

บทที่ 4

วิธีดำเนินการวิจัย

จากบทที่ 3 ซึ่งได้กล่าวถึงการสำรวจสภาพปัจจุบัน ทำให้ทราบถึงสภาพทั่วไปของโรงงานตัวอย่างและกระบวนการผลิตยางรถยนต์ รวมถึงสถานการณ์ผลิตภัณฑ์บกพร่องในโรงงานตัวอย่าง ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินการวิจัย โดยจะใช้กระบวนการของซิก ซิกมา ซึ่งในบทที่ 4 จะกล่าวถึงขั้นตอนการบ่งชี้ปัญหา การวัดและการรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การบ่งชี้ปัญหา

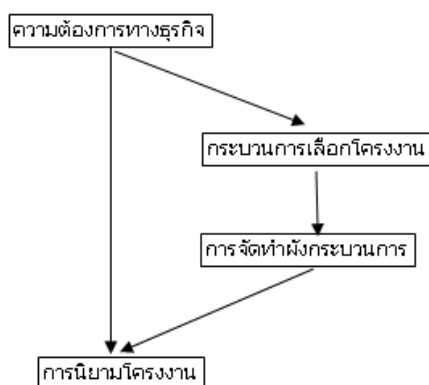
วัตถุประสงค์ของขั้นตอนนี้เพื่อ

- ทำความเข้าใจกับหัวข้อโครงการ รวมถึงความสำคัญของลูกค้าและผลกระทบทางธุรกิจ

- ทำความเข้าใจแนวทางการดำเนินโครงการ และบ่งชี้ถึงผลที่ได้รับ

การบ่งชี้ปัญหาประกอบไปด้วยขั้นตอน 2 ขั้นตอนได้แก่ การระบุขอบเขตของการวิจัย และการจัดทำแผนการวิจัย

1. การระบุขอบเขตของการวิจัย : แนวทางการดำเนินงาน

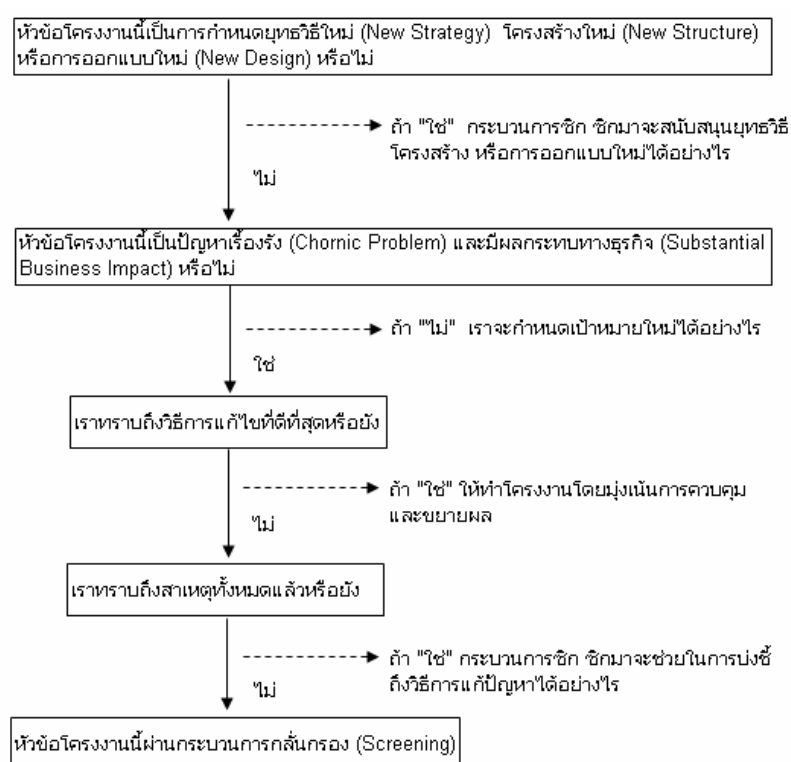


ภาพที่ 4.1 แนวทางการดำเนินการงานการระบุขอบเขตของการวิจัย

- กระบวนการคัดเลือกโครงการ

ผู้ดำเนินการวิจัยได้ดำเนินการกระบวนการคัดเลือกโครงการ โดยมุ่งประเด็นไปที่การลดจำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องภายในกระบวนการผลิต และเลือกสาเหตุหลักอันดับหนึ่งของปัญหาผลิตภัณฑ์บกพร่อง

จากนั้นดำเนินการกระบวนการกลั่นกรองโครงการ (Screening) ซึ่งกระบวนการกลั่นกรองโครงการแสดงในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 กระบวนการกลั่นกรองโครงการ

ผู้วิจัยได้ดำเนินการกระบวนการกลั่นกรองโครงการ ผลที่ได้คือโครงการลดปัญหาผลิตภัณฑ์บกพร่อง ผ่านกระบวนการกลั่นกรอง และเหมาะที่จะทำโครงการซิก ซิกมา

- การจัดทำผังกระบวนการ (Process Mapping)

ผู้วิจัยได้เลือกใช้การวิเคราะห์ SIPOC เพื่อทำความเข้าใจภาพรวมของกระบวนการขอบเขตของกระบวนการ และลูกค้ำของกระบวนการ การวิเคราะห์ SIPOC แสดงในตารางที่ 4.1

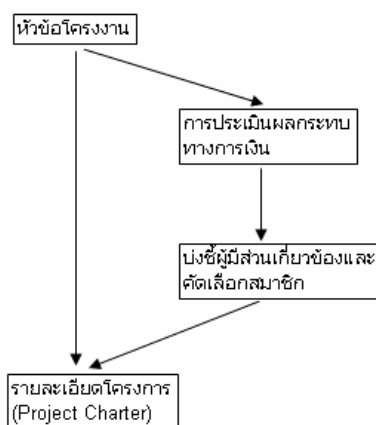
ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์ SIPOC

S	I	P	O	C
Suppliers	Inputs	Process	Outputs	Customer
บริษัทผู้ผลิตวัตถุดิบ	ผ้าใบ ยางธรรมชาติ ส่วนผสมทางเคมี เส้นลวด	ฉาบผ้าใบด้วยยาง ผสมยาง ทำวงขอบล้อ เอ็กซ์ทรูดเดอร์ สร้างยาง อบยาง	ยางรถยนต์ที่มีคุณภาพ	บริษัทรถยนต์ ลูกค้าทั่วไป

- การนิยามโครงการ

ณ ขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยเลือกที่จะดำเนินโครงการหัวข้อ “การลดผลิตภัณฑ์บกพร่องจากปัญหายางบวมที่แก้มยาง” ซึ่งเมื่อกำหนดหัวข้อโครงการเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จึงดำเนินการในขั้นต่อไป

2. การจัดทำแผนการวิจัย : แนวทางการดำเนินการ



ภาพที่ 4.3 แนวทางการดำเนินงานการจัดทำแผนการวิจัย

- การประเมินผลกระทบทางการเงิน

ผู้วิจัยได้ทำการประเมินผลกระทบทางการเงิน ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การประเมินผลกระทบทางการเงิน

จำนวนยางที่ผลิตต่อเดือน	49,283 เส้น / เดือน
จำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องจากปัญหายางบวมที่แก้มยาง	60 เส้น (Scrap = 30 เส้น, Rework = 10 เส้น)
ต้นทุนต่อเส้น	Scrap = 824 บาท/เส้น / Rework = 30 บาท/เส้น
ประเมินค่าเสียหายก่อนปรับปรุง	$(824 \times 30) + (30 \times 30) = 25,620$ บาท/เดือน
เป้าหมายในการปรับปรุง	ลดปัญหายางบวมจาก 60 เส้น เป็น 20 เส้น
ประเมินค่าเสียหายหลังปรับปรุง	$(824 \times 10) + (30 \times 10) = 8,540$ บาท/เดือน
Saving	$25,620 - 8,540 = 17,080$ บาท/เดือน

- การบ่งชี้ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องและคัดเลือกสมาชิก

ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องได้แก่ เจ้าของกระบวนการ (Process Owner) ซึ่งได้แก่ ผู้อำนวยการทีมเอ ซึ่งรับผิดชอบในส่วนของการจัดเตรียมส่วนประกอบต่าง ๆ ของยางรถยนต์ และผู้อำนวยการทีมบี ซึ่งรับผิดชอบในส่วนของการสร้างยาง และตัวผู้วิจัยซึ่งเป็นวิศวกรฝ่ายเทคนิคซึ่งทำงานสนับสนุนฝ่ายผลิตในด้านการลดปัญหายางเสีย

