

การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้งานถุงพลาสติกหิ้วรูปตัวยู

Design of Experiments to Analyze Factors Affecting the Main Function of U-Shaped Plastic Shopping Bags

คนัน ธนกุลชัยทวี และ ศุภชัย นาทะพันธ์*

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล นครปฐม 73170, E-mail: supphachai.nat@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ – งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ของความหนาต่อปริมาตรการบรรจุและเวลาที่เหมาะสมต่อการใช้งานของถุงพลาสติกหิ้วรูปตัวยูชนิดโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ โดยจะศึกษาสมบัติการยืด และความหนาของถุงพลาสติก ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มอก. 1116-2535 ถุงพลาสติกหิ้วรูปตัวยู ด้วยการประยุกต์การออกแบบการทดลองแบบเซ็นทรัลคอมโพสิตทำการทดลองและวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสมของค่าร้อยละการยืดต่อการรับน้ำหนักของถุงพลาสติก ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองคือเวลา และความหนาของถุงพลาสติก ผลการวิจัยพบว่าความหนาที่เหมาะสมที่จะนำถุงขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ มาใช้หิ้วและบรรจุสิ่งของได้โดยไม่เสียหายเท่ากับ 0.015, 0.020 และ 0.025 มิลลิเมตร อีกทั้งยังสามารถรับภาระได้มากกว่ามาตรฐานถึง 18, 18 และ 9 นาฬิกา ตามลำดับ (ค่าเฉลี่ยการใช้งานถุงพลาสติก 12 นาที) นอกจากนี้ ค่าการยืดสอดคล้องตามข้อกำหนดของ มอก.1116-2535

คำสำคัญ – ถุงพลาสติก, ความหนาพลาสติก, โพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง, การออกแบบการทดลอง, การประกันคุณภาพ

Abstract – The objective of this research is to study the related thickness for volume and optimal time to use of three dimensions of High Density Polyethylene (HDPE) plastic bags -small, medium and large bags. The properties of bags are tested in elongation and thickness using of TIS 1116-1992. The application of an experimental design using Central Composite Design is to analyze factors that contribute to the elongation percentage of plastic bags. The experimental factors are load-time and thickness of bags. The results found that the optimal thicknesses of small, medium and large bags to suit their loads are 0.015, 0.020 and 0.025

millimeters. And, the maximum load time is more than the standard 18, 18 and 9 minutes, respectively (The average use time of a plastic bag is 12 minutes). Furthermore, the elongations conform to the requirement of TIS.

Keywords – Plastic bags, Plastic thickness, HDPE, Experimental design, Quality Assurance

1. บทนำ

บรรจุภัณฑ์พลาสติกกลายเป็นสิ่งจำเป็นในการผลิตสินค้าออกจำหน่าย เพื่อความสะดวกต่อการเคลื่อนย้ายสิ่งของหรือทำให้สินค้าคงรูป และการป้องกันสินค้าที่อยู่ภายใน ส่วนใหญ่บรรจุภัณฑ์ที่พบเห็นในท้องตลาดส่วนมากทำมาจากพลาสติกแทบทั้งสิ้น บรรจุภัณฑ์ที่ใกล้ตัวมากที่สุดก็คือถุงพลาสติกที่เวลาซื้อสินค้าจะได้มาแทบทุกครั้ง [1] โดยเฉพาะถุงพลาสติกถุงพลาสติกหิ้วรูปตัวยูหรือถุงก๊อปปี้ ซึ่งเป็นบรรจุภัณฑ์ชนิดหนึ่งผลิตจากพลาสติกชนิดโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene: HDPE) [2] การใช้งานถุงพลาสติกชนิดนี้ทั่วโลกมากกว่า 5 แสนล้านใบต่อปี เนื่องจากเป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีหลายรูปแบบ น้ำหนักเบา ราคาถูก สะดวกต่อการใช้งาน และมีความทนทาน ซึ่งการใช้งานหลักของถุงพลาสติก คือการบรรจุสินค้าจากร้านค้า ซูเปอร์มาร์เก็ต หรือตลาด ภายใต้เวลาการรับภาระ (Load) และน้ำหนักบรรจุที่แตกต่างกัน ถุงพลาสติกที่รับภาระมากเกิดการยืดตัวออกมาทำให้ถุงพลาสติกขาด [3-4] ผู้บริโภคจะพิจารณาว่าบรรจุภัณฑ์นั้นไม่มีคุณภาพแต่หลักเกณฑ์ในการพิจารณาของผู้บริโภคแต่ละบุคคลนั้นแตกต่างกัน ซึ่งพิจารณาจากลักษณะการใช้งานของถุงพลาสติกในการบรรจุน้ำหนักแต่ละขนาดที่แตกต่างกัน ผู้บริโภคจึงมักเลือกใช้ถุงพลาสติกที่มีความหนา และรับน้ำหนักบรรจุได้มากกว่าน้ำหนักบรรจุที่ต้องการใช้ หรือซ้อนถุง เพื่อป้องกันการเกิดความเสียหาย [5] จะเห็นได้ว่าถุงพลาสติกที่ได้มาจากแต่ละแหล่งนั้นจะมีความหนาที่แตกต่างกันถึงแม้ว่าจะเป็นถุงพลาสติกชนิดเดียวกัน ทำให้ไม่สามารถประกันคุณภาพถุงพลาสติกได้เมื่อ

นำมาใช้บรรจุสิ่งของแล้วนั้นจะทำให้เกิดการฉีกขาด และความเสียหายแก่สิ่งของที่บรรจุภายในขณะใช้งานหรือไม่

จากการศึกษาลักษณะความต้องการของผู้ใช้ถุงพลาสติก ขนาดของถุงเป็นหนึ่งในปัจจัยที่สำคัญต่อการตัดสินใจนำไปใช้งาน ซึ่งขนาดของถุงพลาสติกนั้นมีความสัมพันธ์กับความหนา และเวลาการรับภาระ ถือว่าเป็นส่วนสำคัญที่สามารถบ่งบอกถึงการ ใช้งานถุงพลาสติก ในประเทศต่างๆ ทั่วโลกได้มีการกำหนด มาตรการควบคุมความหนาของถุงพลาสติก เพื่อกำหนดความ หนาสำหรับการผลิต และการนำเข้าถุงพลาสติก เช่น สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย แอฟริกาใต้ อินเดีย จีน และไต้หวัน เป็นต้น สำหรับในประเทศไทยยังไม่มีมาตรการในการกำหนด ความหนาที่เหมาะสมต่อขนาด และปริมาณการบรรจุต่อการ ผลิต จากมาตรการของต่างประเทศ จะเห็นได้ว่าประเทศไทย ควรกำหนดความหนาถุงพลาสติกไม่น้อยกว่า 0.010-0.040 มิลลิเมตร [6-7] จะทำให้สามารถแข่งขันในตลาดต่างประเทศได้ โดยถุงพลาสติกที่ผลิตยังคงตอบสนองการใช้งานที่แท้จริง ดังนั้น การหาปัจจัยที่เหมาะสมในการควบคุมการผลิตถุงพลาสติกด้วย วิธีการทดสอบสมบัติการใช้งานของถุงพลาสติกที่เหมาะสม จึง เป็นหนึ่งกิจกรรมที่นำไปสู่การประกันคุณภาพถุงพลาสติก

