

การศึกษาปัจจัยในกระบวนการขึ้นรูปกล่องพลาสติกด้วยความร้อนระบบสุญญากาศ โดยวิธีการของทาคุชิ

DETERMINING OF PRODUCTION FACTORS FOR PLASTIC BOX USING TAGUCHI

วงศ์พร บุญมานนท์
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม
E-mail: jippyjib@gmail.com

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการขึ้นรูปพลาสติกด้วยวิธีการใช้ความร้อนระบบสุญญากาศ ซึ่งเป็นเทคนิคการขึ้นรูปที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตบรรจุภัณฑ์กันอย่างแพร่หลาย ปัญหาหลักที่พบจากการขึ้นรูปด้วยเทคนิคนี้ คือ ชิ้นงานที่ขึ้นรูปมีความหนาไม่สม่ำเสมอ ซึ่งทำให้ชิ้นงานไม่ได้มาตรฐาน จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าปัจจัยการปรับตั้งค่าของเครื่องขึ้นรูปมีอิทธิพลต่อความหนาของชิ้นงาน ซึ่งประกอบไปด้วย อุณหภูมิที่ 200, 210 และ 220 องศาเซลเซียส ระยะเวลาให้ความร้อนที่ 20, 25 และ 30 วินาที และระยะเวลาให้สุญญากาศที่ 24, 30 และ 36 วินาที งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมของเครื่องขึ้นรูป เพื่อใช้เป็นมาตรฐานแก่ผู้ปฏิบัติงานสำหรับการขึ้นรูปพลาสติกชนิดพอลิไวนิลคลอไรด์ที่มีความหนา 0.4 มิลลิเมตร ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการของทาคุชิ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% มาประยุกต์ใช้ในการทดลอง จากการศึกษาวิเคราะห์ผลพบว่า อุณหภูมิควรอยู่ที่ 210 องศาเซลเซียส ระยะเวลาให้ความร้อนควรอยู่ที่ 25 วินาที และระยะเวลาให้สุญญากาศควรอยู่ที่ 36 วินาที จึงจะทำให้ความหนาของกล่องพลาสติกใกล้เคียง 0.3 มิลลิเมตรตามที่ต้องการมากที่สุด

คำสำคัญ: การขึ้นรูปด้วยความร้อนระบบสุญญากาศ วิธีการของทาคุชิ พลาสติกชนิดพอลิไวนิลคลอไรด์

ABSTRACT

Currently, plastic vacuum thermoforming is a well known technique used in packaging industry. A main problem of this technique is about the thickness of material after processing. Previous researches indicate that there are several factors affecting the thickness including, temperature at 200, 210 and 220°C, heating time at 20, 25 and 30 seconds and vacuum time at 30, 24 and 36 seconds. An objective of this research is to determine major factors and their optimal settings affecting the thickness of polyvinyl chloride (PVC) at 0.4 millimeters. This study employs Taguchi at 95% confidence level. The optimal conditions for the vacuum thermoforming machine to make the thickness of plastic cup at 0.3 millimeters are the temperature at 210°C, the heating time of 25 seconds and vacuum time of 36 seconds.

KEYWORDS: Vacuum Thermoforming, Taguchi Method, Polyvinyl Chloride (PVC)

บทนำ

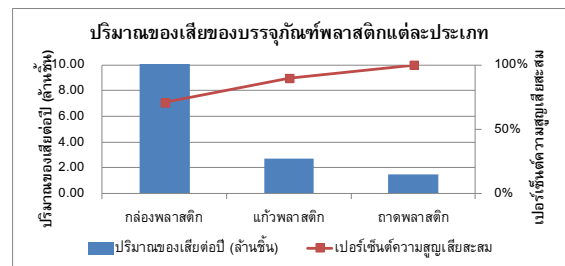
ปัจจุบันพลาสติกได้เข้ามามีความสำคัญต่อชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก ส่งผลให้อุตสาหกรรมพลาสติกนั้นเจริญเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ใช้พลาสติกเป็นวัตถุดิบในการผลิต จะมีความคงทน มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน มีน้ำหนักเบา และสามารถขึ้นรูปได้ง่าย ทำให้ผู้ประกอบการส่วนใหญ่เล็งเห็นถึงความก้าวหน้าของธุรกิจทางด้านนี้ และเนื่องจากอุตสาหกรรมพลาสติกเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญต่อการขยายตัวของอุตสาหกรรมสาขาต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ อุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้าง อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น ถ้าอุตสาหกรรมพลาสติกมีเทคโนโลยีที่ได้มาตรฐานและมีศักยภาพ จะส่งผลให้สามารถผลิตสินค้าที่ได้คุณภาพตรงตามมาตรฐาน ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยมีผู้ประกอบการอุตสาหกรรมประเภทนี้อยู่เป็นจำนวนมาก ทั้งผู้ประกอบการรายใหญ่และรายย่อยต่างก็ประสบปัญหาในการปรับตั้งพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของเครื่องขึ้นรูปพลาสติก รวมถึงกระบวนการในการขึ้นรูปพลาสติก ซึ่งปัญหาเหล่านี้มีสาเหตุมาจากการปรับตั้งพารามิเตอร์ในการขึ้นรูปพลาสติก และอีกสาเหตุหนึ่งก็คือบุคลากรขาดความรู้ความสามารถขั้นพื้นฐาน จึงก่อให้เกิดปัญหาขึ้นบ่อยครั้ง

จากการศึกษางานขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อนระบบสุญญากาศ (Vacuum Thermoforming) กระบวนการจะเริ่มจากการให้ความร้อนแก่แผ่นพลาสติก แล้วใช้แรงดูดของสุญญากาศทำให้แผ่นพลาสติกแนบติดกับแม่พิมพ์จนเป็นรูปร่าง หลังจากนั้นใช้ลมเป่าให้พลาสติกเย็น เพื่อคงรูปชิ้นงานตามแบบของแม่พิมพ์ ดังนั้นคุณภาพของชิ้นงานที่ได้จะดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับ การปรับตั้งระดับพารามิเตอร์ของเครื่องจักร ได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลาให้ความร้อน ระยะเวลาให้สุญญากาศ เป็นต้น ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เหล่านี้ต้องปรับตั้งให้ถูกต้อง โดยผู้ที่ทำหน้าที่ปรับตั้งเครื่องจักรจะต้องมีความเชี่ยวชาญในด้านนี้เป็นอย่างดี แต่ถ้าหากผู้ปฏิบัติงานไม่มีความเชี่ยวชาญ จะก่อให้เกิดความผิดพลาดในการปรับตั้งเครื่องจักรและเกิดของเสียขึ้นในกระบวนการผลิต

นอกจากนี้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับโรงงานโดยทั่ว ๆ ไป คือ เมื่อลูกค้ามีการเปลี่ยนแปลงความต้องการ

ผลิตภัณฑ์ ทำให้ผู้ปฏิบัติงานจะต้องทำการทดลองหลายครั้งแบบลองผิดลองถูก (Trial and Error) เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ในการขึ้นรูปพลาสติก เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพ ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานควรมีความรู้เกี่ยวกับการกำหนดระดับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องจักร เพื่อช่วยลดเวลาในการทดลองขึ้นรูปพลาสติกและลดต้นทุนในการขึ้นรูปพลาสติกได้

จากการศึกษาสภาพปัญหาในโรงงานผลิตพลาสติกบรรจุภัณฑ์ ซึ่งโรงงานกรณีศึกษาได้มีการผลิตบรรจุภัณฑ์หลายประเภท ได้แก่ ก่อ่งพลาสติก แก้วพลาสติก ถาดพลาสติก เป็นต้น โดยมีปริมาณของเสียต่อปีจากกระบวนการผลิตดังในรูปที่ 1 และในงานวิจัยนี้ได้เลือกผลิตภัณฑ์ประเภทก่อก่อ่งพลาสติก ดังในรูปที่ 2 มาทำการวิจัย เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณการผลิตมากที่สุด และประสบปัญหาเรื่องของเสียมากที่สุด โดยสามารถแบ่งของเสียออกได้ 2 ประเภท คือ ชิ้นงานที่มีรูปทรงไม่สมบูรณ์ ดังในรูปที่ 3 และชิ้นงานที่มีความหนาไม่ได้มาตรฐาน ดังในรูปที่ 4



รูปที่ 1 ปริมาณของเสียของบรรจุภัณฑ์พลาสติกแต่ละประเภท



รูปที่ 2 ผลิตภัณฑ์ประเภทก่อก่อ่งพลาสติก



รูปที่ 3 ชิ้นงานที่มีรูปทรงไม่สมบูรณ์



รูปที่ 4 ชิ้นงานที่มีความหนาไม่ได้มาตรฐาน

สาเหตุเบื้องต้นของการเกิดของเสียนั้นมาจาก ผู้ปฏิบัติงานใช้ประสบการณ์ในการปรับตั้งค่าเครื่องจักร โดยไม่มีหลักการที่ถูกต้องในการปรับเปลี่ยนค่า ทำให้เกิดของเสียเป็นจำนวนมาก ซึ่งของเสียที่เกิดขึ้นมากที่สุดคือ ชิ้นงานมีความหนาไม่ได้มาตรฐาน

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะลดปริมาณความสูญเสียของกระบวนการขึ้นรูปกล่องพลาสติกด้วยความร้อนระบบสุญญากาศ และศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความหนาของกล่องพลาสติก โดยประยุกต์ใช้วิธีการของทาคุชิ (Taguchi Method) ในการศึกษางานวิจัย เพื่อเป็นการลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดลอง

วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อกำหนดระดับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการขึ้นรูปกล่องพลาสติกด้วยความร้อนระบบสุญญากาศ
- 2) เพื่อกำหนดมาตรฐานในการผลิตกล่องพลาสติกให้มีความหนาไม่ต่ำกว่า 0.3 มิลลิเมตร

สมมติฐาน

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการกำหนดระดับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการขึ้นรูปกล่องพลาสติกด้วยความร้อนระบบสุญญากาศ ซึ่งค่าตอบสนอง (Response; y) ของงานวิจัยนี้คือ ค่าความหนาของชิ้นงานต่อ 1 ลำดับการทดลอง มีหน่วยการวัดความหนาเป็นมิลลิเมตร

ดังนั้นการกำหนดสมมติฐานของงานวิจัยฉบับนี้คือ สมมติฐานการทดสอบปัจจัยหลัก (Test of Main Effect Factors) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) อิทธิพลของอุณหภูมิ

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = 0$$

$$H_1 : \tau_i \text{ อย่างน้อย 1 ตัว ที่มีค่าไม่เท่ากับศูนย์}$$

- 2) อิทธิพลของระยะเวลาให้ความร้อน

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = 0$$

$$H_1 : \beta_i \text{ อย่างน้อย 1 ตัว ที่มีค่าไม่เท่ากับศูนย์}$$

- 3) อิทธิพลของระยะเวลาให้สุญญากาศ

$$H_0 : \gamma_1 = \gamma_2 = 0$$

$H_1 : \gamma_i$ อย่างน้อย 1 ตัว ที่มีค่าไม่เท่ากับศูนย์
เมื่อ τ คือ อิทธิพลที่เกิดจากอุณหภูมิ

