



การควบคุมความหนาของการพ่นสีกรีนไทร์ในการผลิตยางรถยนต์

THICKNESS CONTROLLING OF GREEN TIRE PAINTING IN TIRE PRODUCTION

จิตรา รุ้กจิการพานิช^{1*} และกฤตพร วงษ์ปาน²

¹รองศาสตราจารย์, ²นิสิตปริญญาโท

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*Corresponding author, E-mail: jittira.R@chula.ac.th

บทคัดย่อ

การพ่นสีกรีนไทร์ของผ้าใบหุ้มขอบยางเป็นขั้นตอนสำคัญในการขึ้นรูปยางรถยนต์ก่อนที่จะบ่มยาง ซึ่งการพ่นสีกรีนไทร์ที่มีความหนาไม่สม่ำเสมอได้ทำให้เกิดข้อเสียตามมา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อตั้งค่าควบคุมของชุดพ่นสีกรีนไทร์ ได้แก่ ความดันในการพ่น องศาปืนพ่น และระยะปืนพ่น ผลการทดลองพบว่า กรณียางขนาด 16 นิ้ว ผ้าใบหุ้มขอบยางเป็นไนลอน ควรตั้งค่าความดันในการพ่นเป็น 0.05 MPa ตั้งองศาปืนพ่นที่ตำแหน่งระดับบน ระดับกลาง และระดับล่างเป็น 150°, 30° และ 180° ตามลำดับ และตั้งระยะปืนพ่นเป็นแบบ A กรณียางขนาด 17 นิ้ว ผ้าใบหุ้มขอบยางเป็นกัม ควรตั้งค่าความดันในการพ่น เป็น 0.03 MPa ตั้งองศาปืนพ่นที่ตำแหน่งระดับบน ระดับกลาง และระดับล่างเป็น 120°, 30° และ 180° ตามลำดับ และตั้งระยะปืนพ่นเป็นแบบ B กรณียางขนาด 18 นิ้ว ผ้าใบหุ้มขอบยางเป็นกัม ควรตั้งค่าความดันในการพ่นเป็น 0.03 MPa ตั้งองศาปืนพ่นที่ตำแหน่งระดับบน ระดับกลาง และระดับล่างเป็น 150°, 0° และ 180° ตามลำดับ และตั้งระยะปืนพ่นเป็นแบบ B เมื่อปรับการตั้งค่าของชุดพ่นสีกรีนไทร์ใหม่พบว่าสามารถลดข้อเสียลงได้จาก 0.052% เป็น 0.025%

คำสำคัญ: การผลิตยางรถยนต์; การพ่นสีกรีนไทร์; องศาปืนพ่น; ความดันในการพ่น; การควบคุมการผลิตยางรถยนต์

ABSTRACT

Green tire painting on the tire chafer is crucial for shaping the tires before the curing. The spraying of chemicals with uneven thickness causes defects as a result. Consequently, the research aimed to determine the control parameters for green inside painting (GIP), which involve the spray pressure, the angle of the spray gun, and the spray gun distance. The results of the experiment demonstrated that in the case of producing 16-inch nylon chafer tires, the spraying pressure should be set to 0.05 MPa, the spray gun angles at the upper, middle, and lower levels should be set to 150°, 30°, and 180°, respectively, and the spray gun distance should be set to pattern A. For 17-inch gum chafer tires, the recommended settings were a spray pressure of 0.03 MPa, an upper-level spray gun angle, a mid-level spray gun angle, and a lower-level spray gun angle of 120°, 30°, and 180°, respectively, as well as the spray gun distance setting pattern B. Finally, for 18-inch gum chafer tires, the recommended settings should be a spray pressure of 0.03 MPa, an upper-level spray gun angle, a mid-level spray gun angle, and a lower-level spray

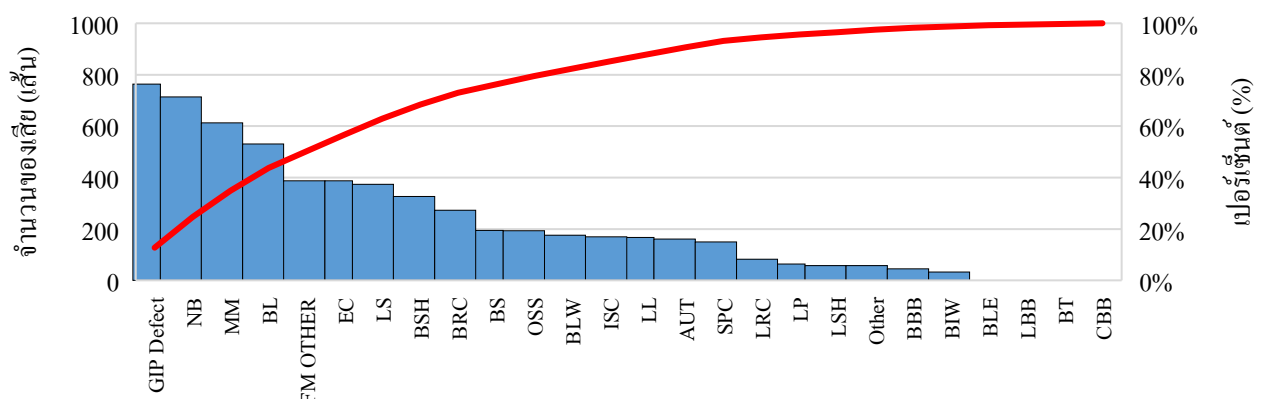
gun angle of 150° , 0° , and 180° , respectively, and the spray gun distance setting pattern B. After implementing the new green tire painting control, the defect decreased from 0.052% to 0.025%.

