

การลดข้อบกพร่องในกระบวนการอัดรีดเป่าขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เกลลอนพลาสติก

สุทธิรักษ์ ชาววัง สุจินต์ ชงถาวรสุวรรณ และ วิบูลย์ ตั้งวัชรมนกุล*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทเส้นสีในการอัดรีดเป่าขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เกลลอนพลาสติก โดยผลิตภัณฑ์บกพร่องที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นเส้นที่มีสีแตกต่างจากสีผิวของผลิตภัณฑ์ จากการศึกษาในเบื้องต้นพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดตำหนิที่เป็นเส้นสีนี้มีอยู่ 4 ปัจจัย คือ อุณหภูมิช่วงกลางกระบอบกอัดรีด อุณหภูมิช่วงปลายกระบอบกอัดรีด ความเร็วรอบสกรู และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูของแผ่นเบรกเกอร์ เมื่อดำเนินการทดลองในรูปแบบ 2^k แฟคทอเรียล ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่มีผลต่อข้อบกพร่องคือ อุณหภูมิช่วงกลางกระบอบกอัดรีด อุณหภูมิช่วงปลายกระบอบกอัดรีด และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูของแผ่นเบรกเกอร์ โดยสภาวะที่เหมาะสมในการอัดรีดเป่าขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เกลลอนพลาสติก คือ อุณหภูมิช่วงกลางกระบอบกอัดรีดเท่ากับ $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ อุณหภูมิช่วงปลายกระบอบกอัดรีดเท่ากับ $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูของแผ่นเบรกเกอร์เท่ากับ 3 มิลลิเมตร ด้วยการปรับตั้งสภาวะในการผลิตนี้ ปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องสามารถลดลงได้จากเดิมร้อยละ 0.84 เป็นร้อยละ 0.02

คำสำคัญ : เกลลอนพลาสติก, การอัดรีดเป่าขึ้นรูป, ผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทเส้นสี

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

* ผู้ติดต่อ, อีเมล: viboon.tan@kmutt.ac.th รับเมื่อ 26 ตุลาคม 2558 ตอบรับเมื่อ 28 กันยายน 2559

Defect Reduction in Extrusion Blow Molding Process for Plastic Gallons

Sootthirak Chaowang, Sujin Tongthavornsuwan and Viboon Tangwarodomnukun*

Abstract

This research aims at reducing the color-mark defect in the extrusion blow molding process for plastic gallons, where the mark is a line having different color from the gallon. As per a preliminary study, there were four process parameters affecting the defect appearance; i.e. temperature at the mid-section and end of the extruder barrel, screw speed and hole diameter of breaker plate. After conducting a set of experiments associated with the 2^k factorial design, the statistical analysis revealed that the temperature at the middle barrel, temperature at the end of barrel and the hole diameter of breaker plate were the significant factors with regards to the defect. The optimum process condition for making the plastic gallon was found to be 170 °C at the middle barrel temperature, 190 °C at the end barrel temperature and 3 mm hole diameter of breaker plate. With the use of this condition, the defective product can be decreased from 0.84 % to 0.02 %.

Keywords : Plastic gallons, Extrusion blow molding, Color-mark defect

Department of Production Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi

* Corresponding author, E-mail: viboon.tan@kmutt.ac.th Received 26 October 2015, Accepted 28 September 2016

1. บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญและมีอัตราการแข่งขันค่อนข้างสูง ดังนั้น ผู้ผลิตชิ้นส่วนพลาสติกต้องพยายามลดต้นทุนในการผลิตให้ต่ำที่สุดโดยการกำจัดความสูญเปล่าในการผลิตและลดปริมาณของเสียลง

เมื่อพิจารณาการผลิตเกลลอนพลาสติกของบริษัทกรณีศึกษาแห่งหนึ่งพบว่า เกลลอนพลาสติกที่ผลิตได้จากกระบวนการอัดรีดเป่าขึ้นรูป (Extrusion blow molding process) มีของเสียเกิดขึ้นประมาณ 0.84% ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นนี้ทำให้ต้นทุนในการผลิตเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องมีมาตรการแก้ไขปัญหาลดต้นทุนในการผลิตและควบคุมผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพ สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้

การกำหนดและควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผลิตเกลลอนพลาสติกให้เกิดของเสียและมีความแปรปรวนน้อยที่สุด ต้องอาศัยองค์ความรู้ทางด้านวิศวกรรม สถิติ และเทคนิคเฉพาะด้านในกระบวนการผลิตเกลลอนพลาสติก มาประกอบในการดำเนินการวิจัย นอกจากนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตและลดต้นทุนการผลิตแล้ว ยังเป็นการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้อยู่ภายใต้มาตรฐานเป็นที่ยอมรับของลูกค้าอีกด้วย

2. กระบวนการอัดรีดเป่าขึ้นรูป

กระบวนการอัดรีดเป่าขึ้นรูปเริ่มจากการเตรียมวัตถุดิบ ซึ่งประกอบไปด้วยเม็ดพลาสติก 2 ชนิด คือ เม็ดพลาสติกประเภทพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene : HDPE) และ เม็ดสี (Master batch) เม็ดพลาสติก HDPE มีลักษณะกลม มี

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 – 3 มิลลิเมตร มีสีขาวใส และใช้อุณหภูมิในการอัดรีดอยู่ในช่วง 140-220 °C [1] พลาสติก HDPE มีการใช้อย่างกว้างขวาง ราคาไม่แพง ยืดหยุ่นได้ดี มีความทนทานมากและสามารถทนต่อสารเคมีได้ อีกทั้งยังมีความแข็งแรงและโปร่งแสงน้อยกว่าโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ พลาสติกชนิดนี้นิยมใช้ในการผลิต ถัง ถังเกลลอนน้ำมัน บรรจุก๊าซ ฟิล์มห่อ และท่อน้ำ เป็นต้น สำหรับเม็ดสี (Master batch) มีลักษณะเป็นเม็ดพลาสติกขนาดเล็กที่มีสีและสารเติมแต่งอื่นๆ ผสมอยู่ เมื่อนำไปผสมกับเม็ดพลาสติก HDPE แล้ว ภายหลังกระบวนการขึ้นรูปจะทำให้ได้ชิ้นงานที่มีสีตามต้องการ

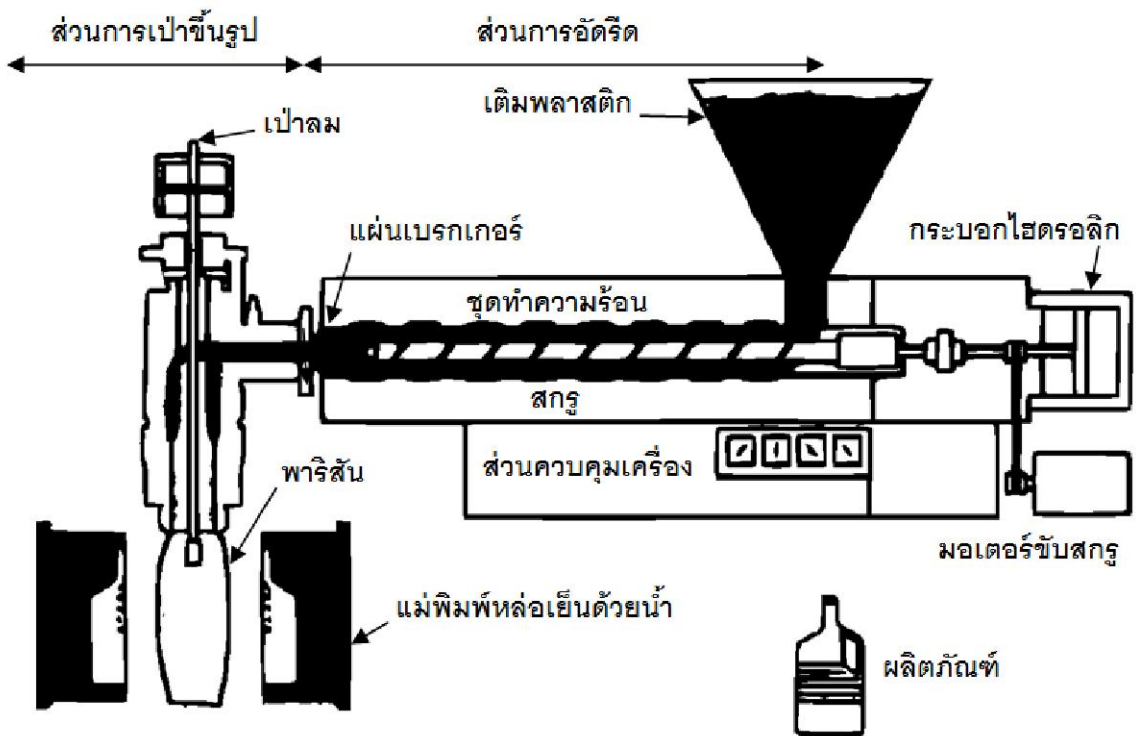
เม็ดพลาสติกที่ทำการผสมด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้วจะถูกนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ด้วยกระบวนการอัดรีดเป่าขึ้นรูป เครื่องอัดรีดเป่าขึ้นรูปโดยทั่วไปประกอบไปด้วย 2 ส่วนการทำงานดังนี้