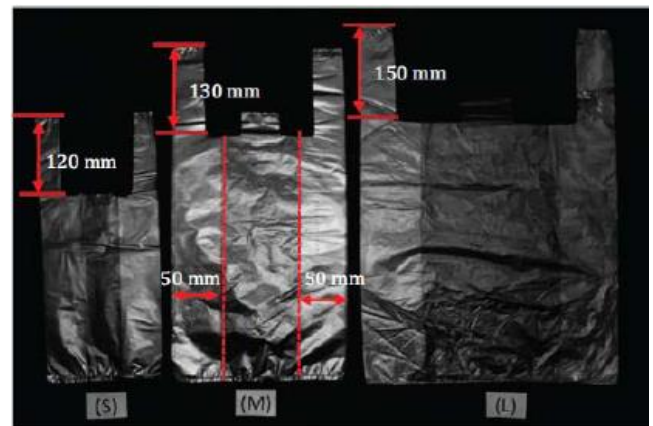
งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนา และเวลาการรับภาระของถุงพลาสติกที่รูปร่างที่มี ผลต่อค่าร้อยละการยืดของถุงพลาสติก โดยประยุกต์การ ออกแบบการทดลองแบบเซ็นทรัลคอมโพสิต (Central Composite Design: CCD) และวิเคราะห์เพื่อหาค่าของความ หนาที่เหมาะสมของถุงพลาสติกเพื่อให้บรรจุสิ่งของโดยไม่ เสียหายเมื่อรับภาระสูงสุด (Full Load)

2. การศึกษาสมบัติของถุงพลาสติกหัวรูปตัวยู

ความต้านแรงดึงและการยืด เป็นสมบัติทางกลที่แสดงถึง สมบัติในการรับน้ำหนัก และการใช้งานของถุงพลาสติก ซึ่ง สมบัติทางกลของถุงพลาสติกหัวรูปตัวยูตาม มอก.1116 – 2535 ถุงพลาสติกหัวรูปตัวยู ประกอบด้วย ความต้านแรงดึงและการ ยืด ความทนแรงกระแทก ความแข็งแรงของตะเข็บ และการรั่ว มีเนื้อหาคครอบคลุมเฉพาะถุงพลาสติกที่ทำด้วยฟิล์มโพลีเอทิลีน ชั้นเดียว [8] ไม่ได้ครอบคลุมถุงพลาสติกที่มีการเม็ดพลาสติกกรี ไชเคิล (r-HDPE) แต่จากการศึกษาพบว่าผู้ประกอบการหลาย แห่งได้มีการนำเศษพลาสติก หรือพลาสติกที่ผลิตไม่ได้มาตรฐาน ตามต้องการมาเข้าสู่กระบวนการหลอมเป็น r-HDPE และนำมา ผสมเข้าสู่กระบวนการผลิตอีกครั้งในสัดส่วนที่ไม่เกินร้อยละ 30 ถุงพลาสติกจากกระบวนการผลิตดังกล่าวมีค่าการยืด ความหนา และความแข็งแรงของตะเข็บสอดคล้องตามที่มาตรฐานกำหนด เช่นกัน [9]

ในงานวิจัยนี้จึงทดสอบสมบัติของถุงพลาสติกหัวรูปตัวยูให้มี สมบัติสอดคล้องกับ มอก. 1116-2535 คือ การยืด และความ หนา ซึ่งเป็นสมบัติของถุงพลาสติกที่เกี่ยวข้องกับการยืดตัวของ ถุงพลาสติกเมื่อบรรจุสิ่งของ และยังบ่งบอกถึงความเหนียวของ ถุงพลาสติกในการรับน้ำหนักบรรจุ โดยประยุกต์การออกแบบ การทดลอง

ถุงพลาสติกที่ใช้ในการทดลองเป็นถุงพลาสติกใสชนิดโพลีเอ ทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงชั้นเดียว จำแนกเป็น 3 ขนาด ได้แก่ ขนาดเล็ก 153 มิลลิเมตร × 357 มิลลิเมตร (6 นิ้ว × 14 นิ้ว) ขนาดกลาง 234 มิลลิเมตร × 457 มิลลิเมตร, (9 นิ้ว × 18 นิ้ว) และขนาดใหญ่ 350 มิลลิเมตร × 508 มิลลิเมตร (12 นิ้ว × 20 นิ้ว) แสดงดังรูปที่ 1 โดยการศึกษาสมบัติของถุงพลาสติกที่ สอดคล้องกับ มอก. 1116 แต่ละลักษณะมีวิธีการศึกษาดังต่อไปนี้



รูปที่ 1 ถุงพลาสติกขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่

2.1 ความหนา

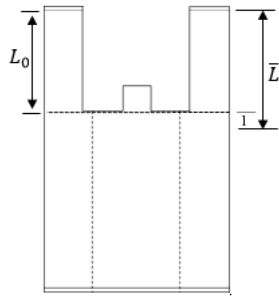
การศึกษาความหนาของถุงพลาสติกนั้น กระทำโดย การวัดความหนาเฉลี่ยของถุงพลาสติกตัวอย่างบริเวณหูหิ้ว 4 จุด โดยใช้ไมโครมิเตอร์ที่มีความละเอียด 0.001 มิลลิเมตร เป็น เครื่องมือวัด [5], [9]



รูปที่ 2 ตำแหน่งในการวัดความหนา

2.2 การยืด

การทดสอบการยืด (Strain) ด้วยการรับน้ำหนักบรรจุ โดยการบรรจุทราย แขนงไว้ในเวลาที่กำหนด เป็นลักษณะการศึกษาถุงพลาสติกมีค่าการยืดตัวของพลาสติกเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ ขณะรับน้ำหนักบรรจุด้วยการวัดค่าร้อยละการยืด (%Elongation หรือ %) ที่หุ้เฉลี่ย 4 จุด โดยตัดชิ้นทดสอบจากขอบตะเข็บจนถึงขอบถุงพลาสติก แสดงดังรูปที่ 3 และ 4 เนื่องจากบริเวณนั้นเป็นพื้นที่ที่มีค่าการยืดสูงเมื่อถุงพลาสติกได้รับการ [5], [9], [11]



รูปที่ 3 การทดสอบการยืดของถุงพลาสติก

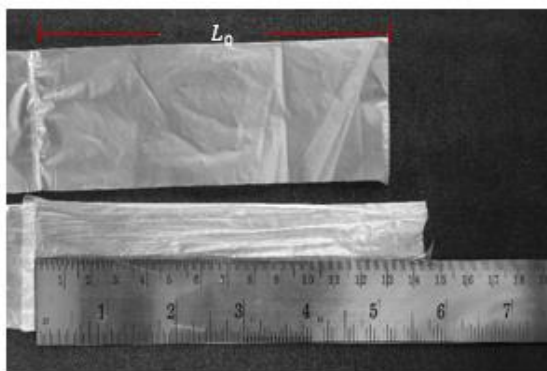
สามารถคำนวณค่าร้อยละการยืดได้จากสูตรต่อไปนี้

$$l = \frac{\bar{L} - L_0}{L_0} \times 100 \quad (1)$$

โดย l คือ ค่าร้อยละของการยืด (%)