- การคัดเลือกสมาชิก การคัดเลือกสมาชิกมีรายละเอียดดังนี้

มาสเตอร์แบล็คเบลท์ : ผู้ให้คำแนะนำการทำโครงการ

กรีนเบลท์ : ผู้วิจัยเจ้าของโครงการ

สมาชิก :

- ผู้จัดการฝ่ายพัฒนาผลิตภัณฑ์
- นักเคมีผู้รับผิดชอบเกี่ยวกับส่วนผสมทางเคมี
- วิศวกรฝ่ายพัฒนาผลิตภัณฑ์
- วิศวกรผู้รับผิดชอบแม่พิมพ์เครื่องเอ็กซ์ทรูดเดอร์
- โฟร์แมน ผู้รับผิดชอบด้านการตั้งเครื่องสร้างยาง

- การจัดทำรายละเอียดของโครงการ (Project Charter)

การจัดทำรายละเอียดของโครงการ เพื่อกำหนดความชัดเจนของหัวข้อโครงการ ซึ่งเมื่อจัดทำรายละเอียดของโครงการเสร็จสมบูรณ์ จึงถือว่าดำเนินการจบขั้นตอนของการบ่งชี้ปัญหา รายละเอียดของโครงการมีดังนี้

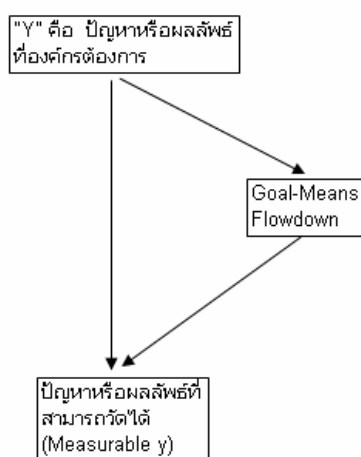
หัวข้อโครงการ : ลดปัญหายางบวมที่แก้มยาง
 ตัวชี้วัด (Metrics) : เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์บกพร่องจากปัญหายางบวมที่แก้มยาง
 ขอบเขตของโครงการ : ปรับปรุงปัญหาผลิตภัณฑ์บกพร่องในยางรถเก๋ง และ
 ยางรถปิกอัพ และติดตามผลหลังการจัดทำแผนการปรับปรุงเป็นระยะเวลา 3 เดือน
 เป้าหมายและผลกระทบทางการเงิน : ลดปัญหายางบวมจาก 0.12 % เป็น 0.04%
 ผลกระทบทางการเงินเท่ากับ 17,080 บาท/เดือน หรือ 204,960 บาท/ปี
 สมาชิกทีม : ผู้วิจัย, ผู้ชำนาญด้านกระบวนการ (Process expert) และผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง
 กับโครงการ

4.2 การวัดและการรวบรวมข้อมูล

วัตถุประสงค์ของขั้นตอนนี้ก็เพื่อ
 -วัดผลงานของกระบวนการ เพื่อให้ทราบว่าขณะนี้เราทำได้ดีเพียงใด
 -วัดขีดความสามารถของกระบวนการว่าอยู่ที่ระดับใด มีข้อบกพร่องหรือความสูญเสีย
 เกิดขึ้นมากน้อยเพียงใด

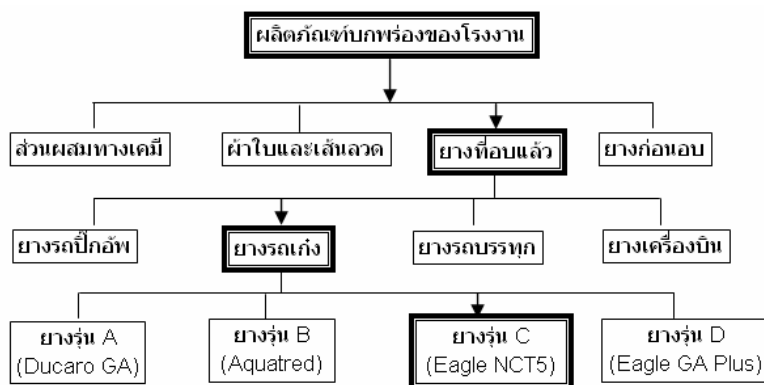
การวัดและการรวบรวมข้อมูลประกอบไปด้วยขั้นตอน 3 ขั้นตอนได้แก่ การเลือก
 คุณลักษณะที่ต้องการปรับปรุง, กำหนดเป้าหมายและขอบเขตที่ยอมรับได้ และการประเมิน
 ความสามารถของระบบการวัด

1. การเลือกคุณลักษณะที่ต้องการปรับปรุง : แนวทางการดำเนินงาน



ภาพที่ 4.4 แนวทางการดำเนินการวัดและการรวบรวมข้อมูล

- การแจกแจงปัญหาเป้าหมาย ในลักษณะแตกย่อยออกมาเป็นปัญหาย่อย ๆ (Goal mean flow down) โดยผู้วิจัยเลือกจัดทำโดยวิธีทำจากบนลงล่าง (Top-down) การจัดทำ Goal mean flow down แสดงในภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 Goal Mean Flow Down

2. กำหนดเป้าหมายและขอบเขตที่ยอมรับได้

ในการกำหนดเป้าหมายมีแนวทางคือ เลือกเป้าหมายที่เป็นอุดมคติ (Ideal value) ซึ่งผู้วิจัยกำหนดให้เป็นศูนย์

ขอบเขตที่ยอมรับได้ กำหนดจากเป้าหมายของโครงการคือ 0.04% เพราะฉะนั้นขอบเขตที่ยอมรับได้ กำหนดให้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.04%

3. การประเมินความสามารถของระบบการวัด

เพื่อเป็นการประเมินความถูกต้องแม่นยำของระบบการวัดว่าเพียงพอหรือไม่ และชี้จุดจุดที่ต้องการการปรับปรุง ผู้วิจัยได้ทำการประเมินความสามารถของระบบการวัด (MSA : Measurement System Analysis) โดยวัดในรูปค่า Gauge R&R (Gauge Repeatability and Reproducibility)

Repeatability หมายถึง คุณสมบัติซึ่งแสดงความผันแปรภายใต้เงื่อนไขการวัดเดียวกัน
ทุกประการ ส่วน Reproducibility หมายถึงคุณสมบัติซึ่งแสดงความผันแปรอันเกิดจากการเปลี่ยน
คนวัด แต่ใช้วิธีการเดียวกัน เครื่องมือเดียวกัน

สภาพปัจจุบันในโรงงานตัวอย่างนั้น กระบวนการในการตรวจจับผลิตภัณฑ์บกพร่อง
จากปัญหายางบวมที่แก้มยางนั้น ไม่มีเครื่องมือในการตรวจจับ แต่ใช้พนักงานตรวจจับ
ผลิตภัณฑ์บกพร่องโดยใช้สายตา และการสัมผัสยาง ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ Gauge R&R
ดังนี้

- เลือกพนักงานจำนวน 3 คน
- เลือกยางจำนวน 12 เส้นมียางดี และยางเสียปนกัน
- ให้พนักงานตรวจยาง 2 รอบ

ตารางที่ 4.3 การประเมินความสามารถของระบบการวัดก่อนการปรับปรุง

ตัวอย่าง	ความจริง	พนักงานตรวจยางคนที่ 1		พนักงานตรวจยางคนที่ 2		พนักงานตรวจยางคนที่ 3	
		ตรวจครั้งที่ 1	ตรวจครั้งที่ 2	ตรวจครั้งที่ 1	ตรวจครั้งที่ 2	ตรวจครั้งที่ 1	ตรวจครั้งที่ 2
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1
4	0	1	1	0	1	0	0
5	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1
7	0	1	0	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1
9	0	1	0	1	1	1	0
10	0	1	1	0	0	0	0
11	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1

0 = ยางเสีย
1 = ยางดี

- จากนั้นข้อมูลที่ได้ ทำการบันทึกและคำนวณโดยประยุกต์ใช้โปรแกรมมินิแทป

Within Appraiser

Appraiser #	Inspected #	Matched	Percent (%)	95.0% CI
CHARTCHAI	12	9	75.0 (42.8, 94.5)	
RACHAIN	12	11	91.7 (61.5, 99.8)	
ADULE	12	11	91.7 (61.5, 99.8)	

Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

Each Appraiser vs Standard

Appraiser #	Inspected #	Matched	Percent (%)	95.0% CI
CHARTCHAI	12	7	58.3 (27.7, 84.8)	
RACHAIN	12	8	66.7 (34.9, 90.1)	
ADULE	12	9	75.0 (42.8, 94.5)	

Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with standard

Assessment Disagreement

Appraiser	# 1/0	Percent (%)	# 0/1	Percent (%)	# Mixed	Percent (%)
CHARTCHAI	2	33.33	0	0.0	3	25.0
RACHAIN	3	50.00	0	0.0	1	8.33
ADULE	2	33.33	0	0.0	1	8.33

1/0: Assessments across trials = 1 / standard = 0.

