ความรู้ทางด้านสถิติเข้ามาวิเคราะห์ผลและสรุปผล

(7) การสรุปผลการทดลองเพื่อยืนยันผลและข้อเสนอแนะ

<u>ประเภทของแบบการทดลอง</u>

1) แผนการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Design)

หมายถึง การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ (Level) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น โดยผลจากปัจจัยเพียงหนึ่งปัจจัยนั้น หมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลตอบ (Response) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยนั้นๆ เรียกว่า ผลหลัก (Main Effect) นอกจากนี้ในการทดลองบางการทดลอง ผลตอบของปัจจัยหนึ่งจะขึ้นกับระดับของปัจจัยอื่นๆ ด้วย เรียกว่า การมีอันตรกิริยา (Interaction) ต่อกันระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้อง โดยพิจารณาได้จากรูปความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง ดังรูป 2.4



ไม่มีอันตรกิริยา มีอันตรกิริยา

รูปที่ 2. 4 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล (Montgomery, 2012)

โดยการออกแบบแผนการทดลองเชิงแฟคทอเรียลก็จะสามารถแบ่งย่อยลงไปได้อีกตามความเหมาะสมของการใช้งาน เช่น

- การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k (2^k Factorial Design) เป็นการทดลองที่มี k ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบไปด้วย 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ แทนด้วยสัญลักษณ์ -1 และระดับสูง แทนด้วยสัญลักษณ์ + การออกแบบการทดลองแบบ 2^k มีประโยชน์มากต่องาน

ทดลองในช่วงแรกที่มีปัจจัยจำนวนมากที่ต้องการตรวจสอบ การออกแบบการทดลองนี้จะช่วยให้มีจำนวนการทดลองน้อยที่สุดเพื่อศึกษาผลของปัจจัยทั้ง k ชนิด ดังนั้น การออกแบบ 2^k จึงถูกนำมาใช้ในการกรองปัจจัยที่มีอยู่เป็นจำนวนมากให้เหลือน้อยลง

- การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3^k(3^k Factorial Design) เป็นการทดลองที่มี k ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ แทนด้วยสัญลักษณ์ -1 ระดับกลาง แทนด้วยสัญลักษณ์ 0 ระดับสูง แทนด้วยสัญลักษณ์ +1 เหมาะสำหรับการทดลองตรวจสอบตัวแปรตอบสนองที่มีลักษณะเป็นส่วนโค้ง

2) แผนการทดลองเชิงแฟคทอเรียลบางส่วน (Fractional Factorial Design)

คือ แผนการทดลองที่ทำโดยลดรูปจากการทดลองแฟคทอเรียลแบบเต็มรูปในสัดส่วนของระดับปัจจัย หมายถึงการทดลองแบบ $2^{k-p} = 2^k/2^p$ โดยที่ k = จำนวนปัจจัยและ p = 1,2,3,... เช่น หากค่า p = 1 การทดลองที่ 7 ปัจจัย 2 ระดับ นั่นคือ จำนวนการทดลองลดลงเหลือเพียง $2^7/2 = 64$ การทดลอง เป็นต้น แผนการทดลองประเภทนี้นิยมใช้กับกรณีที่ผู้ทดลองมีเวลา งบประมาณและทรัพยากรจำกัด เนื่องจากการทดลองรูปแบบนี้เป็นการทำการทดลองได้เพียงบางส่วน ผู้ทดลองสามารถศึกษาผลกระทบหลักและอันตรกิริยาได้ (แต่ไม่ทั้งหมด) ฉะนั้นการทดลองแบบแฟคทอเรียลบางส่วนนี้มีข้อดีคือ ลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการทำการทดลอง แต่มีข้อเสียคือการตีความผลจะซับซ้อนขึ้นเนื่องจากในการทดลองมีการทดลองมีการเกิดโครงสร้างซ้ำซ้อน (Alias Structure) ของผลกระทบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือก Resolution ที่เหมาะสมตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา โดยการกำหนดค่า Resolution สำหรับแผนการทดลองนี้ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2. 2 รายละเอียดความสัมพันธ์ของผลกระทบที่การกำหนดค่า Resolution ต่างๆ

Resolution	รายละเอียดความสัมพันธ์ของผลกระทบ
III	ผลกระทบหลักไม่ซ้ำซ้อนกับผลกระทบหลัก แต่ผลกระทบหลักซ้ำซ้อนกับอันตรกิริยาระหว่าง 2 ปัจจัย เหมาะกับการใช้ในการคัดทิ้งปัจจัยทิ้งกรณีที่การทดลองนั้นมีปัจจัยจำนวนมาก
IV	ผลกระทบหลักไม่ซ้ำซ้อนกับผลกระทบหลักและอันตรกิริยาระหว่าง 2 ปัจจัย แต่อันตรกิริยาระหว่าง 2 ปัจจัยซ้ำซ้อนกันเอง เหมาะกับการใช้ศึกษาปัจจัยหลักและสามารถนำผลไปสร้างสมการพยากรณ์ได้หากไม่สามารถดำเนินการด้วย Resolution V ได้
V	ผลกระทบหลักไม่ซ้ำซ้อนกันกับผลกระทบหลักและอันตรกิริยาระหว่าง 2 ปัจจัย อันตรกิริยาระหว่าง 2 ปัจจัยไม่ซ้ำซ้อนกันเอง จึงเหมาะกับกรณีที่ต้องการศึกษาผลกระทบหลักและอันตรกิริยาระหว่าง 2 ปัจจัย และ Resolution นี้เหมาะสมที่สุดในการนำผลไปสร้างสมการพยากรณ์กรณีที่ไม่สนใจอันตรกิริยาตั้งแต่ 3 ปัจจัยขึ้นไป

3) แผนการทดลองแบบพื้นที่ผิวผลตอบ (Response Surface Methodology)

เป็นการใช้เทคนิคทางสถิติช่วยในการสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหา โดยที่ผลตอบที่สนใจจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย วัตถุประสงค์ของแผนการทดลองแบบนี้ คือ หาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบ

ให้กับปัจจัยนำเข้าที่มีผล ซึ่งมีอยู่ 2 แบบด้วยกันคือ แผนการออกแบบการทดลองส่วนผสมกลาง (Central Composite Design; CCD) และการออกแบบแผนการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design)

แผนการทดลองแบบ CCD และแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- แผนการออกแบบการทดลองแบบ CCD มีโครงสร้างมาจาก 2^kแฟคทอเรียล ทำการออกแบบโดยแบ่งระดับของปัจจัยนำเข้าเป็น 5 ระดับ ในช่วงของปัจจัยนำเข้าที่สนใจ มีพื้นที่การออกแบบเป็นทรงกลม (Sphere) และเพิ่มการออกแบบที่จุดศูนย์กลางมากกว่า 3 ครั้ง เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าความผันแปรของตัวแบบ โดยรัศมีของทรงกลมมีค่าเท่ากับรากที่สองของรัศมีวงกลม เมื่อกำหนดให้รัศมีวงกลมมีค่าเท่ากับ K โดยทั่วไปการทดลองแบบ CCD จะประกอบด้วยการทดลอง 3 ส่วน คือ ส่วนของการทดลองแบบแฟคทอเรียล การทดลองที่จุดศูนย์กลาง และการทดลองในส่วนของจุดแกน (Axial Point)
- แผนการทดลองแบบบ็อก-เบห์นเคน เป็นการทดลองที่มีประสิทธิภาพและนิยมใช้มากสำหรับกรณีศึกษาปัจจัยที่ 3 ระดับ โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องการสร้างสมการตัวแบบเมื่อปัจจัยเป็นเชิงปริมาณ การทดลองแบบนี้จะใช้หลักการของ 2^k การทดลองแฟคทอเรียลผนวกกับจุดกึ่งกลางรวมเข้าไป การทดลองนี้จะไม่ทำการพิจารณาที่จุดมุมซึ่งในบางกรณีจะต้องทำการพิจารณา จึงอาจทำให้กลายเป็นข้อด้อยของการทดลองแบบนี้

<u>การวิเคราะห์การทดลองแฟคทอเรียล</u>

การทดลองแฟคทอเรียลสามารถทำการวิเคราะห์ได้หลายวิธีด้วยกันขึ้นอยู่กับรูปแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่เลือกใช้ กรณีที่องศาเสรีของค่าผิดพลาดไม่เท่ากับศูนย์หรือปัจจัยไม่มีโครงสร้างซ้ำซ้อนก็สามารถวิเคราะห์ด้วยตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนได้ กรณีที่ใช้การทดลองเชิงแฟคทอเรียลบางส่วนหรือทำการทดลองเต็มรูปแต่ไม่มีการทำการทดลองซ้ำเช่นนี้จะทำให้องศาเสรีของค่าผิดพลาดเท่ากับ 0 จึงต้องใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยวิธีที่แตกต่างกัน คือ

1) การวิเคราะห์การทดลองเชิงแฟคทอเรียลบางส่วนโดยการเพิ่มจำนวนการทดลอง เพื่อแยกค่าผลกระทบของปัจจัยอื่นๆ ออกจากปัจจัยที่มีโครงสร้างซ้ำซ้อนกัน

2) เลือกใช้กระดาษแจกแจงความน่าจะเป็นของการแจกแจงปกติในการวิเคราะห์ (Normal Probability Plot Analysis) โดยกราฟที่ได้จะแสดงความสำคัญของปัจจัย อาศัยการลากเส้นตรงผ่านจุดให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และหากจุดใดอยู่ห่างจากเส้นตรงมากนั่นแสดงว่าปัจจัยนั้นมีผลต่อค่าตอบสนองมาก

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากในปัจจุบันในงานอุตสาหกรรมทุกประเภทจะต้องประสบปัญหาด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทำให้ต้องสูญเสียรายได้จากส่วนนี้ไปไม่น้อย จึงควรมีทำการปรับปรุงคุณภาพเพื่อลดต้นทุน ในส่วนนี้

(1) การใช้ซิกซ์ ซิกมาในการปรับปรุงคุณภาพ

วิธีการซิกซ์ ซิกมา ในปัจจุบันได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายเพื่อช่วยในการลดของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิต ยกตัวอย่างงานวิจัยดังนี้

ธีรพร (2550) ได้ใช้เครื่องมือซิกซ์ ซิกมา ช่วยในการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิตเลนส์พลาสติก เพื่อลดแม่แบบแก้วเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต การดำเนินงานวิจัยจะประกอบด้วย 5 ขั้นตอนตามหลักการซิกซ์ ซิกมา คือ ขั้นตอนนิยามปัญหา ขั้นตอนการวัด ขั้นตอนการวิเคราะห์ ขั้นตอนการปรับปรุง และขั้นตอนการควบคุม ในแต่ละขั้นตอนก็จะมีการคิดวิเคราะห์เพื่อให้ได้มาซึ่งสิ่งที่ตอบคำถามของขั้นตอนนั้นๆ ว่าแท้จริงแล้วปัญหาคืออะไร โดยจะต้องมีการศึกษาสภาพปัญหาในปัจจุบันทำการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการปรับปรุงให้ชัดเจน จากนั้นทำการวิเคราะห์ระบบการวัดทั้งความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด และประเมินความสามารถของกระบวนการในปัจจุบัน จากนั้นทำการระดมสมองของทีมงานที่มีประสบการณ์และความรู้ความเข้าใจในงานเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่คาดว่าจะมีผลต่อการเกิดของเสีย โดยใช้แผนภาพแสดงสาเหตุและผล และทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบช่วยในการวิเคราะห์ จากนั้นในขั้นตอนการวิเคราะห์มีการออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนของเสีย ในส่วนของระยะการปรับปรุงมีการทำการทดลองเพิ่มบางส่วนจากการทดลองก่อน เพื่อหาค่าที่ดีที่สุดให้กับปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อค่าสัดส่วนของเสีย และขั้นตอนสุดท้ายคือทำการติดตามควบคุม โดยมีการทำการทดลองยืนยันผล และจัดทำแผนควบคุมด้วยเลือกใช้เครื่องมือคุณภาพตามความเหมาะสมติดตามควบคุมทั้งปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง

ผลของการปรับปรุงในครั้งนี้พบว่าสัดส่วนของเสียลดลงจาก 0.25% เหลือ 0.083% และสามารถลดมูลค่าความสูญเสียได้ถึง 2,398,621 บาทต่อปี

ปาริชาติ (2552) ได้นำแนวความคิดซิกซ์ ซิกมา มาช่วยในการลดความผันแปรของหน้ากว้างของเทปโฟมอะครีลิคจากกระบวนการตัด เพื่อลดต้นทุนของเสียที่เกิดขึ้น โดยดำเนินขั้นตอนการวิจัย 5 ขั้นตอนตามหลักการซิกซ์ ซิกมา เริ่มต้นด้วยระยะการนิยาม จะมีการศึกษาสภาพปัญหา กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการปรับปรุง จากนั้นเข้าสู่ระยะการวัด จะทำการวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด รวมถึงวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิตในปัจจุบัน จากนั้นทำการระดมสมองหาปัจจัยนำเข้าที่คาดว่ามีผลต่อความผันแปรของขนาดหน้ากว้าง โดยทำแผนผังกระบวนการ ใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลช่วยจัดลำดับความสำคัญของปัจจัย ทำการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ จากนั้นในระยะการวิเคราะห์จะทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความผันแปรขนาดหน้ากว้างของโฟม จากนั้นในระยะการปรับปรุงจะทำการหาระดับปัจจัยที่ทำให้ค่าเฉลี่ยใกล้เป้าหมายมากที่สุด ค่าความเบี่ยงเบน

มาตรฐานมีค่าน้อยที่สุด ระยะสุดท้ายคือการติดตามควบคุม ทำการทดลองยืนยันผล จัดทำแผนควบคุมด้วยการเลือกใช้เครื่องมือคุณภาพที่เหมาะสมสำหรับติดตามปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง

ผลจากการปรับปรุงพบว่า ค่าเฉลี่ยเข้าใกล้ค่าเป้าหมาย 12 มม. มากขึ้น จาก 12.0324 มม. เป็น 12.0171 มม. ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงจาก 0.1088 เป็น 0.0504 มม. และความสามารถของกระบวนการดีขึ้น และลดมูลค่าความสูญเสียได้ถึง 4,713,992 บาทต่อปี

อาทิตย์ (2553) ได้นำหลักการซิกซ์ ซิกมา ในลดข้อบกพร่องในกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์ เพื่อลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากงานซ่อมข้อบกพร่องต่างๆ ที่เกิดขึ้น โดยข้อบกพร่องที่มีจำนวนมากและก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายสูงมีอยู่ด้วยกัน 7 ชนิด ได้แก่ ข้อบกพร่องประเภทเส้นใย สีเป็นคราบ สีเป็นรอยขีด เม็ดผง สีไหล เม็มพื้น และสีเป็นหลุมจากกระบวนการพ่นสี โดยมีเป้าหมายให้ลดลงไป 40% โดยมีการดำเนินงานตามขั้นตอนของซิกซ์ ซิกมา ผลหลังการปรับปรุงคือ สามารถลดจำนวนข้อบกพร่องเฉลี่ยต่อ 1 คันรถลงได้ 57% และสามารถลดค่าใช้จ่ายในงานซ่อมต่อคันลงได้ 55%

Raisinghani, Ette, Pierce, Cannon และ Daripaly (2005) ได้กล่าวถึงเครื่องมือที่ถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกมา ได้แก่

- การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis; MSA) เป็นสิ่งแรกที่ควรจะทำในการทำซิกซ์ ซิกมา ควรทำการวิเคราะห์ความสามารถของการวัดหรือทำการวิเคราะห์เครื่องมือวัด ซึ่งแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วนคือ วิเคราะห์ความผันแปรที่เกิดจากอุปกรณ์ (Repeatability) และความผันแปรที่เกิดจากความแตกต่างระหว่างพนักงานวัด (Reproducibility)
- การควบคุมกระบวนการ (Process Control) เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการค้นหาความเบี่ยงเบนของผลลัพธ์ ตลอดจนควบคุมค่าเฉลี่ยและช่วยตรวจจับความผิดปกติของกระบวนการได้เมื่อกระบวนการเกิดความเบี่ยงเบนมากๆ โดยเครื่องมือที่นิยมใช้ คือ การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (Statistical Process Control; SPC) คือใช้แผนภูมิควบคุมต่างๆ
- การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments; DOE) เป็นเครื่องมือที่นำมาใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าหลายๆตัวกับตัวแปรตอบสนอง ผลลัพธ์ที่ได้อาจเป็นความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงหรือไม่ก็ได้ ผลลัพธ์ของการทำการทดลองจะได้ออกมาในรูปของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่สามารถใช้ในการทำนายผลของตัวแปรตอบสนอง เพื่อหาค่าที่ดีที่สุด รวมถึงลดความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นในกระบวนการได้
- การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis; FMEA) เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการวิเคราะห์และขจัดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในกระบวนการ โดยจะทำการวิเคราะห์ในแต่ละขั้นตอนตามผังกระบวนการถึงความเป็นไปได้ของการเกิดความผิดพลาดนั้นๆ ขึ้นอยู่กับความรุนแรง โอกาสในการเกิด และความสามารถในการตรวจจับความผิดพลาด จากทั้ง 3 ส่วนนี้จะนำไปสู่การได้มาซึ่งค่า Relative Priority

Number (RPN) หากค่า RPN สูงแสดงว่ามีความวิกฤตมาก ต้องมีการแก้ไขในขั้นตอนหรือกระบวนนั้น

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าหลักการซิกซ์ ซิกมา นั้นถูกนำมาใช้ในงานการปรับปรุงคุณภาพโดยตรง ไม่ว่าตัวแปรตอบสนองที่จะทำการศึกษาจะเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ (Variable) หรือเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ (Attribute) ก็สามารถนำหลักการนี้มาประยุกต์ใช้ได้ ซึ่งมีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย 5 ขั้นตอนด้วยกัน คือ ขั้นตอนการนิยามปัญหา ขั้นตอนการวัด ขั้นตอนการวิเคราะห์ ขั้นตอนการปรับปรุง และขั้นตอนการควบคุม ซึ่งในแต่ละขั้นตอนจะมีการคิดวิเคราะห์โดยอาศัยเครื่องมือคุณภาพต่างๆ เข้ามาช่วยตามความเหมาะสม เพื่อให้การวิเคราะห์มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นและนำไปสู่การแก้ปัญหาได้อย่างแท้จริงและบรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ เครื่องมือที่ถูกเลือกมาใช้และทำให้การวิเคราะห์มีความชัดเจนมีอยู่หลายเครื่องมือ เช่น การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) การใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์สาเหตุและผล การใช้แผนภูมิควบคุมต่างๆ เป็นต้น ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของข้อมูลและข้อจำกัดอื่นๆ

นอกจากนี้ก็ยังมีงานวิจัยอื่นๆ อีกที่เลือกใช้หลักการซิกซ์ ซิกมา ไปช่วยในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้สามารถตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้า และเพิ่มความสามารถของกระบวนการในการผลิต ลดความมูลค่าความสูญเสียด้านตัวเงิน อย่างเช่นงานวิจัยของ John และ Jessika (2012) ก็ได้นำหลักการซิกซ์ ซิกมา ไปช่วยปรับปรุงคุณภาพของแร่ใยหินที่นำไปทำตัวกระเบื้องหลังคา โดยมีการใช้ขั้นตอน 5 ขั้นตอนตามหลักการซิกซ์ ซิกมา ในการทำการปรับปรุง ผลการปรับปรุงพบว่าสามารถเพิ่มระดับซิกมาจาก 4.91 เป็น 5.02 และมีระดับของ Defect Per Million (DPMO) จาก 200 เป็น 180

(2) การออกแบบการทดลองที่มีตัวแปรตอบสนองเป็นสัดส่วนของเสีย (Defective)

Bisgaard และ Fuller (1994) ได้นำเสนอเกี่ยวกับการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่มีตัวแปรตอบสนองเป็นสัดส่วนของเสีย เนื่องจากข้อมูลที่เป็นสัดส่วนของเสีย (Proportion Defectives) จะมีลักษณะการแจกแจงแบบทวินาม (Binomial Distribution) โดยตัวแปรตอบสนองลักษณะนี้จะมีความแปรปรวนไม่คงที่ จึงต้องมีการแปลงข้อมูลก่อนนำไปทำการวิเคราะห์ผลเพื่อหาปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง Bisgaard และ Fuller (1994) จึงได้นำเสนอสูตรสำหรับแปลงข้อมูล 2 วิธีด้วยกัน คือ การแปลงข้อมูลแบบมาตรฐาน (Standard Transformations หรือ Arcsine Square Root Transformations) และวิธีการแปลงข้อมูลของ Freeman และTukey (Freeman and Tukey’s (F&T) Modifications) ดังแสดงในตาราง 2.2

ตารางที่ 2. 3 สูตรการแปลงข้อมูลเมื่อปัจจัยตอบสนองเป็นสัดส่วนของเสียหรือจำนวนข้อบกพร่อง

Table 1.

The standard transformations and Freeman and Tukey's (F&T) modifications When using proportion of defectives or count of defects as the response

TYPE OF DATA	*TYPE OF DISTRIBUTION*	*TRANSFORMATION*	*F&T'S MODIFICATION*
Proportions ($\hat{p}$) (Defective units in a sample of n units)	Binomial	$\arcsin\sqrt{\hat{p}}$	$\frac{\left(arcsin\sqrt{\frac{n\hat{p}}{n+1}} + arcsin\sqrt{\frac{n\hat{p}+1}{n+1}}\right)}{2}$
Count ($\hat{c}$) (Defects on a unit)	Poisson	$\sqrt{\hat{c}}$	$\frac{(\sqrt{\hat{c}} + \sqrt{\hat{c}+1})}{2}$

(3) การหาขนาดตัวอย่าง (Sample Size) ของการทดลอง

Bisgaard และ Fuller (1992) ได้เสนอวิธีการคำนวณหาขนาดของตัวอย่างสำหรับกรณีที่ผลตอบหรือตัวแปรตอบสนองเป็นสัดส่วนของเสีย โดยสามารถคำนวณขนาดตัวอย่างได้โดยใช้สมการ 2.2 ซึ่งเป็นการทดสอบสองทาง (Two-Sided Test) และเงื่อนไขการผลิตปัจจุบันอยู่ตรงกึ่งกลางของช่วงของการออกแบบ

$$n = (z_{1-\frac{\alpha}{2}} + z_{1-\beta})^2/(N\delta^2) \tag{2.2}$$

โดย n คือ ขนาดตัวอย่างที่ต้องใช้

N คือ จำนวนการทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่ทำการทดลอง

δ คือ ค่าความแตกต่างของข้อบกพร่องที่ได้แปลงค่าแล้ว ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ 2.3 ต่อไปนี้

$$\delta = arcsin\left(\sqrt{p_0 + \Delta/2}\right) - arcsin\left(\sqrt{p_0 - \Delta/2}\right) \tag{2.3}$$

ในกรณีที่เงื่อนไขการผลิตปัจจุบันอยู่ที่จุดยอดของช่วงการออกแบบจะใช้สมการ 2.2 ในการคำนวณแต่ทำการทดสอบเพียงด้านเดียว (One-Sided Test) และค่าความแตกต่างของค่าที่ได้รับการแปลงข้อมูลจะกลายเป็นสมการ 2.4

$$\delta' = arcsin\left(\sqrt{p_0}\right) - arcsin\left(\sqrt{p_0 - \Delta}\right) \tag{2.4}$$

จากสมการคำนวณหาขนาดตัวอย่างด้วยวิธีข้างต้น สำหรับกรณีที่ยิ่งมีสัดส่วนของเสียน้อยมากๆ จะส่งผลให้ขนาดตัวอย่างยิ่งมีจำนวนมากขึ้น Bisgaard และ Gertsbakh (1997) จึงได้นำเสนอวิธีการหาขนาดตัวอย่างสำหรับกรณีที่มีสัดส่วนของเสียน้อยมากๆ เรียกวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบส่วนกลับทวินาม (Inverse Binomial Sampling) ซึ่งเป็นวิธีที่ทำการทดลองไปจนกระทั่งมีจำนวนของเสียเท่ากับค่าคงที่ (r) ตัวแปรตอบสนองของวิธีนี้คือจำนวนที่ทำการผลิตจนเจอจำนวนของเสียครบ r ชิ้น โดยข้อดีของการใช้วิธีดังกล่าว คือ สามารถทราบจำนวนของเสียทั้งหมดที่จะเกิดขึ้นในการทดลองได้ตั้งแต่ก่อนเริ่มการเก็บข้อมูล แต่ข้อเสีย คือ จะไม่สามารถประมาณระยะเวลาในการทำการทดลองในครั้งนี้ได้ ซึ่งการเลือกค่ากฎการหยุด (Stopping Rule; r) มีวิธีการดังต่อไปนี้

- ทำการคำนวณค่า b(r) จากสมการ 2.5 เพื่อนำไปเปิดตารางหาค่า r ต่อไป

$$b(r) = \frac{\Delta\sqrt{N}}{2\left(Z_{1-\frac{\alpha}{2}}+Z_{1-\beta}\right)\theta_0\sqrt{1-\theta_0}} \quad (2.5)$$

โดย Δ คือ ค่าความเปลี่ยนแปลงที่น้อยที่สุดของสัดส่วนของเสียที่ต้องการตรวจจับ

N คือ จำนวนของการทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่ทำการทดลอง

$\boldsymbol{\Theta}_0$ คือ ค่าประมาณของเปอร์เซ็นต์ของเสียปัจจุบัน

- เมื่อได้ค่า b(r) มาแล้วจึงนำค่านี้ไปเปิดตาราง 2.3 เพื่อหาค่า r ที่มีค่าของ b(r) ตรงหรือใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณมา

ตารางที่ 2. 4 ค่ากฎการหยุด (r) และค่า b(r)

R	b(r)	R	b(r)	R	b(r)
2	1.315	22	0.222	60	0.131
3	0.853	24	0.212	62	0.129
4	0.659	26	0.203	64	0.126
5	0.553	28	0.193	66	0.124
6	0.485	30	0.189	68	0.123
7	0.436	32	0.182	72	0.119
8	0.401	34	0.176	76	0.116
9	0.372	36	0.171	80	0.113
10	0.349	38	0.167	84	0.110
11	0.329	40	0.161	88	0.108
12	0.313	42	0.158	92	0.105
13	0.298	44	0.154	96	0.103
14	0.286	46	0.151	100	0.101
15	0.275	48	0.148	110	0.096
16	0.265	50	0.144	120	0.092
17	0.256	52	0.141	130	0.088
18	0.249	54	0.138	140	0.085
19	0.241	56	0.136	150	0.082
20	0.234	58	0.133	160	0.080

แต่ถ้าค่าที่ต้องการไม่ปรากฏในตาราง 2.3 นั่นคือ r > 160 สามารถคำนวณค่า r ได้จากสมการ 2.6

$$r \approx \frac{4\left(Z_{1-\frac{\alpha}{2}}+Z_{1-\beta}\right)^2\theta_0^2(1-\theta_0)}{\Delta^2 N} + 2 \quad (2.6)$$

เมื่อได้ค่า r ก็สามารถนำไปกำหนดรูปแบบในการเก็บข้อมูลการทดลองได้ และนำไปสู่การวิเคราะห์ต่อไป แต่วิธีการมีความเหมาะสมกับการผลิตแบบต่อเนื่อง ซึ่งเป็นการผลิตที่มีลักษณะแบบชุด (Batch) หรือขนาดของรุ่น (Lot Size) ใหญ่ๆ

(4) การออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่คาดว่ามีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องของเส้นด้าย

หลังจากที่ได้ข้อมูลจากการทดลองโดยใช้รูปแบบการทดลองที่มีการสุ่มตัวอย่างแบบ วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบส่วนกลับทวินาม (Inverse Binomial Sampling) จึงจำเป็นต้องมีการแปลงค่าตัวแปรตอบสนองหรือค่าข้อมูลที่ได้ก่อนนำไปทำการวิเคราะห์เพื่อให้การวิเคราะห์ไม่เกิดความคลาดเคลื่อน ซึ่ง Bisgaard และ Gertsbakh (1997) ได้นำเสนอวิธีการแปลงค่าข้อมูลที่มีการสุ่มตัวอย่างแบบส่วนกลับทวินาม (Inverse Binomial Sampling) ไว้ดังนี้ หลังจากที่ได้เก็บข้อมูลมาแล้วจะต้องทำการแปลงค่าข้อมูลด้วยสมการ 2.7

$$\varphi(\hat{\theta}) = \sinh^{-1}\sqrt{\frac{Y-r+3/8}{r-3/4}} \qquad (2.7)$$

การวิเคราะห์ข้อมูลที่มีการสุ่มตัวอย่างแบบส่วนกลับทวินาม (Inverse Binomial Sampling) นั้นเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยให้สามารถควบคุมจำนวนของเสียที่จะเกิดในการทดลองได้ ซึ่งมีความเหมาะสมอีกวิธีหนึ่งในการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองแบบ 2^{k-q} และมีตัวแปรตอบสนอง (Response) เป็นแบบ Binary

Ruhollah และ Aminoddin (2013) ได้นำเสนอเกี่ยวกับการออกแบบการทดลองพื้นผิวผลตอบเพื่อศึกษาผลกระทบจากอัตราการดึงยืดของเส้นด้าย ซึ่งในการทำการทดลองพิจารณาผลตอบสนอง 3 ตัว ได้แก่ อัตราการหดตัวของเส้นได้ ความแข็งแรงของเส้นด้าย และการยืดตัวก่อนขาดของเส้นด้าย โดยปัจจัยนำเข้าที่นำมาทำการศึกษา ได้แก่ อัตราการดึงยืดของ Godet roller 1, อัตราการดึงยืดของ Godet roller 2 และ อัตราการดึงยืดของ Godet roller 3 เนื่องจากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบถึงปัจจัยที่อาจมีผลต่อลักษณะข้อบกพร่องด้านคุณภาพเส้นด้ายคือ อัตราการดึงยืดนั้นขึ้นอยู่กับความเร็วของ Godet Roller และอัตราการหดตัวของเส้นด้ายขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของ Godet Roller

