

การลดสัดส่วนรอยแตกบริเวณขอบยางในการผลิตยางล้อรถจักรยานยนต์



นายวรุฒม์ รังรองรัตน์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

REDUCTION OF BEAD CRACK PROPORTION IN MOTORCYCLE TIRE PRODUCTION

Mr. Warut Rangrongratana



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 2017

Copyright of Chulalongkorn University

วรุตม์ รังรองรัตน์ : การลดสัดส่วนรอยแตกบริเวณขอบยางในการผลิตยางล้อรถจักรยานยนต์ (REDUCTION OF BEAD CRACK PROPORTION IN MOTORCYCLE TIRE PRODUCTION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. ประมวล สุธีจาร์วัฒน์, 139 หน้า.

งานศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดสัดส่วนรอยแตกบริเวณขอบยาง ในกระบวนการผลิตยางล้อรถจักรยานยนต์ของโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งปัญหานี้ก่อให้เกิดความสูญเสียมากกว่า 20 ล้านบาทต่อปี แนวทางการปรับปรุงมุ่งเน้นการแก้ไขปัญหาในกระบวนการผลิตโดยใช้วัตถุดิบ วิธีการ และเครื่องจักรที่มีอยู่ โดยไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงนั้นกระทบต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ การศึกษาแบ่งเป็น 6 ขั้นตอน คือ 1) ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของปัญหาจากบันทึกการผลิต และเก็บข้อมูลลักษณะของปัญหาเพิ่มเติมจากตัวอย่างจริงที่เกิดปัญหารอยแตก พบว่ายางรุ่น 90/90-14EG ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขอบยาง 14 นิ้ว หน้ายางกว้าง 90 มม. แก้มยางสูง 81 มม. มีความสูญเสียมากที่สุดถึง 4 ล้านบาทต่อปี หรือคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 7.31 จากปริมาณการผลิตทั้งหมด 2) ประเมินความสามารถของกระบวนการตรวจสอบปัญหา พบว่าพนักงานสามารถตรวจสอบคัดแยกปัญหารอยแตกได้อย่างถูกต้องทั้งหมด และจากการประเมินความสามารถในการวัดขนาดของปัญหา พบว่ามีความแม่นยำและเที่ยงอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ 3) วิเคราะห์และคัดกรองสาเหตุเบื้องต้นของปัญหา โดยใช้วิธีการทดสอบสมมติฐานที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าสาเหตุของปัญหารอยแตกของยางรุ่นตัวอย่างมีสามประการ คือ ขนาดของแบบยาง ความกว้างของชั้นส่วนหน้ายาง และแรงดันไอน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบยาง 4) ดำเนินการทดลองเพื่อลดปัญหารอยแตกโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบ้หันเคน โดยพิจารณา 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ และทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อปัญหารอยแตกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้แก่ ขนาดของแบบยาง อันตรกิริยาระหว่างขนาดของแบบยางกับความกว้างของชั้นส่วนหน้ายาง และอันตรกิริยาระหว่างขนาดของแบบยางกับแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูป ค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับยางรุ่นตัวอย่าง คือ ขนาดของแบบยาง 180 มม. ความกว้างชั้นส่วนหน้ายาง 186 มม. และแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูป 0.12 เมกะปาสคาล 5) ปรับปรุงมาตรฐานการผลิต 6) ติดตามผลการใช้มาตรฐานใหม่ในกระบวนการผลิตจริงเป็นระยะเวลากว่า 1 ปี พบว่าสามารถลดสัดส่วนรอยแตกบริเวณขอบยางของยางรุ่นตัวอย่างจากร้อยละ 7.31 เหลือเพียงร้อยละ 1.04 โดยเฉลี่ย คิดเป็นมูลค่าความสูญเสียที่ลดลงได้มากกว่า 3 ล้านบาทต่อปี

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2560

5770964521 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: MOTORCYCLE TIRE / BEAD CRACK / LOSS REDUCTION IN PRODUCTION
PROCESS / DESIGN OF EXPERIMENT

WARUT RANGRONGRATANA: REDUCTION OF BEAD CRACK PROPORTION IN
MOTORCYCLE TIRE PRODUCTION. ADVISOR: ASST. PROF. PRAMUAL
SUTEECHARUWAT, Ph.D., 139 pp.

The purpose of this study is to reduce ratio of bead crack in motorcycle tire production process of the case study manufacturer. This problem caused loss more than 20 million baht per year. An improvement focused on problem solving in production process by using current materials, processes and machines without any side effect to product properties. A Study composed of six phases. Phase I: preliminary study of problem from production records and from collected data of real sample tires which have bead crack problem, a tire model 90/90-14EG which has diameter 14 inches, tread width 90 mm. and sidewall height 81 mm. had the highest loss value 4 million baht per year. Phase II: evaluated capability of tire inspection process, inspectors could detect all bead crack problems by visual inspection. About bead crack size measurement evaluation, accuracy and precision are acceptable. Phase III: Analyzed causes of problem by using hypothesis test with a confidence level of 95%, there are 3 bead crack causes of a case study tire model which are green tire size, tread width and green tire shaping steam pressure. Phase IV: used Box-Behnken experimental design for 3 factors, 3 levels for each factor and evaluated significance of factors by using ANOVA, the result showed that 1) green tire size 2) interaction between green tire size and tread width 3) green tire size and shaping pressure are significant at 95% of confidence level. The suitable level of factors are 1) green tire size 180 mm., 2) tread width 186mm., 3) shaping pressure 0.12 MPa. Phase V: revised production standard. Phase VI: followed up result of actual production for more than a year, bead crack ratio of a case study tire model reduces from 7.31% to 1.04% on average. The loss value is reduced more than 3 million baht per year.

Department: Industrial Engineering Student's Signature

Field of Study: Industrial Engineering Advisor's Signature

Academic Year: 2017

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมวล สุธีจารุวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่เสียสละเวลาเพื่อให้ความรู้ คำแนะนำ และแนวทางในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ ประธานกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญวา ธรรมพิทักษ์กุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นในการแก้ไขข้อบกพร่อง ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณะผู้บริหารของโรงงานกรณีศึกษาเป็นอย่างสูง ที่ให้ความอนุเคราะห์ และอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลและทำการทดลองเป็นอย่างดี ขอขอบคุณคณะทำงานทุกท่านที่ช่วยระดมความรู้ ความคิดเห็น และให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีระหว่างการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ ที่อบรมสั่งสอนผู้วิจัย และขอขอบคุณพี่ น้อง เพื่อนนิสิตทุกท่านที่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือแก่ผู้ทำวิจัยเสมอมาจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา.....	9
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	9
1.4 แนวทางการศึกษา.....	10
1.5 แผนการศึกษา.....	15
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา.....	15
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
2.1 โครงสร้างพื้นฐานของยางล้อรถจักรยานยนต์.....	16
2.2 กระบวนการผลิตยางล้อรถจักรยานยนต์.....	17
2.3 ปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง (Bead crack).....	22
2.4 วิธีการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา.....	26
2.5 การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA).....	32
2.6 การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing).....	34
2.7 การออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบ้หันเคน.....	34
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	38

2.9	สรุปการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	39
บทที่ 3	การศึกษาความสามารถของกระบวนการตรวจสอบปัญหา.....	40
3.1	การศึกษาความสามารถเชิงคุณภาพ.....	40
3.2	การศึกษาความสามารถเชิงปริมาณ	42
3.3	สรุปผลการประเมินความสามารถของระบบการวัด	46
บทที่ 4	การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง.....	47
4.1	การทดสอบตามเวลาที่เกิดปัญหา	48
4.2	การทดสอบตามตำแหน่งการเกิดปัญหา.....	62
4.3	การทดสอบตามลักษณะของปัญหา	65
4.4	การทดสอบตามลักษณะของชิ้นส่วนประกอบ.....	67
4.5	สรุปผลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา.....	69
บทที่ 5	การทดลองเพื่อลดสัดส่วนรอยแตกบริเวณขอบยาง	74
5.1	ปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง	74
5.2	การออกแบบการทดลอง	74
5.3	ผลการทดลอง.....	76
5.4	วิเคราะห์ผลการทดลอง	81
5.5	อภิปรายผลการทดลอง	91
5.6	สรุปขั้นตอนการทดลองเพื่อลดปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง	93
บทที่ 6	สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	94
6.1	สรุปผลการศึกษา.....	94
6.2	ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต	97
	รายการอ้างอิง	99
	ภาคผนวก.....	101

ภาคผนวก ก	102
ข้อมูลก่อนการปรับปรุงกระบวนการ.....	102
ภาคผนวก ข	119
ข้อมูลผลการทดลองและผลหลังการปรับปรุงกระบวนการ.....	119
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	139



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 แสดงความสูญเสียในการซ่อมยางแต่ละปัญหา.....	3
ตารางที่ 2.1 แสดงมาตรฐานการตรวจยางที่มีปัญหา รอยแตกบริเวณขอบยาง.....	23
ตารางที่ 2.2 แสดงขั้นตอนการซ่อมปัญหา รอยแตกบริเวณขอบยาง	24
ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบเครื่องมือวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา	32
ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของยางที่ใช้ทดสอบความสามารถในการตรวจสอบเชิง คุณภาพ.....	41
ตารางที่ 3.2 แสดงผลการทดสอบการตรวจแยกยางดีและเสียของพนักงาน.....	42
ตารางที่ 3.3 แสดงรายละเอียดของยางที่ใช้ทดสอบความสามารถในการตรวจสอบเชิง ปริมาณ	43
ตารางที่ 3.4 ผลการทดลองวัดขนาดความยาวของรอยแตกบริเวณขอบยาง (หน่วยเป็น มิลลิเมตร)	44
ตารางที่ 3.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการวิเคราะห์ระบบการวัดเชิงปริมาณ	45
ตารางที่ 3.6 แสดง %Contribution ของ Total gage R&R.....	46
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลสัดส่วนรอยแตกบริเวณขอบยางตามแหล่งวัตถุดิบ	61
ตารางที่ 4.2 แสดงจำนวนรอยแตกบริเวณขอบยางตามการแบ่งพื้นที่ตามแนวเส้นรอบวง.....	64
ตารางที่ 5.1 ระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง	75
ตารางที่ 5.2 แสดงลำดับในการทดลอง	76
ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองวัดขนาดของรอยแตกจากการปรับขนาดแบบยาง ความกว้างหน้า ยาง และแรงดันในการขึ้นรูป.....	77
ตารางที่ 5.4 แสดงค่าพยากรณ์และส่วนตกค้างของแต่ละรูปแบบการทดลอง	78
ตารางที่ 5.5 ผลการวิเคราะห์ ANOVA	82
ตารางที่ 5.6 การวิเคราะห์เชิงถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของรอยแตกกับขนาด แบบยาง ความกว้างหน้ายาง และแรงดันในการขึ้นรูป	83

ตารางที่ 5.7 ผลการพยากรณ์ตัวแปรตอบสนองและความแม่นยำของสมการแบบเต็มรูป84

ตารางที่ 5.8 ผลการพยากรณ์ตัวแปรตอบสนองของสมการแบบลดรูป.....85

ตารางที่ 5.9 ตารางแสดงค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย90

ตารางที่ 5.10 ตารางเปรียบเทียบค่ามาตรฐานเดิมและค่าที่ปรับปรุงใหม่ของแต่ละปัจจัย91

ตารางที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปกับลักษณะแบบยางในแม่พิมพ์92

ตารางที่ 6.1 เปรียบเทียบระดับของปัจจัยก่อนและหลังการปรับปรุง96



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงสัดส่วนของเสียเฉลี่ยต่อเดือนในปี พ.ศ. 2558.....	2
รูปที่ 1.2 แสดงสัดส่วนของซ่อมเฉลี่ยต่อเดือนในปี พ.ศ. 2558.....	2
รูปที่ 1.3 แสดงมูลค่าความสูญเสียจากปัญหาของเสียและของซ่อม 5 อันดับแรกในปีพ.ศ. 2558.....	3
รูปที่ 1.4 แสดงมูลค่าและสัดส่วนความสูญเสียของปัญหาของซ่อมในปีพ.ศ.2558	4
รูปที่ 1.5 แสดงลักษณะปัญหาหรือแตกบริเวณขอบยาง	5
รูปที่ 1.6 แสดงตำแหน่งการเกิดปัญหาหรือแตกบริเวณขอบยาง	5
รูปที่ 1.7 แสดงสัดส่วนปัญหาหรือแตกบริเวณขอบยางในปีพ.ศ.2557 และ 2558.....	6
รูปที่ 1.8 แสดงมูลค่าความสูญเสียและสัดส่วนของเสียจากปัญหาหรือแตกบริเวณขอบยาง ในปี พ.ศ.2558.....	6
รูปที่ 1.9 แสดงยางรุ่นที่เกิดปัญหาหรือแตกบริเวณขอบยางมากที่สุด 8 อันดับแรก.....	7
รูปที่ 1.10 กราฟพาวเวรโตแสดงมูลค่าความสูญเสียจากปัญหาหรือแตกบริเวณขอบยาง	8
รูปที่ 1.11 แสดงมูลค่าความสูญเสียและสัดส่วนรายเดือนจากปัญหาหรือแตกบริเวณขอบยาง ของยางรุ่น 90/90-14EG ในปีพ.ศ.2558	8
รูปที่ 1.12 แสดงสัดส่วนของซ่อมของยางรุ่น 90/90-14EG เปรียบเทียบกับเป้าหมาย	9
รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะโครงสร้างผ้าใบแบบเฉียงและแบบเรเดียล.....	16
รูปที่ 2.2 หน้ายาง, ขอบยาง และปัญหาหรือแตกบริเวณขอบยาง	17
รูปที่ 2.3 แสดงขั้นตอนการผลิตยางล้อรถจักรยานยนต์	17
รูปที่ 2.4 แสดงกระบวนการผสมยาง	18
รูปที่ 2.5 แสดงกระบวนการฉาบผ้าใบ	19
รูปที่ 2.6 แสดงกระบวนการผลิตชิ้นส่วนลวด.....	20
รูปที่ 2.7 แสดงกระบวนการเตรียมชิ้นส่วนหน้ายาง	20

รูปที่ 2.8	แสดงกระบวนการสร้างแบบอย่าง.....	21
รูปที่ 2.9	การขึ้นรูปด้วยแรงดันไอน้ำก่อนเข้ากระบวนการอบยาง.....	21
รูปที่ 2.10	แสดงกระบวนการอบยาง.....	22
รูปที่ 2.11	แสดงรอยแตกบริเวณขอบยาง ตำแหน่งเส้นขอบยาง และขอบด้านล่างของยาง.....	22
รูปที่ 2.12	แสดงลักษณะรอยแตกในชั้นเนื้อยางตามแนวเส้นรอบวง.....	25
รูปที่ 2.13	แผนผังสาเหตุและผล.....	28
รูปที่ 2.14	แผนผังความสัมพันธ์.....	28
รูปที่ 2.15	การวิเคราะห์ Why-Why.....	29
รูปที่ 2.16	การวิเคราะห์ปัญหาตามลักษณะแต่ละด้าน.....	30
รูปที่ 2.17	แผนภูมิต้นไม้.....	31
รูปที่ 2.18	การออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบ้หันเคน 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ.....	37
รูปที่ 4.1	แสดงแผนผังการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหารอยแตกจากธรรมชาติของปัญหา.....	47
รูปที่ 4.2	แสดงแผนผังการวิเคราะห์ปัญหาตามเวลาที่เกิด และกลุ่มสาเหตุของปัญหาที่เป็นไปได้.....	48
รูปที่ 4.3	แสดงแผนผังการวิเคราะห์ปัญหาตามตำแหน่งการเกิด.....	62
รูปที่ 4.4	แสดงการแบ่งพื้นที่ผลิตภัณฑ์ตามด้านของแม่พิมพ์.....	63
รูปที่ 4.5	แสดงการแบ่งพื้นที่ผลิตภัณฑ์เป็น 8 ส่วนตามแนวเส้นรอบวง.....	64
รูปที่ 4.6	แสดงแผนผังการวิเคราะห์ปัญหาตามลักษณะของปัญหา.....	66
รูปที่ 4.7	แสดงปัญหารอยแตกแบบมีสิ่งแปลกปลอมในเนื้อยาง.....	66
รูปที่ 4.8	แสดงชิ้นส่วนหน้ายางแบบสมมาตรและแบบเอียง.....	67
รูปที่ 4.9	แสดงแผนผังการวิเคราะห์ปัญหาจากลักษณะของชิ้นส่วนประกอบ.....	68
รูปที่ 4.10	แสดงวิธีการวัดระยะจากปลายหน้ายางถึงขอบยาง.....	68
รูปที่ 4.11	แสดงวิธีการตรวจสอบความสมมาตรของชิ้นส่วนผ้าใบ.....	68
รูปที่ 4.12	การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง.....	71

รูปที่ 4.13	ชิ้นส่วนเบลดเตอร์ที่พองตัวขณะรับแรงดันไอน้ำ	72
รูปที่ 4.14	แบบอย่างที่ถูกขึ้นรูปด้วยแรงดันไอน้ำ	72
รูปที่ 4.15	ขนาดของแบบอย่าง	73
รูปที่ 4.16	ความกว้างของชิ้นส่วนหน้ายาง	73
รูปที่ 4.17	แรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบอย่าง	73
รูปที่ 5.1	แผนภาพความน่าจะเป็นของการแจกแจงแบบปกติ ของความคลาดเคลื่อนจากการ พยากรณ์	79
รูปที่ 5.2	แผนภาพ Residual Versus Order	80
รูปที่ 5.3	แผนภาพ Residual Versus Fits	81
รูปที่ 5.4	เปรียบเทียบค่าสัมบูรณ์ของ Residual จากการทำนายตัวแปรตอบสนอง โดยสมการ ถดถอยแบบเต็มรูปและแบบลดรูป	86
รูปที่ 5.5	แผนภาพพื้นผิวและแผนภาพโครงร่างแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดแบบอย่าง (H) และความกว้างหน้ายาง (W)	86
รูปที่ 5.6	แผนภาพพื้นผิวและแผนภาพโครงร่างแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดแบบอย่าง (H) และแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูป (P)	87
รูปที่ 5.7	แผนภาพพื้นผิวและแผนภาพโครงร่างแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความกว้างหน้ายาง (W) และแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูป (P)	87
รูปที่ 5.8	แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยหลักกับตัวแปรตอบสนอง	88
รูปที่ 5.9	แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของอันตรกิริยาระหว่าง ขนาดแบบอย่าง (H) และความ กว้างหน้ายาง (W)	89
รูปที่ 5.10	แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนอง ขนาดแบบอย่าง (H) และแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูป (P)	89
รูปที่ 5.11	ผลการวิเคราะห์ระดับของปัจจัยที่เหมาะสม	90
รูปที่ 6.1	ผลการทดลองใช้มาตรฐานที่ปรับปรุงใหม่กับการผลิตยางรุ่นตัวอย่าง	97

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การเพิ่มผลกำไรให้ธุรกิจโดยทั่วไปสามารถทำได้ 2 วิธี คือ โดยการเพิ่มยอดขาย หรือโดยการลดต้นทุน แต่สำหรับธุรกิจที่มีการแข่งขันสูง เช่น ในอุตสาหกรรมยานยนต์ การเพิ่มราคาหรือปริมาณการขายนั้นเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก ดังนั้นบริษัทผู้ผลิตจึงมุ่งเน้นการลดต้นทุนในกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นวิธีการเพิ่มผลกำไรจากการปรับปรุงหรือแก้ปัญหาภายในองค์กร และไม่ส่งผลกระทบต่อผู้บริโภค โรงงานกรณีศึกษาเป็นผู้ผลิตชิ้นส่วนยางล้อรถจักรยานยนต์เพื่อส่งให้ลูกค้าที่เป็นผู้ผลิตรถจักรยานยนต์ และส่งขายในตลาดทดแทนทั้งในและต่างประเทศ ในปัจจุบันโรงงานมียอดการผลิตมากกว่า 5 แสนเส้นต่อเดือน

ยางล้อ เป็นหนึ่งในส่วนประกอบหลักของรถจักรยานยนต์ มีหน้าที่สำคัญ คือ รับน้ำหนักขับเคลื่อนรถจักรยานยนต์โดยถ่ายแรงจากเครื่องยนต์ไปยังพื้นถนน ควบคุมทิศทางหยุดการเคลื่อนที่โดยสร้างแรงต้านระหว่างตัวยางกับพื้นถนน และดูดซับแรงสั่นสะเทือนที่ได้รับจากสภาพถนนและการเคลื่อนที่ของรถจักรยานยนต์

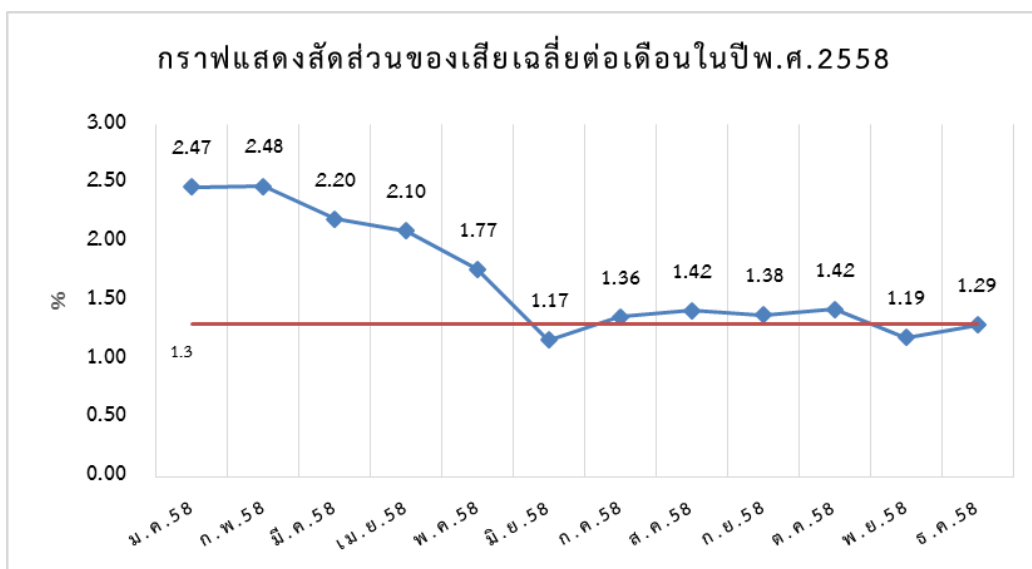
โรงงานกรณีศึกษาประสบปัญหาด้านคุณภาพของกระบวนการผลิต โดยมีความสูญเสียมากกว่า 5 ล้านบาทต่อเดือนโดยเฉลี่ย (ที่มาจากรายงานการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาในปีพ.ศ. 2558) ซึ่งปัญหาด้านคุณภาพนี้สามารถแบ่งได้ 2 ประเภทตามความรุนแรงของปัญหา คือ ปัญหาของเสีย และปัญหาของซ่อม

1) ปัญหาของเสีย

ในปีพ.ศ.2558 โรงงานกรณีศึกษากำหนดนโยบายและตั้งเป้าหมายของเสียไว้ไม่เกินร้อยละ 1.30 จากผลการผลิตในช่วงต้นปี พบว่ามีของเสียมากกว่าร้อยละ 2.40 แต่จากการวิเคราะห์และจัดการแก้ไขไปบางส่วน ทำให้สามารถลดของเสียลงเหลือประมาณร้อยละ 1.29 ในช่วงปลายปีเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 1.1 และตารางที่ ก.1 ในภาคผนวก ก

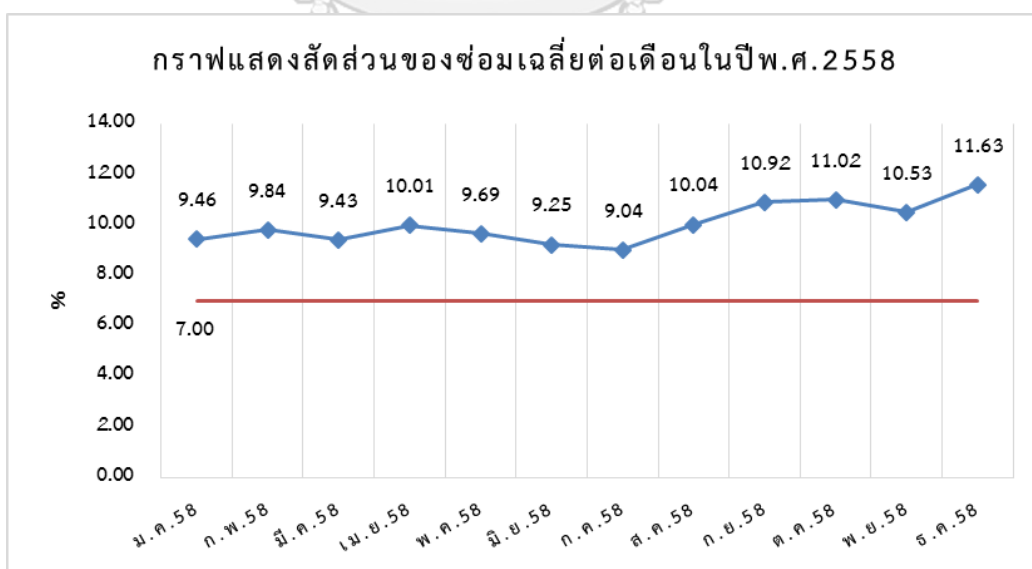
2) ปัญหาของซ่อม

โรงงานกรณีศึกษามีเป้าหมายของซ่อมในปีพ.ศ.2558 ไม่เกินร้อยละ 7.0 แต่ในการผลิตจริงเกิดปัญหาของซ่อมสูงกว่าร้อยละ 9.0 โดยตลอด และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงท้ายปี จากรูปที่ 1.2 และตารางที่ ก.2 ในภาคผนวก ก



รูปที่ 1.1 แสดงสัดส่วนของเสียเฉลี่ยต่อเดือนในปี พ.ศ. 2558

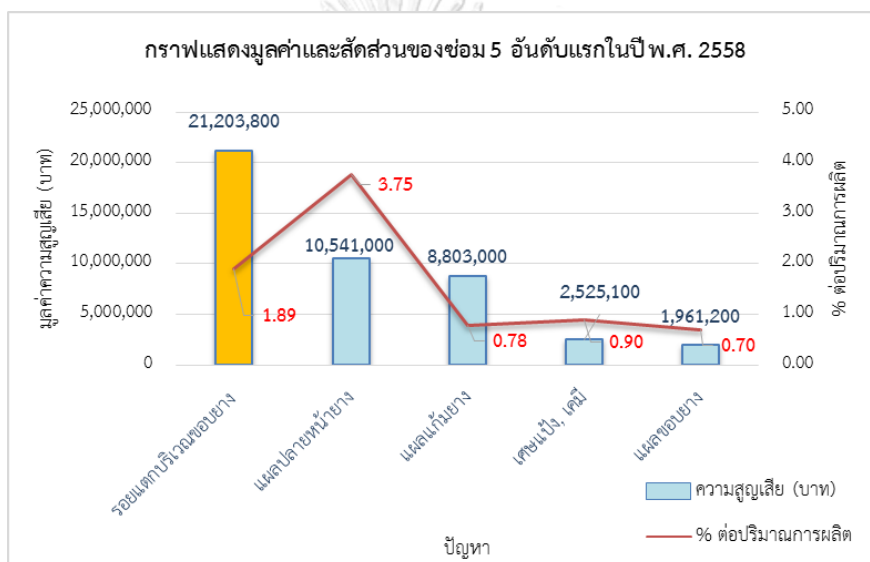
(ที่มา : รายงานการผลิตภายนอก แผนกวางแผนการผลิต โรงงานกรณีศึกษา)



รูปที่ 1.2 แสดงสัดส่วนของซ่อมเฉลี่ยต่อเดือนในปี พ.ศ. 2558

(ที่มา : รายงานการผลิตภายนอก แผนกวางแผนการผลิต โรงงานกรณีศึกษา)

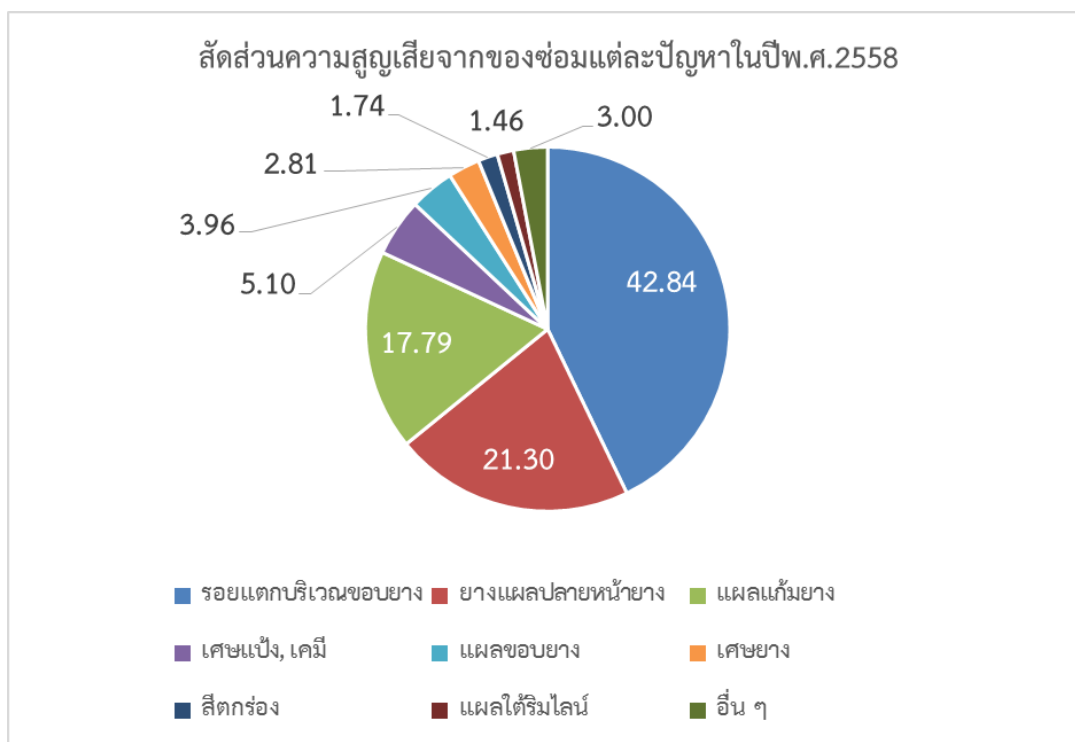
ตามมาตรฐานการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษา มีปัญหาของเสีย จำนวน 40 ประเภท และของซ่อม 27 ประเภท เมื่อสรุปข้อมูลรวมในปีพ.ศ.2558 ดังรูปที่ 1.3 จะเห็นว่าปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางมีมูลค่าความสูญเสียมากที่สุดถึง 21,203,800 บาท ต่อปี แม้ว่าสัดส่วนของปัญหาร้อยละ 1.89 จะสูงเป็นอันดับที่สองรองจากปัญหาแผลปลายหน้ายาง แต่เนื่องจากปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางใช้เวลาและต้นทุนในการซ่อมมากกว่า ปัญหาอื่นๆ ทำให้มูลค่าความสูญเสียของปัญหานี้สูงที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 1.1 และหากพิจารณาสัดส่วนความสูญเสียจากแต่ละปัญหาดังรูปที่ 1.4 จะพบว่าความสูญเสียจากปัญหาของซ่อมรอยแตกบริเวณขอบยางมีสัดส่วนมากถึงร้อยละ 42.84 ของปัญหาของซ่อมทั้งหมด



รูปที่ 1.3 แสดงมูลค่าความสูญเสียจากปัญหาของเสียและของซ่อม 5 อันดับแรกในปีพ.ศ.2558 (ที่มา : รายงานการผลิตภายนอก แผนกวางแผนการผลิต โรงงานกรณีศึกษา)

ตารางที่ 1.1 แสดงความสูญเสียในการซ่อมยางแต่ละปัญหา

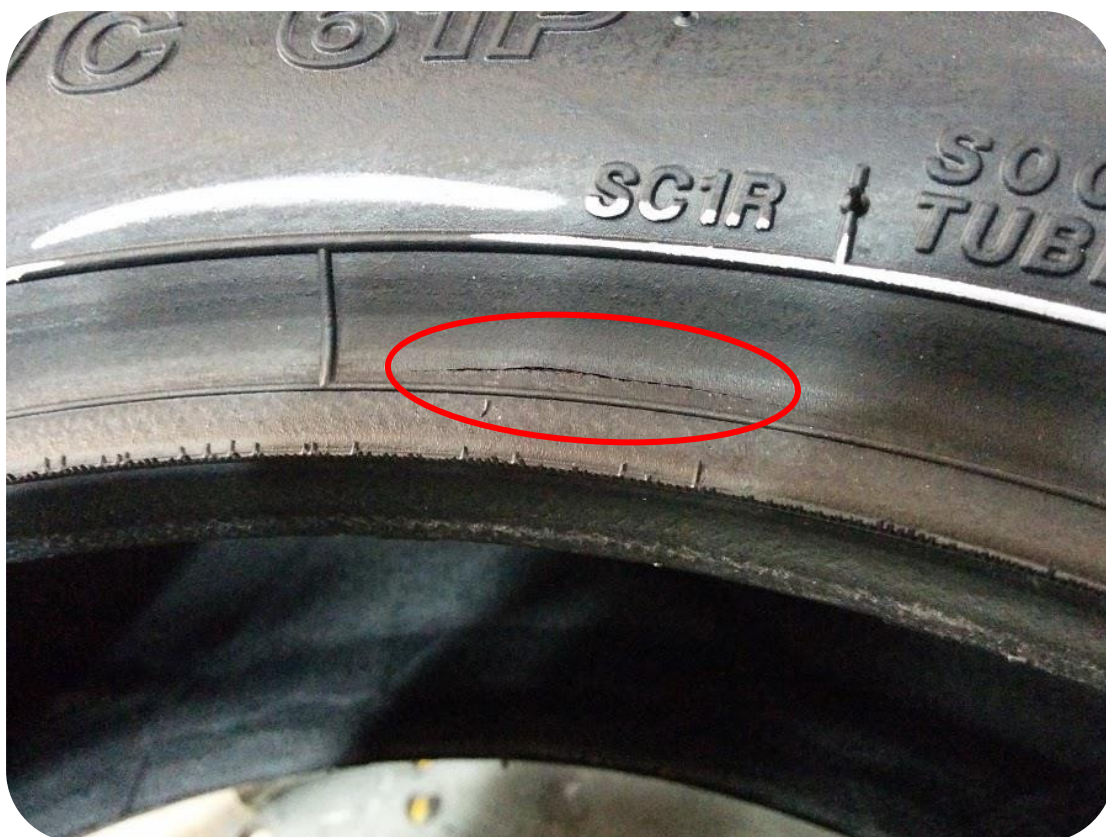
ปัญหา	ปริมาณการซ่อม (เส้น/ปี)	ค่าใช้จ่ายในการซ่อม (บาท/เส้น)	ความสูญเสียรวม (บาท/ปี)
รอยแตกบริเวณขอบยาง	106,019	200	21,203,800
แผลปลายหน้ายาง	210,820	50	10,541,000
แผลแก้มยาง	44,015	200	8,803,000
เศษแป้ง, เคมี	50,502	50	2,525,100
แผลขอบยาง	39,224	50	1,961,200



รูปที่ 1.4 แสดงมูลค่าและสัดส่วนความสูญเสียของปัญหาของซ่อมในปีพ.ศ.2558
(ที่มา : รายงานการผลิตยางนอก แผนกวางแผนการผลิต โรงงานกรณีศึกษา)

เมื่อพิจารณาตามกฎของพาเรโต พบว่าปัญหาสามอันดับแรก คือ รอยแตกบริเวณขอบยาง แผลปลายนํ้ายาง และแผลแก้มยาง มีสัดส่วนการเกิดรวมประมาณร้อยละ 80 ของปัญหาทั้งหมด แต่เนื่องจากปัญหาทั้งสามนั้นมีลักษณะ สาเหตุ และแนวทางการปรับปรุงที่แตกต่างกัน และยังเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ต่างรุ่น ทำให้ไม่สามารถดำเนินการปรับปรุงพร้อมกันได้ ดังนั้น ในการศึกษาจึงเลือกพิจารณาเฉพาะปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง ซึ่งเป็นปัญหาที่มีความสูญเสียสูงที่สุดเท่านั้น

ปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง เกิดขึ้นบริเวณขอบของยางล้อ (Bead area) มีลักษณะคือ เนื้อยางในจุดที่เกิดปัญหาจะไม่เชื่อมติดเป็นเนื้อเดียวกัน อาจมีลักษณะเป็นลมในเนื้อยางหรือเนื้อยางแตกออกจากกัน ดังรูปที่ 1.5 และ 1.6 ปัญหานี้สามารถถูกตรวจพบได้ง่ายด้วยกระบวนการตรวจสอบโดยใช้สายตา อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ข้อมูลของปัญหาที่จะนำมาวิเคราะห์ต่อไปนั้นมีความน่าเชื่อถือ ในงานศึกษานี้จึงวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการตรวจสอบปัญหาก่อนดำเนินการแก้ไขปัญหาต่อไป

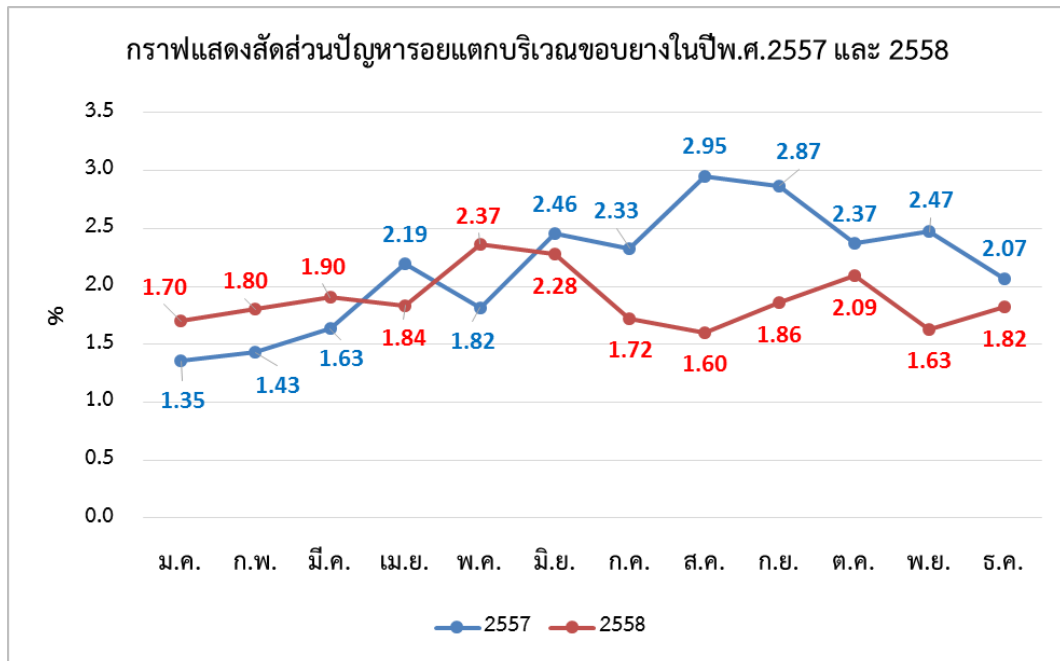


รูปที่ 1.5 แสดงลักษณะปัญหา รอยแตกบริเวณขอบยาง

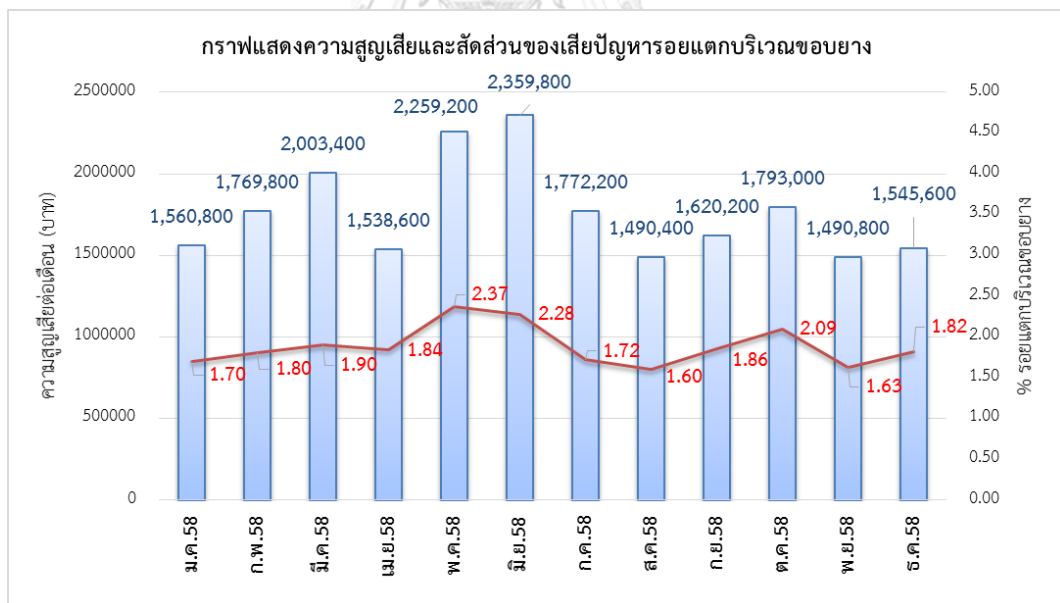


รูปที่ 1.6 แสดงตำแหน่งการเกิดปัญหา รอยแตกบริเวณขอบยาง

ปัญหาของซอมรอยแตกบริเวณขอบยางเกิดขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 1.5 ถึง 2.0 ต่อเดือน ดังรูปที่ 1.7 ทำให้เกิดความสูญเสียมากกว่า 1.4 ล้านบาทต่อเดือน ดังรูปที่ 1.8 และตารางที่ ก.3 ในภาคผนวก ก ปัญหานี้เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นมาเป็นระยะเวลานาน และปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษาฯ ยังไม่มีแนวทางการปรับปรุงที่มีประสิทธิผล



