



การลดสัดส่วนรอยแตกบริเวณขอบยางในการผลิตยางล้อรถจักรยานยนต์

REDUCTION OF BEAD CRACK PROPORTION IN MOTORCYCLE TIRE PRODUCTION

วรุฒม์ รังรองรัตน์¹ และประมวล สุธีจารุวัฒน์²

¹นิสิตบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดความสูญเสียจากปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง ในกระบวนการผลิตยางล้อรถจักรยานยนต์ ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายกับยางรุ่นตัวอย่างเป็นมูลค่าเฉลี่ยประมาณ 4 ล้านบาทต่อปี โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ระบบการวัดทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณในการประเมินความสามารถของพนักงานตรวจสอบ ศึกษาสภาพของปัญหาในกระบวนการผลิต พิสูจน์สาเหตุของปัญหาโดยใช้วิธีการทางสถิติ และใช้การออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน โดยพิจารณา 3 ปัจจัย 3 ระดับ ในการหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยเพื่อลดความสูญเสียจากปัญหารอยแตก ผลการศึกษาพบว่าสาเหตุของการเกิดรอยแตกบริเวณขอบของยางล้อรถจักรยานยนต์รุ่นตัวอย่างมีสามประการ คือ ขนาดของแบบยางก่อนการขึ้นรูป ปริมาณเนื้อยางบริเวณขอบยาง และแรงดันไอน้ำที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบยางในกระบวนการอบยาง หลังจากการทดลองและปรับปรุงมาตรฐานเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต พบว่าสามารถลดสัดส่วนและควบคุมการเกิดปัญหารอยแตกบริเวณขอบยางของยางล้อรุ่นตัวอย่างจากเฉลี่ย 7.23% ต่อเดือนให้เหลือ 1.06% ต่อเดือนโดยเฉลี่ย สามารถลดความสูญเสียได้มากกว่า 2.9 แสนบาทต่อเดือน หรือมากกว่า 3 ล้านบาทต่อปี คิดเป็นสัดส่วนประมาณ 85% ของมูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้น

คำสำคัญ : ยางล้อรถจักรยานยนต์, รอยแตกบริเวณขอบยาง, การลดความสูญเสียในกระบวนการผลิต, การออกแบบการทดลอง

ABSTRACT

The purpose of this research is to reduce loss from bead crack problem in motorcycle tire production which caused estimated average loss of a sample tire model 4 million baht per year by applying attribute and variable MSA technique to evaluate capability of inspectors, study problem characteristic in production processes, find causes of problem by using statistical approach and apply a three-factor Box-Behnken experimental design to find suitable level of each factor to solve the problem. Research result shows that causes of bead crack of case study tire model are green tire size, rubber compound quantity at bead area and green tire shaping steam pressure. After the experiment and standard improvement of production processes, bead crack ratio of a sample tire model was reduced and controlled from 7.23% to be 1.06% per month on average. Loss from bead crack was reduced more than 290 thousand baht per month or more than 3 million baht per year.

KEYWORDS: Motorcycle tire, Bead crack, Loss reduction in production process, Design of experiment

Warut Rangrongratana¹ and Pramual Suteecharuwat²

¹Graduate Student, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University.

²Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University.

1. บทนำ

โรงงานกรณีศึกษาเป็นผู้ผลิตยางล้อรถจักรยานยนต์ ซึ่งประสบปัญหาด้านคุณภาพในกระบวนการผลิต หนึ่งในปัญหาสำคัญคือ ปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง (Bead crack) จากข้อมูลเดือนกรกฎาคมถึงธันวาคม พ.ศ. 2559 พบว่าปัญหานี้ก่อให้เกิดความสูญเสียกับยางรุ่นตัวอย่างเป็นมูลค่าต่ำสุด 281,800 บาท และสูงสุด 478,000 บาทต่อเดือน คิดเป็นมูลค่าโดยเฉลี่ยมากกว่า 300,000 บาทต่อเดือน หรือมากกว่า 3,600,000 บาทต่อปี ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 มูลค่าความสูญเสียจากปัญหาการรอยแตกบริเวณขอบยางในปี พ.ศ. 2559