1) ส่วนการอัดรีด (Extrusion unit) ส่วนการอัดรีดนี้มีหน้าที่หลอมละลายเม็ดพลาสติกและผสมให้พลาสติกรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับสารเติมแต่ง และอัดรีดพลาสติกหลอมเหลวให้ลำเลียงด้วยสกรูไปตามกระบอกร โดยได้รับความร้อนจากชุดให้ความร้อน (Heater) และความร้อนเหนือนที่เกิดขึ้นจากการหมุนของสกรู จากนั้นพลาสติกหลอมเหลวไหลผ่านชุดปรับทิศทางการไหล หรือ แผ่นเบรกเกอร์ (Breaker plate) ซึ่งอยู่ส่วนปลายเพื่อไหลเข้าสู่หัวดัดต่อไป [2]

2) ส่วนการเป่าขึ้นรูป (Blow molding unit) หลังจากหลอดพาริสันถูกอัดรีดออกมาในแนวตั้งและมีทิศทางไหลลงสู่บริเวณแนวประกบของแม่พิมพ์ที่เปิดอยู่ เมื่อหลอดพาริสัน มีความยาวตามระยะที่กำหนด (ยาวกว่าความยาวแม่พิมพ์เล็กน้อย) แม่พิมพ์จะถูกประกบเข้าหา

กัน ทำให้ปลายด้านหนึ่งของหลอดพาริสันถูกบีบให้เชื่อมประสานกันด้วยขอบบีบที่อยู่บริเวณตอนปลายของแม่พิมพ์ จากนั้นชุดใบมีดที่ติดตั้งไว้ด้านบนของแม่พิมพ์จะทำการตัดหลอดพาริสันในตำแหน่งเหนือส่วนบนของแม่พิมพ์เล็กน้อย แล้วลมหรืออากาศอัด (Compressed air) จะถูกเป่าเข้าสู่แกนกลางของหลอดพาริสันผ่านหัวเป่า เพื่อเป่าให้หลอดพาริสันพองออกจนแนบกับผนังของช่องว่างแม่พิมพ์ (Mold cavity) เมื่อ

พลาสติกหลอมสัมผัสกับผนังแม่พิมพ์ที่ได้มีการหล่อเย็นไว้ ซึ่งโดยปกติจะนิยมใช้น้ำเย็นที่มีช่วง อุณหภูมิระหว่าง 5 ถึง 15 °C [1] ไหลหมุนเวียนในแม่พิมพ์เพื่อระบายความร้อน ทำให้พลาสติกหลอมเกิดการแข็งตัว จากนั้นแม่พิมพ์จะถูกเปิดออกเพื่อทำการปลดชิ้นงานพลาสติกออกจากแม่พิมพ์และเริ่มวัฏจักรของการผลิตต่อไป [2] โดยกระบวนการอัดรีดเป่าขึ้นรูปแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องอัดรีดเป่าขึ้นรูป [2]

Khan และคณะ [3] ได้ศึกษากระบวนการอัดรีดท่อพลาสติก เพื่อระบุปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยปัจจัยหลักที่สำคัญได้แก่ สภาพของ

เครื่องมือ สภาพการทำงาน วัตถุดิบ อุณหภูมิ ความดัน และ คุณภาพของแม่พิมพ์ นอกจากนี้ สถาพร และคณะ [4] ยังพบว่า ปัจจัยดังกล่าวยังส่งผลต่อความสามารถใน

การไหลตัวของพลาสติกอีกด้วย ผลกระทบของอุณหภูมิในการขึ้นรูปและปริมาณเศษพลาสติกที่นำกลับมาหลอมใหม่ถูกศึกษาโดย โสภิตา [5] ซึ่งมุ่งเน้นที่การลดปริมาณของเสียประเภทเม็ดพีวีซีไม่หลอมละลายที่เกิดขึ้นบนผิวผลิตภัณฑ์ ผลการวิจัยพบว่า อุณหภูมิในการหลอม PVC Compound ที่ Mixing Rolls ที่ 180 °C และปริมาณเศษพีวีซีแผ่นที่นำกลับมาหลอมใหม่ที่ Mixing Rolls ที่ 30 กิโลกรัม/Batch ทำให้จำนวนจุดบกพร่องประเภทเม็ดพีวีซีไม่หลอมละลายที่เกิดขึ้นบนผิวผลิตภัณฑ์ 1 ตารางเมตร ไม่เกิน 10 จุดต่อตารางเมตร ส่งผลให้จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดลดลงได้