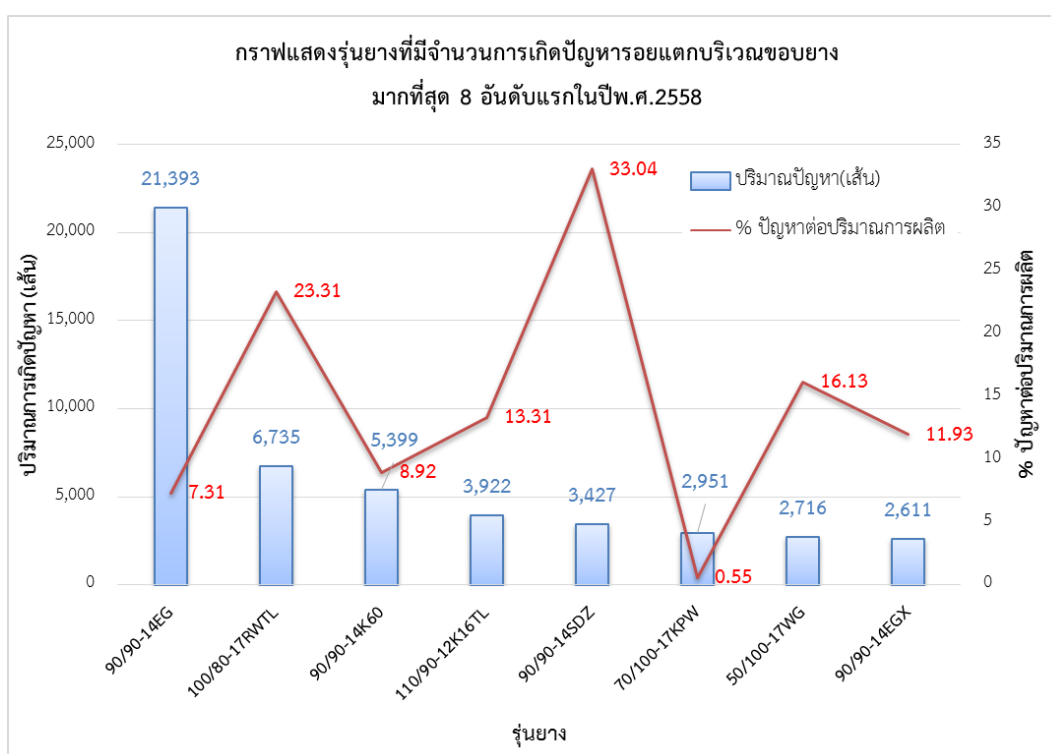
รูปที่ 1.7 แสดงสัดส่วนปัญหา รอยแตกบริเวณขอบยางในปีพ.ศ.2557 และ 2558
(ที่มา : รายงานการผลิตยางนอก แผนกวางแผนการผลิต โรงงานกรณีศึกษา)



รูปที่ 1.8 แสดงมูลค่าความสูญเสียและสัดส่วนของเสียจากปัญหา รอยแตกบริเวณขอบยาง
ในปีพ.ศ.2558

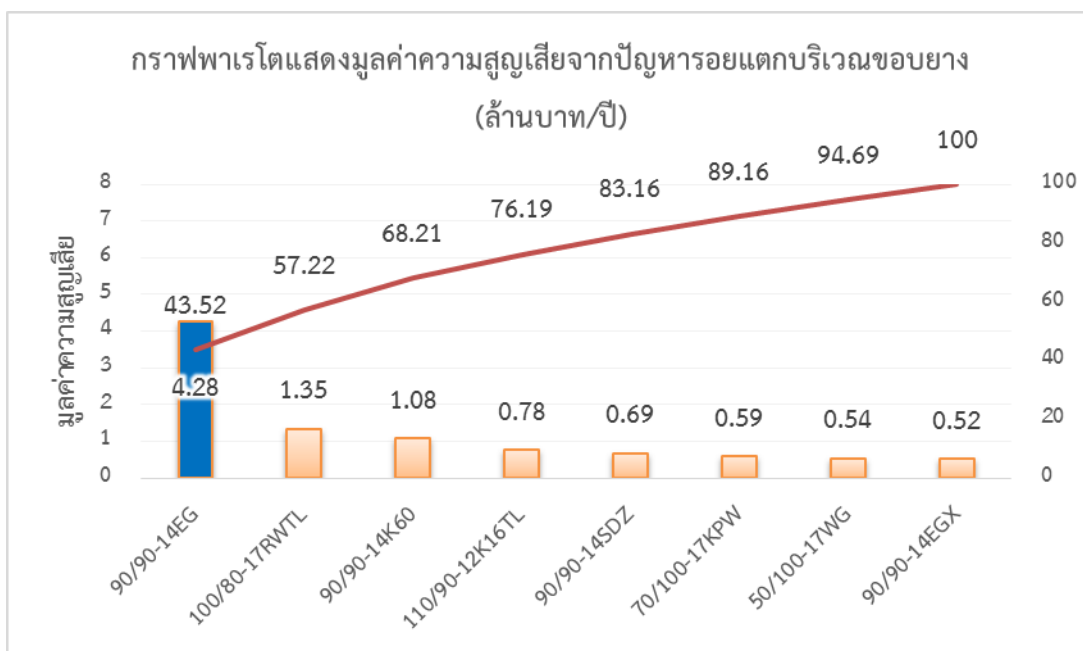
(ที่มา : รายงานการผลิตยางนอก แผนกวางแผนการผลิต โรงงานกรณีศึกษา)

โรงงานกรณีศึกษามีผลิตภัณฑ์ยางล้อรถจักรยานยนต์ที่ผลิตมากกว่า 250 รุ่นต่อเดือน และมากกว่า 500 รุ่นต่อปี หากเรียงลำดับตามจำนวนปัญหาจะพบว่ายางรุ่นที่เกิดปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางมากที่สุด คือ ยางรุ่น 90/90-14EG ซึ่งมีปริมาณการเกิดปัญหาโดยเฉลี่ยในปี พ.ศ.2558 เท่ากับ 1,783 เส้นต่อเดือน หรือคิดเป็นร้อยละ 7.31 ของปริมาณการผลิตของยางรุ่นนี้ ดังรูปที่ 1.9 และตารางที่ ก.4 ในภาคผนวก ก



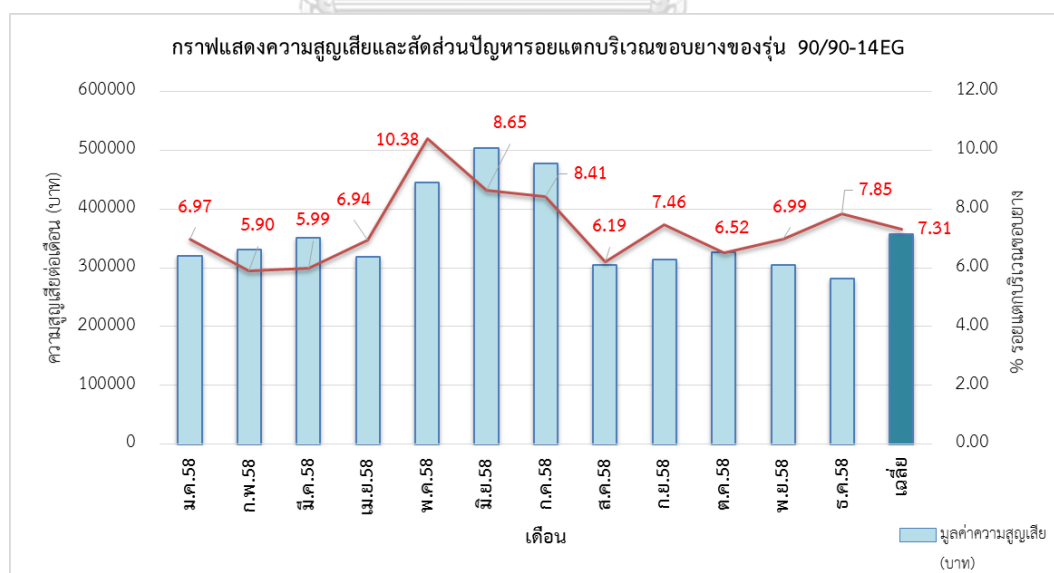
รูปที่ 1.9 แสดงยางรุ่นที่เกิดปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางมากที่สุด 8 อันดับแรก
(ที่มา : รายงานการผลิตยางนอก แผนกวางแผนการผลิต โรงงานกรณีศึกษา)

หากพิจารณามูลค่าความสูญเสียจากกราฟพาวเรโตนีดังรูปที่ 1.10 พบว่ายาง 5 รุ่นแรก มีสัดส่วนมูลค่าความสูญเสียร้อยละ 80 ของมูลค่าความสูญเสียจากปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางทั้งหมด แต่เนื่องจากยางแต่ละรุ่นมีลักษณะ คุณสมบัติ และข้อจำกัดต่างๆ ที่มีลักษณะเฉพาะ นอกจากนั้นยังอาจมีสาเหตุของปัญหารอยแตกที่ต่างกัน จากสาเหตุดังกล่าว ทำให้ไม่สามารถพิจารณายางทั้ง 5 รุ่นพร้อมกันได้ ดังนั้น ในงานศึกษานี้จึงเลือกพิจารณาปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางของยางรุ่น 90/90-14EG ซึ่งมีมูลค่าความสูญเสียสูงที่สุด 4.28 ล้านบาทต่อปี



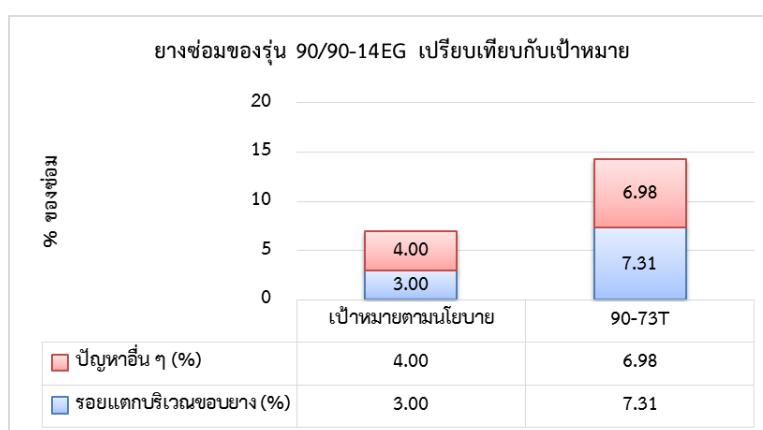
รูปที่ 1.10 กราฟฟารेटแสดงมูลค่าความสูญเสียจากปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง

ในปีพ.ศ.2558 ยางรุ่น 90/90-14EG มีความสูญเสียจากปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง 350,000 บาทต่อเดือนโดยเฉลี่ย ซึ่งเกิดจากสัดส่วนปัญหาประมาณร้อยละ 7.31 ดังแสดงในรูปที่ 1.11 และตารางที่ ก.5 ในภาคผนวก ก



รูปที่ 1.11 แสดงมูลค่าความสูญเสียและสัดส่วนรายเดือนจากปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางของยางรุ่น 90/90-14EG ในปีพ.ศ.2558

ตามนโยบายของโรงงานกรณีศึกษา เป้าหมายของซ่อมรวมจะต้องไม่เกินร้อยละ 7.00 แบ่งเป็นปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางไม่เกินร้อยละ 3.00 แต่ในสภาพปัจจุบันยางรุ่น 90/90-14EG มีของซ่อมรวมร้อยละ 14.29 เป็นปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางร้อยละ 7.31 ซึ่งยังสูงกว่าเป้าหมาย ดังรูปที่ 1.12 ดังนั้นงานศึกษานี้จึงมีเป้าหมายในการลดปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางให้เหลือไม่เกินร้อยละ 3.00 ตามนโยบายของโรงงานกรณีศึกษา



รูปที่ 1.12 แสดงสัดส่วนของซ่อมของยางรุ่น 90/90-14EG เปรียบเทียบกับเป้าหมาย

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา

เพื่อลดสัดส่วนปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางของล้อยางจักรยานยนต์รุ่น 90/90-14EG ของโรงงานกรณีศึกษาให้เหลือไม่เกินร้อยละ 3.00

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาเฉพาะปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางที่มีสาเหตุจากกระบวนการผลิตเท่านั้น
2. พิจารณาเฉพาะวัตถุดิบ กระบวนการ อุปกรณ์และเครื่องจักรที่ใช้ผลิตยางรุ่นตัวอย่างในปัจจุบันเท่านั้น
3. ศึกษาแนวทางแก้ไขโดยปรับปรุง หรือปรับตั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่มีอยู่ในกระบวนการผลิตเท่านั้น
4. ไม่พิจารณาการเปลี่ยนแปลงเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติใดๆ ของยางรุ่นตัวอย่าง
5. ในการแก้ไขปัญหาคงพิจารณาเฉพาะเงื่อนไขที่สามารถใช้งานได้จริงเท่านั้น
6. หากผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าปัญหาคุณภาพเกิดจากเทคโนโลยีของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ จะเพียงแต่แนะนำแนวทางเพื่อปรับปรุงต่อไปในอนาคตเท่านั้น

1.4 แนวทางการศึกษา

ในการศึกษาเพื่อลดสัดส่วนปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง สามารถแบ่งขั้นตอนการศึกษาได้เป็น 7 ขั้นตอน ดังนี้

1. ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของปัญหา
2. ประเมินความสามารถของกระบวนการตรวจสอบปัญหา
3. วิเคราะห์และคัดกรองสาเหตุของปัญหา
4. ดำเนินการทดลองเพื่อลดปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง
5. กำหนดมาตรฐาน และทดลองใช้มาตรฐานใหม่ในกระบวนการผลิต
6. สรุปผลการศึกษา
7. เผยแพร่การศึกษา

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของปัญหา

วัตถุประสงค์	เพื่อให้เข้าใจปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง
ลักษณะกิจกรรม	<ol style="list-style-type: none"> 1. ศึกษาลักษณะปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางจากมาตรฐานการตรวจผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษา 2. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัญหา 3. ศึกษากระบวนการผลิตยางรุ่นตัวอย่างจากมาตรฐานการทำงาน และจากการสังเกตการทำงานจริง 4. ศึกษากระบวนการซ่อมปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง 5. ศึกษาข้อมูลสัดส่วนของเสียปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางจากรายงานการผลิตยางนอกของโรงงานกรณีศึกษา 6. เก็บข้อมูลตำแหน่งและขนาดการเกิดปัญหาจากตัวอย่างผลิตภัณฑ์รุ่นตัวอย่างที่เกิดปัญหารอยแตก 7. ศึกษาวิธีการตรวจสอบยางจากกระบวนการจริง
ระยะเวลา	3 เดือน

ผลที่คาดว่าจะได้รับ	<ol style="list-style-type: none"> 1. ทราบความแตกต่างระหว่างยางดี และยางที่มีปัญหารอยแตก 2. ทราบประเภทของสาเหตุของปัญหารอยแตก 3. ทราบว่าการผลิตยางรุ่นตัวอย่างมีขั้นตอนการผลิตอย่างไร ผลิตโดยใช้เครื่องจักร และพนักงานกลุ่มใด 4. สามารถกำหนดขอบเขตของงานศึกษาได้ 5. ทราบขั้นตอน เวลาที่ใช้ และความสูญเสียจากการซ่อมปัญหารอยแตก 6. ทราบสัดส่วนการเกิดปัญหารอยแตกของยางรุ่นตัวอย่างในปัจจุบัน 7. ทราบขั้นตอนการตรวจยาง วิธีการตัดสินใจ รวมถึงพิจารณาความเป็นไปได้ในการตรวจสอบผิดพลาด
----------------------------	---

ขั้นตอนที่ 2 ประเมินความสามารถของกระบวนการตรวจสอบปัญหา

วัตถุประสงค์	เพื่อประเมินความน่าเชื่อถือของกระบวนการ และเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบปัญหา
ลักษณะกิจกรรม	<ol style="list-style-type: none"> 1. ประเมินความสามารถของกระบวนการตรวจสอบปัญหาเชิงคุณภาพ (Attribute) โดยให้พนักงานตรวจสอบเพื่อคัดแยกยางดี และยางที่มีปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง 2. ประเมินความสามารถของกระบวนการตรวจสอบปัญหาเชิงปริมาณ (Variable) โดยวิเคราะห์จากการตรวจวัดขนาดของปัญหารอยแตก บริเวณขอบยางขนาดต่างๆ ของพนักงาน 3. ประเมินความสามารถของกระบวนการตรวจสอบปัญหาเชิงคุณภาพ โดยพิจารณาสัดส่วนการตรวจสอบที่ถูกต้อง และประเมินความสามารถเชิงปริมาณโดยใช้เทคนิค ANOVA
ระยะเวลา	1 เดือน
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	ทราบว่ากระบวนการและเครื่องมือตรวจสอบมีความน่าเชื่อถือหรือไม่ หากพบว่าไม่สามารถเชื่อถือได้จะต้องปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบก่อนดำเนินการในขั้นตอนถัดไป

ขั้นตอนที่ 3 วิเคราะห์และคัดกรองสาเหตุของปัญหา

วัตถุประสงค์	เพื่อให้ทราบสาเหตุที่เป็นไปได้ของปัญหารอยแตก เพื่อใช้ในขั้นตอนการทดลองเพื่อลดปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางต่อไป
ลักษณะกิจกรรม	<ol style="list-style-type: none"> 1. ศึกษาและเปรียบเทียบจุดเด่น จุดด้อยของเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 2. ทดลองใช้เครื่องมือต่างๆ ในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา 3. คัดเลือกเครื่องมือ หรือวิธีการที่เหมาะสมในการค้นหาสาเหตุที่เป็นไปได้ของปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง 4. ศึกษาธรรมชาติของปัญหา เช่น ตำแหน่ง ขนาด และเวลาที่เกิดปัญหา 5. วิเคราะห์โดยใช้การทดสอบสมมติฐานในการคัดกรองสาเหตุ และสรุปสาเหตุที่มีผลต่อปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางอย่างมีนัยสำคัญ
ระยะเวลา	3 เดือน
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	<ol style="list-style-type: none"> 1. ทราบว่ามีเครื่องมือหรือวิธีการใดบ้างที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาของเสียในกระบวนการผลิต 2. ทราบข้อดี และข้อเสียของเครื่องมือวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา 3. ทราบว่าเครื่องมือใดเหมาะสำหรับการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง 4. ทราบลักษณะการเกิดปัญหารอยแตกในปัจจุบันของยางรุ่นตัวอย่าง 5. ทราบสาเหตุเบื้องต้นของปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง

ขั้นตอนที่ 4 ดำเนินการทดลองเพื่อลดปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง

วัตถุประสงค์	<ol style="list-style-type: none"> 1. เพื่อให้ทราบปัจจัย และอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางอย่างมีนัยสำคัญ 2. เพื่อให้ทราบระดับของแต่ละปัจจัยที่ทำให้สามารถลดสัดส่วนรอยแตกบริเวณขอบยางได้
---------------------	---

ลักษณะกิจกรรม	<ol style="list-style-type: none"> 1. พิจารณาสาเหตุที่มีผลต่อปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางที่ได้จากการคัดกรองสาเหตุเบื้องต้น และเลือกวิธีการแก้ไขปัญหา 2. ศึกษาวิธีการออกแบบการทดลองโดยการทบทวนวรรณกรรม 3. พัฒนารูปแบบการทดลองที่เหมาะสมกับปัญหารอยแตก 4. ดำเนินการทดลอง โดยควบคุมการใช้วัตถุดิบจากล็อตการผลิตเดียวกัน ใช้เครื่องจักรรุ่นเดียวกัน และปรับตั้งเงื่อนไขการผลิตอื่นๆ ให้เหมือนกันทุกครั้งที่ทำการทดลอง เพื่อลดปัจจัยรบกวนภายนอก 5. ประยุกต์ใช้การวิเคราะห์การถดถอย และการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัย และความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อรอยแตกบริเวณขอบยาง 6. วิเคราะห์ผลการทดลอง และเลือกอันดับของปัจจัยที่ดีที่สุดเพื่อลดสัดส่วนปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง
ระยะเวลา	1 เดือน
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	<ol style="list-style-type: none"> 1. ทราบวิธีการที่จะใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อลดปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง 2. ได้รูปแบบการทดลองแบบใดที่เหมาะสมกับปัญหารอยแตก 3. ทราบขั้นตอน และเทคนิคการควบคุมการทดลองเพื่อทำให้ผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือ และลดปัจจัยรบกวนภายนอก 4. ทราบวิธีการคำนวณ และการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอย และการวิเคราะห์ความแปรปรวน 5. ทราบว่าปัจจัยใดมีผลต่อปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง 6. ทราบระดับของปัจจัยที่สามารถลดปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางได้ เพื่อใช้ปรับปรุงมาตรฐานการผลิตต่อไป

ขั้นตอนที่ 5 กำหนดมาตรฐาน และทดลองใช้มาตรฐานใหม่ในกระบวนการผลิต

วัตถุประสงค์	<ol style="list-style-type: none"> 1. เพื่อปรับปรุงมาตรฐานการผลิตสำหรับยางรุ่นตัวอย่าง 2. เพื่อยืนยันผลการทดลองโดยประเมินจากสัดส่วนรอยแตกบริเวณขอบยางหลังจากใช้มาตรฐานใหม่ในการผลิต
---------------------	---

ลักษณะกิจกรรม	<ol style="list-style-type: none"> 1. แกไขเอกสารที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตยางรุ่นตัวอย่าง 2. ทดลองใช้มาตรฐานใหม่ในการผลิตจริงของยางรุ่นตัวอย่าง 3. เปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุงโดยพิจารณาสัดส่วนรอยแตกบริเวณขอบยาง 4. เปรียบเทียบผลการปรับปรุงกับวัตถุประสงค์หลักของงานศึกษา
ระยะเวลา	3 เดือน
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	<ol style="list-style-type: none"> 1. ได้มาตรฐานฉบับปรับปรุงใหม่ในรูปแบบเอกสาร เพื่อใช้ในกระบวนการผลิตจริงในโรงงานกรณีศึกษา 2. ทราบว่าสามารถใช้มาตรฐานใหม่ในการผลิต โดยไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต หรือต่อผลิตภัณฑ์รุ่นตัวอย่างได้หรือไม่ 3. ทราบว่ามาตรฐานใหม่ที่ได้จากการทดลองนั้นสามารถลดสัดส่วนรอยแตกบริเวณขอบยางได้ตามวัตถุประสงค์การศึกษาหรือไม่

ขั้นตอนที่ 6 สรุปลผลการศึกษา

วัตถุประสงค์	<ol style="list-style-type: none"> 1. สรุปลผลการลดปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง 2. ให้ข้อเสนอแนะสำหรับงานศึกษาในอนาคต
ลักษณะกิจกรรม	<ol style="list-style-type: none"> 1. สรุปลสิ่งที่ได้รับจากการศึกษา 2. สรุปลปัญหา และข้อจำกัดที่พบในการศึกษา 3. สรุปลประเด็นที่งานศึกษานี้ยังไม่ได้พิจารณา หรือยังไม่สมบูรณ์ เพื่อเป็นแนวทางสำหรับงานศึกษาอื่นในอนาคต
ระยะเวลา	1 เดือน
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	<ol style="list-style-type: none"> 1. รายงานผลการศึกษาในรูปแบบเอกสาร และไฟล์ Microsoft Word 2. สามารถให้แนวทางสำหรับงานศึกษาในอนาคตได้

ขั้นตอนที่ 7 เผยแพร่การศึกษา

วัตถุประสงค์	เพื่อเผยแพร่ความรู้และเทคนิคต่างๆ ที่ได้รับจากงานศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่ต้องการศึกษาปัญหาที่คล้ายคลึงกัน หรือผู้ที่สนใจอื่นๆ
---------------------	---

ลักษณะกิจกรรม	<ol style="list-style-type: none"> 1. สรุปรายชื่อข้อมูลการศึกษา และเลือกวิธีการเผยแพร่การศึกษา 2. เตรียมเอกสารเพื่อเผยแพร่ตามแนวทางของวารสาร หรือตามข้อกำหนดของที่ประชุมวิชาการ 3. ส่งบทความเพื่อเผยแพร่ และติดตามผลการตอบกลับ 4. แก้ไขเนื้อหาในบทความตามผลการตอบกลับ (หากจำเป็น)
ระยะเวลา	5 เดือน
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	ผลงานศึกษาได้รับการตีพิมพ์ในวารสาร หรือสิ่งพิมพ์ทางวิชาการ หรือได้เสนอต่อที่ประชุมวิชาการที่เป็นที่ยอมรับ

1.5 แผนการศึกษา

ชั้นตอนที่	พ.ศ. 2558				พ.ศ. 2559								พ.ศ. 2560				
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา

1. ทราบปัจจัยที่มีผลต่อปัญหา รอยแตกบริเวณขอบยางอย่างมีนัยสำคัญ
2. ทราบค่าระดับของปัจจัยที่สามารถลดสัดส่วนรอยแตกบริเวณขอบยางได้
3. สามารถลดความสูญเสียจากปัญหา รอยแตกได้อย่างน้อย 3 ล้านบาทต่อปี
4. สามารถให้ข้อเสนอแนะสำหรับงานศึกษาในอนาคตที่เกี่ยวกับปัญหา รอยแตกได้

บทที่ 2

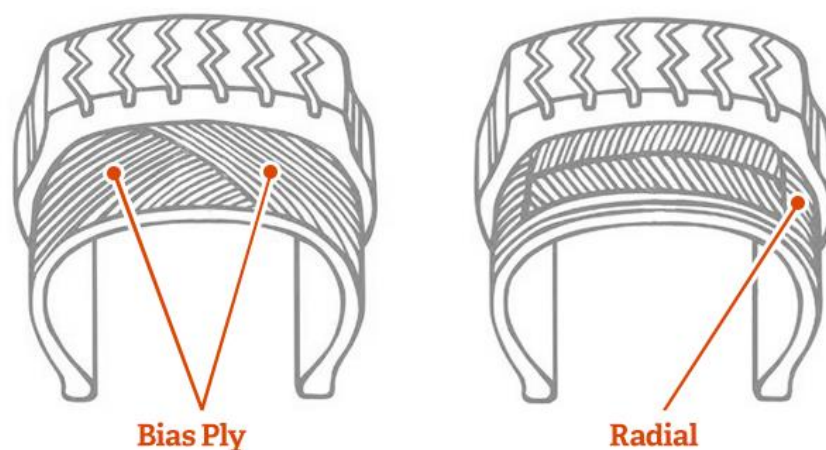
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โครงสร้างพื้นฐานของยางล้อรถจักรยานยนต์

ยางล้อสามารถแบ่งกลุ่มตามลักษณะโครงสร้างผ้าใบได้ 2 ประเภท ได้แก่

1. โครงสร้างผ้าใบแบบเฉียง (Bias Ply) ประกอบด้วยชั้นผ้าใบที่วางซ้อนไขว้กัน โดยทำมุมกับแนวเส้นรอบวงขอบยาง
2. โครงสร้างผ้าใบแบบเรเดียล (Radial Ply) ผ้าใบจะวางตั้งฉากกับแนวเส้นรอบวงขอบยาง และมีผ้าใบรัดทับตามขวางในลักษณะเข็มขัด (Belt) ดังแสดงในรูปที่ 2.1

ยางล้อรุ่นตัวอย่างในงานศึกษานี้มีโครงสร้างผ้าใบแบบเฉียง มีส่วนประกอบสำคัญคือ หน้ายาง (tread) หรือดอกยาง เป็นยางส่วนที่อยู่ด้านนอกสุด ทำหน้าที่ยึดเกาะถนน แก้มยาง (sidewall) เป็นยางด้านข้างที่ทำหน้าที่ป้องกันโครงสร้างยาง และให้ความยืดหยุ่นขณะใช้งาน ขอบยาง (bead) เป็นบริเวณที่มีกลุ่มของเส้นลวดโลหะบริเวณปลายของยางทั้งสองข้าง ทำหน้าที่ยึดโครงสร้างผ้าใบ และยึดติดกับกระทะล้อเมื่อนำไปประกอบ งานวิจัยนี้จะพิจารณาปัญหาหารอยแตกที่เกิดขึ้นกับเนื้อยางบริเวณขอบยาง ดังแสดงในรูปที่ 2.2



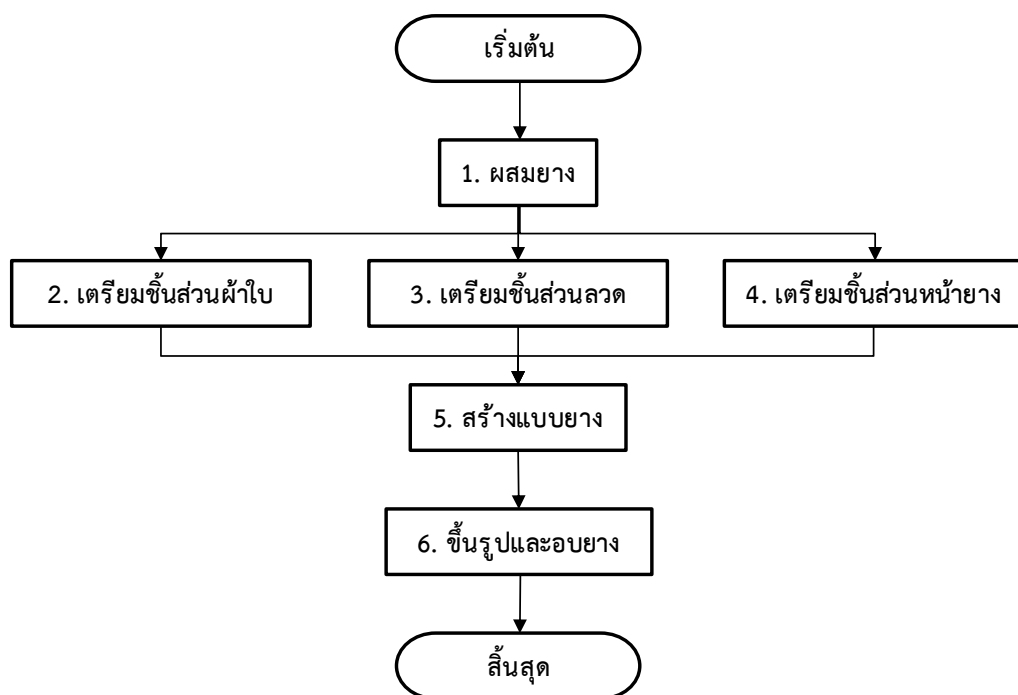
รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะโครงสร้างผ้าใบแบบเฉียงและแบบเรเดียล



รูปที่ 2.2 หน้ายาง, ขอบยาง และปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง

2.2 กระบวนการผลิตยางล้อรถจักรยานยนต์

การผลิตยางล้อรุ่นตัวอย่างมี 6 ขั้นตอนหลัก คือ การผสมยาง (Mixing) การฉาบชั้นส่วนผ้าใบ (Ply Calendering) การผลิตชิ้นส่วนลวด (Bead wire production) การผลิตชิ้นส่วนหน้ายาง (Tread extrusion) การสร้างแบบยาง (Green tire building) และการขึ้นรูปและอบยาง (Shaping and Curing) ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงขั้นตอนการผลิตยางล้อรถจักรยานยนต์

1) การผสมยาง (Mixing)

การผสมยางเป็นการผสมวัตถุดิบ เช่น ยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์ น้ำมัน ผงคาร์บอน, สารเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยา และสารเคมีอื่น ๆ ตามสูตรการผสมยาง ดังแสดงในรูปที่ 2.4 เพื่อให้ได้คุณสมบัติของยางผสม (Compound) ตามมาตรฐาน ซึ่งส่วนผสมเหล่านี้จะถูกผสมในเครื่องผสมยางขนาดใหญ่ที่ทำงานภายใต้ความร้อนและความดันสูง

ยางผสมที่ได้จากกระบวนการผสมยางจะถูกใช้ในขั้นตอนการผลิตถัดไป คือ การผลิตหน้ายาง (Tread Extrusion) การผลิตผ้าใบ (Ply Calendering) การผลิตลวด (Bead wire production) และเป็นส่วนประกอบในการผลิตชิ้นส่วนอื่น ๆ ของยางล้อ



รูปที่ 2.4 แสดงกระบวนการผสมยาง

2) การฉาบชิ้นส่วนผ้าใบ (Ply Calendering)

เป็นการนำยางที่ผ่านการผสมมาฉาบติดกับผ้าใบ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งคุณสมบัติการยึดเกาะระหว่างผ้าใบกับยางจะส่งผลอย่างมากกับสมรรถนะของยางล้อ ดังนั้นผ้าใบที่ผ่านกระบวนการฉาบจึงต้องถูกวัดความหนา ระยะห่างระหว่างเส้นผ้าใบ (นับจำนวนเส้นผ้าใบในหนึ่งหน่วยพื้นที่) และแรงยึดเกาะระหว่างเส้นผ้าใบกับยางที่ฉาบให้ได้ตามมาตรฐาน

หลังจากการฉาบ ผ้าใบจะถูกตัดตามความกว้างและความยาวตามขนาดของยางล้อที่จะผลิต และเนื่องจากยางล้อรถจักรยานยนต์ในงานศึกษานี้มีโครงสร้างผ้าใบแบบเฉียง (Bias tire) จึงต้องตัดผ้าใบให้มีมุมตามมาตรฐาน มุมของเส้นผ้าใบนี้จะส่งผลอย่างมากกับกระบวนการผลิตขั้นตอนถัดไป และเกี่ยวข้องกับสมรรถนะและลักษณะการขยายตัวของยางล้อขณะใช้งาน โดยเมื่อมุมของผ้าใบมีขนาดที่ลดลง (เปลี่ยนไปทางมุมที่ขนานกับเส้นรอบวงของยาง) จะส่งผลให้ยางล้อสามารถขยายตัวด้านข้างมากขึ้นเมื่อเติมลม แต่จะขยายตัวในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของยางได้ลดลง [1]

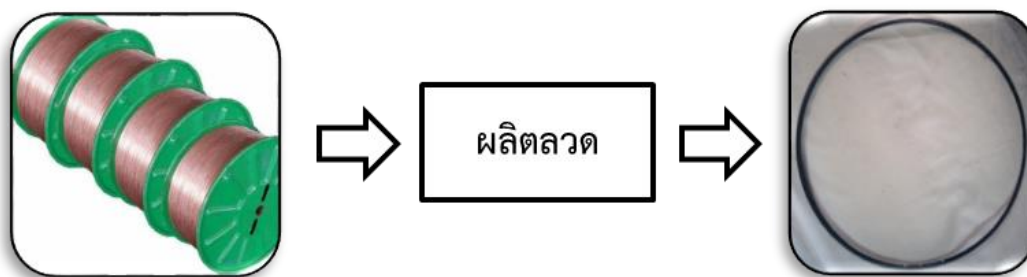


รูปที่ 2.5 แสดงกระบวนการฉาบผ้าใบ

3)

การผลิตลวด (Bead wire production)

ชิ้นส่วนลวดเป็นโครงสร้างบริเวณขอบยางล้อ ผลิตจากสารประกอบโลหะที่ยืดตัวได้ยาก ชิ้นส่วนนี้จะทำหน้าที่ยึดโครงสร้างผ้าใบ และยึดเข้ากับกระทะล้อเมื่อประกอบกับรถจักรยานยนต์ ขนาดเส้นรอบวงจึงจำเป็นต้องมีความเที่ยงตรง (Precision) เป็นอย่างมาก เพราะถ้าหากเส้นรอบวงของยางเล็กเกินไปจะทำให้เกิดปัญหาเมื่อประกอบใช้งาน แต่ถ้าเส้นรอบวงใหญ่เกินไปจะทำให้ยางยึดเกาะกับกระทะล้อไม่ดี และมีโอกาสหลุดได้ง่ายขณะขับขี่ ชิ้นส่วนลวดนี้ผลิตจากเส้นลวดโลหะ นำมาเคลือบผิวด้วยยางผสม ตัดทำเป็นวงตามขนาดขอบยาง และจะถูกส่งเข้ากระบวนการสร้างแบบยางต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงกระบวนการผลิตชิ้นส่วนลวด

4) การผลิตชิ้นส่วนหน้ายาง (Tread extrusion)

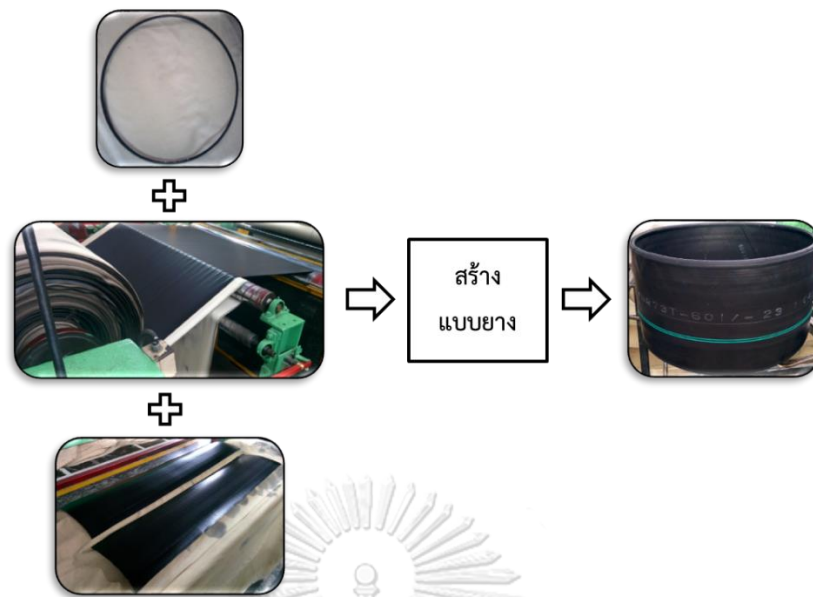
หน้ายางเป็นส่วนที่สัมผัสกับถนนขณะใช้งาน ผลิตจากยางผสมที่ถูกดัน (Extrude) ผ่านแม่พิมพ์ (Die) เพื่อให้ได้รูปร่างและขนาดตามมาตรฐาน และผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิเพื่อควบคุมขนาดและการหดตัว หลังจากนั้นหน้ายางจะถูกตัดตามความยาวตามมาตรฐานสำหรับยางแต่ละขนาด เพื่อใช้ในกระบวนการสร้างแบบยางต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงกระบวนการเตรียมชิ้นส่วนหน้ายาง