0/1: Assessments across trials = 0 / standard = 1.

Mixed: Assessments across trials are not identical.

Between Appraisers

# Inspected	# Matched	Percent (%)	95.0% CI
12	7	58.33 (27.67, 84.83)	

Matched: All appraisers' assessments agree with each other.

All Appraisers vs Standard

# Inspected	# Matched	Percent (%)	95.0% CI
12	7	58.33 (57.67, 84.83)	

Matched: All appraisers' assessments agree with standard.

ภาพที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ Gauge R&R จากข้อมูลมินิแทปก่อนการปรับปรุง

จากผลการวิเคราะห์พบว่า

- เมื่อตรวจสอบชิ้นงานชิ้นเดียวกัน พนักงานคนที่ 1 มีเปอร์เซ็นต์ตรงกับของเดิมร้อยละน้อยที่สุด (58.3%)
- เมื่อเปรียบเทียบผลกับความเป็นจริง พบว่าพนักงานคนที่ 3 ทำได้ดีที่สุด (73%)
- พนักงานตรวจอย่างทั้งสามคนมีปัญหาในการตรวจคือ ตรวจไม่พบยางเสีย (33.33% 50% และ 33.3%)

- เปอร์เซ็นต์ที่พนักงานตรวจตรงกันทั้งสามคนเท่ากับ 58.33%
- เปอร์เซ็นต์ที่พนักงานทั้งสามคนตรวจได้อย่างถูกต้องเท่ากับ 58.33%

จากผลที่ได้ เห็นได้ว่าพนักงานทั้งสามคนต้องการการปรับปรุงในเรื่องการตรวจยาง ซึ่งได้ทำการอธิบายถึงขั้นตอนการตรวจยางที่ถูกต้อง รวมถึงความเร็วในการตรวจยางที่เหมาะสม ซึ่งดำเนินการโดยแผนกฝึกอบรม จากนั้นทำการวิเคราะห์เพื่อดูผลหลังการปรับปรุงอีกครั้ง ข้อมูลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การประเมินความสามารถของระบบการวัดหลังการปรับปรุง

ตัวอย่าง	ความจริง	พนักงานตรวจยางคนที่ 1		พนักงานตรวจยางคนที่ 2		พนักงานตรวจยางคนที่ 3	
		ตรวจครั้งที่ 1	ตรวจครั้งที่ 2	ตรวจครั้งที่ 1	ตรวจครั้งที่ 2	ตรวจครั้งที่ 1	ตรวจครั้งที่ 2
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	1	0
3	1	1	1	1	1	1	1
4	0	0	0	0	0	0	0
5	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1
7	0	1	0	0	0	0	0
8	1	1	1	1	1	1	1
9	0	0	0	0	0	1	1
10	0	0	0	0	0	0	0
11	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1

0 = ยางเสีย
1 = ยางดี

จากข้อมูลที่ได้ ทำการบันทึกและคำนวณโดยประยุกต์ใช้โปรแกรมมินิแทป ผลที่ได้แสดงในภาพที่ 4.7

```

Within Appraiser
Appraiser # Inspected # Matched Percent (%)          95.0% CI
CHARTCHAI      12      11      91.7 ( 61.5, 99.8)
RACHAIN        12      12      100.0 ( 77.9, 100.0)
ADULE          12      11      91.7 ( 61.5, 99.8)
# Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

Each Appraiser vs Standard
Appraiser # Inspected # Matched Percent (%)          95.0% CI
CHARTCHAI      12      11      91.7 ( 61.5, 99.8)
RACHAIN        12      12      100.0 ( 77.9, 100.0)
ADULE          12      10      83.3 ( 51.6, 97.9)
# Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with standard

Assessment Disagreement
Appraiser      # 1/0 Percent(%)      # 0/1 Percent(%) # Mixed Percent(%)
CHARTCHAI      0      0.0      0      0.0      1      8.3
RACHAIN        0      0.0      0      0.0      0      0.0
ADULE          1      16.7      0      0.0      1      8.3
# 1/0: Assessments across trials = 1 / standard = 0.
# 0/1: Assessments across trials = 0 / standard = 1.
# Mixed: Assessments across trials are not identical.

Between Appraisers
# Inspected # Matched Percent (%)          95.0% CI
      12      9      75.0 ( 42.8, 94.5)
# Matched: All appraisers' assessments agree with each other.

All Appraisers vs Standard
# Inspected # Matched Percent (%)          95.0% CI
      12      9      75.0 ( 42.8, 94.5)
# Matched: All appraisers' assessments agree with standard.

```

ภาพที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ Gauge R&R จากข้อมูลมินิแพปหลังการปรับปรุง

ผลการวิเคราะห์หลังการฝึกอบรม พบว่า

- เมื่อตรวจสอบชิ้นงานชิ้นเดียวกัน เปอร์เซ็นต์ตรงกันกับครั้งแรกที่ตรวจเท่ากับ 91.7%, 100% และ 91.7%
- เมื่อเปรียบเทียบผลกับความเป็นจริง 91.7%, 100% และ 83.3%
- ปัญหาในการ ตรวจไม่พบยางเสียเท่ากับ 0%, 0% และ 16.7%
- เปอร์เซ็นต์ที่พนักงานตรวจตรงกันทั้งสามคนเท่ากับ 75%
- เปอร์เซ็นต์ที่พนักงานทั้งสามคนตรวจได้อย่างถูกต้องเท่ากับ 75%

จากผลที่ได้ ทำให้ผู้วิจัยทราบถึงประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดในปัจจุบัน ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ดี จึงได้ทำการปรับปรุง และสามารถนำระบบการวัด มาใช้ตรวจจับตัวชี้วัดข้อมูลของโครงการ

4.3 การวิเคราะห์หาสาเหตุ (A - Analyze)

วัตถุประสงค์ของขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุได้แก่การได้มาซึ่งสาเหตุรากเหง้าของปัญหา

การวิเคราะห์ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนได้แก่ การศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการทำงาน ณ ปัจจุบัน การกำหนดเป้าหมายในการปรับปรุง และการศึกษาตัวแปรต้นกระบวนการ

1. ศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการทำงาน ณ ปัจจุบัน

วัตถุประสงค์ของขั้นตอนนี้ก็เพื่อ

- ทหาระดับคุณภาพของกระบวนการปัจจุบันว่าอยู่ที่ระดับคุณภาพที่เท่าใด
- ทำให้ทราบว่าระดับคุณภาพก่อนการปรับปรุงอยู่ห่างจากระดับซิก ซิกมาเท่าใด

การคำนวณหาระดับซิกมา คำนวณจากจำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องที่พบ เมื่อเทียบกับโอกาสเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่อง 1 ล้านโอกาส (Defect per Million Opportunity - DPMO) ดังสมการ

$$DPMO = \text{Defect Counted} / (\text{Unit Counted} \times \text{Defect Opportunity}) \times 10^6$$

โดยที่ Defect คือ ข้อบกพร่อง

Unit คือ จำนวนชิ้นงาน

Defect Opportunity คือ โอกาสเกิดข้อบกพร่องในหนึ่งชิ้นงาน

ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} DPMO &= 60 / (49,283 \times 1) \times 10^6 \\ &= 0.0012 \times 1,000,000 = 1,220 \end{aligned}$$