$\bar{L}$ คือ ความยาวหุ้เฉลี่ยหลังการทดสอบ (มิลลิเมตร)

L_0 คือ ความยาวหุ้เฉลี่ยก่อนการทดสอบ (มิลลิเมตร)



รูปที่ 4 การวัดค่าร้อยละการยืดของถุงพลาสติก

2.3 การหาปริมาณการบรรจุ

การใช้งานหลักของถุงพลาสติก คือ การรับน้ำหนักบรรจุ โดยถุงพลาสติกจะรับภาระมากบริเวณหุ้ (Handle) และกัน

ถุง (Bottom seal) ซึ่งการที่ถุงพลาสติกจะมีความแข็งแรงมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับการใช้งานด้วยการรับน้ำหนักบรรจุ [10] ดังนั้นจึงการหาปริมาณบรรจุที่แท้จริงของถุงพลาสติกแต่ละขนาดจากหลักการทางทฤษฎีความหนาแน่น

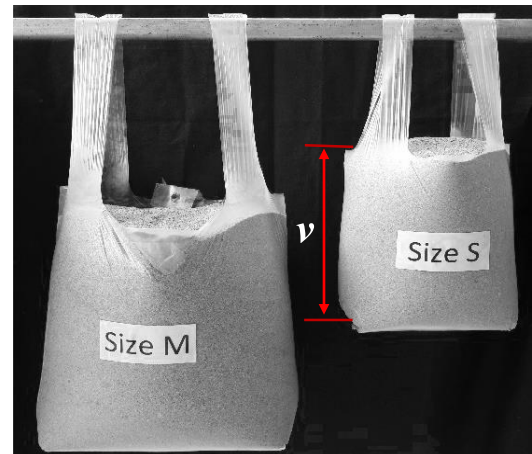
$$\sigma = \frac{m}{v} \quad (2)$$

โดย σ คือ ความหนาแน่นของวัตถุ

(กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

m คือ มวลรวมของวัตถุ (กิโลกรัม)

v คือ ปริมาตรรวมของวัตถุ (ลูกบาศก์เมตร)



รูปที่ 5 ปริมาตรบรรจุสูงสุดของถุงพลาสติก

จากสมการที่ (2) สามารถคำนวณหาปริมาณบรรจุสูงสุดของถุงพลาสติก (Full Load) ด้วยการบรรจุทราย เนื่องจากทรายสามารถกระจายน้ำหนักได้ทั่วพื้นที่รับแรง และสามารถสะท้อนถึงปริมาตรดีกว่าใส่ลูกตุ้มน้ำหนัก โดยค่าความหนาแน่นของทรายเท่ากับ 1,650 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และคำนวณหาปริมาณของถุงพลาสติก ผลการคำนวณพบว่าถุงพลาสติกขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ มีปริมาตรเท่ากับ 0.00327, 0.00902 และ 0.001632 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ หรือ 3.27, 9.02 และ 16.32 ลิตร ตามลำดับ จากนั้นนำปริมาตรดังกล่าวไปออกแบบการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกับเวลาการใช้งานเมื่อปริมาณการบรรจุสูงสุดต่อไป

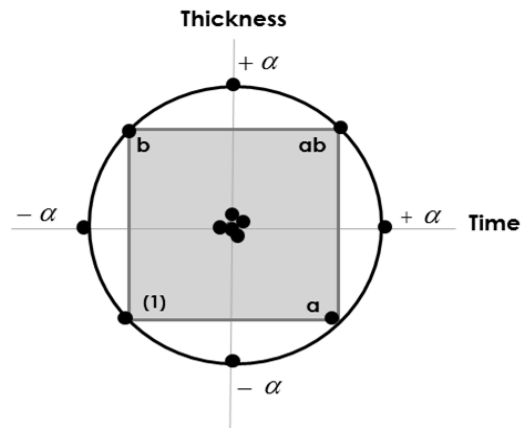
3. การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้ใช้หลักการพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology: RSM) มาใช้ในการศึกษา โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบเซ็นทรัลคอมโพสิต (Central Composite Design: CCD) ซึ่งเป็นการออกแบบที่สามารถช่วยให้สามารถกำหนดสถานะของปัจจัยที่เหมาะสมมาใช้ในการจัดการ

กระบวนการผลิตถุงพลาสติกหัวรูปตัวยู และยังสามารถแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของผลตอบ (Response) เมื่อระดับของปัจจัยเปลี่ยนแปลง จึงทำให้ข้อมูลที่ได้จากการออกแบบนั้นสามารถนำไปสู่การแปลผลตอบที่ต้องการศึกษา ในการออกแบบการทดลองแบบ CCD ประกอบด้วย การทดลองแบบแฟคทอเรียล (2^k Factorial) ที่มีสภาวะการทดลองเท่ากับ n_F ซึ่งสภาวะการทดลอง 2^k ในการทดลองที่แนวแกน (Axial Points) หรือแนวรูปดาว (Star Points) และการทดลองที่จุดศูนย์กลาง (Center Point) มีสภาวะการทดลองเท่ากับ n_C และค่า α จะเป็นตัวบอกให้ทราบถึงระยะปลายสุดของระดับปัจจัยที่สนใจศึกษาทั้งทางระดับต่ำ (-1) และระดับสูง (+1) [12] โดยการทดสอบสมบัติของถุงพลาสติก เพื่อหาค่าที่เหมาะสมต่อปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้งานถุงพลาสติก ปัจจัยที่จะนำมาพิจารณา ได้แก่ ปัจจัย A เวลา (Time) หน่วยเป็นนาที่ และปัจจัย B ความหนาของถุงพลาสติก (Thickness) หน่วยเป็นมิลลิเมตร เนื่องจากเวลา คือปัจจัยที่บ่งบอกถึงระยะเวลาที่ถุงรับภาระในการบรรจุสิ่งของ ซึ่งมีการใช้งานเริ่มต้นจากร้านค้าหรือตลาด ไปสู่การขนส่ง แล้วจากรถขนส่งไปยังจุดหมาย โดยมีระยะเวลาเฉลี่ยเท่ากับ 12 นาที [3] กล่าวได้ว่าหากกำหนดให้ความหนาของพลาสติกน้อยเกินไป ถุงจะมีอัตราการยืดสูง ดังนั้น จึงต้องมีการกำหนดความหนาให้เหมาะสม ซึ่งการกำหนดค่าระดับปัจจัยต่างๆ จากศึกษางานวิจัยของณัฐวี และคณะ [5] พบว่า ถุงพลาสติก ขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ มีค่าความหนาที่เหมาะสมเท่ากับ 0.015, 0.020 และ 0.025 มิลลิเมตร ตามลำดับ สามารถบรรจุสิ่งของได้อย่างเหมาะสมที่ 5, 7 และ 9 กิโลกรัม ตามลำดับ ภายในระยะเวลา 12 นาที โดยที่ค่าร้อยละของการยืดสอดคล้องตามข้อกำหนด จึงได้กำหนดเป็น Center point (หรือค่า 0) แล้วพิจารณาหาค่าระดับปัจจัยที่ Factorial Points และ Axial Points โดยพิจารณาปัจจัยความหนาจากมาตรการควบคุมความหนาของต่างประเทศดังกล่าวข้างต้น คือ ควรกำหนดความหนาให้ไม่น้อยกว่า 0.010-0.040 มิลลิเมตร และพิจารณาปัจจัยเวลาจากการทดสอบการใช้งานถุงพลาสติก โดยจากการทดสอบการยืดของถุงพลาสติก พบว่า เมื่อเวลาผ่านจาก Center point (12 นาที) ไป 8 นาที เริ่มทำให้ถุงพลาสติกรับภาระจนเกิดการฉีกขาด ซึ่งหมายความว่าถุงพลาสติกจะมีความเหนียวน้อยลงเรื่อยๆ จนถึงเวลา 20 นาที แล้วเกิดการฉีกขาด ดังนั้น จึงกำหนดเวลาการรับภาระของถุงพลาสติกเท่ากับ 4 นาที (ระดับต่ำ หรือค่า -1) และ 20 นาที (ระดับสูง หรือค่า +1) แสดงดังตารางที่ 1