5) การสร้างแบบยาง (Green tire building)

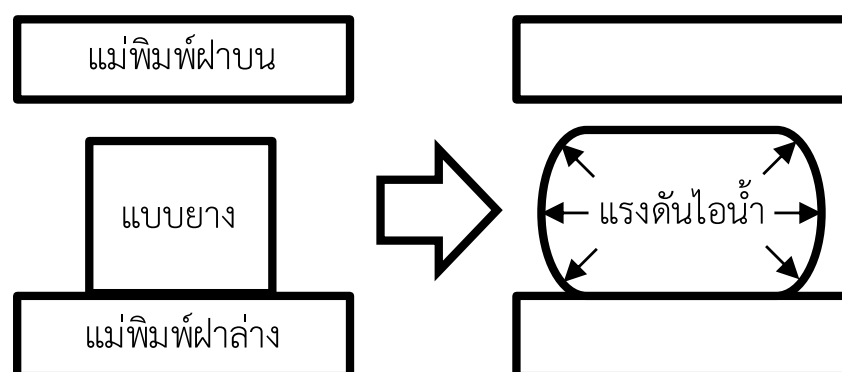
การสร้างแบบยางเป็นกระบวนการประกอบชิ้นส่วนผ้าใบ ลวด และหน้ายางเข้าด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.8 แบบยางที่ผลิตจะมีลักษณะเป็นทรงกระบอก มีลวดทำหน้าที่ยึดโครงสร้างบริเวณขอบยาง โครงสร้างผ้าใบอยู่ชั้นใน และหน้ายางอยู่ชั้นนอก ซึ่งแบบยางนี้จะถูกส่งเข้ากระบวนการอบยางต่อไป



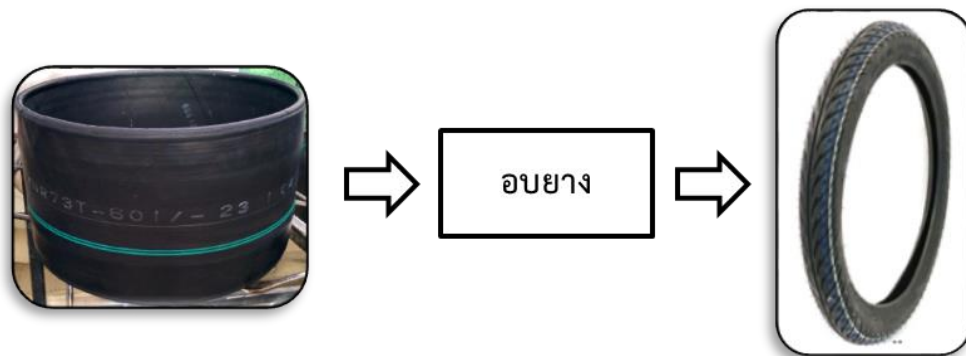
รูปที่ 2.8 แสดงกระบวนการสร้างแบบยาง

6) การขึ้นรูปและอบยาง (Shaping and Curing)

ในขั้นตอนสุดท้ายของการผลิตยางล้อ แบบยางที่ได้จากกระบวนการสร้างแบบจะถูกขึ้นรูปโดยใช้แรงดันไอน้ำ เพื่อดันให้แบบยางโค้งใกล้เคียงกับขนาดของแม่พิมพ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 จากนั้นแบบยางจะถูกอบด้วยอุณหภูมิและความดันสูงเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีในแบบยาง ทำให้ชิ้นส่วนต่างๆติดเข้าด้วยกันและมีคุณสมบัติตามมาตรฐาน ในขั้นตอนนี้เนื้อยางที่เป็นชิ้นส่วนหน้ายางจะไหลเข้าร่องบนแม่พิมพ์ ทำให้เกิดลายดอกยางและมีตัวหนังสือบริเวณแก้มยางตามรูปร่างของแม่พิมพ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.10



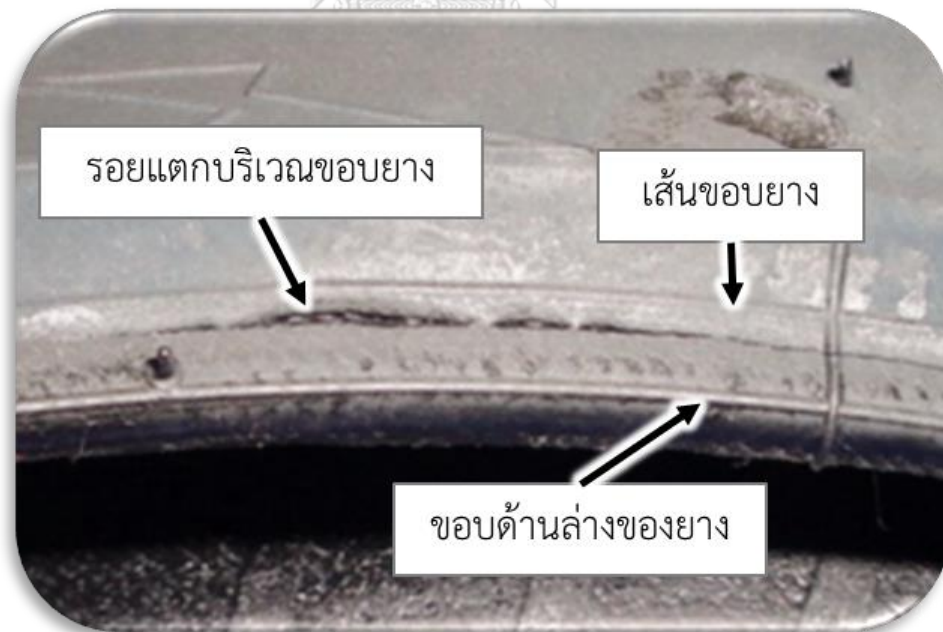
รูปที่ 2.9 การขึ้นรูปด้วยแรงดันไอน้ำก่อนเข้ากระบวนการอบยาง



รูปที่ 2.10 แสดงกระบวนการอบยาง

2.3 ปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง (Bead crack)


รอยแตกบริเวณขอบยาง คือ รอยแตกตั้งแต่บริเวณเส้นขอบยาง (Rim line) ลงไปถึงขอบด้านล่างของยาง ซึ่งอาจเกิดจากเนื้อยางไหลมากเกินไป มีการไหลย้อนกลับแล้วยางไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงรอยแตกบริเวณขอบยาง ตำแหน่งเส้นขอบยาง และขอบด้านล่างของยาง

ตามมาตรฐานการตรวจยางจากลักษณะภายนอก ของแผนกประกันคุณภาพ วิทยาลัยการณศึกษา ยางดีที่สามารถส่งขายได้จะต้องไม่มีปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง หากตรวจพบปัญหารอยแตกแม้เพียงเล็กน้อยจะต้องส่งยางเข้ากระบวนการซ่อม และหลังจากการซ่อมยางเส้นนั้นจะถูกตรวจสอบซ้ำอีกครั้ง ถ้าตรวจพบว่าสภาพผิวยางไม่ถูกซ่อมให้เป็นปกติ หรือตรวจพบรอยใดๆจากการซ่อม ยางจะถูกตัดสินใจให้เป็นของเสีย และจะถูกทำลายต่อไป มาตรฐานการตรวจปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงมาตรฐานการตรวจยางที่มีปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง

ประเภท	มาตรฐาน	รูปภาพ
ยางดี	ต้องไม่มีปัญหา รอยแตกบริเวณขอบยาง	
ยางซ่อม	มีปัญหา รอยแตกบริเวณขอบยาง	
ยางเสีย	ไม่สามารถซ่อมผิวยางให้ เหมือนขอบยางปกติ หรือสามารถสังเกตเห็นรอยซ่อม	

ขั้นตอนการซ่อมปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง เริ่มจากการคว้านเนื้อยางบริเวณที่เกิดปัญหาออก นำยางผสมอุดในช่องว่าง ให้ความร้อนเพื่ออบซ่อมเฉพาะจุด และขั้นตอนสุดท้ายคือ การตกแต่งผิวยาง ดังแสดงในตารางที่ 2.2 เนื่องจากการซ่อมปัญหานี้มีหลายขั้นตอน อีกทั้งใช้เวลาในการซ่อมรวมนานถึง 10 นาทีต่อปัญหาหนึ่งจุด ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการซ่อมยาง 200 บาทต่อเส้น

ตารางที่ 2.2 แสดงขั้นตอนการซ่อมปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง

ขั้นตอนที่	วิธีการ	รูปภาพ
1	คว้านเนื้อยางส่วนที่เกิดปัญหาออก	
2	นำยางผสมอุดช่องว่างระหว่างเนื้อยาง และทำการอบยางซ่อมเฉพาะจุดเพื่อให้เนื้อยางผสมเป็นเนื้อเดียวกัน	
3	ตกแต่งผิวยางขั้นสุดท้าย เพื่อลบรอยการซ่อม	

จากการสืบค้นข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง สามารถสรุปสาเหตุหลักของการเกิดปัญหาได้ 2 สาเหตุ คือ

1. เกิดระหว่างการใช้งาน

บริษัท ดันลอป อินเดีย จำกัด (Dunlop India Ltd.) [2] ได้กล่าวถึงปัญหารอยแตกที่ชั้นล่างของชั้นส่วนหน้ายาง รอยแตกตามแนวรัศมีที่แก้มยาง และรอยแตกตามแนวเส้นรอบวงบริเวณขอบยาง อาจเกิดได้จากลักษณะการใช้ยางล้อที่แรงดันลมต่ำหรือสูงเกินไป การรับน้ำหนักเกินขีดจำกัดของยาง อายุของยาง หรือการเก็บรักษาที่ไม่เหมาะสม

2. เกิดจากกระบวนการผลิต

บริษัท ยางคุมโฮ (Kumho Tire Co., Inc.) [3] กล่าวว่ารอยแตกในชั้นเนื้อยาง (ความลึกไม่ถึงชั้นผ้าใบ) ตามแนวเส้นรอบวงบริเวณขอบยาง ดังรูปที่ 2.13 อาจมีสาเหตุจากการไหลของเนื้อยางที่ผิดปกติระหว่างกระบวนการผลิต



รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะรอยแตกในชั้นเนื้อยางตามแนวเส้นรอบวง
(ที่มา : บริษัท ยางคุมโฮ, Kumho Tire Co., Inc.)

จากสาเหตุดังกล่าว สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการกำหนดสาเหตุที่เป็นไปได้ของปัญหาในโรงงานกรณีศึกษา คือ การกำหนดความกว้างและความหนาของชั้นส่วนหน้ายางในบริเวณขอบยาง การควบคุมการไหลของเนื้อยางขณะอบยาง และการพิจารณาสาเหตุอื่นๆ ที่อาจทำให้เนื้อยางไม่สามารถไหลเชื่อมติดเป็นเนื้อเดียวกันได้

2.4 วิธีการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา คือ การค้นหาสาเหตุเฉพาะเจาะจงที่ส่งผลต่อปัญหา เพื่อสามารถดำเนินการใดๆ เพื่อป้องกันไม่ให้อุบัติการณ์นั้นเกิดซ้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นกระบวนการที่เริ่มตั้งแต่การสังเกตอาการของปัญหา ให้คำจำกัดความ ระบุสาเหตุที่เป็นไปได้ และการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุที่แท้จริง โดยอาจใช้เครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์ เช่น ใช้แผนผังการทำงาน เพื่อให้เข้าใจขั้นตอนการทำงานที่เกิดปัญหาและทราบจุดที่จะต้องเก็บข้อมูล ใช้กราฟเส้นในการพิจารณาข้อมูลเปรียบเทียบกับเวลา เพื่อสังเกตแนวโน้มของข้อมูล ซึ่งอาจโยงไปถึงสาเหตุของปัญหาได้ [4] การระดมสมองของกลุ่มผู้ร่วมงาน หรือการเก็บข้อมูลจากผู้ที่มีประสบการณ์ ก็เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถใช้เพื่อค้นหาสาเหตุที่เป็นไปได้เบื้องต้นของปัญหา ซึ่งจะช่วยให้ได้สาเหตุจากหลายมุมมอง ทำให้สามารถการค้นหาสาเหตุได้อย่างครอบคลุมมากขึ้น [5] สาเหตุรากเหง้าของปัญหาที่ผ่านการวิเคราะห์อย่างถูกต้องแม่นยำนั้น หากถูกแก้ไขหรือกำจัดจะลดปัญหาที่พิจารณาได้อย่างมีประสิทธิภาพ [6]

ในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหานี้ มีหลายเครื่องมือและวิธีการที่สามารถถูกใช้ได้ตามสถานการณ์ หรือลักษณะของปัญหาที่พิจารณา ซึ่งแต่ละเครื่องมือนั้นก็จะมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป [7] ทำให้ในปัจจุบันยังไม่มีเครื่องมือใดที่ได้รับการยอมรับอย่างสากลให้เป็นมาตรฐานในการวิเคราะห์สาเหตุรากเหง้าของปัญหา [8] ในบทความนี้จะพิจารณาและเปรียบเทียบ 4 เครื่องมือ คือ แผนผังสาเหตุและผล แผนผังความสัมพันธ์ เทคนิค why-why และแผนภูมิต้นไม้ เพื่อประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง

CHULALONGKORN UNIVERSITY

แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram, CED) สามารถถูกใช้ในการค้นหาสาเหตุของปัญหา ในการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้เครื่องมือนี้โดยทั่วไปจะพิจารณาสเหตุของปัญหาเป็นหัวข้อหลัก 6 กลุ่ม คือ สาเหตุจากพนักงาน เครื่องจักร วัตถุดิบ วิธีการทำงาน ระบบการวัด และสาเหตุจากสภาพแวดล้อมในกระบวนการผลิต เครื่องมือนี้มีข้อดีคือ ใช้งานง่าย เข้าใจง่าย สามารถใช้ความคิดสร้างสรรค์ในการระบุสาเหตุที่เป็นไปได้ของปัญหา เหมาะที่จะถูกใช้กับปัญหาที่เป็นที่เป็นที่รู้จัก มีข้อมูล หรือมีความรู้เกี่ยวกับปัญหานั้นเป็นอย่างดีแล้ว ข้อเสียของเครื่องมือนี้คือ สามารถระบุได้เพียงสาเหตุที่เป็นไปได้ของปัญหาเท่านั้น ต้องมีการพิสูจน์เพิ่มเติมด้วยวิธีการอื่นๆ อีกทั้งคุณภาพของการวิเคราะห์นั้นต้องอาศัยความรู้ ความเข้าใจในปัญหานั้นเป็นอย่างมาก เนื่องจากไม่มีวิธีการใดที่จะตรวจสอบได้ว่าสาเหตุของปัญหาที่วิเคราะห์นั้นครบถ้วนแล้วหรือไม่ [9]

แผนผังความสัมพันธ์ (Relations Diagram) เป็นเครื่องมือที่ช่วยศึกษาความสัมพันธ์ของปัญหาที่ซับซ้อน โดยวิเคราะห์ความเกี่ยวข้องของแต่ละปัจจัย แต่มีข้อเสียคือ ต้องอาศัยการตัดสินใจส่วนบุคคลในการระบุความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัย และผลที่ได้รับจะมีความซับซ้อนมากและทำความเข้าใจได้ยาก [10]

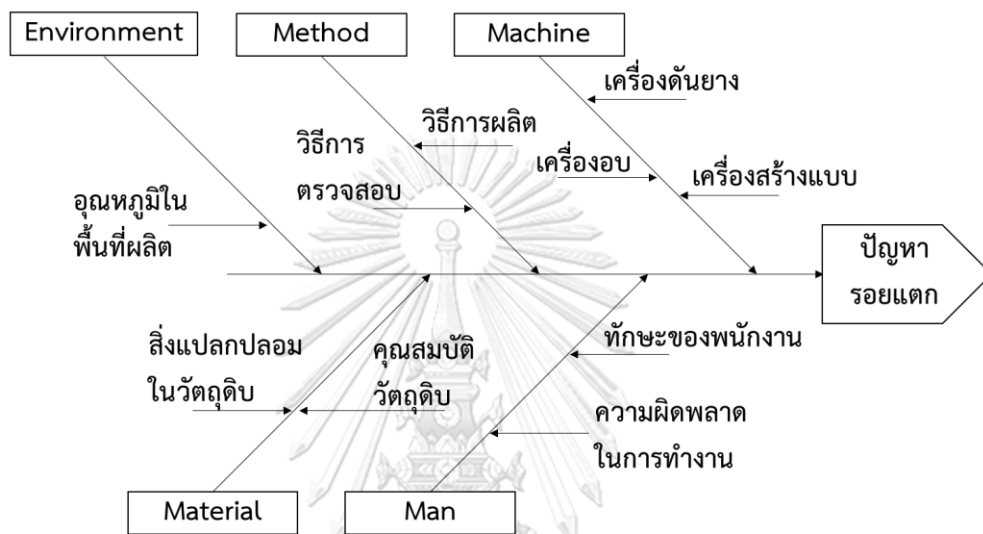
การวิเคราะห์สาเหตุด้วยเทคนิค why-why เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถใช้หาสาเหตุของปัญหา โดยการถามสาเหตุเป็นขั้นตอนจนถึงรากเหง้าของปัญหา แต่วิธีการมีข้อเสียคือ อาจไม่เหมาะสมกับปัญหาที่มีสาเหตุซับซ้อน [11]

แผนภูมิต้นไม้ (Current Reality Tree, CRT) ใช้สำหรับการวิเคราะห์สาเหตุโดยแบ่งเป็นหมวดหมู่ หรือตามลักษณะย่อยของปัญหา วิธีการนี้เหมาะสำหรับปัญหาที่เป็นที่รู้จัก และผู้ใช้งานจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับปัญหานั้นในระดับหนึ่ง [12]

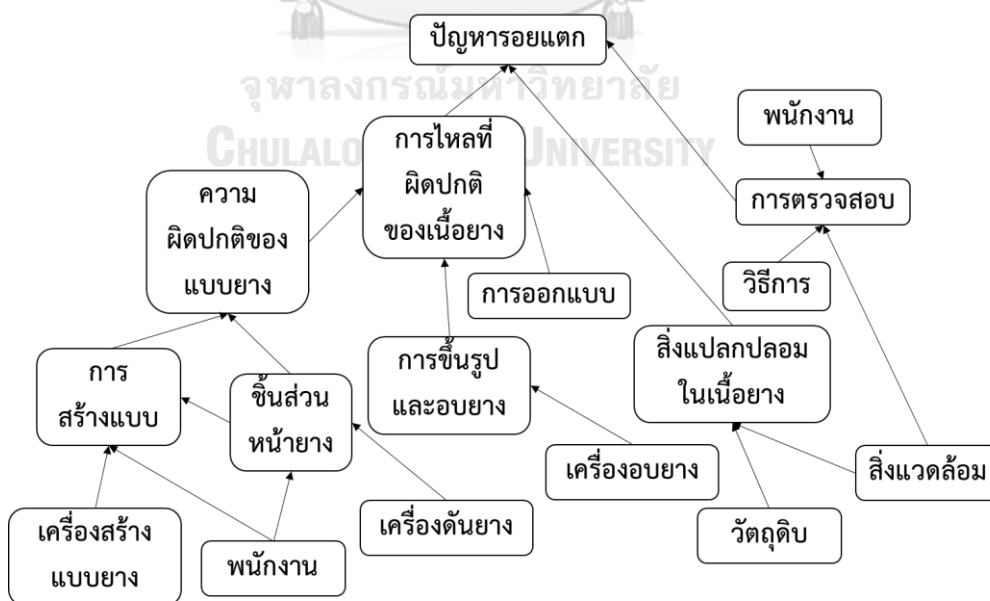
จากการศึกษาเครื่องมือวิเคราะห์สาเหตุ ผู้วิจัยทดลองประยุกต์ใช้เครื่องมือที่กล่าวไว้ข้างต้น เพื่อสาเหตุเบื้องต้นของปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง และพบว่าแผนผังสาเหตุและผลสามารถระบุสาเหตุที่เป็นไปได้จากความรู้ด้านการผลิตยาง เช่น คุณสมบัติของวัตถุดิบ และวิธีการผลิต รวมทั้งสาเหตุอื่นๆ ที่เกิดจากความคิด และการตั้งสมมติฐาน เช่น ความแตกต่างของอุณหภูมิในพื้นที่ผลิต ดังแสดงในรูปที่ 2.14 แต่เครื่องมือนี้มีข้อเสีย คือ ไม่สามารถสรุปได้ว่าสาเหตุใดมีความเกี่ยวข้องจริงหรือไม่ ทำให้สาเหตุที่ได้นั้นมีจำนวนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และไม่มีวิธีการใดที่จะบ่งชี้ได้ว่าสาเหตุในแผนผังครบถ้วนแล้วหรือไม่

แผนผังความสัมพันธ์มีข้อดีที่ใกล้เคียงกับแผนผังสาเหตุและผล คือ สามารถใช้ความคิดส่วนบุคคลในการระบุสาเหตุที่เป็นไปได้ นอกจากนั้นยังสามารถระบุความสัมพันธ์ของแต่ละสาเหตุได้ใช้ความรู้ และการคิดวิเคราะห์ส่วนบุคคล อย่างไรก็ตาม เครื่องมือนี้มีข้อเสีย คือ มีความยากในการใช้ การตรวจสอบ การทำความเข้าใจ ดังแสดงในรูปที่ 2.15 และยังมีโอกาสเกิดความผิดพลาดได้ง่ายจากการระบุสาเหตุ หรือความสัมพันธ์ที่ไม่ถูกต้อง หรือไม่ครบถ้วน

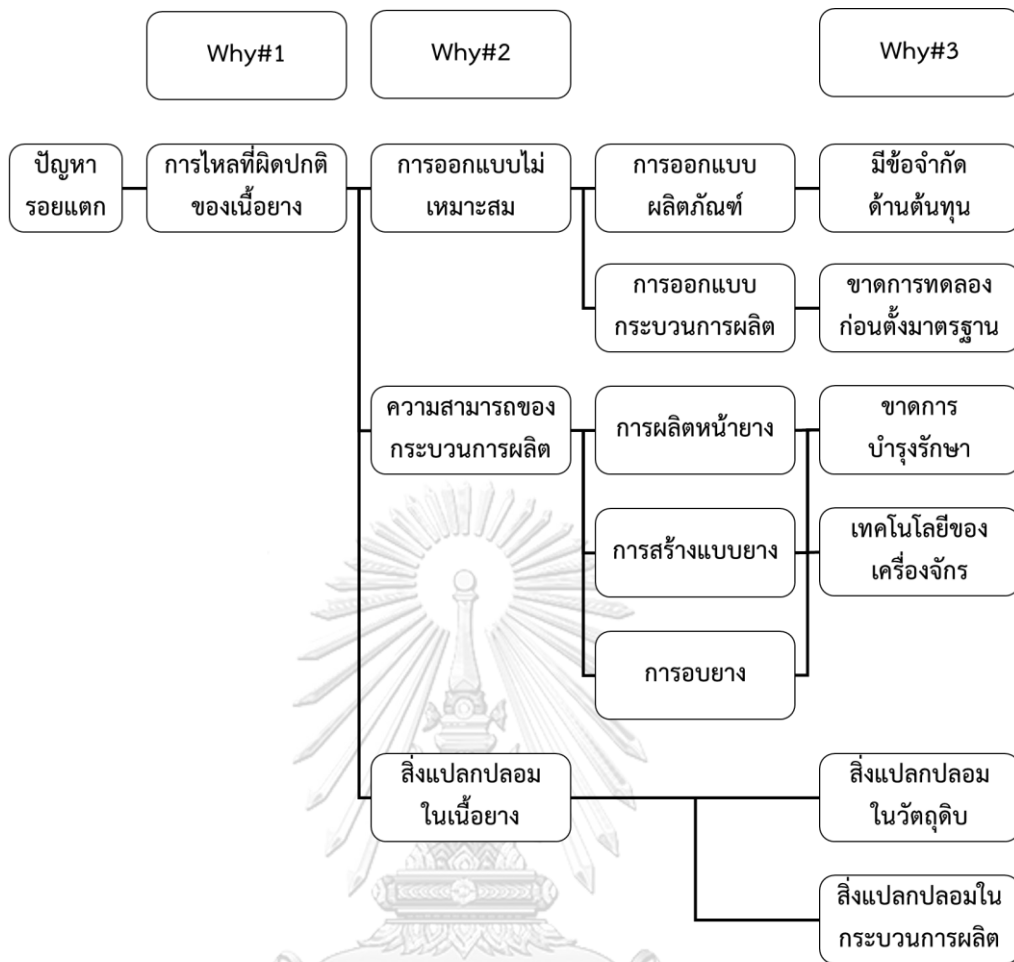
ผลของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค why-why นั้นแสดงความเชื่อมโยงระหว่างปัญหา สาเหตุหลัก และสาเหตุย่อยได้สามารถถูกใช้ในการพิสูจน์สาเหตุ และการหาวิธีการแก้ไข ปัญหาได้ง่าย แต่มีข้อเสีย คือ ไม่สามารถระบุความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุ และการวิเคราะห์ บางครั้งอาจนำไปสู่สาเหตุที่ไม่สามารถแก้ไขได้ เช่น ข้อจำกัดด้านต้นทุน หรือเทคโนโลยีของ เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.13 แผนผังสาเหตุและผล

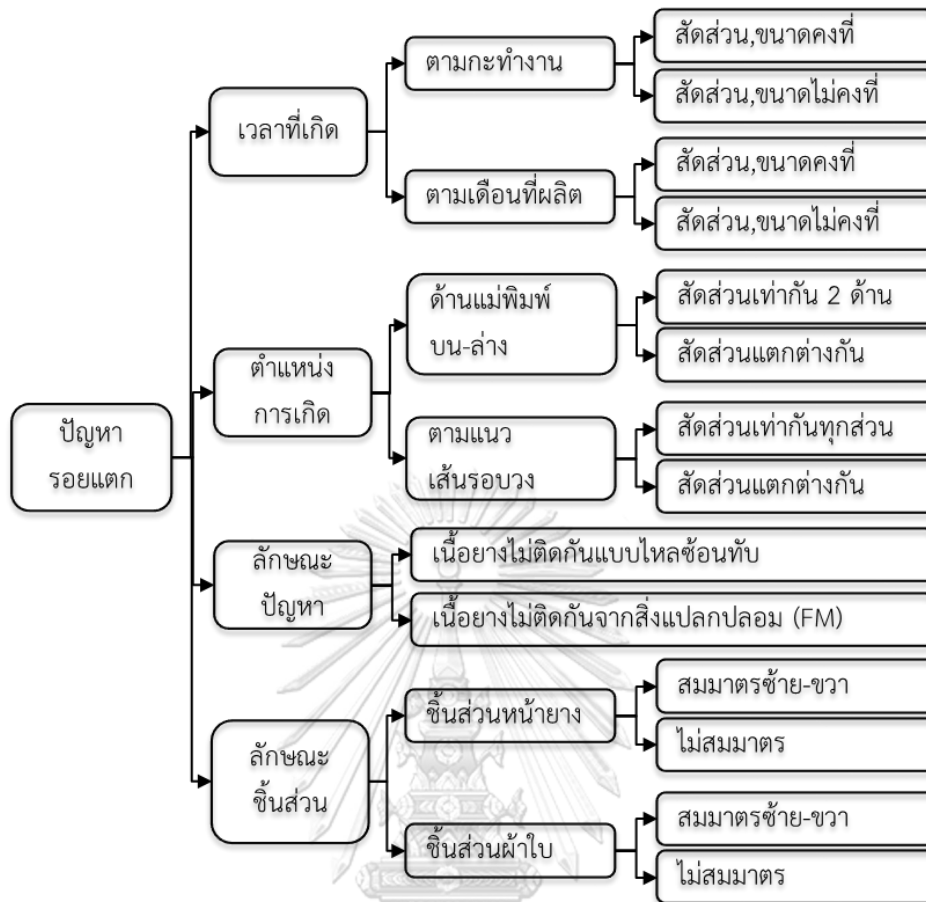


รูปที่ 2.14 แผนผังความสัมพันธ์

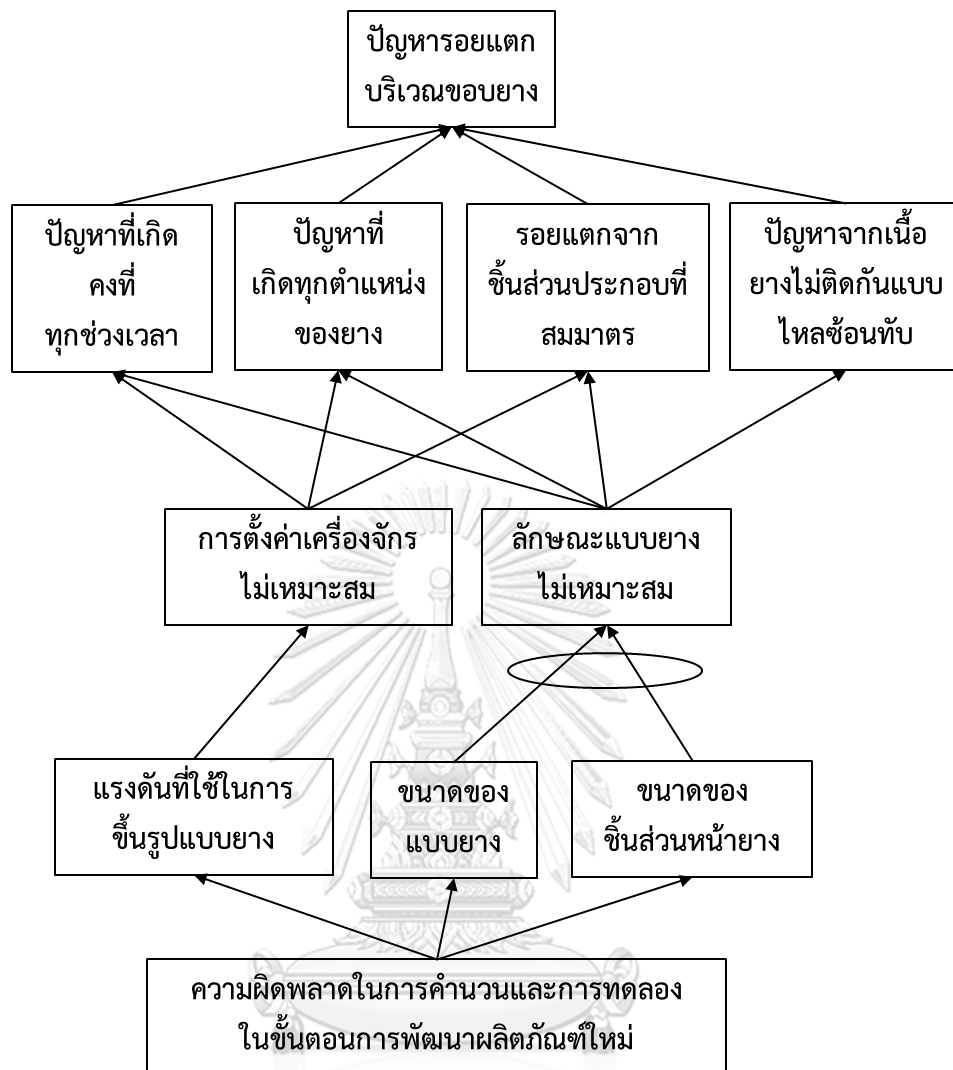


รูปที่ 2.15 การวิเคราะห์ Why-Why

การวิเคราะห์โดยใช้แผนภูมิต้นไม้เริ่มจากการพิจารณาปัญหาในด้านต่างๆ เช่น ตำแหน่ง หรือเวลาที่เกิดปัญหา จากนั้นแบ่งลักษณะย่อยของแต่ละด้าน ดังแสดงในรูปที่ 2.17 และวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วย Current Reality Tree ดังแสดงในรูปที่ 2.18 ข้อดีของการใช้แผนภูมิต้นไม้ คือ สามารถตรวจสอบความถูกต้อง และความสมบูรณ์ของได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือต้องใช้ความรู้ และความคุ้นเคยกับปัญหาในการวิเคราะห์



รูปที่ 2.16 การวิเคราะห์ปัญหาตามลักษณะแต่ละด้าน



รูปที่ 2.17 แผนภูมิต้นไม้

เครื่องมือวิเคราะห์หาสาเหตุที่พิจารณายังมีข้อจำกัด คือ การไม่สามารถอธิบายกลไกการเกิดปัญหาได้อย่างชัดเจน ซึ่งความสามารถในการเข้าใจปัญหาเป็นสิ่งที่สำคัญกว่าการระบุเพียงแค่ว่าสาเหตุของปัญหาเท่านั้น อีกประการหนึ่ง คือ ด้วยกระบวนการของแต่ละเครื่องมือที่มุ่งเน้นไปที่การหาสาเหตุรากเหง้าของปัญหา ทำให้พิจารณาเฉพาะสาเหตุที่มีผลต่อปัญหาอย่างชัดเจน โดยไม่ให้ความสำคัญกับสาเหตุที่มีผลต่อปัญหาเพียงเล็กน้อย และยังมีข้อจำกัดในการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้เครื่องมือวิเคราะห์สาเหตุอาจขาดคุณสมบัติบางประการสำหรับการแก้ไขปัญหาที่มีความซับซ้อนมากๆ ได้ [13]

จากการเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียของแต่ละเครื่องมือพบว่าเทคนิค why-why และแผนภูมิต้นไม้มีนั้นเหมาะสมกับปัญหาหายแตก เนื่องจากผลที่ได้นั้นมีเหตุผล เข้าใจง่าย และใช้ในขั้นตอนพิสูจน์สาเหตุต่อไปได้สะดวก ดังแสดงในตารางที่ 2.3 แต่เนื่องจากปัญหาหายแตกเป็นปัญหาที่พิจารณาลักษณะปัญหาได้สะดวกกว่าการสังเกตกระบวนการ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แผนภูมิต้นไม้ในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบเครื่องมือวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

	แผนผังสาเหตุและผล	แผนผังความสัมพันธ์	เทคนิค why-why	แผนภูมิต้นไม้
ใช้กับปัญหาทั่วไปได้	○	○	○	○
ใช้กับปัญหาที่เกิดจากมนุษย์	○	○	○	○
เหมาะสมกับปัญหาหายแตก	X	X	○	○
การค้นหาสาเหตุที่เฉพาะเจาะจง	X	○	○	○
สามารถระบุความสัมพันธ์ของแต่ละสาเหตุได้	X	○	X	○
ใช้ความรู้เกี่ยวกับปัญหาที่วิเคราะห์	○	○	○	○
ใช้งานง่าย เข้าใจง่าย	○	X	○	○

2.5 การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA)

ความคลาดเคลื่อนในการวัด หมายถึง ผลต่างระหว่างค่าที่วัดได้กับค่าที่แท้จริง การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis) เป็นเครื่องมือทางคุณภาพที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่มาของค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น อาทิเช่น ความผิดพลาดจากผู้ทำการวัด ความผิดพลาดจากเครื่องมือวัด หรือความผิดพลาดที่เกิดจากปัจจัยภายนอกอื่นๆ ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดที่ดีจะทำให้มั่นใจว่าข้อมูลที่ได้อาจมาจากการวัดนั้นถูกต้อง แม่นยำ และมาจากระบบการเก็บข้อมูลที่เหมาะสมกับกระบวนการที่พิจารณา ซึ่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือจะทำให้ลดการสูญเสียเวลา แรงงาน และของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการได้

ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (Systematic error) คือ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากความผิดพลาดจากเครื่องมือวัด ซึ่งมักเป็นความคลาดเคลื่อนแบบสถิต (Static error) ที่ค่าผิดพลาดนั้นมีขนาดเท่าเดิมตลอด การลดและแก้ไขค่าผิดพลาดลักษณะนี้ทำได้โดยใช้วิธีการปรับแก้ค่าบวกลบจากผลที่วัดได้

ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (Random error) คือ ความคลาดเคลื่อนที่มีโอกาสเกิดได้ในหลายกรณี เช่น จากปริมาณความชื้น อุณหภูมิในอากาศ การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า หรือแรงดันไอน้ำ ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มนี้จัดเป็นความคลาดเคลื่อนสถิตที่สามารถหาค่าได้จากการใช้วิธีการทางสถิติ เนื่องจากค่าจะแตกต่างกันไปในแต่ละครั้งในการวัด

ความคลาดเคลื่อนจากผู้วัด (Human error) เกิดขึ้นจากการอ่านค่า บันทึกค่า หรือการคำนวณผลของผู้วัด ปัญหาลักษณะนี้สามารถแก้ไขได้โดยการฝึกอบรมเพื่อสร้างความเข้าใจที่ถูกต้องในการอ่านค่า และการเพิ่มความรอบคอบในระหว่างขั้นตอนการวัด

ความแม่นยำ (Accuracy) คือ ความสามารถของการวัดที่จะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าจริงได้เพียงใด ค่าความแม่นยำของอุปกรณ์การวัดสามารถทราบได้จากการนำอุปกรณ์นั้นไปสอบเทียบ (Calibration) แต่ความแม่นยำของระบบการวัดโดยรวมควรประเมินจากการทดสอบวัดชิ้นงานจริง

ความเที่ยง (Precision) คือ ความสามารถของการวัดที่จะให้ค่าที่ใกล้เคียงกันซ้ำหลายๆครั้งเมื่อวัดชิ้นงานเดียวกัน โดยใช้วิธีวัดเดียวกัน ภายใต้สภาพการทำงานเดียวกัน

ก่อนที่จะดำเนินการวิเคราะห์ระบบการวัด ผู้ทดสอบจะต้องกำหนดว่าข้อมูลที่จะเก็บนั้นเป็นลักษณะใด ซึ่งโดยทั่วไปแล้วข้อมูลสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ ข้อมูลแบบนับ (Attribute) และข้อมูลแบบแปรผัน (Variable) ข้อมูลแบบนับจะเป็นข้อมูลที่ถูกรวบรวม หรือถูกกำหนดค่าที่แน่นอนไว้ เช่น จัดเป็นกลุ่มของดี ของซ่อม ของเสีย ส่วนข้อมูลแบบแปรผันนั้นจะต้องถูกวัดค่าเป็นตัวเลขได้

2.6 การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

เป็นกระบวนการตัดสินใจเพื่อพิสูจน์ความเชื่ออย่างใดอย่างหนึ่งเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่พิจารณา สมมติฐานเชิงสถิติแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis; H_0) และสมมติฐานรอง หรือสมมติฐานทางเลือก (Alternative Hypothesis; H_1 หรือ H_a) โดยสมมติฐานหลัก คือ สมมติฐานที่เชื่อว่าเป็นสภาวะที่เกิดขึ้นจริง และต้องทำการทดสอบเพื่อตัดสินใจว่าจะปฏิเสธสมมติฐานนี้หรือไม่ ส่วนสมมติฐานรอง คือ สภาวะที่ต้องการยืนยันด้วยเหตุผลทางสถิติ การตัดสินใจในการทดสอบสมมติฐานมีโอกาสในการผิดพลาดได้ 2 ชนิด คือ

1. ความผิดพลาดแบบที่ 1 (Type I Error) หมายถึง การปฏิเสธสมมติฐานหลัก ทั้งที่เป็นสมมติฐานที่ถูกต้อง
2. ความผิดพลาดแบบที่ 2 (Type II Error) หมายถึง การไม่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก ทั้งที่สมมติฐานหลักนั้นไม่ถูกต้อง

ในการทดสอบสมมติฐานมีขั้นตอนดังนี้

1. เก็บข้อมูล สังเกต และตั้งสมมติฐานตามสิ่งที่ต้องการทดสอบ
2. กำหนดวิธีการ หรือเกณฑ์ที่จะใช้ในการตัดสินใจ
3. ดำเนินการทดสอบและตัดสินใจตามเกณฑ์ หากข้อมูลอยู่ในช่วงการยอมรับจะสรุปว่าไม่มีเหตุผลเพียงพอในการปฏิเสธสมมติฐานหลัก แต่หากข้อมูลอยู่ในช่วงการปฏิเสธให้ทำการปฏิเสธสมมติฐานหลัก และสรุปผลตามสมมติฐานรอง

CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.7 การออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบิร์ตเคน