KEYWORDS: Tire production; Green tire painting; Spray gun angle; Spraying pressure; Controlling tire production

1. บทนำ

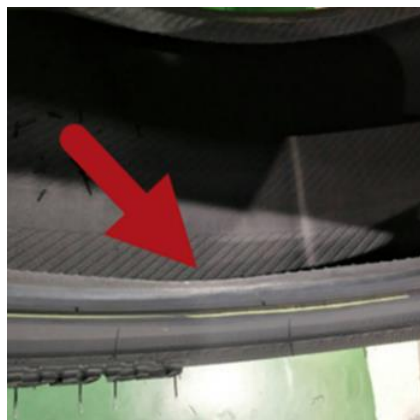
ประเทศไทยถือได้ว่าเป็นแหล่งผลิตยานยนต์ขนาดใหญ่อันดับที่ 11 ของโลก อันดับที่ 5 ในภูมิภาคเอเชีย และอันดับที่ 1 ในกลุ่มประเทศอาเซียน ซึ่งอัตราการเติบโตของการผลิตเพิ่มขึ้นมาโดยตลอด [1] ในการผลิตยางรถยนต์ประกอบด้วย 5 กระบวนการหลัก ได้แก่ 1) กระบวนการผสม (Mixing) เริ่มต้นจากการนำเอาสารเคมีมาผสมกับยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ตามคุณสมบัติของยางแต่ละรุ่นและเติมส่วนผสมเพื่อให้ได้ยางคงรูปที่เรียกว่าคอมพาวด์ (compound) 2) กระบวนการเตรียมส่วนผสม (Material preparation) คอมพาวด์จะถูกส่งไปอัดรีดให้ได้ความกว้างและหนาที่ต้องการเพื่อนำไปผลิตเป็นส่วนประกอบต่าง ๆ ต่อไป เช่น Inner liner 3) กระบวนการประกอบและขึ้นรูปยางกรีนไทร์ (Green tire building) ส่วนประกอบต่าง ๆ จะถูกนำมาประกอบกันโดยใช้การรีดด้วยเครื่องรีดยางโรตารี (Rotary sticher) หลังจากนั้นมีการตรวจสอบสิ่งผิดปกติของยางกรีนไทร์ก่อนเข้าสู่กระบวนการพ่นสี GIP (Green inside painting) เพื่อป้องกันผิวของยางในติดกับถุงลมของเครื่องบ่ม 4) กระบวนการบ่ม (Curing) ทำการบ่มยางกรีนไทร์ด้วยความร้อนและแรงดัน เมื่อบ่มเสร็จจะตรวจสอบสิ่งผิดปกติของยาง 5) กระบวนการทดสอบขั้นสุดท้าย (Final inspection) เป็นการทดสอบคุณภาพของยางรถยนต์ก่อนส่งให้ลูกค้า เช่น ตรวจสอบโครงสร้างภายในของยางทดสอบความสม่ำเสมอของขนาดและความทนทาน [2, 3]

จากข้อมูลของโรงงานกรณีศึกษาพบว่ามีของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการประกอบและขึ้นรูปยางกรีนไทร์ สาเหตุเกิดจากการควบคุมความหนาของพ่นสี GIP มากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งมีปริมาณของเสียคิดเป็น 13% ของจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมด ในช่วงเวลา 1 ปีที่ผ่านมา การพ่นสี GIP มีความสำคัญเนื่องจากสารเคมีที่นำมาพ่นมีคุณสมบัติเป็นสารเคลือบผิวของยางใน เพื่อป้องกันไม่ให้ผิวของยางในติดกับถุงลมของกระบวนการบ่ม หากการพ่นสี GIP ในปริมาณที่ไม่เหมาะสมส่งผลให้เกิดความหนาของการเคลือบผิวยางในที่ไม่สม่ำเสมอและส่งผลให้เกิดของเสียตามมา เช่น ขอบบีดโค้งมนและมีขนาดไม่เท่ากัน



รูปที่ 1 ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นใน 1 ปีซึ่งสาเหตุที่เกิดขึ้นมากที่สุดเกิดจาก GIP

ลักษณะของของเสียจากการพ่นสี GIP ที่ไม่เหมาะสม ได้แก่ ของเสียที่เกิดจากการพ่นสี GIP บางเกินไปจะส่งผลให้ขอบบีดโค้งมนและมีขนาดไม่เท่ากัน (Light Bead Toe, LBT) ดังแสดงในรูปที่ 2 (ก) และของเสียที่เกิดจากการพ่นสี GIP หนาเกินไปส่งผลให้เกิดคราบสกปรกซึ่งไม่สามารถลบออกได้ (Foreign Material-Green Inside Paint , FM-GIP) ดังแสดงในรูปที่ 2 (ข) หรืออาจส่งผลให้เกิดรอยแตก รอยแยกบริเวณขอบบีด (Cracked Bead Toe, CBT) ดังแสดงในรูปที่ 2 (ค) ซึ่งเป็นส่วนที่นำมาประกอบกับขอบกระทะล้อ ในกระบวนการผลิตยังไม่มีมาตรฐานในการปรับตั้งอุปกรณ์แต่ขึ้นกับทักษะของพนักงานแต่ละคน ทั้งนี้การพัฒนาพนักงานเพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างแม่นยำนั้นต้องใช้เวลา [4, 5]