การทดสอบเพื่อหาอิทธิพลของปัจจัยนั้นได้กำหนดจำนวนครั้งการทดลองถุงพลาสติกแต่ละขนาดเท่ากับ 13 สภาวะการทดลอง ประกอบด้วย Factorial Points จำนวน 4 จุด Axial Points จำนวน 4 จุด และ Center point จำนวน 5 จุด แสดง

ดังรูปที่ 6 แต่ละการทดลองจะทำซ้ำ 3 ครั้งแบบสุ่ม เพื่อลดความผิดพลาดจากการทดลอง แล้วบันทึกค่าร้อยละการยืดถุงพลาสติก



รูปที่ 6 แผนการทดลองแบบ CCD

ตารางที่ 1 ปัจจัยและค่าระดับปัจจัยของ CCD

ขนาด	ปัจจัย	ระดับปัจจัย				
		- α	- 1	0	+ 1	+ α
(S)	เวลา	1	4	12	20	24
	ความหนา	0.005	0.010	0.015	0.020	0.025
(M)	เวลา	1	4	12	20	24
	ความหนา	0.010	0.015	0.020	0.025	0.030
(L)	เวลา	1	4	12	20	24
	ความหนา	0.015	0.020	0.025	0.030	0.035

4. ผลการวิจัย

การดำเนินการทดลองแบบ CCD เพื่อหาความหนาที่สัมพันธ์กับขนาดและเวลาการรับภาระซึ่งเป็นหน้าที่หลักถุงพลาสติกเริ่มจากทดสอบหาค่าร้อยละการยืดของถุงพลาสติกขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ ด้วยวิธีการทดสอบสมบัติของถุงพลาสติกดังกล่าวข้างต้น จากนั้นวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน ตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง และวิเคราะห์หาระดับที่เหมาะสมของปัจจัย โดยใช้โปรแกรม Minitab 16 ซึ่งสามารถแสดงผลลัพธ์จากการดำเนินงานวิจัยได้ดังต่อไปนี้

4.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของถุงพลาสติกขนาดเล็กพบว่า ปัจจัยหลัก (Main Effect) ได้แก่ เวลา และความหนา มีอิทธิพลต่อค่าร้อยละการยืดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 พิจารณาได้จากค่า P-Value มีค่าน้อยกว่าค่า Alpha ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค่าระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ และผลการวิเคราะห์

ค่าสัมประสิทธิ์ของการจัดสินใจ (R-Square: R^2) พบว่า มีค่าเท่ากับ 99.86% ถือเป็นค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่น่าพอใจ นอกจากนั้นพิจารณาว่า P-Value ของการทดสอบความเหมาะสมของรูปแบบ (Lack of Fit) พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.413 ซึ่งมากกว่าค่า Alpha สามารถสรุปได้ว่ารูปแบบจำลองการถดถอยที่สร้างขึ้น มีความเหมาะสมในการทำนายค่าร้อยละการยืดของถุงพลาสติก แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าร้อยละการยืดของถุงพลาสติกขนาดเล็ก

Source	DF	SS	MS	F_0	P-Value
Regression	5	379.754	75.950	4783.1	0.000
Linear	2	308.880	41.961	2642.5	0.000
A	1	132.876	21.650	1363.4	0.000
B	1	176.004	18.492	1164.5	0.000
Square	2	35.666	17.833	1123.0	0.000
A*A	1	4.093	11.543	726.98	0.000
B*B	1	31.573	31.573	1988.3	0.000
Interaction	1	35.207	35.207	2217.2	0.000
A*B	1	35.207	35.207	2217.2	0.000
Residual Error	33	0.524	0.0159		
Lack-of-Fit	3	0.047	0.0157	0.99	0.413
Pure Error	30	0.477	0.0159		
Total	38	380.278			

$R^2 = 99.86\%$, $R^2_{Adj} = 99.84\%$

สำหรับการวิเคราะห์ของถุงพลาสติกขนาดกลาง และใหญ่ มีลักษณะเช่นเดียวกันกับถุงขนาดเล็ก กล่าวคือ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าค่า P-Value ของปัจจัยหลัก มีค่าน้อยกว่าค่า Alpha ซึ่งหมายความว่า เวลาการรับภาระ และความหนาส่งผลต่อค่าร้อยละการยืดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยที่ปัจจัยร่วม (Interaction) มีอิทธิพลต่อค่าร้อยละการยืดของถุงพลาสติก ซึ่งพิจารณาได้จาก P-Value เช่นกัน แสดงดังตารางที่ 3 และ 4

ในทำนองเดียวกันค่า R^2 ของถุงพลาสติกขนาดกลาง และใหญ่ ก็พบว่ามีค่าสูงเท่ากับ 99.99% และ 99.91% ตามลำดับ นั่นคือ แสดงว่าแบบจำลองเหมาะสมต่อการทำนายผลตอบคือ

ค่าร้อยละการยืดของถุงพลาสติกได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม และค่า P-Value ของ Lack of Fit พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.898 และ 0.118 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าค่า Alpha ต่างยืนยันได้เป็นอย่างดีว่ารูปจำลองการถดถอยมีความเหมาะสม ดังนั้นจึงนำมาใช้ในการพยากรณ์ค่าร้อยละการยืดของถุงพลาสติกแต่ละขนาดอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าร้อยละการยืดของถุงพลาสติกขนาดกลาง