| พ.ศ. 2559 | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | เฉลี่ย |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| ผลิต (เส้น) | 28,422 | 24,560 | 21,083 | 25,029 | 21,788 | 17,948 | 23,138 |
| Bead crack (เส้น) | 2,390 | 1,520 | 1,572 | 1,631 | 1,522 | 1,409 | 1,674 |
| Bead crack (%) | 8.41 | 6.19 | 7.46 | 6.52 | 6.99 | 7.85 | 7.23 |
| มูลค่า (บาท) | 478,000 | 304,000 | 314,400 | 326,200 | 304,400 | 281,800 | 334,800 |

ปัญหาการรอยแตกบริเวณขอบยางสามารถเกิดได้สองช่วงเวลา คือ เกิดระหว่างการใช้งาน และเกิดจากกระบวนการผลิต [1-2] รอยแตกที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้งานจะเกิดแผลที่ชั้นล่างของชั้นหน้ายาง โดยเป็นแผลรอยแตกตามแนวรัศมีที่แก้มยาง หรือรอยแตกตามแนวเส้นรอบวงบริเวณขอบยาง รอยแตกที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้นี้เกิดได้จากหลายสาเหตุ อาทิ การใช้ยางล้อที่แรงดันลมต่ำหรือสูงเกินไป การรับน้ำหนักเกินขีดจำกัดของยาง อายุของยาง หรือจากการเก็บรักษาที่ไม่เหมาะสม

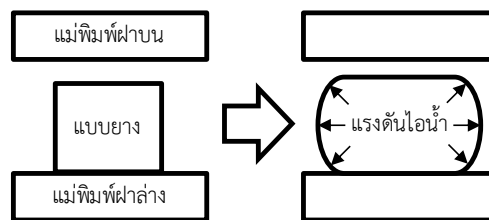
ปัญหาการรอยแตกบริเวณขอบยางที่เกิดจากกระบวนการผลิตจะเป็นรอยแตกในชั้นเนื้อยางที่มีความลึกไม่ถึงชั้นผ้าใบ โดยเกิดตามแนวเส้นรอบวงบริเวณขอบยาง ซึ่งมีสาเหตุจากการไหลของเนื้อยางที่ผิดปกติระหว่างกระบวนการผลิต ในงานวิจัยนี้จะพิจารณารอยแตกบริเวณขอบยางที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเท่านั้น เนื่องจากผู้วิจัยต้องการลดความสูญเสีย เพิ่มผลิตภาพและคุณภาพของกระบวนการผลิต ใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาของยางรุ่นอื่นๆ และใช้พัฒนาการออกแบบผลิตภัณฑ์รุ่นใหม่ของโรงงานกรณีศึกษาได้ในอนาคต

2. ส่วนประกอบและกรรมวิธีการผลิตยางล้อรถจักรยานยนต์

ยางล้อประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ คือ หน้ายาง (tread) หรือดอกยาง เป็นยางส่วนที่อยู่ด้านนอกสุด ทำหน้าที่ยึดเกาะถนน แก้มยาง (sidewall) เป็นยางด้านข้างที่ทำหน้าที่ป้องกันโครงสร้างยาง และให้ความยืดหยุ่นขณะใช้งาน ขอบยาง (bead) เป็นบริเวณที่มีกลุ่มของเส้นลวดโลหะบริเวณปลายของยางทั้งสองข้าง ทำหน้าที่ยึดโครงสร้างผ้าใบ และยึดติดกับกระทะล้อเมื่อนำไปประกอบ งานวิจัยนี้จะพิจารณาปัญหาการรอยแตกที่เกิดขึ้นกับเนื้อยางบริเวณขอบยาง