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เป็นกระบวนการวางแผน ทดลอง นำผลที่ได้มาวิเคราะห์โดยใช้วิธีการทางสถิติ และหาข้อสรุปว่าปัจจัยนำเข้าใดมีผลต่อปัจจัยตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ เป็นเครื่องมือที่สำคัญที่ใช้เพื่อเพิ่มความเข้าใจในกระบวนการ ซึ่งมีประโยชน์หลายทาง เช่น ทำให้กระบวนการผลิตง่ายขึ้น, เพิ่มสมรรถนะและความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ลดต้นทุนการผลิต และช่วยลดเวลาในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้ [14]

หลักการพื้นฐาน 3 ประการสำหรับการออกแบบการทดลองคือ

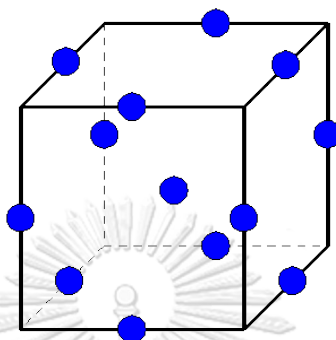
1. การทดลองซ้ำ (Replication)
 ทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ เพื่อใช้ประเมินว่าความแตกต่างของข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันทางสถิติหรือไม่
2. การสุ่ม (Randomization)
 เป็นพื้นฐานหลักสำหรับการใช้วิธีการทางสถิติในการออกแบบการทดลอง ที่ช่วยให้สามารถลดผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยภายนอกในการทดลองได้ และการสุ่มจะช่วยให้สมมติฐานที่กล่าวว่าข้อมูล หรือความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะต้องเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการกระจายตัวแบบอิสระนั้นเป็นจริง
3. การบล็อก หรือการจัดกลุ่ม (Blocking)
 เป็นเทคนิคการจัดกลุ่มหน่วยทดลอง เพื่อแยกผลของปัจจัยรบกวนออกจากความคลาดเคลื่อนจริงในการทดลอง ส่งผลให้ค่าความคลาดเคลื่อนรวมของการทดลองลดลง เทคนิคนี้จะถูกใช้เมื่อผลของปัจจัยรบกวนที่ควบคุมไม่ได้มีค่าสูงมากจนรบกวนผลการทดลอง

การออกแบบการทดลองโดยทั่วไปประกอบด้วย 8 ขั้นตอนดังนี้

1. การกำหนดหัวข้อปัญหา
 เป็นการกำหนดสิ่งที่จะพิจารณา หรือวัตถุประสงค์ของการทดลอง ซึ่งการกำหนดหัวข้อปัญหานี้อาจเป็นปัญหาเชิงควบคุม หรือปัญหาเชิงปรับปรุงก็ได้
2. การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response)
 ตัวแปรตอบสนองเป็นตัวแปรตามที่มีประโยชน์ต่อกระบวนการที่ศึกษา ซึ่งควรเป็นค่าที่สามารถวัดได้ (Variable) โดยจะต้องมีผลการวิเคราะห์ระบบการวัดที่ดีเพียงพอ หากความสามารถของระบบการวัดต่ำอาจต้องมีการทดลองซ้ำที่มากขึ้น หรือใช้ค่าเฉลี่ยจากการวัดหลายครั้งในการประเมินผล

3. การเลือกปัจจัยนำเข้า (Input Factor)
ปัจจัยนี้เข้านี้อาจได้มาจากการพิสูจน์สาเหตุเบื้องต้น ใช้หลักการทางทฤษฎี ใช้ประสบการณ์การทำงาน หรือจากผลการทดลองในอดีตก็ได้ เพื่อพิจารณาว่าปัจจัยใดบ้างที่ควรนำมาพิจารณา และควรมีช่วง (Range) ในการทดลองอย่างไร
4. การกำหนดระดับของปัจจัย (Treatment or Level)
ในการกำหนดระดับของปัจจัย อาจขึ้นอยู่กับประสบการณ์ จากการทดลองที่ผ่านมา หรือจากขีดจำกัดของเครื่องจักรก็ได้ โดยทั่วไปในการทดลองจะใช้ค่ามาตรฐาน ปัจจุบันเป็นระดับปัจจัยกลาง เพื่อวิเคราะห์ผลลัพธ์และความแปรปรวนของการทำงานปัจจุบันด้วย
5. การเลือกรูปแบบในการทดลอง
เป็นการกำหนดรูปแบบในการทดลอง (Design) จำนวนตัวอย่าง (Sample size) ลำดับการทดลอง (Run order) ร่วมกับการพิจารณาค่าใช้จ่าย เวลา ผลกระทบ และความเสี่ยงอื่นๆ ที่อาจมีต่อกระบวนการผลิตปกติ
6. การดำเนินการทดลอง
ปฏิบัติตามรูปแบบ ขั้นตอน และลำดับการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ โดยต้องควบคุมปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องให้ได้มากที่สุด เพื่อให้เกิดความผิดพลาดในการทดลองน้อยที่สุด
7. การวิเคราะห์ผลโดยใช้วิธีการทางสถิติ
โดยทั่วไปจะใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และพิจารณาค่า R-Square Adjusted R-Square และการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis)
8. สรุปผลการทดลอง
สรุปปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ระบุระดับของปัจจัยที่ส่งผลที่สูงสุดต่อวัตถุประสงค์ของการทดลอง และอาจให้ข้อเสนอแนะจากผลการทดลองนั้น เมื่อสรุปผลแล้วควรมีการทดสอบอีกครั้ง เพื่อยืนยันผลว่าระดับของปัจจัยที่เลือกจะนั้นทำให้ตัวแปรตอบสนองเป็นไปตามผลการทดลองจริง

การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) เป็นหนึ่งในวิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) ที่มีโครงสร้างแบบบล็อกสมมาตรที่ไม่สมบูรณ์ (Balanced Incomplete Block) ดังแสดงในรูปที่ 2.19 การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนจึงจำเป็นต้องใช้ระดับของแต่ละปัจจัยอย่างน้อย 3 ระดับ



รูปที่ 2.18 การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ

ข้อดีของการออกแบบการทดลองรูปแบบนี้ คือ มีจำนวนการทดลองน้อยกว่าแบบแฟคทอเรียลสมบูรณ์ (Full Factorial Design) ทำให้สามารถลดเวลา ลดงบประมาณที่ต้องใช้ในการทดลอง และช่วยให้สามารถควบคุมปัจจัยรบกวนอื่นๆ (Noise Factors) ได้สะดวกขึ้น [15] ตัวอย่างเช่น สำหรับการทดลอง 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ หากใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลสมบูรณ์จะมีจำนวนการทดลอง 27 การทดลอง แต่การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนจะใช้เพียง 15 การทดลองเท่านั้น อย่างไรก็ตาม เนื่องจากรูปแบบการทดลอง (Treatment combination) นั้นขาดการทดลองที่จุดมุม (Corner Points) ทำให้วิธีการนี้มีข้อเสีย คือ ความแม่นยำของผลการทดลอง และความสามารถในการพยากรณ์ที่จุดดังกล่าวที่จะด้อยกว่าแบบแฟคทอเรียลสมบูรณ์

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศิริภัสสร มีครุฑ (2559) ทำการศึกษาเพื่อลดอัตราการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตยางรถยนต์โดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา โดยพิจารณาปัญหาแรงกระทำในแนวรัศมีมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน และปัญหาเศษสิ่งสกปรกติดที่ยางรถยนต์ ในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาใช้การวิเคราะห์ปัญหาจากกระบวนการ ร่วมกับการใช้แผนภาพสาเหตุและผล ในการทดลองแก้ไขปัญหาแรงกระทำในแนวรัศมีใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลโดยมี 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 4 ระดับ มีการกำหนดปัจจัยภายนอกอื่นๆ ให้อยู่ในเงื่อนไขที่เหมือนกัน เพื่อควบคุมความคาดเคลื่อนในการทดลอง คือ ใช้พนักงานคนเดียวตลอดการทดลอง ใช้เครื่องจักรเครื่องเดียวในการผลิต ใช้ส่วนประกอบทั้งหมดจากล็อตเดียวกัน และใช้เครื่องตรวจสอบผลิตภัณฑ์เครื่องเดียวกัน สำหรับปัญหาเศษสิ่งสกปรกใช้แผนภาพสาเหตุและผลในการวิเคราะห์สาเหตุที่เป็นไปได้ และใช้การทดสอบสมมติฐานเพื่อพิสูจน์ว่าสาเหตุนั้นเกี่ยวข้องกับปัญหาที่พิจารณาอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ จากวิธีการวิเคราะห์สาเหตุและแก้ไขปัญหาดังกล่าว ทำให้สามารถลดปัญหาหลงได้กว่าร้อยละ 80 หรือลดความสูญเสียในการผลิตได้ถึงปีละ 6 ล้านบาท [16]

รณชัย ไม้สนธิ (2553) ลดของเสียจากกระบวนการอบยางในกระบวนการผลิตยางรถยนต์ ได้แก่ ปัญหาการอบยางเสียรูป คราบน้ำ รูยางอุดตัน ถูกลมขึ้นรูปแตก ถูกลมขึ้นรูปพับ ยางพับ ริมหนีบ และสิ่งแปลกปลอมติดยาง ในการวิเคราะห์สาเหตุผู้วิจัยใช้การระดมความคิด และสรุปเป็นแผนผังสาเหตุและผลโดยพิจารณาแยกทีละปัญหา จากนั้นใช้ทีมผู้เชี่ยวชาญในการเลือกสาเหตุหลักของการเกิดของเสียแต่ละปัญหา และใช้เทคนิคการวิเคราะห์สาเหตุและผลกระทบ (FMEA) ในการให้คะแนนและเลือกแก้ไขข้อบกพร่องที่มีค่า RPN ตั้งแต่ 100 คะแนนขึ้นไป ด้วยวิธีการดังกล่าว ทำให้สามารถลดสัดส่วนของเสียรวมจากร้อยละ 2.88 เหลือร้อยละ 1.29 [17]

2.9 สรุปการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาโครงสร้างกระบวนการผลิตยางล้อรถจักรยานยนต์ และทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง พบว่าปัญหานี้สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งจากกระบวนการผลิต และจากการใช้ยางที่ไม่ถูกต้อง ซึ่งในงานศึกษานี้จะพิจารณาเฉพาะปัญหารอยแตกที่เกิดจากกระบวนการผลิตเท่านั้น ซึ่งมีกระบวนการที่เกี่ยวข้อง 4 กระบวนการ คือ 1.การผสมยาง 2.การผลิตขึ้นส่วนหน้ายาง 3.การสร้างแบบยาง 4.การขึ้นรูปและอบยาง

ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา มีเครื่องมือและวิธีการจำนวนมากที่สามารถใช้วิเคราะห์สาเหตุรากเหง้าของปัญหาได้ แต่จากการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียพบว่าแผนภูมิต้นไม้มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุกับผลกระทบได้ดี และสามารถวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาในแต่ละด้านได้ ซึ่งการวิเคราะห์สาเหตุนี้จะใช้การทดสอบสมมติฐานในการตัดสินใจเบื้องต้นว่าปัจจัยใดที่เกี่ยวข้องกับปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางอย่างมีนัยสำคัญ

งานศึกษานี้จะประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบ้หันเคน ในการทดลองเพื่อลดปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง เนื่องจากเป็นวิธีการที่ใช้จำนวนการทดลองไม่มาก ทำให้สามารถควบคุมปัจจัยรบกวนภายนอกที่อาจส่งผลกระทบกับการทดลองได้สะดวก นอกจากนี้ยังช่วยประหยัดเวลาและงบประมาณในการทดลองได้อีกด้วย

บทที่ 3

การศึกษาความสามารถของกระบวนการตรวจสอบปัญหา

ในงานศึกษานี้คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ถูกพิจารณา คือ ปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาลักษณะเชิงคุณภาพ (Attribute) คือ การตรวจสอบยางด้วยสายตาเพื่อตัดสินใจว่าเป็นยางดี หรือยางที่มีปัญหารอยแตก และพิจารณาลักษณะเชิงปริมาณ (Variable) จากการตรวจวัดขนาดของรอยแตก ซึ่งข้อมูลทั้งสองด้านจะถูกใช้ในขั้นตอนการศึกษาสภาพปัญหาในปัจจุบัน การค้นหาและวิเคราะห์สาเหตุ การทดลองเพื่อแก้ไขปัญหา และการประเมินผลหลังการปรับปรุง ดังนั้น การศึกษาความสามารถของกระบวนการตรวจสอบจึงเป็นขั้นตอนสำคัญ เพื่อให้ทราบว่ากระบวนการและเครื่องมือตรวจสอบในปัจจุบันมีความน่าเชื่อถือเพียงพอหรือไม่ หากพบว่ายังไม่สามารถเชื่อถือได้ จะต้องมีการปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบก่อนดำเนินการศึกษาในขั้นตอนถัดไป

3.1 การศึกษาความสามารถเชิงคุณภาพ

ขั้นตอนการศึกษา

1. เลือกหัวหน้าส่วนตรวจสอบยางนอก ที่มีความสามารถและประสบการณ์ในการตรวจสอบปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง เพื่อตรวจสอบผลิตภัณฑ์ขึ้นตัวอย่างว่าเป็นของดีหรือของเสีย
2. เตรียมตัวอย่างยางรุ่นตัวอย่างจำนวน 10 เส้น เป็นยางดี 3 เส้น และเป็นยางที่มีปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางขนาดต่างกันตั้งแต่ 4 ถึง 15 มิลลิเมตร จำนวน 7 เส้น ดังแสดงในตารางที่ 3.1
3. เลือกพนักงานที่เพื่อทำการทดสอบ 3 คน เนื่องจากเป็นพนักงานประจำกะที่ทำหน้าที่ตรวจสอบยางรุ่นตัวอย่างในกระบวนการผลิตปกติ
4. ทำการทดสอบโดยให้พนักงาน 3 คน ตรวจสอบยางตัวอย่างที่ละคน ทั้ง 10 เส้น เส้นละ 2 ครั้งโดยสุ่มลำดับการตรวจสอบ จากนั้นให้พนักงานประเมินยางตัวอย่างแต่ละเส้นว่าเป็นของดีหรือของเสีย พร้อมทั้งบันทึกผลการตรวจ
5. สรุปผลการทดสอบ

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของยางที่ใช้ทดสอบความสามารถในการตรวจสอบเชิงคุณภาพ

ตัวอย่างเส้นที่	ประเภท	ขนาดรอยแตก (มม.)
1	ยางดี	-
2	ยางเสีย	10
3	ยางดี	-
4	ยางเสีย	5
5	ยางเสีย	4
6	ยางเสีย	15
7	ยางดี	-
8	ยางเสีย	13
9	ยางเสีย	11
10	ยางเสีย	6

เกณฑ์การยอมรับ

การตรวจสอบปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางเป็นปัญหาที่มองเห็นได้ง่ายด้วยตาเปล่า ดังนั้นพนักงานตรวจสอบจะต้องตรวจแยกยางดี และยางที่มีปัญหารอยแตกได้ถูกต้องทั้งหมด

ผลการทดสอบ

พนักงานทั้ง 3 คนมีความสามารถได้การตรวจแยกยางดี และยางที่มีปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางได้ถูกต้องทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงผลการทดสอบการตรวจแยกยางดีและเสียของพนักงาน

เส้นที่	ตัวอย่าง	ขนาดแผล (มม.)	พนักงาน 1		พนักงาน 2		พนักงาน 3	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	ดี	-	ดี	ดี	ดี	ดี	ดี	ดี
2	เสีย	10	เสีย	เสีย	เสีย	เสีย	เสีย	เสีย
3	ดี	-	ดี	ดี	ดี	ดี	ดี	ดี
4	เสีย	5	เสีย	เสีย	เสีย	เสีย	เสีย	เสีย
5	เสีย	4	เสีย	เสีย	เสีย	เสีย	เสีย	เสีย
6	เสีย	15	เสีย	เสีย	เสีย	เสีย	เสีย	เสีย
7	ดี	-	ดี	ดี	ดี	ดี	ดี	ดี
8	เสีย	13	เสีย	เสีย	เสีย	เสีย	เสีย	เสีย
9	เสีย	11	เสีย	เสีย	เสีย	เสีย	เสีย	เสีย
10	เสีย	6	เสีย	เสีย	เสีย	เสีย	เสีย	เสีย

3.2 การศึกษาความสามารถเชิงปริมาณ

ขั้นตอนการศึกษา

- เตรียมตัวอย่างยางรุ่นตัวอย่างจำนวน 10 เส้น เป็นยางที่เป็นปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางทั้งหมด แต่ขนาดรอยแตกมีขนาดต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3.3
- เลือกพนักงานที่เพื่อทำการทดสอบ 3 คน เนื่องจากเป็นพนักงานประจำกะที่ทำหน้าที่ตรวจสอบยางรุ่นตัวอย่างในกระบวนการผลิตปกติ
- ทำการทดสอบโดยให้พนักงาน 3 คน วัดขนาดรอยแตกบนตัวอย่างยางทั้ง 10 เส้นละ 2 ครั้งโดยสุ่มลำดับการตรวจสอบ
- วิเคราะห์ผลการทดสอบโดยใช้เทคนิค ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และสรุปผลการทดสอบ

ตารางที่ 3.3 แสดงรายละเอียดของ Yang ที่ใช้ทดสอบความสามารถในการตรวจสอบเชิงปริมาณ

ตัวอย่างขึ้นที่	ขนาดรอยแตก (มม.)
1	10
2	7
3	6
4	8
5	5
6	7
7	7
8	6
9	9
10	6

เกณฑ์การยอมรับ

1. พนักงานแต่ละคนมีผลการวัดที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ค่า P-value ของ Operators มีค่ามากกว่าค่า $\alpha = 0.05$)
2. %Contribution ของ Total gage R&R ไม่เกิน 9% เนื่องจากธรรมชาติของผลิตภัณฑ์ยาง ที่ขนาดของปัญหาอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ตามวิธีการหรือแรงที่ใช้ในการจับชิ้นงาน

ผลการทดสอบ

จากการทดสอบวัดขนาดของปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง โดยให้พนักงาน 3 คน วัดขนาดของปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง 10 เส้น เส้นละ 2 ครั้ง ได้ผลการวัดขนาดของปัญหาของพนักงานแต่ละคน แต่ละครั้งที่มีค่าใกล้เคียงกัน ตามตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ผลการทดลองวัดขนาดความยาวของรอยแตกบริเวณขอบยาง (หน่วยเป็นมิลลิเมตร)

ยาง ตัวอย่าง	พนักงาน 1		พนักงาน 2		พนักงาน 3	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	9.6	9.8	10.2	10.0	10.2	9.9
2	7.0	6.8	6.9	7.1	7.5	7.0
3	6.2	5.9	6.5	6.0	5.8	6.2
4	8.2	7.8	7.9	8.3	7.8	8.0
5	4.7	5.3	5.5	4.9	4.7	5.1
6	6.6	6.5	7.2	7.4	6.7	7.0
7	7.1	6.5	6.6	7.4	6.9	6.9
8	5.8	6.5	5.8	5.6	6.1	6.0
9	9.1	8.9	9.2	9.0	8.5	9.4
10	6.2	5.7	6.1	5.5	5.8	5.6

วิเคราะห์ผลการทดสอบ

เมื่อนำผลการทดสอบมาวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าค่า P-value ของพนักงาน (Operators) มีค่าเท่ากับ 0.076 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าความสามารถในการวัดของพนักงานไม่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังแสดงในตารางที่ 3.5 และ %Contribution ของ Total Gage R&R มีค่าร้อยละ 4.24 ดังแสดงในตารางที่ 3.6

ในการตัดสินใจยอมรับระบบการวัด งานศึกษานี้ใช้หลักเกณฑ์ของ Automobile Industry Action Group (AIAG) ดังนี้

1. หาก %Contribution ของ Total gage R&R มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 1.00 สามารถยอมรับระบบการวัดได้โดยไม่มีเงื่อนไข
2. ถ้า %Contribution ของ Total gage R&R มีค่ามากกว่าร้อยละ 1.00 แต่ไม่เกินร้อยละ 9.00 สามารถยอมรับได้โดยขึ้นอยู่กับลักษณะงานที่พิจารณาราคาของเครื่องมือวัด ค่าใช้จ่ายในการซ่อม หรือเงื่อนไขอื่นๆ
3. ถ้าพบว่า %Contribution ของ Total gage R&R มีค่ามากกว่าร้อยละ 9.00 ไม่สามารถยอมรับระบบการวัดได้ และจะต้องมีการปรับปรุงระบบการวัดก่อนการดำเนินการใดๆ ในขั้นตอนถัดไป

เนื่องจากลักษณะงานที่ถูกพิจารณาในงานศึกษานี้ เป็นการวัดปัญหาบนชิ้นงานยาง ซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงตามรูปแบบการจับ หรือแรงที่ใช้ในการจับชิ้นงาน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงพิจารณายอมรับค่า %Contribution ของ Total Gage R&R ที่มีค่าร้อยละ 4.24 ตามผลการทดสอบ ซึ่งค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 1.00 ถึงร้อยละ 9.00 ตามเกณฑ์การยอมรับ และสรุปว่ากระบวนการวัดมีความน่าเชื่อถือเพียงพอสำหรับการศึกษาในขั้นตอนถัดไป

ตารางที่ 3.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการวิเคราะห์ระบบการวัดเชิงปริมาณ

Source	Df	SS	MS	F	P
Parts	9	128.475	14.275	212.589	0.000
Operators	2	0.401	0.201	2.988	0.076
Parts * Operators	18	1.209	0.067	0.565	0.897
Repeatability	30	3.565	0.119		
Total	59	133.650			

ตารางที่ 3.6 แสดง %Contribution ของ Total gage R&R

Source	% Contribution
Total Gage R&R	4.24
Repeatability	4.03
Reproducibility	0.21
Operator	0.21
Part-To-Part	95.76
Total Variation	100.00

3.3 สรุปผลการประเมินความสามารถของระบบการวัด

จากผลการทดสอบความสามารถของกระบวนการตรวจสอบทั้งเชิงคุณภาพ และเชิงปริมาณ พบว่ากระบวนการและเครื่องมือตรวจสอบในปัจจุบันมีความน่าเชื่อถือ และอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ ดังนั้น ในงานศึกษานี้จึงสามารถใช้ข้อมูลสัดส่วนและขนาดของรอยแตกบริเวณขอบยางในการวิเคราะห์สาเหตุ การทดลองเพื่อแก้ไขปัญหา และการเปรียบเทียบผลก่อนได้โดยไม่ต้องปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบ

บทที่ 4

การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง

สำหรับการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเบื้องต้น ในงานศึกษานี้ใช้วิธีการศึกษาลักษณะการเกิดปัญหา รอยแตกบริเวณขอบยางของผลิตภัณฑ์จริงที่เกิดปัญหา โดยพิจารณาจากธรรมชาติของปัญหาใน 4 ด้าน คือ ช่วงเวลาในการเกิดปัญหา ตำแหน่งการเกิด ลักษณะของปัญหา และลักษณะของชิ้นส่วนประกอบ เพื่อสังเกตลักษณะของปัญหาในปัจจุบัน ดังแสดงในรูปที่ 4.1



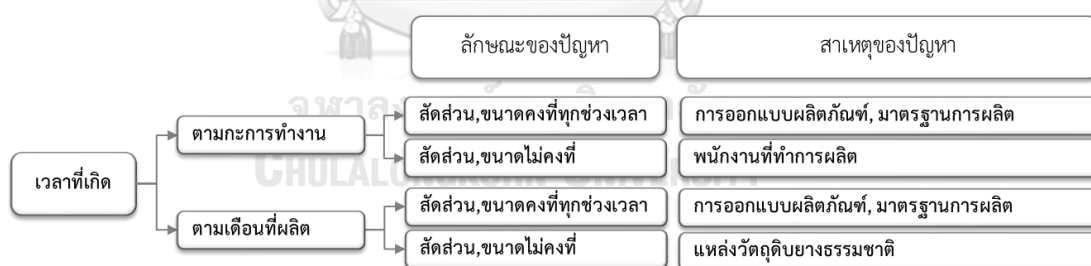
รูปที่ 4.1 แสดงแผนผังการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา รอยแตกจากธรรมชาติของปัญหา

4.1 การทดสอบตามเวลาที่เกิดปัญหา

ในการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสัดส่วนการเกิดปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางตามช่วงเวลา นั้น จะแบ่งการทดสอบออกเป็นสองส่วน คือ ตามกะการทำงาน และตามเดือนที่ผลิต เพื่อวิเคราะห์ว่าสัดส่วนและขนาดของรอยแตกนั้นมีความแตกต่างตามช่วงเวลาหรือไม่ ดังแสดงในรูปที่ 4.2

ในส่วนการวิเคราะห์ปัญหาตามกะการทำงาน ถ้าสัดส่วนและขนาดของปัญหารอยแตกคงที่ทุกช่วงเวลาจะแสดงว่าสาเหตุของปัญหาอาจเกิดจากการออกแบบผลิตภัณฑ์ หรือจากมาตรฐานการผลิต แต่หากสัดส่วนหรือขนาดไม่คงที่แสดงว่าพนักงานที่ทำการผลิตอาจเป็นสาเหตุของปัญหา

สำหรับการวิเคราะห์ตามเดือนที่ผลิต หากสัดส่วนและขนาดของปัญหาคงที่จะแสดงว่าสาเหตุของปัญหาอาจเกิดจากการออกแบบผลิตภัณฑ์ หรือจากมาตรฐานการผลิต เช่นเดียวกัน แต่ถ้าสัดส่วนหรือขนาดไม่คงที่จะแสดงให้เห็นถึงปัญหาที่เกิดจากแหล่งวัตถุดิบ ยางธรรมชาติ เนื่องจากวัตถุดิบอื่นๆเป็นสารสังเคราะห์ที่มีเอกสารรับรอง และมีผลการตรวจคุณสมบัติวัตถุดิบที่คงที่ตามมาตรฐาน



รูปที่ 4.2 แสดงแผนผังการวิเคราะห์ปัญหาตามเวลาที่เกิด และกลุ่มสาเหตุของปัญหาที่เป็นไปได้

4.1.1 การทดสอบตามกะการทำงาน

การผลิตยางรถยนต์ตัวอย่างของโรงงานกรณีศึกษาเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตหลัก 3 กระบวนการ ที่เกี่ยวข้องกับปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง คือ การผลิตชิ้นส่วนหน้ายาง การสร้างแบบยาง และการขึ้นรูปและอบยาง แต่ละกระบวนการมีความแตกต่างตามกะการทำงาน ดังนี้

- การผลิตชิ้นส่วนหน้ายาง
เป็นกระบวนการที่ใช้เครื่องจักรเครื่องเดียว และใช้ระบบควบคุมการผลิตแบบอัตโนมัติทำงานแทนคน ดังนั้น กระบวนการนี้จึงไม่มีความแตกต่างในการทำงานแต่ละกะ
- การสร้างแบบยาง
มีเครื่องจักรที่สามารถใช้สร้างยางรถยนต์ตัวอย่างได้ 4 เครื่อง การทำงานแบ่งเป็น 3 กะการทำงาน มีพนักงานประจำเครื่อง 1 คน/เครื่อง/กะ ดังนั้น จึงมีพนักงานที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 12 คน
- การขึ้นรูปและอบยาง
กระบวนการนี้เป็นการผลิตแบบอัตโนมัติ ไม่ใช่คนในการทำงานหลัก แต่มีเครื่องจักรที่สามารถใช้ในการผลิตยางรถยนต์ตัวอย่างทั้งหมด 9 เครื่อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Chulalongkorn University

จากความแตกต่างของการผลิตแต่ละกระบวนการที่กล่าวข้างต้น ในขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหาการรอยแตกตามกะการทำงานจะแบ่งการทดสอบเป็น 6 ด้าน คือ

- ก) เปรียบเทียบสัดส่วนรอยแตกตามเครื่องสร้างแบบยาง
- ข) เปรียบเทียบขนาดรอยแตกตามเครื่องสร้างแบบยาง
- ค) เปรียบเทียบสัดส่วนรอยแตกตามพนักงานที่สร้างแบบยาง
- ง) เปรียบเทียบขนาดรอยแตกตามพนักงานที่สร้างแบบยาง
- จ) เปรียบเทียบสัดส่วนรอยแตกตามเครื่องอบยาง
- ฉ) เปรียบเทียบขนาดรอยแตกตามเครื่องอบยาง

- ก) เปรียบเทียบสัดส่วนรอยแตกตามเครื่องสร้างแบบยาง
ทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่างของสัดส่วนรอยแตกบริเวณขอบยางของ
ยางที่สร้างจากเครื่องจักรทั้ง 4 เครื่อง โดยจับคู่ทดสอบสมมติฐานแบบสอง
ด้าน (two-tailed test) ที่ระดับนัยสำคัญ 95% ($\alpha = 0.05$)

กำหนดให้ H_0 สัดส่วนปัญหารอยแตกเท่ากัน ($p_a = p_b$)

H_1 สัดส่วนปัญหารอยแตกต่างกัน ($p_a \neq p_b$)

โดย p_a คือ สัดส่วนรอยแตกของยางที่ผลิตที่

เครื่องสร้าง a

คือ สัดส่วนรอยแตกของยางที่ผลิตที่

เครื่องสร้าง b

สถิติที่ใช้ในการทดสอบ $Z = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\hat{p}\hat{q}\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$

ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

เครื่องสร้าง	1	2	3	4
ผลิต (เส้น)	250	250	250	250
ปัญหารอยแตก (เส้น)	17	17	16	19
ปัญหารอยแตก (%)	6.8	6.8	6.4	7.6

ตัวอย่างการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบเครื่องสร้างที่ 3 และ 4

$$Z_{3,4} = \frac{0.076 - 0.064}{\sqrt{(0.930)(0.070)\left(\frac{1}{250} + \frac{1}{250}\right)}} = 0.526$$

เกณฑ์การตัดสินใจ จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $z > 1.96$ หรือ $z < -1.96$

$Z = 0.526$ มากกว่า -1.96 และน้อยกว่า 1.96 ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธ H_0 และสรุปว่าสัดส่วนรอยแตกของยางที่ผลิตจากเครื่องสร้างแบบที่ 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จากการคำนวณลักษณะเดียวกัน จะได้ผลการทดสอบเครื่องจักรทุกคู่ดังนี้

เครื่องสร้าง	4	3	2
1	0.346	0.180	0.000
2	0.346	0.180	
3	0.526		

ค่า Z ทุกตัวมีค่ามากกว่า -1.96 และน้อยกว่า 1.96 ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธ H_0 และสรุปได้ว่า สัดส่วนรอยแตกของยางที่ผลิตจากเครื่องสร้างแบบทุกเครื่อง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

- ข) เปรียบเทียบขนาดรอยแตกตามเครื่องสร้างแบบยาง
ทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่างของขนาดรอยแตกเฉลี่ยบริเวณขอบยางของยางที่สร้างจากเครื่องจักรทั้ง 4 เครื่อง โดยจับคู่ทดสอบสมมติฐานแบบสองด้าน (two-tailed test) ที่ระดับนัยสำคัญ 95% ($\alpha = 0.05$)

กำหนดให้ H_0 ขนาดปัญหารอยแตกเฉลี่ยเท่ากัน ($\mu_a = \mu_b$)
 H_1 ขนาดปัญหารอยแตกเฉลี่ยต่างกัน ($\mu_a \neq \mu_b$)
 โดย μ_a คือ ขนาดรอยแตกเฉลี่ยของยางที่ผลิตที่เครื่องสร้าง a
 μ_b คือ ขนาดรอยแตกเฉลี่ยของยางที่ผลิตที่เครื่องสร้าง b

สถิติที่ใช้ในการทดสอบ
$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

เครื่องสร้าง	1	2	3	4
ผลิต (เส้น)	250	250	250	250
จำนวนรอยแตก (เส้น)	17	17	16	19
ขนาดรอยแตกเฉลี่ย (มม.)	12.3	11.3	12.1	12.9
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD.)	3.48	3.07	3.46	3.27

ตัวอย่างการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบเครื่องสร้างที่ 2 และ 4

$$t_{2,4} = \frac{(12.9 - 11.3)}{\sqrt{\frac{3.27^2}{19} + \frac{3.07^2}{17}}} = 0.543 \quad d_f = 34$$

เกณฑ์การตัดสินใจ จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $t > 2.03$ หรือ $t < -2.03$

$t = 0.543$ มากกว่า -2.03 และน้อยกว่า 2.03 ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธ H_0 และสรุปว่าขนาดรอยแตกเฉลี่ยของยางที่ผลิตจากเครื่องสร้างแบบที่ 2 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการคำนวณลักษณะเดียวกัน จะได้ผลการทดสอบเครื่องจักรทุกคู่ดังนี้

เครื่องสร้าง	4	3	2
1	0.531	0.165	0.888
2	1.514	0.701	
3	0.699		

ค่า t ทุกตัวมีค่าไม่เกินค่า t critical ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธ H_0 และสรุปได้ว่าขนาดรอยแตกเฉลี่ยของยางที่ผลิตจากเครื่องสร้างแบบทุกเครื่องไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

- ค) เปรียบเทียบสัดส่วนรอยแตกตามพนักงานที่สร้างแบบยาง
ทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่างของสัดส่วนรอยแตกบริเวณขอบยางของ
ยางที่สร้างจากโดยพนักงานทั้ง 12 คน โดยจับคู่ทดสอบสมมติฐานแบบสอง
ด้าน (two-tailed test) ที่ระดับนัยสำคัญ 95% ($\alpha = 0.05$)

กำหนดให้ H_0 สัดส่วนปัญหารอยแตกเท่ากัน ($p_a = p_b$)

H_1 สัดส่วนปัญหารอยแตกต่างกัน ($p_a \neq p_b$)

โดย p_a คือ สัดส่วนรอยแตกของยางที่ผลิตโดย

พนักงาน a

คือ สัดส่วนรอยแตกของยางที่ผลิตโดย

พนักงาน b

สถิติที่ใช้ในการทดสอบ
$$Z = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\hat{p}\hat{q}\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

พนักงาน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ผลิต (เส้น)	85	82	83	83	85	82	82	83	85	83	84	83
รอยแตก (เส้น)	5	6	6	7	5	5	5	5	6	7	6	6
รอยแตก (%)	5.88	7.32	7.23	8.43	5.88	6.10	6.10	6.02	7.06	8.43	7.14	7.23

ตัวอย่างการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบเครื่องสร้างที่ 8 และ 10

$$Z_{8,10} = \frac{0.0843 - 0.0602}{\sqrt{(0.928)(0.072)\left(\frac{1}{83} + \frac{1}{83}\right)}} = 0.600$$

เกณฑ์การตัดสินใจ จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $z > 1.96$ หรือ $z < -1.96$

$Z = 0.600$ มากกว่า -1.96 และน้อยกว่า 1.96 ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธ H_0 และสรุปว่าสัดส่วนรอยแตกของยางที่ผลิตจากพนักงานคนที่ 8 และ 10 นั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จากการคำนวณลักษณะเดียวกัน จะได้ผลการทดสอบพนักงานทุกคู่ดังนี้

พนักงาน	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
1	0.353	0.332	0.641	0.313	0.038	0.060	0.060	0.000	0.641	0.353	0.375
2	0.022	0.045	0.265	0.065	0.335	0.312	0.312	0.375	0.265	0.022	
3	0.000	0.023	0.288	0.043	0.313	0.291	0.291	0.353	0.288		
4	0.288	0.311	0.000	0.332	0.600	0.577	0.577	0.641			
5	0.353	0.332	0.641	0.313	0.038	0.060	0.060				
6	0.291	0.269	0.577	0.250	0.022	0.000					
7	0.291	0.269	0.577	0.250	0.022						
8	0.313	0.292	0.600	0.273							
9	0.043	0.020	0.332								
10	0.288	0.311									
11	0.023										

ค่า Z ทุกตัวมีค่ามากกว่า -1.96 และน้อยกว่า 1.96 ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธ H_0 และสรุปได้ว่า สัดส่วนรอยแตกของยางที่ผลิตโดยพนักงานสร้างแบบทุกคนนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

- ง) เปรียบเทียบขนาดรอยแตกตามพนักงานที่สร้างแบบยาง
ทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่างของขนาดรอยแตกเฉลี่ยบริเวณขอบยางของยางที่สร้างจากพนักงานทั้ง 12 คน โดยจับคู่ทดสอบสมมติฐานแบบสองด้าน (two-tailed test) ที่ระดับนัยสำคัญ 95% ($\alpha = 0.05$)

กำหนดให้ H_0 ขนาดปัญหารอยแตกเฉลี่ยเท่ากัน ($\mu_a = \mu_b$)
 H_1 ขนาดปัญหารอยแตกเฉลี่ยต่างกัน ($\mu_a \neq \mu_b$)

โดย μ_a คือ ขนาดรอยแตกเฉลี่ยของยางที่ผลิตโดย
พนักงาน a
 μ_b คือ ขนาดรอยแตกเฉลี่ยของยางที่ผลิตโดย
พนักงาน b

สถิติที่ใช้ในการทดสอบ $t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$

ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

พนักงาน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ผลิต (เส้น)	85	82	83	83	85	82	82	83	85	83	84	83
รอยแตก (เส้น)	5	6	6	7	5	5	5	5	6	7	6	6
ขนาดรอย แตก เฉลี่ย (มม.)	12.9	11.2	12.7	10.7	12.9	13.3	12.3	11.7	11.8	13.3	12.8	11.2
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (SD.)	3.68	3.77	2.91	4.02	3.22	3.89	2.71	4.22	3.90	3.33	2.75	2.82

ตัวอย่างการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบพนักงานคนที่ 4 และ 6

$$t_{4,6} = \frac{(13.3 - 10.7)}{\sqrt{\frac{3.89^2}{5} + \frac{4.02^2}{7}}} = 1.121 \quad d_f = 10$$

เกณฑ์การตัดสินใจ จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $t > 2.28$ หรือ $t < -2.28$

$t = 1.121$ มากกว่า -2.28 และน้อยกว่า 2.28 ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธ H_0 และสรุปว่าขนาดรอยแตกเฉลี่ยของยางที่ผลิตโดยพนักงานคนที่ 4 และ 6 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จากการคำนวณลักษณะเดียวกัน จะได้ผลการทดสอบพนักงานทุกคู่ดังนี้

พนักงาน	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
1	0.846	0.050	0.169	0.511	0.495	0.313	0.150	0.027	0.996	0.108	0.750
2	0.005	0.835	1.026	0.235	0.185	0.536	0.883	0.773	0.250	0.756	
3	0.895	0.073	0.329	0.478	0.457	0.247	0.275	0.086	1.042		
4	0.278	1.127	1.308	0.482	0.409	0.818	1.121	1.037			
5	0.890	0.022	0.214	0.517	0.497	0.308	0.186				
6	0.987	0.222	0.005	0.649	0.623	0.472					
7	0.634	0.327	0.567	0.265	0.268						
8	0.208	0.519	0.701	0.028							
9	0.270	0.549	0.749								
10	1.202	0.267									
11	0.995										

ค่า t ทุกตัวมีค่าไม่เกินค่า t critical ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธ H_0 และสรุปได้ว่าขนาดรอยแตกเฉลี่ยของยางที่ผลิตโดยพนักงานสร้างแบบทุกคนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

- จ) เปรียบเทียบสัดส่วนรอยแตกตามเครื่องอบยาง
ทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่างของสัดส่วนรอยแตกบริเวณขอบยางของยางที่ผลิตโดยใช้เครื่องอบยาง 9 เครื่อง โดยจับคู่ทดสอบสมมติฐานแบบสองด้าน (two-tailed test) ที่ระดับนัยสำคัญ 95% ($\alpha = 0.05$)

กำหนดให้	H_0	สัดส่วนปัญหา รอยแตกเท่ากัน ($p_a = p_b$)
	H_1	สัดส่วนปัญหา รอยแตกต่างกัน ($p_a \neq p_b$)
โดย	p_a	คือ สัดส่วนรอยแตกของยางที่ผลิตโดย เครื่องอบ a
	p_b	คือ สัดส่วนรอยแตกของยางที่ผลิตโดย เครื่องอบ b

สถิติที่ใช้ในการทดสอบ
$$Z = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\hat{p}\hat{q}\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