β คือ อิทธิพลที่เกิดจากระยะเวลาให้ความร้อน

และ γ คือ อิทธิพลที่เกิดจากระยะเวลาให้สุญญากาศ

ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1) สามารถผลิตชิ้นงานที่มีความหนาได้อย่างมีคุณภาพ เพื่อใช้เป็นมาตรฐานให้แก่ผู้ใช้งาน
- 2) ผู้ปฏิบัติงานมีมาตรฐานในการปรับตั้งค่า และสามารถลดการเกิดของเสียได้
- 3) เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการขึ้นรูปพลาสติกสำหรับผู้สนใจต่อไป

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.1 กระบวนการขึ้นรูปพลาสติกด้วยระบบความร้อนสุญญากาศ

ขั้นตอนในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกขึ้นรูปสุญญากาศ (Vacuum Forming) นั้น มีขั้นตอนหลักที่นิยมในปัจจุบัน มี 3 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1.1.1 ขั้นตอนการขึ้นรูปพลาสติก

ในขั้นตอนนี้ใช้วัตถุดิบเป็นพลาสติกแผ่น ที่มีขนาดหน้ากว้างตามที่ต้องการของผู้ผลิต และมีความยาวประมาณ 200 - 400 เมตร โดยจะอยู่ในรูปของม้วนพลาสติก ดังในรูปที่ 5 ซึ่งพลาสติกที่ใช้ ได้แก่ PVC PP PS PET เป็นต้น ซึ่งจะมีความหนาประมาณ 0.15 - 0.60 มิลลิเมตร การเลือกใช้ชนิดและความหนาของพลาสติกนั้นอยู่ที่ลักษณะชิ้นงาน ความต้องการความแข็งแรง และวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้งาน และนำวัตถุดิบไปผ่านขั้นตอนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 5 ม้วนพลาสติก

1) การปรับตั้งค่าการทำงานของเครื่องขึ้นรูป ก่อนที่ผู้ปฏิบัติงานจะทำการขึ้นรูปชิ้นงาน จะต้องมีการปรับตั้งค่าต่าง ๆ เพื่อกำหนดการทำงานของเครื่องขึ้นรูป ดังในรูปที่ 6 ซึ่งประกอบด้วยอุณหภูมิของพลาสติก ช่วงเวลาในการให้ความร้อน และช่วงเวลาในการให้สุญญากาศ



รูปที่ 6 การปรับตั้งค่าการทำงานของเครื่องขึ้นรูป

2) การยึดแผ่นพลาสติกวางบนบล็อกการขึ้นรูป โดยการจับยึดแผ่นพลาสติกที่ใช้ในการขึ้นรูปให้เข้ากับอุปกรณ์ตัวยึด ดังในรูปที่ 7 เพื่อป้องกันไม่ให้แผ่นพลาสติกที่ใช้เกิดการเคลื่อนที่ระหว่างอยู่ในกระบวนการขึ้นรูปด้วยความร้อนแบบสุญญากาศ



รูปที่ 7 การยึดแผ่นพลาสติกวางบนบล็อกการขึ้นรูป

3) การให้ความร้อนแก่แผ่นพลาสติก นำวัตถุดิบเข้าสู่เครื่องขึ้นรูปพลาสติกสุญญากาศ โดยกดปุ่มเริ่มต้นการทำงานของเครื่องขึ้นรูป แล้วเครื่องจะทำการให้ความร้อนหรือทำการปิ้ง (Heating) แผ่นพลาสติกด้วยความร้อนตั้งแต่อุณหภูมิระดับ 200 - 350 องศาเซลเซียส ดังในรูปที่ 8 ซึ่งอุณหภูมิจะขึ้นอยู่กับชนิดและความหนาของพลาสติกที่เข้าสู่เครื่องในแต่ละเฟรม (Frame)



รูปที่ 8 การให้ความร้อนแก่แผ่นพลาสติก

4) การขึ้นรูปด้วยสุญญากาศ เมื่อพลาสติกได้รับความร้อนในระดับหนึ่งที่จะสามารถขึ้นรูปได้ จึงทำการขึ้นรูปด้วยสุญญากาศ (Vacuum Forming) โดยเครื่องจะดูดให้พลาสติกแนบติดกับแบบ (Mold) ที่ต้องการ จนเป็นรูปเป็นร่าง ดังในรูปที่ 9



รูปที่ 9 การขึ้นรูปด้วยสุญญากาศ

5) การระบายความร้อน เมื่อพลาสติกเป็นรูปเป็นร่างแล้ว จะต้องรอการเซตตัว (Setting) ของพลาสติกด้วยระบบสเปรย์น้ำ ก่อนที่จะถอดชิ้นงานออกจากแบบ แล้วนำชิ้นงานออกจากเครื่อง จะได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์ดังในรูปที่ 10