รูปที่ 1 หน้ายาง, ขอบยาง และปัญหาหารอยแตกบริเวณขอบยาง



รูปที่ 2 การขึ้นรูปด้วยแรงดันไอน้ำก่อนเข้ากระบวนการอบยาง

การผลิตยางล้อรถยนต์อย่างมี 6 ขั้นตอนหลัก คือ การผสมยาง (Mixing) เป็นการผสมวัตถุดิบ อาทิเช่น ยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์ น้ำมัน พงคาร์บอน สารเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยา และสารเคมีอื่น ๆ ตามสูตรการผสมยาง การฉาบขึ้นส่วนผ้าใบ (Ply) เป็นการนำยางที่ผ่านการผสมมาฉาบติดกับผ้าใบ การผลิตขึ้นส่วนลวด (Bead wire) เป็นการนำเส้นลวดโลหะ นำมาเคลือบผิวด้วยยางผสม แล้วตัดทำเป็นวงตามขนาดขอบยาง การผลิตขึ้นส่วนหน้ายาง (Tread) เป็นการดันยางผสมผ่านแม่พิมพ์เพื่อให้ได้รูปร่างและขนาดตามมาตรฐาน การสร้างแบบยาง (Green tire) คือ การนำขึ้นส่วนผ้าใบ ลวด และหน้ายางมาประกอบกันเป็นแบบยาง การขึ้นรูปและอบยาง (Shaping and Curing) การขึ้นรูปเป็นการจัดรูปร่างแบบยางในแม่พิมพ์ก่อนเริ่มการอบยาง โดยการเปิดให้ไอน้ำเข้าสู่ขึ้นส่วนเบลลเดอร์ (Bladder) ในเครื่องอบยาง แรงดันจากไอน้ำในเบลลเดอร์จะดันแบบยางให้เป็นทรงโค้ง ดังแสดงในรูปที่ 2 ส่วนการอบยางเป็นการนำแบบยางเข้าอบในเครื่องอบที่มีการควบคุมความร้อน แรงดัน และเวลา เพื่อให้ยางมีคุณสมบัติยืดหยุ่น (Elastic) รวมทั้งทำให้เกิดลวดคอกยางและตัวหนังสือบนแก้มยางจากการกดเนื้อยางเข้าสู่แม่พิมพ์

ในงานวิจัยนี้ จะพิจารณาสามขั้นตอนหลักที่เกี่ยวข้องกับปัญหาหารอยแตกบริเวณขอบยาง คือ การผลิตขึ้นส่วนหน้ายาง การสร้างแบบยาง และการขึ้นรูปอบยาง

3. วัตถุประสงค์และแนวทางการวิจัย

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อลดสัดส่วนรอยแตกบริเวณขอบยางของยางรถยนต์อย่างจากเดิมเฉลี่ย 7.23% ให้เหลือไม่เกิน 3.00% โดยการศึกษาและปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิต

ผู้วิจัยประยุกต์เทคนิคการวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) เชิงคุณภาพและปริมาณในการประเมินความสามารถของพนักงาน ตรวจสอบเพื่อยืนยันความถูกต้องของข้อมูลรอยแตกบริเวณขอบยาง ในการวิเคราะห์เชิงคุณภาพทดสอบโดยให้พนักงาน 3 คน ตรวจสอบยางตัวอย่าง 10 เส้น เส้นละ 2 ครั้ง โดยสุ่มลำดับการตรวจสอบ และประเมินผลว่าพนักงานทุกคนสามารถตรวจแยกของดี ของเสียได้ถูกต้องหรือไม่ ส่วนการวิเคราะห์เชิงปริมาณทดสอบโดยให้พนักงาน 3 คน วัดขนาดของปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง 10 เส้น เส้นละ 2 ครั้ง โดยสุ่มลำดับการตรวจสอบเช่นเดียวกัน และเปรียบเทียบความสามารถในการวัดของพนักงานทั้ง 3 คน

ในการศึกษาปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง ผู้วิจัยเลือกยางล้อรถจักรยานยนต์รุ่นตัวอย่างในโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งมีความสูญเสียเป็นมูลค่าเฉลี่ยมากกว่า 3 แสนบาทต่อเดือนมาเป็นต้นแบบ จากการศึกษาข้อมูลสภาพของปัญหารอยแตกในปัจจุบัน และจากการวิเคราะห์สาเหตุเบื้องต้น พบว่าปัจจัยในการผลิตที่เกี่ยวข้องกับปัญหาประกอบด้วยขนาดของแบบยาง ความกว้างของ ชิ้นส่วนหน้ายาง และแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบยางก่อนอบ