ระดับซิกมา ณ ปัจจุบัน จะตกอยู่ที่ 3.03 Sigma – Short term (การคำนวณระดับซิกมา จากค่า DPMO อ้างอิงจากตาราง Six Sigma Conversion Table แสดงในภาคผนวก ก.) และ 1.53 Sigma – Long term (เนื่องจากระดับ ซิกมา ณ Long term จะได้รับความแปรปรวนที่เกิดจาก ปัจจัยภายนอกอันส่งผลถึงการคลาดเคลื่อนของค่ากึ่งกลางมีค่าเท่ากับ 1.5 Sigma)

2. กำหนดเป้าหมายในการปรับปรุง

เป้าหมายในการปรับปรุงของโครงการอยู่ที่ 6 Sigma หมายถึง ระดับ DPMO = 3

(อ้างอิงจาก Six Sigma Conversion Table)

เมื่อเปรียบเทียบค่าเป้าหมายกับค่า ณ ปัจจุบัน ดังนี้

ค่า ณ ปัจจุบัน Short term (Short term DPMO) = 1,220

เป้าหมาย (Goal DPMO) = 3

ค่าที่ดีที่สุดที่เคยทำได้ (Entitlement DPMO) = 544

ค่า ณ ปัจจุบัน Long Term (Long term DPMO : Overall) = 63,008

จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการทดสอบสมมุติฐาน ว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้แตกต่างจากปัจจุบัน อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยวิธีสมมุติฐาน โดยผู้วิจัยตั้งสมมุติฐานดังนี้

H_0 : Base line DPMO = 3

H_a : Base line DPMO > 3

ในการคำนวณโดยโปรแกรมมินิแทป เลือกทดสอบข้อมูลแบบ One Proportion แสดงในภาพที่ 4.8

Test and CI for One Proportion

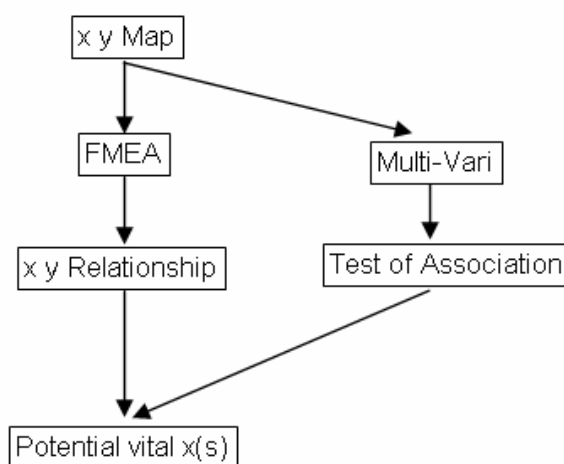
Test of $p = 0.000003$ vs $p > 0.000003$

Sample	X	N	Sample p	95.0% Lower Bound	Z-Value	P-Value
1	60	49283	0.001217	0.000959	155.66	0.000

ภาพที่ 4.8 การทดสอบข้อมูลแบบ One Proportion

จากผลการทดสอบ $P \text{ Value} = 0.000$ ซึ่งน้อยกว่า 0.05 สรุปได้ว่าเราสามารถปฏิเสธ H_0 แสดงว่าเป้าหมายของโครงการมีความแตกต่างอย่างแท้จริง กับจำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่อง ณ ปัจจุบัน

3. ศึกษาตัวแปรต้นกระบวนการ : แนวทางการดำเนินงาน



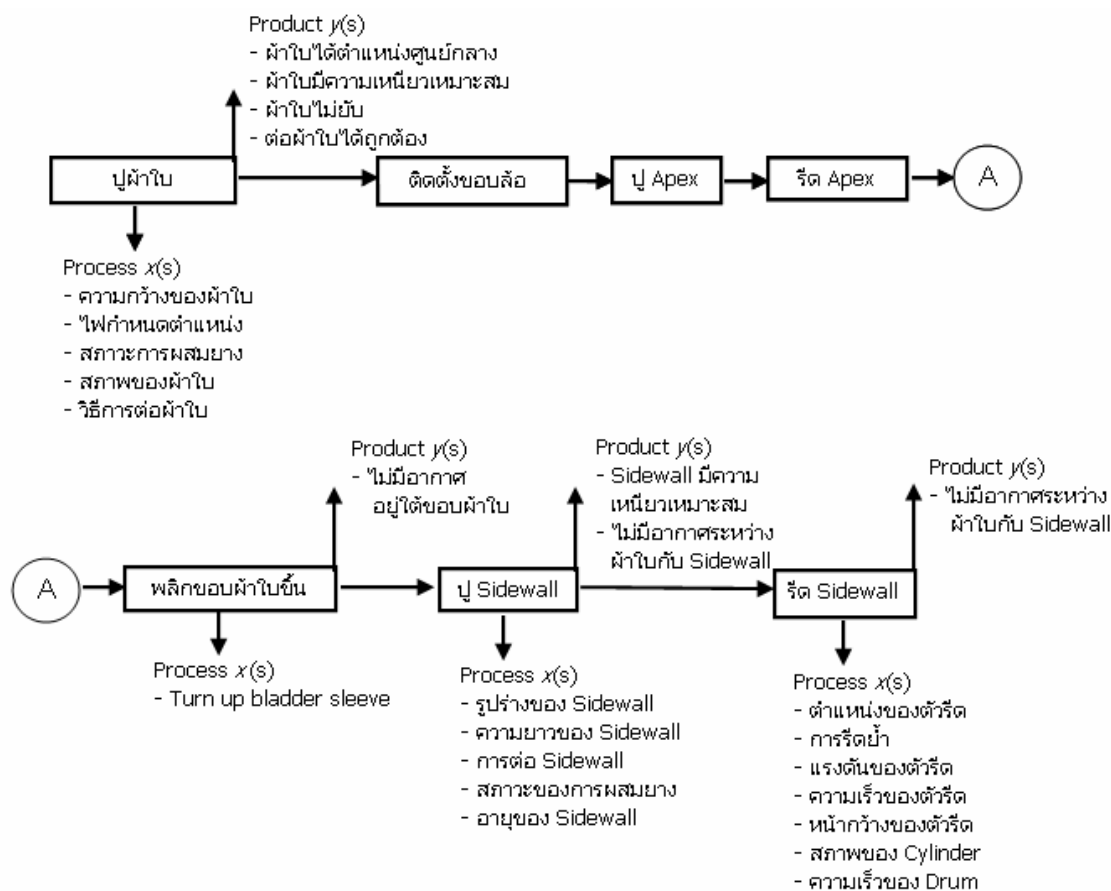
ภาพที่ 4.9 แนวทางการดำเนินงานการศึกษาตัวแปรต้นกระบวนการ

- x y Process Map

ผู้วิจัยได้จัดทำ x y Process Map ขึ้นในขั้นตอนเริ่มต้นของการศึกษาตัวแปรต้นกระบวนการ โดยมีขั้นตอนในการทำดังนี้

- 1.) แจกแจงขั้นตอนของกระบวนการ
- 2.) กำหนดคุณลักษณะสำคัญที่ต้องการจากกระบวนการ (Product y(s) : Vital Product Characteristics)
- 3.) กำหนดตัวแปรต้นกระบวนการที่สำคัญ (Process x(s) : Vital Process Parameter)

x y Process Map ของกระบวนการสร้างยาง (กระบวนการที่มีผลโดยตรงต่อปัญหายางบวมที่แก้มยาง) แสดงในภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 x y Process Map ของกระบวนการสร้างยาง

- FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)

ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือ FMEA เพื่อบ่งชี้ และจัดลำดับความสำคัญของตัวแปรต้น โดยคำนวณค่า RPN (Risk Priority Number) ค่า RPN มีวิธีการคำนวณดังนี้

$$RPN = Sev \times Occ \times Det$$

โดยที่

Sev (Severity) คือ ความรุนแรงของปัญหา

Occ (Occurrence) คือ ความถี่ในการเกิด

Det (Detection) คือ การตรวจจับปัญหา

ตารางที่อ้างอิงค่าความรุนแรงของปัญหา, ความถี่ในการเกิด และการตรวจจับปัญหา แสดงในภาพที่ 4.11