เครื่องอบยาง	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ผลิต (เส้น)	100	100	100	100	100	100	100	100	100
จำนวนรอยแตก (เส้น)	8	9	7	8	7	6	7	9	8
ปัญหา รอยแตก (%)	8.00	9.00	7.00	8.00	7.00	6.00	7.00	9.00	8.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ตัวอย่างการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบเครื่องอบยางที่ 6 และ 8
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$Z_{6,8} = \frac{0.09 - 0.06}{\sqrt{(0.925)(0.075)\left(\frac{1}{100} + \frac{1}{100}\right)}} = 0.805$$

เกณฑ์การตัดสินใจ จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $z > 1.96$ หรือ $z < -1.96$

$Z = 0.805$ มากกว่า -1.96 และน้อยกว่า 1.96 ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธ H_0 และสรุปว่าสัดส่วนรอยแตกของยางที่ผลิตจากเครื่องอบยางที่ 6 และ 8 นั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการทดสอบเครื่องอบยางทุกคู่เป็นดังนี้

เครื่องอบ	9	8	7	6	5	4	3	2
1	0.000	0.254	0.268	0.554	0.268	0.000	0.268	0.254
2	0.254	0.000	0.521	0.805	0.521	0.254	0.521	
3	0.268	0.521	0.000	0.287	0.000	0.268		
4	0.000	0.254	0.268	0.554	0.268			
5	0.268	0.521	0.000	0.287				
6	0.554	0.805	0.287					
7	0.268	0.521						
8	0.254							

ค่า Z ทุกตัวมีค่ามากกว่า -1.96 และน้อยกว่า 1.96 ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธ H_0 และสรุปได้ว่า สัดส่วนรอยแตกของยางที่ผลิตโดยใช้เครื่องอบยางทุกเครื่องนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ฉ) เปรียบเทียบขนาดรอยแตกตามเครื่องอบยาง

ทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่างของขนาดรอยแตกเฉลี่ยบริเวณขอบยางของยางที่สร้างโดยใช้เครื่องอบยางทั้ง 9 เครื่อง โดยจับคู่ทดสอบสมมติฐานแบบสองด้าน (two-tailed test) ที่ระดับนัยสำคัญ 95% ($\alpha = 0.05$)

กำหนดให้ H_0 ขนาดปัญหาการรอยแตกเฉลี่ยเท่ากัน ($\mu_a = \mu_b$)
 H_1 ขนาดปัญหาการรอยแตกเฉลี่ยต่างกัน ($\mu_a \neq \mu_b$)

โดย μ_a คือ ขนาดรอยแตกเฉลี่ยของยางที่ผลิตโดย
เครื่องอบ a
 μ_b คือ ขนาดรอยแตกเฉลี่ยของยางที่ผลิตโดย
เครื่องอบ b

สถิติที่ใช้ในการทดสอบ
$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน

เครื่องอบยาง	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ผลิต (เส้น)	100	100	100	100	100	100	100	100	100
ปัญหารอยแตก (เส้น)	8	9	7	8	7	6	7	9	8
ขนาดรอยแตกเฉลี่ย (มม.)	11.7	13.1	10.6	12.7	13.5	12.3	13.4	11.8	10.8
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD.)	3.32	3.49	3.54	2.98	3.58	3.11	3.68	3.35	3.04

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ตัวอย่างการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบเครื่องอบยางที่ 3 และ 5
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$t_{3,5} = \frac{(13.5 - 10.6)}{\sqrt{\frac{3.58^2}{7} + \frac{3.54^2}{7}}} = 1.524 \quad d_f = 12$$

เกณฑ์การตัดสินใจ จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $t > 2.19$ หรือ $t < -2.19$

$t = 1.524$ มากกว่า -2.19 และน้อยกว่า 2.19 ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธ H_0 และสรุปว่าขนาดรอยแตกเฉลี่ยของยางที่ผลิตโดยเครื่องอบยางที่ 3 และ 5 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จากการคำนวณลักษณะเดียวกัน จะได้ผลการทดสอบเครื่องอบทุกคู่ดังนี้

เครื่องอบ	9	8	7	6	5	4	3	2
1	0.565	0.062	0.934	0.347	1.005	0.634	0.618	0.847
2	1.452	0.806	0.165	0.465	0.224	0.255	1.410	
3	0.117	0.689	1.451	0.922	1.524	1.233		
4	1.262	0.586	0.401	0.242	0.466			
5	1.562	0.969	0.052	0.647				
6	0.902	0.296	0.584					
7	1.479	0.897						
8	0.645							

ค่า t ทุกตัวมีค่าไม่เกินค่า t critical ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธ H_0 และสรุปได้ว่าขนาดรอยแตกเฉลี่ยของยางที่ผลิตโดยใช้เครื่องอบทุกเครื่องไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

4.1.2 การทดสอบตามเดือนที่ผลิต

ในการผลิตยางรุ่นตัวอย่างของโรงงานกรณีศึกษา มีการใช้วัตถุดิบยางธรรมชาติเป็นส่วนประกอบหนึ่งในชิ้นส่วนหน้ายาง ซึ่งโดยปกติแล้วจะใช้ยางธรรมชาติจากแหล่งผลิตเดียวกันตลอด แต่จากการศึกษาบันทึกการใช้วัตถุดิบพบว่ามีการทดลองใช้วัตถุดิบจากแหล่งทดแทนเป็นระยะเวลาประมาณ 1 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ดังนั้นในงานศึกษานี้จึงใช้ช่วงเวลาดังกล่าวในการวิเคราะห์สัดส่วนรอยแตก และเปรียบเทียบกับข้อมูลปัญหาในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน เพื่อพิสูจน์ว่าแหล่งวัตถุดิบมีผลต่อสัดส่วนการเกิดรอยแตกบริเวณขอบยางหรือไม่

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลสัดส่วนรอยแตกบริเวณขอบยางตามแหล่งวัตถุดิบ

ช่วงเวลา	พ.ย. 59	ธ.ค. 59	ม.ค. 60
ล็อตการผลิต	4516 - 4716	4816 - 5116	5216 - 0517
แหล่งวัตถุดิบ	ก	ข	ก
ปริมาณผลิต (เส้น)	15,591	21,953	21,764
ปัญหารอยแตก (%)	6.51	7.21	6.80

ทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่างของสัดส่วนรอยแตกบริเวณขอบยางของยางที่ผลิตโดยใช้ยางธรรมชาติจากแหล่งวัตถุดิบแต่ละที่ โดยจับคู่ทดสอบสมมติฐานแบบสองด้าน (two-tailed test) ที่ระดับนัยสำคัญ 95% ($\alpha = 0.05$)

กำหนดให้ H_0 สัดส่วนปัญหารอยแตกเท่ากัน ($p_a = p_b$)

H_1 สัดส่วนปัญหารอยแตกต่างกัน ($p_a \neq p_b$)

โดย p_a คือ สัดส่วนรอยแตกของยางที่ผลิตโดยใช้ยางธรรมชาติ ก.

p_b คือ สัดส่วนรอยแตกของยางที่ผลิตโดยใช้ยางธรรมชาติ ข.

$$\text{สถิติที่ใช้ในการทดสอบ } Z = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\hat{p}\hat{q}\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

ตัวอย่างการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสัดส่วนรอยแตกบริเวณขอบยาง ของยางที่ผลิตในช่วงเดือนพฤศจิกายน กับธันวาคม พ.ศ.2559

$$Z = \frac{0.0721 - 0.0651}{\sqrt{(0.932)(0.068)\left(\frac{1}{21953} + \frac{1}{15591}\right)}} = 2.655$$

เกณฑ์การตัดสินใจ จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $z > 1.96$ หรือ $z < -1.96$

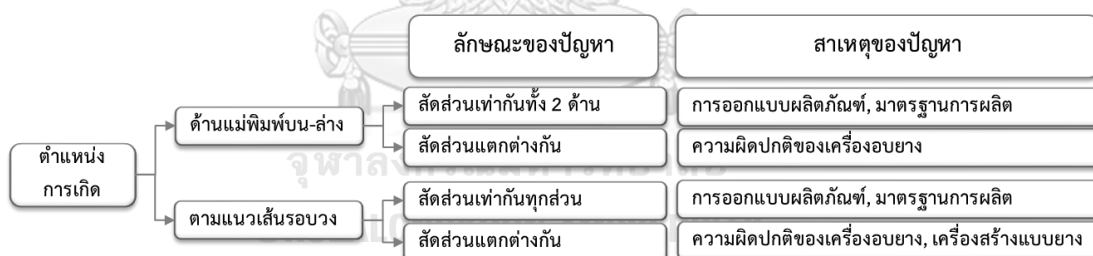
$Z = 2.655$ มีค่ามากกว่า 1.96 ดังนั้นจึงปฏิเสธ H_0 และสรุปว่าแหล่งวัตถุดิบยางธรรมชาติมีผลต่อสัดส่วนรอยแตกบริเวณขอบยางอย่างมีนัยสำคัญ

4.2 การทดสอบตามตำแหน่งการเกิดปัญหา

ในการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสัดส่วนการเกิดปัญหาตามตำแหน่งการเกิด จะแบ่งการทดสอบเป็นสองด้าน คือ ทดสอบตามด้านแม่พิมพ์บน-ล่าง และทดสอบตำแหน่งตามแนวเส้นรอบวง ดังแสดงในรูปที่ 4.3 เพื่อพิสูจน์ว่าปัญหารอยแตกเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอทุกตำแหน่งของขอบยางหรือไม่

สำหรับการวิเคราะห์ตำแหน่งตามด้านของแม่พิมพ์ผาบนและผาล่าง ถ้าสัดส่วนเท่ากันแสดงว่าสาเหตุของปัญหาอาจเกิดจากการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือมาตรฐานการผลิต แต่ถ้าสัดส่วนปัญหาที่ตำแหน่งแม่พิมพ์ผาบนและล่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อาจแสดงให้เห็นว่าเครื่องอบยางมีความผิดปกติ

ในส่วนของการทดสอบตามแนวเส้นรอบวง หากสัดส่วนเท่ากันจะแสดงถึงสาเหตุของปัญหาที่อาจเกิดจากการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือมาตรฐานการผลิตเช่นเดียวกัน แต่ถ้าสัดส่วนปัญหาแต่ละตำแหน่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จะแสดงถึงปัญหาจากเครื่องสร้างแบบ หรือเครื่องอบยาง



รูปที่ 4.3 แสดงแผนผังการวิเคราะห์ปัญหาตามตำแหน่งการเกิด

4.2.1 การทดสอบตามด้านแม่พิมพ์บน-ล่าง

เนื่องจากแม่พิมพ์ที่ใช้อบยางรุ่นตัวอย่างเป็นแบบประกบผาบนและล่าง ดังนั้นในการวิเคราะห์ตำแหน่งการเกิดปัญหาจึงแบ่งพื้นที่ของผลิตภัณฑ์ที่เกิดปัญหาออกเป็น 2 ส่วนตามด้านของแม่พิมพ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงการแบ่งพื้นที่ผลิตภัณฑ์ตามด้านของแม่พิมพ์

จากการเก็บข้อมูลตัวอย่างยางรุ่นตัวอย่างที่เกิดปัญหารอยแตกจำนวน 100 เส้น พบว่ามีปัญหารอยแตกรวม 404 จุด ซึ่งเกิดฝั่งแม่พิมพ์ฝาบ่นจำนวน 197 จุด และฝั่งแม่พิมพ์ฝาล่างจำนวน 207 จุด ดังแสดงในตารางที่ ก.6 ในภาคผนวก ก เมื่อนำข้อมูลมาทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่างของสัดส่วนรอยแตก โดยทดสอบสมมติฐานแบบสองด้าน (two-tailed test) ที่ระดับนัยสำคัญ 95% ($\alpha = 0.05$)

กำหนดให้ H_0 สัดส่วนปัญหารอยแตกเท่ากัน ($p_a = p_b$)
 H_1 สัดส่วนปัญหารอยแตกต่างกัน ($p_a \neq p_b$)
 โดย p_a คือ สัดส่วนรอยแตกของยางฝั่งแม่พิมพ์ฝาบ่น
 p_b คือ สัดส่วนรอยแตกของยางฝั่งแม่พิมพ์ฝาล่าง

$$\text{สถิติที่ใช้ในการทดสอบ } Z = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\hat{p}\hat{q}\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

เกณฑ์การตัดสินใจ จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $z > 1.96$ หรือ $z < -1.96$

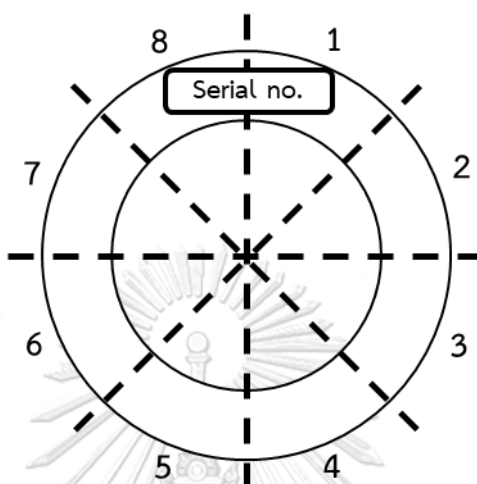
ผลการทดสอบ

$$Z = \frac{0.4876 - 0.5124}{\sqrt{(0.5)(0.5)\left(\frac{1}{404} + \frac{1}{404}\right)}} = -0.704$$

$Z = -0.704$ มีค่ามากกว่า -1.96 แต่ไม่เกิน 1.96 ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธ H_0 และสรุปว่า สัดส่วนรอยแตกที่เกิดขึ้นฝั่งแม่พิมพ์ฝาบ่นและล่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

4.2.2 การทดสอบตำแหน่งตามแนวเส้นรอบวง

จะแบ่งพื้นที่yangออกเป็น 8 ส่วนตามแนวเส้นรอบวง โดยใช้ตำแหน่งหมายเลขซีเรียล (Serial number) บนผลิตภัณฑ์เป็นจุดอ้างอิง ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงการแบ่งพื้นที่ผลิตภัณฑ์เป็น 8 ส่วนตามแนวเส้นรอบวง

จากข้อมูลตัวอย่างผลิตภัณฑ์รุ่นตัวอย่างที่เกิดปัญหา รอยแตกจำนวน 100 เส้น ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ ก.6 ในภาคผนวก ก พบว่ามีจำนวนรอยแตกที่เกิดขึ้นแต่ละตำแหน่งเท่าๆกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงจำนวนรอยแตกบริเวณขอบยางตามการแบ่งพื้นที่ตามแนวเส้นรอบวง

พื้นที่ที่	จำนวนรอยแตก (จุด)	สัดส่วนรอยแตก
1	51	0.126
2	52	0.129
3	41	0.101
4	53	0.131
5	53	0.131
6	55	0.136
7	46	0.114
8	53	0.131
รวม	404	1.000

จากนั้นนำข้อมูลมาทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่างของสัดส่วนรอยแตก โดยเลือกพื้นที่ที่ 3 และ 6 ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีสัดส่วนรอยแตกต่ำที่สุดและสูงที่สุดตามลำดับ โดยทดสอบสมมติฐานแบบสองด้าน (two-tailed test) ที่ระดับนัยสำคัญ 95% ($\alpha=0.05$)

กำหนดให้ H_0 สัดส่วนปัญหารอยแตกเท่ากัน ($p_3 = p_6$)

H_1 สัดส่วนปัญหารอยแตกต่างกัน ($p_3 \neq p_6$)

โดย p_3 คือ สัดส่วนรอยแตกของพื้นที่ 3

p_6 คือ สัดส่วนรอยแตกของพื้นที่ 6

สถิติที่ใช้ในการทดสอบ
$$Z = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\hat{p}\hat{q}\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

เกณฑ์การตัดสินใจ จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $z > 1.96$ หรือ $z < -1.96$

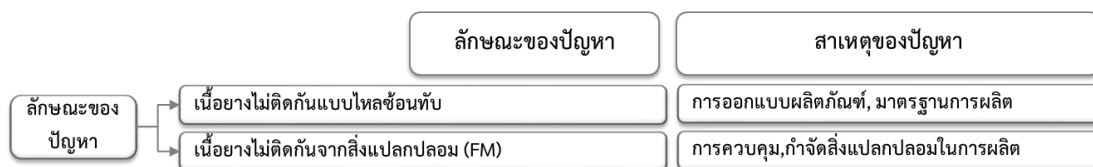
ผลการทดสอบ

$$Z = \frac{0.101 - 0.136}{\sqrt{(0.5)(0.5)\left(\frac{1}{404} + \frac{1}{404}\right)}} = -0.985$$

$Z = -0.985$ มีค่ามากกว่า -1.96 แต่ไม่เกิน 1.96 ดังนั้นจึงไม่ปฏิเสธ H_0 และสรุปว่า สัดส่วนรอยแตกที่เกิดขึ้นแต่ละพื้นที่ตามแนวเส้นรอบวงนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

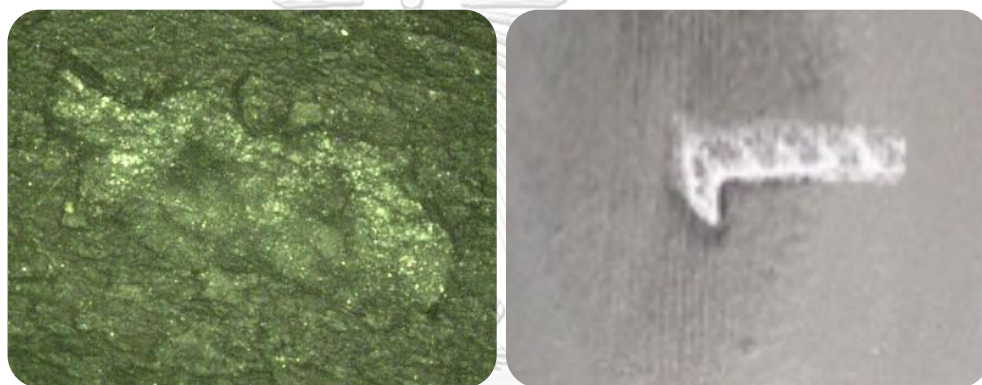
4.3 การทดสอบตามลักษณะของปัญหา

ปัญหาการรอยแตกบริเวณขอบยางสามารถแบ่งลักษณะของปัญหาได้เป็นสองกลุ่ม คือ รอยแตกแบบเนื้อยางไหลซ้อนทับ กับรอยแตกที่เกิดจากมีสิ่งแปลกปลอมในเนื้อยาง (Foreign Material, FM) ซึ่งส่งผลให้เนื้อยางไม่สามารถประสานกันได้ตามปกติ ในการวิเคราะห์ปัญหาตามลักษณะของปัญหานั้น หากพบว่าปัญหาการรอยแตกมีสัดส่วนการเกิดมาก จะต้องปรับปรุงการควบคุมและกำจัดสิ่งแปลกปลอมในกระบวนการผลิตต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงแผนผังการวิเคราะห์ปัญหาตามลักษณะของปัญหา

จากการเก็บข้อมูลลักษณะของรอยแตกบริเวณขอบยาง 404 จุด จากตัวอย่างยางจำนวน 100 เส้น พบว่าปัญหา 398 จุด หรือประมาณร้อยละ 98.5 เป็นปัญหาปกติซึ่งเกิดจากเนื้อมีความไม่ติดกันแบบไหลซ้อนทับ ปัญหาที่เหลืออีกร้อยละ 1.5 เป็นจุดมีสิ่งแปลกปลอมอยู่ระหว่างเนื้อมีลักษณะตามรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงปัญหารอยแตกแบบมีสิ่งแปลกปลอมในเนื้อมี

หากทดสอบเปรียบเทียบสัดส่วนปัญหาที่เกิดจากเนื้อมีความไม่ติดกันแบบไหลซ้อนทับกับเนื้อมีความไม่ติดกันจากสิ่งแปลกปลอมโดยทดสอบสมมติฐานแบบสองด้าน (two-tailed test) ที่ระดับนัยสำคัญ 95% ($\alpha=0.05$)

กำหนดให้	H_0	สัดส่วนปัญหารอยแตกเท่ากัน ($p_a = p_b$)
	H_1	สัดส่วนปัญหารอยแตกต่างกัน ($p_a \neq p_b$)
โดย	p_a	คือ สัดส่วนรอยแตกจากเนื้อมีความไม่ติดกันแบบไหลซ้อนทับ
	p_b	คือ สัดส่วนรอยแตกจากสิ่งแปลกปลอม

สถิติที่ใช้ในการทดสอบ
$$Z = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\hat{p}\hat{q}\left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

เกณฑ์การตัดสินใจ จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ $z > 1.96$ หรือ $z < -1.96$

ผลการทดสอบ

$$Z = \frac{0.985 - 0.015}{\sqrt{(0.5)(0.5)\left(\frac{1}{404} + \frac{1}{404}\right)}} = 27.581$$

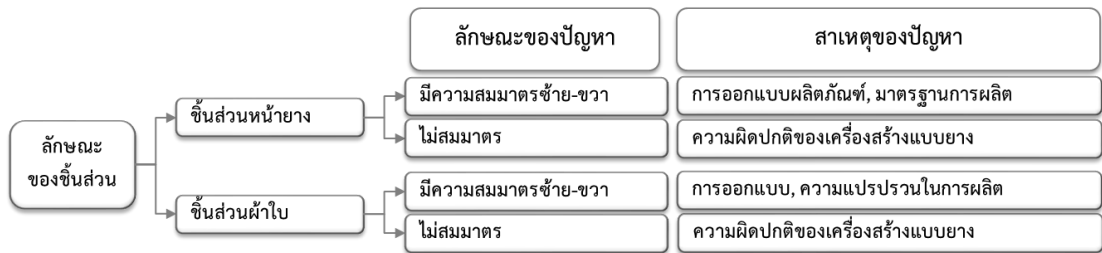
ซึ่งค่า $Z = 27.581$ มีค่ามากกว่า 1.96 ดังนั้นจึงปฏิเสธ H_0 และสรุปว่าสัดส่วนรอยแตกที่เกิดขึ้นแบบเนื้อยางไหลซ้อนทับนั้น มีความแตกต่างจากรอยแตกจากสิ่งแปลกปลอมอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น งานศึกษานี้จะไม่พิจารณาแก้ไขปัญหารอยแตกที่มีสาเหตุจากสิ่งแปลกปลอม

4.4 การทดสอบตามลักษณะของชิ้นส่วนประกอบ

ปัจจัยหนึ่งที่สามารถส่งผลให้เกิดการไหลที่ผิดปกติของเนื้อยาง คือ ความสมมาตรของชิ้นส่วนหน้ายาง และชิ้นส่วนผ้าใบ หากขณะสร้างแบบยางชิ้นส่วนทั้งสองเอียงไปด้านใดด้านหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.8 จะทำให้รูปทรงของแบบยางผิดปกติขณะถูกขึ้นรูปในเครื่องอบยาง และส่งผลต่อการไหลของเนื้อยางได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.9

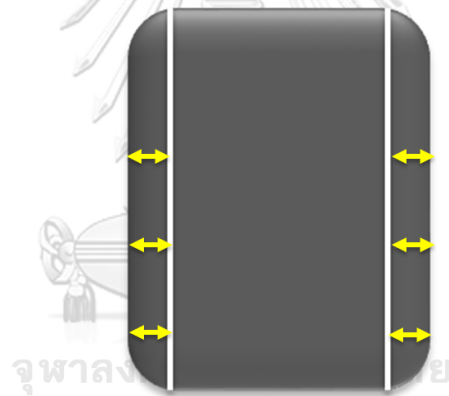


รูปที่ 4.8 แสดงชิ้นส่วนหน้ายางแบบสมมาตรและแบบเอียง



รูปที่ 4.9 แสดงแผนผังการวิเคราะห์ปัญหาจากลักษณะของชั้นส่วนประกอบ

จากการเก็บข้อมูลจากกระบวนการผลิตจริงของยางรุ่นตัวอย่าง โดยทำการวัดระยะจากปลายหน้ายางถึงขอบยางเปรียบเทียบด้านซ้ายและขวา ดังแสดงในรูปที่ 4.10 สำหรับชั้นส่วนผ้าใบใช้การวัดระยะจากจุดกึ่งกลางแบบยางไปด้านซ้ายและขวา ดังรูปที่ 4.11 พบว่าชั้นส่วนหน้ายางและชั้นส่วนผ้าใบมีความสมมาตรทั้งหมด เนื่องจากขั้นตอนการประกอบชั้นส่วนทั้งสองใช้ระบบอัตโนมัติของเครื่องจักร



รูปที่ 4.10 แสดงวิธีการวัดระยะจากปลายหน้ายางถึงขอบยาง



รูปที่ 4.11 แสดงวิธีการตรวจสอบความสมมาตรของชั้นส่วนผ้าใบ

4.5 สรุปผลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

จากการวิเคราะห์ลักษณะของปัญหาทั้ง 4 ด้าน สามารถสรุปผลได้ดังนี้

หัวข้อ	ผลการวิเคราะห์	สาเหตุของปัญหา
ช่วงเวลาที่เกิดปัญหา	<ol style="list-style-type: none"> เมื่อพิจารณาตามกะการทำงาน พบว่าสัดส่วนและขนาดของปัญหาคงที่ทุกช่วงเวลา เมื่อพิจารณาตามเดือนที่ผลิต พบสัดส่วนรอยแตกที่ต่างกันตามแหล่งวัตถุดิบยางธรรมชาติ 	<ol style="list-style-type: none"> 1.1 ปัญหาเกิดจากการออกแบบผลิตภัณฑ์ หรือมาตรฐานการผลิตที่ไม่เหมาะสม 1.2 ความแตกต่างของเครื่องสร้างแบบ และเครื่องอบยางไม่ใช่สาเหตุของปัญหารอยแตก 1.3 ความแตกต่างของพนักงานสร้างแบบไม่ใช่สาเหตุของปัญหารอยแตก 2. แหล่งวัตถุดิบยางธรรมชาติที่ต่างกัน เป็นสาเหตุของปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง
ตำแหน่งการเกิด	รอยแตกเกิดขึ้นใกล้เคียงกันทุกตำแหน่งตามตำแหน่งแม่พิมพ์ด้านบน-ล่าง และตามแนวเส้นรอบวงของยาง	เครื่องอบยาง เครื่องสร้างแบบ และแม่พิมพ์ไม่ใช่สาเหตุของรอยแตกบริเวณขอบยาง
ลักษณะของปัญหา	ปัญหาที่มีลักษณะเนื้อยางไม่ติดกันแบบไหลซ้อนทับ เกิดมากกว่าปัญหาจากสิ่งแปลกปลอมอย่างมีนัยสำคัญ	สิ่งแปลกปลอม (FM) ไม่ใช่สาเหตุหลักของปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง
ลักษณะของชิ้นส่วนประกอบ	<ol style="list-style-type: none"> 1. ชิ้นส่วนหน้ายางมีความสมมาตรซ้าย-ขวา 2. ชิ้นส่วนผ้าใบมีความสมมาตรซ้าย-ขวา 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ความผิดปกติของชิ้นส่วนหน้ายางไม่ใช่สาเหตุของปัญหา 2. ความผิดปกติของชิ้นส่วนผ้าใบไม่ใช่สาเหตุของปัญหา

จากการวิเคราะห์สาเหตุตามแนวทางข้างต้น สามารถแบ่งกลุ่มสาเหตุของปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางได้ 2 กลุ่ม คือ

1. สาเหตุจากการออกแบบผลิตภัณฑ์ หรือการกำหนดมาตรฐานการผลิต
2. สาเหตุจากคุณภาพของแหล่งวัตถุดิบยางธรรมชาติ

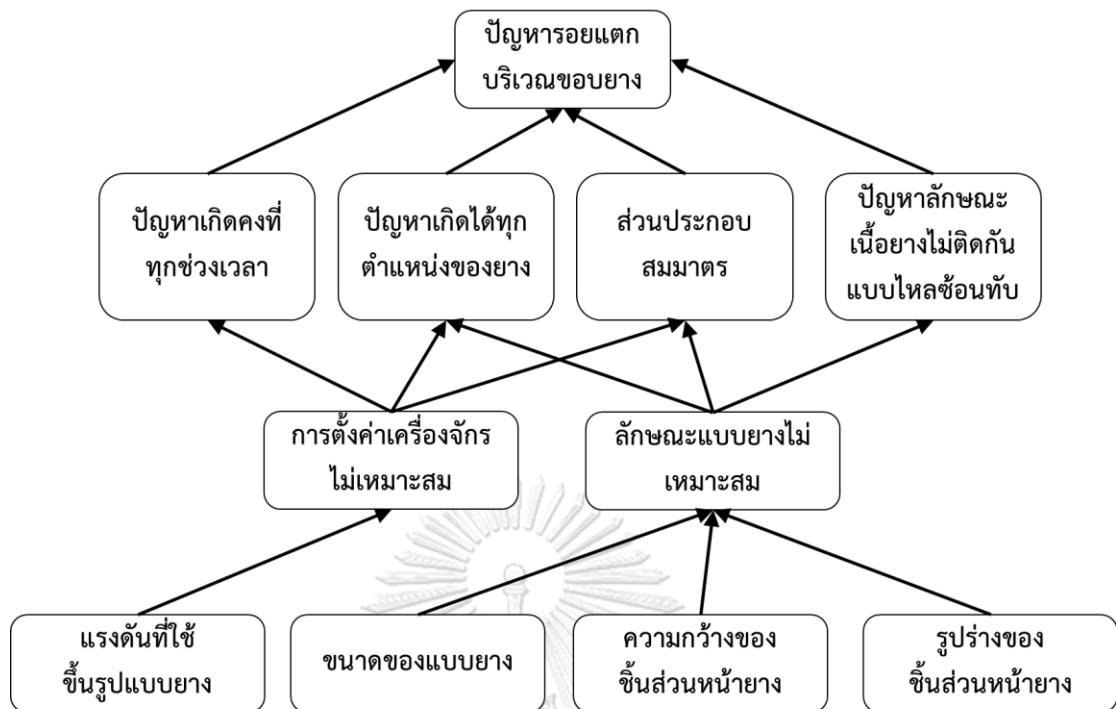
อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาข้อมูลการใช้วัตถุดิบยางธรรมชาติในการสร้างยางรุ่นตัวอย่างของโรงงานกรณีศึกษา พบว่ามีการทดลองใช้ยางธรรมชาติจากแหล่งทดแทนเป็นระยะเวลาเพียง 1 เดือน ทำให้ไม่สามารถศึกษาและทดลองเพื่อแก้ไขปัญหาใดๆเพิ่มเติมได้ และจากขอบเขตของการศึกษาที่จะมุ่งเน้นแก้ไขสาเหตุจากกระบวนการผลิต ดังนั้น ในงานศึกษานี้จะพิจารณาเฉพาะสาเหตุจากการออกแบบผลิตภัณฑ์ หรือการกำหนดมาตรฐานการผลิตเท่านั้น สำหรับสาเหตุจากคุณภาพของแหล่งวัตถุดิบยางธรรมชาติ งานศึกษานี้จะเพียงแต่แนะนำแนวทางในการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคตต่อไป

จากการพิสูจน์เบื้องต้น สามารถสรุปลักษณะของปัญหาทั้ง 4 ด้านได้ดังนี้

1. ปัญหาเกิดขึ้นคงที่ทุกช่วงเวลา
2. ปัญหาเกิดบริเวณขอบยางได้ทุกตำแหน่งของยาง
3. ปัญหาเกิดขึ้นเมื่อใช้ชิ้นส่วนประกอบที่สมมาตร
4. ปัญหาเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องไม่ติดกันแบบไหลซ้อนทับ

เมื่อนำลักษณะของปัญหาที่พบมาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยศึกษาทฤษฎีการผลิตยาง และจากการระดมสมองผู้มีประสบการณ์ในการแก้ไขปัญหาในโรงงานกรณีศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 4.12 สามารถสรุปสาเหตุที่เกี่ยวข้องกับการไหลของเนื้อยางบริเวณขอบยางได้ดังนี้

1. การตั้งค่าเครื่องจักรที่ไม่เหมาะสม
2. ลักษณะแบบยางที่ไม่เหมาะสม
 - 2.1 ขนาดของแบบยาง
 - 2.2 ความกว้างของชิ้นส่วนหน้ายาง
 - 2.3 รูปร่างของชิ้นส่วนหน้ายาง

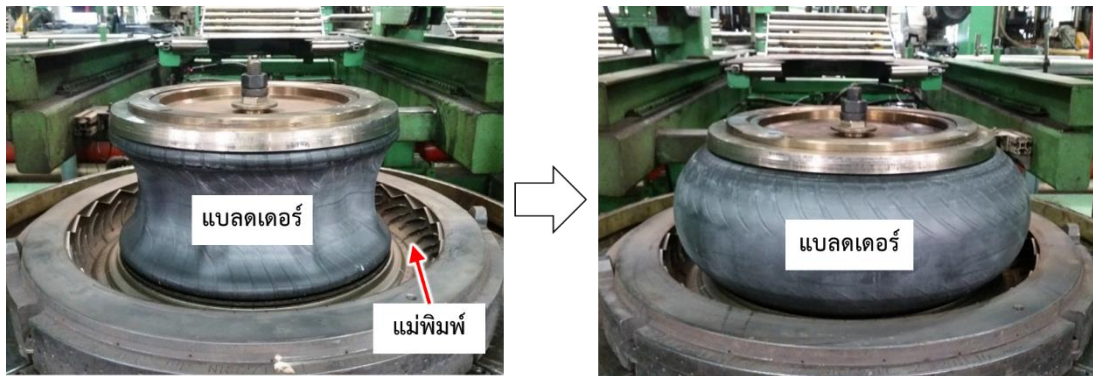


รูปที่ 4.12 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการรอยแตกบริเวณขอบยาง

สำหรับการตั้งค่าเครื่องจักรนั้น มีกระบวนการที่เกี่ยวข้อง คือ การสร้างแบบและการอบยาง แต่จากการพิสูจน์สาเหตุเบื้องต้นพบว่าไม่มีปัญหาใดๆในกระบวนการสร้างแบบ ดังนั้นในงานศึกษานี้จึงพิจารณาเฉพาะเครื่องอบยาง ซึ่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องคือ แรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบยาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในขั้นตอนการขึ้นรูปแบบยางภายในแม่พิมพ์อบยางมีอุปกรณ์การผลิตที่สำคัญ คือ แบลดเดอร์ หรือถุงลมที่ผลิตจากยางสังเคราะห์ที่สามารถพองตัวได้เมื่อรับแรงดัน ลักษณะของแบลดเดอร์ก่อนการใช้งานและขณะรับแรงดันไอน้ำแสดงในรูปที่ 4.13 แบลดเดอร์มีหน้าที่รับแรงดันไอน้ำเพื่อจัดรูปทรงของแบบยางก่อนเริ่มการอบยาง ดังแสดงในรูปที่ 4.14 ระหว่างกระบวนการอบยางแบลดเดอร์จะกดแบบยางเข้าสู่แม่พิมพ์ และถ่ายเทความร้อนให้แบบยางเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน (Vulcanization)



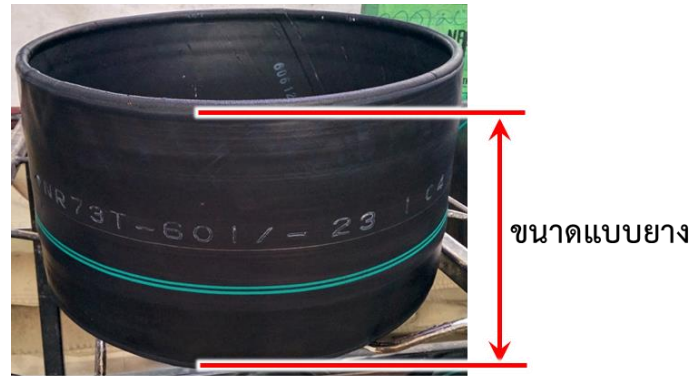
รูปที่ 4.13 ชิ้นส่วนแบลดเตอร์ที่พองตัวขณะรับแรงดันไอน้ำ



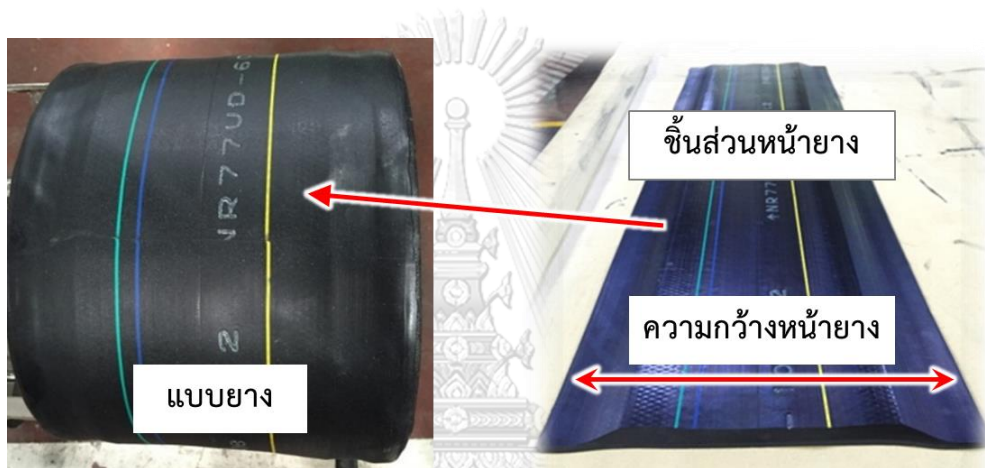
รูปที่ 4.14 แบบยางที่ถูกขึ้นรูปด้วยแรงดันไอน้ำ

ในส่วนของคุณลักษณะแบบยางที่ไม่เหมาะสม มี 3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเนื้อยางบริเวณขอบยาง คือ ขนาดของแบบยาง ความกว้างของชิ้นส่วนหน้ายาง และรูปร่างของชิ้นส่วนหน้ายาง แต่การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นส่วนหน้ายางนั้นไม่สามารถทำได้ เนื่องจากจะกระทบกับความหนาของเนื้อยางซึ่งเป็นข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ที่ตกลงไว้กับลูกค้า

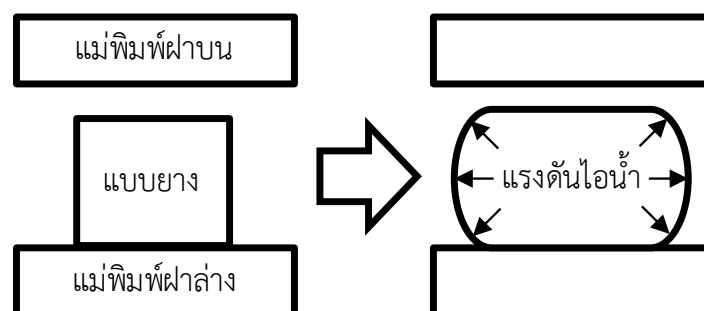
โดยสรุปจากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา พบปัจจัยที่สามารถทดลองเพื่อลดสัดส่วนรอยแตกบริเวณขอบยางได้สามประการ คือ 1.ขนาดของแบบยาง 2.ความกว้างของชิ้นส่วนหน้ายาง 3.แรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบยาง ดังรูปที่ 4.15 ถึง 4.17



รูปที่ 4.15 ขนาดของแบบยาง



รูปที่ 4.16 ความกว้างของชั้นส่วนหน้ายาง



รูปที่ 4.17 แรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบยาง

บทที่ 5

การทดลองเพื่อลดสัดส่วนรอยแตกบริเวณขอบยาง

การออกแบบการทดลอง เป็นเครื่องมือที่สำคัญที่ใช้เพื่อเพิ่มความเข้าใจในกระบวนการ ซึ่งมีประโยชน์หลายทาง เช่น ทำให้กระบวนการผลิตง่ายขึ้น, เพิ่มสมรรถนะและความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์, ลดต้นทุนการผลิต และช่วยลดเวลาในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้ ในงานศึกษานี้ได้ทำการทดลองลดสัดส่วนปัญหาการรอยแตกบริเวณขอบยางโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง โดยมีปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองดังนี้

5.1 ปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง

จากการคัดกรองปัจจัยนำเข้าเบื้องต้นในบทที่ 4 พบว่ามีปัจจัยนำเข้าที่จะถูกพิจารณาในการทดลอง 3 ปัจจัย คือ