Liqian, H., et al. (2012) ได้นำเสนอเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลในกระบวนการ Pre-Oriented Yarn (POY)/Fully Drawn Yarn (FDY) เส้นด้ายโพลิเอสเตอร์คือ อุณหภูมิของการปั่นด้าย ความเร็วของการไหลของพอลิเมอร์ อุณหภูมิของลมในการทำให้เส้นด้ายเย็นลง และความเร็วของการปั่นเส้นด้าย ปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อความตึงของเส้นด้าย เนื่องจากถ้าเส้นด้ายตึงเกินไปจะทำให้มีโอกาสขาดได้มากขึ้น

Hui, J., et al. (2009) ได้นำเสนอเกี่ยวกับความสำคัญของการทำความสะอาด Spin Pack ในกระบวนการผลิตเส้นด้ายโพลิเอสเตอร์ เนื่องด้วย Spin Pack เป็นหนึ่งในทางผ่านของเส้นด้ายขณะทำการผลิตซึ่งหาก Spin Pack ไม่สะอาดอาจส่งผลให้การไหลของพอลิเมอร์ไม่สม่ำเสมอ อาจส่งผลให้เส้นด้ายขาดได้

Chulalongkorn University

Ho, Y.-S., et al. (2010) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับกำหนดเงื่อนไขให้กับปัจจัยของการปั่นด้ายและการดึงยืดเส้นด้ายมีผลกระทบต่อคุณภาพของเส้นด้าย ซึ่งปัจจัยที่มีผลได้แก่ ความเร็วของการปั่นด้าย อุณหภูมิของการปั่นด้าย ความเร็วของ Godet Roller ความเร็วของ Winder และความดันไอน้ำจากความเร็วของ Godet Roller ปัจจัยเหล่านี้ยังส่งผลต่ออัตราส่วนการดึงยืดเส้นด้ายอีกด้วย ซึ่งหากการดึงยืดไม่เหมาะสมก็อาจส่งผลให้เกิดภาวะเส้นด้ายขาดได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3

การนิยามปัญหา

ระยะการนิยามปัญหานี้ถือเป็นขั้นตอนเริ่มแรกของวิธีซิกซ์ ซิกมา ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมากที่จะกำหนดทิศทางของการปรับปรุงปัญหาคุณภาพที่เกิดขึ้น ในบทนี้จะมีการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการผลิตและสภาพปัญหาในปัจจุบันของโรงงาน ทำการเปรียบเทียบกำลังการผลิตของผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิตในกระบวนการผลิตเดียวกัน พิจารณาถึงต้นทุนของการเกิดของเสีย จากนั้นนำข้อมูลต่างๆ ที่เก็บรวบรวมมาประกอบการวิเคราะห์เพื่อให้เห็นถึงปัญหาที่มีความสำคัญในอันดับต้นๆ ซึ่งทำให้สามารถแก้ปัญหาได้อย่างตรงจุด โดยจะมีการกำหนดปัญหาที่จะทำการปรับปรุง กำหนดวัตถุประสงค์และเป้าหมาย ระยะเวลาโดยประมาณในการทำโครงการ รวมทั้งจัดตั้งทีมคณะทำงานเพื่อระดมสมองในการวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริง ซึ่งจะเป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญในการนำไปสู่การกำหนดแนวทางในการปรับปรุงที่มีประสิทธิภาพต่อไป ระยะนิยามปัญหามีรายละเอียดดังนี้

3.1 การจัดตั้งทีมคณะทำงาน

ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้ได้มีการจัดตั้งทีมคณะทำงาน โดยในทีมนั้นจะประกอบไปด้วยบุคลากรจากฝ่ายต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาข้อบกพร่องที่จะนำมาทำการแก้ปัญหา เพื่อช่วยกันให้รายละเอียดของขั้นตอนต่างๆ ที่ต้องทำได้มีการดำเนินการไปอย่างราบรื่นและมีระบบ โดยในทีมคณะทำงานจะประกอบด้วย

- ผู้จัดการฝ่ายการปั่นเส้นด้ายโพลิเอสเตอร์ (Polyester Spinning Section)
- ผู้จัดการฝ่ายการดึงยืดและตีเกลียวเส้นด้ายไนลอน (Nylon Draw Twisting Section)
- ผู้จัดการฝ่ายประกันคุณภาพ (Quality Assurance Section)
- วิศวกรเครื่องกล
- วิศวกรควบคุมการผลิตฝ่ายการปั่นเส้นด้ายโพลิเอสเตอร์

นอกจากนี้ยังมีรองผู้อำนวยการฝ่ายผลิตซึ่งจะเป็นผู้ที่ดูแลให้คำปรึกษาและอนุมัติในการดำเนินงานในขั้นตอนต่างๆ สามารถกระทำได้อย่างราบรื่น โดยบุคลากรแต่ละคนในทีมจะนำมีการนำข้อมูลที่ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาจากส่วนงานของตน ไม่ว่าจะเป็นลักษณะข้อบกพร่อง จำนวนของเสียที่เกิดขึ้น สภาพปัญหาของเครื่องจักรในปัจจุบัน ต้นทุนที่เกิดจากการเกิดเป็นของเสีย เหล่านี้เป็นต้นมาทำการระดมสมองและวิเคราะห์คัดเลือกหาสาเหตุ และดำเนินการปรับปรุงแก้ไข เพื่อลดสัดส่วนของเสียของเส้นด้ายที่เกิดขึ้นในกระบวนการดึงยืดเส้นด้าย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2 ศึกษากระบวนการผลิตดึงยืดเส้นด้าย (Direct Spin Draw process)

กระบวนการดึงยืดเส้นด้ายจะเริ่มต้นจากการดูด Dry Chip มาเก็บที่ Dry Chip Hopper จาก Silo Tank โดยอัตโนมัติในการผลิต จะมี Line การทำ DSD และมีขั้นตอนการผลิต 2 ขั้นตอน ดังนี้

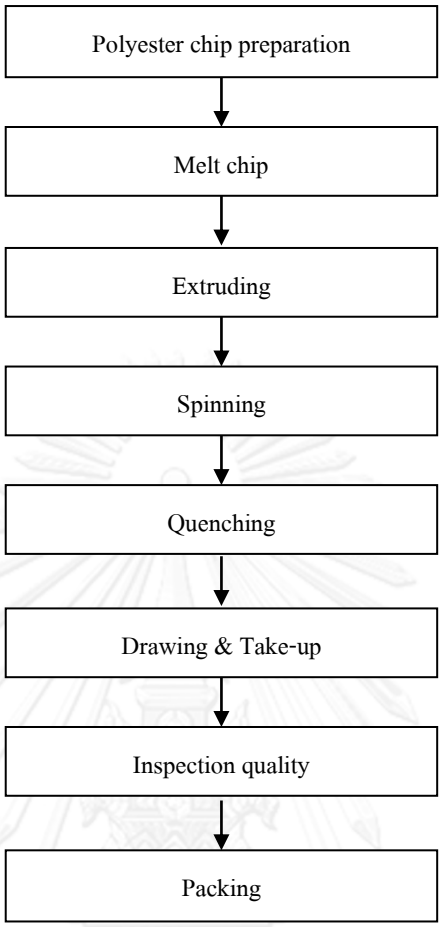
1) Spinning and Quenching

เมื่อ Chip จาก Dry Chip Hopper ถูกถ่ายเข้าสู่ Line การทำ DSD จะผ่านเข้า Extruder ในแนวนอนและภายใน Extruder จะมีการ Heat (ไอน้ำมัน Dowtherm) ด้วยกัน 4จุด ซึ่งแต่ละจุดจะมีอุณหภูมิตาม Condition และ Chip จะถูกอัดไปตามเกลียวของ Extruder พอมาถึงช่วงสุดท้ายจะเริ่มหลอมเหลวเป็น Polymer เหลว แล้วจะผ่าน Heating Box และ Spin Box (ซึ่งจะมีอุณหภูมิตาม Condition) หลังจากนั้นจะถูกอัดเข้าไปใน Metering Pump ทั้ง 2 ตัว และ MP จะอัดผ่านรู Spinneret ของ Spinning Pack เป็นเส้นด้ายออกมา ผ่าน Heating Hood และ Insulation Hood เพื่อไม่ให้เย็นตัวเร็วเกินไป แล้วจะถูกทำให้เย็นตัวด้วย Quenching Air (ซึ่งจะใช้ลมเป่าที่มีอุณหภูมิตาม Condition) เพื่อไปเข้าขั้นตอนต่อไป

2) Drawing and Take-up

เมื่อเส้นด้ายเย็นตัวด้วย Quenching Air และจะผ่านให้เข้าไปใน Drawing Zone ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้เส้นด้ายยืดตัวเป็นผลิตภัณฑ์ โดยการให้เส้นด้ายผ่าน Finish Oil นำไปยืดและทำให้อยู่ตัวโดยใช้ Godet Roller (GR) ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายจุด แต่ละชุดจะมีการหมุนรอบและให้ความร้อนไม่เท่ากันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ Condition ตามที่กำหนด และระยะห่างระหว่าง GR แต่ละตัวก็ไม่เท่ากัน อีกทั้งยังมี Air Guide เป่าลมให้เส้นด้ายเย็นตัว ในช่วงระยะห่างด้วย (ความเร็วและอุณหภูมิของลมขึ้นอยู่กับ Condition) หลังจากผ่าน GR ครบแล้ว เส้นด้ายจะถูกม้วนเข้า Paper Tube เมื่อน้ำหนักได้ตามที่กำหนด จะมีเครื่อง Take-Up (หุ่นยนต์) ทำการ Doffing เอาม้วนเส้นด้ายออกจากเครื่อง (หากเครื่องมีปัญหาก็สามารถ Doffing โดย Manual ก็ได้) หลังจากนั้นจะนำม้วนด้ายไป Check ถ้า OK ก็ Packing ส่งให้ลูกค้า

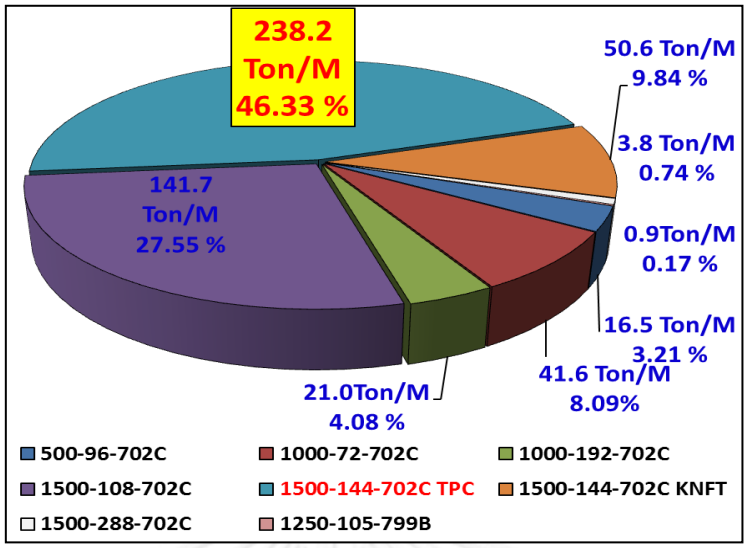
Chulalongkorn University



รูปที่ 3. 1 กระบวนการผลิตเส้นด้ายประเภท DSD

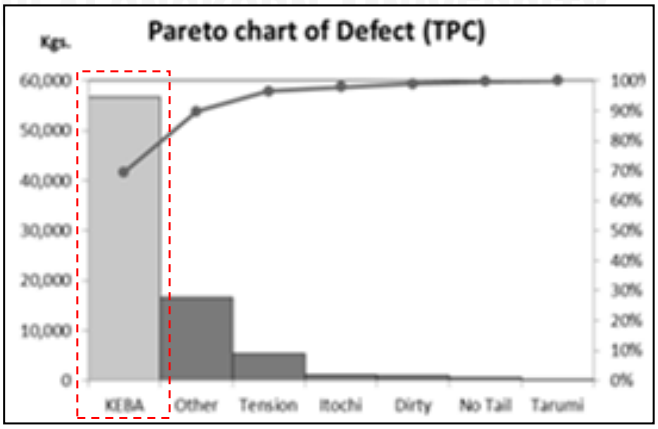
3.3 สภาพปัญหาในปัจจุบัน

หลังจากทำการศึกษากระบวนการผลิตแล้ว จากนั้นทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและทำการศึกษาสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการดึงยืดเส้นด้าย พบว่าจากการศึกษาข้อมูลในปี พ.ศ.2556 ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงกรกฎาคมของกระบวนการผลิตเส้นด้ายพบว่าเส้นด้ายประเภท DSD มีกำลังการผลิตและสัดส่วนของเสียเกิดขึ้นค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับประเภทเส้นด้าย POY, CONV และ SEW ซึ่งเป็นเส้นด้ายประเภทหลักที่ทางโรงงานกรณีศึกษาได้ดำเนินการผลิตอยู่ ดังนั้นในการทำงานวิจัยครั้งนี้จึงเลือกทำการปรับปรุงเส้นด้ายประเภท DSD ซึ่งเส้นด้ายประเภทนี้มีอยู่หลายรุ่นผลิตภัณฑ์ด้วยกัน โดยรุ่นผลิตภัณฑ์ที่เลือกมาทำการศึกษาคือรุ่น 1500-144-702C เนื่องจากเป็นรุ่นของเส้นด้าย DSD ที่กำลังการผลิตสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับรุ่นอื่นๆ ในประเภทเส้นด้ายเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งมีกำลังการผลิตอยู่ที่ 46.33%

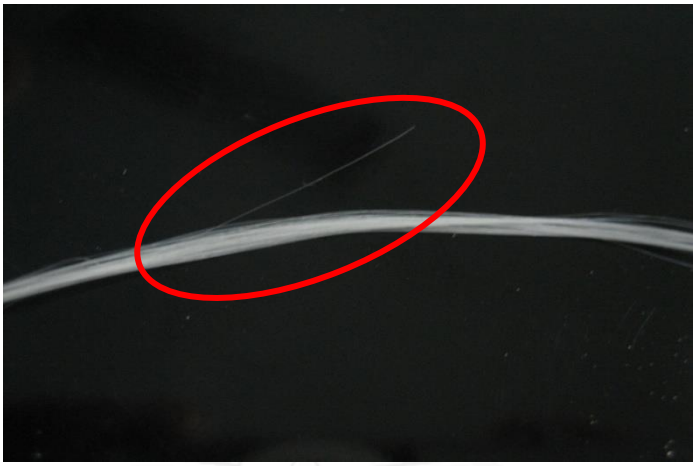


รูปที่ 3. 2 แผนภูมิแสดงสัดส่วนการผลิตของผลิตภัณฑ์ของเส้นด้าย DSD

หลังจากที่เลือกเส้นด้ายประเภท DSD รุ่น 1500-1440702C TPC ที่จะนำมาทำการปรับปรุงแล้ว ได้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาด้านคุณภาพของเส้นด้ายประเภทนี้อีกว่าปัญหาคุณภาพใดที่ก่อให้เกิดของเสียมากที่สุด ซึ่งก็พบว่าปัญหาที่มีผลกระทบกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์เส้นด้ายและต้นทุนในการผลิตปัจจุบันอย่างมากคือ ปัญหาเส้นด้ายเป็นขน (Broken filament or Keba) ทำให้ค่าเฉลี่ยราคาขายต่ำกว่าต้นทุนการผลิต เนื่องจากราคาขายของเส้นด้ายเป็นขนต่ำกว่าราคาขายปกติและเปอร์เซ็นต์ของเสียจากข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขนค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะข้อบกพร่องประเภทอื่นๆ ดังแสดงในแผนภาพพาเรโตรูปที่ 3.3 ลักษณะข้อบกพร่องของเส้นด้ายเป็นขนนั้นมีสาเหตุหลักๆ มาจากตัวเครื่องจักรที่ทำการผลิตเส้นด้าย และค่าต่างๆ ที่เกิดจากการปรับตั้งเครื่องจักร หากเกิดเส้นด้ายเป็นขนขึ้นจะไม่สามารถทำการซ่อมแก้ไข (Rework) ได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์เส้นด้ายม้วนนั้นๆ กลายเป็นของตกเกรด (Subgrade) ราคาขายของตกเกรดต่ำกว่าของดีหรือเส้นด้ายม้วนที่ไม่เป็นขน ทางโรงงานกรณีศึกษาจึงสูญเสียรายได้จากเส้นด้ายที่ผลิตออกมาแล้วกลายเป็นของตกเกรด และรูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นถึงลักษณะเส้นด้ายที่มีข้อบกพร่องประเภทเส้นด้ายเป็นขน

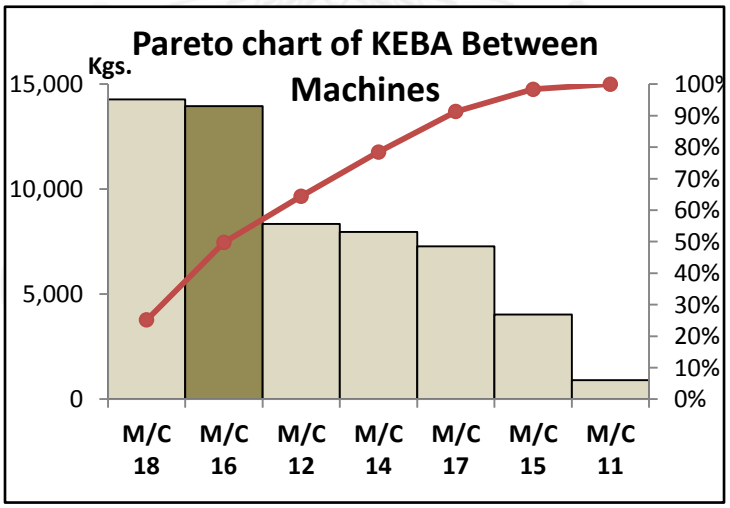


รูปที่ 3. 3 แผนภาพพาเรโตแสดงสัดส่วนของเสียของข้อบกพร่องประเภทต่างๆ



รูปที่ 3. 4 ลักษณะข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขน

หลังจากเลือกลักษณะข้อบกพร่องที่จะทำการปรับปรุงได้แล้ว ก็จะมาทำการวิเคราะห์เลือกว่าจะใช้เครื่องจักรตัวใดมาใช้ในการทำการปรับปรุง ซึ่งจากรูปที่ 3.5 เป็นแผนภาพพาเรโตที่แสดงให้เห็นกำลังการผลิตของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตเส้นด้าย DSD รุ่น 1500-144-702C อยู่ในปัจจุบัน จากรูปแสดงให้เห็นว่าเครื่องจักรที่มีกำลังการผลิตประเภทเส้นด้ายที่เลือกมาทำการปรับปรุงนั้นมีอยู่ 2 เครื่องจักรด้วยกันที่มีกำลังการผลิตสูงใกล้เคียงกัน คือ เครื่องจักรที่ 18 และ เครื่องจักร 16 แต่ในการทำการปรับปรุงในครั้งนี้จะเลือกใช้เครื่องจักรที่ 16 เนื่องจากเป็นเครื่องจักรที่มีการผลิต 1500-144-702C อย่างต่อเนื่องและมีปริมาณของข้อบกพร่องที่มีลักษณะเส้นด้ายเป็นขน ที่สูง ในขณะที่เครื่องจักร 18 ผลิต 1500-144-702C ไม่ต่อเนื่อง



รูปที่ 3. 5 แผนภาพพาเรโตแสดงกำลังการผลิตของเครื่องจักรที่มีการผลิต 1500-144-702C

3.4 กำหนดวัตถุประสงค์และเป้าหมาย

จากสภาพปัญหาที่พบในปัจจุบัน จึงสรุปได้ว่าในการทำงานวิจัยครั้งนี้จึงเลือกทำการปรับปรุงเส้นด้ายประเภท DSD รุ่นผลิตภัณฑ์ 1500-144-702C เพื่อลดสัดส่วนของเสียของลักษณะข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขน โดยเลือกเครื่องจักร 16 เป็นเครื่องจักรต้นแบบสำหรับการปรับปรุง ซึ่งเปอร์เซ็นต์ของเสียในปัจจุบันอยู่ที่ 3.35% มีเป้าหมายที่จะลดสัดส่วนของเสียลงอย่างน้อย 50% หรือสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขนอยู่ที่ต่ำกว่า 1.67%

3.5 สรุประยะนิยามปัญหา

ในขั้นตอนการนิยามปัญหา ได้มีการจัดตั้งทีมคณะทำงานสำหรับการช่วยกันในการระดมสมองเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาและหาปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขน ตลอดจนดำเนินงานวิจัยและการสนับสนุนการทดลองต่างๆโดยทำการศึกษากระบวนการผลิตและสภาพปัญหาในปัจจุบันของโรงงานอย่างละเอียด เพื่อกำหนดปัญหาและเป้าหมายที่จะทำการปรับปรังดังนี้คือ ทำการลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขนของเส้นด้ายประเภท DSD รุ่นผลิตภัณฑ์ 1500-144-702C โดยมีเป้าหมายที่จะลดสัดส่วนของเสียในปัจจุบันจาก 3.35% ให้ลดลงเหลือไม่เกิน 1.67% หรือลดลงอย่างน้อย 50% ของสัดส่วนของเสียในปัจจุบัน และสามารถมองภาพรวมของโครงการที่แสดงใน Project Charter ตารางที่ 3.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3. 1 Project Charter

<table>
<tr><td rowspan="3">Six Sigma Project Charter</td><td colspan="4">DEFECTIVE REDUCTION FROM BROKEN FILAMENT DEFECT IN DIRECT SPIN DRAW PROCESS</td></tr>
<tr><td>Project Leader</td><td>Champion</td><td>Executive Sponsor</td><td>Master Black Belt</td></tr>
<tr><td>Surachai</td><td>Kittipong</td><td>Anukool</td><td>Tawatchai</td></tr>
<tr><td>Problem Statement</td><td colspan="4">Project Matrix</td></tr>
<tr><td rowspan="5">ในกระบวนการดึงยืดเส้นด้ายประสบกับปัญหาด้านคุณภาพเป็นเวลานาน โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์เส้นด้าย DSD ชนิด 1500-144-702C พบข้อบกพร่องประเภทเส้นด้ายเป็นขน มีสัดส่วนของเสียอยู่ที่ 3.35% หรือประมาณ 80% ของปัญหาคุณภาพเส้นด้ายชนิดนี้ ส่งผลต่อต้นทุนคุณภาพเป็นเงิน 585,486 บาทต่อปี</td><td colspan="2">Business Metric:</td><td colspan="2">ความพึงพอใจของลูกค้า</td></tr>
<tr><td colspan="2">Primary Metric:</td><td colspan="2">สัดส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขน</td></tr>
<tr><td colspan="2">Secondary Metric:</td><td colspan="2">จำนวนม้วนเส้นด้ายตกเกรด (Subgrade)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Consequential Metric:</td><td colspan="2">การเกิดปัญหาเส้นด้ายหย่อน (Tarumi)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Financial Metric:</td><td colspan="2">ต้นทุนคุณภาพ</td></tr>
<tr><td>Objective</td><td colspan="4">Project Timeline</td></tr>
<tr><td rowspan="4">หาแนวทางสำหรับปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดสัดส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขนลงอย่างน้อย 50%</td><td colspan="2">Phase</td><td>Start</td><td>Finish</td></tr>
<tr><td colspan="2">Define</td><td>20/07/56</td><td>15/08/56</td></tr>
<tr><td colspan="2">Measure</td><td>01/08/56</td><td>15/09/56</td></tr>
<tr><td colspan="2">Analyze</td><td>01/09/56</td><td>31/10/56</td></tr>
<tr><td rowspan="2">ทำการศึกษาเส้นด้ายประเภท DSD รุ่นผลิตภัณฑ์ 1500-144-702C ในกระบวนการดึงยืดเส้นด้ายที่เครื่องจักร 16</td><td colspan="2">Improve</td><td>01/10/56</td><td>15/12/56</td></tr>
<tr><td colspan="2">Control</td><td>01/11/56</td><td>31/01/57</td></tr>
</table>

บทที่ 4

การวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา

เมื่อเราทำการนิยามปัญหาที่เกิดขึ้นแล้ว สิ่งที่ต้องทำถัดมาจะเป็นในส่วนของการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น ซึ่งจะต้องอาศัยเครื่องมือทางคุณภาพและสถิติช่วยในการวิเคราะห์หาสาเหตุที่เป็นไปได้ เริ่มต้นด้วยการวิเคราะห์ความเที่ยงและความแม่นของระบบการวัด (Gauge Repeatability and Reproducibility; GR&R) ในการตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขน เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์หาสาเหตุ แล้วจึงทำการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าต่างๆ ที่อาจมีผล (Key Process Input Variables) ต่อไป โดยใช้เครื่องมือต่างๆ ทางคุณภาพเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ เช่น ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) เกณฑ์ของการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effects Analysis) เป็นต้น

4.1 การวิเคราะห์ความเที่ยงและความแม่นของระบบการวัด

ในการตรวจสอบการเกิดเส้นด้ายเป็นขน ได้ใช้ตัวเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งอยู่บนเครื่องจักร ผลการวัดจึงขึ้นอยู่กับตัวเซ็นเซอร์ ไม่ได้ขึ้นอยู่กับคน จึงทำการประเมินแต่ความเที่ยงของการวัด ในงานวิจัยครั้งนี้ทางโรงงานกรณีศึกษาได้มีการตรวจสอบระบบการวัดอย่างสม่ำเสมอทุกๆ เดือน โดยการนำเครื่องมือมาตรฐานในการปรับตั้งค่าที่ถูกต้องมาทำการสอบเทียบกับตัวเซ็นเซอร์ตรวจจับการเกิดเส้นด้ายเป็นขนที่เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตเส้นด้าย DSD ดังนั้นจึงถือได้ว่าระบบการวัดที่มีอยู่แล้วของโรงงานกรณีศึกษานั้นมีความน่าเชื่อถือได้ หลังจากตรวจสอบระบบการวัดเรียบร้อยแล้วจะทำการระดมสมองเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาต่อไป

4.2 การระดมสมอง (Brainstorming) เพื่อหาปัจจัยนำเข้า

ในส่วนนี้เป็นการรวบรวมความคิดของคณะทีมทำงานที่ได้มีการจัดตั้งขึ้น ซึ่งประกอบด้วย ผู้จัดการฝ่ายการปั่นเส้นด้ายโพลิเอสเตอร์ 1 คน ผู้จัดการฝ่ายการดึงยืดและตีเกลียวเส้นด้ายไนลอน 1 คน ผู้จัดการฝ่ายประกันคุณภาพ 1 คน วิศวกรเครื่องกล 1 คน วิศวกรควบคุมการผลิตฝ่ายการปั่นเส้นด้ายโพลิเอสเตอร์ 1 คน และรองผู้อำนวยการฝ่ายผลิต 1 คน รวมเป็น 6 คนโดยมีขั้นตอนในการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขน ดังนี้

- ทำการระดมความคิดในการหาสาเหตุที่เป็นไปได้ของการเกิดข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขนโดยใช้หลักการ 5M1E เพื่อให้การระดมความคิดนั้นมีระบบและครอบคลุมมากยิ่งขึ้น จากนั้นนำปัจจัยที่เป็นสาเหตุที่ได้จากการระดมสมองนั้นมาทำการให้คะแนนความสำคัญ ซึ่งใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล เพื่อช่วยลำดับความสำคัญของปัจจัยจากคะแนนที่ได้รวบรวมมาเพื่อทำการตัดปัจจัยที่คาดว่ามีโอกาสส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขนที่มีคะแนนน้อยออกไป
- นำปัจจัยจากการวิเคราะห์ด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลที่เหลือซึ่งคาดว่ามีผลต่อการเกิดเส้นด้ายเป็นขนมาทำการวิเคราะห์ต่อด้วยการประยุกต์ใช้เกณฑ์ของการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ โดยทำการระดมสมองอีกครั้งเพื่อวิเคราะห์เกี่ยวกับปัจจัยที่คาดว่า

เป็นสาเหตุหรือมีผลต่อการเกิดเส้นด้ายเป็นขนให้ละเอียดลงไปอีกในหัวข้อของโอกาสที่จะเกิด (Occurrence Score: O) และความสามารถในการตรวจจับ (Detection Score: D)

4.2.1 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์สาเหตุและผล

จากการระดมสมองของทีมงานด้วยหลักของ 5M1E ทำให้ได้ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดเส้นด้ายเป็นขนที่เป็นลักษณะข้อบกพร่องที่ได้เลือกมาทำการแก้ไข ซึ่งมีทั้งหมด 33 ปัจจัย จากนั้นทำการให้ทีมทำงานช่วยกันให้คะแนนความสำคัญแก่ปัจจัยนั้นๆ เพื่อกรองปัจจัยที่คาดว่ามีผลต่อการเกิดเส้นด้ายเป็นขนและนำไปทำการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ละเอียดเพื่อทำการปรับปรุงต่อไป และตัดปัจจัยที่มีความสำคัญหรือมีผลน้อยต่อการเกิดเส้นด้ายเป็นขนออกไป โดยใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล ทำการให้คะแนนประเมินความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล ซึ่งได้ทำการกำหนดเกณฑ์คะแนนระดับความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4. 1 เกณฑ์การให้คะแนนการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล

ระดับความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล	คะแนน
1. ระดับสูง คือเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ในการก่อให้เกิดข้อบกพร่องมาก	9
2. ระดับปานกลาง คือเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ในการก่อให้เกิดข้อบกพร่องปานกลาง	4
3. ระดับต่ำ คือเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ในการก่อให้เกิดข้อบกพร่องน้อย	1

ให้ทีมงานรวมถึงบุคลากรที่อยู่หน้างานจริงหรือผู้ที่มีความชำนาญกับกระบวนการผลิตเส้นด้ายที่เลือกมาทำการศึกษาทำการลงคะแนนประเมินความสัมพันธ์ด้วยหลักเกณฑ์ในตารางที่ 4.1 จากนั้นทำการพิจารณาคะแนนที่ได้ถูกประเมินมานั้นว่ามีความสอดคล้องระหว่างบุคลากรในทีมงานมากน้อยเพียงใด หากปัจจัยใดมีความสอดคล้องของคะแนนสูงจะกำหนดคะแนนความสัมพันธ์ของปัจจัยนั้นด้วยค่าฐานนิยม หากมีปัจจัยใดมีค่าคะแนนที่ไม่สอดคล้องกันสูงระหว่างบุคลากรในทีมงานก็จะให้ทีมงานอภิปรายกันอีกครั้งเพื่อตัดสินใจว่าจะให้ปัจจัยนั้นๆ มีคะแนนความสัมพันธ์อยู่ในระดับใด การทำเช่นนี้เพื่อประหยัดเวลาที่จะไม่ต้องอภิปรายกันในเรื่องของปัจจัยที่มีความสอดคล้องของคะแนนกันสูงอยู่แล้ว ตารางที่ 4.2 แสดงผลสรุปจากการลงคะแนน หลังจากนั้นจะนำปัจจัยที่มีผลโดยตรงในระดับสูงไปทำการวิเคราะห์ต่อไป

ในการทำการประเมินความความสำคัญของปัจจัยที่คาดว่ามีผลต่อการเกิดเส้นด้ายเป็นขนของบุคลากรภายในทีมรวมถึงบุคลากรที่อยู่หน้างานจริง พบว่ามีบางปัจจัยได้แก่ ความเหนียวของ Chip ผิดปกติ ลม Chimney แรงหรือเบาเกินไป ผิวหน้า Spinneret สกปรก Oiling Roll สกปรกหรือเป็นรอย ตำแหน่ง Gatthering Guide ไม่ดี Gatthering Guide สึกหรอหรือเป็นรอย เซ็นเซอร์วัดความตึงเส้นด้ายเป็นรอย กราฟแสดงความตึงของเส้นด้ายผิดปกติ ความเร็วของ Winder ผิดปกติ Roller Bail เป็นรอย เซ็นเซอร์ในการตรวจจับข้อบกพร่องชำรุด และเซ็นเซอร์ในการตรวจจับข้อบกพร่องอ่านค่าผิด โดยปัจจัยเหล่านี้เป็นปัจจัยบุคลากรทำการประเมินไม่สอดคล้องกัน จึงได้มีการอภิปรายร่วมกันถึงปัจจัยที่ได้กล่าวไปข้างต้น เพื่อทำการประเมินคะแนนให้กับแต่ปัจจัยใหม่ก่อนทำ

การคำนวณค่าฐานนิยม หลังจากทำการอภิปรายของบุคลากรเรียบร้อย ผลการประเมินค่าใหม่เพื่อนำไปคำนวณค่าฐานนิยมดังแสดงในตารางที่ 4.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4. 2 การประเมินความความสำคัญของปัจจัยที่คาดว่ามีผลต่อการเกิดเส้นด้ายเป็นขน

ปัจจัย	A Shift	B Shift		C Shift		D Shift							Mode
	Score	Score	Score	Score	Score	Score	Score	Score	Score	Score	Score	Score	
	เกรียงศักดิ์	ชวนชัย	สุชาติ	สุทัศน์	ประจวบ	สมมาตร	สมปอง	จีระศักดิ์	ธีระวัฒน์	ธนวัตน์	รณชัย	สุระชัย	
1.ความเหนียวของ Chip ผิดปกติ	4	4	4	4	1	1	1	4	1	1	4	1	4
2.รูปทรงของ Chip ไม่ดี	4	1	9	1	1	1	1	4	1	1	4	4	1
3.รู Spinneret สกปรก	9	9	9	4	9	9	9	9	9	9	9	4	9
4.ผิวหน้า Spinneret สกปรก	4	4	4	4	1	4	4	1	1	4	4	1	4
5.พอลิเมอร์ไหลออกจาก Pack ไม่สม่ำเสมอ	9	9	9	9	4	9	9	9	4	9	9	4	9
6.ลม Chimney แรงหรือเบาเกินไป	4	4	4	9	4	4	1	4	4	4	9	4	4
7.Chimney Filter สกปรก	4	4	4	1	4	4	1	4	4	4	4	4	4
8.เส้นด้ายเสียดสีกับ Duct	9	4	4	9	4	9	4	4	9	4	9	4	4
9.Plate Guide เหนือ Oiling roll เป็นรอย	4	4	4	4	1	4	1	4	4	4	4	4	4
10.Oiling roll สกปรกหรือเป็นรอย	9	4	9	4	1	9	1	4	9	4	4	4	4
11.น้ำมันในเส้นด้ายน้อย	4	9	9	9	4	4	4	9	1	4	4	1	4
12.ตำแหน่ง Gathering Guide ไม่ดี	4	4	4	1	4	4	1	4	4	4	9	1	4
13.Gathering Guide สกปรกหรือเป็นรอย	9	9	9	9	4	4	4	4	9	4	4	1	4
14.Godet Roller สึกหรอหรือเป็นรอย	4	9	9	9	9	9	9	9	9	9	4	9	9
15.Godet Roller สกปรก	4	9	9	4	9	9	9	9	9	9	9	9	9
16.ความเร็วรอบของ Godet Roller ผิดปกติ	9	9	9	1	4	4	9	9	4	9	9	9	9
17.การปรับอุณหภูมิของ 2nd Godet Roller	9	9	9	4	4	4	9	9	4	9	9	9	9
18.เส้นด้ายไม่ได้ศูนย์กลาง Air Guide	9	9	9	9	9	9	9	4	4	9	9	9	9
19.Bar Guide สึกหรือเป็นรอย	4	9	4	4	4	4	4	4	4	4	9	4	4
20.การพองตัวของเส้นด้ายไม่ดีเนื่องจากความดันลมของ Air Guide ผิดปกติ	9	9	9	4	4	9	9	9	4	4	9	9	9

ตารางที่ 4.2 การประเมินความความสำคัญของปัจจัยที่คาดว่ามีผลต่อการเกิดเส้นด้ายเป็นขน (ต่อ)

ปัจจัย	A Shift	B Shift		C Shift		D Shift							Mode
	Score	Score	Score	Score	Score	Score	Score	Score	Score	Score	Score	Score	
	เกรียงศักดิ์	ชวนชัย	สุชาติ	สุทัศน์	ประจวบ	สมมาตร	สมปอง	จีระศักดิ์	ธีระวัฒน์	ธนวัตน์	รณชัย	สุระชัย	
21.เส้นด้ายไม่ได้ศูนย์กลาง Interlace Air Guide	4	4	4	4	4	4	1	4	4	1	4	1	4
22.Steel Plate ของ Interlace Air Guide สึกหรือเป็นรอย	4	9	4	9	4	4	9	4	9	9	4	4	4
23.Hanetora และ Wave Guide เป็นรอย	9	9	4	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
24.Hanetora และ Wave Guide ไม่ตรงตำแหน่ง	9	9	9	9	4	9	9	9	4	4	9	4	9
25.เซ็นเซอร์วัดความตึงเส้นด้ายเป็นรอย	4	4	4	1	4	1	4	4	4	4	4	1	4
26.5thGodet Roller, Over feed Roller สึกหรือเป็นรอย	4	4	4	4	4	1	1	4	4	4	4	1	4
27.Ceramic Guide สึกหรือเป็นรอยแตก	9	9	9	9	9	9	9	4	9	9	9	9	9
28.กราฟแสดงความตึงของเส้นด้ายผิดปกติ	1	1	1	1	4	1	1	4	4	4	4	1	1
29.ความเร็วของ Winder ผิดปกติ	1	4	4	1	4	1	1	4	4	9	4	1	1
30.Roller Bail เป็นรอย	9	9	9	9	9	4	4	4	9	9	9	4	9
31.Guide Roll ใต้ Winder เป็นรอย	4	4	9	4	4	4	4	4	4	4	4	1	4
32.เซ็นเซอร์ในการตรวจจับข้อบกพร่องชำรุด	9	4	9	4	4	9	9	9	4	4	4	4	4
33.เซ็นเซอร์ในการตรวจจับข้อบกพร่องอ่านผิด	4	1	4	1	4	1	1	1	4	1	1	1	1

ดังนั้นสามารถสรุปได้สาเหตุที่มีความสำคัญระดับสูงที่มีคะแนน 9 คะแนน ซึ่งเป็นปัจจัยที่สมาชิกในทีมทำงานและบุคลากรที่เกี่ยวข้องลงความคิดเหมือนกันว่าเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเส้นด้ายเป็นขนสูง และจะนำปัจจัยเหล่านี้ไปทำการปรับปรุงต่อไป โดยมีปัจจัยดังนี้

- รู Spinneret สกปรก
- พอลิเมอร์ไหลออกจาก Pack ไม่สม่ำเสมอ
- Godet Roller สึกหรอหรือเป็นรอย
- Godet Roller สกปรก
- ความเร็วรอบของ Godet Roller ไม่เหมาะสม
- อุณหภูมิของ Godet Roller ไม่เหมาะสม
- เส้นด้ายไม่ได้ศูนย์กลาง Air Guide
- การพองตัวของเส้นด้ายไม่ดีเนื่องจากความดันลมของ Air Guide ไม่เหมาะสม
- Hanetora และ Wave Guide เป็นรอย
- Hanetora และ Wave Guide ไม่ตรงตำแหน่ง
- Roller Bail เป็นรอย

แต่ละปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขนมาจากเครื่องจักร (Machine) ทั้งหมดหรือกล่าวได้ว่าปัจจัยส่วนใหญ่เป็นปัจจัยที่เป็นทางผ่านของเส้นด้าย (Yarn Path) ที่ผลิตบนเครื่องจักร เมื่อได้ปัจจัยที่คาดว่ามีผลต่อการเกิดเส้นด้ายเป็นขนสูงมาแล้วนำปัจจัยเหล่านี้ไปประเมินระดับความสำคัญโดยละเอียดด้วยเกณฑ์ของการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบต่อไป

4.2.2 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)

หลังจากที่ได้ปัจจัยนำเข้าโดยการใช้ตารางความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลแล้วที่คาดว่าจะมีผลต่อผลตอบ (Response) หรือสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขนสูงนั้น ผู้วิจัยได้นำปัจจัยนำเข้าเหล่านี้ไปประเมินระดับความสำคัญโดยละเอียดด้วยการอ้างอิงเกณฑ์ของการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ ซึ่งจะทำการพิจารณาเพิ่มเพียงสองเกณฑ์ คือโอกาสในการเกิดสาเหตุของปัญหาหรือการเกิดข้อบกพร่องจากสาเหตุนั้น และความสามารถในการตรวจจับสาเหตุหรือข้อบกพร่องนั้น งานวิจัยนี้จะไม่พิจารณาเกณฑ์ในเรื่องความรุนแรง เนื่องจากทุกปัจจัยที่นำมาทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบล้วนเป็นสาเหตุที่มีความรุนแรงต่อการเกิดเส้นด้ายเป็นขนสูงเท่ากันหมด จึงจะไม่ทำการประเมินคะแนนในส่วนของคะแนนความรุนแรง จากนั้นนำสาเหตุที่คัดกรองได้จากการประเมินครั้งนี้ไปทำการทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญและทำการปรับปรุงในขั้นตอนต่อไปตามความเหมาะสมของแต่ละปัจจัยว่าเป็นปัจจัยเชิงคุณลักษณะหรือปัจจัยเชิงวัดค่าได้ โดยในการทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

1. ระบุปัจจัยนำเข้าที่ได้จากการวิเคราะห์ตารางความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล
2. ระบุสาเหตุที่มีแนวโน้มของการเกิดข้อบกพร่อง (Potential Causes)
3. ระบุโอกาสในการเกิดสาเหตุของข้อบกพร่อง (Occurrence Score: O) เป็นการคาดคะเนความน่าจะเป็นที่สาเหตุที่พิจารณาจะเกิดขึ้น โดยช่วงคะแนนจะอยู่ในช่วง 1 ถึง 10 คะแนน โดยอ้างอิงเกณฑ์จาก AIAG เช่นเดียวกัน แต่มีการปรับเกณฑ์ให้เหมาะสมกับงานวิจัยนี้ดังตาราง 4.3

4. ระบุวิธีการควบคุมกระบวนการในกระบวนการปัจจุบัน (Current Process Control) ที่สามารถป้องกันหรือความสามารถในการตรวจจับลักษณะข้อพร่องที่จะเกิดขึ้น

5. ระบุคะแนนการตรวจจับข้อบกพร่อง (Detection: D) หรือประเมินถึงโอกาสที่สามารถตรวจจับข้อบกพร่อง โดยอ้างอิงเกณฑ์การประเมินผลการตรวจจับของระบบของ AIAG เช่นเดียวกับการระบุโอกาสการเกิดสาเหตุของข้อบกพร่อง แต่มีการปรับเกณฑ์เพื่อให้เหมาะสมกับงานวิจัยนี้ โดยแบ่งช่วงคะแนนออกเป็น 1 ถึง 10 เช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.4

6. คำนวณค่าตัวเลขแสดงความสำคัญของความเสี่ยง แต่ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการประเมินเพิ่มเติมเพียง 2 เกณฑ์เท่านั้น คือเป็นค่าคะแนน Score = O x D จากนั้นนำเฉพาะปัจจัยที่มีค่าคะแนน Score สูงๆ ไปทำการปรับปรุงต่อ แต่ในส่วนนี้จะทำการปรับปรุงทุกปัจจัยนำเข้าเนื่องจากแต่ละปัจจัยล้วนเป็นตัวที่มีผลต่อการเกิดเส้นด้ายอย่างมากทั้งสิ้น

ตารางที่ 4. 3 เกณฑ์การประเมินโอกาสในการเกิดสาเหตุของข้อบกพร่อง

คะแนน	**โอกาสในการเกิดสาเหตุของข้อบกพร่อง**		
10	เกิดขึ้นทุกวัน	มากกว่า 50%-100%	5,001 - 10,000 ใน 10,000 ชิ้น
9	เกิดทุกๆ 3-6 วัน/ครั้ง	มากกว่า 20%-50%	2,001 - 5,000 ใน 10,000 ชิ้น
8	เกิดทุกๆ 1-2 สัปดาห์/ครั้ง	มากกว่า 10%-20%	1,001 - 2,000 ใน 10,000 ชิ้น
7	เกิดทุกๆ 3-4 สัปดาห์/ครั้ง	มากกว่า 1%-10%	101 - 1,000 ใน 10,000 ชิ้น
6	เกิดทุกๆ 1-2 เดือน/ครั้ง	มากกว่า 0.5%-1%	51 – 100 ใน 10,000 ชิ้น
5	เกิดทุกๆ 3-6 เดือน/ครั้ง	มากกว่า 0.2%-0.5%	21 – 50 ใน 10,000 ชิ้น
4	เกิดทุกๆ 7-12 เดือน/ครั้ง	มากกว่า 0.1%-0.2%	11 – 20 ใน 10,000 ชิ้น
3	เกิดทุกๆ 1-2 ปี/ครั้ง	มากกว่า 0.05%-0.1%	6 – 10 ใน 10,000 ชิ้น
2	เกิดทุกๆ 3-4 ปี/ครั้ง	มากกว่า 0.01%-0.05%	1 – 5 ใน 10,000 ชิ้น
1	เกิดมากกว่า 4 ปี/ครั้ง	0%-0.01%	0 – 1 ใน 10,000 ชิ้น

ตารางที่ 4. 4 เกณฑ์การประเมินการตรวจจับ

คะแนน	**ความสามารถในการตรวจจับของกระบวนการในปัจจุบัน**
10	ไม่มีการตรวจสอบ
9	ตรวจพบความผิดปกติ แต่ไม่สามารถตรวจหาสาเหตุได้
8	มีการตรวจสอบเป็นบางโอกาส/มีความไม่พอใจจากลูกค้า หรือเมื่อเกิดปัญหา
7	มีการสุ่มตรวจเป็นระยะโดยใช้การตัดสินใจของคนในการจำแนกดี/เสีย แต่ไม่ได้ตรวจสอบทุกเครื่องจักร
6	มีการสุ่มตรวจเป็นระยะโดยใช้การตัดสินใจของคนในการจำแนกดี/เสีย และทำการตรวจสอบทุกเครื่องจักร (ตรวจสอบ 100%)
5	มีการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ โดยใช้คนในการตัดสินใจจำแนกดี/เสีย ด้วยการตรวจสอบโดยสายตา (Visual Check) ที่เห็นได้อย่างชัดเจน
4	มีการตรวจสอบด้วยเครื่องมือวัดในการตัดสินใจจำแนกดี/เสียแทนคน และมีการใช้ระบบ SPC ในการตรวจสอบและแก้ไขความผิดปกติ เมื่อเกิด Extreme Point
3	มีการตรวจสอบด้วยเครื่องมือวัดในการตัดสินใจจำแนกดี/เสียแทนคน และมีการใช้ระบบ SPC ในการตรวจสอบและแก้ไข เมื่อเกิดลักษณะตามกฎ Sensitivity
2	มีการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ทุกชิ้น 100% ด้วยระบบอัตโนมัติ แต่อาจมีบางชิ้นที่มีข้อบกพร่องหลุดลอดไปยังลูกค้า
1	ทุกชิ้นที่มีข้อบกพร่องจะถูกตรวจพบและได้รับการแก้ไขทันทีโดยไม่เกิดผลกระทบต่อลูกค้า

เมื่อมีการกำหนดเกณฑ์ที่เหมาะสมให้กับการประเมินสำหรับการวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่องและผลกระทบ โดยใช้เครื่องมือ FMEA ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4. 5 ผลการวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่องและผลกระทบ

ชิ้นส่วน / หน้าที่	แนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง	แนวโน้มของสาเหตุหรือกลไก	O	การควบคุมการออกแบบปัจจุบัน		D	Score (O x D)
				การป้องกัน	การตรวจจับ		
Air Guide ทำหน้าที่เป่าเส้นด้ายให้สลัดน้ำมันและทำให้เส้นด้ายจับตัวกันไม่แผ่ออกมากเกินไป	เส้นด้ายไม่ได้ตำแหน่งศูนย์กลางของรู Air Guide	นอตยึด Air Guide หลวม ทำให้ Air Guide เคลื่อนที่ไม่ตรงตำแหน่ง เส้นด้ายที่วิ่งผ่านอาจแกว่งหรือพลิ้วไปเสียดสีกับ Air Guide ทำให้เกิดเส้นด้ายเป็นขนขึ้นได้	9	-	มีการตรวจสอบตำแหน่งของเส้นด้ายที่ผ่านรู Air Guide เป็นบางโอกาส /เมื่อมีการร้องเรียนจากลูกค้าหรือเมื่อเกิดปัญหา	8	72
	ลักษณะการพองตัวของเส้นด้ายไม่ดี	รูของ Air Guide สกปรก ทำให้เส้นด้ายมีการพองตัวมากเกินจนพลิ้วไปเสียดสีกับ Air Guide จนเกิดเส้นด้ายเป็นขนขึ้นได้	8	ทำการตรวจสอบความสะอาดของรู Air Guide ด้วยสายตามากกว่า 1 สัปดาห์ต่อครั้ง	สามารถตรวจพบความผิดปกติของการพองตัวของเส้นด้ายที่เกิดขึ้นได้ แต่ไม่ทราบว่ามาจากสาเหตุหรือกลไกของชิ้นส่วนใด	9	72
	ลักษณะการพองตัวของเส้นด้ายไม่ดี	Regulator ที่ทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายลมเสีย ทำให้เส้นด้ายมีการพองตัวมากเกินจนพลิ้วไปเสียดสีกับ Air Guide จนเกิดเส้นด้ายเป็นขนขึ้นได้	8	-	สามารถตรวจพบความผิดปกติของการจับตัวกันของเส้นด้ายในกระบวนการ แต่ไม่สามารถหาสาเหตุได้	8	64
Godet Roller (GR) ทำหน้าที่ยืดเส้นด้ายและนำพาเส้นด้าย	เส้นด้ายจะมีลักษณะตึงหรือหย่อนเกินไป	การปรับตั้งค่าความเร็วของ Godet Roller ยังไม่เหมาะสม อาจส่งผลให้เส้นด้ายนั้นตึงเกินไป เส้นด้ายอาจขาดและเกิดเป็นขนขึ้นได้ หรือไม่ก็อาจทำให้เส้นด้ายนั้นหย่อนเกินไปก็จะทำให้เส้นด้ายไปเสียดสีกับชิ้นส่วนของเครื่องจักรจนเกิดเส้นด้ายเป็นขนได้	8	ทำการปรับตั้งค่าความเร็วทุกๆ 8 ชั่วโมง	มีการตรวจสอบความตึง-หย่อนของเส้นด้ายที่ผ่าน Godet Roller เป็นบางโอกาส /เมื่อมีการร้องเรียนจากลูกค้าหรือเมื่อเกิดปัญหา	8	64

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่องและผลกระทบ (ต่อ)

ชิ้นส่วน / หน้าที่	แนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง	แนวโน้มของสาเหตุหรือกลไก	O	การควบคุมการออกแบบปัจจุบัน		D	Score (O x D)
				การป้องกัน	การตรวจจับ		
Godet Roller (GR) ทำหน้าที่ยึดเส้นด้ายและนำพาเส้นด้าย	เส้นด้ายเหนียวหรืออ่อนตัวเกินไป	การปรับตั้งค่าอุณหภูมิของ Godet Roller ยังไม่เหมาะสม หากอุณหภูมิสูงจะส่งผลให้เส้นด้ายมีความอ่อนตัวเกินไป เส้นด้ายจะมีความสามารถในการถูกดึงยืดต่ำและนำพาได้ยากทำให้เกิดเส้นเป็นขนได้	8	ทำการปรับตั้งค่าอุณหภูมิทุกๆ 8 ชั่วโมง	มีการตรวจสอบลักษณะของเส้นด้ายเป็นบางโอกาส /เมื่อมีการร้องเรียนจากลูกค้าหรือเมื่อเกิดปัญหา	8	64
	Godet Roller สึกหรอหรือเป็นรอย	เส้นด้ายวิ่งผ่าน Godet Roller ซ้ำตำแหน่งเดิมตลอด นั่นคือเส้นดายต้องเสียดสีกับผิวของ Godet Roller ที่สึกหรือเป็นรอย ส่งผลให้เกิดเส้นด้ายเป็นขนได้	6	ตรวจสอบผิวของ Godet Roller เดือนละ 1 ครั้ง	มีการตรวจสอบผิวของ Godet Roller เป็นบางโอกาส /เมื่อมีการร้องเรียนจากลูกค้าหรือเมื่อเกิดปัญหา	8	42
	Godet Roller สกปรก	การทำความสะอาด Godet Roller ยังไม่ดี เส้นด้ายที่ถูกนำพาผ่านบริเวณของ Godet Roller ที่มีสิ่งสกปรกติดอยู่ เป็นเหตุให้เส้นด้ายวิ่งสะดุดหรือเสียดสีกับตำแหน่งนั้นๆ จนเกิดขาดหรือเป็นขนขึ้นได้	9	ตรวจสอบความสะอาด Godet Roller ทุกวันแต่ไม่มีเกณฑ์ในการพิจารณาว่า Godet Roller สะอาดจริงหรือไม่	มีการตรวจสอบความสะอาดของ Godet Roller เป็นบางโอกาส /เมื่อมีการร้องเรียนจากลูกค้าหรือเมื่อเกิดปัญหา	8	72
Winder ทำหน้าที่กรอเส้นด้ายเข้าหลอดและเรียงเส้นด้าย	Hanetora และ Wave guide ตำแหน่งคลาดเคลื่อนไปจากเดิม	มีเส้นด้ายขาดระหว่างกระบวนการและเข้าไปรั้ง Hanetora และ Wave guide เส้นด้ายจะต้องเสียดสีกับ Hanetora และ Wave Guide เส้นด้ายจึงเกิดเป็นขนได้	7	-	มีการตรวจสอบตำแหน่งของ Hanetora และ Wave guide เป็นบางโอกาส /เมื่อมีการร้องเรียนจากลูกค้าหรือเมื่อเกิดปัญหา	8	56
	Roller Bail เป็นรอย	ใช้คัตเตอร์ในการกรีดเส้นด้ายขาดที่เข้าไปติดและพันกับ Roller Bail ทำให้เส้นด้ายไปเสียดสีกับรอยบน Roller Bail เส้นด้ายจึงมีลักษณะเป็นขนกิดขึ้น	7	-	สุ่มตรวจสอบรอยบน Roller Bailทุกๆ 2-7 วันต่อครั้งโดยพนักงานและทำการตรวจสอบ Roller Bail ในทุกเครื่องจักร	6	42

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่องและผลกระทบ (ต่อ)

ชิ้นส่วน / หน้าที่	แนวโน้มของผลกระทบของข้อบกพร่อง	แนวโน้มของสาเหตุหรือกลไก	O	การควบคุมการออกแบบปัจจุบัน		D	Score (O x D)
				การป้องกัน	การตรวจจับ		
Winder ทำหน้าที่กรอเส้นด้ายเข้าหลอดและเรียงเส้นด้าย	ผิวของ Hanetora และ Wave guide เป็นรอยสึกหรอ	มีการใช้งาน Hanetora และ Wave guide นาน โดยไม่มีการซ่อมบำรุงหรือเปลี่ยนเมื่อถึงกำหนด ส่งผลให้ผิวของ Hanetora และ Wave guide เป็นรอยสึกหรอ เมื่อเส้นด้ายวิ่งผ่านจึงเกิดการเสียดสีกับรอยสึกหรอของผิว Hanetora และ Wave Guide จนเกิดลักษณะของเส้นด้ายเป็นขนขึ้น	6	-	สุ่มตรวจสอบผิวของ Hanetora และ Wave guide ทุกๆ 10-14 วัน ต่อครั้งโดยพนักงานและทำการตรวจสอบในทุกเครื่องจักร	6	36

หลังจากทำการประเมินคะแนนการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบเฉพาะในส่วนของเกณฑ์คะแนนโอกาสในการเกิดสาเหตุของปัญหาหรือการเกิดข้อบกพร่องจากสาเหตุนั้น และความสามารถในการตรวจจับสาเหตุหรือข้อบกพร่องนั้นแล้ว ขั้นตอนถัดไปคือเลือกปัจจัยที่มีคะแนน Score สูงๆ ซึ่งหมายถึงปัจจัยนำเข้าตัวนั้นมีผลในการเกิดความเสียหายหรือเกิดข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขนอย่างมาก และนำปัจจัยเหล่านี้ไปทำการวิเคราะห์เพื่อทำการปรับปรุงต่อไป แต่ในที่นี้มีเพียง 10 ปัจจัย และแต่ละปัจจัยล้วนเป็นสาเหตุที่มีความรุนแรงสูงเท่ากันหมด อีกทั้งค่า Score ของแต่ละปัจจัยก็สูง จึงนำทุกปัจจัยนำเข้าที่ได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบไปทำการปรับปรุง โดยแบ่งปัจจัยเพื่อนำไปทำการปรับปรุงออกเป็น 2 กลุ่มด้วยกัน คือ

- กลุ่มที่ I เป็นปัจจัยที่จะทำการปรับปรุงด้วยการทบทวนหรือสร้างวิธีการทำงาน (Work Instruction) ใหม่
- กลุ่มที่ II เป็นปัจจัยที่จะนำไปทำการปรับปรุงเพื่อหาค่าที่ดีที่สุดด้วยวิธีออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE)

ปัจจัยแต่ละปัจจัยจะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่ม 1 และกลุ่ม 2 ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4. 6 ปัจจัยในแต่ละกลุ่ม

No.	ประเภท	ปัจจัย
กลุ่ม I:		
1	Machine	ตำแหน่งของเส้นด้ายไม่เหมาะสมหรือไม่ได้ศูนย์กลาง
2	Machine	Godet Roller สึกหรอหรือเป็นรอย
3	Machine	Godet Roller สกปรก
4	Machine	Hanetora และ Wave Guide ไม่ตรงตำแหน่ง
5	Machine	Hanetora และ Wave Guide เป็นรอย
6	Machine	Roller Bail เป็นรอย
7	Material	พอลิเมอร์ไหลออกจาก Pack ไม่สม่ำเสมอ
กลุ่ม II:		
1	Machine	อุณหภูมิของ 1^{st} และ 2^{nd} Godet Roller
2	Machine	ความเร็วรอบของ 3^{rd} Godet Roller
3	Machine	ความดันลมของ 1^{st} และ 3^{rd} Air Guide

