

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

ปัญหาคำคัญด้านคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ป้ายปลอกคอสัตว์เลี้ยง (Collar Tag) ในการฉีดพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์ทำให้เกิดข้อร้องเรียนจากลูกค้า คือเมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งานจริง ผลิตภัณฑ์เสียหายง่าย ขาดความทนทานต่อการดึงจากพฤติกรรมของสัตว์เลี้ยง ซึ่งเกิดจากค่าความต้านทานแรงดึงบริเวณห้วงคดโค้งแหวนโลหะต่ำกว่าข้อกำหนดจากลูกค้าที่ 120 นิวตัน ซึ่งในการปรับปรุงคุณภาพของป้ายปลอกคอสัตว์เลี้ยง ขนาด 2.5 x 2.5 ตารางเซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางบริเวณห้วง 0.3 เซนติเมตร ซึ่งใช้วัตถุดิบเม็ดพลาสติกเทอร์โมพลาสติกโพลียูรีเทน จากผู้ส่งมอบวัตถุดิบรายใหม่ โดยออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเชิงเศษส่วน โดยพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงจำนวน 7 ปัจจัย คือ 1) อุณหภูมิพลาสติกหลวก่อนฉีด 2) อุณหภูมิหล่อเย็นแม่พิมพ์ 3) แรงดันฉีดแม่พิมพ์ 4) เวลาในการหล่อเย็น 5) แรงดันในการฉีด 6) เวลาที่ใช้ในการประกบแม่พิมพ์ และ 7) ความเร็วในการฉีด เมื่อคัดกรองปัจจัยด้วยการทดลองแฟคทอเรียลเชิงเศษส่วน 2^{7-3}_{IV} ที่มีการทดลอง 16 ครั้ง และทำซ้ำ 2 ครั้ง โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 บล็อก ตามวันที่ทดลอง และทดลองที่จุดกึ่งกลาง 6 ครั้ง รวมทั้งหมด 38 การทดลอง แล้วนำไปทดลองได้ผลการทดลองและนำข้อมูลมาประมวลผลเพื่อวิเคราะห์ พบว่าปัจจัยที่มีนัยสำคัญมี 3 ปัจจัยคือ 1) อุณหภูมิพลาสติกหลวก่อนฉีด 2) อุณหภูมิหล่อเย็นแม่พิมพ์ และ 3) แรงดันฉีดแม่พิมพ์

จากงานวิจัยของ David Kazmer (1997) พบว่าในงานฉีดพลาสติกที่มีแม่พิมพ์หลายช่องแบบ (Multi-cavity Mold) จะมีความแตกต่างของคุณสมบัติทางกายภาพของชิ้นงาน จึงปรับแต่งแก้ไขแม่พิมพ์ โดยปรับวาล์วระบายความดัน ตามหลักทฤษฎีแม่พิมพ์ของทางบริษัทและจากคำแนะนำในงานวิจัย โดยหลังจากปรับแต่งแม่พิมพ์ ค่าความต้านทานแรงดึงของช่องแบบทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

ในผลการวิเคราะห์นัยสำคัญอิทธิพล ของปัจจัยหลักและอิทธิพลร่วมของปัจจัย พบว่าผลกระทบปัจจัยหลักมีนัยสำคัญ ส่วนอิทธิพลร่วมของปัจจัยแบบสองทาง และอิทธิพลร่วมของปัจจัยแบบสามทางไม่มีนัยสำคัญ ส่วนอิทธิพลจากการจัดปัจจัยรอบกววนคือวันในการทดลองที่ต่างกันไม่มีนัยสำคัญต่อค่าความต้านทานแรงดึง ส่วนรูปแบบความสัมพันธ์เมื่อพิจารณาจากค่าความโค้งและค่าจุดกึ่งกลางที่ไม่มีนัยสำคัญ ดังนั้นความสัมพันธ์ของความต้านทานแรงดึงกับปัจจัย

อยู่ในรูปสมการลำดับหนึ่งหรือสมการถดถอยอยู่ในรูปสมการเส้นตรง ดังนั้นไม่จำเป็นที่จะต้องออกแบบการทดลองและทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ในรูปสมการลำดับสองต่อ จึงนำปัจจัยที่มีนัยสำคัญทั้ง 3 ปัจจัยมาสร้างสมการถดถอยเพื่อทำนายผลค่าความต้านทานแรงดึงได้ดังนี้

$$\text{ความต้านทานแรงดึง} = 122.178 + 0.241(\text{อุณหภูมิพลาสติกไหลก่อนฉีด}) - 0.178(\text{อุณหภูมิหล่อเย็นแม่พิมพ์}) - 0.222(\text{แรงดันอัดแม่พิมพ์})$$

ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ความถูกต้องของสมการต้นแบบ จากการวิเคราะห์ค่าส่วนข้าง พบว่าสมการมีความถูกต้อง โดยพิจารณาจากกราฟความน่าจะเป็นการแจกแจงปกติของค่าส่วนข้าง มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง จึงสรุปได้ว่าค่าส่วนข้างมีการแจกแจงแบบปกติ รวมทั้งกราฟค่าส่วนข้างระหว่าง ค่าผิดพลาดกับค่าที่เหมาะสมและลำดับในการทดลอง มีการกระจายตัวรอบศูนย์อย่างสมดุลแสดงว่ามีค่าส่วนข้างเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ รวมทั้งมีความกว้างของแถบคงที่แสดงว่ามีความแปรปรวนคงที่ และมีการกระจายตัวแบบสุ่มแสดงถึงความเป็นอิสระต่อกันของค่าผิดพลาดและต่อลำดับการทดลอง ส่วนการตรวจสอบความเหมาะสมของสมการต้นแบบพบว่าสมการมีความเหมาะสม โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่มีค่าเท่ากับ 97.27 เปอร์เซ็นต์ การทดสอบการขาดความเหมาะสมของสมการที่ไม่มีนัยสำคัญแสดงว่าสมการที่ได้มีความเหมาะสม ส่วน

สภาวะที่เหมาะสมที่ส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดคือ 1) อุณหภูมิพลาสติกไหลก่อนฉีด เท่ากับ 230 องศาเซลเซียส 2) อุณหภูมิหล่อเย็นแม่พิมพ์เท่ากับ 20 องศาเซลเซียส และ 3) แรงดันอัดแม่พิมพ์ เท่ากับ 100 เมกะปาสกาล เมื่อนำสภาวะเหมาะสมที่ได้ไปใช้ในกระบวนการผลิตจริงพบว่า การทดสอบสภาวะในการผลิตจริงมีความสอดคล้องกับสภาวะเหมาะสมที่ได้ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 122.962 นิวตัน ซึ่งสูงกว่าค่าทำนายโดยสมการที่ 122.819 นิวตัน เมื่อทดสอบช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ของค่าความต้านทานแรงดึงที่ได้พบว่าได้ค่าเท่ากับ 122.792 – 122.995 นิวตัน ซึ่งค่าที่ได้จากการทดสอบในกระบวนการจริงอยู่ในช่วงความเชื่อมั่น ดังนั้นสามารถนำสมการทำนายจากการทดลองไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.2 การอภิปรายผล

การวิจัยนี้ได้นำเอาเทคนิคการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเชิงเศษส่วน มาใช้เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อความต้านทานแรงดึงและเพื่อหาสภาวะในการผลิตที่เหมาะสม ซึ่งเทคนิคนี้มาใช้มีข้อดีคือมีจำนวนการทดลองและใช้ทรัพยากรในการทดลองน้อย แต่ให้ผลการทดลองที่น่าไปใช้ได้จริง จากเดิมที่มีการทดลองแบบลองผิดลองถูกโดยอาศัยแนวทางจากผลิตภัณฑ์หรือวัตถุดิบคล้ายกัน ซึ่งเสียเวลาในการหาสภาวะที่เหมาะสมและสูญเสียวัตถุดิบมาก

เมื่อเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยที่ใช้เป็นแนวทางอย่างเช่น Shaik Mohamed et al (2004), Tony Lin, Belli Chananda (2003), Mark J. Anderson(2007), Peter Thyregod (2001), P.Postawa et al (2006), S. J. Liao et al (2004) พบว่าปัจจัย อุณหภูมิพลาสติกเหลวก่อนฉีด (Melt Plastic Temperature) ได้ผลการทดลองไปในทางเดียวกัน คืออุณหภูมิสูงจะให้ผลที่ดีที่สุด เพราะทำให้การไหลของพลาสติกเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์เร็วและทั่วถึง ส่วนแรงดันอัดแม่พิมพ์ (Packing Pressure Profile) ได้ผลการทดลองไปในทางเดียวกันคือแรงดันต่ำจะให้ผลที่ดีที่สุด เพราะส่งผลต่อการระบายความดันตกค้างในแม่พิมพ์ เมื่อฉีดพลาสติกเหลวทำให้เกิดความสม่ำเสมอของชิ้นงานที่มีหลายช่องแบบ และอุณหภูมิหล่อเย็นแม่พิมพ์ (Mold Coolant Temperature) ได้ผลการทดลองไปในทางเดียวกันคืออุณหภูมิต่ำจะให้ผลดีที่สุด เพราะการขึ้นรูปแข็งที่เร็วจะทำให้ความเครียดตกค้างของชิ้นงานน้อยลง ซึ่งล้วนส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานโดยตรง

และจากงานวิจัยของ David Kazmer (1997) เมื่อปรับแต่งช่องไหลของพลาสติกเหลวในแม่พิมพ์ตามอัตราส่วนที่ได้แนะนำไว้ในงานวิจัยรวมกับฐานความรู้ของบริษัท พบว่าคุณสมบัติของชิ้นงานไม่มีความแตกต่างกัน เนื่องจากการทำให้เกิดความสมดุลของการไหลและแรงดันของพลาสติกเหลวในแม่พิมพ์หลายช่องแบบ ทำให้คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์หลังการหล่อเย็นจึงมีความสม่ำเสมอขึ้น นอกจากจะได้ปัจจัยที่มีนัยสำคัญและสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตแล้ว ยังได้ผลดีเพิ่มเติมคือ สามารถลดต้นทุนในการผลิตจากการใช้วัตถุดิบที่ถูกลงแต่ให้คุณภาพที่เท่ากับหรือดีกว่าเดิม โดยการเปลี่ยนผู้ส่งมอบวัตถุดิบเม็ดพลาสติกเทอร์โมพลาสติกโพลียูรีเทน ซึ่งเดิมสั่งซื้อจากผู้ส่งมอบแห่งหนึ่งในยุโรป ในราคาตันละ 84,000 บาท เป็นสั่งซื้อจากผู้ส่งมอบในจีนราคาตันละ 67,500 บาท คิดเป็นการประหยัดต้นทุนวัตถุดิบได้ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์