การให้คะแนน		ความรุนแรงของปัญหา	ความถี่ในการเกิด	การตรวจจับปัญหา
สูง ↑ ต่ำ	10	รุนแรงมากโดยไม่มีสัญญาณเตือน	ความถี่ในการเกิดสูงมาก ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้	ไม่สามารถตรวจได้หรือโอกาสตรวจพบมีความน่าจะเป็นที่ต่ำ
		สูญเสียการใช้งานในหน้าที่หลัก (Loss of primary function)	เกิดความเสียหายซ้ำบ่อยครั้ง	โอกาสในการตรวจพบมีน้อย
		สูญเสียการใช้งานในหน้าที่เสริม (Loss of secondary function)	เกิดความเสียหายพอประมาณ	โอกาสที่ตรวจพบมีความน่าจะเป็นที่ต่ำ
		เสียหายเป็นส่วน้อย	เกิดความเสียหายบางครั้งบางคราว	โอกาสที่ตรวจพบมีความน่าจะเป็นพอประมาณ
	1	ไม่มีผลเสียหายใดๆ	ไม่เกิดความเสียหาย	สามารถตรวจพบได้อย่างแน่นอน

ภาพที่ 4.11 การให้คะแนนความรุนแรงของปัญหา ความถี่ในการเกิด และการตรวจจับปัญหา

การวิเคราะห์ FMEA แสดงในภาพที่ 4.12

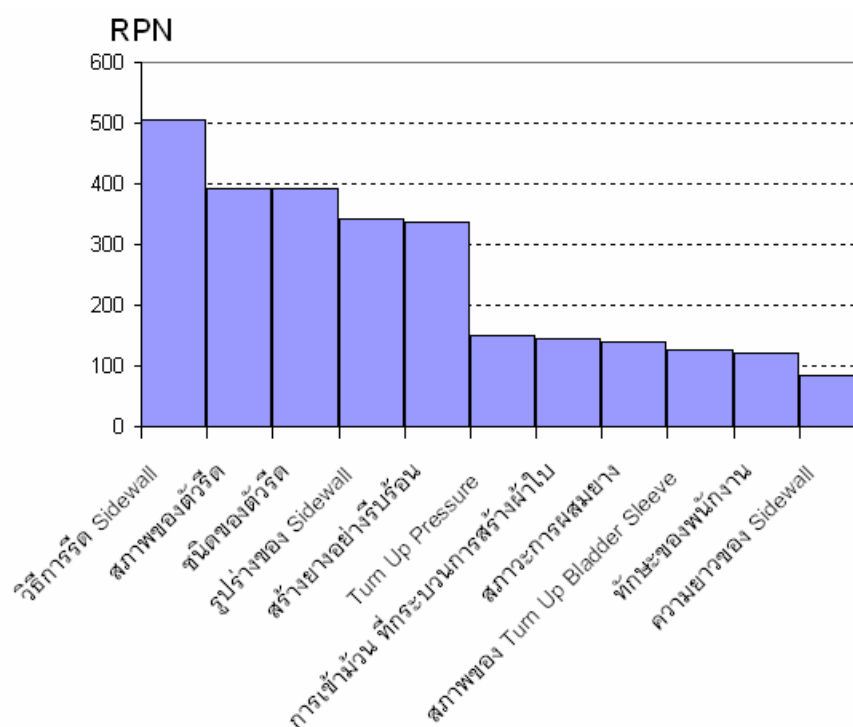
Process Step	Potential Failure Mode	Effect of Failure	S E V	Cause of Failure	O C C	Current Controls	D E T	R P I
ปูผ้าใบ	ต่อผ้าใบหนา	ยางบวม ๓ ตำแหน่งที่ต่อผ้าใบหนา	6	ทักษะของพนักงาน	3	การฝึกอบรม	5	90
				สร้างยางอย่างรีบร้อน	7	ควบคุมด้วยตนเองโดยพนักงาน	8	336
	ผ้าใบเหนียวไม่พอ	Sidewall ไม่ติดกับผ้าใบ	7	สภาวะการผสมยาง	5	ตรวจสอบคุณสมบัติโดยนักเคมี	4	140
	ผ้าใบขยับ	carcass ไม่เรียบ	6	การเข้าม้วน ที่กระบวนการสร้างผ้าใบ	3	ควบคุมด้วยตนเองโดยพนักงาน	8	144
				ทักษะของพนักงาน	3	ควบคุมด้วยตนเองโดยพนักงาน	5	90
การพับขอบผ้าใบขึ้น	ผ้าใบขยับระหว่างการพับ	carcass ไม่เรียบ	6	สภาพของ Turn Up Bladder Sleeve	3	เปลี่ยนใหม่เมื่อเสีย	7	126
				Turn Up Pressure	5	ตรวจสอบเมื่อพบปัญหา	5	150
การปู Sidewall	การต่อ Sidewall หนา	ยางบวม ๓ ตำแหน่งที่ต่อ Sidewall หนา	6	ทักษะของพนักงาน	3	การฝึกอบรม	5	90
				สร้างยางอย่างรีบร้อน	7	ควบคุมด้วยตนเองโดยพนักงาน	8	336
	การต่อ Sidewall หลุด	ยางบวม ๓ ตำแหน่งที่ต่อ Sidewall หลุด	8	ทักษะของพนักงาน	3	การฝึกอบรม	5	120
				สร้างยางอย่างรีบร้อน	3	ควบคุมด้วยตนเองโดยพนักงาน	8	192
	Sidewall เหนียวไม่พอ	Sidewall ไม่ติดกับผ้าใบ	7	สภาวะการผสมยาง	5	ตรวจสอบคุณสมบัติโดยนักเคมี	4	140

ภาพที่ 4.12 การวิเคราะห์ FMEA (1)

Process Step	Potential Failure Mode	Effect of Failure	S E V	Cause of Failure	O C C	Current Controls	D E T	R P N
การรีด Sidewall	ไม่สามารถรีดสมระหว่างผ้าใบและ Sidewall ออกได้	มีลมซังระหว่างผ้าใบและ Sidewall	7	รูปร่างของ Sidewall	7	การออกแบบกำหนดโดยวิศวกรเทคนิค	5	245
						เปรียบเทียบกับสเปค	7	343
						ตรวจสอบโดยพนักงาน		
				ความยาวของ Sidewall	3	การดึงใบมิด	4	84
				ชนิดของตัวรีด	7	Laminate และ Solid	8	392
				วิธีการรีด (จุดเข้า, แรงดัน, ความเร็ว)	9	ตรวจสอบเมื่อเปลี่ยนชนิดโดยหัวหน้างาน	7	441
						ปรับเมื่อพบปัญหาโดยหัวหน้างานและวิศวกร	8	504
				สภาพของตัวรีด (Alignment, Centerness)	7	ตรวจสอบโดยแผนกช่าง	8	392

ภาพที่ 4.12 การวิเคราะห์ FMEA (2)

จากผลการวิเคราะห์ FMEA ผู้วิจัยได้นำผลที่ได้มาจัดลำดับความสำคัญของปัญหาโดยใช้แผนภูมิพาเรโต แสดงในภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.13 แผนภูมิพาเรโตแสดงสาเหตุของผลิตภัณฑ์บกพร่อง

จากภาพที่ 4.13 พบว่าวิธีการรีด Sidewall เป็นสิ่งที่มีความสำคัญอันดับหนึ่งต่อปัญหา ยางบวมที่แก้มยาง นอกจากนี้สภาพของตัวรีด ชนิดของตัวรีด รูปร่างของ Sidewall และการสร้าง ยางของพนักงาน เป็นสิ่งที่มีความสำคัญในลำดับถัดมา

- การประยุกต์ใช้วิธีการ Multi-Vari

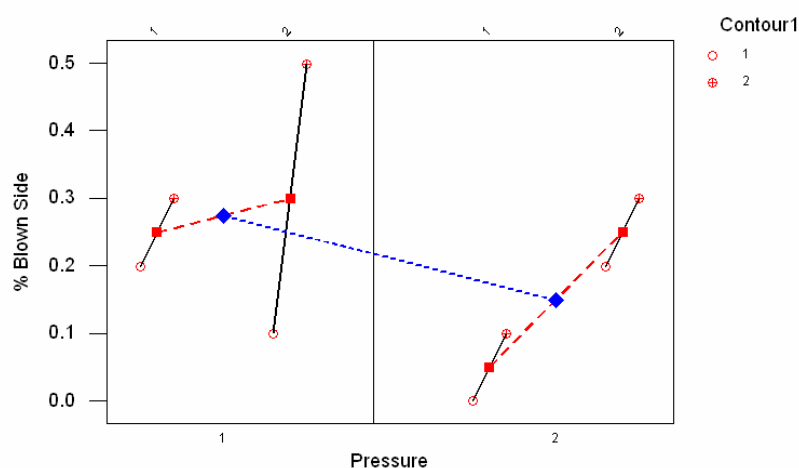
ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธีการ Multi-Vari เพื่อวิเคราะห์หาค่าแปรซึ่งได้แก่ ความเร็วในการรีด Sidewall, แรงดันในการรีด Sidewall และรูปร่างของ Sidewall