Source	DF	SS	MS	F_0	P-Value
Regression	5	11444.6	2288.91	52939.99	0.000
Linear	2	10691.1	224.93	5202.16	0.000
A	1	5228.1	435.12	10063.31	0.000
B	1	5462.9	38.73	895.82	0.000
Square	2	751.1	375.55	8685.47	0.000
A*A	1	331.3	522.20	12077.11	0.000
B*B	1	419.8	419.76	9708.13	0.000
Interaction	1	2.4	2.42	55.99	0.000
A*B	1	2.4	2.42	55.99	0.000
Residual Error	33	1.4	0.04		
Lack-of-Fit	3	0.0	0.01	0.20	0.898
Pure Error	30	1.4	0.05		
Total	38	11446.0			

$R^2 = 99.99\%$, $R^2_{Adj} = 99.99\%$

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าร้อยละการยืดของ
ถุงพลาสติกขนาดใหญ่

Source	DF	SS	MS	F_0	P- Value
Regression	5	22039.5	4407.9	7739.7	0.000
			0	3	
Linear	2	19824.4	1682.4	2954.1	0.000
			6	9	
A	1	5055.3	2997.1	5262.5	0.000
			3	8	
B	1	14769.1	20.22	35.51	0.000
Square	2	775.1	387.57	680.52	0.000
A*A	1	710.8	774.32	1359.6	0.000
				1	
B*B	1	64.3	64.29	112.89	0.000
Interaction	1	1439.9	1439.9	2528.3	0.000
			2	2	
A*B	1	1439.9	1439.9	2528.3	0.000
			2	2	
Residual	33	18.8	0.57		
Error					
Lack-of-Fit	3	3.3	1.10	2.13	0.413
Pure Error	30	15.5	0.52		
Total	38	22058.3			

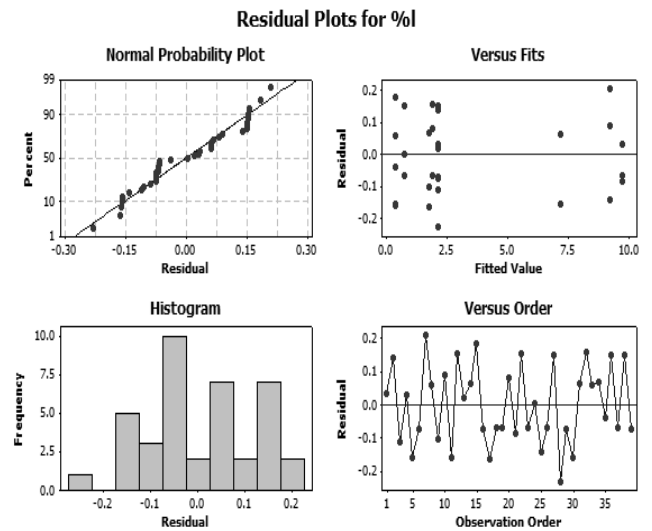
$R^2 = 99.91\%$, $R^2_{Adj} = 99.90\%$

จากตารางที่ 2 ถึงตารางที่ 4 หากพิจารณาค่ากำลังสองเฉลี่ย (Mean Square) ของแต่ละปัจจัยจะพบว่า เวลาการรับภาระมีอิทธิพลต่อค่าร้อยละการยืดมากที่สุด กล่าวคือ เมื่อถุงพลาสติกรับภาระมากเกิดการยืดตัวออกมาก แสดงให้เห็นว่าผู้ผลิตหรือผู้ใช้ ควรเลือกถุงพลาสติกที่มีความหนาเหมาะสมต่อการใช้งาน เพื่อให้ถุงสามารถรับภาระได้โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่สิ่งของที่บรรจุภายในได้เมื่อนำถุงไปหิ้ว และเมื่อพิจารณาค่า R^2 พบว่ามีค่าสูงมาก ทั้งนี้เนื่องจากผู้วิจัยได้ ควบคุมสภาวะการทดสอบถุงพลาสติกภายใต้อุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส ควบคุมตำแหน่งของเครื่องมือวัดให้อยู่ตำแหน่งคงที่ และระบุตำแหน่งการวัดขึ้นทดสอบที่ชัดเจน ส่งผลให้สามารถช่วยลดความผันแปรของค่าร้อยละการยืดจากปัจจัยอื่นๆ ที่มารบกวนได้

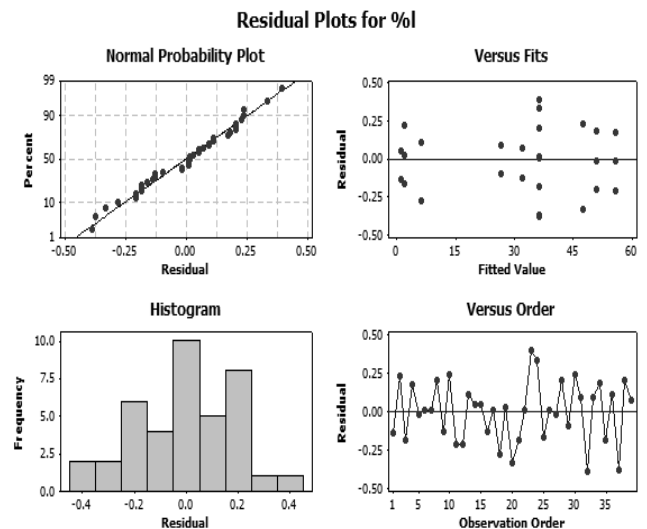
4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง

เมื่อได้ค่าร้อยละการยืดของถุงพลาสติกขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ แล้วนำข้อมูลมาทำการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล ว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ ด้วยการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking) ซึ่งผลการตรวจสอบแสดงดังรูปที่ 7 โดยมีสมมติฐานว่า รูปแบบของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) ที่ได้จากข้อมูลในการทดลองต้อง

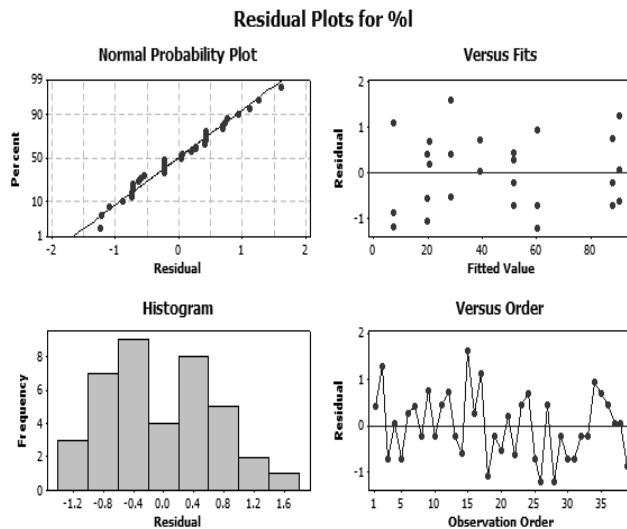
เป็นไปตามสมมติฐาน $E_{ij} \sim NID(0, \sigma^2)$ คือ ค่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ เป็นอิสระต่อกัน และมีความแปรปรวนเท่ากัน