รูปที่ 10 ชิ้นงานที่สมบูรณ์

1.1.2 ขั้นตอนการตัดแบ่ง

เมื่อพลาสติกที่ทำการขึ้นรูปจากเครื่องขึ้นรูปสูญญากาศแล้ว จะได้เป็นแผ่นขนาดใหญ่ ซึ่งจะประกอบไปด้วยชิ้นงานหลาย ๆ ชิ้น โดยจะขึ้นอยู่กับการจัดวาง ทำให้ยังไม่สามารถนำชิ้นงานไปใช้งานได้ จึงต้องทำการตัดแบ่งให้เป็นรูปร่างที่ต้องการก่อนด้วยเครื่องปั๊มไฮดรอลิก ซึ่งจะตัดแบ่งด้วยแบบมีดที่มีความแข็งแรงสูง โดยจะตัดพลาสติกที่ละชุด ชุดละประมาณ 1 - 10 แผ่น ดังในรูปที่ 11 เมื่อทำการตัดแบ่งเรียบร้อยแล้วจะได้บรรจุภัณฑ์ที่เป็นชั้นเรียบร้อยพร้อมกับเศษพลาสติกที่ต้องทำการจัดเก็บแยกต่อไป



รูปที่ 11 ชิ้นงานที่จะทำการตัดแบ่ง

ก่อนขั้นตอนต่อไป อาจจะนำบรรจุภัณฑ์ที่ได้ไปพิมพ์สีบนบรรจุภัณฑ์ เช่น พิมพ์โลโก้ สัญลักษณ์ตามที่ลูกค้าต้องการ เพื่อให้เกิดความสวยงาม การใช้งาน

ในรูปแบบที่ต้องการ และเป็นเอกลักษณ์ของสินค้าที่ลูกค้าต้องการ

1.1.3 ขั้นตอนการจัดเก็บบรรจุ

เมื่อได้บรรจุภัณฑ์เป็นใบเรียบร้อยแล้ว ก็จะทำกรนับและบรรจุเป็นหีบห่อ ห่อหุ้มด้วยพลาสติก PP หรือถุงพลาสติกขนาดใหญ่ LDPE, HDPE แล้วบรรจุลงบรรจุภัณฑ์ลังกระดาษ เพื่อเตรียมจัดส่งให้กับลูกค้าต่อไป ดังในรูปที่ 12



รูปที่ 12 การจัดเก็บบรรจุภัณฑ์เตรียมจัดส่งให้กับลูกค้า

1.2 วิธีการของทากูชิ

[1] วิธีการของทากูชิ เป็นรูปแบบการทดลองหนึ่ง ที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากมีข้อได้เปรียบ คือ มีตารางสำเร็จรูปให้เลือกใช้ ทำให้มีความง่ายขึ้นในการวิเคราะห์ผลโดยไม่ต้องใช้การแจกแจงทางสถิติ และตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน รวมทั้งช่วยลดจำนวนการทดลองลงจากแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบอีกด้วย รูปแบบการทดลองของวิธีการของทากูชิมีลักษณะออร์ทอกอนัล (Orthogonal Array) ดังในตารางที่ 1 เหมาะสำหรับการศึกษาผลกระทบปัจจัยหลักและผลกระทบระหว่างปัจจัย หรือคัดปัจจัยทิ้ง รวมทั้งส่วนที่สำคัญที่สุดของวิธีการของทากูชิ คือ ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน ระบบ (Signal-To-Noise Ratio) เป็นค่าที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเฉพาะ เพื่อจำแนกลักษณะทางคุณภาพ แบ่งได้ 3 กรณี คือ

- 1) กรณีค่ายิ่งมากยิ่งดี (Larger - the Better) เช่น ผลผลิตที่ผลิตได้
 - 2) กรณีค่ายิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller - the Better) เช่น ปริมาณของเสียในกระบวนการ
 - 3) กรณีค่าตรงเป้าหมายดีที่สุด (Target - the Better) เช่น ความหนาของกล่องพลาสติก 0.3 มิลลิเมตร
- วิธีการของทากูชิ จะใช้สัญลักษณ์แทนแผนการทดลองในรูปแบบ $L_A B^C$ เมื่อ A คือจำนวนการทดลองทั้งหมด (ไม่รวมการทำซ้ำ), B คือ จำนวนระดับ

ของแต่ละปัจจัย และ C คือ จำนวนปัจจัยสูงสุดที่มีได้ในการทดลอง (จำนวนปัจจัยหลักหรือปัจจัยร่วม)

ตารางที่ 1 Orthogonal Array $L_9 3^4$

Experiment No.	Factor A	Factor B	Factor C	Factor D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

วิธีดำเนินการวิจัย

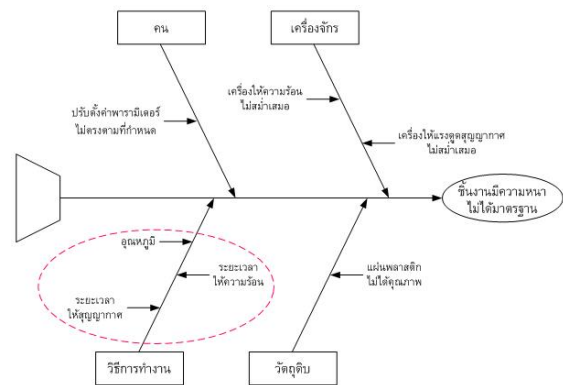
1.1 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาการเกิดขึ้นงานที่มีความหนาไม่ได้อัตราฐานของกระบวนการขึ้นรูปกล่องพลาสติกด้วยระบบความร้อนสุญญากาศ ดังแสดงในรูปที่ 3-10 โดยการระดมสมองร่วมกับผู้รับผิดชอบในกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกของโรงงานการศึกษา พบว่า สาเหตุย่อยของปัญหาที่เกิดจากสาเหตุหลักทั้งหมด 4 ส่วน มีดังต่อไปนี้