Rios และคณะ [6] ได้ศึกษาความสามารถในการผสมในเครื่องอัดรีด โดยออกแบบ Mixing Breaker Plate (MBP) เพื่อช่วยให้การผสมในกระบวนการอัดรีดให้มีความคล่องตัวของการผสม และมั่นใจได้ว่าวัตถุดิบสามารถไหลผ่านในส่วนที่มีการยึดตัวได้ดี ทำให้กระบวนการอัดรีดมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังง่ายต่อการทำความสะอาดส่วนที่เกิดการอัดรีดอีกด้วย นอกจากนี้ MBP สามารถนำมาใช้แทนที่แผ่นเบรกเกอร์แบบดั้งเดิม ซึ่งมีการติดตั้งที่ยู่ยากมากกว่า

3. การวิเคราะห์ข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์

จากข้อมูลการผลิตแกลลอนพลาสติกบรรจุน้ำมันขนาด 5 ลิตร สีเขียวมรกตของบริษัทกรณีศึกษา พบว่าปริมาณการเกิดของเสียตั้งแต่เดือน กันยายน พ.ศ. 2557 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2557 เท่ากับ 0.84% และเมื่อคำนวณปริมาณของเสียมาจำแนกข้อบกพร่องออกเป็นชนิด

ต่างๆ พบว่า ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นมากที่สุด คือ การเกิดเส้นสีที่ผิดแปลกจากสีของชิ้นงาน โดยข้อบกพร่องนี้มีลักษณะเป็นเส้นพาดตามแนวยาวบนผิวจากส่วนบนถึงส่วนล่างของผลิตภัณฑ์ และมีปริมาณการเกิดสูงถึง 97.85% ของปริมาณงานเสียทั้งหมด

เกณฑ์ในการยอมรับค่าหนีประเภทเส้นสีของลูกค้า คือ ความกว้างของเส้นดำหนีต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 3 มิลลิเมตร โดยลักษณะข้อบกพร่องแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะข้อบกพร่องประเภทเส้นสี (Color-mark)

จากหลักการของกระบวนการผสมและการอัดรีดพลาสติก [2] สาเหตุที่เป็นไปได้มากที่สุดคือ การหลอมละลายของเนื้อพลาสติกระหว่างเม็ด HDPE และเม็ดสี Master batch ที่ไม่ถูกผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันอย่าง

สมบูรณ์ เนื่องจาก ค่าหนีเส้นสีที่เกิดขึ้นนี้สามารถพบได้ ที่พาริสัน (รูปที่ 1) ซึ่งเป็นผลที่ได้จากกระบวนการอัดรีด

เมื่อทำการวิเคราะห์กระบวนการอัดรีดพบว่า กระบวนการยังไม่เป็นมาตรฐาน และการปรับตั้งปัจจัย ในการอัดรีดยังขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงาน และข้อมูลการผลิตในอดีต ด้วยเหตุนี้จึงสามารถ สันนิษฐานได้ว่า การปรับตั้งปัจจัยในการอัดรีดอาจไม่ เหมาะสม ทำให้ได้ชิ้นงานที่มีตำหนิประเภทเส้นสีมาก ถึง 97.85% จากตำหนิที่เกิดขึ้นทั้งหมด