(ก) ถุงพลาสติกขนาดเล็ก



(ข) ถุงพลาสติกขนาดกลาง



(ค) ถุงพลาสติกขนาดใหญ่

รูปที่ 7 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง

จากกราฟแสดงผลการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลองถุงพลาสติกขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ สามารถสรุปได้ว่า

1) ค่าส่วนตกค้างของข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติและค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ (Normality Assumption) เนื่องจากกราฟ Normal Probability Plot มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ไม่มีจุดออกนอกเส้นตรงอย่างชัดเจน และกราฟ Histogram มีแนวโน้มการกระจายตัวแบบปกติ

2) ค่าส่วนตกค้างของข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่ (Constant Variance Assumption) ไม่เปลี่ยนแปลงตามระดับของปัจจัยหรือขึ้นอยู่กับค่าพยากรณ์ของผลตอบ เนื่องจากกราฟ Residuals Versus the Fitted Values มีการกระจายตัวแบบอิสระ ไม่มีแนวโน้มอย่างชัดเจน

3) ค่าส่วนตกค้างของข้อมูลมีการกระจายตัวอิสระ (Independence Assumption) ไม่มีการแปรผันตามปัจจัยหรือลำดับการทดลอง เนื่องจากกราฟ Residuals Versus the Observation Order ไม่มีลักษณะของการลู่เข้าหรือลู่ออก มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ และไม่มีรูปแบบปรากฏให้ชัดเจน

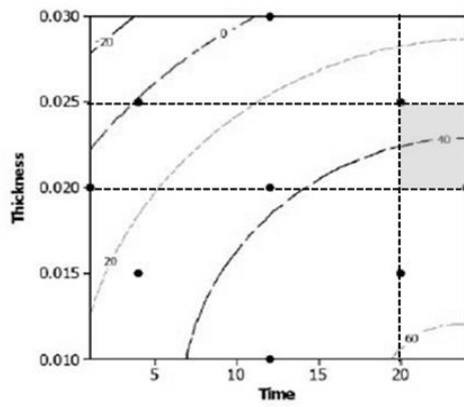
ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลดังกล่าวไม่มีความผิดพลาดของการทดลองที่เกิดขึ้น จึงสามารถนำไปวิเคราะห์การทดลองได้ ทำให้ผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของถุงพลาสติกขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ มีความน่าเชื่อถือ คือ เป็นไปตามสมมติฐาน $E_{ij} \sim NID(0, \sigma^2)$

4.3 การวิเคราะห์หาระดับที่เหมาะสมของปัจจัย

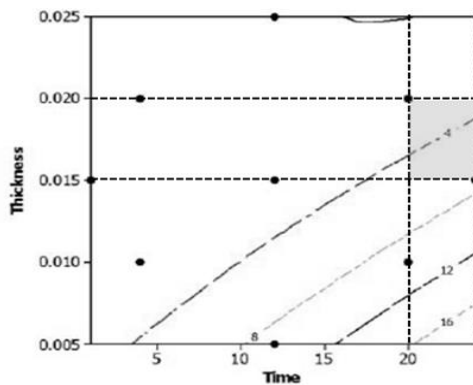
การวิเคราะห์หาความหนาของถุงพลาสติกที่เหมาะสม เมื่อปริมาตรบรรจุสูงสุด ภายใต้เวลาการรับภาระที่แตกต่างกัน จะส่งผลต่อค่าร้อยละการยืดซึ่งเป็นผลตอบสนองจากหน้าที่หลักของถุงพลาสติกที่ทำให้เกิดความเสียหายแก่สิ่งของที่บรรจุภายในเมื่อนำถุงพลาสติกไปหิ้วน้ำหนักที่น้อยที่สุด นั้นหมายความว่าถุงพลาสติกที่นำไปใช้งานนั้นจะต้องยืดไม่น้อยกว่าร้อยละ 100 [8] สำหรับงานวิจัยนี้เป้าหมาย (Target) คือ ค่าร้อยละการยืดไม่เกินร้อยละ 50 เนื่องจากค่าร้อยละการยืดสูงนั้น เสี่ยงต่อการบรรจุสินค้าซึ่งจะทำให้ถุงพลาสติกมีการยืดมากจนกระทั่งเกิดการฉีกขาด เพื่อเป็นการประกันคุณภาพถุงพลาสติก สร้างความมั่นใจให้กับผู้ใช้เมื่อนำไปใช้งานแล้ว ถุงพลาสติกจะไม่ยืดจนขาด ทำความเสียหายแก่สิ่งของที่ระวางหิ้ว ซึ่งผู้ใช้ส่วนใหญ่จะไม่สนใจทำให้เกิดความเสียหายแก่สิ่งของที่บรรจุอยู่ภายในได้เมื่อนำถุงพลาสติกไปหิ้ว [13]

การทดลองเพื่อหาอิทธิพลของปัจจัยโดยการทดลองด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM) จะสามารถแสดงผลลัพธ์อยู่ในเส้นขอบ (Contour Plot) แสดงดังรูปที่ 8 ซึ่งเป็นกราฟแสดงเส้นขอบความสัมพันธ์ของปัจจัยเวลาเก็บปัจจัยความหนาของถุงพลาสติก ที่ส่งผลตอบสนองต่อค่าร้อยละการยืดของถุงพลาสติก พบว่า กราฟมีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง (Non Linear Effect) โดยค่าเป้าหมายที่ร้อยละการยืดไม่เกินร้อยละ 50 (พื้นที่แรงเสียดทาน) สรุปได้เบื้องต้นว่า ถุงพลาสติกขนาดเล็ก ช่วงของความหนาของถุงพลาสติกที่ประมาณ 0.015-0.020 มิลลิเมตร และเวลาการรับภาระควรอยู่ประมาณ 20-24 นาที

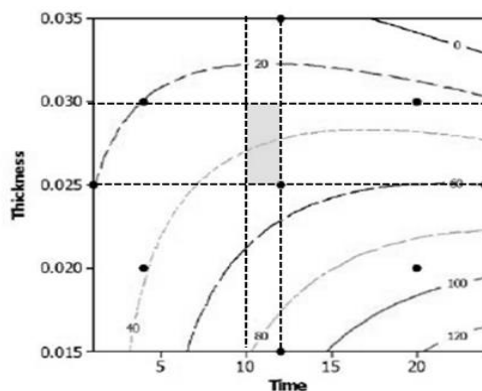
สำหรับถุงพลาสติกขนาดกลาง และใหญ่ ก็มีลักษณะกราฟไม่เป็นเส้นตรง (Non Linear Effect) โดยที่ช่วงความหนาของถุงพลาสติกที่ประมาณ 0.020-0.025 มิลลิเมตร และเวลาการรับภาระควรอยู่ประมาณ 20-24 นาที จะได้ค่าร้อยละการยืดไม่เกินร้อยละ 50 (พื้นที่แรงเสียดทาน) และถุงพลาสติกขนาดใหญ่ ที่ช่วงของความหนาของถุงพลาสติกประมาณ 0.025-0.030 มิลลิเมตร และเวลาการรับภาระควรอยู่ประมาณ 10-12 นาที