- 1) สาเหตุที่เกิดจากคน การที่พนักงานปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ไม่ตรงตามที่กำหนดไว้
- 2) สาเหตุที่เกิดจากเครื่องจักร การที่เครื่องจักรให้ความร้อนและแรงดูดสุญญากาศในกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกด้วยระบบความร้อนสุญญากาศได้ไม่สม่ำเสมอ
- 3) สาเหตุที่เกิดจากวัตถุดิบ การที่แผ่นพลาสติกที่นำมาใช้ในกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกด้วยระบบความร้อนสุญญากาศไม่ได้คุณภาพ โดยมีความหนาไม่ตรงตามที่ต้องการในการใช้งานและมีความหนาไม่สม่ำเสมอกันภายในมันพลาสติก
- 4) สาเหตุที่เกิดจากวิธีการทำงาน การที่กำหนดระดับพารามิเตอร์ที่ไม่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องจักร เนื่องจากผู้ปฏิบัติงานจะต้องทำการทดลองหลายครั้งแบบลองผิดลองถูก โดยใช้ประสบการณ์ในการปรับตั้งค่าเครื่องจักรและไม่มีหลักการที่ถูกต้องใน

การปรับเปลี่ยนค่า ซึ่งจากการศึกษากระบวนการขึ้นรูปพลาสติกด้วยระบบความร้อนสุญญากาศ พบว่า สิ่งที่สำคัญที่จะทำให้แผ่นพลาสติกอ่อนตัวและเกิดรูปทรงตามแบบของแม่พิมพ์ ซึ่งมีอิทธิพลต่อความหนาของกล่องพลาสติกนั้น ประกอบไปด้วยปัจจัยหลัก 3 ประการ คือ อุณหภูมิ ระยะเวลาให้ความร้อน และระยะเวลาให้สุญญากาศ

จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการเกิดขึ้นงานที่มีความหนาไม่ได้อัตราฐานของกระบวนการขึ้นรูปกล่องพลาสติกด้วยระบบความร้อนสุญญากาศ โดยการระดมสมองร่วมกับผู้รับผิดชอบในกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกของโรงงานการศึกษา พบว่า สาเหตุของปัญหาเกิดจากสาเหตุหลักทั้ง 4 สาเหตุ ดังในรูปที่ 13



รูปที่ 13 แผนภาพสาเหตุของปัญหาการเกิดขึ้นงานที่มีความหนาไม่ได้อัตราฐาน

จากการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาด้วยผังแสดงเหตุและผลดังที่ได้กล่าวในข้างต้นนั้น พบว่าพื้นฐานการผลิตมีสาเหตุหลักมาจาก 4 สาเหตุดังกล่าว และในสาเหตุหลักทั้ง 4 สาเหตุ นั้น ผู้วิจัยคิดว่าการปรับปรุงน่าจะเกิดจากสาเหตุที่เกิดจากวิธีการทำงานมากที่สุดที่สามารถปรับปรุงได้มากกว่าสาเหตุอื่น ๆ จึงกำหนดวิธีการปรับปรุงจากสาเหตุที่เกิดจากวิธีการทำงานมาแก้ไข ซึ่งเกิดจากปัจจัยหลัก 3 ประการดังกล่าว ได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลาให้ความร้อน และระยะเวลาให้สุญญากาศ

1.2 การกำหนดปัจจัยและระดับปัจจัยที่ใช้ออกแบบการทดลอง

จากการศึกษากระบวนการขึ้นรูปกล่องพลาสติกด้วยระบบความร้อนสุญญากาศนี้พบว่า ในการทดลองจะมีความยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายในการทดลองสูงหากมีการกำหนดระดับปัจจัยหลาย ๆ ระดับ เพราะใน

การเปลี่ยนระดับการทดลองแต่ละครั้งนั้นจะต้องเสียเวลา เสียค่าใช้จ่าย และอาจมีผลกระทบต่อกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกอื่น ๆ ด้วยระบบความร้อนสุญญากาศของโรงงานกรณีศึกษา ดังนั้นเพื่อเป็นการลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดลอง จึงใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการของทากูชิ

ปัจจัยหลักที่ใช้ในการทดลองมี 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ เพื่อความน่าเชื่อถือของการทดลอง ซึ่งพิจารณาปัจจัยหลักจากมาตรฐานการทำงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ดังนี้

1) อุณหภูมิ (Temperature) การให้ความร้อนกับแผ่นพลาสติกที่จะทำการขึ้นรูปนั้น สิ่งที่สำคัญ คือ การกำหนดอุณหภูมิให้เหมาะสมกับชนิดพลาสติก เพื่อให้แผ่นพลาสติกอ่อนตัว ซึ่งก็คือ การทำให้พอลิเมอร์อยู่ในช่วงของอุณหภูมิที่พอลิเมอร์จะเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature: Tg) กับ อุณหภูมิที่พอลิเมอร์เริ่มไหล (Flow Temperature: Tf) จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการขึ้นรูปด้วยความร้อนระบบสุญญากาศ โดยใช้พลาสติกชนิด PVC ขึ้นรูปนั้น [2] พบว่า ช่วงอุณหภูมิการให้ความร้อนที่ใช้อยู่ระหว่าง 200 - 220 องศาเซลเซียส ดังนั้น อุณหภูมิ แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 200, 210 และ 220 องศาเซลเซียส กำหนดให้ปัจจัยเป็นสัญลักษณ์ A