4. การออกแบบการทดลอง

เมื่อพิจารณาปัจจัยต่างๆ ในกระบวนการอัดรีด และ ข้อสรุปของผลการวิจัยต่างๆ ในอดีต พบว่า ปัจจัยด้าน อุณหภูมิ ความเร็วรอบของสกรูในส่วนของ การผสม และขนาดรูของแผ่นเบรกเกอร์ คาดว่าจะส่งผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องชนิดเส้นสีมากที่สุด เมื่อพิจารณา เครื่องจักรในสายการผลิตพบว่า อุณหภูมิในการหลอม พลาสติกสามารถปรับตั้งได้ทั้งหมด 2 ส่วนคือ ส่วนกลาง และส่วนปลายของกระบอก ดังนั้น จำนวน ปัจจัยที่ถูกนำมาทดสอบในงานวิจัยนี้มีทั้งหมด 4 ปัจจัย โดยระดับของค่าปัจจัยถูกเลือกตามขีดความสามารถ ของเครื่องจักรที่ใช้และอุณหภูมิที่ใช้ในการหลอมของ พลาสติกชนิด HDPE [1] การทดลองถูกออกแบบตาม แฟกทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) เพื่อ หาปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อข้อบกพร่องประเภท เส้นสีที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยระดับของปัจจัยที่ใช้ใน การทดลองสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัจจัยและระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย (หน่วย)	ระดับของปัจจัย	
	ต่ำ	สูง
อุณหภูมิในการหลอมที่กลางกระบอก (°C)	170	190
อุณหภูมิในการหลอมที่ปลายกระบอก (°C)	170	190
ความเร็วรอบของสกรู (rpm)	32	37
เส้นผ่านศูนย์กลางรูแผ่นเบรกเกอร์(mm)	3	4

การทดลองในแต่ละสภาวะถูกทำซ้ำจำนวน 4 ซ้ำ ซึ่งเป็นจำนวนที่เพียงพอต่อการวิเคราะห์ในเชิงสถิติและไม่ มากจนส่งผลกระทบต่อการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา ดังนั้นการทดลองในงานวิจัยนี้จึงมีทั้งหมด 64 การ ทดลอง

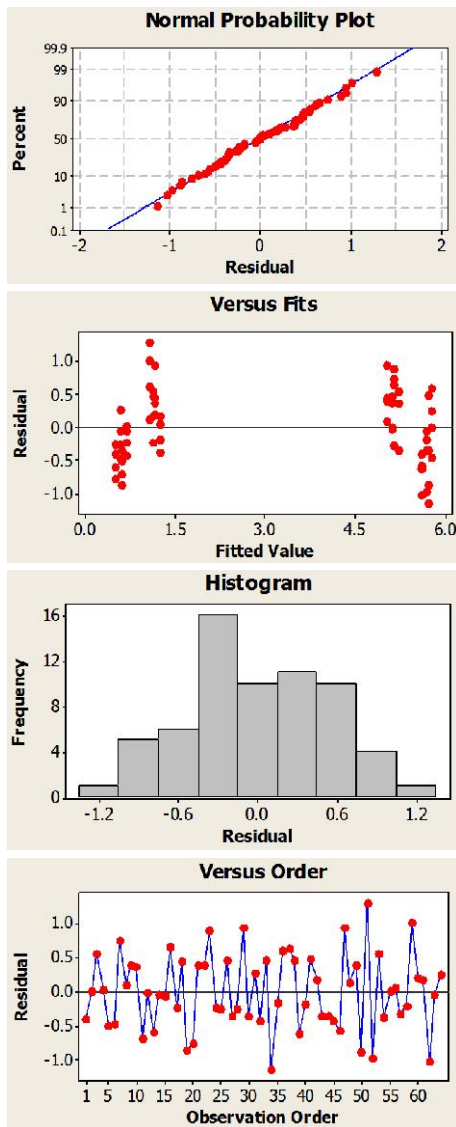
ตัวแปรตอบสนองในงานวิจัยนี้คือ ค่าความกว้าง ของเส้นสีที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงาน ซึ่งถูกวัดด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ตามข้อกำหนดการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ของ ลูกค้า ค่าความกว้างของเส้นสีที่ยอมรับได้มีขนาดไม่เกิน 3 มิลลิเมตร ในกรณีที่ชิ้นงานไม่เกิดเส้นสีบนผิวชิ้นงาน ค่าความกว้างจะถูกระบุเป็น 0

5. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการ ทดลอง

5.1 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

จากผลการทดลองที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์คุณภาพ ของข้อมูลทางสถิติ ซึ่งพบว่าข้อมูลที่นำมาใช้ในการ วิเคราะห์มีการแจกแจงแบบปกติ มีความเป็นอิสระของ ข้อมูล และมีเสถียรภาพของความแปรปรวน ดังแสดง ในรูปที่ 3 และเมื่อพิจารณาอำนาจในการทดสอบ (Power of Test) พบว่า จำนวนการทดลองซ้ำที่ 4 ครั้ง มี อำนาจในการทดสอบที่ร้อยละ 97.49 ซึ่งสูงเพียงพอต่อ