โดยทำการออกแบบการทดลอง ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.5 Multi-Vari Chart แสดงในภาพที่ 4.14

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลอง Multi-Vari

ครั้งที่	Contour1	Speed (rpm)	Pressure (psi)	เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์บกพร่อง
1	Flat	90	10	20
2	Flat	90	30	0
3	Flat	70	10	10
4	Flat	70	30	20
5	Curve	90	10	30
6	Curve	90	30	10
7	Curve	70	10	50
8	Curve	70	30	30

Multi-Vari Chart for % Blown Side by Contour1 - Pressure

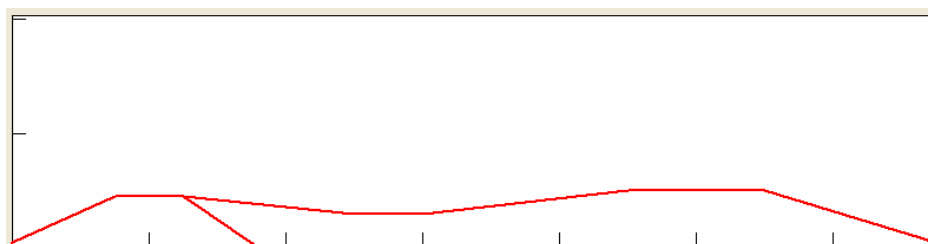


ภาพที่ 4.14 การวิเคราะห์ Multi-Vari

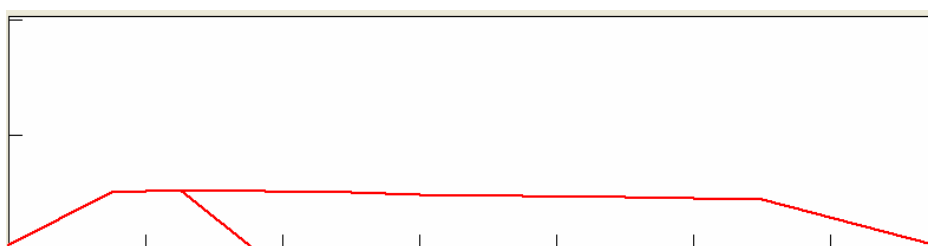
ซึ่งเราสามารถสรุปผลจากภาพที่ได้ดังนี้

- แรงดันในการรีด (Pressure) : แรงดันในการรีดแบบที่ 2 (30 psi) ส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องน้อยกว่าแรงดันในการรีดแบบที่ 1 (10 psi)
- ความเร็วในการรีด (Speed) : ความเร็วในการรีดแบบที่ 1 (90 rpm) ส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องน้อยกว่าความเร็วในการรีดแบบที่ 2 (70 rpm)
- รูปร่างของ Sidewall (Contour) : รูปร่างของ Sidewall แบบที่ 1 (Flat Sidewall) ส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องน้อยกว่ารูปร่างของ Sidewall แบบที่ 2 (Curve Sidewall)

จากผลการทดลอง Multi Vari เราพบว่า Sidewall แบบที่ 1 ดีกว่าแบบที่ 2 จากนั้นเราจึงทำการทดสอบสมมุติฐาน ความแตกต่างระหว่างรูปร่าง Sidewall แบบเรียบและแบบโค้ง



ภาพที่ 4.15 รูปร่าง Sidewall แบบโค้ง (Curve Contour)



ภาพที่ 4.16 รูปร่าง Sidewall แบบเรียบ (Flat Contour)

จากนั้นทำการทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง โดยในแต่ละครั้งผลิตทั้งหมด 10 เส้น จำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 จำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องจากการทดลองรูปร่าง Sidewall แบบเรียบและแบบโค้ง

ครั้งที่	จำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่อง	
	Flat Contour	Curve Contour
1	1	2
2	0	3
3	0	1
4	1	2
5	0	1

ผู้วิจัยกำหนดสมมุติฐานดังนี้

H_0 : Flat Contour = Curve Contour

(Sidewall แบบเรียบให้ผลผลิตภัณฑ์บกพร่องเท่ากับกับ Sidewall แบบโค้ง)

H_a : Flat Contour $\neq$ Curve Contour

(Sidewall แบบเรียบให้ผลผลิตภัณฑ์บกพร่องแตกต่างกันกับ Sidewall แบบโค้ง)

ในการคำนวณโดยโปรแกรมมินิแทป เลือกทดสอบข้อมูลแบบ Two Proportion แสดงในภาพที่ 4.17

Test and CI for Two Proportions

Sample	X	N	Sample p
1	2	50	0.040000
2	9	50	0.180000

Difference = p (1) - p (2)

Estimate for difference: -0.14

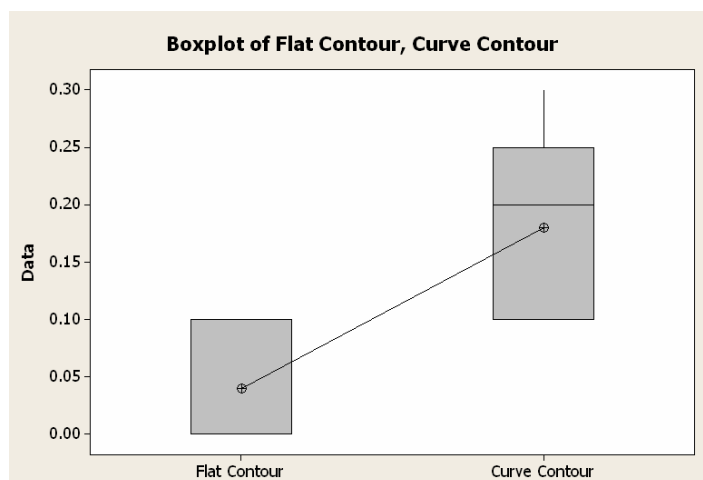
95% CI for difference: (-0.259542, -0.0204583)

Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = -2.30 P-Value = 0.022

ภาพที่ 4.17 การทดสอบข้อมูลแบบ Two Proportion

จากผลการทดสอบ P Value = 0.022 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 สรุปได้ว่าเราสามารถปฏิเสธ H_0 แสดงว่า Sidewall แบบโค้ง แตกต่างจาก Sidewall แบบเรียบอย่างแท้จริง

นอกจากนี้ นำข้อมูลที่ได้มาจัดทำ Boxplot เพื่อดูความแตกต่างระหว่างรูปร่างของ Sidewall แบบโค้ง และแบบเรียบ แสดงในภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.18 Boxplot แสดงข้อมูลเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์บกพร่อง ของ Sidewall เรียบและโค้ง

จากภาพที่ 4.18 สามารถสรุปได้ว่า Sidewall แบบเรียบส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องน้อยกว่ารูปร่างของ Sidewall แบบโค้ง

- การใช้ Simple Regression เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหนียวของ Sidewall (โดยใช้ค่า Mooney Viscosity เป็นตัวแทนของความเหนียว) กับเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์บกพร่อง