2) ระยะเวลาให้ความร้อน (Heating Time) การพิจารณาช่วงเวลาในการให้ความร้อน โดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับขนาดความหนาของพลาสติก ซึ่งพลาสติกชนิด PVC ที่ความหนา 0.4 มิลลิเมตร จากการศึกษาปฏิบัติงานที่ผ่านมาของโรงงานกรณีศึกษานั้น พบว่า ระยะเวลาให้ความร้อนอยู่ระหว่าง 20 - 30 วินาที ดังนั้น ระยะเวลาให้ความร้อน แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 20, 25 และ 30 วินาที กำหนดให้ปัจจัยเป็นสัญลักษณ์ B

3) ระยะเวลาให้สุญญากาศ (Vacuum Time) เป็นการทำให้เกิดรูปทรงของชิ้นงานตามแบบแม่พิมพ์ ซึ่งเครื่องขึ้นรูปพลาสติกของโรงงานกรณีศึกษานั้น มีค่าความดันที่ใช้ในการดูดอากาศทำให้เป็นสุญญากาศ เท่ากับ 72.51 ปอนด์/ตารางนิ้ว ดังนั้น ผู้ปฏิบัติงานจึงต้องกำหนดระยะเวลาให้สุญญากาศที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปชิ้นงาน จากการศึกษาปฏิบัติงานที่ผ่านมาของโรงงานกรณีศึกษานั้น พบว่า ระยะเวลาให้สุญญากาศอยู่ระหว่าง 24 - 36 วินาที ดังนั้น

ระยะเวลาให้สุญญากาศ แบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ 24, 30 และ 36 วินาที กำหนดให้ปัจจัยเป็นสัญลักษณ์ C

ในการทดลองนี้ สามารถกำหนดปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองด้วยวิธีการของทากูชิ ได้ดังในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับของปัจจัย		
		1	2	3
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	A	200	210	220
ระยะเวลาให้ความร้อน (วินาที)	B	20	25	30
ระยะเวลาให้สุญญากาศ (วินาที)	C	24	30	36

1.3 การกำหนดรูปแบบการทดลอง

การกำหนดรูปแบบการทดลองของงานวิจัย ผู้วิจัย ได้ใช้วิธีการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการของทากูชิ ในรูปแบบ L_3^3 และกำหนดให้มีการทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง ในแต่ละสภาวะการทดลอง ดังนั้นงานวิจัยนี้ จะมีการทดลองรวมทั้งสิ้น 27 การทดลอง โดยลำดับการทดลองจะถูกจัดให้อยู่ในรูปแบบสุ่ม (Random) และรูปแบบการทดลองของงานวิจัยจะแสดงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การออกแบบการทดลอง

Run Order	Factor			Responses (mm.)		
	A	B	C	Rep.1	Rep.2	Rep.3
1	200	20	24			
2	200	25	30			
3	200	30	36			
4	210	20	30			
5	210	25	36			
6	210	30	24			
7	220	20	36			
8	220	25	24			
9	220	30	30			

ผลการวิเคราะห์

1.1 ตารางบันทึกผลการทดลอง

เมื่อผู้วิจัยได้ทดลองขึ้นรูปกล่องพลาสติกด้วยความร้อนระบบสุญญากาศที่สภาวะต่าง ๆ ตามที่ได้ออกแบบการทดลอง ซึ่งประกอบไปด้วยการทดลองทั้งหมด 27 การทดลอง จนครบแล้ว ผู้วิจัยจะนำผลการทดลองที่ได้บันทึกในตารางที่ 4 โดยค่าที่ถูกบันทึกในตารางดังกล่าวจะเป็นความหนาของกล่องพลาสติก มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

ตารางที่ 4 ผลการทดลอง

Run Order	Factor			Responses (mm.)		
	A	B	C	Rep.1	Rep.2	Rep.3
1	200	20	24	0.141	0.150	0.146
2	200	25	30	0.216	0.214	0.219
3	200	30	36	0.306	0.310	0.312
4	210	20	30	0.180	0.183	0.175
5	210	25	36	0.304	0.308	0.300
6	210	30	24	0.239	0.247	0.242
7	220	20	36	0.307	0.308	0.310
8	220	25	24	0.188	0.186	0.184
9	220	30	30	0.127	0.128	0.125

1.2 การตรวจสอบความพอเพียงของจำนวน

ตัวอย่าง

[3] หนึ่งในการตัดสินใจที่สำคัญสำหรับการออกแบบการทดลอง ก็คือ การหาจำนวนการทดลองซ้ำ (Replication) ที่เหมาะสม ปกติแล้วการหาจำนวนการทดลองซ้ำที่เหมาะสมจะใช้การตรวจสอบอำนาจการทดสอบข้อมูล (Power of Test) กล่าวคือ เป็นการหาความน่าจะเป็นที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลักเมื่อสมมติฐานหลักไม่เป็นจริง การคำนวณอำนาจการทดสอบข้อมูลจะใช้เส้นโค้งโอซี (Operation Characteristic Curve : OC Curve) ซึ่งจะเป็นการพล็อตกันระหว่างความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภทที่ 2 (Type II Error: β) สำหรับการทดลองซ้ำที่จำนวนหนึ่งกับพารามิเตอร์ที่สะท้อนถึงการที่สมมติฐานหลักที่ผู้วิจัยตั้งไว้เป็นเท็จ พารามิเตอร์ดังกล่าวจะแทนด้วยสัญลักษณ์ ϕ ในกรณีที่มีปัจจัยศึกษา 3 ปัจจัย พารามิเตอร์ ϕ จะสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\phi^2 = \frac{abcD^2}{2a\sigma^2} \quad (1)$$