การนำผลการทดลองที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และสามารถให้สรุปในเชิงสถิติที่มีความน่าเชื่อถือ



รูปที่ 3 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

ตารางที่ 2 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของความกว้างของเส้นสี่

Source of Variation	df	SS	MS	P
Temp1	1	0.082	0.082	0.513
Temp2	1	330.558	330.558	0.000
Speed	1	0.161	0.161	0.360
Hole	1	4.978	4.978	0.000
Temp1*Temp2	1	0.095	0.095	0.482
Temp1*Speed	1	0.022	0.022	0.735
Temp1*Hole	1	0.09	0.09	0.493
Temp2*Speed	1	0.548	0.548	0.095
Temp2*Hole	1	7.728	7.728	0.000
Speed*Hole	1	0.006	0.006	0.863
Temp1*Temp2*Speed	1	0.022	0.022	0.733
Temp1*Temp2*Hole	1	2.76	2.76	0.000
Temp1*Speed*Hole	1	0.011	0.011	0.808
Temp2*Speed*Hole	1	0.269	0.269	0.238
Temp1*Temp2*Speed*Hole	1	0.045	0.045	0.627
Error	48	9.037	0.188	
Total	63	356.411		

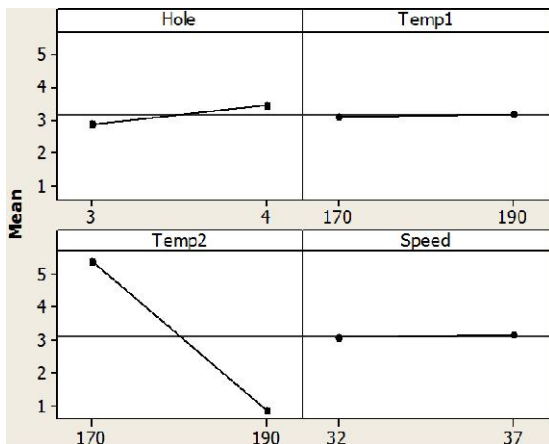
S = 0.433896 R-Sq(Adj) = 96.67%

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ถูกแสดงในตารางที่ 2 พบว่า มีค่า R-Sq.(adj) ของผลการทดลองเท่ากับ 96.67% และเมื่อพิจารณาค่า P-Value ในการทดสอบสมมติฐานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อความกว้างของเส้นสี่อย่างมีนัยสำคัญ คือ เส้นผ่านศูนย์กลางรูของแผ่นเบรกเกอร์ (Hole) และอุณหภูมิช่วงปลายกระบอก (Temp2) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยร่วม 2 ปัจจัย พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ปลายกระบอก (Temp2) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูของแผ่นเบรกเกอร์ (Hole) มีค่า P- Value < 0.05 สำหรับอิทธิพลของปัจจัยร่วม 3 ปัจจัยที่มีค่า P-Value < 0.05 คือ

อุณหภูมิที่กลางกระบอกรอบ (Temp1) อุณหภูมิที่ปลายกระบอกรอบ (Temp2) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูของแผ่นเบรกเกอร์ (Hole) จึงสรุปได้ว่าอิทธิพลของปัจจัยร่วมเหล่านี้มีผลต่อความกว้างของเส้นสีที่เกิดขึ้นด้วยเช่นกัน

5.2 การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัย

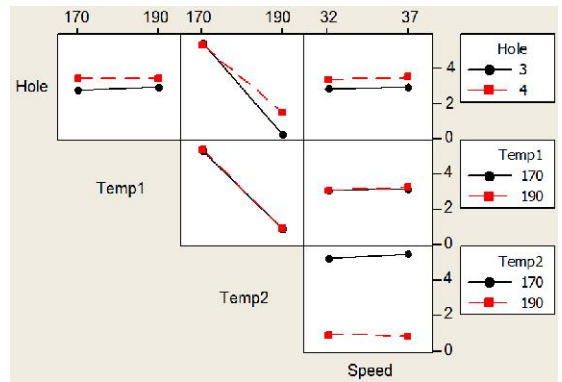
อิทธิพลของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่อค่าความกว้างของเส้นสีแสดงดังรูปที่ 4 และ 5 ตามลำดับ จากรูปพบว่า เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูของแผ่นเบรกเกอร์ (Hole) ถูกปรับค่าอยู่ที่ระดับต่ำ จะส่งผลให้ได้ค่าความกว้างของเส้นสีที่เล็กลง สำหรับส่วนของค่าอุณหภูมิช่วงปลายกระบอกรอบ (Temp2) เมื่อปรับค่าที่ระดับสูงจะทำให้ได้ความกว้างของเส้นสีมีขนาดเล็กลง