4.3 สรุประยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา

ระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา เริ่มต้นที่ทำการวิเคราะห์ความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัด แต่ในงานวิจัยนี้ทางโรงงานมีระบบการวัดที่มีความถูกต้องและแม่นยำสามารถเชื่อถือได้แน่นอน เนื่องจากทางโรงงานมีการตรวจเช็คระบบการวัดอย่างสม่ำเสมอทุกๆ เดือน โดยทางโรงงานจะมีตัวเซ็นเซอร์มาตรฐานอยู่แล้วและจะมีการนำตัวเซ็นเซอร์มาตรฐานนั้นไปทำการปรับตั้ง (Calibrate) กับตัวเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจจับข้อบกพร่องบนเครื่องจักรที่ใช้งานจริง ซึ่งเมื่อมีการตรวจเช็คระบบการวัดอย่างสม่ำเสมอเช่นนี้ ระบบการวัดของทางโรงงานจึงไม่มีผลกระทบต่อความสามารถของเซ็นเซอร์ในการตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น

ทำการระดมสมองเพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้โดยอาศัย 5M1E เพื่อช่วยให้การวิเคราะห์นั้นมีระบบและครอบคลุม จากนั้นก็นำปัจจัยนำเข้าที่ได้จากการระดมสมอง ซึ่งมีทั้งหมด 33 ปัจจัย ไปทำการประเมินคะแนนความสำคัญหรือเป็นสาเหตุที่มีความเป็นไปได้สูงให้แต่ละปัจจัยนำเข้านั้นด้วยเครื่องมือตารางแสดงความสัมพันธ์สาเหตุและผล พบว่าหลังจากการประเมินคะแนนสามารถกรองปัจจัยได้ด้วยคือ เหลือเพียง 10 ปัจจัยจากทั้งหมดที่มีความสำคัญหรือมีเป็นไปได้สูงที่ทำให้เกิดลักษณะข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขน จึงได้นำปัจจัยที่เหล่านี้ไปทำการวิเคราะห์ต่อด้วยการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ เมื่อทำการประเมินค่าคะแนน Score ให้แต่ละปัจจัยแล้ว พบว่าแต่ละปัจจัยล้วนมีค่า Score สูงและทุกปัจจัยเป็นสาเหตุที่มีความรุนแรงต่อการเกิดเส้นด้ายเป็นขนสูงเท่ากันหมด จึงนำปัจจัยทั้ง 10 ปัจจัยไปทำการวิเคราะห์เพื่อทำการปรับปรุงต่อไป โดยจะทำการปรับปรุงด้วยปัจจัยเหล่านี้ด้วย 2 วิธีด้วยกัน จึงได้มีการจัดปัจจัยเป็น 2 กลุ่ม เพื่อให้สะดวกและง่ายในการทำการปรับปรุงโดยกลุ่มแรกจะทำการปรับปรุงแก้ไขที่วิธีการทำงานหรือจัดทำมาตรฐานการ

ทำงานขึ้นมาใหม่ในกรณีที่ปัจจัยเหล่านั้นยังไม่มี และกลุ่มที่สองจะนำไปออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมและดีที่สุดให้กับปัจจัยนั้นๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 5

การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

ในขั้นตอนก่อนหน้านี้ได้มีการระดมสมองและช่วยกันกลั่นกรองปัจจัยที่คาดว่ามีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขน เมื่อเข้าสู่ขั้นตอนนี้จะเป็นการวิเคราะห์แต่ละปัจจัยเพื่อนำไปสู่แนวทางการปรับปรุงแก้ไขที่เหมาะสมต่อไป โดยจะแบ่งการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัจจัยนำเข้าออกเป็น 2 ส่วน คือ

- ปัจจัยต่อไปนี้ ได้แก่ ตำแหน่งของเส้นด้ายไม่เหมาะสมหรือไม่ได้ศูนย์กลาง Godet Roller สึกหรอหรือเป็นรอย Godet Roller สกปรก Hanetora และ Wave Guide ไม่ตรงตำแหน่ง Hanetora และ Wave Guide เป็นรอย Roller Bail เป็นรอย และพอลิเมอร์ไหลออกจาก Pack ไม่สม่ำเสมอ จะทำการทบทวนวิธีการทำงานหรือวิธีการดูแลบำรุงรักษาชิ้นส่วนของเครื่องจักรนั้นๆ หรือจัดทำมาตรฐานวิธีการทำงานหรือวิธีปฏิบัติการดูแลบำรุงรักษาขึ้นมาใหม่หากเดิมยังไม่ได้มีอยู่ เพื่อควบคุมไม่เกิดข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขนขึ้นกับผลิตภัณฑ์หรือให้มีข้อบกพร่องเกิดขึ้นน้อยที่สุดหลังจากที่ได้มีการทบทวนหรือจัดทำวิธีการดูแลบำรุงรักษาหรือวิธีปฏิบัติงานขึ้นมาแล้ว
- ปัจจัยต่อไปนี้ ได้แก่ อุณหภูมิของ 1st Godet Roller (1GRT) อุณหภูมิของ 2nd Godet Roller (2GRT) ความเร็วรอบของ 3rd Godet Roller (3GRS) ความดันลมของ 1st Air Guide (1AGP) และความดันลมของ 3rd Air Guide (3AGP) นำไปทำการออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ว่าปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อการเกิดสัดส่วนของเสียที่มีข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขนอย่างมีนัยสำคัญและทำการศึกษาการมีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงและวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป

5.1 การออกแบบการทดลอง

ในการเลือกรูปแบบของการทดลองที่จะนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ โดยปัจจัยที่จะทำการศึกษานั้นเป็นตัวแปรที่มีลักษณะเชิงวัดค่าได้ (Variable Characteristic) รวมถึงการทำการทดลองที่ต้องทำควบคู่ไปกับการผลิตจริง ดังนั้นขนาดตัวอย่างที่จะใช้ในการเก็บข้อมูลจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องคำนึงถึงอย่างมาก ฉะนั้นการทดลองในครั้งนี้จึงเลือกชนิดการทดลองที่ใช้จำนวนการทดลองที่น้อยที่สุดเพื่อลดความสูญเสียที่จะเกิดขึ้นจากการทดลองแต่ยังได้ผลที่มีประสิทธิภาพ

5.1.1 การกำหนดตัวแปรนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง

การออกแบบการทดลองในงานวิจัยครั้งนี้มีปัจจัยนำเข้าที่สนใจจะทำการศึกษาทั้งหมด 5 ปัจจัยด้วยกันที่ได้จากการระดมสมองในขั้นตอนก่อนหน้าซึ่งได้แก่ อุณหภูมิของ 1st Godet Roller อุณหภูมิของ 2nd Godet Roller ความเร็วรอบของ 3rd Godet Roller ความดันลมของ 1st Air Guide และความดันลมของ 3rd Air Guide ซึ่งทั้ง 5 ปัจจัยนี้จะถูกนำไปทำการออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่ผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองหรือต่อการเกิดข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขน โดยมีตัวแปรตอบสนอง (Y) คือ สัดส่วนของเสียจากลักษณะข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขน

5.1.2 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลบางส่วน (Fractional Factorial Design)

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของปัจจัยโดยการออกแบบการทดลอง 2^{k-p} แบบแฟคทอเรียลบางส่วนแบบมีจุดศูนย์กลาง เพื่อคัดกรองปัจจัยนำเข้าที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าตอบสนองที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยในการทดลองครั้งนี้มีปัจจัยที่ต้องทำการศึกษา 5 ปัจจัย จึงเลือกทำการทดลองแบบ Half Fractional Factorial เนื่องด้วยการทดลองรูปแบบนี้จะทำการทดลองที่จำนวนการทดลองน้อยกว่าซึ่งประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายในการทำการทดลอง แต่ยังสามารถวิเคราะห์เทอมอันตรกิริยา (Interaction) ได้ อีกทั้งการทำการทดลองแบบมีจุดศูนย์กลางยังสามารถตรวจสอบ Curvature ได้อีกด้วย ซึ่งจะมีการจำนวนการทดลองในส่วนแฟคทอเรียล 16 การทดลองและทำการทดลองที่จุดศูนย์กลาง (Center Point) อีก 6 การทดลอง รวมการทดลองในส่วนของการคัดกรองปัจจัยทั้งสิ้น 22 การทดลอง โดยทำการกำหนดระดับให้กับปัจจัยนำเข้า (X) ดังตารางที่ 5.1 แต่ละปัจจัยจะทำการกำหนดระดับอยู่ที่ 3 ระดับ โดยค่าที่ถูกกำหนดเป็นระดับ 0 เป็นค่าปรับตั้งปัจจุบันที่ใช้ และที่ระดับ ± 1 เป็นค่า limit ที่ทางโรงงานกำหนด

ตารางที่ 5. 1 การกำหนดระดับให้กับปัจจัยนำเข้าขั้นตอนคัดกรองปัจจัย (Screening)

ปัจจัยนำเข้า (X)	-1	0	1
อุณหภูมิของ 1st Godet Roller (1GRT),°c	70.5	73	75.5
อุณหภูมิของ 2nd Godet Roller (2GRT),°c	99	104	109
ความเร็วรอบของ 3rd Godet Roller (3GRS), rpm	2,086	2,167.5	2,249
ความดันลมของ 1st Air Guide (1AGP), kPa	1	2	3
ความดันลมของ 3rd Air Guide (3AGP), kPa	2	3	4

ในงานวิจัยนี้ทำการสร้างตารางการออกแบบ (Design Matrix) โดยมีลำดับในการทดลองเป็นแบบสุ่ม (Randomization) เพื่อให้ผลการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งงานวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษา ปัจจัยด้วยกันและแต่ละปัจจัยเป็นปัจจัยแบบแปรผัน (Variable Factors) ทั้งหมด โดยเลือกค่า Resolution เท่ากับ V ซึ่งข้อดีของ Resolution V คือผลกระทบหลักจะไม่ซ้ำซ้อนกับผลกระทบหลักและอันตรกิริยาระหว่าง 2 ปัจจัยจะไม่ซ้ำซ้อนกับอันตรกิริยาระหว่าง 2 ปัจจัย แต่อันตรกิริยาระหว่าง 2 ปัจจัยจะซ้ำซ้อนกับอันตรกิริยาระหว่าง 3 ปัจจัย และผลกระทบหลักซ้ำซ้อนกับอันตรกิริยาระหว่าง 4 ปัจจัย ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5. 2 รายละเอียดการออกแบบการทดลอง

Fractional Factorial Design

```
Factors:   5   Base Design:  5, 16   Resolution:  V
Runs:     22   Replicates:   1       Fraction:    1/2
Blocks:    1   Center pts (total): 6

Design Generators: E = ABCD

Defining Relation:  I = ABCDE

Alias Structure

I + ABCDE

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
```

5.1.3 การกำหนดขนาดตัวอย่างในการทำการทดลอง

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ค่าตอบสนอง (Y) ที่สนใจอยู่ในลักษณะของสัดส่วนของเสีย ในการเก็บข้อมูลต้องมีการหาขนาดตัวอย่าง (Sample Sizes) ที่เหมาะสม เพื่อให้ข้อมูลที่เก็บมานั้นทำให้เกิดอำนาจการทดสอบหรือความน่าจะเป็นในการตรวจจับผลของปัจจัย (Power of test) ได้สูง ซึ่งมีวิธีการหาขนาดตัวอย่าง 2 วิธีด้วยกันคือ

1. วิธีการหาขนาดตัวอย่างแบบ Binomial มีสูตรการคำนวณอ้างอิงจากสมการ 2.2 และสมการ 2.3 ที่ได้กล่าวไปในบทที่ 2 และทำการแทนค่าในตัวแปรต่างๆ ลงในสมการดังต่อไปนี้

$$n = (z_{1-\frac{\alpha}{2}} + z_{1-\beta})^2/(N\delta^2) \qquad (2.2)$$

$$\delta = arcsin\left(\sqrt{p_0 + \Delta/2}\right) - arcsin\left(\sqrt{p_0 - \Delta/2}\right) \qquad (2.3)$$

ทำการแทนค่าเหล่านี้ p_0 = 0.0335, Δ = 0.01675 ลงในสมการ 2.3 จะได้ค่า $\boldsymbol{\delta}$ = 0.04691 จากนั้นทำการแทนค่า $\mathbf{z_{1-\frac{\alpha}{2}}}$ = 1.645, $\boldsymbol{z_{1-\beta}}$ = 0.84, N = 16 และ $\boldsymbol{\delta}$ = 0.04691 ลงในสมการ 2.2 จะได้ค่า n = 175.4

ดังนั้นขนาดตัวอย่างจากการคำนวณแบบวิธี Binomial จะได้ n = 176 ม้วนต่อ 1 การทดลอง ซึ่งต้องทำการทดลองทั้งหมด 22 การทดลอง เท่ากับต้องเก็บชิ้นงานทั้งหมด 176 x 22 =

3,872 ม้วน โดยที่ไม่สามารถทราบได้เลยว่าในการทดลองครั้งนี้จะมีจำนวนของเสียเกิดขึ้นเท่าไหร่ เป็นไปได้ว่าในบางการทดลองอาจมีของเสียเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะทำให้สูญเสียเงินจากของเสียเป็นจำนวนมาก

2. วิธีการหาขนาดตัวอย่างด้วยวิธีของ Inverse Binomial Sampling มีสูตรการคำนวณอ้างอิงจากสมการ 2.5 ในบทที่ 2 ดังแสดงต่อไปนี้

$$b(r) = \frac{\Delta\sqrt{N}}{2\left(Z_{1-\frac{\alpha}{2}}+Z_{1-\beta}\right)\theta_0\sqrt{1-\theta_0}} \quad (2.5)$$

โดยทำการแทนค่าให้กับตัวแปรต่างๆ ในสมการดังนี้ Δ = 0.01675, N = 16, $\mathbf{Z_{1-\frac{\alpha}{2}}}$ = 1.645, $Z_{1-\beta}$ = 0.84 และθ_0= 0.0335 ทำให้ได้ค่า b(r) = 0.4094 จากนั้นนำค่า b(r) ไปเปิดตารางที่ 2.3 พบว่าได้ค่า r ≈ 8 นั่นคือในการเก็บข้อมูลแต่ละการทดลองจะทำการเก็บข้อมูลจนกว่าจะเจอของเสียหรือจำนวนม้วนของเสียที่เกิดเส้นด้ายเป็นขนครบ 8 ม้วนแล้วจึงหยุดทำการการทดลองนั้นๆ แล้วจึงค่อยทำการทดลองถัดไป ค่าบันทึกที่ได้คือค่าจำนวนม้วนทั้งหมดที่เกิดจากการผลิตในแต่ละการทดลองที่มีจำนวนม้วนของเสียที่สนใจอยู่ 8 ม้วน วิธีการหาขนาดตัวอย่างนี้เห็นได้ว่าแต่ละการทดลองมีขนาดตัวอย่างไม่คงที่ แต่วิธีนี้สามารถทราบถึงค่าของเสียที่จะเกิดขึ้นจากการทดลองได้ล่วงหน้า ซึ่งจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นมีจำนวน 8 x 22 = 176 ม้วน ซึ่งทำให้ผู้ทำการทดลองทราบค่าความสูญเสียเป็นตัวเงินได้ล่วงหน้าก่อนการทดลอง และตัดสินใจได้ว่าจะยอมรับความสูญเสียในระดับนั้นและจะทำการทดลองต่อหรือไม่

เมื่อเปรียบเทียบขนาดตัวอย่างจากทั้งสองวิธี พบว่าวิธี Inverse Binomial Sampling มีความเหมาะสมในการเก็บข้อมูลมากกว่า เนื่องจากสามารถควบคุมจำนวนของเสียที่จะเกิดขึ้นได้เลย ถึงแม้ว่าวิธีการนี้จะต้องใช้ความพยายามในการเก็บข้อมูลมากกว่าเพราะต้องทำการติดตามตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลองว่าจะเจอม้วนของเสียม้วนที่ 8 เมื่อไหร่แล้วจึงจะได้ข้อมูลจำนวนม้วนทั้งหมดในการทดลองนั้นๆ แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้ก็มีความเหมาะสมกว่า ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จึงเลือกใช้วิธีนี้และจะทำการกำหนดค่าตอบสนองที่สนใจ คือ จำนวนม้วนเมื่อเมื่อเจอม้วนของเสียครบ 8 ม้วน

5.2 แผนการวิเคราะห์การทดลอง

หลังจากที่ได้ทำการกำหนดตัวแปรนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง ทำการเลือกรูปแบบการทดลองในการทำการวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองที่สนใจแล้วนั่นคือเลือกการทดลองแบบ Half Fractional Factorial แบบมีจุดศูนย์กลาง และทำการกำหนดขนาดตัวอย่างให้กับการเก็บข้อมูลการทดลองเพื่อนำมาวิเคราะห์ผล นั่นคือเลือกขนาดตัวอย่างจากวิธี Inverse Binomial Sampling หมายถึงเก็บข้อมูลในแต่ละการทดลองไปเรื่อยๆ จนกว่าจะเจอม้วนของเสียครบ 8 ม้วนแล้วจึงหยุดการทดลองนั้นๆ เพื่อไปเริ่มทำการทดลองใหม่แล้ว จากนั้นนำตารางการออกแบบที่ได้จากการออกแบบการทดลองในหัวส่วนของการกำหนดแบบการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 5.3 ไปทำการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ผลหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองต่อไป

Chulalongkorn University

ตารางที่ 5. 3 ตารางการออกแบบ เพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง

Design Table (randomized)

Run	A	B	C	D	E
1	+	+	−	+	−
2	+	−	−	−	−
3	+	+	+	−	−
4	−	−	−	−	+
5	−	−	+	+	+
6	0	0	0	0	0
7	+	−	−	+	+
8	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0
10	−	+	−	+	+
11	0	0	0	0	0
12	−	−	+	−	−
13	−	+	+	+	−
14	+	+	−	−	+
15	−	+	+	−	+
16	−	+	−	−	−
17	+	+	+	+	+
18	0	0	0	0	0
19	+	−	+	−	+
20	+	−	+	+	−
21	−	−	−	+	−
22	0	0	0	0	0

เมื่อสัญลักษณ์ (-) หมายถึงระดับต่ำ, (0) หมายถึงระดับกลาง และ (+) หมายถึงระดับสูง

เมื่อมีรูปแบบสำหรับการทดลองและมีการกำหนดระดับให้กับปัจจัยแต่ละปัจจัยแล้ว จากนั้นก็ดำเนินการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยตัวแปรตอบสนองที่สนใจหรือจะได้จากการเก็บข้อมูลจากการทดลองมานั้นคือ จำนวนม้วนเส้นด้ายที่เป็นของเสียครบ 8 ม้วน ในการทดลองแต่ละการทดลอง แต่เนื่องด้วยตัวแปรตอบสนองในงานวิจัยนี้เป็นจำนวนของเสีย ในการจำแนกผลิตภัณฑ์นั้นเป็นได้เพียงของดี/ของเสียเท่านั้น ซึ่งเป็นลักษณะคำนิยามของการกระจายตัวแบบทวินาม (Binomial Distribution) ดังนั้นก่อนการนำข้อมูลไปทำการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง ต้องทำการแปลงค่าให้กับตัวแปรตอบสนองก่อน หากนำค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูลไปทำการวิเคราะห์อาจทำให้การวิเคราะห์มีความคลาดเคลื่อนได้ ฉะนั้นจึงทำการแปลงค่าข้อมูลโดยอ้างการคำนวณจากสมการ 2.7 (Bisgaard และ Gertsbakh, 1997) ดังแสดงต่อไปนี้

$$\varphi(\hat{\theta}) = \sinh^{-1}\sqrt{\frac{Y-r+3/8}{r-3/4}} \qquad (2.7)$$

โดย Y คือ จำนวนม้วนของเสียเมื่อเจอของเสียครบ 8 ม้วน

r คือ ค่าคงที่ค่าหนึ่งที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งในงานวิจัยนี้ ใช้ r = 8

เนื่องจากในการออกแบบการทดลองครั้งนี้เป็นการทำการทดลองเพื่อการคัดกรองปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ จึงมีการเก็บผลจากการทดลองเพียงการทดลองละ 1 ครั้งเท่านั้นไม่มีการทำการทดลองซ้ำ (Replicate) ในส่วนของการการทดลองแฟคทอเรียล แต่มีการทำการทดลองซ้ำในส่วนของจุดศูนย์กลางจำนวน 6 ครั้ง ในส่วนของการทำซ้ำของจุดศูนย์กลางนี้ทำให้

สามารถคำนวณค่า Random Error ออกมาได้ ส่งผลให้สามารถคำนวณค่า P-value ออกมาได้ จึงทำการวิเคราะห์ด้วยตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อดูค่า P-value ได้ โดยเทอมที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 จะเป็นเทอมที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ และนอกจากนี้ยังสามารถดูผลจากการวิเคราะห์ผลด้วยการพล๊อททกราฟกระดาษความน่าจะเป็นการแจกแจงปกติ (Normal Probability Plot Analysis) ในการพิจารณาว่าเทอมใดมีที่ผลอย่างมีนัยสำคัญได้เช่นกัน โดยพิจารณาจากปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองจะเป็นจุดที่มีระยะห่างจากเส้นตรง หากระยะห่างมากแสดงว่าปัจจัยนั้นมีอิทธิพลมาก และวิธีการนี้ก็นิยมใช้กับการวิเคราะห์ผลจากการทดลองแบบแฟคทอเรียลบางส่วนอีกด้วย จากนั้นก็ทำการเก็บข้อมูลเพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป

5.3 ผลการทดลอง

หลังจากทำการทดลองในส่วนการทดลองแบบแฟคทอเรียลบางส่วน ผลการทดลองที่ได้พร้อมข้อมูลที่ได้นำไปแปลงข้อมูลด้วยวิธีของ Bisgaard และ Gertsbakh แล้วนั้น ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5. 4 ผลการทดลองและการแปลงข้อมูลด้วยวิธีของ Bisgaard และ Gertsbakh

ลำดับการทดลอง (Run Order)	จำนวนของเสียเมื่อเจอของเสียครบ 8 ม้วน	การแปลงข้อมูลด้วยวิธีของ Bisgaard และ Gertsbakh
1	15	0.88743
2	12	0.71447
3	23	1.17025
4	8	0.22551
5	139	2.15519
6	54	1.6580
7	50	1.61619
8	42	1.52030
9	46	1.57055
10	23	1.17025
11	39	1.47897
12	14	0.83664
13	12	0.71447
14	11	0.63810

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ลำดับการทดลอง (Run Order)	จำนวนของเสียเมื่อเจอของเสียครบ 8 ม้วน	การแปลงข้อมูลด้วยวิธีของ Bisgaard และ Gertsbakh
15	**19**	**1.04921**
16	15	0.88743
17	10	0.54497
18	32	1.36664
19	14	0.83664
20	17	0.97511
21	34	1.40141
22	31	1.34830

5.4 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

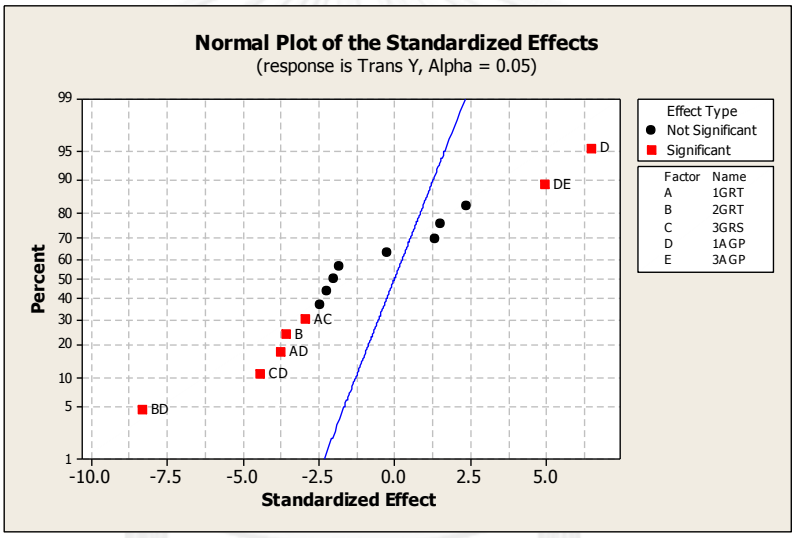
จากการเก็บข้อมูลจากการทดลอง เมื่อนำไปทำการวิเคราะห์เพื่อหาว่าปัจจัยใดมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลตอบสนองที่สนใจบ้าง โดยนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Minitab ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงในตารางที่ 5.5 และสามารถดูผลการวิเคราะห์จาก Normal Plot of the Standardized Effects ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (α = 0.05) ได้เช่นกันดังรูปที่ 5.1 ซึ่งผลจากทั้งตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 5.5 และกราฟ Normal Plot ในรูปที่ 5.1 ให้ผลที่เหมือนกัน

ตารางที่ 5. 5 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทำการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน

Analysis of Variance for Trans Y (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	5	0.91420	0.91420	0.18284	12.87	0.007
1GRT	1	0.06982	0.06982	0.06982	4.91	0.077
2GRT	1	0.18042	0.18042	0.18042	12.70	0.016
3GRS	1	0.03438	0.03438	0.03438	2.42	0.181
1AGP	1	0.60325	0.60325	0.60325	42.45	0.001
3AGP	1	0.02631	0.02631	0.02631	1.85	0.232
2-Way Interactions	10	2.19979	2.19979	0.21998	15.48	0.004
1GRT*2GRT	1	0.00068	0.00068	0.00068	0.05	0.836
1GRT*3GRS	1	0.12252	0.12252	0.12252	8.62	0.032
1GRT*1AGP	1	0.19764	0.19764	0.19764	13.91	0.014
1GRT*3AGP	1	0.04748	0.04748	0.04748	3.34	0.127
2GRT*3GRS	1	0.05644	0.05644	0.05644	3.97	0.103
2GRT*1AGP	1	0.98134	0.98134	0.98134	69.06	0.000
2GRT*3AGP	1	0.08453	0.08453	0.08453	5.95	0.059
3GRS*1AGP	1	0.27899	0.27899	0.27899	19.63	0.007
3GRS*3AGP	1	0.07984	0.07984	0.07984	5.62	0.064
1AGP*3AGP	1	0.35032	0.35032	0.35032	24.65	0.004
Curvature	1	1.09749	1.09749	1.09749	77.24	0.000
Residual Error	5	0.07105	0.07105	0.01421		
Pure Error	5	0.07105	0.07105	0.01421		
Total	21	4.28252				

จากตารางที่ 5.5 แสดงให้เห็นว่าเทอมปัจจัยที่มีผลทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้แก่เทอมปัจจัยหลักของปัจจัย B อุณหภูมิของ 2nd Godet Roller และปัจจัย D ความดันลมของ 1st Air Guide และเทอมปัจจัยอันตรกิริยาระหว่าง 2 ปัจจัย ได้แก่เทอมของปัจจัย BD เป็นอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยอุณหภูมิของ 2nd Godet Roller กับความดันลมของ 1st Air Guide ปัจจัย CD เป็นอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยความเร็วรอบของ 3rd Godet Roller กับความดันลมของ 1st Air Guide ปัจจัย AD เป็นอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยอุณหภูมิของ 1st Godet Roller กับความดันลมของ 1st Air Guide ปัจจัย AC เป็นอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยอุณหภูมิของ 1st Godet Roller กับความเร็วรอบของ 3rd Godet Roller และปัจจัย DE เป็นอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยความดันลมของ 1st Air Guide กับความดันลมของ 3rd Air Guide หรือสามารถดูผลจากการทำ Normal Plot ก็ได้เช่นกันดังแสดงในรูปที่ 5.1 นอกจากนี้ในตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนยังให้ผลว่าเทอม Curvature มีผลอย่างมีนัยสำคัญอีกด้วย



รูปที่ 5. 1 กราฟ Normal Plot ของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

จากกราฟ Normal Plot ในรูปที่ 5.1 พบว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้แก่ ปัจจัย B อุณหภูมิของ 2nd Godet Roller และปัจจัย D ความดันลมของ 1st Air Guide นอกจากนี้ยังพบอันตรกิริยาต่อไปนี้ที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ ปัจจัย BD เป็นอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยอุณหภูมิของ 2nd Godet Roller กับความดันลมของ 1st Air Guide ปัจจัย CD เป็นอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยความเร็วรอบของ 3rd Godet Roller กับความดันลมของ 1st Air Guide ปัจจัย AD เป็นอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยอุณหภูมิของ 1st Godet Roller กับความดันลมของ 1st Air Guide ปัจจัย AC เป็นอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยอุณหภูมิของ 1st Godet Roller กับความเร็วรอบของ 3rd Godet Roller และปัจจัย DE เป็นอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยความดันลมของ 1st Air Guide กับความดันลมของ 3rd Air Guide นั่นแสดงให้เห็นว่าปัจจัยนำเข้าทุกปัจจัย ที่นำมาทำการศึกษามีผลต่อค่าผลต่อตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญทั้งสิ้น จะเห็นได้ว่าไม่ว่าจะพิจารณาผลจากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนหรือกราฟ Normal Plot ก็ให้ผลเหมือนกัน

5.5 สรุประยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

ในระยะการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหา ทำการเลือกรูปแบบที่จะใช้ในการทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยนำเข้า (X) ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ซึ่งรูปแบบที่เลือกมาใช้ คือ การออกแบบการทดลองและการทบทวนหรือสร้างมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงานขึ้นมาสำหรับปัจจัยนำเข้าที่มีอิทธิพลต่อการเกิดข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขน

ในส่วนของการออกแบบการทดลอง หลังจากทำการวิเคราะห์ข้อมูลแล้วสามารถสรุปได้ว่าเลือกใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลบางส่วน สำหรับ 5 ปัจจัยแบบมีจุดศูนย์กลาง ซึ่งการทดลองรูปแบบนี้มีค่า Resolution เท่ากับ V นั่นหมายความว่าผลกระทบหลักจะไม่ซ้ำซ้อนกับผลกระทบหลักและอันตรกิริยาระหว่าง 2 ปัจจัยจะไม่ซ้ำซ้อนกับอันตรกิริยาระหว่าง 2 ปัจจัย แต่อันตรกิริยาระหว่าง 2 ปัจจัยจะซ้ำซ้อนกับอันตรกิริยาระหว่าง 3 ปัจจัย และผลกระทบหลักซ้ำซ้อนกับอันตรกิริยาระหว่าง 4 ปัจจัย แต่อันตรกิริยาที่อยู่ในขั้นสูงหรือเป็นอันตรกิริยาระหว่าง 3 ปัจจัยขึ้นไปมีค่าน้อยและสามารถตัดทิ้งได้ไม่ต้องทำการพิจารณา ถึงแม้มีการซ้ำซ้อนกับเทอมผลกระทบหลักหรืออันตรกิริยาอยู่ดังแสดงใน Alias Structure ตารางที่ 5.2 ฉะนั้นในการวิเคราะห์ครั้งนี้จึงสามารถที่จะแยกแยะความแตกต่างระหว่างเทอมปัจจัยที่เกิดซ้ำซ้อนกันได้ โดยในการทดลองครั้งนี้มีขนาดตัวอย่างในแต่ละการทดลองไม่คงที่ เนื่องด้วยข้อมูลที่เก็บมานั้นเป็นข้อมูลที่มีการสุ่มตัวอย่างแบบส่วนกลับทวินาม ซึ่งค่าที่เก็บได้จากการทดลองหรือค่าของตัวแปรตอบสนองนั้นคือ ค่าจำนวนม้วนของเส้นด้ายเมื่อเกิดม้วนของเสียครบ 8 ม้วน ในการออกแบบการทดลองครั้งนี้ใช้จำนวนการทดลอง (Run) ทั้งสิ้น 22 การทดลอง

เมื่อได้ผลการทดลองมาแล้ว ก่อนนำไปทำการวิเคราะห์ต้องทำการแปลงค่าของตัวแปรตอบสนองโดยใช้วิธีของ Bisgaard และ Gertsbakh เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ไม่คลาดเคลื่อน แล้วจึงนำค่าที่ผ่านการแปลงแล้วไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab และจากการทำการวิเคราะห์แล้วนั้นสามารถสรุปผลได้ว่าทุกปัจจัยนำเข้าที่นำมาทำการออกแบบการทดลองนั้น ซึ่งมีเทอมที่เป็นปัจจัยหลักและเทอมของอันตรกิริยา ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิของ 1stGodet Roller (1GRT), อุณหภูมิของ 2ndGodet Roller (2GRT), ความเร็วรอบของ 3rdGodet Roller (3GRS), ความดันลมของ 1stAir Guide (1AGP) และความดันลมของ 2ndAir Guide (3AGP) มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 และจากนั้นจะได้นำปัจจัยนำเข้าที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญนั้นไปทำการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบเพื่อทำการปรับปรุงและหาค่าที่ดีที่สุดให้กับแต่ละปัจจัยนำเข้าต่อไป และจะได้อธิบายอธิบายเหตุผลของเทอมที่มีนัยสำคัญที่ได้จากการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบในบทต่อไป

บทที่ 6
การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

หลังจากที่ได้วิเคราะห์หาสาเหตุหรือปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขนทั้งโดยวิธีการวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยการวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่องและผลกระทบ และด้วยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลบางส่วนที่มีปัจจัย 5 ปัจจัยแบบมีจุดศูนย์กลางและทำการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Minitab ซึ่งปัจจัยทั้งหมดจากการวิเคราะห์ในขั้นตอนก่อนหน้ารวมทั้งหมด 10 ปัจจัยด้วยกันที่จะนำมาทำการปรับปรุง ซึ่งจะแบ่งทำการปรับปรุง 2 ส่วนด้วยกัน ส่วนหนึ่งเป็นปัจจัยเชิงคุณลักษณะซึ่งจัดทำการทบทวนหรือจัดทำวิธีการปฏิบัติงานขึ้นมาใหม่ อีกส่วนหนึ่งคือปัจจัยเชิงปรับตั้งค่าได้ที่ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง DOE แล้วพบว่ามีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ จะทำการออกแบบการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาค่าที่ดีที่สุดให้กับแต่ละปัจจัย

6.1 แนวทางการปรับปรุงสำหรับปัจจัยที่ได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่องและผลกระทบ

มีบางปัจจัยที่ทำการวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) แล้วพบว่าเป็นปัจจัยเชิงคุณลักษณะที่มีผลต่อการเกิดเส้นด้ายเป็นขนอย่างมากเช่นกัน แต่ไม่สามารถที่จะนำไปทำการออกแบบการทดลองเพื่อทำการปรับปรุงได้ แต่สามารถทำการปรับปรุงได้ด้วยการทบทวนมาตรฐานวิธีปฏิบัติงานหรือจัดทำมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงานขึ้นมาใหม่ หรือการปรับปรุงระบบการตรวจจับหรือลดความถี่/โอกาสในการเกิดสาเหตุของปัญหา ซึ่งสามารถดำเนินการได้เลยเมื่อทราบว่าปัจจัยนั้นเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเส้นด้ายเป็นขนสูง ซึ่งในการดำเนินการปรับปรุงส่วนของการควบคุมเครื่องจักรนี้ พบว่าก็สามารถลดสัดส่วนของเสียที่เกิดเส้นด้ายเป็นขนลงจาก 3.35% เหลือเพียง 1.76% แต่ก็ยังไม่บรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ อีกทั้งปัจจัยที่เหลือที่ได้วิเคราะห์ด้วยการออกแบบการทดลองแล้วก็เห็นได้ว่าปัจจัยเชิงคุณลักษณะเหล่านี้ก็มีความจำเป็นที่ต้องทำการปรับปรุงด้วยเช่นกัน อีกทั้งทางโรงงานมีงบประมาณที่จะทำการปรับปรุงด้วยโดยแนวทางการปรับปรุง โดยแบ่งสาเหตุตามการเกิดในบริเวณของชิ้นส่วนที่เป็นทางผ่านของเส้นด้าย (Yarn Path) บนเครื่องจักรในกระบวนการดึงยืดเส้นด้ายดังนี้

1) Air Guide มีสาเหตุที่เป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดข้อบกพร่องประเภทเส้นด้ายเป็นขนและแนวทางการปรับปรุงดังนี้

เส้นด้ายไม่ได้ศูนย์กลางของรู Air Guide เนื่องจากนอตยึด Air Guide หลวม โดยก่อนหน้าทางโรงงานไม่เคยมีระยะเวลาสำหรับการตรวจเช็คนอต จะทำการตรวจสอบบ้างเมื่อมีการร้องเรียนจากลูกค้า จึงได้เสนอวิธีการปรับปรุงโดยเพิ่มความถี่ในการตรวจสอบนอตยึด Air Guide คือทำการตรวจเช็คนอตยึด Air Guide อย่างสม่ำเสมอทุกๆ 2 วันที่มีการทำความสะอาดเครื่องจักร โดยพนักงานเป็นผู้ตรวจสอบ

ลักษณะการพองตัวของเส้นด้ายไม่ดี เนื่องจากรูของ Air Guide สกปรก โดยทำการตรวจสอบด้วยสายตามากกว่า 1 สัปดาห์ต่อครั้งและเมื่อพบความผิดปกติก็ไม่สามารถบอกได้ว่าเกิดจากสาเหตุใด จึงเสนอแนวทางในการปรับปรุงโดยการเพิ่มความถี่ในการตรวจสอบคือ ทำการถอด Air Guide ออกมาล้างอย่างสม่ำเสมอทุกๆ 3 เดือนและใช้คนตรวจสอบความสะอาดของรู Air Guide ก่อนนำไปใช้งานอีกครั้ง

ลักษณะการพองตัวของเส้นด้ายไม่ดี เนื่องจาก Regulator ที่ทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายลมเสีย โดยไม่เคยมีการกำหนดการตรวจสอบและจะทำการหาสาเหตุก็ต่อเมื่อเกิดความผิดปกติเกิดขึ้นเท่านั้น จึงได้เสนอแนวทางปรับปรุงโดยทำการตรวจสอบความดันของ Air Guide ทุกกะๆ ละ 1 ครั้งและทำการตรวจสอบ Regulator gauge เมื่อมีการทำความสะอาด Godet Roller หรือเมื่อทำความสะอาดเครื่องจักร

2) Godet Roller มีสาเหตุที่เป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดข้อบกพร่องประเภทเส้นด้ายเป็นขนและแนวทางการปรับปรุงดังนี้

เส้นด้ายมีลักษณะตึงหรือหย่อนเกินไป เนื่องจากการปรับตั้งค่าความเร็วของ Godet Roller ไม่เหมาะสม ปรับปรุงโดยการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าความเร็วที่เหมาะสมให้กับ Godet Roller

เส้นด้ายเหนียวหรืออ่อนตัวเกินไป เนื่องจากการปรับตั้งค่าอุณหภูมิของ Godet Roller ไม่เหมาะสม ปรับปรุงโดยการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมให้กับ Godet Roller

Godet Roller สึกหรอหรือเป็นรอย เนื่องจากเส้นด้ายวิ่งผ่าน Godet Roller ซ้ำในตำแหน่งเดิมตลอดเวลา โดยทางโรงงานจะทำการตรวจสอบผิวของ Godet Roller เดือนละ 1 ครั้งหรือเมื่อมีการร้องเรียนจากลูกค้า แต่ไม่มีการกำหนดว่าผิวในลักษณะใดมีความรุนแรงอย่างไรและควรจัดการอย่างไรกับผิวของ Godet Roller ในลักษณะต่าง จึงจะทำการปรับปรุงโดยจัดทำมาตรฐานสำหรับการตรวจสอบลักษณะผิวของ Godet Roller และหากพบว่าผิวของ Godet Roller มีผิวที่สึกหรอหรือเป็นรอยอย่างรุนแรงก็จะทำการเปลี่ยน Godet Roller ใหม่

Godet Roller สกปรก เนื่องจากการทำความสะอาด Godet Roller ยังไม่ดี ซึ่งมีการตรวจสอบความสะอาดบ้างแต่ไม่มีเกณฑ์ในการพิจารณาว่า Godet Roller สะอาดจริงหรือไม่ จึงจะทำการเพิ่มความถี่ในการตรวจสอบคือ ทำการปรับปรุงโดยการจัดทำคู่มือหรือมาตรฐานสำหรับการตรวจสอบความสะอาดของ Godet Roller โดยการถ่ายรูปผิวของ Godet Roller ก่อนและหลังทำความสะอาดสำหรับใช้ในการอ้างอิงขณะทำการตรวจสอบผิว Godet Roller หลังการทำความสะอาด

3) Winder มีสาเหตุที่เป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดข้อบกพร่องประเภทเส้นด้ายเป็นขนและแนวทางการปรับปรุงดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Hanetora และ Wave guide ตำแหน่งคลาดเคลื่อนไปจากเดิม เนื่องจากมีเส้นด้ายขาดระหว่างกระบวนการและเข้าไปรั้ง Hanetora และ Wave guide แต่มีการตรวจสอบเป็นบางโอกาสหรือโดนลูกค้าร้องเรียน โดยทำการเพิ่มความถี่ในการตรวจสอบคือ การปรับปรุงโดยทำการตรวจสอบตำแหน่งของ Hanetora และ Wave guide ทุกๆ 14 วันหรือทุกครั้งที่มีการเปลี่ยน Pack

Roller Bail เป็นรอยเนื่องจากมีใช้คัตเตอร์ในการกรีดเส้นด้ายขาดที่เข้าไปติดและพันกับ Roller Bail โดยมีการสุ่มตรวจรอยบน Roller Bail ทุกๆ 1 เดือน จึงทำการแก้ไขโดยการปรับปรุงที่กำบังให้กับ Roller Bail/ใช้ Heater cutter แทนคัตเตอร์ และจัดทำมาตรฐานสำหรับการตรวจสอบรอยบน Roller Bail เพื่อนำไปประกอบพิจารณาในการเปลี่ยน Roller Bail ต่อไป โดยจะมีการตรวจสอบรอยบน Roller Bail ทุกๆ 14 วัน

ผิวของ Hanetora และ Wave guide เป็นรอยสึกหรอ เนื่องจากการใช้งานนานโดยไม่มีการซ่อมบำรุงหรือเปลี่ยนเมื่อถึงกำหนด และมีการสุ่มตรวจสอบผิวของ Hanetora และ Wave guide ทุกๆ 1 เดือนต่อครั้ง จึงทำการปรับปรุงโดยการเพิ่มความถี่ของการตรวจสอบและตรวจสอบ 100% และทำการตรวจสอบผิวของ Hanetora และ Wave guide ทุกๆ 14 วันหรือทุกครั้งที่ทำการเปลี่ยน Pack

โดยผลการวิเคราะห์ของแต่ละปัจจัย ตลอดจนแนวทางในการปรับปรุงปัจจัยตัวนั้นๆ ถูกแสดงในตารางที่ 6.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6. 1 แนวทางในการปรับปรุงแก้ไขปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปัญหาเส้นด้ายเป็นขน

ชิ้นส่วน / หน้าที่	แนวโน้มของผลกระทบของข้อบกพร่อง	แนวโน้มของสาเหตุหรือกลไก	O	การควบคุมการออกแบบปัจจุบัน		D	Score (O x D)	แนวทางการปฏิบัติ/การแก้ไข	ผู้รับผิดชอบ/วันสิ้นสุด	ผลการแก้ไข			
				การป้องกัน	การตรวจจับ					การแก้ไข	O	D	Score (O x D)
Air Guide ทำหน้าที่เป่าเส้นด้ายให้สลัดน้ำมันและทำให้เส้นด้ายจับตัวกันไม่แผ่ออกมากเกินไป	เส้นด้ายแกว่งหรือพลิ้วไปเสียดสีกับ Air Guide จึงเกิดเส้นด้ายเป็นขนขึ้น	นอตยึด Air Guide หลวม ทำให้ Air Guide เคลื่อนที่ไม่ตรงตำแหน่ง เส้นด้ายที่วิ่งผ่านอาจแกว่งหรือพลิ้วไปเสียดสีกับ Air Guide ทำให้เกิดเส้นด้ายเป็นขนขึ้นได้	9	-	มีการตรวจสอบตำแหน่งของเส้นด้ายที่ผ่านรู Air Guide เป็นบางโอกาส /เมื่อมีการร้องเรียนจากลูกค้าหรือเมื่อเกิดปัญหา	8	72	ตรวจสอบนอตยึด Air Guide ทุกๆ 2 วันที่มีการทำความสะอาดเครื่องจักร	ทีมวิศวกรที่ทำหน้าที่ดูแลและแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต (20/7/2556)	ทำการตรวจเช็คนอตยึด Air Guide อย่างสม่ำเสมอทุกๆ 2 วันที่มีการทำความสะอาดเครื่องจักร โดยพนักงานเป็นผู้ตรวจสอบ	6	5	30
	เส้นด้ายมีการพองตัวมากจนพลิ้วไปเสียดสีกับ Air Guide จึงเกิดเส้นด้ายเป็นขนขึ้น	รูของ Air Guide สกปรก ทำให้เส้นด้ายมีการพองตัวมากเกินจนพลิ้วไปเสียดสีกับ Air Guide จนเกิดเส้นด้ายเป็นขนขึ้นได้	8	ทำการตรวจสอบความสะอาดของรู Air Guide ด้วยสายตามากกว่า 1 สัปดาห์ต่อครั้ง	สามารถตรวจพบความผิดปกติของการพองตัวของเส้นด้ายที่เกิดขึ้นได้ แต่ไม่ทราบว่ามาจากสาเหตุหรือกลไกของชิ้นส่วนใด	9	72	ทำการถอด Air Guide ออกมาล้างทุกๆ 3 เดือน	ทีมวิศวกรที่ทำหน้าที่ดูแลและแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต (20/7/2556)	ทำการถอด Air Guide ออกมาล้างอย่างสม่ำเสมอทุกๆ 3 เดือน และใช้คนตรวจสอบความสะอาดของรู Air Guide ก่อนนำไปใช้	5	5	25

ตารางที่ 6.1 แนวทางในการปรับปรุงแก้ไขปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปัญหาเส้นด้ายเป็นขน (ต่อ)

ชิ้นส่วน / หน้าที่	แนวโน้มของผลกระทบของข้อบกพร่อง	แนวโน้มของสาเหตุหรือกลไก	O	การควบคุมการออกแบบปัจจุบัน		D	Score (O x D)	แนวทางการปฏิบัติ/การแก้ไข	ผู้รับผิดชอบ/วันสิ้นสุด	ผลการแก้ไข			
				การป้องกัน	การตรวจจับ					การแก้ไข	O	D	Score (O x D)
Air Guide ทำหน้าที่เป่าเส้นด้ายให้สลัดน้ำมันและทำให้เส้นด้ายจับตัวกันไม่แผ่ออกมากเกินไป	เส้นด้ายมีการพองตัวมากจนพลิ้วไปเสียดสีกับ Air Guide จึงเกิดเส้นด้ายเป็นขนขึ้น	Regulator ที่ทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายลมเสียทำให้เส้นด้ายมีการพองตัวมากเกินจนพลิ้วไปเสียดสีกับ Air Guide จนเกิดเส้นด้ายเป็นขนขึ้นได้	8	-	สามารถตรวจพบความผิดปกติของการจับตัวกันของเส้นด้ายในกระบวนการ แต่ไม่สามารถหาสาเหตุได้	8	64	- ตรวจสอบความดันของ Air Guide 1 ครั้ง/กะ - ตรวจสอบ Regulator gauge เมื่อมีการทำความสะอาด Godet Roller หรือเมื่อทำความสะอาดเครื่องจักร	พนักงานที่ได้รับมอบหมายในแต่กะทำงาน (20/7/2556)	- ตรวจสอบความดันของ Air Guide ทุกกะๆ ละ 1 ครั้ง - ตรวจสอบ Regulator gauge เมื่อมีการทำความสะอาด Godet Roller หรือเมื่อทำความสะอาดเครื่องจักร	7	5	35
Godet Roller (GR) ทำหน้าที่ยืดเส้นด้ายและนำพาเส้นด้าย	ถ้าเส้นด้ายตึงเกินไปก็จะทำให้เส้นด้ายเป็นขนหรือขาดได้ แต่ถ้าเส้นด้ายหย่อนเกินไปก็จะไปเสียดเสียดกับชิ้นส่วนของเครื่องจักรจนเกิดเส้นด้ายเป็นขน	การปรับตั้งค่าความเร็วของ Godet Roller ยังไม่เหมาะสม อาจส่งผลให้เส้นด้ายนั้นตึงเกินไป เส้นด้ายอาจขาดและเกิดเป็นขนขึ้นได้ หรือไม่ก็อาจทำให้เส้นด้ายนั้นหย่อนเกินไปก็จะทำให้เส้นด้ายไปเสียดสีกับชิ้นส่วนของเครื่องจักรจนเกิดเส้นด้ายเป็นขนได้	8	ทำการปรับตั้งค่าความเร็วทุกๆ 8 ชั่วโมง	มีการตรวจสอบความตึง-หย่อนของเส้นด้ายที่ผ่าน Godet Roller เป็นบางโอกาส /เมื่อมีการร้องเรียนจากลูกค้าหรือเมื่อเกิดปัญหา	8	64	ทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าความเร็วที่เหมาะสมให้กับ Godet Roller	วิศวกรควบคุมการผลิต (28/7/2556)	นำค่าความเร็วที่วิเคราะห์ได้จากการออกแบบการทดลองไปปรับตั้งค่าให้กับ Godet Roller	7	3	21

ตารางที่ 6.1 แนวทางในการปรับปรุงแก้ไขปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปัญหาเส้นด้ายเป็นขน (ต่อ)

ชิ้นส่วน / หน้าที่	แนวโน้มของผลกระทบของข้อบกพร่อง	แนวโน้มของสาเหตุหรือกลไก	O	การควบคุมการออกแบบปัจจุบัน		D	Score (O x D)	แนวทางการปฏิบัติ/การแก้ไข	ผู้รับผิดชอบ/วันสิ้นสุด	ผลการแก้ไข			
				การป้องกัน	การตรวจจับ					การแก้ไข	O	D	Score (O x D)
Godet Roller (GR) ทำหน้าที่ยืดเส้นด้ายและนำพาเส้นด้าย	เส้นด้ายที่มีความอ่อนตัวเกินไปจะมีความสามารถในการถูกดึงยืดต่ำและนำพาได้ยาก ทำให้เกิดเส้นด้ายเป็นขนได้	การปรับตั้งค่าอุณหภูมิของ Godet Roller ยังไม่เหมาะสม หากอุณหภูมิสูงจะส่งผลให้เส้นด้ายมีความอ่อนตัวเกินไป เส้นด้ายจะมีความสามารถในการถูกดึงยืดต่ำและนำพาได้ยากทำให้เกิดเส้นเป็นขนได้	8	ทำการปรับตั้งค่าอุณหภูมิทุกๆ 8 ชั่วโมง	มีการตรวจสอบลักษณะของเส้นด้ายเป็นบางโอกาส /เมื่อมีการร้องเรียนจากลูกค้าหรือเมื่อเกิดปัญหา	8	64	ทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมให้กับ Godet Roller	วิศวกรควบคุมการผลิต (28/7/2556)	นำค่าอุณหภูมิที่วิเคราะห์ได้จากการออกแบบการทดลองไปปรับตั้งค่าความให้กับ Godet Roller	7	3	21
	เส้นด้ายเสียดสีกับผิวของ Godet Roller ที่สึกหรือเป็นรอย ส่งผลให้เส้นด้ายเกิดเป็นขนขึ้น	เส้นด้ายวิ่งผ่าน Godet Roller ซ้ำตำแหน่งเดิมตลอด นั่นคือเส้นดายต้องเสียดสีกับผิวของ Godet Roller ที่สึกหรือเป็นรอย ส่งผลให้เกิดเส้นด้ายเป็นขนได้	6	ตรวจสอบผิวของ Godet Roller เดือนละ 1 ครั้ง	มีการตรวจสอบผิวของ Godet Roller เป็นบางโอกาส /เมื่อมีการร้องเรียนจากลูกค้าหรือเมื่อเกิดปัญหา	8	48	จัดทำมาตรฐานสำหรับการตรวจสอบลักษณะผิวของ Godet Roller	วิศวกรควบคุมการผลิต (28/7/2556)	นำมาตรฐานที่จัดทำขึ้นไปใช้ในการตรวจสอบระดับความรุนแรงของผิว Godet Roller เพื่อทำการเปลี่ยนต่อไป	6	7	42

ตารางที่ 6.1 แนวทางในการปรับปรุงแก้ไขปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปัญหาเส้นด้ายเป็นขน (ต่อ)

ชิ้นส่วน / หน้าที่	แนวโน้มของผลกระทบของข้อบกพร่อง	แนวโน้มของสาเหตุหรือกลไก	O	การควบคุมการออกแบบปัจจุบัน		D	Score (O x D)	แนวทางการปฏิบัติ/การแก้ไข	ผู้รับผิดชอบ/วันสิ้นสุด	ผลการแก้ไข			
				การป้องกัน	การตรวจจับ					การแก้ไข	O	D	Score (O x D)
Godet Roller (GR) ทำหน้าที่ยึดเส้นด้ายและนำพาเส้นด้าย	เส้นด้ายถูกนำพาผ่านบริเวณของ GR ที่มีสิ่งสกปรกติดอยู่ เป็นเหตุให้เส้นด้ายวิ่งสะดุดหรือเสียดสีกับตำแหน่งนั้นๆจนเกิดเป็นขนขึ้นได้	การทำความสะอาด Godet Roller ยังไม่ดี เส้นด้ายที่ถูกนำพาผ่านบริเวณของ Godet Roller ที่มีสิ่งสกปรกติดอยู่ เป็นเหตุให้เส้นด้ายวิ่งสะดุดหรือเสียดสีกับตำแหน่งนั้นๆ จนเกิดขาดหรือเป็นขนขึ้นได้	9	ตรวจสอบความสะอาด Godet Roller บ้างแต่ไม่มีเกณฑ์ในการพิจารณาว่า Godet Roller สะอาดจริงหรือไม่	มีการตรวจสอบความสะอาดของ Godet Roller เป็นบางโอกาส /เมื่อมีการร้องเรียนจากลูกค้าหรือเมื่อเกิดปัญหา	8	72	จัดทำมาตรฐานสำหรับการตรวจสอบความสะอาดของ Godet Roller โดยถ่ายรูปผิวของ Godet Roller ก่อนและหลังการทำความสะอาด	วิศวกรควบคุมการผลิต (28/7/2556)	นำมาตรฐานที่ได้จัดทำขึ้นมาใช้อ้างอิงในการตรวจสอบความสะอาดของ Godet Roller	8	5	40
Winder ทำหน้าที่กรอเส้นด้ายเข้าหลอดและเรียงเส้นด้าย	เส้นด้ายเสียดสีกับ Hanetora และ Wave guide ส่งผลให้เส้นด้ายเกิดเป็นขนขึ้น	มีเส้นด้ายขาดระหว่างกระบวนการและเข้าไปรั้ง Hanetora และ Wave guide เส้นด้ายจะต้องเสียดสีกับ Hanetora และ Wave Guide เส้นด้ายจึงเกิดเป็นขนได้	7	-	มีการตรวจสอบตำแหน่งของ Hanetora และ Wave guide เป็นบางโอกาส /เมื่อมีการร้องเรียนจากลูกค้าหรือเมื่อเกิดปัญหา	8	56	ทำการตรวจสอบตำแหน่งของ Hanetora และ Wave guide ทุกๆ 14 วัน	ฝ่ายซ่อมบำรุง (10/7/2556)	ทำการตรวจสอบตำแหน่งของ Hanetora และ Wave guide ทุกๆ 14 วัน หรือทุกครั้งที่มีการเปลี่ยน Pack	7	6	42

ตารางที่ 6.1 แนวทางในการปรับปรุงแก้ไขปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปัญหาเส้นด้ายเป็นขน (ต่อ)

ชิ้นส่วน / หน้าที่	แนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง	แนวโน้มของสาเหตุหรือกลไก	O	การควบคุมการออกแบบปัจจุบัน		D	Score (O x D)	แนวทางการปฏิบัติ/การแก้ไข	ผู้รับผิดชอบ/วันสิ้นสุด	ผลการแก้ไข			
				การป้องกัน	การตรวจจับ					การแก้ไข	O	D	Score (O x D)
Winder ทำหน้าที่กรอเส้นด้ายเข้าหลอดและเรียงเส้นด้าย	เส้นด้ายเสียดสีกับรอยบน Roller Bail เส้นด้ายจึงมีลักษณะเป็นขนเกิดขึ้น	ใช้คัตเตอร์ในการกรีดเส้นด้ายขาดที่เข้าไปติดและพันกับ Roller Bail ทำให้เส้นด้ายไปเสียดสีกับรอยบน Roller Bail เส้นด้ายจึงมีลักษณะเป็นขนกิดขึ้น	7	-	สุ่มตรวจสอบรอยบน Roller Bailทุกๆ 1 เดือนต่อครั้งโดยพนักงานและทำการตรวจสอบ Roller Bail ในทุกเครื่องจักร	6	42	- ปรับปรุงที่กำบังให้กับ Roller Bail/ใช้ Heater cutter แทนคัตเตอร์ - จัดทำมาตรฐานสำหรับการตรวจสอบรอยบน Roller Bail เพื่อทำไปพิจารณาในการเปลี่ยน Roller Bail ต่อไป - ทำการตรวจสอบรอยทุก ๆ 14 วัน	ฝ่ายซ่อมบำรุง (10/7/2556)	- ปรับปรุงที่กำบังให้กับ Roller Bail/ใช้ Heater cutter แทนคัตเตอร์ - นำมาตรฐานที่ได้ทำการออกแบบไปอ้างอิงในการตรวจสอบรอยบน Roller Bail ทุก ๆ 14 วัน และทำการเปลี่ยนเมื่อถึงกำหนด	8	5	40
	เส้นด้ายเสียดสีกับรอยสึกหรอของผิว Hanetora และ Wave guide เส้นด้ายจึงเป็นขนขึ้น	มีการใช้งาน Hanetora และ Wave guide นาน โดยไม่มีการซ่อมบำรุงหรือเปลี่ยนเมื่อถึงกำหนด ส่งผลให้ผิวของ Hanetora และ Wave guide เป็นรอยสึกหรอ เมื่อเส้นด้ายวิ่งผ่านจึงเกิดการเสียดสีกับรอยสึกหรอของผิว Hanetora และ Wave Guide จนเกิดลักษณะของเส้นด้ายเป็นขน	6	-	สุ่มตรวจสอบผิวของ Hanetora และ Wave guide ทุกๆ 1 เดือนต่อครั้งโดยพนักงานและทำการตรวจสอบในทุกเครื่องจักร	6	36	ทำการตรวจสอบผิวของ Hanetora และ Wave guide ทุกๆ 14 วัน	ฝ่ายซ่อมบำรุง (10/7/2556)	ทำการตรวจสอบความสึกหรอของผิว Hanetora และ Wave guide ทุกๆ 14 วันหรือทุกครั้งที่มีการเปลี่ยน Pack	6	5	30