(ก) LBT



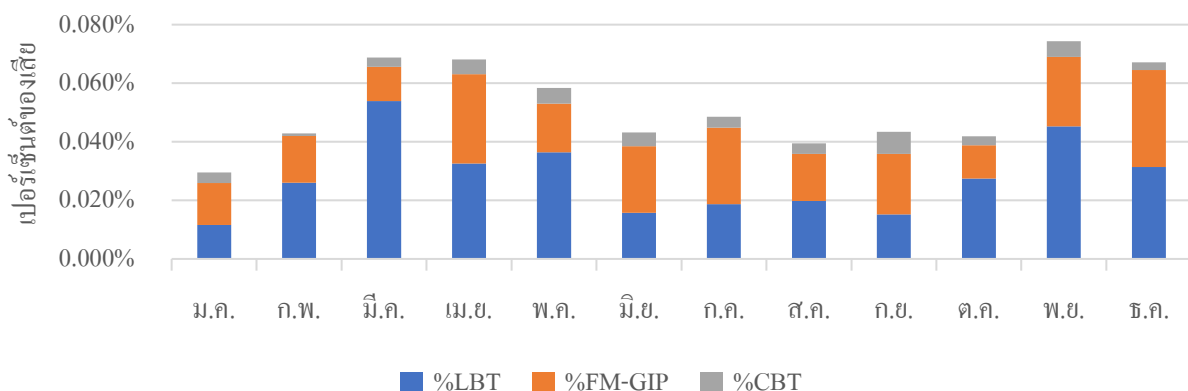
(ข) FM-GIP



(ค) CBT

รูปที่ 2 ตัวอย่างลักษณะเกิดจากพ่น GIP

เมื่อนำข้อมูลของเสียที่เกิดจากการพ่นสี GIP จากรูปที่ 1 มาแจกแจงเป็นรายเดือนสามารถแสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งพบว่ามีของเสียประเภท LBT มากที่สุด 0.01% – 0.05 % รองลงมา FM-GIP 0.01% – 0.03% และลำดับสุดท้ายคือ CBT 0.01% และจะเห็นได้ว่าแนวโน้มเปอร์เซ็นต์ของเสียมีค่ากว้างไปมาแสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่เกิดจากขาดวิธีการในการควบคุมที่เป็นมาตรฐาน



รูปที่ 3 เปอร์เซ็นต์ของเสียแยกตามประเภทที่เกิดจากกระบวนการพ่นสี GIP (ก่อนปรับปรุง)

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial Design)

การออกแบบการทดลองเป็นการทดสอบหรือชุดของการทดสอบที่มีวัตถุประสงค์ที่จะเปลี่ยนปัจจัย (Factor) นำเข้าของกระบวนการ และสังเกตการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยนำออก [6,7] ดังนั้นการออกแบบการทดลองจึงนิยมนำมาใช้ในการพัฒนากระบวนการที่มีปัญหาเพื่อให้กระบวนการนั้นมีสมรรถนะที่ดีขึ้นหรือทำให้เกิดความมั่นคงของระบบต่อแหล่งความผันแปรที่อยู่ภายนอก [8, 9] ข้อดีของการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลมีหลายประการ เช่น ทำให้สามารถศึกษาอิทธิพลร่วมของหลายปัจจัยในการทดลองได้พร้อมกัน ทำให้ประหยัดเวลาและงบประมาณในการทดลอง [10] การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลนี้จึงถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในหลายสาขา เช่น การเกษตร อุตสาหกรรม และการวิจัยทางการแพทย์

2.2 หลักการพ่นสี GIP

ในการพ่นสี GIP ประกอบด้วย 1) สี GIP ที่มีความหนืดของสี GIP อยู่ที่ 25 – 45 วินาที/ 100 มิลลิลิตร โดยในการทดลองนี้จะควบคุมค่าความหนืดของสี GIP อยู่ที่ 35 วินาที/ 100 มิลลิลิตร 2) ชุดปรับความดันในการพ่นซึ่งส่งผลต่อปริมาณของสีที่พ่นในแต่ละครั้ง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 0.10 MPa ถ้าความดันในการพ่นต่ำปริมาณของสี GIP จะออกมาน้อย และความดันในการพ่นสูงปริมาณของสี GIP จะออกมามาก 3) ปืนพ่นทั้ง 3 ระดับ ปืนพ่นระดับบนทำหน้าที่พ่นสีบริเวณขอบปิดด้านบน ปืนพ่นระดับกลางทำหน้าที่พ่นสีบริเวณกลางของยาง ปืนพ่นระดับล่างทำหน้าที่พ่นสีบริเวณขอบปิดด้านล่าง โดยปืนพ่นแต่ละระดับจะต้องตั้งค่าองศาการพ่นให้สัมพันธ์กับลักษณะของยางต้องพ่นให้ทั่วทั้งในยางและบริเวณขอบซึ่งทุกบริเวณมีความหนาของสี GIP สมำเสมอ 4) ระยะห่างปืนพ่นแต่ละระดับต้องมีระยะห่างที่สมำเสมอกันโดยอ้างอิงจากระยะขอบยางด้านบนและด้านล่าง แล้วจึงปรับตั้งปืนพ่นตรงกลางให้อยู่กึ่งกลางของปืนพ่นระดับบนและปืนพ่นระดับล่าง ซึ่งในการทดลองนี้ได้ทดลองกับระยะห่างปืนพ่น 2 แบบที่มีระยะห่างของปืนแต่ละระดับต่างกัน โดยแบบ A จะมีระยะห่างระหว่างปืนแต่ละอันมากกว่าแบบ B

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์เพื่อปรับปรุงการควบคุมความหนาของการพ่นสีกรีนไทร์ในตำแหน่งขอบยางของการผลิตยางเรเดียล 3 รุ่น ขนาดขอบ 16 นิ้ว ขนาดขอบ 17 นิ้ว และขนาดขอบ 18 นิ้ว โดยยางขนาดขอบ 16 นิ้ว ใช้ผ้าใบหุ้มขอบยางเป็นไนลอน (Nylon chafer) ส่วนยางขนาดขอบ 17 นิ้ว และ 18 นิ้ว ใช้ผ้าใบหุ้มขอบยางเป็นกัม (Gum chafer) ทั้งนี้ขอบไนลอนทำมาจากโพลีเอไมด์เคลือบด้วยคอมพาวด์ (Compound) ส่วนขอบกัมทำมาจากยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์ และตัวเร่งวัลคาไนซ์ ทั้งนี้ทั้งสามรุ่นมีปริมาณการผลิตและมีเปอร์เซ็นต์ของเสียสูง