รูปที่ 4 อิทธิพลของปัจจัยหลักต่อความกว้างของเส้นสี

จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิช่วงกลางกระบอกรอบ (Temp1) ไม่ส่งผลต่อขนาดเส้นสี ในขณะที่ อุณหภูมิช่วงปลายกระบอกรอบ (Temp2) มีผลกระทบต่อการเกิดข้อบกพร่องชนิดเส้นสีอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจาก

อุณหภูมิช่วงปลายกระบอกรอบจะส่งผลโดยตรงต่อการหลอมตัวของพลาสติกมากที่สุด เมื่อทำการปรับเพิ่มอุณหภูมิจากเดิม 180 °C ไปเป็น 190 °C จึงช่วยให้การหลอมละลายของเม็ดพลาสติกเกิดขึ้นได้ดียิ่งขึ้น เกิดการแตกตัวและผสมเป็นเนื้อเดียวกันระหว่างเม็ดพลาสติก HDPE และเม็ดสี ได้อย่างสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น



รูปที่ 5 อิทธิพลของปัจจัยร่วมต่อความกว้างของเส้นสี

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูของแผ่นเบรกเกอร์ส่งผลกระทบต่อการเกิดเส้นสีบนชิ้นงาน โดยขนาดของรูของแผ่นเบรกเกอร์ที่เล็กลงสามารถลดความกว้างของเส้นสีลงได้ ทั้งนี้เนื่องจากแผ่นเบรกเกอร์ทำหน้าที่ปรับเปลี่ยนลักษณะการไหลของพลาสติกหลอม จากการไหลด้วยแรงหมุนของสกรูให้เป็นแบบราบเรียบ และช่วยให้พลาสติกหลอมเกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีขึ้น [2] จากการทดลองปรับลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูของแผ่นเบรกเกอร์ (Hole) ลงจากเดิม 4 มิลลิเมตร เป็น 3 มิลลิเมตร จึงทำให้การไหลผ่านของพลาสติกหลอมเกิดการเปลี่ยนทิศทางการไหล เกิดการแตกตัวของเม็ดพลาสติกที่อาจจะยังหลอมละลายไม่ทั่วถึง ทำให้เกิดแรงดันภายในกระบอกรอบเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้เกิดการ

ผสมกันได้อย่างทั่วถึงและเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้ แผ่นเบรกเกอร์ยังทำให้พลาสติกหลอมที่ไหลผ่านมีอุณหภูมิใกล้เคียงกันมากขึ้น [2] ซึ่งสัมพันธ์กับการควบคุมอุณหภูมิที่บริเวณปลายกระบอกรอบ (Temp 2) ซึ่งสอดคล้องกับผลจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติของ 2 ปัจจัยร่วมกัน

ในส่วนของคุณภาพเร็วรอบสกรู (Speed) ซึ่งทำการทดลองที่ค่าระดับ 32 รอบต่อนาที และระดับ 37 รอบต่อนาที จากการปรับค่าดังกล่าวไม่มีอิทธิพลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทเส้นสีที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งกล่าวได้ว่าความเร็วรอบในช่วง 32 – 37 รอบต่อนาที ไม่ทำให้การเกิดข้อบกพร่องเพิ่มขึ้นหรือลดลง แต่ถ้าพิจารณาในส่วนของปัจจัยนี้เพื่อเพิ่มผลิตผลการผลิตให้สูงขึ้น อาจปรับค่านี้ที่ระดับสูงสุดคือ 37 รอบต่อนาทีได้

นอกจากนี้ ผลการทดลองที่ได้สามารถนำมาใช้ในการสร้างสมการถดถอย (Regression) เพื่อทำนายความกว้างของเส้นสีที่เกิดขึ้นบนผลิตภัณฑ์ได้ ดังนี้

$$\text{Color - mark} = 85.9 - 12.0H - 0.471T_2 + 0.0688HT_2 + 0.000004HT_1T_2 \quad (1)$$

โดยที่ H T_1 และ T_2 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางรูแผ่นเบรกเกอร์ (mm) อุณหภูมิในการหลอมที่กลางกระบอกรอบ (°C) และ อุณหภูมิในการหลอมที่ปลายกระบอกรอบ (°C) ตามลำดับ