1. ขนาดของแบบยาง (H)
2. ความกว้างของชิ้นส่วนหน้ายาง (W)
3. แร่งดันที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบยาง (P)

โดยมีตัวแปรตอบสนองคือ ขนาดของปัญหาการรอยแตกรวมที่เกิดขึ้นบนยางแต่ละเส้น

5.2 การออกแบบการทดลอง

งานศึกษานี้ในวิธีการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์ เบห์นเคน (Box-Behnken design) ในการทดลอง 3 ปัจจัย คือ ขนาดของแบบยาง ความกว้างของชิ้นส่วนหน้ายาง และแร่งดันที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบยาง และมีระดับของปัจจัย 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ กลาง และสูง ในการกำหนดค่าระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองนั้น ค่ากลางของแต่ละปัจจัยจะเป็นค่ามาตรฐานการผลิตที่ใช้ในปัจจุบัน สำหรับค่าต่ำและสูงจะถูกกำหนดจากค่าขอบเขตต่ำสุดและสูงสุดที่เป็นไปได้ในการผลิตที่จะไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ ซึ่งค่าดังกล่าวได้มาจากข้อมูลการออกแบบผลิตภัณฑ์ และประวัติการทดลองในขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ของโรงงานกรณีศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย	หน่วย	ระดับต่ำ	ระดับกลาง	ระดับสูง
ขนาดแบบยาง (H)	มิลลิเมตร	180	185	190
ความกว้างหน้ายาง (W)	มิลลิเมตร	186	191	196
แรงดันในการขึ้นรูป (P)	เมกะปาสกาล	0.10	0.12	0.14

ในการทดลองจำเป็นต้องมีการควบคุมปัจจัยภายนอกอื่นๆ นอกเหนือจาก 3 ปัจจัยนำเข้ดังกล่าว เพื่อควบคุมความคลาดเคลื่อนในการทดลองให้ได้มากที่สุด ดังนี้

1. ในการทดลองจะใช้ยางผสมจากล้อยืดเดียวกันตลอดการทดลอง ซึ่งการผสมยางแต่ละครั้งจะได้ยางน้ำหนักประมาณ 1,000 กิโลกรัม สามารถใช้ผลิตชิ้นส่วนหน้ายางที่มีน้ำหนักเส้นละ 1.75 กิโลกรัม ได้ประมาณ 540 เส้น
2. ในแต่ละกระบวนการจะใช้เครื่องจักรเดียวกันในการผลิตตลอดการทดลอง
3. ทำความสะอาดเครื่องจักรและแม่พิมพ์ที่เกี่ยวข้องก่อนเริ่มการทดลอง
4. ใช้พนักงานคนเดียวในการผลิตแบบยาง โดยจะสร้างแบบยางทดลองในช่วงเวลา 7:00–19:00 น. เท่านั้น
5. ลำดับการทดลองจะถูกสุ่ม และดำเนินการทดลองตามผลการสุ่มนั้น
6. หลังจากผลิตยางทดลอง ยางจะถูกนำไปให้พนักงานตรวจสอบตามขั้นตอนปกติ ซึ่งการตรวจสอบผ่านการทดสอบความสามารถของกระบวนการแล้ว

ในการออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์ เบ้้นเคน 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับจะมีจำนวนการทดลอง 15 การทดลอง และจากเงื่อนไขในการทดลองข้างต้นที่สามารถผลิตยางทดลองได้ประมาณ 540 เส้น ดังนั้น ในแต่ละการทดลองจะมีจำนวนยาง 35 เส้น ซึ่งลำดับในการทดลองแสดงดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงลำดับในการทดลอง

ลำดับ การทดลอง	ลำดับ มาตรฐาน	ขนาดแบบยาง (มิลลิเมตร)	ความกว้างหน้ายาง (มิลลิเมตร)	แรงดันในการขึ้นรูป (เมกะปาสคาล)
1	8	190	191	0.14
2	7	180	191	0.14
3	3	180	196	0.12
4	12	185	196	0.14
5	13	185	191	0.12
6	9	185	186	0.10
7	2	190	186	0.12
8	14	185	191	0.12
9	15	185	191	0.12
10	10	185	196	0.10
11	6	190	191	0.10
12	4	190	196	0.12
13	11	185	186	0.14
14	5	180	191	0.10
15	1	180	186	0.12

5.3 ผลการทดลอง

จากการดำเนินการทดลองทั้งสิ้น 15 การทดลอง ได้ผลขนาดของรอยแตกรวมต่อเส้นอยู่ระหว่าง 40 ถึง 110 มิลลิเมตร โดยระดับของปัจจัยที่ทำให้เกิดขนาดรอยแตกรวมน้อยที่สุดคือ ขนาดแบบยาง 185 มิลลิเมตร ความกว้างหน้ายาง 191 มิลลิเมตร และแรงดันในการขึ้นรูป 0.12 เมกะปาสคาล ดังแสดงตารางที่ 5.3 และตารางที่ ข.1-16 ในภาคผนวก ข

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองวัดขนาดของรอยแตกจากการปรับขนาดแบบยาง ความกว้างหน้ายาง และแรงดันในการขึ้นรูป

ลำดับ มาตรฐาน	ลำดับ การ ทดลอง	ขนาดแบบ ยาง H (มิลลิเมตร)	ความกว้างหน้า ยาง W (มิลลิเมตร)	แรงดันในการขึ้น รูป P (เมกะปาสคาล)	ขนาดรอยแตก รวม Y (มิลลิเมตร)
1	15	180	186	0.12	45
2	7	190	186	0.12	107
3	3	180	196	0.12	53
4	12	190	196	0.12	67
5	14	180	191	0.10	53
6	11	190	191	0.10	110
7	2	180	191	0.14	82
8	1	190	191	0.14	88
9	6	185	186	0.10	78
10	10	185	196	0.10	85
11	13	185	186	0.14	83
12	4	185	196	0.14	77
13	5	185	191	0.12	52
14	8	185	191	0.12	40
15	9	185	191	0.12	60

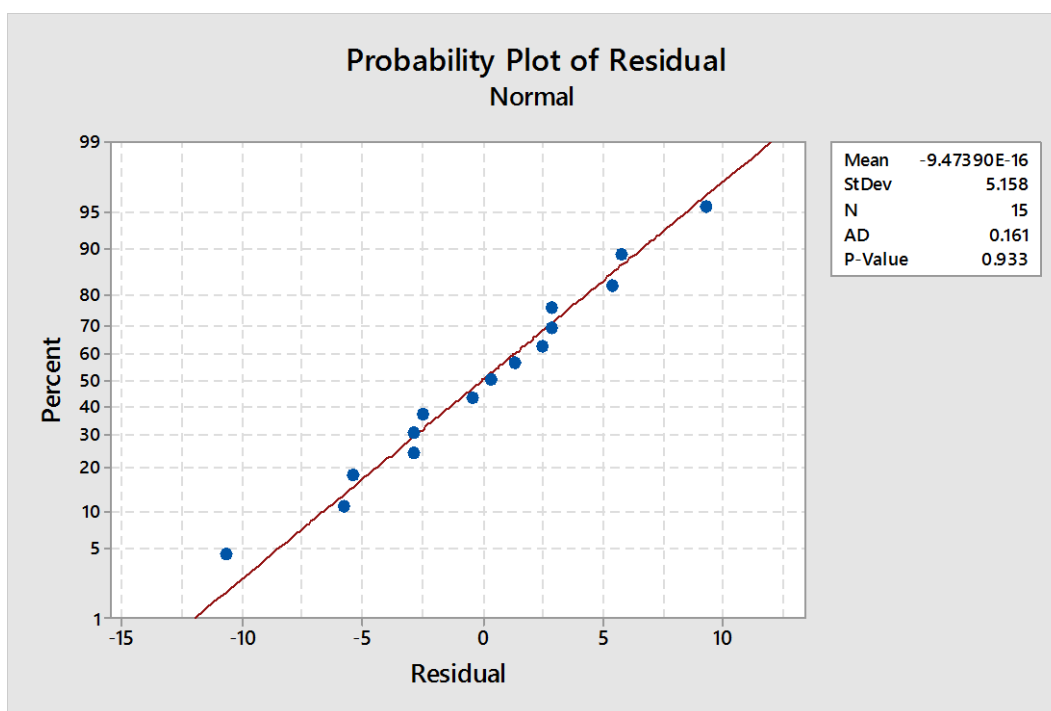
ก่อนที่จะนำผลการทดลองข้างต้นไปใช้ในการวิเคราะห์ผลได้นั้น จำเป็นต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองกับแบบจำลอง ซึ่งจะใช้การตรวจสอบสมมติฐานของส่วนตกค้าง (Residual) สามประการ คือ 1.สมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติ 2.สมมติฐานของความเป็นอิสระ 3.สมมติฐานของความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ซึ่งค่าของส่วนตกค้างเป็นดังแสดงในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 แสดงค่าพยากรณ์และส่วนตกค้างของแต่ละรูปแบบการทดลอง

ลำดับ ที่	ขนาดแบบ ยาง (มิลลิเมตร)	ความกว้าง หน้ายาง (มิลลิเมตร)	แรงดันใน การขึ้นรูป (เมกะ ปาสคาล)	ขนาดรอย แตกรวม (มิลลิเมตร)	ค่า พยากรณ์ (Fits)	ค่าส่วน ตกค้าง (Residual)
1	180	186	0.12	45	42.500	2.5000
2	190	186	0.12	107	101.250	5.7500
3	180	196	0.12	53	58.750	-5.7500
4	190	196	0.12	67	69.500	-2.5000
5	180	191	0.10	53	52.625	0.3750
6	190	191	0.10	110	112.875	-2.8750
7	180	191	0.14	82	79.125	2.8750
8	190	191	0.14	88	88.375	-0.3750
9	185	186	0.10	78	80.875	-2.8750
10	185	196	0.10	85	79.625	5.3750
11	185	186	0.14	83	88.375	-5.3750
12	185	196	0.14	77	74.125	2.8750
13	185	191	0.12	52	50.667	1.3333
14	185	191	0.12	40	50.667	-10.6667
15	185	191	0.12	60	50.667	9.3333

1. สมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติ

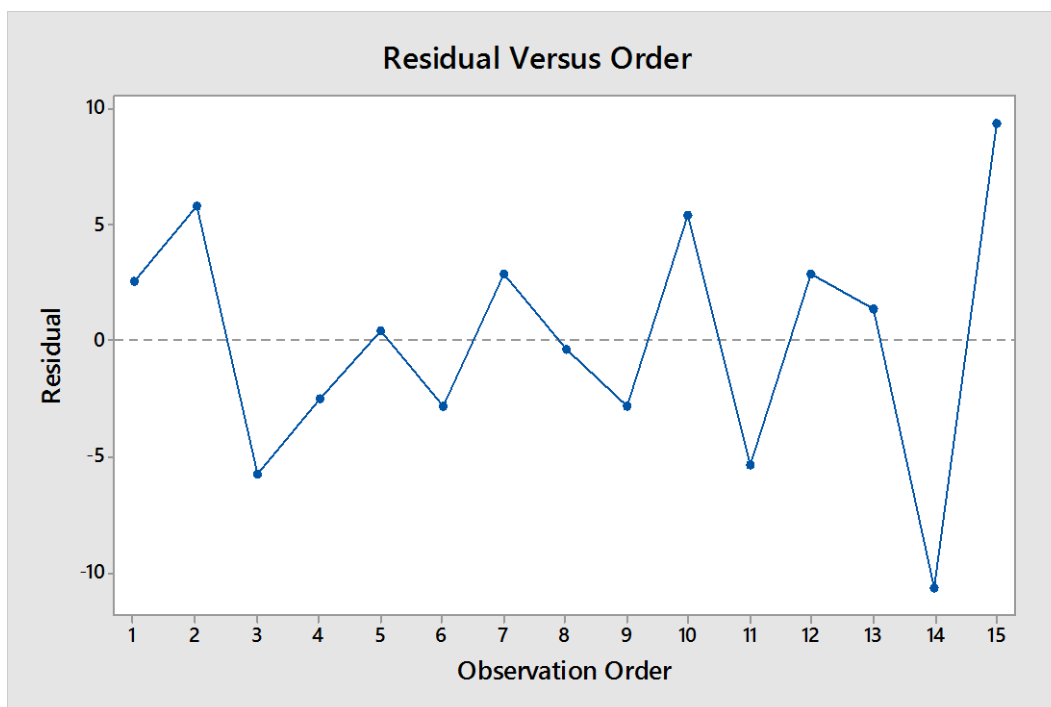
จากการพิจารณาแผนภาพความน่าจะเป็นของการแจกแจงแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normal probability plot of residual) พบว่ามีรูปแบบการแจกแจงแบบปกติ มีค่า P-value เท่ากับ 0.933 ซึ่งมากกว่าค่า α 0.05 ดังนั้นสรุปได้ว่าผลการทดลองเป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติ ดังแสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แผนภาพความน่าจะเป็นของการแจกแจงแบบปกติ
ของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์
(Normal probability plot of residual)

2. สมมติฐานของความเป็นอิสระ

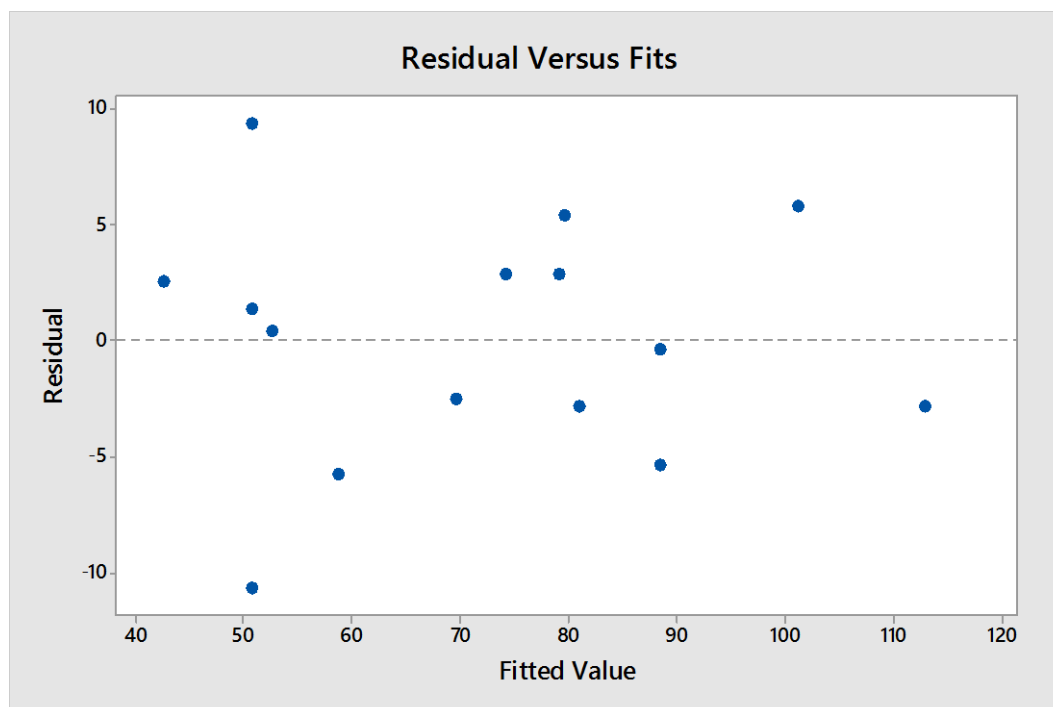
การทดสอบความเป็นอิสระต่อกันของปัจจัยนำเข้าแต่ละปัจจัย โดยพิจารณาแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างเรียงตามลำดับการทดลอง (Residual Versus Order) ดังรูปที่ 5.2 พบว่าส่วนตกค้างไม่มีทิศทางที่แน่นอน ไม่อยู่ทางด้านลบหรือบวกอย่างเดียว และไม่มีแนวโน้มขึ้นหรือลงอย่างชัดเจน ลักษณะเช่นนี้แสดงว่าปัจจัยนำเข้าแต่ละตัวมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 5.2 แผนภาพ Residual Versus Order

3. สมมติฐานของความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน
วัตถุประสงค์ของการทดสอบนี้ คือ พิสูจน์ว่าค่าความคลาดเคลื่อนในทุกๆ ยานของค่าปัจจัยนั้นไม่ได้แตกต่างกันมากจนเกินไป โดยการสร้างแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับค่าพยากรณ์ (Residual Versus Fits) และพิจารณารูปแบบการกระจายตัวของส่วนตกค้าง พบว่าไม่มีลักษณะที่อยู่ด้านบวกหรือลบตลอด ไม่เป็นศูนย์ตลอด ไม่มีแนวโน้มการกว้างออกหรือแคบเข้าอย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 5.3 ดังนั้น แสดงว่าผลการทดลองสอดคล้องกับสมมติฐานของความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทั้ง 3 ประการ สรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นสามารถนำไปวิเคราะห์การถดถอยได้ เนื่องจากผ่านการทดสอบตามสมมติฐาน ได้แก่ ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน



รูปที่ 5.3 แผนภาพ Residual Versus Fits

5.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองเริ่มจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้า และ ตัวแปรตอบสนอง คือ ขนาดของรอยแตกรวม โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และพิจารณาว่ามีปัจจัยใด หรืออันตรกิริยาระหว่างปัจจัยใดที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่าง มีนัยสำคัญ จากนั้นจึงจะค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้ขนาดรอยแตกรวมมีค่าน้อยที่สุด

จากผลการวิเคราะห์การถดถอยแบบเต็มรูปของขนาดของรอยแตกรวม มีค่า R-square เท่ากับ 0.9420 และ Adjusted R-square เท่ากับ 0.8376 โดยมีปัจจัยขนาดของแบบยาง (H) พจน์กำลังสองของแรงดันในการขึ้นรูป (P^2) อันตรกิริยาระหว่างขนาดของแบบยางกับความกว้างหน้ายาง ($H*W$) และอันตรกิริยาระหว่างขนาดของแบบยางกับแรงดันในการขึ้นรูป ($H*P$) ที่มีผลต่อขนาดของรอยแตกรวม (Y) อย่างมีนัยสำคัญ และจากค่า Lack of fit เท่ากับ 0.692 ซึ่งมากกว่า α 0.05 แสดงว่าสมการถดถอยที่ได้มีความแม่นยำเพียงพอในการพยากรณ์ขนาดของรอยแตกบริเวณขอบยาง ดังแสดงในตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 ผลการวิเคราะห์ ANOVA

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F value	P value	R ²	Adj R ²
Model	9	6,047.58	671.95	9.02	0.013	0.9420	0.8376
ขนาดแบบยาง (H)	1	2,415.13	2,415.13	32.43	0.002		
ความกว้างหน้ายาง (W)	1	120.12	120.12	1.61	0.260		
แรงดันในการขึ้นรูป (P)	1	2.00	2.00	0.03	0.876		
H ²	1	363.10	363.10	4.87	0.078		
W ²	1	203.10	203.10	2.73	0.160		
P ²	1	1,897.03	1,897.03	25.47	0.004		
H * W	1	576.00	576.00	7.73	0.039		
H * P	1	650.25	650.25	8.73	0.032		
W * P	1	42.25	42.25	0.57	0.485		
Residual	5	372.42	74.48				
Lack-of-Fit	3	169.75	56.58	0.56	0.692		
Pure error	2	202.67	101.33				
Total	14	6,420.00					

จากผลการทดลองสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของขนาดรอยแตกบริเวณขอบยาง (Y) ซึ่งเป็นตัวแปรตอบสนอง กับเงื่อนไขการผลิตทั้งสาม คือ ขนาดของแบบยาง (H) ความกว้างของชิ้นส่วนหน้ายาง (W) แรงดันไอที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบยางก่อนทำการอบยาง (P) ได้ตั้งสมการ $Y = F(H, W, P)$ และจากการวิเคราะห์เชิงถดถอยตามตารางที่ 5.6 สามารถเขียนเป็นสมการถดถอย (Regression equation) ได้ตั้งสมการที่ 1

$$Y = 4,231 - 36.3H - 21.4W + 16,220P + 0.397H^2 + 0.297W^2 + 56,667P^2 - 0.480(H.W) - 127.5(H.P) - 32.5(W.P) \quad (1)$$

ตารางที่ 5.6 การวิเคราะห์เชิงถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของรอยแตกกับขนาดแบบ ยาง ความกว้างหน้ายาง และแรงดันในการขึ้นรูป

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	4,231	11,241	0.38	0.722
H	-36.3	74.4	-0.49	0.646
W	-21.4	75.9	-0.28	0.789
P	16,220	11,788	1.38	0.227
H ²	0.397	0.180	2.21	0.078
W ²	0.297	0.180	1.65	0.160
P ²	56,667	11,228	5.05	0.004
H * W	-0.480	0.173	-2.78	0.039
H * P	-127.5	43.2	-2.95	0.032
W * P	-32.5	43.2	-0.75	0.485

จากผลการวิเคราะห์การถดถอยพบว่ามีสมการบางพจน์ที่ค่า P-value มากกว่า 0.05 แสดงว่าพจน์นั้นไม่มีความสัมพันธ์กับปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นจึงทำการลดรูปสมการถดถอยโดยตัดพจน์กลุ่มดังกล่าวออก และคำนวณสมการถดถอยใหม่ได้ดังสมการที่ 2

$$Y = -184 - 8.498P^2 + 0.00357(H.W) - 11.4(H.P) \quad (2)$$

ประเมินความถูกต้องของสมการถดถอย โดยเปรียบเทียบสมการแบบเต็มรูปกับสมการที่ลดรูปแล้ว พบว่าสมการแบบเต็มรูปมีค่า Residual อยู่ระหว่าง -10.90 ถึง 9.10 มิลลิเมตร แต่สมการแบบลดรูปมีค่า Residual อยู่ระหว่าง -33.75 ถึง 32.00 และเมื่อคำนวณความแม่นยำ (Accuracy) ของสมการถดถอยพบว่าสมการแบบเต็มรูปมีความแม่นยำ 94% ส่วนสมการแบบลดรูปมีความแม่นยำเพียง 74% ดังตารางที่ 5.7 และ 5.8

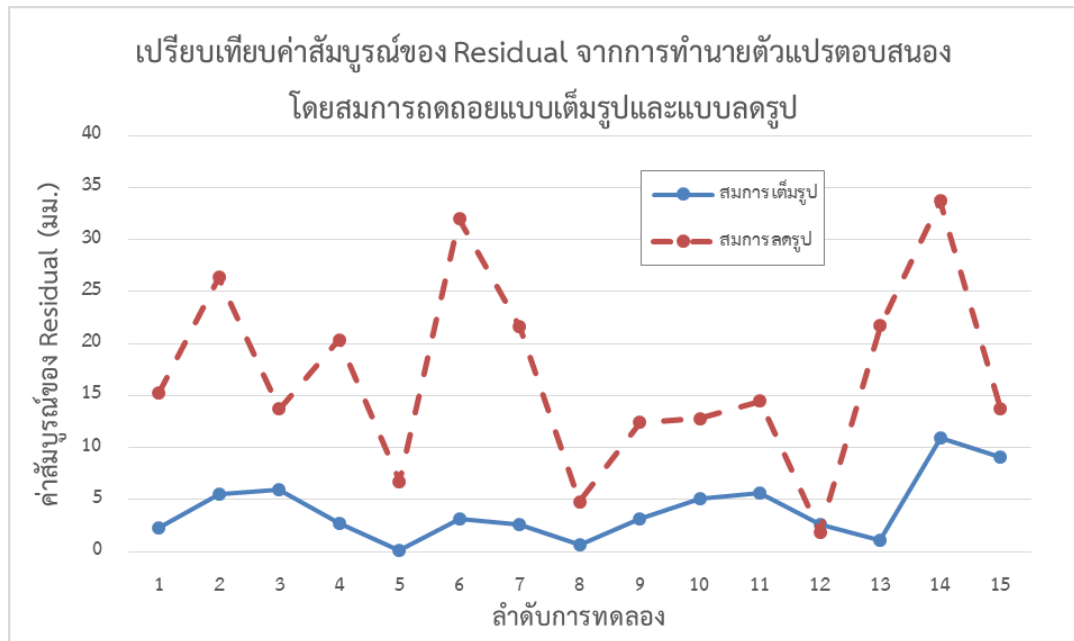
ตารางที่ 5.7 ผลการพยากรณ์ตัวแปรตอบสนองและความแม่นยำของสมการแบบเต็มรูป

การทดลองที่	ขนาดรอยแตก (ทดลอง)	ขนาดรอยแตก (พยากรณ์)	ส่วนตกค้าง	ความแม่นยำ
1	45	42.72	2.28	0.95
2	107	101.48	5.52	0.95
3	53	58.98	-5.98	0.89
4	67	69.75	-2.75	0.96
5	53	52.85	0.15	1.00
6	110	113.12	-3.12	0.97
7	82	79.35	2.65	0.97
8	88	88.62	-0.62	0.99
9	78	81.10	-3.10	0.96
10	85	79.87	5.13	0.94
11	83	88.60	-5.60	0.93
12	77	74.37	2.63	0.97
13	52	50.90	1.10	0.98
14	40	50.90	-10.90	0.73
15	60	50.90	9.10	0.85
			เฉลี่ย	0.94

ตารางที่ 5.8 ผลการพยากรณ์ตัวแปรตอบสนองของสมการแบบลดรูป

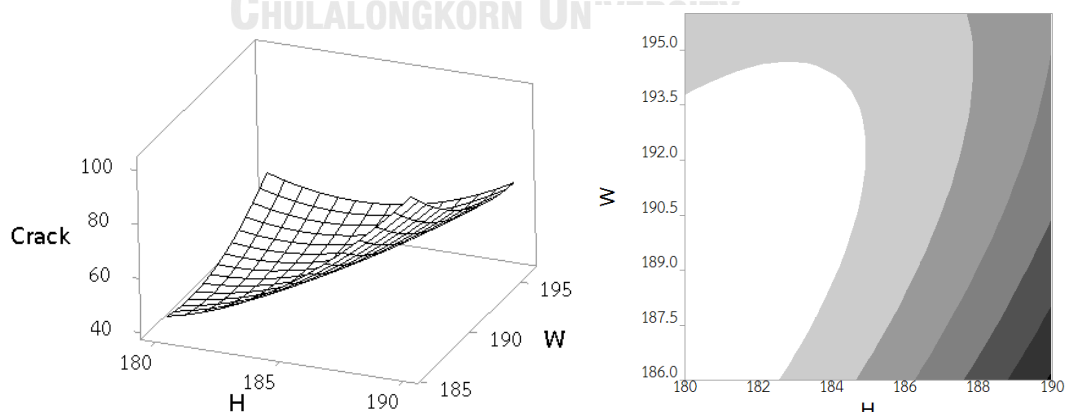
การทดลองที่	ขนาดรอยแตก (ทดลอง)	ขนาดรอยแตก (พยากรณ์)	ส่วนตกค้าง	ความแม่นยำ
1	45	60.27	-15.27	0.66
2	107	80.62	26.38	0.75
3	53	66.70	-13.70	0.74
4	67	87.40	-20.40	0.70
5	53	59.76	-6.76	0.87
6	110	78.00	32.00	0.71
7	82	60.41	21.59	0.74
8	88	83.22	4.78	0.95
9	78	65.58	12.42	0.84
10	85	72.18	12.82	0.85
11	83	68.51	14.49	0.83
12	77	75.11	1.89	0.98
13	52	73.75	-21.75	0.58
14	40	73.75	-33.75	0.16
15	60	73.75	-13.75	0.77
			เฉลี่ย	0.74

เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมบูรณ์ของส่วนตกค้างจากการพยากรณ์ตัวแปรตอบสนองโดยใช้สมการทั้งสองแบบ พบว่าสมการแบบเต็มรูปมีค่าสัมบูรณ์ของส่วนตกค้างที่น้อยกว่าสมการแบบลดรูป ดังแสดงในรูปที่ 5.4 แสดงว่าสมการถดถอยแบบเต็มรูปมีความถูกต้องมากกว่าสมการแบบลดรูป ถึงแม้ว่า นอกจากนั้น ในการตั้งค่าปัจจัยจริงในกระบวนการผลิตมีความจำเป็นต้องปรับตั้งที่ปัจจัยแต่ละตัว ไม่สามารถปรับจากพจน์กำลังสองหรือพจน์อันตรกิริยาได้ ดังนั้นงานศึกษานี้จึงเลือกใช้สมการถดถอยแบบเต็มรูปในการวิเคราะห์ผลการทดลองต่อไป

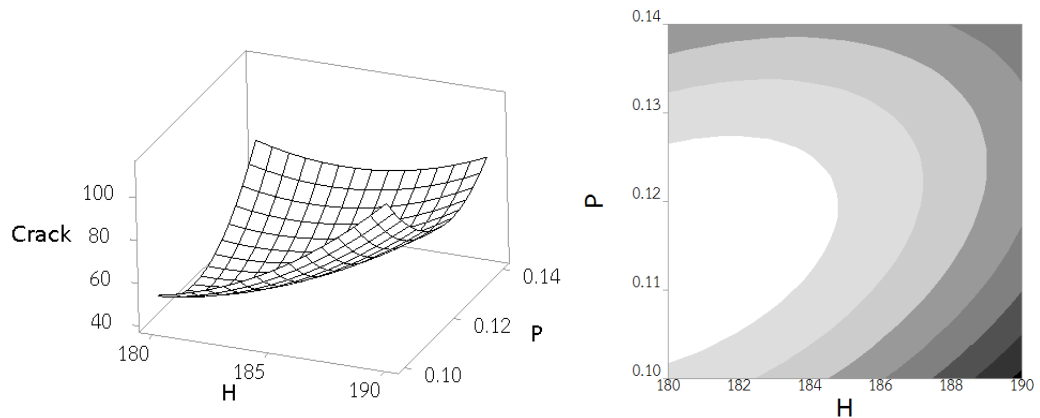


รูปที่ 5.4 เปรียบเทียบค่าสัมบูรณ์ของ Residual จากการทำนายตัวแปรตอบสนอง
โดยสมการถดถอยแบบเต็มรูปและแบบลดรูป

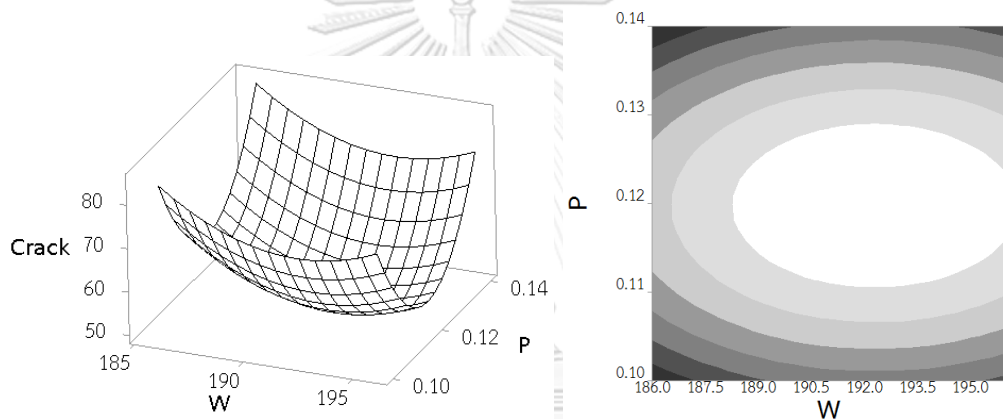
จากสมการถดถอยแบบเต็มรูป สามารถคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างคู่ของปัจจัยในรูปแบบแผนภาพพื้นผิว (Surface plot) และฉายลักษณะของส่วนโค้งลงบนแกน X และ Y เพื่อทำเป็นแผนภาพโครงร่าง (Contour plot) โดยที่เส้นโครงร่าง (Contour line) เส้นเดียวกันจะให้ค่าผลลัพธ์ที่เท่ากัน สำหรับงานศึกษาที่ใช้โปรแกรม Minitab ในการคำนวณได้ผลดังแสดงในรูปที่ 5.5 ถึงรูปที่ 5.7 โดยที่สีที่อ่อนกว่าในแผนภาพโครงร่างจะแสดงถึงขนาดรอยแตกที่น้อยกว่า



รูปที่ 5.5 แผนภาพพื้นผิวและแผนภาพโครงร่างแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง
ขนาดแบบยาง (H) และความกว้างหน้ายาง (W)



รูปที่ 5.6 แผนภาพพื้นผิวและแผนภาพโครงร่างแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแบบยาง (H) และแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูป (P)



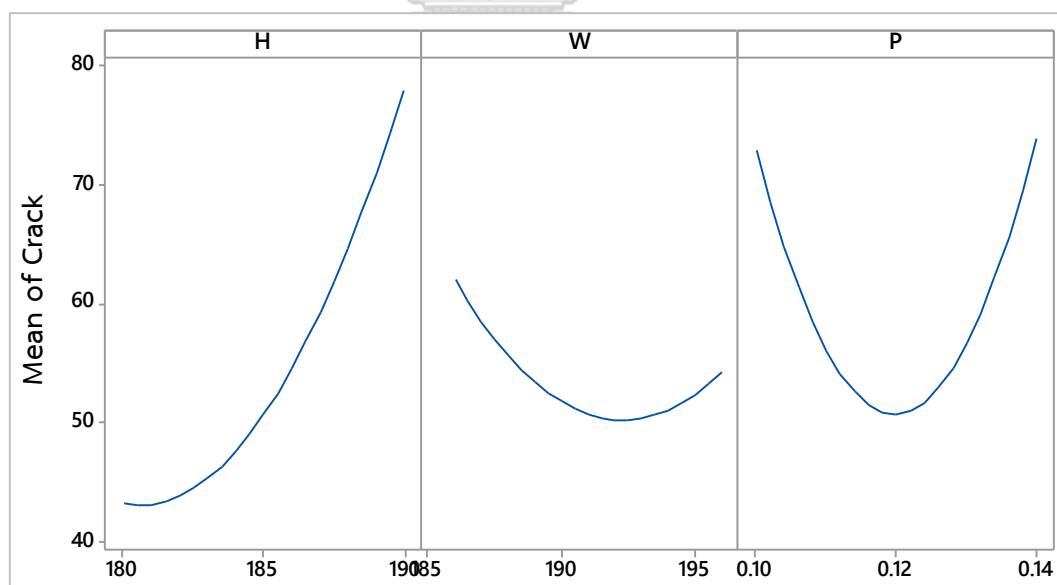
รูปที่ 5.7 แผนภาพพื้นผิวและแผนภาพโครงร่างแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างหน้ายาง (W) และแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูป (P)

เมื่อพิจารณาแผนภาพพื้นผิวและแผนภาพโครงร่างของความสัมพัทธ์ระหว่างขนาดแบบยาง (H) และความกว้างหน้ายาง (W) และความสัมพัทธ์ระหว่างขนาดแบบยาง (H) และแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบยาง (P) พบว่าสามารถสังเกตบริเวณที่ให้ผลขนาดของรอยแตกที่ต่ำที่สุดได้ในช่วงของปัจจัยที่ทำการทดลอง แต่ยังไม่สามารถแสดงให้เห็นถึงจุดวกกลับที่ทำให้ตัวแปรตอบสนองนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นในอีกทางหนึ่ง เนื่องจากข้อจำกัดของแต่ละปัจจัยที่ไม่สามารถปรับค่าให้ต่ำกว่านี้ได้ เพราะจะกระทบต่อคุณสมบัติหลักของผลิตภัณฑ์ ดังที่ได้กล่าวไว้ในขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

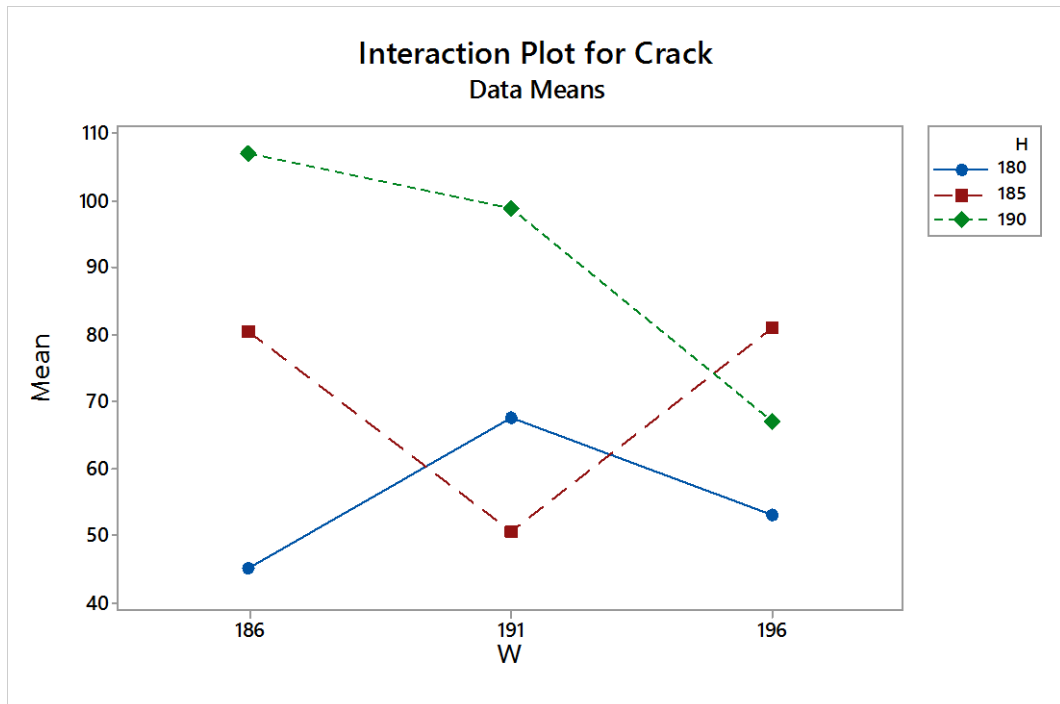
จากแผนภาพพื้นผิวและแผนภาพโครงร่างแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแบบยาง (H) และความกว้างหน้ายาง (W) แสดงให้เห็นว่าบริเวณที่ทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าน้อยที่สุด คือ บริเวณที่มีขนาดแบบยางระหว่าง 180 ถึง 182 มิลลิเมตร และความกว้างหน้ายางระหว่าง 186 ถึง 192 มิลลิเมตร

จากแผนภาพพื้นผิวและแผนภาพโครงร่างแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแบบยาง (H) และแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูป (P) แสดงให้เห็นว่าที่ความกว้างแบบยางระหว่าง 180 ถึง 182 มิลลิเมตร และแรงดันที่ใช้ระหว่าง 0.11 ถึง 0.12 เมกะปาสคาลจะมีขนาดของรอยแตกรวมน้อยที่สุด สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างหน้ายาง (W) และแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูป (P) นั้นไม่พิจารณาเนื่องจากอันตรกิริยาของทั้งสองปัจจัยไม่ส่งผลต่อรอยแตกบริเวณขอบอย่างมีนัยสำคัญ