การออกแบบการทดลอง (Design of experiment) เป็นเครื่องมือที่สำคัญที่ใช้เพื่อเพิ่มความเข้าใจในกระบวนการ ซึ่งมีประโยชน์หลายทาง เช่น ทำให้กระบวนการผลิตง่ายขึ้น, เพิ่มสมรรถนะและความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์, ลดต้นทุนการผลิต และ ช่วยลดเวลาในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้ [3] ผู้วิจัยใช้การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์ เบห์นเคน (Box-Behnken design) ในการทดลอง 3 ปัจจัย คือ ขนาดของแบบยาง ความกว้างของชิ้นส่วนหน้ายาง และแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบยาง และมีระดับของปัจจัย 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ กลาง และสูง โดยกำหนดค่าระดับของแต่ละปัจจัยตามตารางที่ 2 ซึ่งมีตัวแปรตอบสนอง (Response) คือ ขนาดของปัญหารอยแตกรวม ผู้วิจัยประยุกต์ใช้การวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) และการวิเคราะห์ ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของแต่ละปัจจัย และความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย ที่มีผลต่อรอยแตก บริเวณขอบยางที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในการทดลองแต่ละรูปแบบ (Treatment combination) มีจำนวนยางล้อทดลอง 35 เส้น โดยควบคุมการใช้วัตถุดิบทั้งหมดจากล้อการผลิตเดียวกัน และใช้เครื่องจักรรุ่นเดียวกัน โดยปรับตั้งเงื่อนไขการผลิตให้เหมือนกัน ทุกครั้งของการทดลอง

ตารางที่ 2 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 |

4. การวิเคราะห์ระบบการวัด

จากผลการวิเคราะห์ระบบการวัดเชิงคุณภาพ ซึ่งทดสอบโดยให้พนักงาน 3 คน ตรวจสอบยางตัวอย่าง 10 เส้น เส้นละ 2 ครั้ง โดยสุ่มลำดับการตรวจสอบ พบว่าพนักงานทุกคนสามารถตรวจแยกของดี ของเสียได้ถูกต้องทั้งหมด 100%

จากการทดสอบวัดขนาดของปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง โดยให้พนักงาน 3 คน วัดขนาดของปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง 10 เส้น เส้นละ 2 ครั้ง ได้ผลการวัดขนาดของปัญหาของพนักงานแต่ละคน แต่ละครั้งที่มีค่าใกล้เคียงกัน ตามตารางที่ 3 เมื่อนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าค่า P-value ของ Operators มีค่าเท่ากับ 0.076 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าความสามารถในการวัดของพนักงานไม่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ผลการทดลองให้พนักงาน 3 คนวัดขนาดความยาวของรอยแตกบริเวณขอบยางอย่างสุ่ม (หน่วยเป็นมิลลิเมตร)

| ยางตัวอย่าง ชั้นที่ | 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 |

ตารางที่ 4 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 | | | |

5. การทดลองเพื่อลดปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง

ในการทดลองแบบบ็อกซ์ เบิห์นเคน (Box-Behnken design) กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหารอยแตกบริเวณขอบยาง 3 ปัจจัย คือ ขนาดของแบบยาง ความกว้างของชั้นส่วนหน้ายาง และแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบยาง และตรวจวัดขนาดของรอยแตกรวม ซึ่งเป็นตัวแปรตอบสนอง ได้ผลตามตารางที่ 5

จากผลการทดลองสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของขนาดรอยแตกบริเวณขอบยาง (Y) ซึ่งเป็นตัวแปรตอบสนอง กับเงื่อนไขการผลิตทั้งสาม คือ ขนาดของแบบยาง (H) ความกว้างของชั้นส่วนหน้ายาง (W) แรงดัน ใช้น้ำที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบยางก่อนทำการอบยาง (P) ได้ดังสมการ $Y = F(H, W, P)$ และจากการวิเคราะห์เชิงถดถอยตามตารางที่ 6 สามารถเขียนเป็นสมการถดถอย (Regression equation) ได้ดังนี้