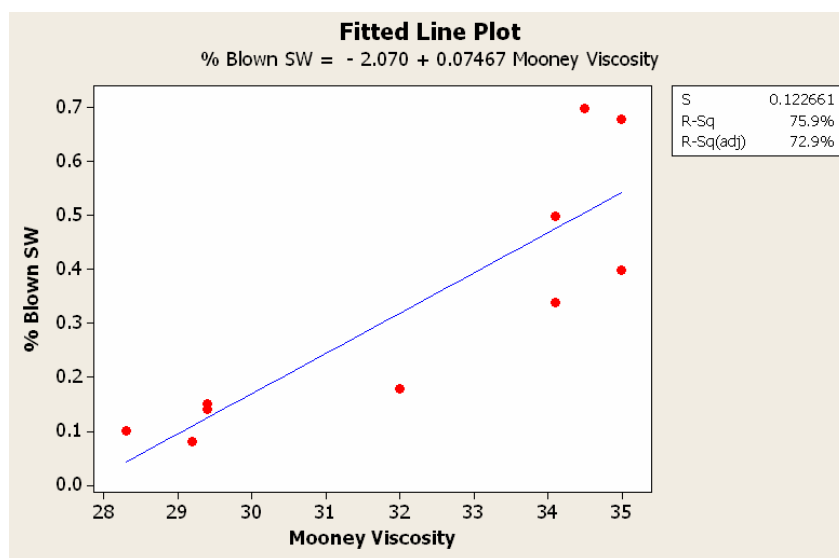
โดยการนำข้อมูลเก่า โดยเลือกชนิดผลิตภัณฑ์ที่มีปัญหามาก โดยบันทึกข้อมูลคู่กันระหว่างค่า Mooney Viscosity กับเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์บกพร่องจากปัญหายางบวมที่แก้มยาง ข้อมูลแสดงในตาราง 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่า Mooney Viscosity และเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์บกพร่องจากปัญหายางบวมที่แก้ม

ยาง

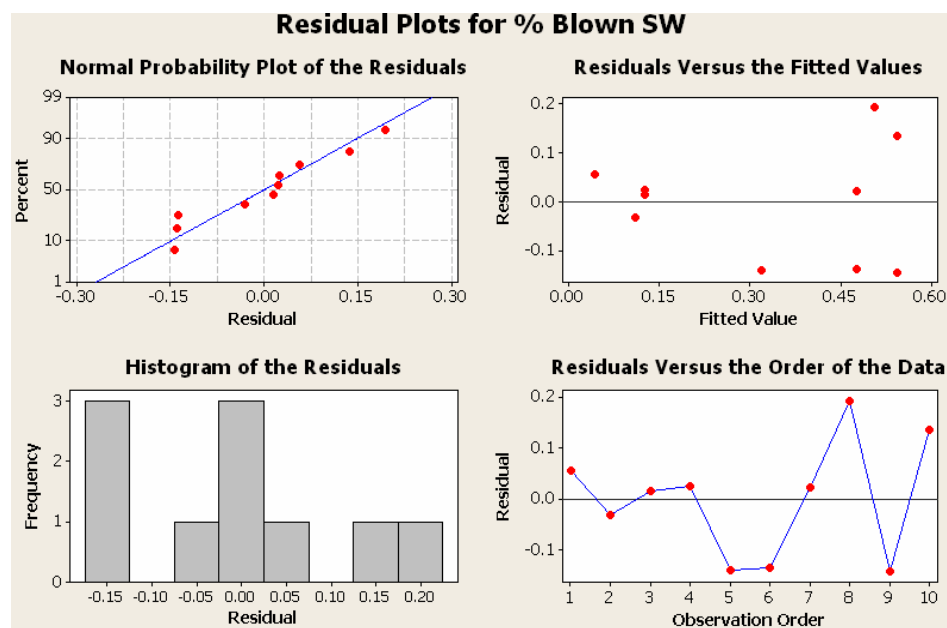
ข้อมูลที่	Mooney Viscosity	% Blown SW
1	28.3	0.1
2	29.2	0.08
3	29.4	0.14
4	29.4	0.15
5	32	0.18
6	34.1	0.34
7	34.1	0.5
8	34.5	0.7
9	35	0.4
10	35	0.68

จากข้อมูลที่มี เราสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองในรูปแบบการคณิตศาสตร์ได้ดังภาพที่ 4.19



ภาพที่ 4.19 สมการ Regression ระหว่าง Mooney Viscosity กับเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์บกพร่อง

Residual Plot แสดงในภาพที่ 4.20



ภาพที่ 4.20 Residual Plot ของเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์บกพร่อง

จากภาพที่ 4.20 Residual Plot แสดงการทดสอบความถูกต้องของข้อมูล จากข้อมูลที่ได้พบว่าข้อมูลมีความเป็นปกติ ข้อมูลมีอิสระ และมีความผันแปรคงที่ในรูปของความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

สมการ Regression และการวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์บกพร่องกับค่า Mooney viscosity แสดงในภาพที่ 4.21

Regression Analysis: % Blown SW versus Mooney Viscosity					
The regression equation is					
% Blown SW = - 2.070 + 0.07467 Mooney Viscosity					
S = 0.122661 R-Sq = 75.9% R-Sq(adj) = 72.9%					
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0.379245	0.379245	25.21	0.001
Error	8	0.120365	0.015046		
Total	9	0.499610			

ภาพที่ 4.21 สมการ Regression และการวิเคราะห์ความแปรปรวน

เราสามารถนำสมการดังกล่าวในการทำนายเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์บกพร่องที่ค่า R-Sq (adj) เท่ากับ 72.9% (เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์บกพร่องเป็นผลจาก Mooney Viscosity ร้อยละ 72.9)

- การออกแบบการทดลอง เพื่อวิเคราะห์วิธีการรีด Sidewall

ในการรีด Sidewall มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องหลายตัวแปร ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการออกแบบการทดลองในการวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่

Drum Speed หมายถึง ความเร็วในการหมุนของ Drum มีหน่วยเป็น rpm

DWELL Time หมายถึง เวลาในการรีดย้ำ ณ จุดที่กำหนด มีหน่วยเป็น sec.

Stitcher pressure หมายถึง แรงดันในการรีด Sidewall มีหน่วยเป็น psi

Stitcher Speed หมายถึง ความเร็วในการรีด Sidewall มีหน่วยเป็น rpm

ตัวแบบการทดลองที่ใช้ได้แก่ 2^4 Factorial Design (4 ตัวแปร 2 ระดับ)โดยมีการวิเคราะห์จุดกึ่งกลาง (Center point) เพิ่มเติมอีก 3 การทดลอง

จำนวนการทดลองทั้งหมดเท่ากับ $2^4 + 3 = 19$ การทดลอง

โดยในการทดลองแต่ละครั้ง ทำการผลิตครั้งละ 10 เส้น จำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องคิดจากการตรวจสอบด้วยสายตาจากยางก่อนกระบวนการอบ ผลการทดลองจากการทดลองเพื่อวิเคราะห์วิธีการรีด Sidewall แสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองเพื่อวิเคราะห์วิธีการรีด Sidewall

ครั้งที่	Drum speed	DWELL time	Stitcher pressure	Stitcher speed	เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์บกพร่อง
1	50	0.9	20	40	20
2	50	0.9	20	80	60
3	50	0.9	40	40	50
4	50	0.9	40	80	70
5	50	2.5	20	40	20
6	50	2.5	20	80	40
7	50	2.5	40	40	30
8	50	2.5	40	80	50
9	90	0.9	20	40	40
10	90	0.9	20	80	60
11	90	0.9	40	40	60
12	90	0.9	40	80	70
13	90	2.5	20	40	30
14	90	2.5	20	80	50
15	90	2.5	40	40	40
16	90	2.5	40	80	60
17	70	1.7	30	60	0
18	70	1.7	30	60	10
19	70	1.7	30	60	0

ผลจากการวิเคราะห์วิธีการรีด Sidewall โดยใช้แบบการทดลองแบบ Factorial โดยใช้โปรแกรมมินิแทบ แสดงในภาพที่ 4.22

Factorial Fit: เปเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์บกพร่อง versus Drum speed, DWELL time, ...