โดย n คือ จำนวนการทดลองซ้ำ (Replication)

a คือ ระดับของปัจจัย A (Level of Factor A)

b คือ ระดับของปัจจัย B (Level of Factor B)

c คือ ระดับของปัจจัย C (Level of Factor C)

D คือ ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย (Difference of Mean)

σ คือ ค่าความแปรปรวน

การกำหนดค่าของตัวแปรสำหรับคำนวณหาพารามิเตอร์ ϕ ในงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

ปัจจัยอุณหภูมิเป็นปัจจัย A ปัจจัยระยะเวลาให้ความร้อนเป็นปัจจัย B และปัจจัยระยะเวลาให้สุญญากาศเป็นปัจจัย C เนื่องจากปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยโดยมีระดับปัจจัยเท่ากันทั้งหมด กล่าวคือ มีระดับ 3 ระดับ ดังนั้นค่าของตัวแปร $a, b,$ และ c ในสมการที่ 1 จะเท่ากับ 3 ($a, b, c = 3$)

ค่าของตัวแปร D จากการวิเคราะห์ร่วมกับวิศวกรและผู้เชี่ยวชาญด้านกระบวนการขึ้นรูปกล่องพลาสติกด้วยความร้อนระบบสุญญากาศของโรงงานกรณีศึกษา ทำให้สามารถกำหนดค่าความแตกต่างของความหนาของกล่องพลาสติกในกระบวนการขึ้นรูปกล่องพลาสติกด้วยความร้อนระบบสุญญากาศเท่ากับ 0.03

ค่าของตัวแปร σ เป็นค่าความแปรปรวนของข้อมูล จะมีค่าเท่ากับ 0.068 โดยเป็นค่าที่ทางโรงงานกรณีศึกษาสามารถยอมรับได้

เมื่อทราบค่าของตัวแปรทั้งหมด ผู้วิจัยจะแทนค่าในสมการที่ 1 จนได้สมการที่ 2

$$\phi^2 = \frac{n(3)(3)(0.03)^2}{2(3)(0.068)^2} = 0.292 n \quad (2)$$

จากสมการที่ 2 ผู้วิจัยจะคำนวณหาอำนาจการทดสอบข้อมูลที่การทดลองซ้ำตั้งแต่ 2 ซ้ำ ไปจนถึง 4 ซ้ำ โดยกำหนดค่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ซึ่งผลการคำนวณอำนาจการทดสอบข้อมูลนั้นดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 อำนาจการทดสอบข้อมูล

n	ϕ	ϕ^2	$a-1$	$abc(n-1)$	β	Power (1- β)
2	0.764	0.584	2	27	0.02	0.98
3	0.936	0.876	2	54	0.01	0.99
4	1.081	1.168	2	81	0.01	0.99

จากตารางที่ 5 แสดงถึงอำนาจการทดสอบข้อมูล พบว่า ที่การทดลองซ้ำทั้งหมด 2 ซ้ำ จะทำให้อำนาจการทดสอบข้อมูลเท่ากับ 0.98 มากกว่าอำนาจการทดสอบข้อมูลที่กำหนดไว้ว่าต้องมีค่ามากกว่า 0.90 ดังนั้น การทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ซ้ำ ในงานวิจัยฉบับนี้ จึงถือได้ว่าเป็นจำนวนการทดลองซ้ำที่เพียงพอ ซึ่งจะส่งผลให้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความน่าเชื่อถือและเพียงพอสำหรับการนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน

1.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

จากการตรวจสอบอำนาจการทดสอบข้อมูล พบว่า ข้อมูลที่ได้มีอำนาจการทดสอบที่เพียงพอ ดังนั้นจึงถือได้ว่า ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน ผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) เพื่อทดสอบสมมติฐานที่ผู้วิจัยได้กำหนดไว้ ซึ่งกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซนต์ ($\alpha = 0.05$) โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ได้ ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	0.005516	0.005516	0.002758	2.99	0.73
B	2	0.002717	0.002717	0.001358	1.47	0.253
C	2	0.094271	0.094271	0.047135	51.14	0.000
Error	20	0.018433	0.018433	0.000922		
Total	26	0.120935				

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงใน ตารางที่ 4-3 พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\alpha = 0.05$) ของปัจจัยหลัก (Main Effect) คือ ระยะเวลา ให้สุญญากาศ จะมีอิทธิพลต่อความหนาของกล่องพลาสติกในกระบวนการขึ้นรูปกล่องพลาสติกด้วยความร้อนระบบสุญญากาศอย่างมีนัยสำคัญ พิจารณาได้จากค่า P-Value ที่ได้นั้นมีค่าน้อยกว่าค่านัยสำคัญ ($P\text{-Value} < 0.05$)

1.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยวิธีการของ ทากูชิ

ในการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองทั้ง 27 การทดลองด้วยวิธีการของทากูชิ ที่ 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ จะพิจารณาค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองที่สนใจ คือ ความหนาของกล่องพลาสติก และค่าเฉลี่ยของ

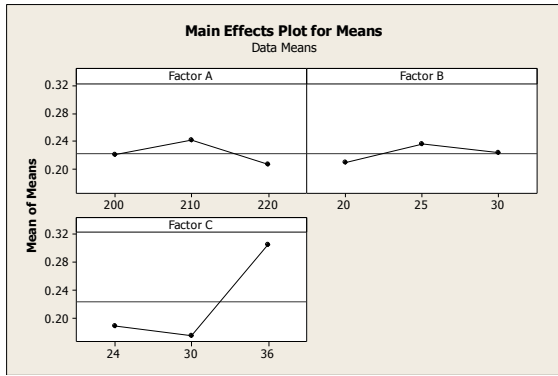
อัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนสูงสุด ตามลักษณะ เงื่อนไขที่เรียกว่า Larger - the Better เพื่อให้กล่องพลาสติกมีความหนามากที่สุด และมีความหนาไม่ต่ำกว่า 0.3 มิลลิเมตร ดังในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการทดลองด้วยวิธีการของทากูชิ