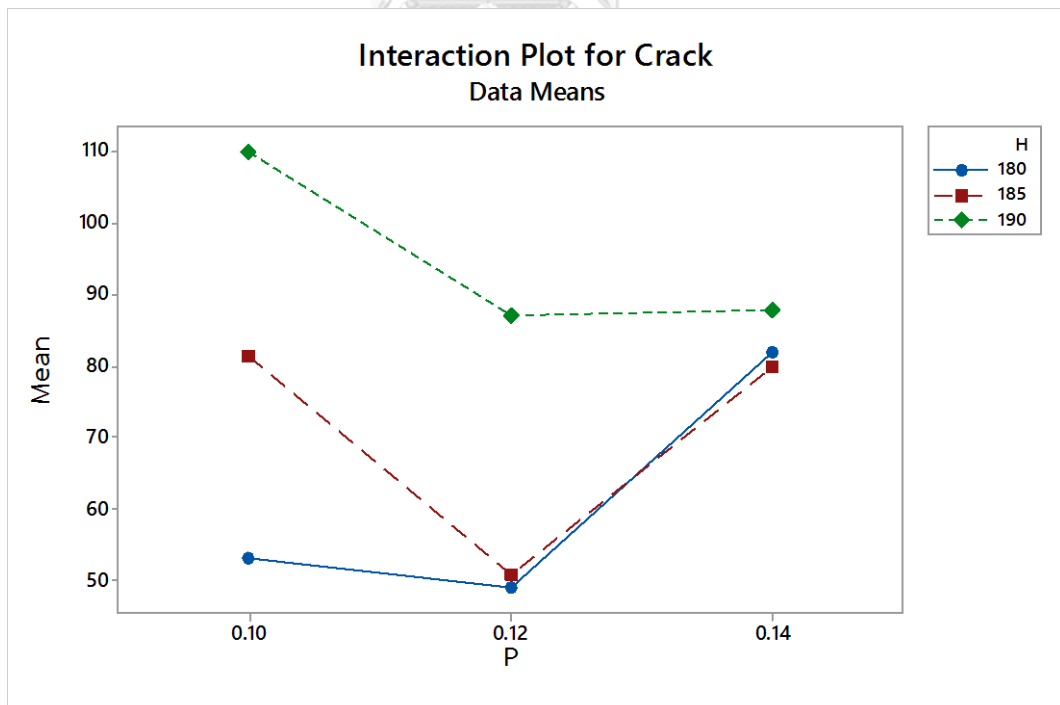
จากการวิเคราะห์ผลของปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง หรือขนาดของรอยแตกรวม สามารถแสดงเป็นแผนภาพของปัจจัยหลัก (Main effects plot) และแผนภาพอันตรกิริยาระหว่างคู่ปัจจัย (Interaction plot) ได้ดังรูปที่ 5.8 ถึง 5.10



รูปที่ 5.8 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยหลักกับตัวแปรตอบสนอง

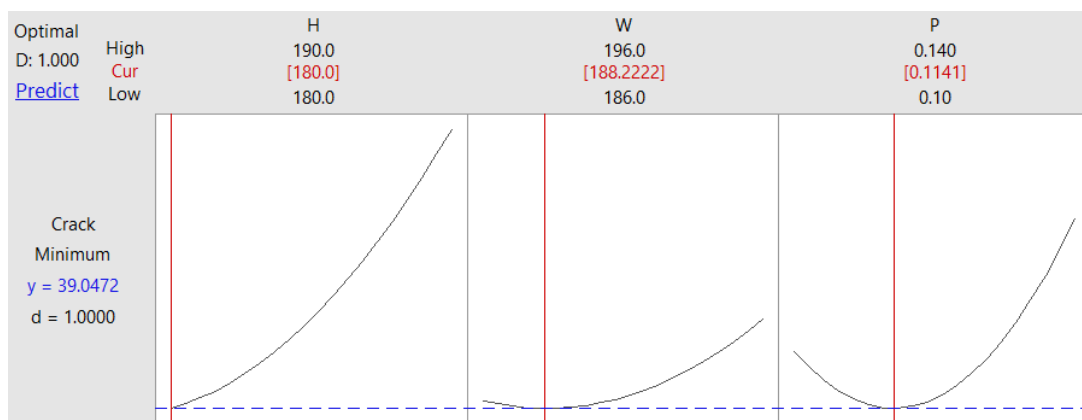


รูปที่ 5.9 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของอันตรกิริยาระหว่าง
ขนาดแบบยาง (H) และความกว้างหน้ายาง (W)



รูปที่ 5.10 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนอง
ขนาดแบบยาง (H) และแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูป (P)

จากตัวแบบถดถอยข้างต้น สามารถพยากรณ์หาระดับที่เหมาะสมของการปรับค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ได้ค่าขนาดของรอยแตกรวม (Y) น้อยที่สุด ซึ่งผลจากการวิเคราะห์โดยโปรแกรม Minitab แสดงดังรูปที่ 5.11 และสามารถสรุประดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยนำเข้าได้ดังตารางที่ 5.9



รูปที่ 5.11 ผลการวิเคราะห์ระดับของปัจจัยที่เหมาะสม

ตารางที่ 5.9 ตารางแสดงค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย

ปัจจัย	มาตรฐานปัจจุบัน	ค่าที่เหมาะสมจากการทดลอง	หน่วย
ขนาดแบบยาง (H)	185	180	มิลลิเมตร
ความกว้างหน้ายาง (W)	191	188	มิลลิเมตร
แรงดันในการขึ้นรูป (P)	0.12	0.11	เมกะปาสคาล

เนื่องจากข้อจำกัดในการปรับตั้งเครื่องจักรของโรงงานกรณีศึกษา ทำให้ไม่สามารถกำหนดค่าของแต่ละปัจจัยได้อย่างละเอียดตามผลการทดลอง ดังนั้น ในการปรับปรุงมาตรฐานเพื่อใช้ในการผลิตจริงจะต้องมีการปรับค่าปรับตั้งเป็นตัวเลขที่ใกล้เคียงแทน ได้แก่ ขนาดของแบบยาง (H) เท่ากับ 180 มิลลิเมตร ความกว้างหน้ายาง (W) เท่ากับ 186 มิลลิเมตร และแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบยาง (P) เท่ากับ 0.12 เมกะปาสคาล ดังแสดงในตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 ตารางเปรียบเทียบค่ามาตรฐานเดิมและค่าที่ปรับปรุงใหม่ของแต่ละปัจจัย

ปัจจัย	มาตรฐานปัจจุบัน	มาตรฐานใหม่	หน่วย
ขนาดแบบยาง (H)	185	180	มิลลิเมตร
ความกว้างหน้ายาง (W)	191	186	มิลลิเมตร
แรงดันในการขึ้นรูป (P)	0.12	0.12	เมกะปาสกาล

5.5 อภิปรายผลการทดลอง

จากผลการทดลอง สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

1. ขนาดของแบบยาง (H)
ตามวิธีการออกแบบผลิตภัณฑ์ ขนาดของแบบยางจะต้องมีความเหมาะสมกับขนาดของแม่พิมพ์ ขนาดของแบบยางที่เหมาะสมจะทำให้โครงสร้างผ้าใบมีความตึงที่พอเหมาะ ส่งผลให้เนื้อยางมีทิศทางการไหลอย่างเป็นระเบียบมากขึ้น ทำให้ขนาดของแบบยางมีผลต่อปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางอย่างมีนัยสำคัญ
2. ความกว้างของชิ้นส่วนหน้ายาง (W)
ความกว้างของชิ้นส่วนหน้ายางส่งผลต่อปริมาณของเนื้อยางบริเวณขอบยาง แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางโดยตรง เนื่องจากความกว้างที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับขนาดของแบบยาง สอดคล้องกับผลการทดลองที่แสดงว่าอันตรกิริยาระหว่างขนาดของแบบยาง (H) และความกว้างของชิ้นส่วนหน้ายาง (W) นั้นมีความสัมพันธ์กัน และส่งผลต่อปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางอย่างมีนัยสำคัญ
3. แรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบยาง (P)
แรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปจะส่งผลต่อรูปร่างของแบบยางในแม่พิมพ์ก่อนเริ่มอบยาง แรงดันที่เหมาะสมจะทำให้ความกว้างของแบบยางพอดีกับช่องว่างของแม่พิมพ์ และทำให้เนื้อยางไหลเข้าแม่พิมพ์แต่ละส่วนอย่างเป็นระเบียบ แต่ถ้าแรงดันที่ใช้มากหรือน้อยเกินไปอาจทำให้เกิดการไหลที่ผิดปกติของเนื้อยางได้ ดังแสดงในตารางที่ 5.11

อย่างไรก็ตาม ปริมาณแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปจะไม่ส่งผลกับปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางโดยตรง แต่จะมีความสัมพันธ์กับขนาดของแบบยาง กล่าวคือ ขนาดของแบบยางแต่ละขนาดจะมีแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปที่เหมาะสมค่าหนึ่ง หากแรงดันมากหรือน้อยเกินไปจะมีโอกาสทำให้เกิดปัญหารอยแตกได้ สอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่าแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปไม่มีความสัมพันธ์กับปัญหารอยแตกโดยตรง แต่อันตรกิริยาระหว่างแรงดันและขนาดของแบบยางมีความสัมพันธ์กับปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปกับลักษณะแบบยางในแม่พิมพ์

ลักษณะแรงดัน	คำอธิบาย	รูปภาพ
แรงดันน้อยเกินไป	ความกว้างของแบบยางจะเล็กกว่าขนาดของแม่พิมพ์ ส่งผลให้น้ำยางไหลเข้าบริเวณขอบยางก่อนบริเวณดอกยาง และทำให้มีโอกาสดังกล่าวเกิดปัญหาเนื้อยางไหลซ้อนทับกันได้	
แรงดันที่เหมาะสม	แบบยางจะมีขนาดพอดีกับช่องแม่พิมพ์ ทำให้เนื้อยางไหลอย่างเป็นระเบียบ	
แรงดันมากเกินไป	แบบยางมีขนาดใหญ่กว่าช่องแม่พิมพ์ จะทำให้เนื้อยางบริเวณดอกยางสัมผัสกับแม่พิมพ์ก่อนบริเวณขอบ ทำให้การไหลของเนื้อยางผิดปกติ และอาจเกิดปัญหา รอยแตกได้ นอกจากนี้ ยังมีโอกาสที่เนื้อยางจะถูกแม่พิมพ์หนีบและเกิดปัญหายางแลบที่ดอกยาง	

5.6 สรุปขั้นตอนการทดลองเพื่อลดปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองของปัจจัยทั้งสาม คือ ขนาดของแบบยาง (H) ความกว้างของชิ้นส่วนหน้ายาง (W) และแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบยาง (P) พบว่าแต่ละปัจจัยไม่ส่งผลต่อปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางโดยตรง แต่อันตรกิริยาระหว่างขนาดของแบบยาง (H) กับความกว้างของชิ้นส่วนหน้ายาง (W) และอันตรกิริยาระหว่างขนาดของแบบยาง (H) กับแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบยาง (P) นั้นมีผลต่อปัญหาอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีระดับของปัจจัยที่เหมาะสมกับยางรุ่นตัวอย่างคือ ขนาดของแบบยาง 180 มิลลิเมตร ความกว้างของชิ้นส่วนหน้ายาง 186 มิลลิเมตร และแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบยาง 0.12 เมกะปาสคาล



บทที่ 6

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง และกระบวนการผลิตยางล้อรถจักรยานยนต์ รุ่นตัวอย่างเบื้องต้น พบว่าปัญหานี้เกิดขึ้นที่ชิ้นส่วนหน้ายางหลังจากยางผ่านกระบวนการอบยางแล้ว ซึ่งเกิดจากการไหลที่ผิดปกติของเนื้อยางบริเวณที่เกิดปัญหา ดังนั้นจึงมีกระบวนการผลิตหลักที่เกี่ยวข้องกับชิ้นส่วนหน้ายาง และการไหลของเนื้อยางในแม่พิมพ์ 4 กระบวนการ คือ 1.การผสมยาง 2.การผลิตชิ้นส่วนหน้ายาง 3.การสร้างแบบยาง 4.การขึ้นรูปและอบยาง

จากการศึกษาเครื่องมือวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา พบว่าแผนผังสาเหตุและผล หรือแผนผังก้างปลา เป็นเครื่องมือที่ใช้งานง่าย เข้าใจง่าย สามารถใช้ความคิดสร้างสรรค์ในการระบุสาเหตุที่เป็นไปได้ของปัญหา ทำให้มีความเหมาะสมที่จะถูกใช้ในการสอนหรือฝึกวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเบื้องต้น หากใช้เครื่องมือนี้ในการหาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นจริง ควรใช้กับปัญหาที่เป็นที่เป็นที่รู้จัก มีข้อมูล หรือมีความรู้เกี่ยวกับปัญหานั้นเป็นอย่างดีแล้ว จะได้ทราบสาเหตุของปัญหาที่เขียนในแผนผังนั้นครบถ้วนแล้วหรือไม่ การวิเคราะห์ why-why เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถใช้หาสาเหตุของปัญหาได้ โดยการถามสาเหตุเป็นขั้นตอนจนถึงรากเหง้าของปัญหา แต่อาจไม่เหมาะสมกับปัญหาที่มีสาเหตุซับซ้อน ข้อดีของวิธีการนี้อีกอย่างหนึ่งคือ สามารถแสดงตรรกะความสัมพันธ์ของปัญหาและสาเหตุได้อย่างชัดเจน จึงอาจถูกใช้ในการสรุปผลการวิเคราะห์เพื่อให้ผู้อ่านสามารถทำความเข้าใจได้ง่าย

ในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา งานศึกษานี้ใช้วิธีการศึกษาธรรมชาติของปัญหาในด้านต่างๆ ร่วมกับการใช้แผนภูมิต้นไม้และใช้วิธีการทดสอบสมมติฐานในการคัดกรองสาเหตุเบื้องต้นของปัญหา พบว่าปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางของยางรุ่นตัวอย่างเกิดจากการออกแบบผลิตภัณฑ์และการปรับตั้งเครื่องจักรในการผลิต โดยพบ 3 ปัจจัยที่สามารถทดลองปรับปรุงเพื่อลดปัญหาได้ คือ 1.ขนาดของแบบยาง 2.ความกว้างของชิ้นส่วนหน้ายาง 3.แรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบยางก่อนอบ

นอกจากปัจจัยทั้งสามแล้ว งานศึกษานี้ยังพบสาเหตุที่อยู่นอกขอบเขตการศึกษา แต่มีผลต่อปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง คือ คุณภาพของวัตถุดิบยางธรรมชาติ และการออกแบบรูปร่างของชิ้นส่วนหน้ายาง สาเหตุกลุ่มนี้ไม่ถูกพิจารณาในงานศึกษานี้ แต่จะเพียงให้คำแนะนำสำหรับงานศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

ผลการทดลองเพื่อลดปัญหาสรุปได้ว่าปัจจัยทั้งสามไม่มีผลต่อปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางโดยตรง แต่อันตรกิริยาของขนาดของแบบยางกับความกว้างของชิ้นส่วนหน้ายาง และอันตรกิริยาของขนาดของแบบยางกับแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบยางนั้นมีผลต่อปัญหาอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าในการแก้ไขปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางไม่สามารถทำได้โดยปรับตั้งค่าเพียงปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งได้ จำเป็นต้องพิจารณาทั้งสามปัจจัยไปพร้อมกัน จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าระดับของปัจจัยที่ดีที่สุดคือ ขนาดของแบบยาง 180 มิลลิเมตร ความกว้างของชิ้นส่วนหน้ายาง 186 มิลลิเมตร และใช้แรงดันในการขึ้นรูปแบบยาง 0.12 เมกะปาสคาล

งานศึกษานี้สามารถระบุปัจจัยที่มีผลต่อปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง และสามารถกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตยางรุ่นตัวอย่างได้ จึงมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง ดำเนินการแก้ไขมาตรฐานการปฏิบัติงาน (Working Standard) ในขั้นตอนการผลิตที่เกี่ยวข้องคือ การผลิตหน้ายาง การสร้างแบบยาง และการขึ้นรูปแบบยางก่อนอบ ดังนี้

1. การผลิตหน้ายาง กำหนดให้ผลิตชิ้นส่วนหน้ายางของยางรุ่นตัวอย่างที่ความกว้าง 186 มิลลิเมตร โดยควบคุมความหนาของหน้ายางตามมาตรฐานการผลิตเดิม เพื่อไม่ให้ผลกระทบต่อข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์
2. การสร้างแบบยาง กำหนดให้ตรวจวัดความกว้างของชิ้นส่วนหน้ายางตามมาตรฐานใหม่ก่อนเริ่มปฏิบัติงาน และปรับตั้งขนาดของแบบยางที่ 180 มิลลิเมตร และกำหนดให้มีการตรวจสอบแบบยางที่ถูกสร้างเส้นแรกและเส้นสุดท้ายของแต่ละกะการทำงานเพื่อควบคุมคุณภาพตามมาตรฐาน

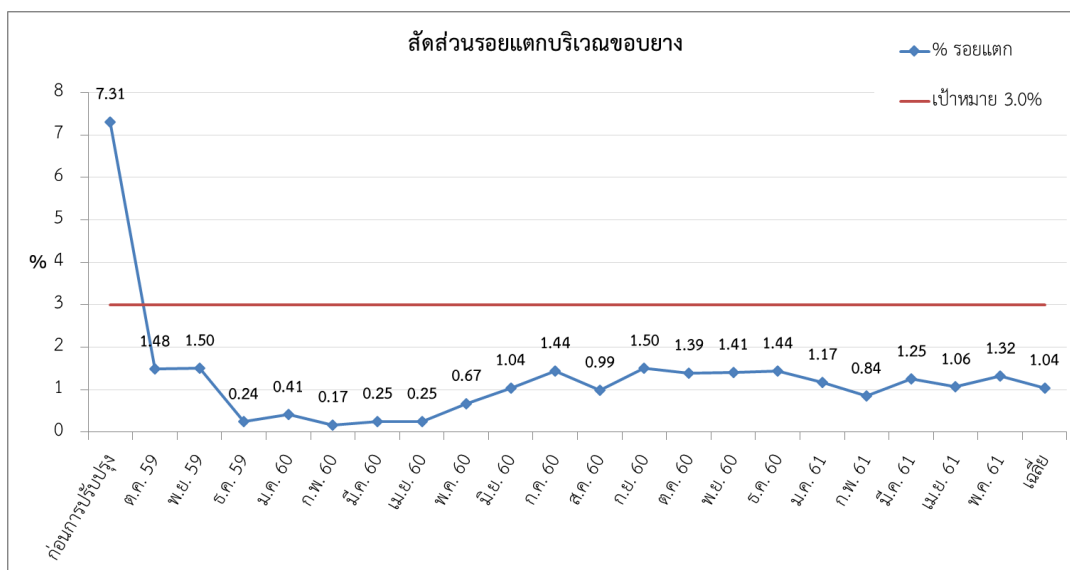
3. การขึ้นรูปและอบยาง กำหนดให้ตรวจวัดขนาดของแบบยางก่อนเริ่มอบยาง เส้นแรกในแต่ละกะการทำงาน ปรับตั้งแรงดันในการขึ้นรูปแบบยางที่ 0.12 เมกะปาสคาล โดยใช้ระบบบันทึกแรงดันอัตโนมัติที่มีอยู่ในกระบวนการผลิตในปัจจุบัน

หลังจากแก้ไขมาตรฐานการผลิตตามระบบคุณภาพของโรงงานกรณีศึกษา ได้ทำการฝึกอบรมพนักงานทุกคนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตยางรุ่นตัวอย่าง และประเมินผลความเข้าใจจากการปฏิบัติงานจริง พบว่าพนักงานสามารถปฏิบัติงานตามมาตรฐานใหม่ได้อย่างถูกต้อง และไม่เกิดผลกระทบใดๆ กับการทำงานส่วนอื่น

หลังจากการปรับปรุงมาตรฐานในการผลิตยางรุ่นตัวอย่าง โดยปรับลดขนาดของแบบยางจาก 185 เป็น 180 มิลลิเมตร ลดความกว้างของชิ้นส่วนหน้ายางจาก 191 เป็น 186 มิลลิเมตร และใช้แรงดันในการขึ้นรูปแบบยางที่ 0.12 เมกะปาสคาลเช่นเดิม ดังแสดงในตารางที่ 6.1 และนำไปทดลองใช้ในกระบวนการผลิตจริงในโรงงานกรณีศึกษาเป็นระยะเวลา กว่า 20 เดือน พบว่าสามารถลดสัดส่วนรอยแตกบริเวณขอบยางจากเฉลี่ยร้อยละ 7.31 เหลือเพียงร้อยละ 1.04 โดยเฉลี่ย ดังแสดงในรูปที่ 6.6 และตารางที่ ข.17 ในภาคผนวก ข สามารถลดความสูญเสียเป็นมูลค่าประมาณ 250,000 บาทต่อเดือน หรือมากกว่า 3 ล้านบาทต่อปี คิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 85 ของมูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 6.1 เปรียบเทียบระดับของปัจจัยก่อนและหลังการปรับปรุง

ปัจจัย	มาตรฐานปัจจุบัน	มาตรฐานใหม่	หน่วย
ขนาดแบบยาง (H)	185	180	มิลลิเมตร
ความกว้างหน้ายาง (W)	191	186	มิลลิเมตร
แรงดันในการขึ้นรูป (P)	0.12	0.12	เมกะปาสคาล



รูปที่ 6.1 ผลการทดลองใช้มาตรฐานที่ปรับปรุงใหม่กับการผลิตยางรุ่นตัวอย่าง

จากการศึกษาเพื่อลดสัดส่วนรอยแตกบริเวณขอบยาง สามารถสรุปได้ว่าปัญหา รอยแตกบริเวณขอบยางที่เกิดจากกระบวนการผลิตของยางล้อรุ่นตัวอย่างเกิดจากปัจจัยหลัก คือ ขนาดของแบบยาง ความกว้างของชิ้นส่วนหน้ายาง และแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบยางก่อนอบ ระดับของแต่ละปัจจัยที่ดีที่สุด คือ ขนาดของแบบยางเท่ากับ 180 มิลลิเมตร ความกว้างหน้ายางเท่ากับ 186 มิลลิเมตร และแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบยาง 0.12 เมกะปาสคาล ซึ่งสามารถลดสัดส่วนรอยแตกบริเวณขอบยางจากเฉลี่ยร้อยละ 7.31 เหลือเพียงร้อยละ 1.04 โดยเฉลี่ย บรรลุวัตถุประสงค์การศึกษาที่ตั้งเป้าหมายสัดส่วนรอยแตกไม่เกินร้อยละ 3.00

6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต

งานศึกษานี้วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิต โดยพิจารณาจากลักษณะของปัญหาในหลายๆ ด้าน อาทิเช่น ช่วงเวลาในการเกิด ตำแหน่งของปัญหาบนผลิตภัณฑ์ วัตถุดิบ เครื่องจักรและพนักงานที่เกี่ยวข้อง และพิสูจน์ความสัมพันธ์กับสัดส่วนปัญหาที่เกิดขึ้นโดยใช้วิธีการทดสอบทางสถิติ พบว่าวิธีการนี้เหมาะสมกับปัญหาในกระบวนการผลิตที่สามารถสังเกตลักษณะของปัญหาได้จากผลิตภัณฑ์จริง ทำให้การหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้ในการเลือกใช้เครื่องมือหรือวิธีการที่เหมาะสมในการแก้ไขปัญหา และปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตต่อไปได้

จากขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาหรือแยกบริเวณขอบยาง พบว่าการออกแบบผลิตภัณฑ์นั้นเป็นสาเหตุหนึ่งของปัญหา แต่การทดลองเปลี่ยนแปลงนั้นอาจส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติหลักของผลิตภัณฑ์ซึ่งได้ตกลงไว้กับลูกค้า งานศึกษานี้จึงไม่พิจารณาปรับปรุงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ เช่น รูปร่างของชิ้นส่วนหน้ายาง หรือการปรับแต่งแม่พิมพ์บริเวณขอบยาง ดังนั้น ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ในอนาคตควรมีการประเมินปัญหาหรือแยกบริเวณขอบยางเพิ่มเติม ก่อนการกำหนดรายละเอียดของผลิตภัณฑ์กับลูกค้า

ในขั้นตอนการทดลองเพื่อแก้ไขปัญหา งานศึกษานี้พิจารณาเฉพาะระดับของปัจจัยภายในขอบเขตที่จะไม่ส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ทำให้การศึกษาบางปัจจัย เช่น ขนาดของแบบยาง หรือความกว้างของชิ้นส่วนหน้ายาง ที่ทำได้เพียงหาระดับของปัจจัยที่ดีที่สุดในช่วงของการทดลองเท่านั้น อาจยังไม่พบค่าของปัจจัยที่ทำให้สัดส่วนของปัญหาต่ำที่สุดซึ่งอาจอยู่นอกขอบเขตการทดลอง

งานศึกษานี้ยังไม่ได้ศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบยางธรรมชาติ ซึ่งอาจมีคุณภาพที่แตกต่างกันตามแหล่งวัตถุดิบ ดังที่ได้พิสูจน์พบในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเบื้องต้น แต่จากบันทึกการตรวจสอบผู้ผลิตยางธรรมชาติของโรงงานกรณีศึกษา และการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตยางธรรมชาติ พบว่าผู้ผลิตยางธรรมชาติแบบแผ่นรมควัน (Ribbed smoked sheet) ในประเทศไทยยังขาดความรู้ที่เกี่ยวข้องในการผลิต และควรศึกษา ปรับปรุงการควบคุมอุณหภูมิและการไหลของอากาศในกระบวนการอบยาง [18] เพื่อพัฒนาคุณภาพของวัตถุดิบยางธรรมชาติ

อีกประการหนึ่ง คือ ผู้วิจัยยังไม่ได้ศึกษาลักษณะและขั้นตอนการไหลของเนื้อยางภายในแม่พิมพ์ขณะอบยาง เนื่องจากข้อจำกัดด้านเทคโนโลยีของโรงงานกรณีศึกษา รวมถึงยังไม่มีเครื่องมือหรือโปรแกรมที่ใช้จำลองการไหลของยาง อาทิเช่น การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element analysis) [19] หากสามารถศึกษาประเด็นดังกล่าวเพิ่มเติมจะทำให้เข้าใจปัญหาหรือแยกบริเวณขอบยางได้ดียิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

- [1] นพรัตน์ อรรถเสนา, "ผลกระทบของโครงสร้างชั้นผ้าใบที่มีผลต่อการเสียรูปของยางล้อไบแอส," วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, วิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2553.
- [2] Dunlop India Ltd. CONSUMER GUIDE FOR TYRE / TUBE / FLAP [Online]. Available: http://www.dunlop.co.in/pdf/consumer_guide.pdf
- [3] I. Kumho Tire Co. Kumho tire as policy and tire inspection [Online]. Available: <http://kumho.bluerayws.com/sites/default/files/AS%20POLICY%20AND%20TIRE%20INSPECTION.ppt>
- [4] D. Okes, "Improve Your ROOT CAUSE ANALYSIS," *Manufacturing Engineering*, vol. 134, no. 3, pp. 171-177, 2005.
- [5] มยุรา หนองเส, "การปรับปรุงกระบวนการผลิตแกนยึดหัวอ่านสำหรับฮาร์ดดิสก์โดยใช้แนวคิดลีน ซิกซ์ซิกมา," วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, วิศวกรรมอุตสาหการ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.
- [6] A. Abdollahi, "Root Cause and Error Analysis," *Iranian Journal of Pathology*, vol. 9, no. 2, pp. 81-88, 2014.
- [7] A. M. Doggett, "A Statistical Comparison of Three Root Cause Analysis Tools," *Journal of Industrial Technology*, vol. 20, no. 2, pp. 1-9, 2004.
- [8] B. Portwood and L. Reising, "Root Cause Analysis and Quantitative Methods - Yin and Yang?," presented at the 25th International System Safety Conference, Baltimore, Aug. 13-17, 2007.
- [9] A. M. Doggett, "Root Cause Analysis: A Framework for Tool Selection," *Quality Management Journal*, vol. 12, no. 4, pp. 34-45, 2018.
- [10] T. Kececi and O. Arslan, "SHARE technique: A novel approach to root cause analysis of ship accidents," *Safety Science*, vol. 96, pp. 1-21, 2017.
- [11] D. Mahto and A. Kumar, "Application of root cause analysis in improvement of product quality and productivity," *Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 1, no. 2, 2008.

- [12] S. Kum and B. Sahin, "A root cause analysis for Arctic Marine accidents from 1993 to 2011," *Safety Science*, vol. 74, pp. 206-220, 2015.
- [13] H. A. Yuniarto, "The Shortcomings of Existing Root Cause Analysis Tools," in *World Congress on Engineering*, London, U.K., 2012, vol. 3.
- [14] D. C. Montgomery, *Design and analysis of experiments*, 8 ed. John wiley & sons, 2013.
- [15] L. Wu, K.-l. Yick, S.-p. Ng, and J. Yip, "Application of the Box–Behnken design to the optimization of process parameters in foam cup molding," *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 9, pp. 8059-8065, 2012.
- [16] ศิริภัสสร มีครุฑ, "การลดของเสียในกระบวนการผลิตยางรถยนต์โดยแนวทางซิกซ์ ซิกมา," วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, วิศวกรรมอุตสาหกรรม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2559.
- [17] รณชัย ไม้สนธิ์, "การลดของเสียจากการอบยางในกระบวนการผลิตยางรถยนต์โดยใช้เทคนิค FMEA," วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, วิศวกรรมอุตสาหกรรม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.
- [18] M. Promtong and P. Tekasakul, "CFD study of flow in natural rubber smoking-room: I. Validation with the present smoking-room," *Applied Thermal Engineering*, vol. 27, no. 11-12, pp. 2113-2121, 2007.
- [19] M.-R. Erfanian, M. Anbarsooz, and M. Moghiman, "A three dimensional simulation of a rubber curing process considering variable order of reaction," *Applied Mathematical Modelling*, vol. 40, no. 19-20, pp. 8592-8604, 2016.

ภาคผนวก



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

ข้อมูลก่อนการปรับปรุงกระบวนการ

- ตารางที่ ก.1 ข้อมูลสัดส่วนของเสียรวมต่อเดือนในปีพ.ศ.2558
- ตารางที่ ก.2 ข้อมูลสัดส่วนของซ่อมรวมต่อเดือนในปีพ.ศ.2558
- ตารางที่ ก.3 ข้อมูลสัดส่วนและมูลค่าความสูญเสียของปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางในปีพ.ศ. 2557 และ 2558
- ตารางที่ ก.4 ข้อมูลยางรุ่นที่เกิดปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางมากที่สุด 8 อันดับแรกในปีพ.ศ. 2558
- ตารางที่ ก.5 ข้อมูลสัดส่วนและมูลค่าความสูญเสียรายเดือนจากปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางของยางรุ่น 90/90-14EG ในปีพ.ศ.2558
- ตารางที่ ก.6 ข้อมูลขนาดรอยแตกบริเวณขอบยางตามตำแหน่งของยางรุ่น 90/90-14EG จำนวน 100 เส้น

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลสัดส่วนของเสียรวมต่อเดือนในปีพ.ศ.2558

เดือน	ปริมาณการผลิต (เส้น)	ปริมาณของเสีย (เส้น)	สัดส่วนของเสีย (%)
มกราคม	458,966	11,339	2.47
กุมภาพันธ์	490,810	12,165	2.48
มีนาคม	526,456	11,565	2.20
เมษายน	418,725	8,778	2.10
พฤษภาคม	477,076	8,438	1.77
มิถุนายน	518,306	6,049	1.17
กรกฎาคม	513,802	7,003	1.36
สิงหาคม	465,073	6,591	1.42
กันยายน	436,170	6,008	1.38
ตุลาคม	428,191	6,099	1.42
พฤศจิกายน	456,919	5,423	1.19
ธันวาคม	423,994	5,478	1.29

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลสัดส่วนของซ่อมรวมต่อเดือนในปีพ.ศ.2558

เดือน	ปริมาณการผลิต (เส้น)	ปริมาณของซ่อม (เส้น)	สัดส่วนของซ่อม (%)
มกราคม	458,966	43,396	9.46
กุมภาพันธ์	490,810	48,304	9.84
มีนาคม	526,456	49,622	9.43
เมษายน	418,725	41,909	10.01
พฤษภาคม	477,076	46,228	9.69
มิถุนายน	518,306	47,921	9.25
กรกฎาคม	513,802	46,457	9.04
สิงหาคม	465,073	46,701	10.04
กันยายน	436,170	47,635	10.92
ตุลาคม	428,191	47,204	11.02
พฤศจิกายน	456,919	48,115	10.53
ธันวาคม	423,994	49,297	11.63

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลสัดส่วนและมูลค่าความสูญเสียของปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางในปีพ.ศ.2557 และ 2558

ปี พ.ศ.	เดือน	ปริมาณการผลิต		รอยแตกบริเวณขอบยาง	
		(เส้น)	(เส้น)	(%)	(%)
2557	มกราคม	542,728	7,351	1.35	
	กุมภาพันธ์	435,249	6,224	1.43	
	มีนาคม	452,800	7,395	1.63	
	เมษายน	432,523	9,482	2.19	
	พฤษภาคม	477,617	8,669	1.82	
	มิถุนายน	497,304	12,210	2.46	
	กรกฎาคม	506,143	11,786	2.33	
	สิงหาคม	429,283	12,672	2.95	
	กันยายน	502,350	14,404	2.87	
	ตุลาคม	539,996	12,797	2.37	
	พฤศจิกายน	461,063	11,402	2.47	
	ธันวาคม	406,433	8,412	2.07	
2558	มกราคม	458,966	7,804	1.70	
	กุมภาพันธ์	490,810	8,849	1.80	
	มีนาคม	526,456	10,017	1.90	
	เมษายน	418,725	7,693	1.84	
	พฤษภาคม	477,076	11,296	2.37	
	มิถุนายน	518,306	11,799	2.28	
	กรกฎาคม	513,802	8,861	1.72	
	สิงหาคม	465,073	7,452	1.60	
	กันยายน	436,170	8,101	1.86	
	ตุลาคม	428,191	8,965	2.09	
	พฤศจิกายน	456,919	7,454	1.63	
	ธันวาคม	423,994	7,728	1.82	

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลยางรุ่นที่เกิดปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางมากที่สุด 8 อันดับแรกในปีพ.ศ. 2558

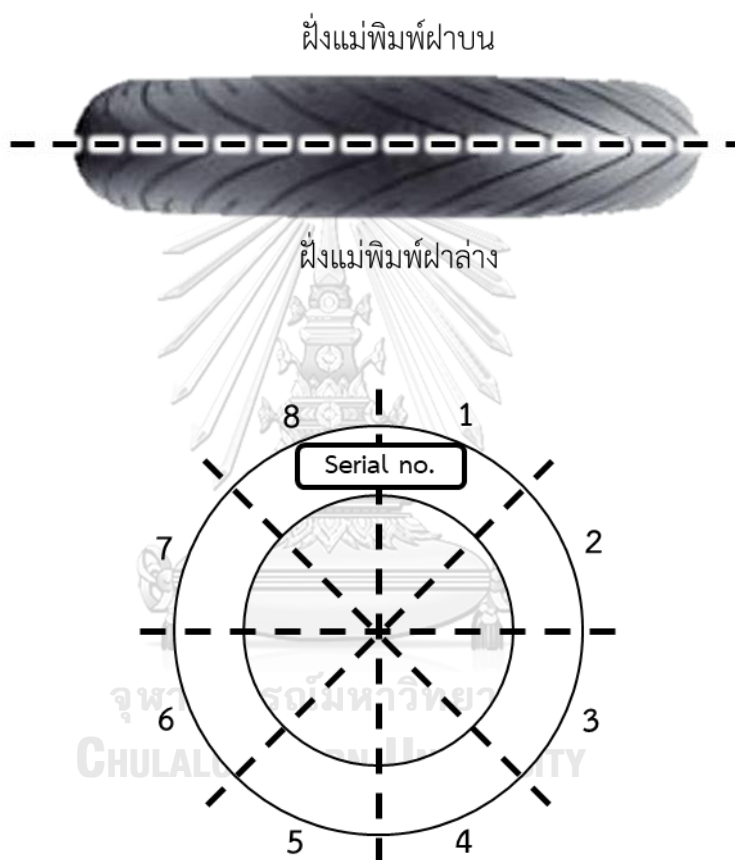
รุ่นยาง	ปริมาณการผลิต		รอยแตกบริเวณขอบยาง	
	(เส้น)	(เส้น)	(เส้น)	(%)
90/90-14EG	292,699		21,393	7.31
100/80-17RWTL	28,893		6,735	23.31
90/90-14K60	60,518		5,399	8.92
110/90-12K16TL	29,464		3,922	13.31
90/90-14SDZ	10,372		3,427	33.04
70/100-17KPWL	536,905		2,951	0.55
50/100-17WG	16,841		2,716	16.13
90/90-14EGX	21,885		2,611	11.93

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลสัดส่วนและมูลค่าความสูญเสียรายเดือนจากปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง
ของยางรุ่น 90/90-14EG ในปีพ.ศ.2558

เดือน	ปริมาณการผลิต	รอยแตกบริเวณขอบยาง		มูลค่าความสูญเสีย
	(เส้น)	(เส้น)	(%)	(บาท)
มกราคม	22,987	1,603	6.97	320,600
กุมภาพันธ์	28,054	1,655	5.90	331,000
มีนาคม	29,343	1,757	5.99	351,400
เมษายน	23,003	1,596	6.94	319,200
พฤษภาคม	21,408	2,223	10.38	444,600
มิถุนายน	29,074	2,515	8.65	503,000
กรกฎาคม	28,422	2,390	8.41	478,000
สิงหาคม	24,560	1,520	6.19	304,000
กันยายน	21,083	1,572	7.46	314,400
ตุลาคม	25,029	1,631	6.52	326,200
พฤศจิกายน	21,788	1,522	6.99	304,400
ธันวาคม	17,948	1,409	7.85	281,800
เฉลี่ย	24,392	1,783	7.31	356,550

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลขนาดรอยแตกบริเวณขอบยางตามตำแหน่งของยางรุ่น 90/90-14EG จำนวน 100 เส้น

ในการเก็บข้อมูลขนาดรอยแตกบริเวณขอบยาง จะแบ่งพื้นที่ยางออกเป็น 2 ฝั่ง คือ ฝั่งแม่พิมพ์ฝาบ่น และแม่พิมพ์ฝาล่าง ในแต่ละฝั่งแบ่งเป็น 8 ส่วนย่อยตามแนวเส้นรอบวง โดยใช้ตำแหน่ง Serial number ของยางเป็นจุดอ้างอิง ดังแสดงในรูป



เส้น ที่	ขนาดรอยแตกบริเวณขอบยาง (มิลลิเมตร)																จำนวน รอยแตก (จุด)	
	ฝั่งแม่พิมพ์ด้านบน								ฝั่งแม่พิมพ์ด้านล่าง									
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8		
1	11.1	-	-	-	11.3	-	-	-	-	-	-	-	-	7.8	9.9	-	10.0	4
2	-	14.7	13.3	-	-	-	-	-	17.0	8.8	-	-	-	-	-	-	13.5	4
3	9.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14.0	12.2	10.4	-	11.6	4
4	13.0	-	-	14.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14.4	-	-	13.9	3
5	12.3	11.5	-	-	15.7	-	-	-	-	-	-	11.5	-	-	-	-	12.8	4
6	-	10.7	-	13.7	12.5	-	-	-	12.2	-	-	15.7	-	-	11.6	-	12.7	6
7	7.1	-	-	-	-	7.6	-	-	-	-	15.1	10.6	-	13.3	-	-	10.7	5
8	-	-	-	-	14.2	-	-	-	-	12.4	-	-	-	-	-	-	12.5	3
9	-	-	-	-	17.8	-	-	-	14.1	14.1	-	-	11.9	-	7.1	12.7	13.0	6
10	12.5	-	-	-	3.8	-	-	-	-	-	-	13.0	-	-	14.3	-	10.9	4

เส้น ที่	ขนาดรอยแตกบริเวณขอบยาง (มิลลิเมตร)																จำนวน รอยแตก (จุด)	
	ฝั่งแม่พิมพ์ด้านบน								ฝั่งแม่พิมพ์ด้านล่าง									
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8		
11	-	-	-	-	-	13.2	-	12.6	-	-	-	-	-	-	12.5	-	11.6	4
12	6.1	-	-	18.4	17.1	-	-	-	14.3	-	-	-	-	-	-	-	14.0	4
13	-	-	-	-	-	6.5	13.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.8	2
14	-	-	-	-	12.9	13.6	-	-	-	-	6.9	-	-	6.3	-	-	9.9	4
15	-	-	-	-	-	-	10.9	-	-	13.4	-	-	-	-	-	-	12.2	2
16	-	-	-	-	-	-	-	11.1	-	-	-	-	15.1	-	-	10.8	12.3	3
17	5.3	9.6	-	-	12.4	-	12.2	-	-	-	-	-	-	11.0	11.2	12.0	10.5	7
18	16.1	20.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.0	-	-	-	15.4	3
19	-	-	-	-	14.8	-	-	13.0	14.9	17.5	-	-	-	11.3	-	-	14.3	5
20	9.4	-	-	-	-	-	9.8	-	-	-	-	9.1	13.9	-	-	-	10.6	4