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

ตารางที่ 5 ผลการทดลองวัดขนาดของรอยแตกจากการปรับขนาดแบบขาง ความกว้างหน้าขาง และแรงดันในการขึ้นรูป

| ลำดับมาตรฐาน | ลำดับการทดลอง | ขนาดแบบขาง H (มิลลิเมตร) | ความกว้างหน้าขาง W (มิลลิเมตร) | แรงดันในการขึ้นรูป P (เมกะปาสคาล) | ขนาดรอยแตกรวม 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 |

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์เชิงถดถอยของความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของรอยแตกกับขนาดแบบขาง ความกว้างหน้าขาง 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 |

6. วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าขนาดของแบบยาง (H) มีผลต่อขนาดของรอยแตกบริเวณขอบยางอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากมีค่า P เท่ากับ 0.002 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 เช่นเดียวกับอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างขนาดของแบบยางกับความกว้างหน้ายาง ($H * W$) และระหว่างขนาดของแบบยางกับแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบยาง ($H * P$) ซึ่งมีค่า P เท่ากับ 0.039 และ 0.032 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 7

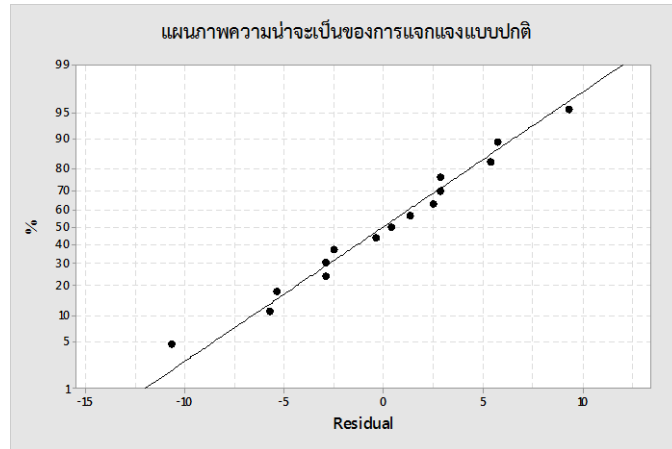
ตารางที่ 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

| 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 | | | | | |

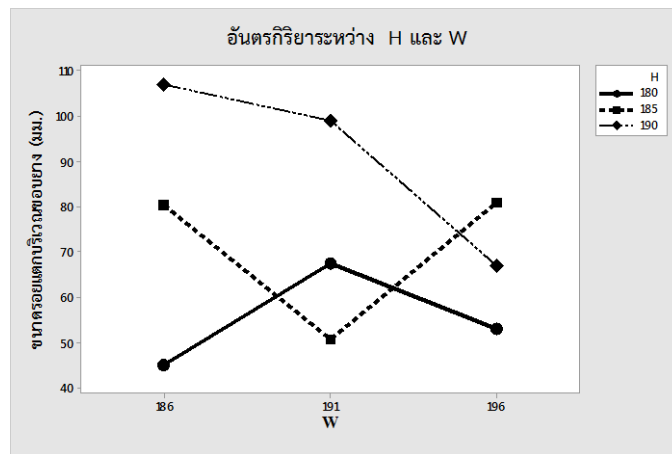
จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการถดถอย พบว่าค่า R-square เท่ากับ 0.9420 Adjusted R-square เท่ากับ 0.8376 และค่า Lack of fit เท่ากับ 0.692 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าสมการถดถอยที่ได้มีความแม่นยำเพียงพอในการพยากรณ์ขนาดของรอยแตกบริเวณขอบยาง และจากการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) ของค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) พบว่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานเบื้องต้นของการวิเคราะห์ความแปรปรวน