การศึกษามีข้อจำกัดของเครื่องมือ เครื่องจักรและโปรแกรมอัตโนมัติ ที่ไม่สามารถเข้าไปแก้ไขได้เนื่องจากเป็นลิขสิทธิ์ของผู้ผลิตเครื่องจักร จึงคัดเลือกปัจจัยและระดับของปัจจัยตามผู้ผลิตเม็ดพลาสติกและผู้ผลิตเครื่องจักรแนะนำเท่านั้น หากมีการศึกษารายละเอียดมากขึ้น อาจได้ข้อมูลในการปรับปรุงกระบวนการฉีดพลาสติกเพิ่มเติม ซึ่งองค์กรจำเป็นต้องจัดทำการบริหารองค์ความรู้ (Knowledge Management) เพื่อการพัฒนายกระดับองค์ความรู้ของบริษัทในระยะยาว

5.3 ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

จากการศึกษาพบว่า มีหลายปัจจัยที่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงของปียาปลูกคอสัตว์เลี้ยงในการฉีดพลาสติกผู้แม่พิมพ์ แต่ไม่สามารถนำมาควบคุมหรือกำหนดระดับเพื่อทำการทดลองได้ เช่น

(1) ความชื้น ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ แต่ไม่ได้นำมาพิจารณาเพื่อออกแบบการทดลองเพราะการควบคุมและการวัดค่าทำได้ยาก

(2) อุณหภูมิแวดล้อม เป็นปัจจัยที่อาจส่งผลต่อการทำงานของเครื่องจักรรวมทั้งระบบหล่อเย็นแม่พิมพ์ แต่ไม่ได้นำมาพิจารณาเพื่อออกแบบการทดลองเพราะข้อจำกัดด้านเวลาในการศึกษาเพราะประเทศไทยโดยเฉพาะภาคเหนือมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงในรอบปี จำเป็นที่จะต้องทดลองให้ครอบคลุมการผลิตตลอดทั้งปี

(3) การผสมเม็ดพลาสติกนำกลับมาใช้ใหม่ (Regrind Material) ซึ่งอัตราส่วนผสมของเม็ดพลาสติกที่ต่างกัน จะส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึง (TPU Tech Center Bayer Material Science, 2009) จึงต้องมีการควบคุมอย่างเข้มงวดเพื่อรักษามาตรฐานในการผลิตและเพื่อลดต้นทุนค่าใช้จ่ายจากการใช้เม็ดพลาสติกนำกลับมาใช้ใหม่ แต่มีข้อจำกัดในการศึกษานี้คือเครื่องที่ใช้ทดลองเป็นแบบเก่าที่ควบคุมอัตราส่วนได้ยาก จำเป็นต้องใช้เครื่องบดป่นและเครื่องผสมเม็ดพลาสติกแบบใหม่เพื่อให้ได้อัตราส่วนที่ต้องการอย่างสม่ำเสมอ

(4) ปัจจัยจากประสิทธิภาพของเครื่องจักร ที่อาจส่งผลในเรื่องการควบคุมระดับปัจจัยในการทดลอง ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องจักรมีอายุการใช้งานมากต้องมีการบำรุงรักษาและซ่อมแซมหลายส่วน และอาจปรับปรุงเครื่องจักรอย่างสิ้นเชิง ซึ่งจำเป็นที่จะต้องปรึกษารื้อกับฝ่ายบริหารและผู้รับผิดชอบที่เกี่ยวข้องเพื่อขอความเห็นชอบในการปรับปรุง

ในการศึกษาครั้งต่อไป ควรมีการศึกษาปัจจัยอื่นที่คาดว่าจะมีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงและให้ประโยชน์เพิ่มเติมในการเพิ่มกำลังการผลิตหรือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยนำเอาเทคนิคการออกแบบการทดลองมาใช้ ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์ปัจจัยอย่างความเร็วในการผลิตต่อรอบการฉีดพลาสติกที่น้อยลง หรือการศึกษาการทำงานของเครื่องฉีดพลาสติกและส่วนเสริมโดยละเอียดเพื่อปรับแต่งให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ ตัวอย่างเช่น การอบวัตถุดิบเพื่อควบคุมความชื้นของเม็ดพลาสติก หรือการผสมเม็ดพลาสติกนำกลับมาใช้ใหม่ให้มีอัตราส่วนสม่ำเสมอตลอดการผลิต ซึ่งจะมีผลทำให้ได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดีขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตให้ดีขึ้นอีกด้วย