เส้น ที่	ขนาดรอยแตกบริเวณขอบยาง (มิลลิเมตร)																จำนวน รอยแตก (จุด)	
	ฝั่งแม่พิมพ์ด้านบน								ฝั่งแม่พิมพ์ด้านล่าง									
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8		
21	-	8.2	-	-	-	-	7.8	-	-	14.2	-	-	-	-	-	-	10.1	3
22	-	-	-	-	-	-	11.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.0	1
23	9.5	-	-	-	-	-	-	-	14.3	-	-	-	-	-	-	-	11.9	2
24	-	-	-	-	-	8.3	-	-	12.9	11.2	-	-	-	-	13.2	5.7	10.3	5
25	-	11.6	8.1	-	-	11.1	-	15.5	13.3	-	-	-	13.3	-	-	-	12.2	6
26	-	-	-	-	10.4	18.4	-	-	9.9	-	-	-	-	12.2	-	-	12.7	4
27	-	-	-	11.2	11.4	-	-	14.3	15.4	17.3	-	-	-	10.8	-	-	13.4	6
28	-	-	-	-	-	-	-	-	10.8	13.3	-	-	-	-	-	-	12.1	2
29	-	-	-	-	15.5	-	-	12.5	-	-	-	11.7	-	-	14.4	-	13.5	4
30	-	-	-	-	9.5	-	10.3	-	-	-	-	-	-	14.1	-	-	11.3	3

เส้น ที่	ขนาดรอยแตกบริเวณขอบยาง (มิลลิเมตร)																จำนวน รอยแตก (จุด)	
	ฝั่งแม่พิมพ์ด้านบน								ฝั่งแม่พิมพ์ด้านล่าง									
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8		
31	14.7	-	-	-	-	-	-	12.6	-	-	10.6	-	-	-	-	-	12.6	3
32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13.8	7.2	17.5	-	-	14.2	8.3	12.2	5
33	-	-	-	-	9.7	13.9	-	-	-	15.5	11.2	-	-	-	-	-	12.6	4
34	13.4	9.7	-	13.9	14.5	-	-	14.6	-	-	-	-	13.3	-	-	14.2	13.4	7
35	-	-	-	-	11.4	14.6	11.4	-	-	16.3	5.6	9.7	-	15.8	-	-	12.1	7
36	-	-	-	14.3	11.2	-	-	-	-	-	-	-	-	11.9	-	-	12.5	3
37	-	-	-	-	-	7.8	-	-	-	11.0	-	-	-	-	-	-	9.4	2
38	-	-	-	-	15.0	-	-	-	-	9.0	-	-	-	-	-	-	12.0	2
39	-	-	11.5	-	-	-	-	7.7	-	-	-	-	14.9	-	12.5	-	11.7	4
40	15.5	-	-	-	11.8	-	-	-	-	-	-	6.7	-	-	-	-	10.6	4

เส้น ที่	ขนาดรอยแตกบริเวณขอบยาง (มิลลิเมตร)																จำนวน รอยแตก (จุด)	
	ฝั่งแม่พิมพ์ด้านบน								ฝั่งแม่พิมพ์ด้านล่าง									
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8		
41	8.9	-	-	12.1	-	7.8	-	-	-	-	-	8.5	-	-	-	-	9.3	4
42	-	-	-	-	5.6	-	-	-	-	-	-	-	-	13.7	-	11.7	10.3	3
43	-	7.2	-	-	9.4	12.5	-	8.1	-	8.5	-	-	-	-	15.3	-	10.2	6
44	-	-	-	11.9	-	-	-	14.5	-	-	-	-	-	8.5	-	-	11.6	3
45	12.7	15.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.1	-	-	14.3	13.7	12.6	5
46	15.5	-	-	-	13.3	-	-	-	14.9	-	-	-	-	17.7	-	-	15.4	4
47	-	-	12.4	-	15.6	-	-	-	-	-	-	-	4.9	-	-	-	11.0	3
48	-	-	-	12.5	-	14.0	-	13.0	-	-	-	14.1	-	10.5	-	-	12.8	5
49	-	11.3	-	-	-	-	-	10.3	-	15.3	15.2	-	14.1	-	-	-	13.2	5
50	-	17.3	16.7	-	-	-	12.0	-	-	18.4	13.4	-	-	-	-	15.6	15.6	6

เส้น ที่	ขนาดรอยแตกบริเวณขอบยาง (มิลลิเมตร)																จำนวน รอยแตก (จุด)	
	ฝั่งแม่พิมพ์ด้านบน								ฝั่งแม่พิมพ์ด้านล่าง									
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8		
51	14.6	-	-	-	-	13.5	11.1	-	-	-	13.4	-	-	-	-	11.2	12.8	5
52	-	21.4	-	-	10.3	-	-	12.8	-	-	-	-	-	-	15.6	-	15.0	4
53	-	-	13.3	18.2	-	14.0	-	-	-	-	-	-	11.3	12.5	-	7.3	12.8	6
54	13.8	11.8	-	-	-	7.2	-	7.9	-	-	-	-	7.5	-	8.1	-	9.4	6
55	14.0	-	-	-	-	-	-	13.2	12.0	-	-	-	12.1	-	-	-	12.8	4
56	-	-	-	10.9	-	16.2	-	-	-	11.9	7.8	-	-	-	-	13.1	12.0	5
57	13.1	14.7	9.5	15.0	-	-	-	-	-	-	-	10.1	12.5	-	-	9.6	12.1	7
58	-	-	-	-	-	-	18.8	-	9.6	-	-	-	-	-	-	16.7	15.0	3
59	10.7	9.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.1	2
60	-	-	7.8	-	-	-	-	-	-	-	-	6.5	-	-	-	6.4	6.9	3

เส้น ที่	ขนาดรอยแตกบริเวณขอบยาง (มิลลิเมตร)																จำนวน รอยแตก (จุด)	
	ฝั่งแม่พิมพ์ด้านบน								ฝั่งแม่พิมพ์ด้านล่าง									
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8		
61	-	-	-	13.2	-	-	-	12.5	-	-	14.9	-	13.1	-	-	-	13.4	4
62	13.3	-	-	-	-	-	-	-	14.6	-	-	-	-	-	-	12.2	13.4	3
63	-	12.5	6.9	-	-	-	-	-	11.9	-	-	-	-	14.0	-	10.0	11.1	5
64	-	-	10.9	-	-	-	-	-	10.4	11.7	-	-	-	13.8	-	9.7	11.3	5
65	-	-	11.4	-	13.8	-	14.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13.1	3
66	-	-	13.2	-	-	-	-	17.5	-	-	-	-	-	-	-	-	15.4	2
67	-	-	8.0	-	12.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19.3	13.2	3
68	-	-	-	-	-	-	15.4	-	10.1	-	-	11.8	-	-	6.6	-	11.0	4
69	-	-	8.6	-	-	-	-	-	13.0	9.2	-	12.1	-	17.7	13.9	-	12.4	6
70	-	-	-	13.1	-	-	-	-	-	-	15.2	13.6	12.9	-	-	-	13.7	4

เส้น ที่	ขนาดรอยแตกบริเวณขอบยาง (มิลลิเมตร)																จำนวน รอยแตก (จุด)	
	ฝั่งแม่พิมพ์ด้านบน								ฝั่งแม่พิมพ์ด้านล่าง									
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8		
71	-	-	-	12.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.3	11.2	7.1	9.6	4
72	9.2	-	-	11.8	13.4	16.3	13.3	-	-	-	-	12.6	-	-	-	-	12.8	6
73	-	11.7	-	10.4	-	-	-	-	9.2	-	-	17.7	-	15.4	-	-	12.9	5
74	-	-	-	8.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12.4	-	10.7	2
75	-	-	14.1	-	18.3	-	-	8.5	-	-	-	-	-	12.4	-	-	13.3	4
76	-	-	-	-	-	9.0	-	-	-	-	-	14.8	-	19.4	-	-	14.4	3
77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12.0	-	12.6	-	-	-	12.3	2
78	-	-	13.8	-	-	-	-	-	-	12.5	-	-	-	10.3	-	-	12.2	3
79	-	-	-	-	-	11.1	-	-	18.7	-	-	-	-	-	-	18.0	15.9	3
80	-	-	-	-	-	12.6	11.6	-	-	17.5	-	-	8.7	-	-	-	12.6	4

เส้น ที่	ขนาดรอยแตกบริเวณขอบยาง (มิลลิเมตร)																จำนวน รอยแตก (จุด)	
	ฝั่งแม่พิมพ์ด้านบน								ฝั่งแม่พิมพ์ด้านล่าง									
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8		
81	-	-	-	12.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17.2	-	16.7	15.6	3
82	11.7	-	-	11.2	-	-	-	18.7	-	-	-	11.9	-	-	-	7.2	12.1	5
83	-	-	-	11.0	-	-	-	-	-	10.3	-	-	-	9.2	-	-	10.2	3
84	-	-	-	-	-	-	-	-	10.0	-	-	-	-	10.9	13.8	13.0	11.9	4
85	-	-	13.3	-	-	-	-	-	-	-	12.3	-	-	-	-	-	12.8	2
86	8.1	-	10.0	11.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12.6	-	1.2	5
87	14.3	-	-	-	-	-	11.7	-	14.6	-	-	-	9.7	-	-	10.9	11.7	6
88	-	-	-	-	-	11.4	-	9.4	-	-	-	-	-	-	-	-	10.4	2
89	-	-	-	-	-	-	9.6	-	9.8	-	-	-	11.2	-	12.1	-	10.7	4
90	-	-	-	-	9.6	-	-	-	7.3	-	-	-	-	-	14.5	-	10.5	3

เส้น ที่	ขนาดรอยแตกบริเวณขอบยาง (มิลลิเมตร)																		จำนวน รอยแตก (จุด)
	ฝั่งแม่พิมพ์ด้านบน									ฝั่งแม่พิมพ์ด้านล่าง									
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8			
91	-	14.0	-	-	-	17.0	-	-	-	12.8	9.5	12.2	-	-	12.5	-	13.0	6	
92	-	16.2	3.5	-	15.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.9	3	
93	-	-	-	-	-	-	8.7	11.6	-	-	-	12.2	-	-	-	16.3	12.2	4	
94	-	-	13.4	-	-	-	9.5	-	11.0	14.7	-	-	-	-	-	9.7	11.7	5	
95	-	-	-	-	-	-	13.8	11.5	-	-	-	-	-	-	-	-	12.7	2	
96	-	19.1	-	13.5	-	-	-	-	8.2	-	-	9.9	-	-	-	-	12.7	4	
97	-	-	-	-	-	-	8.9	6.6	10.6	-	-	-	-	12.8	-	-	9.7	4	
98	11.3	-	-	-	-	8.6	-	-	-	8.7	-	11.2	-	10.0	-	-	10.0	5	
99	-	-	12.3	-	-	-	-	-	-	-	11.5	13.2	13.3	14.5	-	11.9	12.8	6	
100	13.1	12.7	-	10.9	-	-	-	-	-	-	-	15.9	10.6	-	9.9	-	12.2	6	

ภาคผนวก ข

ข้อมูลผลการทดลองและผลหลังการปรับปรุงกระบวนการ

ตารางที่ ข.1	ข้อมูลผลการทดลองรูปแบบที่ 1
ตารางที่ ข.2	ข้อมูลผลการทดลองรูปแบบที่ 2
ตารางที่ ข.3	ข้อมูลผลการทดลองรูปแบบที่ 3
ตารางที่ ข.4	ข้อมูลผลการทดลองรูปแบบที่ 4
ตารางที่ ข.5	ข้อมูลผลการทดลองรูปแบบที่ 5
ตารางที่ ข.6	ข้อมูลผลการทดลองรูปแบบที่ 6
ตารางที่ ข.7	ข้อมูลผลการทดลองรูปแบบที่ 7
ตารางที่ ข.8	ข้อมูลผลการทดลองรูปแบบที่ 8
ตารางที่ ข.9	ข้อมูลผลการทดลองรูปแบบที่ 9
ตารางที่ ข.10	ข้อมูลผลการทดลองรูปแบบที่ 10
ตารางที่ ข.11	ข้อมูลผลการทดลองรูปแบบที่ 11
ตารางที่ ข.12	ข้อมูลผลการทดลองรูปแบบที่ 12
ตารางที่ ข.13	ข้อมูลผลการทดลองรูปแบบที่ 13
ตารางที่ ข.14	ข้อมูลผลการทดลองรูปแบบที่ 14
ตารางที่ ข.15	ข้อมูลผลการทดลองรูปแบบที่ 15
ตารางที่ ข.16	ข้อมูลสรุปผลการทดลอง
ตารางที่ ข.17	ข้อมูลสัดส่วนรอยแตกบริเวณขอบยางของยางรุ่นตัวอย่างหลังการปรับปรุงกระบวนการ

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลผลการทดลองรูปแบบที่ 1

ลำดับมาตรฐานที่	1		
ลำดับการทดลองที่	15		
ระดับของปัจจัย	ขนาดแบบยาง (H)	180	มิลลิเมตร
	ความกว้างหน้ายาง (W)	186	มิลลิเมตร
	แรงดันในการขึ้นรูป (P)	0.12	เมกะปาสคาล

เส้นที่	ผลการตรวจสอบ	จำนวนรอยแตก (จุด)	ขนาดรอยแตกรวม (มิลลิเมตร)	เส้นที่	ผลการตรวจสอบ	จำนวนรอยแตก (จุด)	ขนาดรอยแตกรวม (มิลลิเมตร)
1	ดี	-	-	19	ดี	-	-
2	ดี	-	-	20	ดี	-	-
3	ดี	-	-	21	ดี	-	-
4	ดี	-	-	22	ดี	-	-
5	ดี	-	-	23	ดี	-	-
6	ดี	-	-	24	ดี	-	-
7	ดี	-	-	25	ดี	-	-
8	ดี	-	-	26	ดี	-	-
9	ดี	-	-	27	ดี	-	-
10	ดี	-	-	28	ดี	-	-
11	ดี	-	-	29	ดี	-	-
12	ดี	-	-	30	ดี	-	-
13	ดี	-	-	31	ดี	-	-
14	ดี	-	-	32	ดี	-	-
15	ดี	-	-	33	ดี	-	-
16	ดี	-	-	34	เสีย	2	45
17	ดี	-	-	35	ดี	-	-
18	ดี	-	-	รวม		2	45

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลผลการทดลองรูปแบบที่ 2

ลำดับมาตรฐานที่	2		
ลำดับการทดลองที่	7		
ระดับของปัจจัย	ขนาดแบบยาง (H)	190	มิลลิเมตร
	ความกว้างหน้ายาง (W)	186	มิลลิเมตร
	แรงดันในการขึ้นรูป (P)	0.12	เมกะปาสคาล

เส้นที่	ผลการตรวจสอบ	จำนวนรอยแตก (จุด)	ขนาดรอยแตกรวม (มิลลิเมตร)	เส้นที่	ผลการตรวจสอบ	จำนวนรอยแตก (จุด)	ขนาดรอยแตกรวม (มิลลิเมตร)
1	ดี	-	-	19	ดี	-	-
2	ดี	-	-	20	ดี	-	-
3	ดี	-	-	21	ดี	-	-
4	ดี	-	-	22	ดี	-	-
5	ดี	-	-	23	ดี	-	-
6	ดี	-	-	24	ดี	-	-
7	เสีย	3	32	25	ดี	-	-
8	ดี	-	-	26	เสีย	1	15
9	เสีย	4	37	27	ดี	-	-
10	ดี	-	-	28	ดี	-	-
11	ดี	-	-	29	ดี	-	-
12	ดี	-	-	30	ดี	-	-
13	ดี	-	-	31	ดี	-	-
14	ดี	-	-	32	ดี	-	-
15	ดี	-	-	33	ดี	-	-
16	ดี	-	-	34	เสีย	2	23
17	ดี	-	-	35	ดี	-	-
18	ดี	-	-	รวม		10	107

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลผลการทดลองรูปแบบที่ 3

ลำดับมาตรฐานที่	3		
ลำดับการทดลองที่	3		
ระดับของปัจจัย	ขนาดแบบยาง (H)	180	มิลลิเมตร
	ความกว้างหน้ายาง (W)	196	มิลลิเมตร
	แรงดันในการขึ้นรูป (P)	0.12	เมกะปาสคาล

เส้นที่	ผลการ ตรวจสอบ	จำนวน รอยแตก (จุด)	ขนาดรอย แตกรวม (มิลลิเมตร)	เส้นที่	ผลการ ตรวจสอบ	จำนวน รอยแตก (จุด)	ขนาดรอย แตกรวม (มิลลิเมตร)
1	ดี	-	-	19	ดี	-	-
2	ดี	-	-	20	ดี	-	-
3	ดี	-	-	21	ดี	-	-
4	ดี	-	-	22	ดี	-	-
5	ดี	-	-	23	ดี	-	-
6	เสีย	2	38	24	ดี	-	-
7	ดี	-	-	25	ดี	-	-
8	ดี	-	-	26	ดี	-	-
9	ดี	-	-	27	ดี	-	-
10	ดี	-	-	28	ดี	-	-
11	ดี	-	-	29	ดี	-	-
12	ดี	-	-	30	เสีย	1	15
13	ดี	-	-	31	ดี	-	-
14	ดี	-	-	32	ดี	-	-
15	ดี	-	-	33	ดี	-	-
16	ดี	-	-	34	ดี	-	-
17	ดี	-	-	35	ดี	-	-
18	ดี	-	-	รวม		3	53

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลผลการทดลองรูปแบบที่ 4

ลำดับมาตรฐานที่	4		
ลำดับการทดลองที่	12		
ระดับของปัจจัย	ขนาดแบบยาง (H)	190	มิลลิเมตร
	ความกว้างหน้ายาง (W)	196	มิลลิเมตร
	แรงดันในการขึ้นรูป (P)	0.12	เมกะปาสคาล

เส้นที่	ผลการตรวจสอบ	จำนวนรอยแตก (จุด)	ขนาดรอยแตกรวม (มิลลิเมตร)	เส้นที่	ผลการตรวจสอบ	จำนวนรอยแตก (จุด)	ขนาดรอยแตกรวม (มิลลิเมตร)
1	ดี	-	-	19	ดี	-	-
2	ดี	-	-	20	ดี	-	-
3	ดี	-	-	21	ดี	-	-
4	ดี	-	-	22	ดี	-	-
5	ดี	-	-	23	เสีย	1	23
6	ดี	-	-	24	ดี	-	-
7	เสีย	2	26	25	ดี	-	-
8	ดี	-	-	26	ดี	-	-
9	ดี	-	-	27	ดี	-	-
10	ดี	-	-	28	ดี	-	-
11	ดี	-	-	29	ดี	-	-
12	ดี	-	-	30	เสีย	2	18
13	ดี	-	-	31	ดี	-	-
14	ดี	-	-	32	ดี	-	-
15	ดี	-	-	33	ดี	-	-
16	ดี	-	-	34	ดี	-	-
17	ดี	-	-	35	ดี	-	-
18	ดี	-	-	รวม		5	67

ตารางที่ ข.5 ข้อมูลผลการทดลองรูปแบบที่ 5

ลำดับมาตรฐานที่	5		
ลำดับการทดลองที่	14		
ระดับของปัจจัย	ขนาดแบบยาง (H)	180	มิลลิเมตร
	ความกว้างหน้ายาง (W)	191	มิลลิเมตร
	แรงดันในการขึ้นรูป (P)	0.10	เมกะปาสคาล

เส้นที่	ผลการ ตรวจสอบ	จำนวน รอยแตก (จุด)	ขนาดรอย แตกรวม (มิลลิเมตร)	เส้นที่	ผลการ ตรวจสอบ	จำนวน รอยแตก (จุด)	ขนาดรอย แตกรวม (มิลลิเมตร)
1	ดี	-	-	19	ดี	-	-
2	ดี	-	-	20	ดี	-	-
3	ดี	-	-	21	ดี	-	-
4	ดี	-	-	22	ดี	-	-
5	ดี	-	-	23	ดี	-	-
6	ดี	-	-	24	ดี	-	-
7	ดี	-	-	25	ดี	-	-
8	ดี	-	-	26	ดี	-	-
9	ดี	-	-	27	เสีย	1	19
10	ดี	-	-	28	ดี	-	-
11	ดี	-	-	29	เสีย	1	34
12	ดี	-	-	30	ดี	-	-
13	ดี	-	-	31	ดี	-	-
14	ดี	-	-	32	ดี	-	-
15	ดี	-	-	33	ดี	-	-
16	ดี	-	-	34	ดี	-	-
17	ดี	-	-	35	ดี	-	-
18	ดี	-	-	รวม		2	53

ตารางที่ ข.6 ข้อมูลผลการทดลองรูปแบบที่ 6

ลำดับมาตรฐานที่	6		
ลำดับการทดลองที่	11		
ระดับของปัจจัย	ขนาดแบบยาง (H)	190	มิลลิเมตร
	ความกว้างหน้ายาง (W)	191	มิลลิเมตร
	แรงดันในการขึ้นรูป (P)	0.10	เมกะปาสคาล

เส้นที่	ผลการตรวจสอบ	จำนวนรอยแตก (จุด)	ขนาดรอยแตกรวม (มิลลิเมตร)	เส้นที่	ผลการตรวจสอบ	จำนวนรอยแตก (จุด)	ขนาดรอยแตกรวม (มิลลิเมตร)
1	ดี	-	-	19	ดี	-	-
2	ดี	-	-	20	ดี	-	-
3	ดี	-	-	21	ดี	-	-
4	ดี	-	-	22	ดี	-	-
5	ดี	-	-	23	ดี	-	-
6	ดี	-	-	24	ดี	-	-
7	ดี	-	-	25	เสีย	2	31
8	ดี	-	-	26	ดี	-	-
9	ดี	-	-	27	ดี	-	-
10	ดี	-	-	28	ดี	-	-
11	เสีย	2	33	29	ดี	-	-
12	ดี	-	-	30	ดี	-	-
13	ดี	-	-	31	เสีย	1	16
14	ดี	-	-	32	ดี	-	-
15	เสีย	3	30	33	ดี	-	-
16	ดี	-	-	34	ดี	-	-
17	ดี	-	-	35	ดี	-	-
18	ดี	-	-	รวม		8	110

ตารางที่ ข.7 ข้อมูลผลการทดลองรูปแบบที่ 7

ลำดับมาตรฐานที่	7		
ลำดับการทดลองที่	2		
ระดับของปัจจัย	ขนาดแบบยาง (H)	180	มิลลิเมตร
	ความกว้างหน้ายาง (W)	191	มิลลิเมตร
	แรงดันในการขึ้นรูป (P)	0.14	เมกะปาสคาล

เส้นที่	ผลการตรวจสอบ	จำนวนรอยแตก (จุด)	ขนาดรอยแตกรวม (มิลลิเมตร)	เส้นที่	ผลการตรวจสอบ	จำนวนรอยแตก (จุด)	ขนาดรอยแตกรวม (มิลลิเมตร)
1	ดี	-	-	19	ดี	-	-
2	ดี	-	-	20	ดี	-	-
3	ดี	-	-	21	ดี	-	-
4	ดี	-	-	22	ดี	-	-
5	ดี	-	-	23	ดี	-	-
6	ดี	-	-	24	ดี	-	-
7	ดี	-	-	25	ดี	-	-
8	เสีย	4	41	26	ดี	-	-
9	ดี	-	-	27	ดี	-	-
10	เสีย	1	24	28	ดี	-	-
11	ดี	-	-	29	ดี	-	-
12	ดี	-	-	30	ดี	-	-
13	ดี	-	-	31	ดี	-	-
14	ดี	-	-	32	ดี	-	-
15	ดี	-	-	33	ดี	-	-
16	เสีย	1	17	34	ดี	-	-
17	ดี	-	-	35	ดี	-	-
18	ดี	-	-	รวม		6	82

ตารางที่ ข.8 ข้อมูลผลการทดลองรูปแบบที่ 8

ลำดับมาตรฐานที่	8		
ลำดับการทดลองที่	1		
ระดับของปัจจัย	ขนาดแบบยาง (H)	190	มิลลิเมตร
	ความกว้างหน้ายาง (W)	191	มิลลิเมตร
	แรงดันในการขึ้นรูป (P)	0.14	เมกะปาสคาล

เส้นที่	ผลการ ตรวจสอบ	จำนวน รอยแตก (จุด)	ขนาดรอย แตกรวม (มิลลิเมตร)	เส้นที่	ผลการ ตรวจสอบ	จำนวน รอยแตก (จุด)	ขนาดรอย แตกรวม (มิลลิเมตร)
1	ดี	-	-	19	ดี	-	-
2	ดี	-	-	20	ดี	-	-
3	ดี	-	-	21	ดี	-	-
4	ดี	-	-	22	เสีย	3	33
5	ดี	-	-	23	ดี	-	-
6	ดี	-	-	24	ดี	-	-
7	ดี	-	-	25	ดี	-	-
8	ดี	-	-	26	ดี	-	-
9	ดี	-	-	27	ดี	-	-
10	ดี	-	-	28	ดี	-	-
11	ดี	-	-	29	ดี	-	-
12	เสีย	3	31	30	ดี	-	-
13	ดี	-	-	31	ดี	-	-
14	ดี	-	-	32	เสีย	2	24
15	ดี	-	-	33	ดี	-	-
16	ดี	-	-	34	ดี	-	-
17	ดี	-	-	35	ดี	-	-
18	ดี	-	-	รวม		8	88

ตารางที่ ข.9 ข้อมูลผลการทดลองรูปแบบที่ 9

ลำดับมาตรฐานที่	9		
ลำดับการทดลองที่	6		
ระดับของปัจจัย	ขนาดแบบยาง (H)	185	มิลลิเมตร
	ความกว้างหน้ายาง (W)	186	มิลลิเมตร
	แรงดันในการขึ้นรูป (P)	0.10	เมกะปาสคาล

เส้นที่	ผลการตรวจสอบ	จำนวนรอยแตก (จุด)	ขนาดรอยแตกรวม (มิลลิเมตร)	เส้นที่	ผลการตรวจสอบ	จำนวนรอยแตก (จุด)	ขนาดรอยแตกรวม (มิลลิเมตร)
1	ดี	-	-	19	ดี	-	-
2	ดี	-	-	20	ดี	-	-
3	ดี	-	-	21	ดี	-	-
4	ดี	-	-	22	ดี	-	-
5	ดี	-	-	23	ดี	-	-
6	ดี	-	-	24	ดี	-	-
7	ดี	-	-	25	ดี	-	-
8	ดี	-	-	26	ดี	-	-
9	ดี	-	-	27	ดี	-	-
10	เสีย	1	10	28	ดี	-	-
11	ดี	-	-	29	ดี	-	-
12	ดี	-	-	30	ดี	-	-
13	ดี	-	-	31	ดี	-	-
14	ดี	-	-	32	ดี	-	-
15	ดี	-	-	33	ดี	-	-
16	ดี	-	-	34	ดี	-	-
17	เสีย	4	34	35	ดี	-	-
18	เสีย	2	34	รวม		7	78

ตารางที่ ข.10 ข้อมูลผลการทดลองรูปแบบที่ 10

ลำดับมาตรฐานที่	10			
ลำดับการทดลองที่	10			
ระดับของปัจจัย	ขนาดแบบยาง (H)	185	มิลลิเมตร	
	ความกว้างหน้ายาง (W)	196	มิลลิเมตร	
	แรงดันในการขึ้นรูป (P)	0.10	เมกะปาสคาล	

เส้นที่	ผลการ ตรวจสอบ	จำนวน รอยแตก (จุด)	ขนาดรอย แตกรวม (มิลลิเมตร)	เส้นที่	ผลการ ตรวจสอบ	จำนวน รอยแตก (จุด)	ขนาดรอย แตกรวม (มิลลิเมตร)
1	ดี	-	-	19	ดี	-	-
2	เสีย	2	30	20	ดี	-	-
3	ดี	-	-	21	ดี	-	-
4	ดี	-	-	22	ดี	-	-
5	ดี	-	-	23	ดี	-	-
6	ดี	-	-	24	เสีย	1	11
7	ดี	-	-	25	เสีย	3	29
8	ดี	-	-	26	ดี	-	-
9	ดี	-	-	27	ดี	-	-
10	ดี	-	-	28	ดี	-	-
11	ดี	-	-	29	ดี	-	-
12	ดี	-	-	30	ดี	-	-
13	ดี	-	-	31	ดี	-	-
14	ดี	-	-	32	ดี	-	-
15	ดี	-	-	33	ดี	-	-
16	เสีย	2	15	34	ดี	-	-
17	ดี	-	-	35	ดี	-	-
18	ดี	-	-	รวม		8	85

ตารางที่ ข.11 ข้อมูลผลการทดลองรูปแบบที่ 11

ลำดับมาตรฐานที่	11		
ลำดับการทดลองที่	13		
ระดับของปัจจัย	ขนาดแบบยาง (H)	185	มิลลิเมตร
	ความกว้างหน้ายาง (W)	186	มิลลิเมตร
	แรงดันในการขึ้นรูป (P)	0.14	เมกะปาสคาล

เส้นที่	ผลการตรวจสอบ	จำนวนรอยแตก (จุด)	ขนาดรอยแตกรวม (มิลลิเมตร)	เส้นที่	ผลการตรวจสอบ	จำนวนรอยแตก (จุด)	ขนาดรอยแตกรวม (มิลลิเมตร)
1	ดี	-	-	19	ดี	-	-
2	ดี	-	-	20	ดี	-	-
3	ดี	-	-	21	ดี	-	-
4	ดี	-	-	22	ดี	-	-
5	ดี	-	-	23	ดี	-	-
6	ดี	-	-	24	ดี	-	-
7	ดี	-	-	25	ดี	-	-
8	ดี	-	-	26	ดี	-	-
9	ดี	-	-	27	ดี	-	-
10	ดี	-	-	28	ดี	-	-
11	ดี	-	-	29	ดี	-	-
12	เสีย	1	19	30	ดี	-	-
13	เสีย	4	31	31	ดี	-	-
14	ดี	-	-	32	ดี	-	-
15	ดี	-	-	33	ดี	-	-
16	ดี	-	-	34	ดี	-	-
17	เสีย	1	12	35	เสีย	1	21
18	ดี	-	-	รวม		7	83

ตารางที่ ข.12 ข้อมูลผลการทดลองรูปแบบที่ 12

ลำดับมาตรฐานที่	12			
ลำดับการทดลองที่	4			
ระดับของปัจจัย	ขนาดแบบยาง (H)	185	มิลลิเมตร	
	ความกว้างหน้ายาง (W)	196	มิลลิเมตร	
	แรงดันในการขึ้นรูป (P)	0.14	เมกะปาสคาล	

เส้นที่	ผลการตรวจสอบ	จำนวนรอยแตก (จุด)	ขนาดรอยแตกรวม (มิลลิเมตร)	เส้นที่	ผลการตรวจสอบ	จำนวนรอยแตก (จุด)	ขนาดรอยแตกรวม (มิลลิเมตร)
1	ดี	-	-	19	ดี	-	-
2	ดี	-	-	20	เสีย	3	30
3	ดี	-	-	21	ดี	-	-
4	ดี	-	-	22	ดี	-	-
5	ดี	-	-	23	ดี	-	-
6	ดี	-	-	24	ดี	-	-
7	เสีย	1	25	25	ดี	-	-
8	ดี	-	-	26	เสีย	2	22
9	ดี	-	-	27	ดี	-	-
10	ดี	-	-	28	ดี	-	-
11	ดี	-	-	29	ดี	-	-
12	ดี	-	-	30	ดี	-	-
13	ดี	-	-	31	ดี	-	-
14	ดี	-	-	32	ดี	-	-
15	ดี	-	-	33	ดี	-	-
16	ดี	-	-	34	ดี	-	-
17	ดี	-	-	35	ดี	-	-
18	ดี	-	-	รวม		6	77

ตารางที่ ข.13 ข้อมูลผลการทดลองรูปแบบที่ 13

ลำดับมาตรฐานที่	13		
ลำดับการทดลองที่	5		
ระดับของปัจจัย	ขนาดแบบยาง (H)	185	มิลลิเมตร
	ความกว้างหน้ายาง (W)	191	มิลลิเมตร
	แรงดันในการขึ้นรูป (P)	0.12	เมกะปาสคาล

เส้นที่	ผลการ ตรวจสอบ	จำนวน รอยแตก (จุด)	ขนาดรอย แตกรวม (มิลลิเมตร)	เส้นที่	ผลการ ตรวจสอบ	จำนวน รอยแตก (จุด)	ขนาดรอย แตกรวม (มิลลิเมตร)
1	เสีย	1	23	19	ดี	-	-
2	ดี	-	-	20	ดี	-	-
3	ดี	-	-	21	ดี	-	-
4	ดี	-	-	22	ดี	-	-
5	ดี	-	-	23	ดี	-	-
6	ดี	-	-	24	ดี	-	-
7	ดี	-	-	25	ดี	-	-
8	ดี	-	-	26	ดี	-	-
9	เสีย	2	29	27	ดี	-	-
10	ดี	-	-	28	ดี	-	-
11	ดี	-	-	29	ดี	-	-
12	ดี	-	-	30	ดี	-	-
13	ดี	-	-	31	ดี	-	-
14	ดี	-	-	32	ดี	-	-
15	ดี	-	-	33	ดี	-	-
16	ดี	-	-	34	ดี	-	-
17	ดี	-	-	35	ดี	-	-
18	ดี	-	-	รวม		3	52

ตารางที่ ข.14 ข้อมูลผลการทดลองรูปแบบที่ 14

ลำดับมาตรฐานที่	14		
ลำดับการทดลองที่	8		
ระดับของปัจจัย	ขนาดแบบยาง (H)	185	มิลลิเมตร
	ความกว้างหน้ายาง (W)	191	มิลลิเมตร
	แรงดันในการขึ้นรูป (P)	0.12	เมกะปาสคาล

เส้นที่	ผลการ ตรวจสอบ	จำนวน รอยแตก (จุด)	ขนาดรอย แตกรวม (มิลลิเมตร)	เส้นที่	ผลการ ตรวจสอบ	จำนวน รอยแตก (จุด)	ขนาดรอย แตกรวม (มิลลิเมตร)
1	ดี	-	-	19	ดี	-	-
2	ดี	-	-	20	ดี	-	-
3	ดี	-	-	21	ดี	-	-
4	ดี	-	-	22	ดี	-	-
5	ดี	-	-	23	ดี	-	-
6	ดี	-	-	24	ดี	-	-
7	ดี	-	-	25	ดี	-	-
8	เสีย	2	40	26	ดี	-	-
9	ดี	-	-	27	ดี	-	-
10	ดี	-	-	28	ดี	-	-
11	ดี	-	-	29	ดี	-	-
12	ดี	-	-	30	ดี	-	-
13	ดี	-	-	31	ดี	-	-
14	ดี	-	-	32	ดี	-	-
15	ดี	-	-	33	ดี	-	-
16	ดี	-	-	34	ดี	-	-
17	ดี	-	-	35	ดี	-	-
18	ดี	-	-	รวม		2	40

ตารางที่ ข.15 ข้อมูลผลการทดลองรูปแบบที่ 15

ลำดับมาตรฐานที่	15			
ลำดับการทดลองที่	9			
ระดับของปัจจัย	ขนาดแบบยาง (H)	185	มิลลิเมตร	
	ความกว้างหน้ายาง (W)	191	มิลลิเมตร	
	แรงดันในการขึ้นรูป (P)	0.12	เมกะปาสคาล	

เส้นที่	ผลการ ตรวจสอบ	จำนวน รอยแตก (จุด)	ขนาดรอย แตกรวม (มิลลิเมตร)	เส้นที่	ผลการ ตรวจสอบ	จำนวน รอยแตก (จุด)	ขนาดรอย แตกรวม (มิลลิเมตร)
1	ดี	-	-	19	ดี	-	-
2	ดี	-	-	20	เสีย	2	24
3	ดี	-	-	21	ดี	-	-
4	ดี	-	-	22	ดี	-	-
5	ดี	-	-	23	ดี	-	-
6	ดี	-	-	24	ดี	-	-
7	ดี	-	-	25	เสีย	1	16
8	ดี	-	-	26	ดี	-	-
9	ดี	-	-	27	ดี	-	-
10	ดี	-	-	28	ดี	-	-
11	ดี	-	-	29	เสีย	1	20
12	ดี	-	-	30	ดี	-	-
13	ดี	-	-	31	ดี	-	-
14	ดี	-	-	32	ดี	-	-
15	ดี	-	-	33	ดี	-	-
16	ดี	-	-	34	ดี	-	-
17	ดี	-	-	35	ดี	-	-
18	ดี	-	-	รวม		4	60

ตารางที่ ข.16 ข้อมูลสรุปผลการทดลอง (หน้าที่ 1)

ลำดับมาตรฐาน	ลำดับการทดลอง	ระดับของปัจจัย				ขนาดรอยแตกรวม (มม.)	จำนวนรอยแตก (เส้น) (%)
		H ขนาดแบบยาง (มิลลิเมตร)	W ความกว้างหน้ายาง (มิลลิเมตร)	P แรงดันในการขึ้นรูป (เมกะปาสคาล)	จำนวนรอยแตก (เส้น)		
1	15	180	186	0.12	45	1 2.86	
2	7	190	186	0.12	107	4 11.43	
3	3	180	196	0.12	53	2 5.71	
4	12	190	196	0.12	67	3 8.57	
5	14	180	191	0.10	53	2 5.71	

ตารางที่ ข.16 ข้อมูลสรุปผลการทดลอง (หน้าที่ 2)

ลำดับมาตรฐาน	ลำดับการทดลอง	ระดับของปัจจัย				ขนาดรอยแตกรวม (มม.)	จำนวนรอยแตก (เส้น) (%)
		H ขนาดแบบยาง (มิลลิเมตร)	W ความกว้างหน้ายาง (มิลลิเมตร)	P แรงดันในการขึ้นรูป (เมกะปาสคาล)			
6	11	190	191	0.10	110	4	11.43
7	2	180	191	0.14	82	3	8.57
8	1	190	191	0.14	88	3	8.57
9	6	185	186	0.10	78	3	8.57
10	10	185	196	0.10	85	4	11.43

ตารางที่ ข.16 ข้อมูลสรุปผลการทดลอง (หน้าที่ 3)

ลำดับมาตรฐาน	ลำดับการทดลอง	ระดับของปัจจัย				ขนาดรอยแตกรวม (มม.)	จำนวนรอยแตก (เส้น) (%)
		H ขนาดแบบยาง (มิลลิเมตร)	W ความกว้างหน้ายาง (มิลลิเมตร)	P แรงดันในการขึ้นรูป (เมกะปาสคาล)			
11	13	185	186	0.14	83	4	11.43
12	4	185	196	0.14	77	3	8.57
13	5	185	191	0.12	52	2	5.71
14	8	185	191	0.12	40	1	2.86
15	9	185	191	0.12	60	3	8.57

ตารางที่ ข.17 ข้อมูลสัดส่วนรอยแตกบริเวณขอบยางของยางรุ่นตัวอย่างหลังการปรับปรุงกระบวนการ

ปี พ.ศ.	เดือน	ปริมาณการผลิต		รอยแตกบริเวณขอบยาง	
		(เส้น)	(เส้น)	(เส้น)	(%)
2559	ตุลาคม	20,299	301		1.48
	พฤศจิกายน	21,098	317		1.50
	ธันวาคม	21,953	53		0.24
2560	มกราคม	15,591	64		0.41
	กุมภาพันธ์	16,788	29		0.17
	มีนาคม	17,457	44		0.25
	เมษายน	12,853	32		0.25
	พฤษภาคม	17,849	120		0.67
	มิถุนายน	19,492	203		1.04
	กรกฎาคม	16,707	241		1.44
	สิงหาคม	20,746	205		0.99
	กันยายน	19,656	295		1.50
	ตุลาคม	26,973	376		1.39
	พฤศจิกายน	26,616	375		1.41
	ธันวาคม	25,465	366		1.44
	2561	มกราคม	24,404	286	
กุมภาพันธ์		21,422	181		0.84
มีนาคม		18,517	231		1.25
เมษายน		17,659	188		1.06
พฤษภาคม		23,636	311		1.32
เฉลี่ย		20,259	211		1.04

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวรุฒม์ รังรองรัตน์ เกิดเมื่อวันที่ 28 กันยายน พ.ศ. 2531 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า จังหวัด กรุงเทพมหานคร หลังจากนั้นได้เข้าศึกษาต่อจนสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิตจากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552 และศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2557