เนื่องจากค่าอันตรกิริยา $H * P$ และ $H * W$ มีผลต่อขนาดของรอยแตกบริเวณขอบยางอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น ในการเลือกระดับของปัจจัยที่ดีที่สุดสำหรับกระบวนการผลิตจึงต้องพิจารณากราฟความสัมพันธ์ของอันตรกิริยา

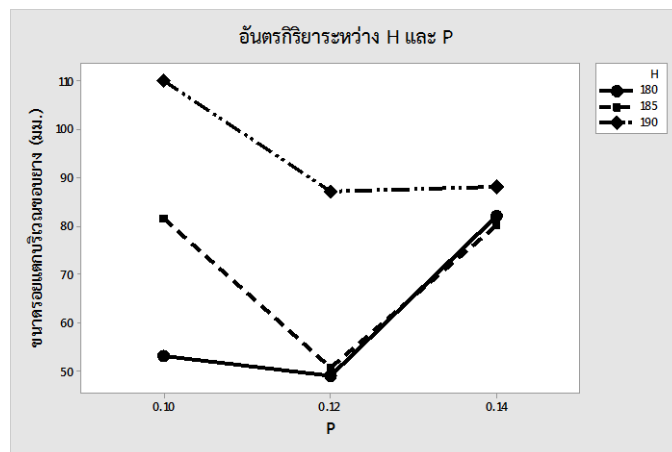
จากการพิจารณาความสัมพันธ์ของทั้งสามปัจจัย กับขนาดรอยแตกบริเวณขอบยางในรูปที่ 4 และ 5 จะเห็นว่าขนาดของรอยแตกบริเวณขอบยางจะมีค่าต่ำที่สุดเมื่อขนาดของแบบยาง (H) เท่ากับ 180 มม. ความกว้างหน้ายาง (W) เท่ากับ 186 มม. และแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบยาง (P) เท่ากับ 0.12 เมกะปาสคาล



รูปที่ 3 แผนภาพความน่าจะเป็นของการแจกแจงแบบปกติของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์
(Normal probability plot of residual)

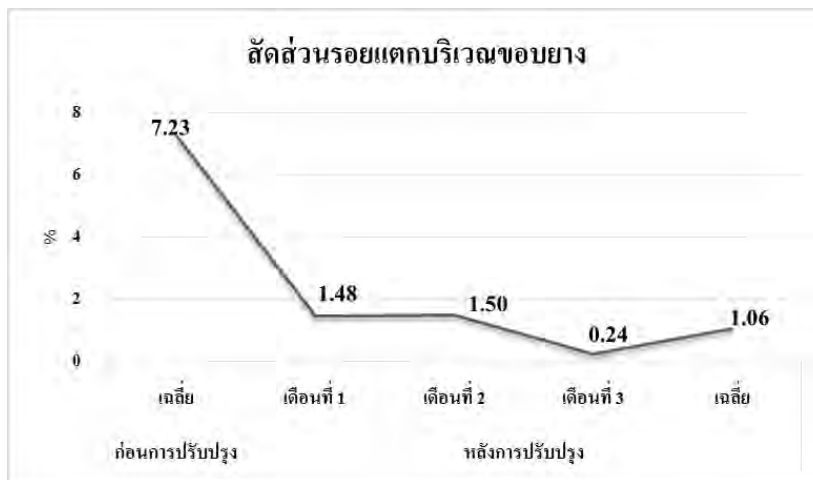


รูปที่ 4 อันตรกิริยาระหว่าง H และ W



รูปที่ 5 อันตรกิริยาระหว่าง H และ P

หลังจากการปรับปรุงมาตรฐานการผลิตยางรุ่นตัวอย่าง และนำไปทดลองใช้ในกระบวนการผลิตจริงในโรงงานกรณีศึกษา เป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่าสามารถลดสัดส่วนรอยแตกบริเวณขอบยางจากเฉลี่ย 7.23% เหลือเพียง 1.06% โดยเฉลี่ย ดังแสดงใน รูปที่ 6 สามารถลดความสูญเสียเป็นมูลค่าประมาณ 290,000 บาทต่อเดือน หรือ 3.4 ล้านบาทต่อปี คิดเป็นสัดส่วนประมาณ 85% ของมูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้น