(ก) ถูกลาสติกขนาดเล็ก

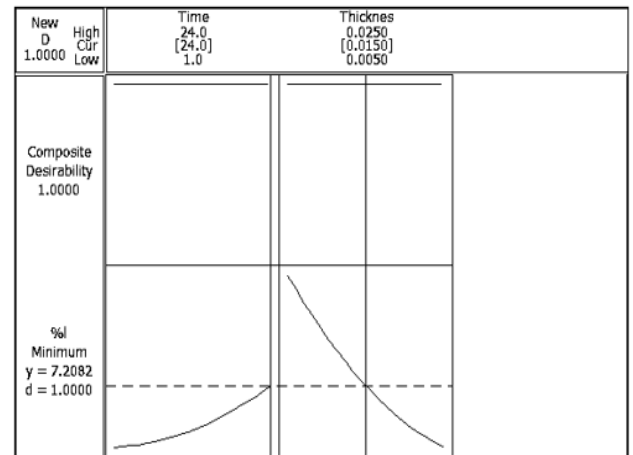


(ข) ถูกลาสติกขนาดกลาง

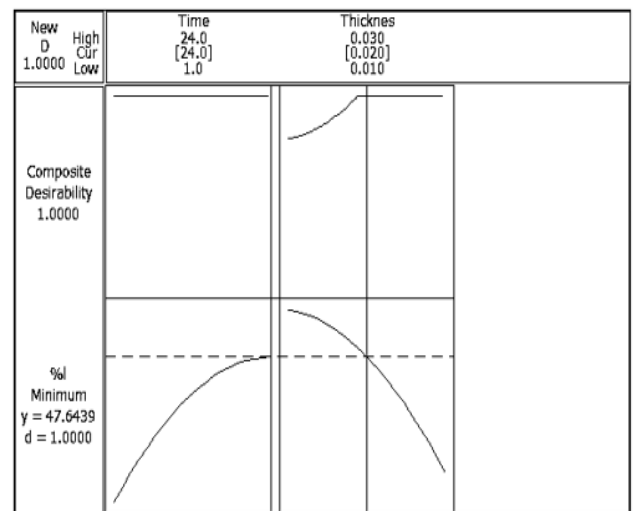


(ค) ถูกลาสติกขนาดใหญ่

(Composite Desirability) เท่ากับ 1.0000 ซึ่งเป็นค่าแสดงความสัมพันธ์ของค่าปัจจัยและผลตอบที่มีความสัมพันธ์กัน 100% นั้นหมายถึง ผลตอบนั้นได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์



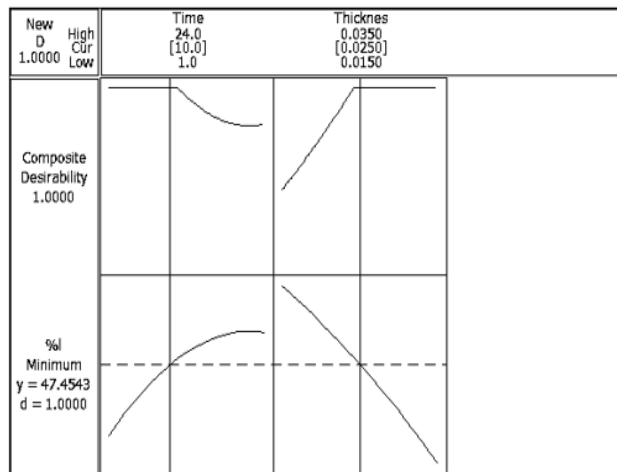
(ก) ถูกลาสติกขนาดเล็ก



(ข) ถูกลาสติกขนาดกลาง

รูปที่ 8 การพล็อตเส้นขอบระหว่างเวลา และความหนาของถูกลาสติก

จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยโดยใช้ Response Optimizer พบว่า ถูกลาสติกขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ ความหนาที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 0.015, 0.020 และ 0.025 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งถูกลาสติกขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ สามารถรับภาระสูงสุดได้ถึง 24, 24 และ 10 นาที ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 9 จะเห็นได้ว่าค่าความพึงพอใจโดยรวม



(ค) ถุงพลาสติกขนาดใหญ่

รูปที่ 9 ผลตอบสนองของระดับปัจจัยที่เหมาะสม

สามารถเขียนแบบจำลองสมการทดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าร้อยละการยืดได้ดังต่อไปนี้

$$y_S = 5.3 + 0.6x_1 - 735.2x_2 + 26895x_2^2 - 42.8x_1x_2 \quad (3)$$

$$y_M = 15.3 + 3.5x_1 + 1324.2x_2 - 0.1x_1^2 - 980.65x_2^2 + 11.2x_1x_2 \quad (4)$$

$$y_L = 10.7 + 1x_1 + 1154.3x_2 - 0.1x_1^2 - 38379.7x_2^2 - 273.9x_1x_2 \quad (5)$$

เมื่อ y คือ ค่าร้อยละการยืดของถุงพลาสติก (%)

x_1 คือ เวลาการรับภาระ (นาท)

x_2 คือ ความหนาของถุงพลาสติก (มิลลิเมตร)

5. การทดสอบเพื่อยืนยันผล

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการใช้งานของถุงพลาสติกหัวรูปตัวยู เพื่อเป็นการประกันคุณภาพถุงพลาสติกเมื่อนำไปใช้รับภาระโดยไม่เกิดความเสียหายแก่สิ่งของที่บรรจุภายในเมื่อถุงพลาสติกเกิดการฉีกขาด จึงทำการทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลองว่า เมื่อนำระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้จากการวิเคราะห์นั้น สามารถนำไปใช้ได้จริง ซึ่งขั้นตอนการทดสอบถุงพลาสติกนั้นทำการทดสอบจากระดับของปัจจัยความหนาที่เหมาะสมของถุงพลาสติกขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ จากการวิเคราะห์ด้วย Response Optimizer คือ 0.015, 0.020 และ 0.025 มิลลิเมตร ตามลำดับ ทดสอบค่าการยืดของถุงพลาสติกเพื่อให้สามารถเลือกใช้ถุงพลาสติกให้เหมาะสมกับจำนวนสินค้า (Capacity Weight) แล้วไม่ส่งผลต่อความแข็งแรงของถุงพลาสติก จึงได้กำหนดค่าเวลาการภาระในการทดสอบ ได้แก่ 12, 15, 18, 21, 24, 27 และ 30 นาที่ เนื่องจากเมื่อได้ทำการ

เพิ่มค่าปัจจัยที่มีผลต่อการยืดของพลาสติกแล้วปรากฏว่าค่าร้อยละการยืดยังคงตามเป้าหมาย ดังนั้นจึงได้ทำการเพิ่มค่าปัจจัยขึ้นเรื่อยๆ จากจุด Origin ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง แล้วพิจารณาค่าร้อยละการยืดของถุงพลาสติกแต่ละขนาด