6.2 การออกแบบการทดลองเพิ่มเติม

ผลการทดลองในส่วนของการออกแบบการทดลองเพื่อหาว่าปัจจัยนำเข้าใดบ้างที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง พบว่าปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยคือ อุณหภูมิของ 1st Godet Roller (1GRT), อุณหภูมิของ 2nd Godet Roller (2GRT), ความเร็วรอบของ 3rd Godet Roller (3GRS), ความดันลมของ 1st Air Guide (1AGP) และความดันลมของ 2nd Air Guide (3AGP) ซึ่งทุกปัจจัยเป็นปัจจัยประเภทปรับตั้งค่าได้ โดยที่เป็นทั้งปัจจัยหลักและอันตรกิริยาระหว่างบางคู่ปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่าตัวแปรตอบสนอง

6.2.1 การออกแบบการทดลองพื้นผิวผลตอบแบบ Central Composite Design

ในส่วนของปัจจัยประเภทปรับตั้งค่าได้และมีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ จะมีการทำการออกแบบการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาค่าที่ดีที่สุดให้กับแต่ละปัจจัยที่จะทำให้สัดส่วนของเสียที่เกิดจากลักษณะข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขนลดลง โดยเลือกทำการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Design) แบบ Central Composite Design (CCD) เนื่องจากเป็นการทดลองที่กำหนดให้มีการทดสอบที่ระดับของปัจจัยตั้งแต่ 3 ระดับขึ้นไป ซึ่งจะทำให้สามารถหาค่าปัจจัยปรับตั้งที่เหมาะสมที่สุดให้กับปัจจัย อีกทั้งการทดลองด้วยรูปแบบนี้ยังประหยัดเวลาในการทำการทดลองเพิ่มเติม เนื่องด้วยสามารถใช้ข้อมูลเก่าที่ทำในขั้นตอนการคัดกรอง (Screening) มาใช้ได้ด้วย ซึ่งการทดลองนี้จะประกอบด้วยการทดลอง 3 ส่วน คือ Factorial Points, Center Points และ Axial Points ฉะนั้นจึงต้องทำการทดลองเพิ่มเฉพาะการทดลองในส่วนของ Axial Points เท่านั้น แต่จะต้องมีการกำหนดระดับปัจจัยเพิ่ม เพราะหลังจากทำการออกแบบด้วยโปรแกรม Minitab พบว่าในส่วนของ Axial Values จะอยู่ที่ระดับ ± 2 ซึ่งเป็นค่าในส่วนของ Axial Points เป็นแบบ Spherical CCD คือมีความสามารถในการหมุน (Rotatable) จุดแกนมีระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของการออกแบบเท่ากัน หมายถึงค่าความแปรปรวนของผลตอบที่ถูกพยากรณ์จะมีค่าคงตัวบนรูปทรงกลม และแต่ละปัจจัยจึงถูกกำหนดระดับปัจจัยอยู่ที่ 5 ระดับ ได้ค่าในแต่ละระดับของปัจจัยดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6. 2 การกำหนดระดับให้กับปัจจัยนำเข้าขั้นตอนการหาเงื่อนไขที่ดีที่สุด (Optimization)

ปัจจัยนำเข้า (X)	ระดับปัจจัย				
	-2	-1	0	+1	+2
อุณหภูมิของ 1st Godet Roller (1GRT),°c	68	70.5	73	75.5	78
อุณหภูมิของ 2nd Godet Roller (2GRT),°c	94	99	104	109	114
ความเร็วรอบของ 3rd Godet Roller (3GRS), rpm	2004.5	2086	2167.5	2249	2330.5
ความดันลมของ 1st Air Guide (1AGP), kPa	0	1	2	3	4
ความดันลมของ 3rd Air Guide (3AGP), kPa	1	2	3	4	5

6.2.2 การกำหนดขนาดตัวอย่างในการเก็บข้อมูล

การกำหนดขนาดตัวอย่างในการทดลองพื้นผิวผลตอบแบบ Central Composite Design นี้ จะทำการใช้ขนาดตัวอย่างเดียวกับการออกแบบในส่วนของการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน เนื่องจากการทดลองในส่วนนี้เป็นการทดลองต่อเนื่องจากการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน คือมีข้อมูลบางส่วนที่ทำไปแล้วในการทดลองก่อนหน้าสามารถนำมาใช้ในการทดลองนี้ได้เลย โดยทำการทดลองเพิ่มบางส่วนในส่วนของ Axial Points เท่านั้น จึงเลือกใช้ขนาดตัวอย่างจากวิธี Inverse Binomial Sampling คือเก็บข้อมูลเพิ่มในส่วนการทดลองที่ Axial Points เท่านั้น โดยทำการเก็บจำนวนม้วนทั้งหมดจนกว่าจะเจอม้วนของเสียครบ 8 ม้วนแล้วจึงหยุดการทดลองนั้นๆ ไปทำการทดลองอื่นๆ โดยแผนการการทดลองสำหรับการออกแบบในส่วนการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบแบบ Central Composite Design จะกล่าวในขั้นตอนถัดไป

6.3 แผนการวิเคราะห์การทดลองพื้นผิวผลตอบแบบ Central Composite Design

หลังจากที่ได้ทำการเลือกรูปแบบการทดลองสำหรับการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดให้กับแต่ละปัจจัย นั่นคือเลือกรูปแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบแบบ Central Composite Design เนื่องจากสามารถใช้ผลการทดลองจากการทดลองแบบแฟคทอเรียลได้ในบางส่วน ทำให้ต้องทำการทดลองเพิ่มเฉพาะในส่วนของ Axial Points เท่านั้น ซึ่งประหยัดทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายในการทำการทดลอง แต่ยังสามารถหาค่าที่เหมาะสมให้กับแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองได้ และในส่วนของขนาดตัวอย่างก็เลือกวิธี Inverse Binomial Sampling เช่นเดียวกับการทดลองก่อนหน้า เพื่อให้เกิดความต่อเนื่องและง่ายต่อการทำการวิเคราะห์ จากนั้นทำการออกแบบการทดลองเพื่อนำไปทำการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ต่อไป โดยมีรายละเอียดการทดลองดังแสดงในตารางที่ 6.3 และได้ตารางการออกแบบดังแสดงในตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6. 3 รายละเอียดการออกแบบการทดลอง

Central Composite Design

Factors:	5	Replicates:	1
Base runs:	32	Total runs:	32
Base blocks:	1	Total blocks:	1

Two-level factorial: Half fraction

Cube points:	16
Center points in cube:	6
Axial points:	10
Center points in axial:	0

Alpha: 2

ตารางที่ 6. 4 ตารางการออกแบบ เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม

Design Table (randomized)

Run	Blk	A	B	C	D	E
1	1	0	0	0	0	0
2	1	-1	-1	-1	1	-1
3	1	-1	-1	-1	-1	1
4	1	-1	-1	1	-1	-1
5	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	-1	-1
7	1	0	0	0	0	0
8	1	0	0	0	0	0
9	1	0	2	0	0	0
10	1	0	0	0	0	2
11	1	1	1	-1	1	-1
12	1	1	-1	1	1	-1
13	1	0	0	0	-2	0
14	1	-2	0	0	0	0
15	1	2	0	0	0	0
16	1	-1	-1	1	1	1
17	1	0	0	2	0	0
18	1	1	-1	-1	1	1
19	1	-1	1	1	-1	1
20	1	0	0	0	0	-2
21	1	0	-2	0	0	0
22	1	0	0	0	2	0
23	1	1	-1	1	-1	1
24	1	-1	1	-1	-1	-1
25	1	0	0	0	0	0
26	1	-1	1	-1	1	1
27	1	0	0	-2	0	0
28	1	1	1	-1	-1	1
29	1	0	0	0	0	0
30	1	0	0	0	0	0
31	1	-1	1	1	1	-1
32	1	1	-1	-1	-1	-1

หลังจากออกแบบการทดลองเรียบร้อยแล้ว ก็ทำการทดลองตามลำดับของตารางออกแบบการทดลอง ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการทดลองเพิ่มในส่วน Axial Points และในส่วนของการทดลองอื่นๆ สามารถนำข้อมูลที่ได้ทำในขั้นตอนการคัดกรองมาใช้ได้เลย เมื่อได้ผลการทดลองมาแล้วต้องนำข้อมูลไปทำการแปลงค่าโดยใช้วิธีของ Bisgaard และ Gertsbakh ก่อนนำไปทำการวิเคราะห์อีกครั้ง โดยขั้นตอนการทดลองอ้างอิงจากหัวข้อ 5.4 ในบทก่อนหน้า ผลการทดลองและการแปลงค่าดังแสดงในตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6. 5 ผลการทดลองและการแปลงข้อมูลด้วยวิธีของ Bisgaard และ Gertsbakh

ลำดับการทดลอง (Run Order)	**จำนวนของเสียเมื่อเจอของเสียครบ 8 ม้วน**	**การแปลงข้อมูลด้วยวิธีของ Bisgaard และ Gertsbakh**
1	42	1.52030
2	34	1.40141
3	8	0.22551

ลำดับการทดลอง (Run Order)	จำนวนของเสียเมื่อเจอของเสียครบ 8 ม้วน	การแปลงข้อมูลด้วยวิธีของ Bisgaard และ Gertsbakh
4	14	0.83664
5	10	0.54497
6	23	1.17025
7	39	1.47897
8	32	1.36664
9	9	0.42279
10	70	1.79710
11	15	0.88743
12	17	0.97511
13	20	1.08240
14	24	1.19636
15	30	1.32925
16	139	2.15519
17	45	1.55845
18	50	1.61619
19	19	1.04921
20	20	1.08240
21	36	1.43390
22	54	1.65800
23	14	0.83664
24	15	0.88743
25	31	1.34830
26	23	1.17025
27	62	1.73238
28	11	0.63810

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ลำดับการทดลอง (Run Order)	จำนวนของเสียเมื่อเจอของเสียครบ 8 ม้วน	การแปลงข้อมูลด้วยวิธีของ Bisgaard และ Gertsbakh
29	46	1.57055
30	54	1.65800
31	12	0.71447
32	12	0.71447

6.4 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเพิ่มเติม

เมื่อทำการเก็บข้อมูลครบทุกการทดลองตามที่ได้ออกแบบด้วยโปรแกรม Minitab แล้ว จากนั้นนำข้อมูลที่ผ่านการแปลงข้อมูลแล้วดังแสดงในตารางที่ 6.5 โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลผลจากการทดลองรูปแบบ Central Composite Design เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าปรับตั้งที่เหมาะสมให้กับแต่ละปัจจัยและนำไปสู่การสรุปผลการทดลองที่ถูกต้องในขั้นตอนถัดไป

6.4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้น จะทำการวิเคราะห์ด้วยตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยจะทำการวิเคราะห์ทั้งปัจจัยหลัก (Main Effects) อันตรกิริยาของปัจจัย (Interaction Effects) และปัจจัยในเทอมกำลังสอง (Square Effects) ที่มีผลต่อสัดส่วนของเสียจากลักษณะข้อบอพร่องเส้นด้ายเป็นขนที่เกิดในกระบวนการดึงยืดเส้นด้ายจากค่า P-value เนื่องจากทำการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ฉะนั้นหากเทอมปัจจัยใดมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปัจจัยดังกล่าวที่ผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองที่สนใจ ซึ่งผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ 6.6 ควบคู่ไปกับการดูรูปกราฟที่ได้จากการทำ Response Optimizer

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6. **6** ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลผลการทดลองในตารางที่ 6.5

Analysis of Variance for Transformed Y

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	20	5.29223	5.29223	0.26461	3.69	0.015
Linear	5	1.54494	2.01059	0.40212	5.60	0.008
1GRT	1	0.02608	0.46166	0.46166	6.43	0.028
2GRT	1	0.57700	0.69319	0.69319	9.66	0.010
3GRS	1	0.00646	0.12438	0.12438	1.73	0.215
1AGP	1	0.75543	1.14199	1.14199	15.91	0.002
3AGP	1	0.17997	0.01595	0.01595	0.22	0.647
Square	5	1.54750	1.54750	0.30950	4.31	0.020
1GRT*1GRT	1	0.22857	0.36449	0.36449	5.08	0.046
2GRT*2GRT	1	1.00139	1.11637	1.11637	15.56	0.002
3GRS*3GRS	1	0.00051	0.00734	0.00734	0.10	0.755
1AGP*1AGP	1	0.18444	0.21005	0.21005	2.93	0.115
3AGP*3AGP	1	0.13260	0.13260	0.13260	1.85	0.201
Interaction	10	2.19979	2.19979	0.21998	3.07	0.040
1GRT*2GRT	1	0.00068	0.00068	0.00068	0.01	0.924
1GRT*3GRS	1	0.12252	0.12252	0.12252	1.71	0.218
1GRT*1AGP	1	0.19764	0.19764	0.19764	2.75	0.125
1GRT*3AGP	1	0.04748	0.04748	0.04748	0.66	0.433
2GRT*3GRS	1	0.05644	0.05644	0.05644	0.79	0.394
2GRT*1AGP	1	0.98134	0.98134	0.98134	13.68	0.004
2GRT*3AGP	1	0.08453	0.08453	0.08453	1.18	0.301
3GRS*1AGP	1	0.27899	0.27899	0.27899	3.89	0.074
3GRS*3AGP	1	0.07984	0.07984	0.07984	1.11	0.314
1AGP*3AGP	1	0.35032	0.35032	0.35032	4.88	0.049
Residual Error	11	0.78937	0.78937	0.07176		
Lack-of-Fit	6	0.71832	0.71832	0.11972	8.43	0.017
Pure Error	5	0.07105	0.07105	0.01421		
Total	31	6.08160				

จากตารางที่ 6.6 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของผลการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) ข้างต้น เห็นได้ว่าปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าสัดส่วนของเสียที่มีข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้แก่ปัจจัยหลัก คือ อุณหภูมิของ1stGodet Roller อุณหภูมิของ 2ndGodet Roller และ ความดันลมของ 1stAir Guide ผลกระทบร่วมหรืออันตรกิริยาระหว่างสองปัจจัย คือ อันตรกิริยาระหว่างปัจจัยอุณหภูมิของ 2ndGodet Roller กับความดันลมของ 1stAir Guide และอันตรกิริยาระหว่างความดันลมของ 1stAir Guide กับ ความดันลมของ 3rdAir Guide และปัจจัยกำลังสอง คือ เทอมปัจจัยกำลังสองของอุณหภูมิของ 1st Godet Roller และเทอมปัจจัยกำลังสองของอุณหภูมิของ 2ndGodet Roller หรือหมายความว่ามีเพียง 4 ปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเกิดสัดส่วนของเสียเส้นด้ายเป็นขน โดยอีกปัจจัยที่ไม่มีผลต่อค่าสัดส่วนของเสียหลังจากทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมคือ ปัจจัยความเร็วรอบของ 3rdGodet Roller จากนั้นนำเฉพาะปัจจัยนำเข้าที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญไปทำการวิเคราะห์ต่อเพื่อหาระดับปรับตั้งที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย และทำการวิเคราะห์หาสมการ Stepwise Regression เพื่อนำสมการมาช่วยในการหาค่าที่เหมาะสม

6.4.2 การประมาณตัวแบบสมการพยากรณ์ (Stepwise Regression)

นอกจากการวิเคราะห์เพื่อหาค่าปรับตั้งที่เหมาะสมให้กับแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญแล้ว จะทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมในส่วนของการวิเคราะห์การถดถอยแบบวิธี Stepwise Selection เพื่อหาสมการของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนอง (ค่าจำนวนม้วนของเสียเมื่อเจอครบ 8 ม้วนที่ผ่านการแปลงค่าแล้ว) กับปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสมการถดถอยที่ได้นั้นจะสามารถนำไปใช้ในการหาพยากรณ์ค่าจำนวนม้วนของเสียเมื่อเจอของเสียครบ 8 ม้วนสำหรับประมาณค่าสัดส่วนของเสียที่จะเกิดขึ้นได้ โดยตัวแบบสมการพื้นผลตอบ (Response surface Model) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังแสดงในสมการที่ 6.1

$$\text{Transformed } Y = -168.493 + 2.311X_A + 1.592X_B + 4.885X_D - 0.016X_A^2 - 0.007X_B^2 - 0.050X_BX_D + 0.148X_DX_E \quad (6.1)$$

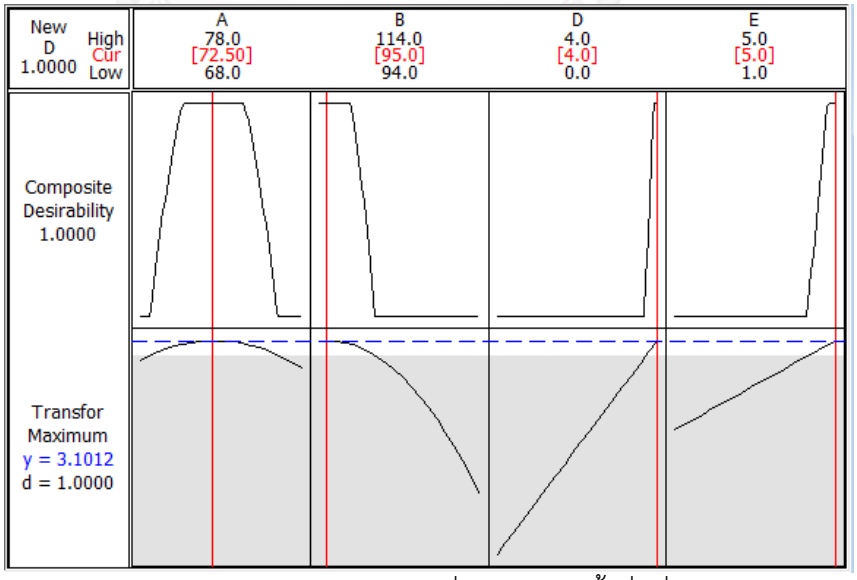
โดยที่ X_A คือ อุณหภูมิของ 1st Godet Roller

X_B คือ อุณหภูมิของ 2nd Godet Roller

X_D คือ ความดันลมของ 1st Air Guide

X_E คือ ความดันลมของ 3rd Air Guide

ในการหาระดับปรับตั้งที่เหมาะสมให้กับปัจจัยต่างๆ สามารถทำการเลือกในหลักการ Optimization ในการวิเคราะห์ โดยเลือกฟังก์ชั่น Response Optimization ของโปรแกรม Minitab พบว่าระดับของปัจจัยที่มีค่าเหมาะสมเพื่อให้สัดส่วนของต่ำที่สุด ได้ผลการทำ Response Optimizer ดังรูปที่ 6.1

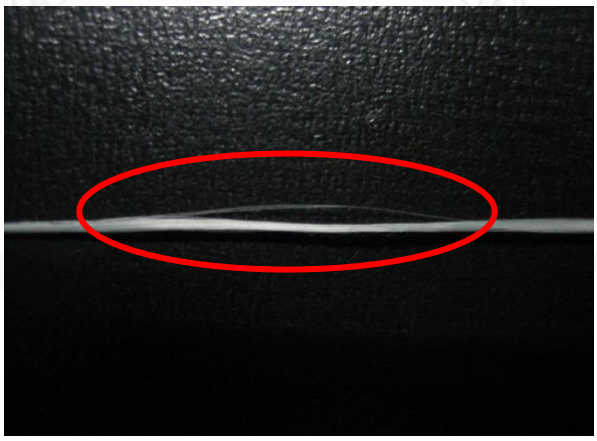


รูปที่ 6. 1 ผลการทำ Response Optimizer เพื่อหาค่าปรับตั้งที่ดีที่สุดให้กับแต่ละปัจจัย

จากการทำ Response Optimizer เพื่อหาค่าปรับตั้งที่ดีที่สุดให้กับแต่ละปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญหลังจากการวิเคราะห์การทดลองเพิ่มเติม โดยค่าปรับตั้งที่ดีที่สุดของแต่ละปัจจัยมีดังนี้คือ

- อุณหภูมิของ 1st Godet Roller ปรับตั้งที่ค่า 72.5 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิของ 2nd Godet Roller ปรับตั้งที่ค่า 95 องศาเซลเซียส
- ความเร็วรอบของ 3rd Godet Roller ปรับตั้งที่ค่า 2,004.5-2,330.5 รอบต่อนาที
- ความดันลมของ 1st Air Guide ปรับตั้งที่ค่า 4 kPa
- ความดันลมของ 3rd Air Guide ปรับตั้งที่ค่า 5 kPa

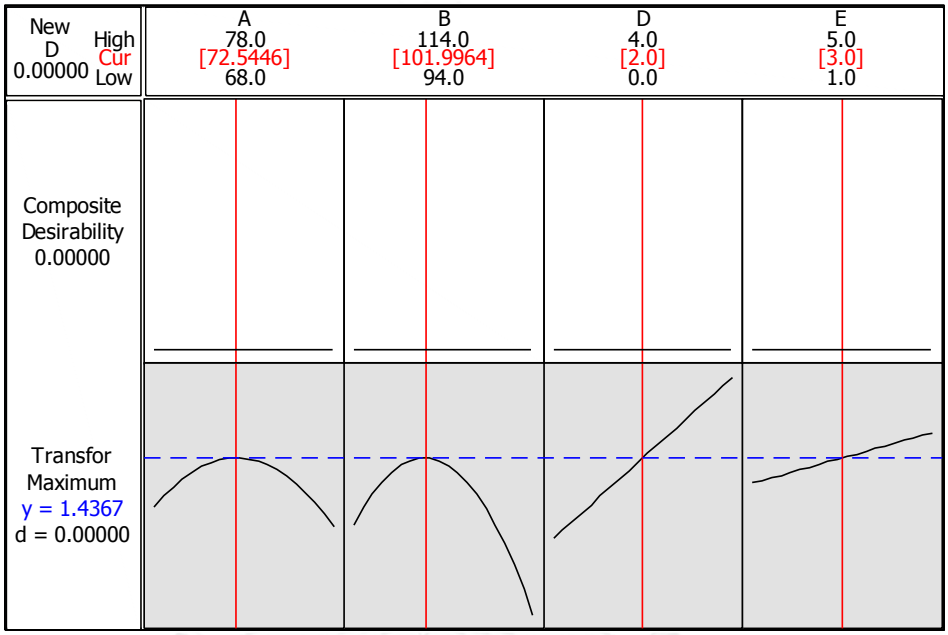
หลังจากที่ได้ค่าปรับตั้งที่เหมาะสมให้กับแต่ละปัจจัยแล้ว นำค่าปรับตั้งดังกล่าวนี้ไปทำการยืนยันผลการทดลองเพื่อดูว่าค่าสัดส่วนของเสียลดลงจริงหรือไม่ ซึ่งหลังจากที่นำค่าปรับตั้งเหล่านี้ไปปรับตั้งในการผลิตผลิตภัณฑ์เส้นด้ายนั้น พบว่าปัญหาเส้นด้ายเป็นขนลดลงจริงแต่มีลักษณะข้อบกพร่องเส้นด้ายหย่อน (Tarumi, Yarn Slack) เกิดแทรกขึ้นมา แต่ด้วยโครงการมีระยะเวลาการดำเนินการที่จำกัดทำให้ไม่สามารถทำการทดลองได้ทั้งหมด จึงได้ทำการระดมสมองภายในทีมเพิ่มเติมเพื่อจะแก้ไขปัญหาเส้นด้ายหย่อนที่เกิดขึ้นใหม่นี้ไปพร้อมๆ กับปัญหาเส้นด้ายเป็นขนโดยในทีมให้ความเห็นว่าปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อการเกิดเส้นด้ายหย่อนและเป็นปัจจัยที่อยู่ใน 5 ปัจจัยที่ได้ทำการศึกษาอยู่ ในการอภิปรายกันของทีมงานเกี่ยวกับปัจจัยที่คาดว่ามีผลต่อการเกิดเส้นด้ายหย่อนจากการพิจารณา 5 ปัจจัยที่ได้ถูกกำหนดขึ้นเพื่อทำการทดลองนั้น ทีมงานให้ความเห็นตรงกันว่าปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเส้นด้ายหย่อน ได้แก่ ปัจจัย ความดันลมของ 1st Air Guide และความดันลมของ 3rd Air Guide ด้วยเหตุที่ว่าการที่เส้นด้ายโดนเป่าด้วยความดันลมที่แรงเกินไปนั้นจะส่งผลให้เส้นด้ายเกิดการพองตัวมากเกินไป ตัวเส้นไม่รวมตัวกันเป็นส้นเดียวหรือมีเส้นด้ายบางเส้นพองตัวโค้งงอจนเกิดเป็นปัญหาเส้นด้ายหย่อน โดยลักษณะเส้นด้ายหย่อนดังแสดงในรูปที่ 6.2



รูปที่ 6. 2 ลักษณะเส้นด้ายหย่อน (Tarumi)

จากนั้นทำการวิเคราะห์ต่อว่าควรกำหนดค่าให้กับปัจจัยทั้งสอง ซึ่งด้วยเวลาของโครงการมีจำกัดไม่สามารถทำการทดลองใหม่ได้ จึงได้มีมติร่วมกันว่าจะกลับไปกำหนดค่าให้กับทั้งสองปัจจัยที่ค่ากำหนดเดิมก่อนทำการปรับปรุง เนื่องจากค่าปรับตั้งดังกล่าวค่อนข้างไม่มีผลให้เกิดปัญหาเส้นด้ายหย่อน ดังนั้นจึงเลือกปรับตั้งค่าให้กับปัจจัยความดันลมของ 1st Air Guide (1AGP) ให้อยู่ที่ระดับ 0

หรือที่ค่าปรับตั้ง 2 kPa และปัจจัยความดันลมของ 3rd Air Guide (3AGP) ให้อยู่ที่ระดับ 0 ที่ค่าปรับตั้ง 3 kPa เนื่องจากเป็นค่าปรับตั้งที่คาดว่าทำให้เกิดข้อบกพร่องเส้นด้ายหย่อน (Tarumi) ที่น้อยลง จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ผล Response Optimizer อีกครั้งเพื่อหาค่าปรับตั้งที่เหมาะสมที่สุดให้แต่ละปัจจัย โดยในการวิเคราะห์ครั้งนี้ต้องทำการกำหนดค่าปรับตั้งให้กับปัจจัยความดันลมของ 1st Air Guide (1AGP) ที่ค่าปรับตั้ง 2 kPa และปัจจัยความดันลมของ 3rd Air Guide (3AGP) ที่ค่าปรับตั้ง 3 kPa จากนั้นทำการหาค่าที่เหมาะสมให้กับอีกสองปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองที่ทำการศึกษา ซึ่งได้ค่าดังแสดงในรูปที่ 6.3



รูปที่ 6. 3 ผลการทำ Response Optimizer เพื่อหาค่าปรับตั้งที่เหมาะสมให้กับแต่ละปัจจัย

จากการทำ Response Optimizer อีกครั้ง ซึ่งค่าปรับตั้งที่ดีที่สุดที่เป็นไปได้ที่จะสามารถทำให้สัดส่วนของเสียที่เกิดจากลักษณะข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขนลดลงพร้อมๆ กับไม่เกิดปัญหาเส้นด้ายหย่อนด้วยนั้น คือ ต้องทำการปรับตั้งค่าให้กับแต่ละปัจจัยดังนี้

- อุณหภูมิของ 1st Godet Roller (1GRT) ปรับตั้งที่ค่า 72.5 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิของ 2nd Godet Roller (2GRT) ปรับตั้งที่ค่า 102 องศาเซลเซียส
- ความเร็วรอบของ 3rd Godet Roller (3GRS) ปรับตั้งที่ค่า 2,004.5-2,330.5 รอบต่อนาที
- ความดันลมของ 1st Air Guide (1AGP) ปรับตั้งที่ค่า 2 kPa
- ความดันลมของ 3rd Air Guide (3AGP) ปรับตั้งที่ค่า 3 kPa

6.5 สรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ในส่วนของระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ ซึ่งแบ่งปัจจัยสำหรับทำการปรับปรุงออกเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกเป็นปัจจัยเชิงคุณลักษณะซึ่งทำการปรับปรุงด้วยการทบทวนหรือจัดทำ

ขึ้นมาใหม่เกี่ยวกับมาตรฐานวิธีการทำงานหรือวิธีการดูแลบำรุงรักษาของชิ้นส่วนของเครื่องจักร ซึ่งมีวิธีการปรับปรุงดังแสดงไว้ในตารางที่ 6.1 และปัจจัยในกลุ่มที่สองหรือปัจจัยเชิงปรับตั้งค่านั้นได้ทำการออกแบบการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมกับแต่ละปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญโดยทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งจากผลจากบทที่ 5 พบว่ามีทั้งเทอมปัจจัยหลักและเทอมอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยคู่ใดๆ นั่นคือเป็นผลให้ทุกปัจจัยที่สนใจทำการศึกษามีผลอย่างมีนัยสำคัญ ฉะนั้นจึงต้องทำการทดลองเพิ่มเติมกับทุกปัจจัย โดยเลือกการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบ แบบ Central Composite Design หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ผลจากการทดลองที่ได้ทำการออกแบบในการหาระดับที่เหมาะสมให้กับแต่ละตัวแปรเชิงปรับตั้งค่าที่ทำให้สัดส่วนของเสียมีค่าต่ำที่สุดด้วยวิธี Response Optimization ในโปรแกรม Minitab ซึ่งได้ค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยดังนี้คือ อุณหภูมิของ 1st Godet Roller (1GRT) ปรับตั้งที่ค่า 72.5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของ 2ndGodet Roller (2GRT) ปรับตั้งที่ค่า 102 องศาเซลเซียส ความดันลมของ 1stAir Guide (1AGP) ปรับตั้งที่ค่า 2 kPa และความดันลมของ 3rdAir Guide (3AGP) ปรับตั้งที่ค่า 3 kPa ส่วนปัจจัยความเร็วรอบของ 3rdGodet Roller (3GRS) ปรับตั้งที่ค่าใดก็ได้เพียงแต่ให้ค่าอยู่ในช่วง 2,004.5-2,330.5 รอบต่อนาที เพราะหลังจากการวิเคราะห์เพิ่มเติมพบว่าปัจจัยนี้ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 7