5.3 การหาค่าระดับที่เหมาะสมของปัจจัย

ค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการอัดรีดเป่าขึ้นรูปพลาสติกหาได้จากการใช้ Response Optimizer ในโปรแกรม Minitab โดยกำหนดค่า Goal เป็น Minimize ค่า Target เท่ากับ 0 และค่า Upper เท่ากับ 3

ผลลัพธ์ที่ได้สามารถสรุปได้ว่า ค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมของกระบวนการคือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูของแผ่นเบรกเกอร์ (Hole) เท่ากับ 3 มิลลิเมตร อุณหภูมิควบคุมช่วงกลางกระบอกรอบ (Temp1) เท่ากับ 170 °C และ อุณหภูมิควบคุมช่วงปลายกระบอกรอบ (Temp2) เท่ากับ 190 °C

เพื่อเป็นการทดสอบค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการอัดรีดเป่าขึ้นรูปพลาสติก สภาวะที่เหมาะสมข้างต้นจึงได้นำไปใช้กับกระบวนการผลิตจริง โดยมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3 ปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องถูกบันทึกจากปริมาณการผลิตทั้งหมดเท่ากับ 4,500 ชิ้น ผลการเปรียบเทียบจำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องก่อนและหลังการปรับปรุง แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ค่าปัจจัยที่ปรับใช้ใหม่หลังการปรับปรุง

ปัจจัยป้อนเข้า	ระดับพารามิเตอร์
อุณหภูมิช่วงต้นกระบอกรอบ (°C)	165
อุณหภูมิช่วงกลางกระบอกรอบ (°C)	170*
อุณหภูมิช่วงปลายกระบอกรอบ (°C)	190*
อุณหภูมิที่หัวสาย (°C)	190
ความเร็วรอบของสกรู (rpm)	32
เส้นผ่านศูนย์กลางรูของแผ่นเบรกเกอร์ (mm)	3*

*ได้จากการหาค่าระดับที่เหมาะสมของปัจจัย

ตารางที่ 4 ข้อบกพร่องก่อนและหลังการปรับปรุง

รายการ	จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ (ชิ้น)	ของเสีย (ชิ้น)	% ของเสีย
ก่อนปรับปรุง	504,735	4,234	0.84
หลังปรับปรุง	4,500	11	0.02

6. สรุปผล

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อลดปริมาณข้อบกพร่องในกระบวนการอัดรีดเป่าขึ้นรูปแกลลอนพลาสติกสีเขียวขนาด 5.0 ลิตร และเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตดังกล่าว จากการทดลองพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความกว้างของเส้นสีที่เกิดขึ้น ข้อบกพร่องบนชิ้นงาน คือ อุณหภูมิควบคุมที่บริเวณกลางกระบอกอัดรีดและบริเวณปลายกระบอกอัดรีดซึ่งมีค่าระดับที่เหมาะสมเท่ากับ 170 °C และ 190 °C ตามลำดับ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูของแผ่นเบรกเกอร์ ซึ่งมีค่าระดับที่เหมาะสมเท่ากับ 3 มิลลิเมตร เมื่อนำผลที่ได้ไปปรับปรุงในกระบวนการผลิตจึงพบว่าปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทเส้นสีที่เกิดขึ้นจากกระบวนการอัดรีดเป่าขึ้นรูปลดลงจากร้อยละ 0.84 เป็นร้อยละ 0.02 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องสามารถลดลงถึงร้อยละ 97.62

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] B. Sornnil, Technology Plastic, Technology Promotion Association (Thailand-Japan), Bangkok, 2004, pp.1-432. (in Thai)
- [2] C. Nakason, Plastic Processing, Four Pace Press, Bangkok, 2001, pp.1-432. (in Thai)
- [3] J.G. Khan, R.S. Dalu and S.S. Gaddekar, "Defects in extrusion process and their impact on product quality". International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research 3(3), 2014, pp. 187-194.
- [4] S. Chatakorn, S. Butdee and S. Wongmanee, "An experimental study of flow capability as defined different thickness of flow channel of polyolefin thermoplastics", Journal of Industrial Technology 2(2), 2006, pp. 27-32. (in Thai)
- [5] S. Tuammee, Waste Reduction of Plastic Sheet by Applied Design of Experiment, Master Thesis, Industrial Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 2007, pp.3-82.
- [6] A. Rios, E. Santanach, P. Gramann and C. Rauwendaal, "Extruder breaker plate offers more efficient mixing", Plastics, Additives & Compounding, 2(10), pp.30-33.