การค้นหาคำตอบได้เริ่มต้นจากการใช้การวิเคราะห์แบบทำไม-ทำไม (Why-Why Analysis) เมื่อได้รากของสาเหตุที่เกิดจากภายในกระบวนการประกอบและขึ้นรูปยางกรีนไทร์ว่าเกิดจากสาเหตุการตั้งค่าพารามิเตอร์ของชุดพ่นสีกรีนไทร์ จึงทำการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล โดยมีตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุมเป็นดังนี้

ตัวแปรต้น : 1) ชนิดของยางรถยนต์ทั้งสามรุ่น 2) ความดันในการพ่น 3) องศาปืนพ่นระดับบน 4) องศาปืนพ่นระดับกลาง 5) องศาปืนพ่นระดับล่าง 6) ระยะห่างปืนพ่น

ตัวแปรตาม : เปอร์เซนต์ของเสียวัดจากหลังกระบวนการพ่นสี GIP

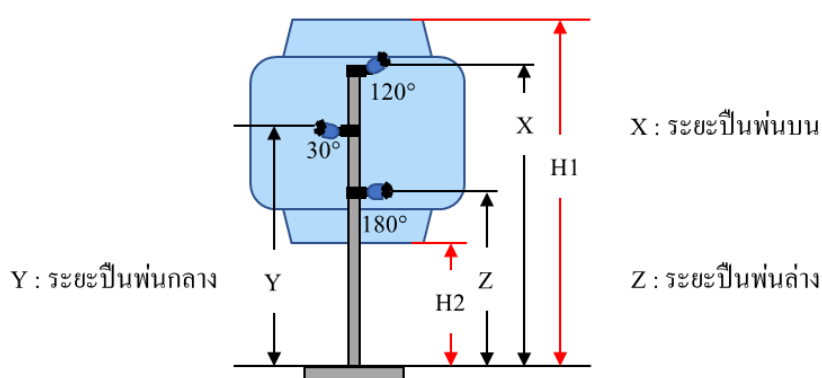
ตัวแปรควบคุม : ความหนืดของสี GIP

ระดับของปัจจัยของตัวแปรต้นเป็นดังนี้ ความดันในการพ่นมี 2 ระดับ ได้แก่ 0.03 MPa และ 0.05 MPa องศาปืนพ่นระดับบนมี 3 ระดับ ได้แก่ 120° , 150° และ 180° องศาปืนพ่นระดับกลางมี 3 ระดับ ได้แก่ 0° , 30° และ 160° องศาปืนพ่นระดับล่างมี 2 ระดับ ได้แก่ 150° และ 180° ระยะห่างปืนพ่นมี 2 ระดับ ได้แก่ ระยะห่างปืนพ่นแบบ A และระยะห่างปืนพ่นแบบ B ซึ่งแตกต่างกันในประเด็นความสูงจากพื้นถึงขอบบีตทั้งด้านบน (ค่า X) และด้านล่าง (ค่า Z) ดังปรากฏในรูปที่ 4

รูปที่ 4 ดังกล่าวยังได้แสดงตัวอย่างการทดลอง ซึ่งประกอบด้วยองศาปืนพ่นบนที่ 120° องศาปืนพ่นล่างที่ 180° องศา และองศาปืนพ่นกลางที่ 30° องศา ทั้งนี้ความสูงของเสาที่ใช้เป็นที่ยึดเกาะของปืนพ่นสูงเท่ากับ 45 เซนติเมตร เมื่อทำการทดลองครบแล้วผลการทดลองที่ได้จะนำไปใช้ในการตั้งค่าควบคุมของชุดพ่นสี GIP และทำการติดตามการลดลงของเปอร์เซ็นต์ของเสียเป็นระยะเวลาหนึ่งปี

A : ระยะห่างปืนพ่น (บน) = ความสูงจากพื้นถึงขอบบีตด้านบน (H_1) - 10 cm
ระยะห่างปืนพ่น (กลาง) = ตรงกลางของยาง
ระยะห่างปืนพ่น (ล่าง) = ความสูงจากพื้นถึงขอบบีตด้านล่าง (H_2) + 10 cm

B : ระยะห่างปืนพ่น (บน) = ความสูงจากพื้นถึงขอบบีตด้านบน (H_1) - 20 cm
ระยะห่างปืนพ่น (กลาง) = ตรงกลางของยาง
ระยะห่างปืนพ่น (ล่าง) = ความสูงจากพื้นถึงขอบบีตด้านล่าง (H_2) + 20 cm



รูปที่ 4 ตำแหน่งของระยะห่างปืนพ่นและองศาปืนพ่นของชุดพ่นสี GIP ที่ใช้ในการทดลอง

4. ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการทดสอบสมมุติฐาน 3 ข้อ ซึ่งผลการทดสอบเป็นดังนี้