การตรวจติดตามควบคุมการผลิต

หลังจากที่ได้ดำเนินการตามขั้นตอนต่างๆ ตามหลักการซิกซ์ ซิกม่า ที่ได้กล่าวไปในบทต่างๆ ข้างต้นแล้ว ในส่วนของบทนี้ที่จะทำกล่าวถึงต่อไปเกี่ยวกับการตรวจติดตามควบคุมการผลิตซึ่งถือเป็นขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการซิกซ์ ซิกม่า โดยการระดมสมองหาปัจจัยที่คาดว่ามีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเกิดปัญหาเส้นด้ายเป็นขน เมื่อทราบแล้วก็ได้มีการดำเนินการวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงเพื่อนำไปสู่การหาแผนการปรับปรุงต่างๆ ที่ได้คิดขึ้นและมีความเหมาะสมสำหรับกลุ่มปัจจัยเชิงคุณลักษณะ รวมถึงได้มีการทำการทดลองเพื่อหาหาค่าปรับตั้งที่เหมาะสมให้กับปัจจัยในกลุ่มเชิงปรับตั้งค่า จากนั้นนำแผนปรับปรุงต่างๆ ที่ได้จากการช่วยกันคิดภายในทีมตลอดจนผลการวิเคราะห์การทดลองด้วยโปรแกรม Minitab ไปทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลและทำการตรวจติดตามผลให้มั่นใจได้ว่าแผนการปรับปรุงต่างๆ สำหรับแต่ละปัจจัยนั้นช่วยให้สัดส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขนนั้นลดลงจนบรรลุเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้

7.1 ผลจากการทดสอบยืนยันผล

หลังจากที่ได้แผนสำหรับทำการปรับปรุงสำหรับแต่ละปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ของสมาชิกภายในทีมทำงานสำหรับปัจจัยเชิงคุณลักษณะและเงื่อนไขค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยสำหรับใช้ในการปรับตั้งค่าให้กับเครื่องจักรในการผลิตเส้นด้าย ซึ่งในการปรับปรุงครั้งแรกนั้นได้ทำการปรับปรุงกลุ่มปัจจัยเชิงคุณลักษณะก่อน ผลจากจากทำการปรับปรุงนั้นทำให้สัดส่วนของเสียลดลงจาก 3.35% เหลือ 1.68% ซึ่งยังไม่บรรลุเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้ตั้งแต่เริ่มต้น จึงได้มีการทำการปรับปรุงต่อให้กับปัจจัยกลุ่มปรับตั้งค่าได้ โดยทำการออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาว่าแท้จริงแล้วปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยที่นำมาทำการศึกษาเนื่องจากทีมทำโครงการในครั้งนี้ได้มีความคิดเห็นและประเมินคะแนนให้เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอยู่ในอันดับต้นๆ ของการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ ซึ่งทั้ง 4 ปัจจัยมีค่าที่เหมาะสมดังแสดงในตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7. 1 ค่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่จะกำหนดเพื่อทำการปรับปรุง

สัญลักษณ์ของปัจจัย	ปัจจัย	ระดับที่เหมาะสม	หน่วย
1GRT	อุณหภูมิของ 1st Godet Roller	72.5	องศาเซลเซียส
2GRT	อุณหภูมิของ 2nd Godet Roller	102	องศาเซลเซียส
1AGP	ความดันลมของ 1st Air Guide	2	kPa
3AGP	ความดันลมของ 3rd Air Guide	3	kPa

เงื่อนไขที่ค่าปรับตั้งของแต่ละปัจจัยที่แสดงในตารางที่ 7.1 เป็นค่าระดับปัจจัยที่มีความเหมาะสมที่สุดที่ทำให้ปัญหาเส้นด้ายเป็นขนลดลงและไม่ส่งผลให้เกิดปัญหาเส้นด้ายหย่อนพร้อมๆกัน หลังจากที่ได้เงื่อนไขนี้มาและได้นำไปทำการทดลองเพื่อยืนยันผล พบว่าทำให้สัดส่วนของเสียลดลงไปอีกจากที่จากการปรับปรุงในครั้งแรกคือลดลงจาก 1.76% เหลือ 1.47% ซึ่งการลดลงของสัดส่วนของเสียถือได้ว่าบรรลุเป้าหมายที่กำหนดไว้

7.1.1 การทำการทดสอบเพื่อยืนยันผล

ทำการเตรียมการทดลองโดยปรับตั้งค่าต่างๆให้กับเครื่องจักรที่เลือกมาทำการปรับปรุง (เครื่องจักร 16) พร้อมทั้งตรวจเช็คสภาพความพร้อมของชิ้นส่วนของเครื่องจักรที่เป็นทางผ่านของเส้นด้าย (Yarn Path) ให้เรียบร้อยก่อนทำการปฏิบัติจริง และกำหนดให้มีการตรวจสอบให้ค่าปรับตั้งต่างๆ เป็นไปตามที่ได้กำหนดไว้ รวมถึงแจ้งหัวหน้างานที่เกี่ยวข้องให้เข้าใจตรงกันเกี่ยวกับการปรับวิธีการทำงานในส่วนที่เปลี่ยนไป โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1) ทำการปรับตั้งค่าอุณหภูมิให้กับ 1st Godet Roller ที่ 72.5 องศาเซลเซียส
2) ทำการปรับตั้งค่าอุณหภูมิให้กับ 2nd Godet Roller ที่ 102 องศาเซลเซียส
3) ทำการปรับตั้งค่าความดันลมให้กับ 1st Air Guide ที่ 2 กิโลปาสคาล (kPa)
4) ทำการปรับตั้งค่าความดันลมให้กับ 3rd Air Guide ที่ 3 กิโลปาสคาล (kPa)
5) แจ้งหัวหน้างานและ/หรือพนักงานที่รับผิดชอบดูแลควบคุมเครื่องจักรให้เข้าใจถึงค่าปรับตั้งค่าที่เปลี่ยนแปลงไป ตลอดจนตรวจสอบชิ้นส่วนต่างๆ ที่เป็นทางผ่านของเส้นด้าย (Yarn Path) ของเครื่องจักรที่เลือกทำการปรับปรุง (เครื่องจักร 16) ตามที่ได้ทำการกำหนดไว้ ให้มั่นใจได้ว่าเครื่องจักรอยู่ในสภาพที่สมบูรณ์พร้อมใช้งาน เพื่อให้ผลการทดลองนั้นออกมาแล้วมีความถูกต้องแม่นยำและวัดผลได้จริง
6) เมื่อเตรียมเครื่องจักรพร้อมแล้วก็เข้าสู่ขั้นตอนการทดลองเพื่อยืนยันผล โดยในการออกทดลองครั้งนี้จะทำการเดินเครื่องจักรเป็นเวลา 1 สัปดาห์เพื่อวัดผลสัดส่วนของเสียของเสียที่เกิดขึ้น
7) เมื่อทำการทดลองครบกำหนดที่ตั้งไว้ จึงนำผลการทดลองที่ได้ไปทำการวิเคราะห์และสรุปผลต่อไป

7.1.2 การคำนวณค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงและค่าใช้จ่ายที่สามารถลดได้

ในการทำการปรับปรุงย่อมต้องมีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้น ไม่ว่าจะเกิดในส่วนของการซ่อมบำรุงหรือเปลี่ยนอะไหล่เครื่องจักร และค่าใช้จ่ายในส่วนของการทำการทดลองเพื่อหาค่าเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการปรับปรุงให้สัดส่วนของเสียลดลง และไม่มีค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าแรงพนักงานเนื่องจากเครื่องจักรทำงานได้โดยอัตโนมัติ จึงไม่จำเป็นต้องต้องให้พนักงานทำงานเพิ่ม สามารถจัดสรรให้กับพนักงานแต่ละกะทำงานอำนวยความสะดวกในการทำการปรับปรุงได้เลย ซึ่งค่าใช้จ่ายในแต่ละส่วนโดยประมาณมีดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- ในส่วนของการซ่อมบำรุงหรือเปลี่ยนอะไหล่เครื่องจักร มีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้นคือ ทำการเปลี่ยน Ceramic Guide 2 ตัว ตัวละ 1,200 บาท คิดเป็นเงินทั้งสิ้น 2,400 บาท และการออกแบบและทำตัว Stopper Setting Air Guide (Jig & Fixture) ตัวละ 250 บาท

- ในส่วนของการทำการทดลองมีค่าใช้จ่ายในส่วนของวัตถุดิบที่นำมาผลิตเส้นด้าย ต้นทุนอยู่ที่ประมาณ 20,000 บาท

ในส่วนของค่าใช้จ่ายที่สามารถลดได้จากการทำตามแผนการปรับปรุงต่างๆที่ได้กำหนดไว้ในบทก่อนหน้า ค่าใช้จ่ายที่คาดว่าจะลดลงได้ของการผลิตที่เครื่องจาก 16 ซึ่งมีกำลังการผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 63,326 กิโลกรัมต่อเดือน มูลค่าความสูญเสียอยู่ที่ 0.77 บาทต่อกิโลกรัม และหากสามารถลดของเสียลงได้ 50% ตามที่ตั้งเป้าไว้ ก็จะสามารถลดมูลค่าความสูญเสียลงไป 63,326 x 0.39 = 24,469 บาทต่อเดือน หรืออยู่ที่ 293,632 บาทต่อปี

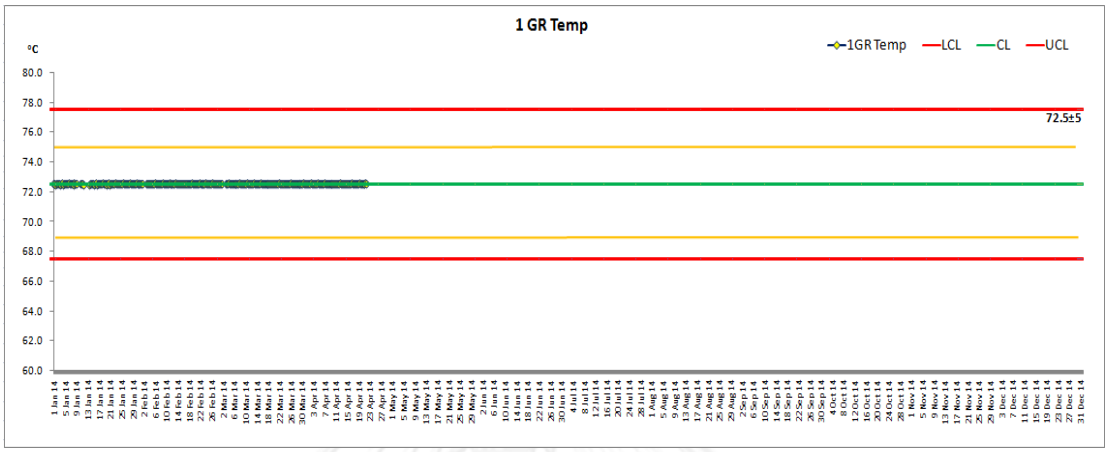
7.2 การตรวจติดตามควบคุมการผลิต

หลังจากที่ได้ทำการปรับใช้แผนการปรับปรุงต่างๆ กับกระบวนการผลิตดึงยืดเส้นด้ายแล้ว จะต้องทำการตรวจติดตามและควบคุม เพื่อให้กระบวนการดำเนินไปตามที่ได้จัดทำแผนไว้และนำไปสู่การลดลงของสัดส่วนของเสียที่จะเกิดขึ้นในการผลิต โดยมีการจัดทำแผนการควบคุมที่มีการกำหนดผู้ดูแลและตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ ระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจสอบ รวมถึงทำการทบทวนและจัดทำมาตรฐานการทำงานใหม่ให้กับปัจจัยที่ต้องทำการปรับปรุง และมีการใช้แผนภูมิควบคุมตามความเหมาะสมกับบางปัจจัยที่ต้องทำการปรับปรุงในการตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นและมีแผนสำหรับแก้ความผิดปกติที่เกิดขึ้น เพื่อให้กระบวนการกลับสู่สภาวะปกติ

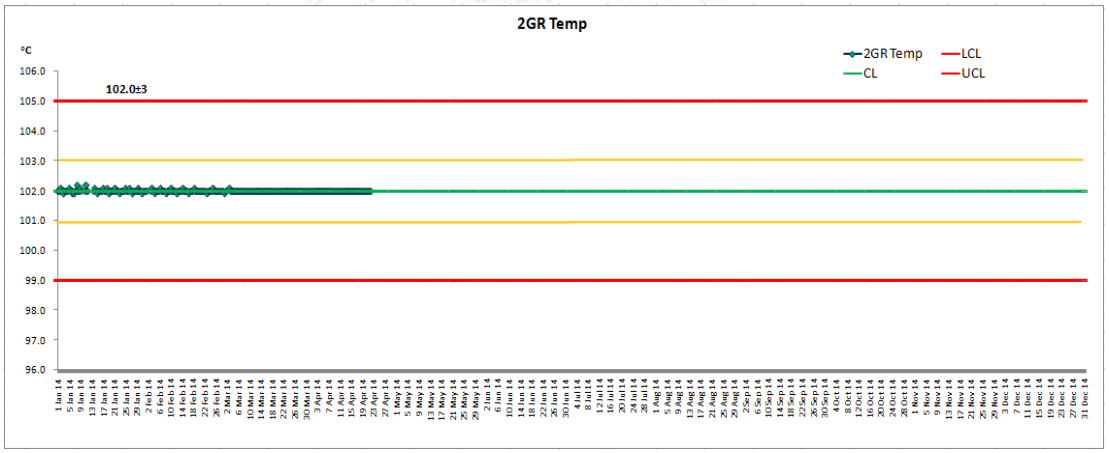
ปัจจัยนำเข้าที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเกิดเส้นด้ายเป็นขนนั้นแบ่งได้เป็น 2 ประเภทด้วยกันคือปัจจัยเชิงคุณลักษณะ และปัจจัยเชิงปรับตั้งค่าจึงต้องทำการพิจารณาเกี่ยวกับแผนการควบคุมตามความเหมาะสมของปัจจัยนั้นๆ ดังนี้

- แผนการควบคุมปัจจัยเชิงคุณลักษณะมีอยู่ด้วยกัน 7 ปัจจัย ดังแสดงในตารางที่ 4.6 กลุ่ม I โดยตำแหน่งของเส้นด้ายไม่เหมาะสมหรือไม่ได้ศูนย์กลาง Godet Roller สึกหรอหรือเป็นรอย Godet Roller สกปรก Hanetora และ Wave Guide ไม่ตรงตำแหน่ง และพอลิเมอร์ไหลออกจาก Pack ไม่สม่ำเสมอ ทั้ง 5 ปัจจัยนี้จะจัดทำเป็นคู่มือในการตรวจเช็คเพื่อช่วยให้พนักงานได้มีความเข้าใจที่ตรงกันและมีแบบฟอร์มสำหรับลงบันทึกการตรวจเช็คด้วยพนักงานที่ดูแลควบคุมเครื่องจักรในส่วนของปัจจัยนั้นๆ ส่วนอีก 2 ปัจจัย คือ Hanetora และ Wave Guide เป็นรอย และ Roller Bail เป็นรอย มีการจัดทำมาตรฐานสำหรับการตรวจสอบขึ้นมา เพื่อให้เกิดความชัดเจนในการตรวจสอบว่าอะไหล่ดังกล่าวอยู่ในสภาพที่พร้อมจะใช้งานต่อไปอีกหรือไม่ และควรทำการเปลี่ยนอะไหล่เมื่อใด เครื่องมือที่ได้ทำการออกแบบเพื่อนำมาใช้ในการควบคุมรวมถึงตัวอย่างของมาตรฐานการทำงานดังแสดงในภาคผนวก ข.
- แผนการควบคุมปัจจัยเชิงปรับตั้งค่า มีอยู่ 4 ปัจจัยด้วยกันที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ คือ อุณหภูมิของ 1stGodet Roller และอุณหภูมิของ 2ndGodet Roller จะทำการควบคุมโดย

ใช้กราฟควบคุม และเมื่อมีความผิดปกติเกิดขึ้นจะเสียงเตือนเพื่อแก้ไขได้ทันที ส่วนปัจจัยที่เหลือได้แก่ ความดันลมของ 1st Air Guide และความดันลมของ 3rd Air Guide จะทำการควบคุมโดยเลือกใช้ใบตรวจสอบ (Check Sheet) และทำการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอในทุกกะทำงาน และตัวอย่างของกราฟควบคุมค่าอุณหภูมิดังแสดงในรูปที่ 7.1 และรูปที่ 7.2



รูปที่ 7. 1 ตัวอย่างแผนภูมิควบคุมอุณหภูมิของ 1st Godet Roller



รูปที่ 7. 2 ตัวอย่างแผนภูมิควบคุมอุณหภูมิของ 2nd Godet Roller

โดย เส้นสีแดง แทน เส้นขีดจำกัดควบคุมของเส้นด้ายแต่ละชนิดซึ่งกำหนดโดยญี่ปุ่น (บริษัทแม่)

เส้นสีเขียว แทน เส้นค่าที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมให้กับปัจจัยจากการออกแบบการทดลอง

เส้นสีเหลือง แทน เส้นเตือนที่ระดับที่ต้องการทำการแก้ไขหรือตรวจสอบกระบวนการ ซึ่ง เป็นวิธีมาตรฐานที่กำหนดจากญี่ปุ่น

การที่ทำการควบคุมติดตามค่าปรับตั้งของปัจจัยด้วยการเลือกใช้เพียงกราฟควบคุมเช่นนี้ เนื่องจากค่าของการปรับตั้งที่ได้ทำการควบคุมอยู่นั้นไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงหรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากและเกิดขึ้นนานๆ ครั้ง ทำให้ไม่เหมาะสมที่จะทำการใช้แผนภูมิควบคุม (Control Chart) การใช้เพียงกราฟควบคุมก็สามารถทำให้ทราบแนวโน้มได้ และสามารถเข้าไปจัดการได้ทันทีที่เกิดความผิดปกติ

7.3 สรุประยะการทดสอบเพื่อยืนยันผลและตรวจติดตามควบคุมกระบวนการผลิต

ในระยะของการตรวจติดตามและควบคุมกระบวนการผลิตนี้ เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการทำการปรับปรุงด้วยหลักการซิกซ์ ซิกมา และเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญไม่น้อยกว่าขั้นตอนอื่นๆ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าแผนการปรับปรุงต่างๆ ทั้งโดยวิธีการจัดทำคู่มือหรือมาตรฐานการทำงานเพื่อเป็นแผนในการปรับปรุงสำหรับปัจจัยเชิงคุณลักษณะ และการทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดให้กับปัจจัยเชิงปรับตั้งค่าแล้วทำให้การปรับปรุงในครั้งนี้นำไปสู่การลดสัดส่วนของเสียจากปัญหาเส้นด้ายเป็นขนลง ซึ่งในความเป็นจริงแล้วหากเราทำการวิเคราะห์และหาแนวทางสำหรับการปรับปรุงสาเหตุของปัญหาได้แล้ว แต่ถ้าไม่มีการทดลองแผนการปรับปรุงเหล่านั้นก่อนเพื่อให้มั่นใจได้ว่าแนวทางการปรับปรุงเหล่านั้นมีความเหมาะสมและมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปทำการประยุกต์ใช้จริงหรือไม่ ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการทดสอบแนวทางการปรับปรุงต่างๆ ที่ได้กำหนดขึ้นก่อนที่จะนำไปใช้จริงกับกระบวนการผลิต และเพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ ในการทำการปรับปรุงด้วยแนวทางที่กำหนดขึ้นจึงต้องมีการควบคุมและติดตามให้เป็นไปตามข้อกำหนดอยู่เสมอ

ดังนั้นจึงได้มีการจัดทำแผนควบคุมให้กับทั้งปัจจัยเชิงคุณลักษณะและปัจจัยเชิงปรับตั้งค่าโดยมีการจัดทำคู่มือและมาตรฐานการทำงานเพื่อให้พนักงานได้มีความเข้าใจตรงกันและยึดถือปฏิบัติแบบเดียวกัน และในทุกครั้งที่ได้ทำการตรวจเช็คก็ต้องมีการจดบันทึกผลการตรวจสอบนั้นๆ ลงในแบบฟอร์มใบตรวจสอบเพื่อเก็บไว้เป็นข้อมูลในภายหน้า นอกจากนี้ยังได้มีการเลือกใช้เครื่องมือทางคุณภาพอย่างกราฟควบคุมมาใช้ในการควบคุมค่าปรับตั้งของปัจจัยในกลุ่มเชิงปรับตั้งค่าและมีการทำสัญญาณเสียงเตือนในกรณีที่มีความผิดปกติเกิดขึ้นเพื่อจะได้ทำการแก้ไขได้อย่างทันท่วงที

แนวทางในการปรับปรุงในงานวิจัยนี้สามารถลดสัดส่วนของเสียจาก 3.35% ลงเหลือเพียง 1.47% ยังช่วยให้ทางโรงงานสามารถลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียเส้นด้ายเป็นขนลงได้ 24,469 บาทต่อเดือนต่อเครื่องจักร หรืออยู่ที่ 293,632 บาทต่อปีต่อเครื่องจักร และแนวทางการปรับปรุงนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการผลิตผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นๆ กับเครื่องจักรตัวอื่นๆ ได้อีกด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 8

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อทำการลดสัดส่วนของเสียจากปัญหาเส้นด้ายเป็นขนที่เกิดในกระบวนการดึงยืดเส้นด้าย ซึ่งปัญหาเส้นด้ายเป็นลักษณะข้อบกพร่องที่ทำให้เกิดของเสียสูงที่สุดเมื่อเทียบกับลักษณะข้อบกพร่องอื่นๆ และยังทำให้ทางโรงงานต้องสูญเสียต้นทุนที่เกิดของเสียขึ้นในแต่ละปีจำนวนไม่น้อย จึงได้เลือกแนวความคิดของซิกซ์ ซิกม่ามาประยุกต์ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ โดยแนวคิดซิกซ์ ซิกม่าจะประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินงาน 5 ขั้นตอนด้วยกัน คือ ระยะการนิยามปัญหา (D) ระยะการวัด (M) ระยะการวิเคราะห์ (A) ระยะการปรับปรุง (I) และระยะการควบคุม (C) โดยมีเป้าหมายในการลดสัดส่วนของเสียลงอย่างน้อย 50% ของจำนวนสัดส่วนของเสียเส้นด้ายเป็นขน บทสรุปในการดำเนินงานรวมถึงผลการปรับปรุงในแต่ละระยะมีดังนี้

8.1 บทสรุปของระยะนิยามปัญหา

การดำเนินงานในขั้นตอนนี้ มีการจัดตั้งคณะทำงานขึ้นมาเพื่อรวบรวมข้อมูลสภาพความเป็นจริงในปัจจุบันและช่วยกันระดมสมองเพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์หาปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต จากนั้นทำการวิเคราะห์ต่อว่าปัญหาใดมีความสำคัญควรได้รับการปรับปรุงแก้ไขก่อน เมื่อสมาชิกทุกคนในคณะทำงานเลือกปัญหาได้แล้วนั่นคือเกิดเส้นด้ายเป็นขนในกระบวนการดึงยืดเส้นด้าย นอกจากนี้แล้วคณะทำงานนี้ยังเป็นส่วนสำคัญในการขับเคลื่อนและสนับสนุนการดำเนินโครงการในครั้งนี้ ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลย้อนหลังจนถึงปัจจุบันพบว่าของเสียที่เกิดจากเส้นด้ายเป็นขนเป็นลักษณะข้อบกพร่องที่มีสัดส่วนของเสียเกิดขึ้นสูงที่สุดเมื่อเทียบกับข้อบกพร่องอื่นๆ โดยเส้นประเภท DSD รุ่นผลิตภัณฑ์ 1500-144-702C เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีกำลังการผลิตสูงที่สุด โดยสัดส่วนของเสียของเส้นประเภท DSD รุ่นผลิตภัณฑ์ 1500-144-702C ที่มีข้อบกพร่องเส้นด้ายขนอยู่ที่ 3.35% และกำหนดเป้าหมายสำหรับการปรับปรุงในครั้งนี้อยู่ที่ลดลงจากสัดส่วนของเสียในปัจจุบันอย่างน้อย 50% หรือสัดส่วนของเสียเหลือไม่เกิน 1.67%

ดังนั้นในระยะนิยามปัญหา คือ ทำการลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขนของเส้นด้ายประเภท DSD รุ่นผลิตภัณฑ์ 1500-144-702C โดยมีเป้าหมายที่จะลดสัดส่วนของเสียในปัจจุบันจาก 3.35% ให้ลดลงเหลือไม่เกิน 1.67% หรือลดลงอย่างน้อย 50% ของสัดส่วนของเสียในปัจจุบัน

8.2 สรุประยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา

การดำเนินงานในขั้นตอนนี้มีขึ้นสำหรับตรวจสอบเกี่ยวกับระบบการวัด โดยต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัดของกระบวนการที่ทำการศึกษา ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ไม่ได้มีการทดสอบระบบการวัด เนื่องด้วยในการทำการวัดนั้นเป็นการวัดด้วยตัวเซนเซอร์ที่ทำงานอัตโนมัติ ไม่มีการใช้พนักงานในการตรวจวัดแต่อย่างใด และทางโรงงานเองก็ได้มีการตรวจเช็คตัวเซนเซอร์ที่ใช้ในการวัดเป็นประจำสม่ำเสมอทุกๆ เดือน และในการตรวจเช็ค

ตัวเซนเซอร์ก็สามารถทำได้ภายในโรงงานเอง มีฝ่ายงานที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการตรวจสอบด้วยการนำตัวเซนเซอร์มาตรฐานไปทำการปรับตั้ง (Calibrate) กับตัวเซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจจับข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นบนเครื่องจักรที่ใช้งานจริง เมื่อเป็นเช่นนี้แล้ว จึงทำให้มั่นใจได้ว่าระบบการวัดของทางโรงงานมีความถูกต้องและแม่นยำสามารถเชื่อถือผลจากการวัดได้

การระดมสมองเพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้จะอาศัยหลักการ 5M1E ช่วยให้การวิเคราะห์ของสมาชิกในคณะทำงานมีระบบและครอบคลุม โดยปัจจัยนำเข้าที่คาดว่าเป็นสาเหตุหรือคาดว่ามีผลต่อการเกิดเส้นด้ายเป็นขนที่สามารถวิเคราะห์ออกมาได้มีทั้งสิ้น 33 ปัจจัย จากนั้นทำการประเมินคะแนนความสำคัญหรือเป็นสาเหตุที่มีความเป็นไปได้สูงให้แต่ละปัจจัยด้วยเครื่องมือตารางแสดงความสัมพันธ์สาเหตุและผล ซึ่งจากผลการประเมินทำให้กรองปัจจัยออกไปได้ เหลือเพียง 10 ปัจจัย จากนั้นนำปัจจัยที่เหลือจากการกรองแล้วไปทำการวิเคราะห์ต่อด้วยการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ ทำการประเมินค่า Score ให้แต่ละปัจจัย พบว่าแต่ละปัจจัยล้วนมีค่า Score สูง จึงนำทั้ง 10 ปัจจัยนี้ไปวิเคราะห์และหาแนวทางการปรับปรุงต่อไปให้กับแต่ละปัจจัย ซึ่งปัจจัยที่นำมาทำการวิเคราะห์นี้สามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่มด้วยกันคือกลุ่มปัจจัยเชิงคุณลักษณะและกลุ่มปัจจัยเชิงวัดค่าได้ เพื่อให้สะดวกและง่ายในการทำการปรับปรุง โดยกลุ่มปัจจัยเชิงคุณลักษณะจะทำการปรับปรุงแก้ไขโดยการจัดทำคู่มือหรือทบทวน/จัดทำมาตรฐานการทำงานขึ้น ส่วนปัจจัยอีกกลุ่มหนึ่งจะทำการปรับปรุงโดยการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมให้กับแต่ละปัจจัย

8.3 สรุประยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

การดำเนินงานในขั้นตอนนี้ เริ่มต้นด้วยการเลือกรูปแบบที่จะนำมาใช้ในการทดสอบความมีผลอย่างมีนัยสำคัญของกลุ่มปัจจัยเชิงวัดค่าได้หรือเรียกว่ากลุ่มปัจจัยนำเข้าต่อตัวแปรตอบสนอง ซึ่งรูปแบบที่เลือกมาใช้คือ การออกแบบการทดลอง และในส่วนของปัจจัยเชิงคุณลักษณะจะเลือกทำการทบทวนหรือสร้างมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงานขึ้นมาสำหรับแต่ละปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขนตามความเหมาะสม

ในส่วนของการออกแบบการทดลอง DOE หลังจากทำการวิเคราะห์ข้อมูลแล้วสามารถสรุปได้ว่าเลือกใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลบางส่วน สำหรับ 5 ปัจจัยแบบมีจุดศูนย์กลาง ทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เนื่องจากตัวแปรตอบสนองเป็นข้อมูลการแจกแจงแบบทวินาม (Binomial Distribution) หลังจากการวิเคราะห์เลือกรูปแบบการทดลองในครั้งนี้แล้ว ก็ทำการหาขนาดของตัวอย่างสำหรับการทดลอง จะได้ขนาดตัวอย่างเท่า 176 ม้วนต่อ 1 การทดลอง และการทดลองในครั้งนี้ประกอบด้วย 22 การทดลอง เท่ากับขนาดตัวอย่างทั้งหมดอยู่ที่ 3,872 ม้วน ซึ่งไม่สามารถทราบจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นได้อย่างแน่นอน ในการทดลองครั้งนี้จึงเลือกที่จะทำการเก็บข้อมูลที่เป็นรูปแบบของการสุ่มแบบส่วนกลับของทวินาม ซึ่งวิธีนี้จะสามารถทราบจำนวนของเสียที่จะเกิดขึ้นจากการทดลองได้อย่างแน่นอน แต่จะส่งผลให้แต่ละการทดลองมีขนาดตัวอย่างที่ไม่คงที่จะต้องทำการผลิตตามเงื่อนไขของแต่ละการทดลองจนกว่าจะเจอจำนวนของเสียครบตามที่ได้คำนวณไว้ ดังนั้นค่าที่เก็บได้จากการทำการทดลองหรือค่าของตัวแปรตอบสนอง คือ จำนวนม้วนของเส้นด้าย