ผลการทดสอบพบว่า ค่าร้อยละการยืดของถุงพลาสติกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($\alpha = 0.05$) โดยที่ถุงพลาสติกขนาดเล็กที่ความหนา 0.015 มิลลิเมตร สามารถรับภาระที่ปริมาตรบรรจุสูงสุดได้ถึง 30 นาที่ ได้ค่าร้อยละการยืดเฉลี่ยร้อยละ 5.63 สำหรับถุงพลาสติกขนาดกลางที่ความหนา 0.020 มิลลิเมตร สามารถรับภาระสูงสุดได้ถึง 30 นาที่เช่นกัน ได้ค่าร้อยละการยืดเฉลี่ยร้อยละ 46.54 และถุงพลาสติกขนาดใหญ่ที่ความหนา 0.025 สามารถรับภาระสูงสุดได้ 21 นาที่ ค่าร้อยละการยืดเฉลี่ยที่ร้อยละ 47.38 นั้นหมายความว่า ผลจากการทดสอบเพื่อยืนยันได้ค่าความหนาจากการวิเคราะห์ด้วย Response Optimizer เมื่อทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองถุงพลาสติกขนาดเล็ก กลาง และใหญ่สามารถรับภาระได้เพิ่มขึ้นจากเดิม แต่จะเห็นได้ว่าถุงพลาสติกขนาดใหญ่มีเวลารับภาระได้น้อยกว่าถุงพลาสติกขนาดเล็ก และกลางเหมือนเดิม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาตรการบรรจุที่รับได้มากกว่า 3-5 เท่าของถุงพลาสติกขนาดเล็ก และกลาง จึงมีแรงกระทำในแนวตั้งมากกว่า ส่งผลให้การยืดออกของจุดคราก หรือจุดแตกเทียบกับความยาวในตอนเริ่มต้นมากกว่าทำให้เวลาการรับภาระสั้นกว่า

6. สรุป

ผลจากการศึกษาถุงพลาสติกหัวรูปตัวยูขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ พบว่าถุงพลาสติกแต่ละขนาดมีปริมาตรการบรรจุที่แตกต่างกัน โดยปริมาณการบรรจุสูงสุด (Full Load) ของถุงพลาสติกขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ มีปริมาตรเท่ากับ 0.00327, 0.00902 และ 0.001632 ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ หรือ 3.27, 9.02 และ 16.32 ลิตร ตามลำดับ ส่งผลให้ลักษณะการใช้งานถุงพลาสติกแต่ละขนาดแตกต่างกัน งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ออกแบบการทดลองแบบเซ็นทรัลคอมโพสิต ผลที่ได้จากการทดลองทำให้ทราบปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่าร้อยละการยืดของถุงพลาสติกขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ คือ เวลาการรับภาระและความหนาของถุงพลาสติก เมื่อหาความสัมพันธ์ของความหนาที่เหมาะสมต่อการใช้งาน พบว่า การใช้งานถุงพลาสติกบรรจุสิ่งของที่ปริมาตรการบรรจุสูงสุด ถุงพลาสติกขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ มีความหนาที่เหมาะสมเท่ากับ 0.015, 0.020 และ 0.025 มิลลิเมตร ตามลำดับ ทำให้ถุงพลาสติกสามารถรับภาระได้มากกว่ามาตรฐาน 8 นาที่ (ค่าเฉลี่ยการใช้งานถุงพลาสติกเท่ากับ 12 นาที่) รวมถึงค่าร้อยละการยืดของถุงพลาสติกไม่เกินร้อยละ 50 ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานอุตสาหกรรม ผลที่ได้จากงานวิจัยสามารถนำไปเป็นปัจจัยในการ

ควบคุมกระบวนการผลิตเพื่อประกันคุณภาพถุงพลาสติกได้ โดยการพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของความหนาของถุงพลาสติกต่อปริมาณการบรรจุให้เหมาะสมกับการใช้งาน ทำให้ความหนาถุงพลาสติกลดลง 0.001 มิลลิเมตร หรือ 1 ไมครอน น้ำหนักถุงพลาสติกจะลดลง 0.14 กรัมต่อใบ จากการทดลองสามารถทำให้ลดการใช้เม็ดพลาสติกประมาณ 0.7 กรัมต่อใบ หรือคิดเป็น 40 เปอร์เซ็นต์ต่อใบ

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย ภายใต้โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม-พวอ. ระดับปริญญาโท ประจำปี 2556 และบริษัท ตงอินเตอร์เนชั่นแนลแพ็คเก็จจิ้ง จำกัด

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] OIE, Summary of Industrial Economics in 2011 and Trends for 2012, Bangkok, Ministry of Industry, 2011 (in Thai).
- [2] Dilli R, "Comparison of existing life cycle analysis of shopping bag alternatives: Final Report", Sustainability Victoria, Melbourne, Australia. 2007.
- [3] P.Gerard, W.N. Shuk, L.L. Lee, "Consumer perceptions of shopping bags," Marketing Intelligence & Planning, 19 (7), pp.475 – 482, 2001.
- [4] S.S Muthu, Y. Li, J.Y. Hu, P.Y. Mok, Y.F. Mao, Q.H. Li, X.X. Wu, "Assessment of eco-functional properties of shopping bags: Development of a novel eco-functional tester," International Journal of Clothing Science and Technology, 25 (3), pp. 208 – 225, 2013
- [5] N. Sriokcharoen, K. Tanakulchitavee and S. Nathaphan, Optimal Thickness for Dimensions and Capacity Weights of U-shaped Plastics Shopping Bags, Proceedings of The 4th National Conference of Industrial Operations Development 2013; 2013 May 17; Bangkok, Thailand, p. 510-516 (in Thai).
- [6] No More Baggage.Org. (2012). Did you know how recent disposable bags were invented. Retrieved June 16, 2014, from <http://www.nomorebaggage.org/facts.php>
- [7] Marrickville Council. (2012). Plastic bag reduction around the world. Retrieved June 16, 2012, from <http://www.marrickville.nsw.gov.au/MARRICKVILLE/INTERNET/RESOURCES/DOCUMENTS/pdfs/bagbusters/around-the-world.pdf>
- [8] Notification of Ministry of Industry. U-shaped plastic shopping bag: TIS.1116-1992, 1992 (in Thai).
- [9] K. Tanakulchitavee and S. Nathaphan, "Recycled plastic resin proportion of u-shaped plastic bag optimization," Proceedings of Operations Research Network Conference 2013; 2013 September 11-14; Nakhon Ratchasima, Thailand, pp. 178-185 (in Thai).
- [10] S. Ebrahim, "Gusseted plastic bag," U.S. Patent 6,767,317 B2, Jul. 27, 2004.
- [11] Ugra. (2012). Ugra –Certificates for carrier bags and bags. [Online]. Available: http://www.ugra.ch/picture/upload/file/Certification_Carrier_bags_EN.pdf.
- [12] D.C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, 8th ed, John Wiley & Son, 2013.
- [13] I Pattamatamku, "The study of U-shaped plastic shopping bags Failures", Proceedings of the 16th IE Network conference; 2007 October 24-26; Songkhla, Thailand, pp. 661-664 (in Thai).