Run Order	Factor			ความหนาเฉลี่ย (mm)	SN ของ ความหนา
	A	B	C		
1	200	20	24	0.146	-16.741
2	200	25	30	0.216	-13.299
3	200	30	36	0.309	-10.1923
4	210	20	30	0.179	-14.931
5	210	25	36	0.304	-10.344
6	210	30	24	0.243	-12.302
7	220	20	36	0.308	-10.220
8	220	25	24	0.186	-14.611
9	220	30	30	0.127	-17.948

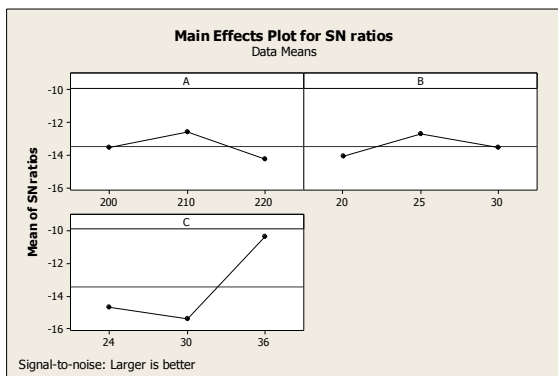
การพิจารณาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยนั้น มีกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยผลตอบสนอง กับปัจจัยในแต่ละระดับปัจจัย ทั้ง 3 ปัจจัย ดังในรูปที่ 14 ซึ่งทำการวิเคราะห์แต่ละปัจจัยได้ดังนี้

- 1) ปัจจัยอุณหภูมิ พบว่า ที่ระดับอุณหภูมิ 200 - 210 องศาเซลเซียส กราฟจะมีลักษณะชันขึ้น แต่ที่ระดับอุณหภูมิ 210 - 220 องศาเซลเซียส กราฟจะมีลักษณะชันลง โดยที่ระดับอุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส จะเป็นระดับที่ทำให้ความหนาของกล่องพลาสติกมากที่สุด
- 2) ปัจจัยระยะเวลาให้ความร้อน พบว่า ที่ระดับระยะเวลาให้ความร้อน 20 - 25 วินาที กราฟจะมีลักษณะชันขึ้น แต่ที่ระดับระยะเวลาให้ความร้อน 25 - 30 วินาที กราฟจะมีลักษณะชันลง โดยที่ระดับระยะเวลาให้ความร้อน 25 วินาที จะเป็นระดับที่ทำให้ความหนาของกล่องพลาสติกมากที่สุด
- 3) ปัจจัยระยะเวลาให้สุญญากาศ พบว่า ที่ระดับระยะเวลาให้สุญญากาศ 24 - 30 วินาที กราฟจะมีลักษณะชันลง แต่ที่ระดับระยะเวลาให้สุญญากาศ 30 - 36 วินาที กราฟจะมีลักษณะชันขึ้น โดยที่ระดับระยะเวลาให้สุญญากาศ 36 วินาที จะเป็นระดับที่ทำให้ความหนาของกล่องพลาสติกมากที่สุด



รูปที่ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยผลตอบสนองกับปัจจัย

การพิจารณาค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนพบว่า กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนกับปัจจัยที่แต่ละระดับปัจจัย ทั้ง 3 ปัจจัย ดังในรูปที่ 15 พบว่า มีแนวโน้มเป็นลักษณะเดียวกับกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยผลตอบสนองกับปัจจัย แสดงว่าไม่มีผลกระทบของค่าความคลาดเคลื่อน อันเนื่องจากการทดลองนี้ ไม่สนใจปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ เช่น อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม จึงไม่มีผลต่อระบบการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวนกับปัจจัย

สรุปผล

วิธีการของทากูชิทำให้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อความหนาของกล่องพลาสติก โดยสามารถกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องจักรได้ดังนี้ อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส ระยะเวลาให้ความร้อน 25 วินาที และระยะเวลาให้สุญญากาศ 36 วินาที จึงจะทำให้ความหนาของกล่องพลาสติกใกล้เคียง 0.3 มิลลิเมตรตามที่ต้องการมากที่สุด

ข้อเสนอแนะ

ในแผนการทดลอง L_93^4 นี้พบว่า ยังไม่สามารถค้นหาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยของ 3 ปัจจัยหลักได้ เพราะจำนวนการทดลองน้อยเกินไป ดังนั้นควรมีการเพิ่มจำนวนการทดลอง เพื่อศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยเพิ่มเติม

เอกสารอ้างอิง

- [1] ดนุพงษ์ สรรพอุดม และชาญณรงค์ อัครเทศานุกภาพ. 2557. การหาค่าที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยการให้ความร้อนจากไมโครเวฟด้วยวิธีของทากูชิ. การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24. 2557 : 226-231.
- [2] Giuseppe, S., Luca, D.L. and Denis. 2001. "A numerical and experimental approach to optimize sheet stamping technologies : polymers thermoforming." *International Journal of Materials and Design*. 2002 : 21-39.
- [3] ปารเมศ ชูติมา. 2545. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, หน้า 259-292.