เมื่อเกิดม้วนของเสียครบ 8 ม้วน ในการออกแบบการทดลองนี้ใช้จำนวนการทดลองด้วยกัน 22 การทดลอง ฉะนั้นการเก็บข้อมูลครั้งนี้จะมีของเสียเกิดขึ้นทั้งสิ้น 176 ชิ้น

หลังจากทำการทดลองและเก็บข้อมูลเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก่อนทำการวิเคราะห์ต่อไปต้องทำการแปลงค่าของตัวแปรตอบสนองด้วยวิธีของ Bisgaard และ Gertsbakh เพื่อไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลการวิเคราะห์ โดยเลือกใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการวิเคราะห์ผล และผลที่ออกมาคือทุกปัจจัยนำเข้า (X) ที่นำมาทำการออกแบบการทดลองนั้น ซึ่งมีเทอมที่เป็นปัจจัยหลักและเทอมของอันตรกิริยา ไม่ว่าจะเป็นอุณหภูมิของ 1st Godet Roller (1GRT), อุณหภูมิของ 2nd Godet Roller (2GRT), ความเร็วรอบของ 3rd Godet Roller (3GRS), ความดันลมของ 1st Air Guide (1AGP) และความดันลมของ 2nd Air Guide (3AGP) มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ (α = 0.05) และจากนั้นจะได้นำปัจจัยนำเข้าที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญนั้นไปทำการออกแบบการทดลองเพื่อทำการปรับปรุงและหาค่าที่ดีที่สุดให้กับแต่ละปัจจัยนำเข้าต่อไป

8.4 สรุประยะการปรับปรุงและแก้ไขกระบวนการ

การดำเนินงานในขั้นตอนนี้จะเป็นการกำหนดแนวทางการปรับปรุงให้กับแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเส้นด้ายเป็นขนอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งปัจจัยที่ผ่านการวิเคราะห์แล้วพบว่าปัจจัยที่มีผลสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มออกจากกันอย่างชัดเจน ฉะนั้นแนวทางสำหรับการปรับปรุงเพื่อให้สัดส่วนของเสียเส้นด้ายเป็นขนลดลงดังนี้คือ โดยกลุ่มแรกเป็นปัจจัยเชิงคุณลักษณะซึ่งทำการปรับปรุงด้วยการทบทวนหรือจัดทำขึ้นใหม่ไม่ว่าจะเป็นคู่มือหรือมาตรฐานวิธีการทำงานหรือวิธีการดูแลบำรุงรักษาของชิ้นส่วนของเครื่องจักร ซึ่งมีแนวทางการปรับปรุงดังแสดงไว้ในตารางที่ 6.1 ปัจจัยในกลุ่มที่สองหรือปัจจัยเชิงปรับตั้งค่านั้นได้ทำการออกแบบการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมกับแต่ละปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจากผลจากบทที่ 5 พบว่ามีทั้งเทอมปัจจัยหลักและเทอมอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยคู่ใดๆ นั่นคือเป็นผลให้ทุกปัจจัยที่สนใจทำการศึกษามีผลอย่างมีนัยสำคัญ โดยเลือกการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบแบบ Central Composite Design หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ผลจากการทดลองที่ได้ทำการออกแบบในการหาระดับที่เหมาะสมให้กับแต่ละตัวแปรเชิงวัดค่าได้ที่ทำให้สัดส่วนของเสียมีค่าต่ำที่สุดด้วยวิธี Response Optimization ในโปรแกรม Minitab ให้ผลการวิเคราะห์ค่าปัจจัยที่เหมาะสมกับแต่ละปัจจัยคือ อุณหภูมิของ 1st Godet Roller (1GRT) ปรับตั้งที่ค่า 72.5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของ 2nd Godet Roller (2GRT) ปรับตั้งที่ค่า 95 องศาเซลเซียส ความดันลมของ 1st Air Guide (1AGP) ปรับตั้งที่ค่า 4 kPa และความดันลมของ 3rd Air Guide (3AGP) ปรับตั้งที่ค่า 5 kPa ส่วนปัจจัยความเร็วรอบของ 3rd Godet Roller (3GRS) ปรับตั้งที่ค่าใดก็ได้เพียงแต่ให้ค่าอยู่ในช่วง 2,004.5-2,330.5 รอบต่อนาที เนื่องจากหลังจากการวิเคราะห์เพิ่มเติมพบว่าปัจจัยนี้ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ แต่ผลการทดลองนี้ทำให้เกิดปัญหาเส้นด้ายหย่อนแทรกเข้ามาถึงแม้ว่าจะทำให้สัดส่วนของเสียลดลง จึงได้ทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมว่าใน 5 ปัจจัยที่นำมาทำการศึกษาว่าปัจจัยใดมีผลต่อการเกิดเส้นด้ายหย่อน ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเส้นด้ายหย่อนคือ ความดันลมของ 1st Air Guide (1AGP) และความดันลมของ 3rd Air Guide (3AGP) และค่าที่เหมาะสมสำหรับ 2 ปัจจัยนี้คือ ความดันลมของ 1st Air Guide (1AGP) ปรับตั้งที่ค่า 2 kPa และความดันลมของ 3rd Air Guide (3AGP) ปรับตั้งที่ค่า 3 kPa จากนั้นทำการวิเคราะห์ Response

Optimization อีกครั้งเพื่อหาค่าที่เหมาะสมให้กับอุณหภูมิของ 1st Godet Roller (1GRT) และอุณหภูมิของ 2ndGodet Roller (2GRT) โดยทำการฟิกซ์ค่าปรับตั้งของความดันลมของ 1stAir Guide (1AGP) ปรับตั้งค่าเป็น 2 kPa และความดันลมของ 3rdAir Guide (3AGP) ปรับตั้งค่าเป็น 3 kPa ผลการวิเคราะห์คือต้องทำการปรับตั้งค่าของปัจจัยอีก 2 ตัวที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญดังนี้คือ อุณหภูมิของ 1st Godet Roller (1GRT) ปรับตั้งที่ค่า 72.5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของ 2ndGodet Roller (2GRT) ปรับตั้งที่ค่า 102 องศาเซลเซียส

8.5 สรุประยะการทดสอบยืนยันผลและตรวจติดตามควบคุมกระบวนการ

ในการทดสอบเพื่อยืนยันผลเป็นเวลาโดยประมาณ 1 สัปดาห์ เนื่องจากมีเวลาจำกัดในการทำโครงการ หลังจากที่ได้แนวทางการปรับปรุงมาแล้วจะต้องมีการนำแผนการปรับปรุงเหล่านั้นไปทำการทดสอบเฉกเช่นการผลิตจริงเพื่อให้มั่นใจได้ว่าแผนการปรับปรุงต่างๆ ทั้งโดยวิธีการจัดทำคู่มือหรือมาตรฐานการทำงานเพื่อเป็นแผนในการปรับปรุงสำหรับปัจจัยเชิงคุณลักษณะ และการทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดให้กับปัจจัยเชิงปรับตั้งค่าแล้วทำให้การปรับปรุงในครั้งนี้นำไปสู่การลดสัดส่วนของเสียจากปัญหาเส้นด้ายเป็นขนลง และหากแนวทางการปรับปรุงต่างๆ นี้มีความเหมาะสมและนำไปสู่การลดสัดส่วนของเสียเส้นด้ายเป็นขนจนบรรลุเป้าหมายตามที่ได้กำหนดไว้ตั้งแต่เริ่มต้น แนวทางการปรับปรุงเหล่านี้จะถูกกำหนดให้กับกระบวนการในการผลิต และเพื่อให้ผลการปรับปรุงเป็นไปในทิศทางที่ดีขึ้นจึงต้องมีการควบคุมและติดตามให้เป็นไปตามข้อกำหนดอยู่เสมอ ซึ่งสัดส่วนของเสียหลังจากการทำการปรับปรุงในครั้งแรกหรือการปรับปรุงในส่วนของปัจจัยเชิงคุณลักษณะลดลงจาก 3.35% เหลือเพียง 1.76% และหลังจากทำการปรับปรุงโดยการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมให้กับปัจจัยวัดค่าได้สามารถลดสัดส่วนของเสียลงไปได้อีก เหลืออยู่ 1.47% ซึ่งบรรลุเป้าหมายที่กำหนดไว้

ดังนั้นจึงได้มีการจัดทำแผนควบคุมให้กับทั้งปัจจัยเชิงคุณลักษณะและปัจจัยเชิงวัดค่าได้ โดยมีการจัดทำคู่มือและมาตรฐานการทำงานเพื่อให้พนักงานได้มีความเข้าใจตรงกันและยึดถือปฏิบัติแบบเดียวกัน และในทุกครั้งที่ได้ทำการตรวจเช็คก็ต้องมีการจดบันทึกผลการตรวจสอบนั้นๆ ลงในแบบฟอร์มใบตรวจสอบเพื่อเก็บไว้เป็นข้อมูลในภายหน้า นอกจากนี้ยังได้มีการเลือกใช้เครื่องมือทางคุณภาพอย่างแผนภูมิควบคุมมาใช้ในการควบคุมค่าปรับตั้งของปัจจัยในกลุ่มเชิงปรับตั้งค่าและมีการทำสัญญาณเสียงเตือนในกรณีที่มีความผิดปกติเกิดขึ้นเพื่อจะได้ทำการแก้ไขได้อย่างทันท่วงที

นอกจากนี้แล้วการนำแนวทางการปรับปรุงไปใช้งานในกระบวนการผลิตจริงก็ย่อมส่งผลให้ทางโรงงานสามารถลดค่าใช้จ่ายที่เคยเกิดขึ้นจากของเสียเส้นด้ายเป็นขนลงได้ 24,469 บาทต่อเดือนต่อเครื่องจักร หรืออยู่ที่ 293,632 บาทต่อปีต่อเครื่องจักร และยังสามารถนำแนวทางการปรับปรุงเหล่านี้ไปประยุกต์ใช้กับการผลิตผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นๆ กับเครื่องจักรตัวอื่นๆ ได้อีกด้วย

8.6 ข้อจำกัดและอุปสรรคในการทำงานวิจัย

1) เส้นด้ายแต่ละชนิดถูกผลิตขึ้นจากวัตถุดิบที่แตกต่างกัน ดังนั้นค่าที่ถูกกำหนดให้ปัจจัยในการปรับตั้งค่าเพื่อผลิตเส้นด้ายพอลิเอสเตอร์ที่ได้มีการศึกษาในงานวิจัยนี้ อาจไม่สามารถนำไปใช้กับ

เส้นด้ายประเภทอื่นๆ ได้ และควรพิจารณาในขอบเขตของกระบวนการดึงยืดเส้นด้าย หากเป็นกระบวนการรูปแบบอื่น ปัจจัยที่ถูกนำมาทำการพิจารณาอาจแตกต่างออกไป

2) เนื่องจากโครงการมีระยะเวลาในการทำงานที่จำกัด ในการทำการทดลองจึงต้องมีการเลือกรูปแบบการทดลองที่เหมาะสม อีกทั้งตัวแปรตอบสนองเป็นข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Data) หรือเป็นค่าของสัดส่วนของเสีย ซึ่งในการกำหนดขนาดตัวอย่างในการทดลองจึงมีความสำคัญมาก เพื่อให้สามารถทำการทดลองให้เสร็จเร็วที่สุดและเกิดของเสียน้อยที่สุด แต่ยังคงต้องได้ข้อมูลที่มีคุณภาพเพื่อนำไปทำการวิเคราะห์ผลต่อไปได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

3) ในการเก็บข้อมูลของการทดลองได้ถูกกำหนดไว้ว่าเป็นจำนวนม้วนทั้งหมดจนกว่าจะเจอของเสียครบ 8 ม้วน นั่นคือหมายความว่าพนักงานที่ทำหน้าที่เก็บผลนั้นจะต้องมีความละเอียดรอบคอบอย่างมาก เพื่อไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ผลในภายหลัง

4) ในการวิเคราะห์เกี่ยวกับปัญหาของเส้นด้ายนั้น หากทำการพิจารณาอยู่เพียงลักษณะข้อบกพร่องใดลักษณะหนึ่ง ในการทดลองอาจจะเจอลักษณะข้อบกพร่องอื่นๆแทรกขึ้นมาได้และอาจกระทบต่อสิ่งที่สนใจกำลังศึกษา ตัวอย่างเช่น สนใจศึกษาข้อบกพร่องเส้นด้ายเป็นขนแต่หลังจากได้ผลการทดลองแล้วเกิดปัญหาเส้นด้ายหย่อนแทรกขึ้นมา จึงควรมีความรอบคอบในการพิจารณาตั้งแต่เริ่มต้นว่าการพิจารณานี้จะมีโอกาสที่จะเกิดปัญหาอะไรขึ้นได้บ้าง

8.7 ข้อเสนอแนะ

1) สามารถนำผลการปรับปรุงรวมถึงแนวทางการปรับปรุงต่างๆ ไปประยุกต์ใช้กับสายการผลิตอื่นๆ ที่มีความคล้ายกันกับกระบวนการดึงยืดเส้นด้าย แต่ต้องคำนึงถึงขั้นตอนการทำงาน สภาพและข้อจำกัดของเครื่องจักร

2) ในการนำผลของการปรับปรุงของงานวิจัยไปประยุกต์ใช้กับแม่แบบของผลิตภัณฑ์อื่นๆ ในกระบวนการผลิตเดียวกันนี้ อาจต้องคำนึงถึงความแตกต่างของแต่ละผลิตภัณฑ์ เช่น วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต คุณสมบัติด้านคุณภาพหรือคุณลักษณะของตัวผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจมีส่วนให้บางปัจจัยไม่สามารถใช้ระดับของปัจจัยที่เหมาะสมเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์เส้นด้ายประเภท DSD รุ่น 1500-1440702C TPC

3) ในการพิจารณาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดลักษณะข้อบกพร่องประเภทเส้นด้ายเป็นขน ควรทำการวิเคราะห์อย่างรอบคอบว่าอาจจะมีผลกระทบต่อลักษณะข้อบกพร่องอื่นๆ เกิดขึ้นมาพร้อมๆ กันกับลักษณะข้อบกพร่องที่ทำการพิจารณาอยู่ และส่งผลต่อการวิเคราะห์ที่ออกมาทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ และทำให้การปรับปรุงล้มเหลวได้

4) การกำหนดขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง จึงต้องให้ความสำคัญอย่างมากในการเลือกวิธีการสำหรับการหาขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบทวินาม (Binomial Distribution) ประกอบการกระบวนการที่มีค่าสัดส่วนของเสียต่ำมากๆ นั้น แต่ละการทดลองต้องใช้ขนาดตัวอย่างจำนวนมาก ของเสียที่เกิดขึ้นจากการทดลองย่อมเกิดมากตาม ดังนั้นหากเลือกวิธีการที่เรียกว่าการสุ่มแบบส่วนกลับของทวินาม (Inverse Binomial Sampling) แต่ละการทดลองจะมีขนาดตัวอย่างไม่คงที่ คือทำการทดลองไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้ของเสียเท่ากับค่าคงที่ค่าหนึ่งตามที่กำหนดไว้ และค่าตัวแปรตอบสนองที่วัดได้จะเป็นจำนวนที่ทำการผลิตจนกระทั่งได้ของเสีย

เท่ากับ r ชิ้น (Bisgaard and Gertsbakh, 2000) ข้อดีคือสามารถทราบจำนวนของเสียที่แน่นอนที่จะเกิดขึ้นจากการทำการทดลอง และในการทำงานวิจัยชิ้นนี้ เนื่องจากเงื่อนไขบางการทดลองอาจเกิดของเสียครบ r ชิ้นตั้งแต่เริ่มทำการทดลองไปเพียงไม่กี่ชิ้น

5) แผนภูมิควบคุมที่ได้ทำการกำหนดขึ้นมา อาจจะมีการปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับการควบคุมกระบวนการภายหลังได้ เนื่องจากเครื่องมือทางคุณภาพมีหลายรูปแบบ หากมีเครื่องมือที่เหมาะสมกว่าย่อมสามารถทำการปรับปรุงแผนควบคุมเดิมเพื่อให้เกิดความมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. หลักการการควบคุมคุณภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น), 2550.

ธีรพร เสนพรหม. การลดแม่แบบแก้วเสียในกระบวนการผลิตเลนส์พลาสติกโดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ รศ.ดร.พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง.
กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ท้อป จำกัด, 2551.

ปาริชาติ บุญเกลี้ยง. การลดความผันแปรของขนาดหน้ากว้างของเทปโฟมอะคริลิคในกระบวนการตัดโดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

พรเทพ เหลือทรัพย์สุข. สถิติสำหรับ Six Sigma ง่ายนิดเดียว. กรุงเทพมหานคร: อี.ไอ.สแควร์ สำนักพิมพ์, 2553.

อาทิตย์ หงสพันธ์. การลดข้อบกพร่องในกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์โดยแนวทางซิกซ์ ซิกม่า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

ภาษาอังกฤษ

Automotive Industry Action Group (AIAG). (2001). Potential Failure Mode and Effects Analysis. Michigan, USA.

Bisgaard, S. and H. T. Fuller (1992). Sample Size Estimates for Two-level Factorial Experiments with Binary Responses. Quality and Productivity**:** 1-17.

Bisgaard, S. and H. Fuller (1994). Analysis of Factorial Experiments with Defects or Defectives as the Response. Quality and Productivity**:** 1-11.

Bisgaard, S. and I. Gertsbakh (1997). 2^{k-q} Experiments with Binary Responses: Sampling Until a Fixed Number of Defectives is Observed**:** 1-9.

Ho, Y.-S., et al. (2010). "Effects of Spinning Conditions on Properties of Polyester Yarn Prepared using an Ultra-high-speed Melt Spinning Technique Equipped with a Steam Chamber." Bull. Korean Chem. Soc. **31**: 3252-3258.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Hui, J., et al. (2009). "Optimal Scheduling for the Cleaning Spin Pack in Polyester Production." Ninth International Conference on Hybrid Intelligent Systems: 103-107.

Johny, C. and Jessika, C. Improving the Quality of Asbestos Roofing at PT BBI Using Six Sigma Methodology. Procedia – Social and Behavioral Sciences 65 (2012) : 306 – 312.

Kaewon, W. and N. Rojanarowan (2013). "Seal strength improvement of valve-regulated lead-acid (VRLA) battery." IOSR Journal of Engineering **3**(9): 39-43.

Lee, K.-M., et al. (2006). "Computational Thermal Fluid Models for Design of a Modern Fiber Draw Process." IEEE Transaction on automation Science and Engineering **3**: 108-118.

Liqian, H., et al. (2012). "Numerical Simulation on Melt Spinning of One-step Process POY/FDY Polyester Combined Yarn." The 7th International Conference on Computer Science & Education: 412-414.

Montgomery, D. C. (2013). Design and Analysis of Experiments. Singapore, John Wiley & Sons, Inc.

Ruhollah, S. R. and Aminoddin, H. Use of D- Optimal Design to Model and the Analysis of the Effect of the Draw Ratio on Some Physical Properties of Hot Multistage Drawn Nylon 6 Fibers. Journal of Applied Polymer Science (2013) : 1337 – 1344.

Ruthaiputpong, P. and N. Rojanarowan (2013). "Improvement of track zero to increase read/write area in hard disk drive assembly process." Uncertain Supply Chain Management: 165-176.

Sonphuak, W. and N. Rojanarowan (2013). "Strength improvement of fibre cement product." International Journal of Industrial Engineering Computations: 505-516.

Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก. 1 ผลการทดลองของรูปแบบแฟคทอเรียลบางส่วน เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อค่าตอบสนอง

Run Order	1GRT °C	2GRT °C	3GRS Rpm	1AGP Kpa	3AGP Kpa	**#ม้วนเมื่อเจอของเสียครบ 8 ม้วน**
1	75.5	109	2086	3	2	15
2	75.5	99	2086	1	2	12
3	75.5	109	2249	1	2	23
4	70.5	99	2086	1	4	8
5	70.5	99	2249	3	4	139
6	73	104	2167.5	2	3	54
7	75.5	99	2086	3	4	50
8	73	104	2167.5	2	3	42
9	73	104	2167.5	2	3	46
10	70.5	109	2086	3	4	23
11	73	104	2167.5	2	3	39
12	70.5	99	2249	1	2	14
13	70.5	109	2249	3	2	12
14	75.5	109	2086	1	4	11
15	70.5	109	2249	1	4	19
16	70.5	109	2086	1	2	15
17	75.5	109	2249	3	4	10
18	73	104	2167.5	2	3	32
19	75.5	99	2249	1	4	14
20	75.5	99	2249	3	2	17
21	70.5	99	2086	3	2	34
22	73	104	2167.5	2	3	31

ตารางที่ ก. 2 ผลการทดลองของรูปแบบ Central Composite Design เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

Run Order	1GRT °C	2GRT °C	3GRs Rpm	1AGP kPa	3AGP kPa	#ม้วนเมื่อเจอของเสียครบ 8 ม้วน
1	73	104	2167.5	0	3	42
2	70.5	99	2086	3	2	34
3	70.5	99	2086	1	4	8
4	70.5	99	2249	1	2	14
5	75.5	109	2249	3	4	10
6	75.5	109	2249	1	2	23
7	73	104	2167.5	2	3	39
8	73	104	2167.5	2	3	32
9	73	114	2167.5	2	3	9
10	73	104	2167.5	2	5	70
11	75.5	109	2086	3	2	15
12	75.5	99	2249	3	2	17
13	73	104	2167.5	0	3	20
14	68	104	2167.5	2	3	24
15	78	104	2167.5	2	3	30
16	70.5	99	2249	3	4	139
17	73	104	2330.5	2	3	45
18	75.5	99	2086	3	4	50
19	70.5	109	2249	1	4	19
20	73	104	2167.5	2	1	20
21	73	94	2167.5	2	3	36
22	73	104	2167.5	4	3	54

ตารางที่ ก. 2 ผลการทดลองของรูปแบบ Central Composite Design เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม (ต่อ)

Run Order	1GRT °C	2GRT °C	3GRs Rpm	1AGP kPa	3AGP kPa	#ม้วนเมื่อเจอของเสียครบ 8 ม้วน
23	75.5	99	2249	1	4	14
24	70.5	109	2086	1	2	15
25	73	104	2167.5	2	3	31
26	70.5	109	2086	3	4	23
27	73	104	2004.5	2	3	62
28	75.5	109	2086	1	4	11
29	73	104	2167.5	2	3	46
30	73	104	2167.5	2	3	54
31	70.5	109	2049	3	2	12
32	75.5	99	2086	1	2	12

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข. 1 ตารางแบบฟอร์มสำหรับการตรวจเช็คเครื่องจักรประจำวัน

DATE	TIME	1 GR TEMP	2 GR TEMP	3 GR TEMP	4 GR TEMP	Q-3		ผู้ตรวจ	SHIFT
						Pressure (Std. 160 ± 20 mm. H_2O)	Temp. (Std. < 24°C)		
	02:00								
	10:00								
	18:00								
	02:00								
	10:00								
	18:00								
	02:00								
	10:00								
	18:00								
	02:00								
	10:00								
	18:00								
	02:00								
	10:00								
	18:00								
	02:00								
	10:00								
	18:00								
	02:00								
	10:00								
	18:00								

ตารางที่ ข. 2 ตัวอย่างตารางใบตรวจสอบสำหรับการบันทึกการตรวจจุดสำคัญของทางผ่านของเส้นด้ายบนเครื่องจักร

DSD Shift check sheet (Yarn path)

		Date :													
		Time :													
M/C No. :		Shift :													
		Ckecker :													
Zone	หัวข้อการตรวจสอบ	จุดตรวจสอบ	ดึก	เช้า	บ่าย	ดึก	เช้า	บ่าย	ดึก	เช้า	บ่าย	ดึก	เช้า	บ่าย
Spinning duct	เส้นด้ายมาสัมผัสกับ duct	SP.1												
		SP.2												
		SP.3												
		SP.4												
ระนาบแสงของ Fil.	ระนาบแสงของ Fil. (ไม่กระดูกมาก)	SP.1												
		SP.2												
		SP.3												
		SP.4												
Air guide	Air pressure (kg/cm 2) (ตาม Condition)	#1												
		#3												
	Center / Balloon	#1												
		#3												
Roller (GR)	ความสะอาด (ภาพบสกปรกให้ทำความสะอาด)	1 GR												
		2 GR												
		3 GR												
		4 GR												
การแก้ไขกรณีผิดปกติ														
ผู้แก้ไข														

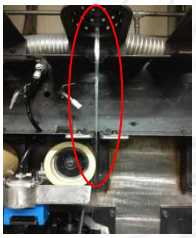
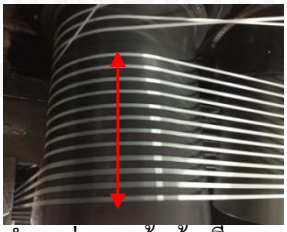
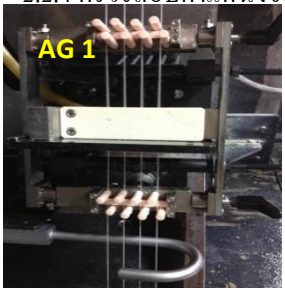
O = ปกติ

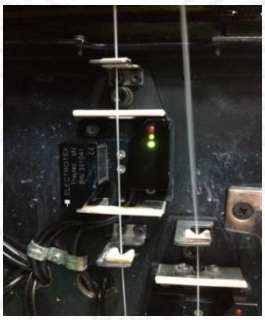
NG = ผิดปกติ ->ให้แจ้งดำเนินการแก้ไข

ตารางที่ ข. 3 ตัวอย่างมาตรฐานการทำงานวิธีการปฏิบัติงาน

วิธีการปฏิบัติงาน (WORK INSTRUCTION) หน้า 1/2

เรื่อง วิธีการตรวจสอบทางผ่านของเส้นด้าย DSD หมายเลขเอกสาร แก้ไขครั้งที่ 1

ขั้นตอน	รายละเอียด	จุดสำคัญ
1. เตรียม อุปกรณ์	1.1 ถุงมือ 1.2 ไฟฉาย 1.3 อุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล	
2. ขั้นตอนการ	2.1 ก่อนทำการเข้าด้ายทุกครั้งต้องทำการตรวจสอบ 2.1.1 ผิวของ Godet roller, OFR roller, Roller bail,เซรามิค Guide ต่างๆที่เป็นทางผ่านของเส้นด้าย 2.2 หลังทำการเข้าด้ายทุกครั้งต้องทำการตรวจสอบ 2.2.1 ตำแหน่งของเส้นด้ายจะต้องไม่เสียดสีกับ Plate  2.2.2 จำนวนการพันเส้นด้ายต้องครบตามจำนวนรอบที่กำหนด 1GR, 2GR. 3 รอบ 3GR. 4 รอบ 4GR. 7 รอบ 5GR. 5 รอบ 2.2.3 ระยะห่างของเส้นด้ายแต่ละSpindle จะต้องเท่ากัน  2.2.4 ตรวจสอบตำแหน่งของเส้นด้ายที่Air guide 	- จะต้องไม่มีรอยแตก,ร่องลึก หรือรอยขีดขวนที่ทำเส้นด้านเกิด Keba หรือขาดได้ - เส้นด้ายจะต้องไม่มีพลิก,หรือเบียดกันมากเกินไป - เส้นด้ายต้องไม่ Mix - เส้นด้ายต้องไม่ตก Air guide - เส้นด้ายต้องอยู่ตรงศูนย์กลางลม

	2.2.5 ตรวจสอบตำแหน่งของเส้นด้ายที่ IGR และ OFR 2.3 Optical keba sensor เส้นด้ายต้องผ่าน Sensor และไม่สีกับ plate เหล็กที่ใช้ยึด sensor  2.4 ช่วงเวลาที่ทำการตรวจสอบ 2.4.1 การตรวจสอบทุกๆครั้งที่เกิดด้ายขาด,หรือหลังแก้ไขงานต่างๆ 2.4.2 ทำการตรวจสอบทุกๆ ครั้งที่รับกะ-เปลี่ยนกะ 2.4.3 ทำการตรวจสอบทุกๆ ครั้ง ก่อนเข้าด้ายและหลังเข้าด้าย 2.5 ลงบันทึกทุกครั้งที่ทำการตรวจสอบใน DOFFING SHEET DSD (FM-PS-DSD-01/3)	- OFR.(ตัวใน/นอก) เส้นด้ายจะต้องไม่เบียดกะโหลกของ Motor - ต้องไม่มีเศษด้ายติดอยู่ที่ตัวRoller OFR และเส้นด้ายไม่สีกับPlate - เส้นด้ายต้องอยู่ตำแหน่งตรงกลางของตัว Sensor

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวภารินี แก้วสม เกิดเมื่อวันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2531 ที่จังหวัดนครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนกัลยาณีศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช และเข้าศึกษาต่อจนสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาบัณฑิต จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ในปีการศึกษา 2553 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2555

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University