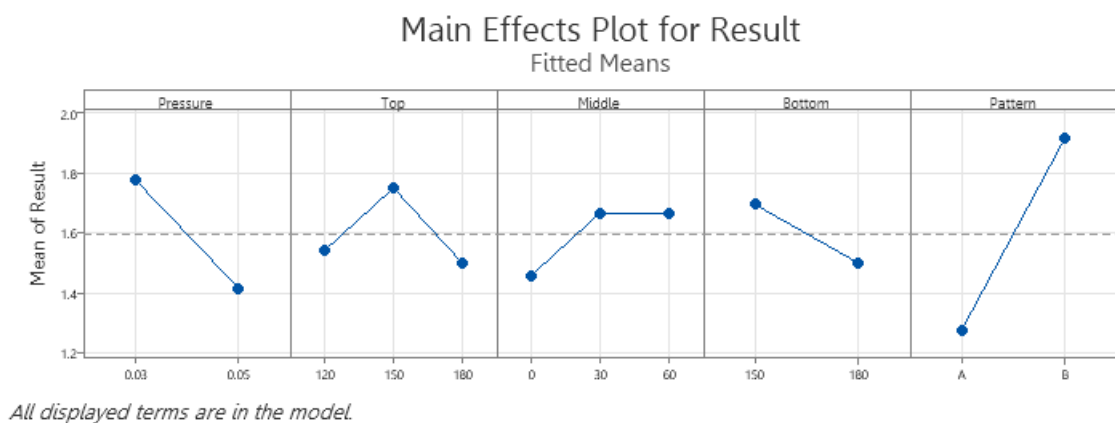
สมมุติฐานที่ 1 กรณีขนาดขอบ 16 นิ้ว ผ้าใบหุ้มขอบยางในลอน

H_0 : ปัจจัยต่าง ๆ ไม่มีผลต่อคุณภาพยาง H_1 : ปัจจัยต่าง ๆ มีผลต่อคุณภาพยาง

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของผลการตรวจสอบข้อบกพร่องของยางขนาดขอบ 16 นิ้ว ผ้าใบหุ้มขอบยางไนลอน

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
ความดัน(Pressure)	1	2.347	2.347	5.920	0.018
องศาป็นพบนบน (Top)	2	0.861	0.431	1.090	0.344
องศาป็นพนกลาง (Middle)	2	0.694	0.347	0.880	0.422
องศาป็นพนล่าง (Bottom)	1	0.681	0.681	1.720	0.195
ระยะห่างป็นพ่น (Pattern)	1	7.347	7.347	18.520	0.000
Error	64	25.389	0.397		
Total	71	37.319			

จากตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของยางขนาดขอบ 16 นิ้ว ผ้าใบหุ้มขอบยางไนลอน พบว่าทุกปัจจัยมีผลต่อข้อบกพร่องของยางที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.50 ส่วนปัจจัยความดันและระยะห่างป็นพ่นมีผลต่อข้อบกพร่องของยางที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05



รูปที่ 5 กราฟผลกระทบหลักของปัจจัยของยางขนาดขอบ 16 นิ้ว ผ้าใบหุ้มขอบยางไนลอน

จากรูปที่ 5 พบว่าที่ปัจจัยหลักความดัน 0.03 MPa พบของเสีย LBT และเมื่อความดันเพิ่มขึ้นส่งผลให้พบข้อบกพร่องน้อยลง ซึ่ง LBT เป็นของเสียที่เกิดจากการ GIP ที่พ่นออกมาปริมาณน้อยเกินไปและมีโอกาสพบข้อบกพร่องมากขึ้นในยางที่ใช้ผ้าใบหุ้มขอบยางไนลอน เมื่อพิจารณาปัจจัยหลักองศาป็นพ่นระดับบน องศาป็นพ่นระดับกลาง และองศาป็นพ่นระดับล่าง พบว่าส่งผลกระทบต่อเกิดการเกิดข้อบกพร่องน้อย และเมื่อพิจารณาปัจจัยหลักระยะห่างป็นพ่นพบว่าที่ระยะห่างป็นพ่นแบบ A พบข้อบกพร่องน้อยกว่าระยะห่างป็นพ่นแบบ B

สมมติฐานที่ 2 กรณียางขนาดขอบ 17 นิ้ว ผ้าใบหุ้มขอบยางกัม

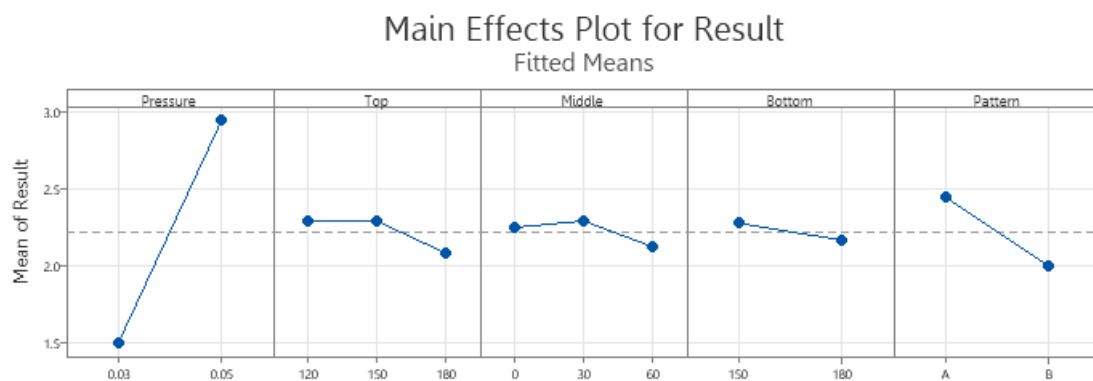
H_0 : ปัจจัยต่าง ๆ ไม่มีผลต่อคุณภาพยาง

H_1 : ปัจจัยต่าง ๆ มีผลต่อคุณภาพยาง

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของผลการตรวจสอบข้อบกพร่องของยางขนาดขอบ 17 นิ้ว ผ้าใบหุ้มขอบยางกัม

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
ความดัน (Pressure)	1	37.556	37.556	99.920	0.000
องศาป็นพ่นบน (Top)	2	0.694	0.347	0.920	0.402
องศาป็นพ่นกลาง (Middle)	2	0.361	0.181	0.480	0.621
องศาป็นพ่นล่าง (Bottom)	1	0.222	0.222	0.590	0.445
ระยะห่างป็นพ่น (Pattern)	1	3.556	3.556	9.460	0.003
Error	64	24.056	0.376		
Total	71	66.444			

จากตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของยางขนาดขอบ 17 นิ้ว ผ้าใบหุ้มขอบยางกัม พบว่าทุกปัจจัยมีผลต่อข้อบกพร่องของยางที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.50 ส่วนปัจจัยความดันและระยะห่างป็นพ่นมีผลต่อข้อบกพร่องของยางที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05



รูปที่ 6 กราฟผลกระทบหลักของยางขนาดขอบ 17 นิ้ว ผ้าใบหุ้มขอบยางกัม

จากรูปที่ 6 พบว่าที่ปัจจัยหลักความดัน 0.05 MPa พบของเสีย FM-GIP และเมื่อลดความดันลงส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องน้อยลง เมื่อพิจารณาปัจจัยหลักได้แก่ องศาป็นพ่นระดับบน องศาป็นพ่นระดับกลาง และองศาป็นพ่นระดับล่างนั้น พบว่าส่งผลกระทบต่อการเกิดข้อบกพร่องน้อย และเมื่อพิจารณาปัจจัยหลักระยะป็นพ่นบน พบว่าระยะป็นพ่นแบบ A ส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องมากกว่าระยะป็นพ่นแบบ B

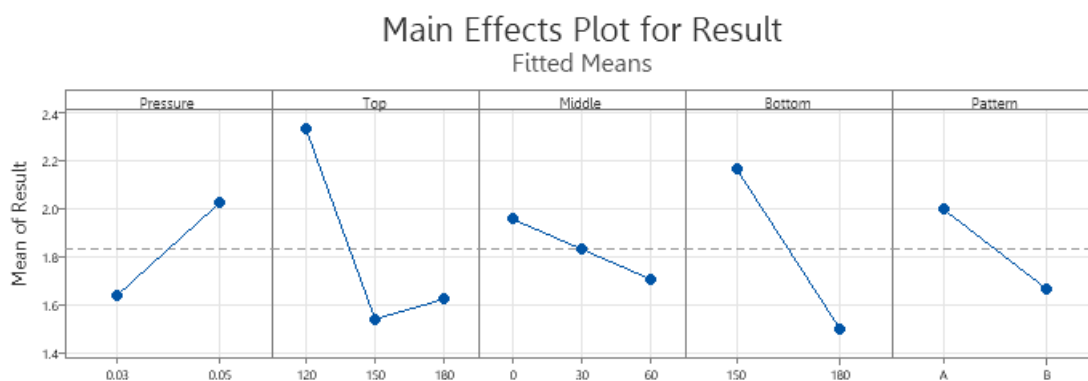
สมมติฐานที่ 3 กรณียางขนาดขอบ 18 นิ้ว ผ้าใบหุ้มขอบยางกัม

H_0 : ปัจจัยต่าง ๆ ไม่มีผลต่อคุณภาพยาง H_1 : ปัจจัยต่าง ๆ มีผลต่อคุณภาพยาง

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของผลการตรวจสอบข้อบกพร่องของยางขนาดขอบ 18 นิ้ว ผ้าใบหุ้มขอบยางกัม

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
ความดัน (Pressure)	1	2.722	2.722	8.120	0.006
องศาป็นพ่นบน (Top)	2	9.083	4.542	13.550	0.000
องศาป็นพ่นกลาง (Middle)	2	0.750	0.375	1.120	0.333
องศาป็นพ่นล่าง (Bottom)	1	8.000	8.000	23.880	0.000
ระยะห่างป็นพ่น (Pattern)	1	2.000	2.000	5.970	0.017
Error	64	21.444	0.335		
Total	71	44.000			

จากตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของยางขนาดขอบ 18 นิ้ว ผ้าใบหุ้มขอบยางกัม พบว่าทุกปัจจัยมีผลต่อข้อบกพร่องของยางที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.50 และปัจจัยความดัน องศาป็นพ่นระดับบน องศาป็นพ่นระดับล่าง และระยะป็นพ่นมีผลต่อข้อบกพร่องของยางที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05



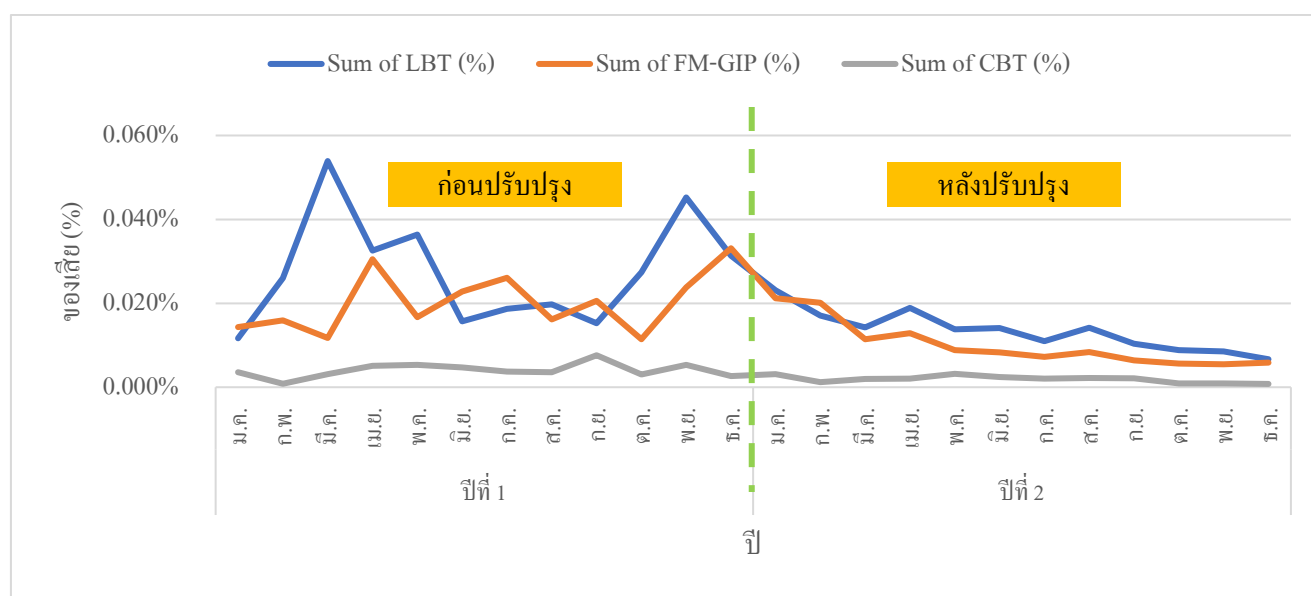
All displayed terms are in the model.