Estimated Effects and Coefficients for เปเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์บกพร่อง (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		46.88	1.443	32.48	0.001
Drum speed	8.75	4.38	1.443	3.03	0.094
DWELL time	-13.75	-6.87	1.443	-4.76	0.041
Stitcher pressure	13.75	6.88	1.443	4.76	0.041
Stitcher speed	21.25	10.63	1.443	7.36	0.018
Drum speed*DWELL time	1.25	0.63	1.443	0.43	0.707
Drum speed*Stitcher pressure	-1.25	-0.63	1.443	-0.43	0.707
Drum speed*Stitcher speed	-3.75	-1.88	1.443	-1.30	0.324
DWELL time*Stitcher pressure	-3.75	-1.88	1.443	-1.30	0.324
DWELL time*Stitcher speed	-1.25	-0.63	1.443	-0.43	0.707
Stitcher pressure*Stitcher speed	-3.75	-1.88	1.443	-1.30	0.324
Drum speed*DWELL time* Stitcher pressure	1.25	0.63	1.443	0.43	0.707
Drum speed*DWELL time*Stitcher speed	3.75	1.88	1.443	1.30	0.324
Drum speed*Stitcher pressure* Stitcher speed	1.25	0.62	1.443	0.43	0.707
DWELL time*Stitcher pressure* Stitcher speed	3.75	1.87	1.443	1.30	0.324
Drum speed*DWELL time* Stitcher pressure*Stitcher speed	-1.25	-0.62	1.443	-0.43	0.707
Ct Pt		-43.54	3.632	-11.99	0.007

S = 5.77350 R-Sq = 99.24% R-Sq(adj) = 93.18%

ภาพที่ 4.22 การวิเคราะห์หิ่วีการรืด Sidewall ด้วยตัวแบบ Factorial

จากผลที่ได้ R-Sq (adj) = 93.18 , P-value ของตัวแปร Drum speed มีค่ามากกว่า 0.05 ส่วน P-value ของตัวแปร DWELL Time, Stitcher pressure และ Stitcher speed มีค่าน้อยกว่า 0.05

ผู้วิจัยจึงได้ทำการตัดตัวแปร Drum speed ออก (ค่า P Value มากกว่า 0.05 – ไม่ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์บกพร่อง) และทำการวิเคราะห์ใหม่ แสดงในภาพที่ 4.23

Factorial Fit: เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณ์ versus DWELL time, Stitcher pressur, ...

Estimated Effects and Coefficients for เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณ์กับกพร่อง (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		46.88	1.797	26.09	0.000
DWELL time	-13.75	-6.87	1.797	-3.83	0.003
Stitcher pressure	13.75	6.87	1.797	3.83	0.003
Stitcher speed	21.25	10.63	1.797	5.91	0.000
DWELL time*Stitcher pressure	-3.75	-1.87	1.797	-1.04	0.321
DWELL time*Stitcher speed	-1.25	-0.62	1.797	-0.35	0.735
Stitcher pressure*Stitcher speed	-3.75	-1.88	1.797	-1.04	0.321
DWELL time*Stitcher pressure* Stitcher speed	3.75	1.87	1.797	1.04	0.321
Ct Pt		-43.54	4.522	-9.63	0.000

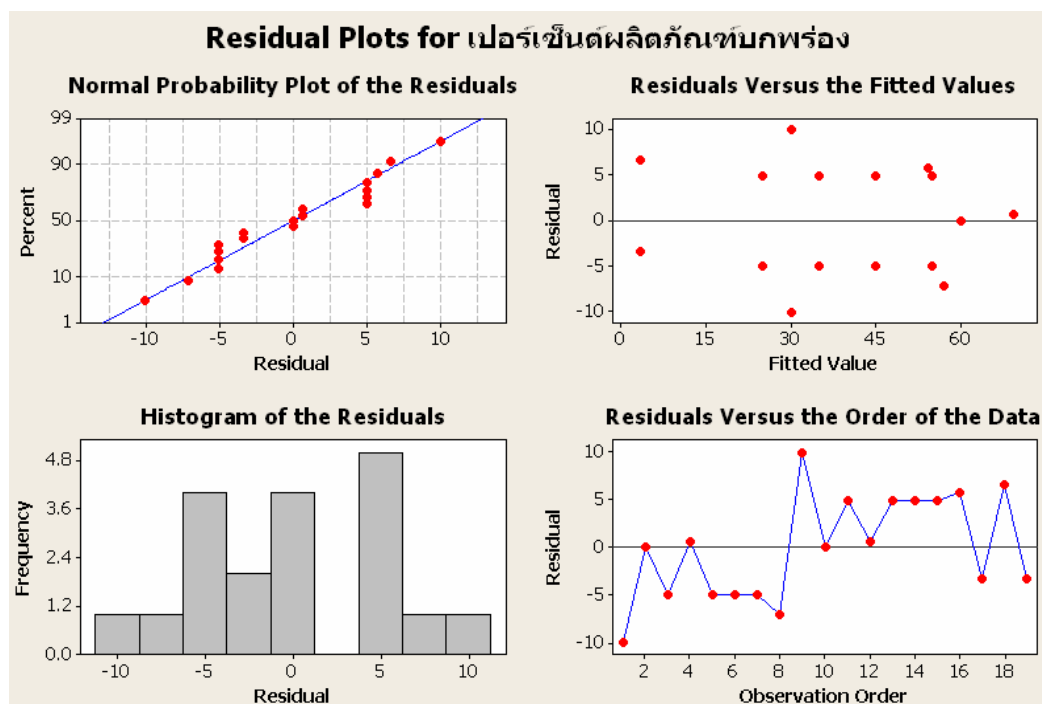
S = 7.18795 R-Sq = 94.13% R-Sq(adj) = 89.43%

ภาพที่ 4.23 การวิเคราะห์หิธีการรีด Sidewall ด้วยตัวแบบ Factorial หลังตัดตัวแปร Drum Speed

จากผลที่ได้ พบว่า ค่า R-Sq (adj) มีค่าเท่ากับ 89.43% ค่า P-value ของตัวแปรทั้งสาม มีค่าน้อยกว่า 0.05 สามารถสรุปได้ว่า DWELL Time , Stitcher Pressure และ Sitcher Speed ส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณ์กับกพร่อง

ค่า P-value ของ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ มีค่ามากกว่า 0.05 สามารถสรุปได้ว่า ไม่มี Interaction ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ

Residual Plot แสดงในภาพที่ 4.24



ภาพที่ 4.24 Residual Plot ของผลิตภัณฑบกพร่อง

จากภาพที่ 4.24 Residual Plot แสดงการทดสอบความถูกต้องของข้อมูล จากข้อมูลที่ได้พบว่าข้อมูลมีความเป็นปกติ ข้อมูลมีอิสระและมีความผันแปรคงที่ในรูปของความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของวิธีการวัด Sidewall แสดงในภาพที่ 4.25

Analysis of Variance for เปรอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑบกพร่อง (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	3318.75	3318.75	1106.25	21.41	0.000
2-Way Interactions	3	118.75	118.75	39.58	0.77	0.539
3-Way Interactions	1	56.25	56.25	56.25	1.09	0.321
Curvature	1	4789.58	4789.58	4789.58	92.70	0.000
Residual Error	10	516.67	516.67	51.67		
Pure Error	10	516.67	516.67	51.67		
Total	18	8800.00				

ภาพที่ 4.25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของวิธีการวัด Sidewall

ผลสรุปการวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังนี้

P-value ของ Main effect < 0.05 สามารถสรุปได้ว่า ตัวแปรทั้งสามมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์บกพร่อง

P-value ของ 2-Way Interaction , 3-Way Interaction > 0.05 สามารถสรุปได้ว่า ไม่มี Interaction ระหว่างตัวแปรสองตัว และ ตัวแปรสามตัว

P-value Curvature < 0.05 สามารถสรุปได้ว่าค่ากึ่งกลางของตัวแปรที่ทดลองแต่ละตัว (Center point) มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์บกพร่อง สมการที่ได้จะมีค่าเป็นเส้นโค้ง

การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์วิธีการรีด Sidewall กับเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์บกพร่องแสดงในภาพที่ 4.26

Estimated Coefficients for เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์บกพร่อง using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-59.6875
DWELL time	21.8750
Stitcher pressure	2.84375
Stitcher speed	1.47656
DWELL time*Stitcher pressure	-0.937500
DWELL time*Stitcher speed	-0.390625
Stitcher pressure*Stitcher speed	-0.0292969
DWELL time*Stitcher pressure*	0.0117188
Stitcher speed	
Ct Pt	-43.5417

ภาพที่ 4.26 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์วิธีการรีด Sidewall กับเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์บกพร่อง

จากผลการทดลอง เราสามารถได้สมการ $Y = -59.69 + 21.88X_1 + 2.84X_2 + 1.48X_3$ โดยที่

Y = เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์บกพร่อง

X_1 = DWELL Time มีหน่วยเป็น sec.

X_2 = Stitcher pressure หมายถึง แรงดันในการรีด Sidewall มีหน่วยเป็น psi

X_3 = Stitcher Speed หมายถึง ความเร็วในการรีด Sidewall มีหน่วยเป็น rpm