รูปที่ 6 ผลการทดลองใช้มาตรฐานใหม่ในกระบวนการผลิตยางล้อรุ่นตัวอย่าง

7. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ปัญหาการรอยแตกบริเวณขอบยางที่เกิดจากกระบวนการผลิตของยางล้อรุ่นตัวอย่างเกิดจากปัจจัยหลัก คือ ขนาดของแบบยาง ความกว้างของชิ้นส่วนหน้ายาง และแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบยางก่อนอบ ระดับของแต่ละปัจจัยที่ดีที่สุด คือ ขนาดของแบบยางเท่ากับ 180 มม. ความกว้างหน้ายางเท่ากับ 186 มม. และแรงดันที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบยาง 0.12 เมกะปาสคาล ซึ่งสามารถลดสัดส่วนรอยแตกบริเวณขอบยางจากเฉลี่ย 7.23% เหลือเพียง 1.06% โดยเฉลี่ย ลดความสูญเสียเป็นมูลค่าประมาณ 3.4 ล้านบาทต่อปี

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ยังไม่ได้ศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบยางธรรมชาติซึ่งอาจมีคุณภาพแตกต่างกันตามแหล่งวัตถุดิบ จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตยางธรรมชาติ พบว่าผู้ผลิตยางธรรมชาติแบบแผ่นรมควัน (Ribbed smoked sheet) ในประเทศไทยยังขาดความรู้ที่เกี่ยวข้องในการผลิต และควรศึกษา ปรับปรุงการควบคุมอุณหภูมิและการไหลของอากาศในกระบวนการอบยาง [4] เพื่อพัฒนาคุณภาพของวัตถุดิบยางธรรมชาติ อีกประการหนึ่ง คือ ผู้วิจัยยังไม่ได้ศึกษาลักษณะและขั้นตอนการไหลของเนื้อยางภายในแม่พิมพ์ขณะอบยาง เนื่องจากข้อจำกัดด้านเทคโนโลยีของโรงงานกรณีศึกษา รวมถึงยังไม่มีเครื่องมือหรือโปรแกรมที่ใช้จำลองการไหลของยาง อาทิเช่น การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element analysis) [5] หากสามารถศึกษาประเด็นดังกล่าวเพิ่มเติมจะทำให้เข้าใจปัญหาการรอยแตกบริเวณขอบยางได้ดียิ่งขึ้น

ในการศึกษาเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิต โดยวิเคราะห์จากลักษณะของปัญหาในหลายๆ ด้าน อาทิเช่น ช่วงเวลาในการเกิด ตำแหน่งของปัญหาบนผลิตภัณฑ์ วัตถุดิบ เครื่องจักรและพนักงานที่เกี่ยวข้อง และวิเคราะห์โดยใช้วิธีการทดสอบทางสถิติที่เหมาะสม เป็นวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา สามารถนำไปสู่การเลือกใช้เครื่องมือหรือวิธีการที่เหมาะสมในการแก้ไขปัญหาและปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตต่อไปได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Dunlop India Ltd., Consumer guide for tyre / tube / flap, ข้อมูลจาก http://www.dunlop.co.in/pdf/consumer_guide.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 13 กุมภาพันธ์ 2559)
- [2] Kumho Tire Co. Inc., Kumho tire as policy and tire inspection, ข้อมูลจาก<http://kumho.bluerayws.com/sites/default/files/AS%20POLICY%20AND%20TIRE%20INSPECTION.ppt> (วันที่สืบค้นข้อมูล 13 กุมภาพันธ์ 2559)
- [3] Montgomery, D.C. Design and analysis of experiments 8th edition. John Wiley & Sons Inc., 2012.
- [4] Promtong, M., Tekasakul P. CFD study of flow in natural rubber smoking-room: I. Validation with the present smoking-room. Applied Thermal Engineering 27 (2007).
- [5] Erfanian, Mohammad-Reza., Anbarsooz, Morteza., Moghiman, Mohammad. A three dimensional simulation of a rubber curing process considering variable order of reaction. Applied Mathematical Modelling 40 (2016).