รูปที่ 7 กราฟผลกระทบหลักของยางขนาดขอบ 18 นิ้ว ผ้าใบหุ้มขอบยางกัม

จากรูปที่ 7 พบว่าที่ปัจจัยหลักความดัน 0.05 MPa พบของเสีย FM-GIP และ CBT เมื่อลดความดันส่งผลให้พบข้อบกพร่องน้อยลง เมื่อพิจารณาปัจจัยหลักองศาป็นพ่นระดับบนที่ระดับ 120° พบว่าเกิดข้อบกพร่องมากที่สุดตรงลงมาคือ 180° และ 150° ที่ระดับ 150° พบว่าเกิดข้อบกพร่อง LBT เมื่อเปลี่ยนเป็นระดับ 180° พบว่าเกิดข้อบกพร่องน้อยลง และเมื่อพิจารณาปัจจัยหลักระยะป็นพ่นบนว่าที่ระยะป็นพ่นแบบ A พบข้อบกพร่องมากกว่าระยะป็นพ่นแบบ B ซึ่งพบของเสีย FM-GIP และ CBT

จากการทดลองเพื่อหาวิธีการปรับตั้งชุดพ่นสี GIP ที่เหมาะสมพบว่าการทดลองที่เหมาะสมกับยางขอบไนลอน 16 นิ้วคือ ความดันในการพ่น 0.05 MPa องศาป็นพ่นระดับบน 150° องศาป็นพ่นระดับกลาง 30° องศาป็นพ่นระดับล่าง 180° และระยะป็นพ่นแบบ A , การทดลองที่เหมาะสมกับยางขอบกัม 17 นิ้วคือ ความดันในการพ่น 0.03 MPa องศาป็นพ่นระดับบน 120° องศาป็นพ่นระดับกลาง 30° องศาป็นพ่นระดับล่าง 180° และระยะป็นพ่นแบบ B และการทดลองที่เหมาะสมกับยางขอบกัม 18 นิ้วคือ ความดันในการพ่น 0.03 MPa องศาป็นพ่นระดับบน 150° องศาป็นพ่นระดับกลาง 0° องศาป็นพ่นระดับล่าง 180° และระยะป็นพ่นแบบ B

หลังจากการปรับปรุงกระบวนการควบคุมความหนาของ GIP ของยางรถยนต์เรเดียลทั้ง 3 รุ่น และนำไปใช้ในกระบวนการผลิตจริงในโรงงานกรณีศึกษาเป็นระยะเวลา 6 เดือนแรกของปีที่ 2 พบว่าสามารถลดของเสียที่เกิดจากกระบวนการพัน GIP จากเฉลี่ย 0.052% เหลือ 0.033% โดย LBT ลดลงจาก 0.028% เป็น 0.017%, FM-GIP ลดลงจาก 0.020% เป็น 0.014% และ CBT ลดลงจาก 0.003% เป็น 0.002% ซึ่งจะพบว่าสัดส่วนของเสียมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจนหลังเดือนกรกฎาคมปีที่ 2 เนื่องจากการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis, MSA) มาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพการตรวจสอบของพนักงานเพิ่มเติม โดยพบว่าสามารถลดของเสียที่เกิดจากกระบวนการพัน GIP จากเฉลี่ย 0.033% เหลือ 0.018% โดย LBT ลดลงจาก 0.017% เป็น 0.010%, FM-GIP ลดลงจาก 0.014% เป็น 0.006% และ CBT ลดลงจาก 0.002% เป็น 0.001% ดังแสดงในรูปที่ 6 เมื่อคิดเฉลี่ยทั้งปีแล้วสามารถลดของเสียลงได้จาก 0.052% เป็น 0.025%



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของเสียก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับตั้งชุดการพัน GIP

5. สรุปผลการวิจัย

ปัญหาของเสียจากกระบวนการการพัน GIP ที่มีความหนา-บางไม่เท่ากันเกิดจาก 5 ปัจจัย ได้แก่ ความดันในการพัน องศาป็นพ่นระดับบน องศาป็นพ่นระดับกลาง องศาป็นพ่นระดับล่าง และระยะป็นพ่น จากผลการทดลองพบว่า สำหรับกรณียางขอบไนลอน 16 นิ้ว ควรตั้งค่าความดันในการพันเป็น 0.05 MPa องศาป็นพ่นระดับบน 150° องศาป็นพ่นระดับกลาง 30° องศาป็นพ่นระดับล่าง 180° และระยะป็นพ่นแบบ A สำหรับกรณียางขอบกัม 17 นิ้ว ควรตั้งค่าความดันในการพัน 0.03 MPa องศาป็นพ่นระดับบน 120° องศาป็นพ่นระดับกลาง 30° องศาป็นพ่นระดับล่าง 180° และระยะป็นพ่นแบบ B และสำหรับกรณียางขอบกัม 18 นิ้ว ควรตั้งค่าความดันในการพัน 0.03 MPa องศาป็นพ่นระดับบน 150° องศาป็นพ่นระดับกลาง 0° องศาป็นพ่นระดับล่าง 180° และระยะป็นพ่นแบบ B ซึ่งหลังจากการปรับปรุงกระบวนการควบคุมความหนาของ GIP ของยางรถยนต์เรเดียลทั้ง 3 รุ่นเป็นระยะเวลา 12 เดือน พบว่าสามารถลดของเสียที่เกิดจากกระบวนการพัน GIP จากเฉลี่ย 0.052% เหลือ 0.025% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการตั้งค่าเครื่องจักรและกำหนดให้เป็นวิธีการปฏิบัติงานสามารถทำให้ของเสียในกระบวนการลดลงได้

หากขอบยางชนิดต่างกันต้องตั้งค่าความดันในการพันต่างกันโดยขอบยางแบบไนลอนควรตั้งค่าความดันในการพันเป็น 0.05 MPa ขอบยางแบบกัมควรตั้งค่าความดันในการพันเป็น 0.03 MPa เนื่องจากวัสดุของขอบยางที่แตกต่างกันส่งผลให้รูปร่างของขอบ

ปีหลังการบ่มต่างกัน โดยขอบในลอนต้องใช้ความดันที่สูงกว่าขอบกัมเพื่อให้ปริมาณที่พ่นออกมามากกว่าเพื่อหล่อลื่นไม่ให้ขอบปิดโด้งมนและมีขนาดไม่เท่ากัน

กรณีขอบยางกัมเหมือนกันแต่ขนาดยางต่างกันอย่างเช่น ขอบกัม 17 นิ้ว และ ขอบกัม 18 นิ้ว นั้น จะใช้ความดันในการพ่นเป็น 0.03 MPa เท่ากัน ส่วนการปรับตั้งองศาปืนพ่นระดับบน ระดับกลาง ระดับล่าง และระยะปืนพ่นต้องอ้างอิงจากขนาดความสูงของยางซึ่งสัมพันธ์กับความกว้างหน้ายาง โดยยางขอบ 17 นิ้ว และ 18 นิ้ว นั้น มีความสูงใกล้เคียงกัน ดังนั้นการตั้งค่าองศาปืนพ่นระดับล่างและระยะปืนพ่นจึงเหมือนกัน มีความเป็นไปได้ว่าเมื่อยางมีรูปร่างต่างกันจะมีการตั้งค่าองศาปืนพ่นระดับบนและ องศาปืนพ่นระดับกลางแตกต่างกันเพื่อให้การพ่นสี GIP ครอบคลุมผิวในของยางและสม่ำเสมอ

ข้อเสนอแนะในงานวิจัยนี้การพ่นสี GIP นั้นเป็นการปฏิบัติงานที่อาศัยทักษะของพนักงานซึ่งสามารถเกิดความผิดพลาดของมนุษย์ได้ ดังนั้นหากมีการนำการวิเคราะห์ระบบการวัดมาใช้ (MSA) มาใช้ในการควบคุมการทำงานของพนักงานให้มีความถูกต้องและคุณภาพชิ้นงานมีความสม่ำเสมอ [11-13] ย่อมลดเปอร์เซ็นต์ของเสียลงได้อีก

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Plastics Institute of Thailand. เจาะลึกอุตสาหกรรมยางรถยนต์ของไทย. โครงการพัฒนาระบบฐานข้อมูลเชิงลึกอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางและไมยางพารา, 2020. Available from: <https://rubber.oie.go.th/Article.aspx?id=62555>.
- [2] The Goodyear Tire & Rubber Company. *Tire Basics*, 2024. Available from: https://www.goodyear.com/en_US/learn/tire-basics.html.
- [3] U.S. Tire Manufacturers Association. *HOW A TIRE IS MADE*, 2020. Available from: <https://www.ustires.org/how-tire-made>.
- [4] Seeliger, A. L. Cheng and T, Netland. *Augmented reality for industrial quality inspection: An experiment assessing task performance and human factors*. Computers in Industry, 2023, 151, pp. 103985.
- [5] Li, Y. et al. *TireNet: A high recall rate method for practical application of tire defect type classification*. Future Generation Computer Systems, 2021, 125 pp. 1-9.
- [6] Douglas, C., Montgomery., *Design and analysis of experiments*. 8th ed ed. John Wiley & Sons, Inc, 2013.
- [7] Zhang, Z. et al. Numerical study on the performance of a two-nozzle spray cooling system under different conditions. *International Journal of Thermal Sciences*, 2020, 152, pp. 106291.
- [8] Colette, D.A. et al. *Optimization of the compressive strength of used tire/cement phase composite concretes using a full factorial design*. Construction and Building Materials, 2023, 404, pp. 133252.
- [9] Ma, X. W. Shi and H, Yang. *Study on water spraying distribution to improve the energy recovery performance of indirect evaporative coolers with nozzle arrangement optimization*. Applied Energy, 2022, 318, pp. 119212.
- [10] Gunst, R.F. and R.L. Mason, *Fractional factorial design*. WIREs Computational Statistics, 2009, 1 (2), pp. 234-244.
- [11] Down, M. Czubak, F. Gruska, G. Stahley, S. Benham, D. *Measurement system analysis (MSA)*. 4th ed. Chrysler Group LLC, 2010.
- [12] Knutson, M.D. *Qualification of inspection techniques for detecting leaks in pouched medical devices at Company XYZ*, 2008.
- [13] ภาณุเทพ อธิปัญญาพันธุ์ และ จิตรา รู้จักการพานิช. การปรับปรุงมาตรฐานการตรวจสอบคุณภาพในการผลิตสีผง, *IE Network Conference 2012*, เพชรบุรี, ประเทศไทย, 2012, pp. 886-892.