Proceedings

Operations Research Network Conference 2013

การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ ประจำปี 2556

11 - 14 กันยายน 2556

กรีนเนอรี่ รีสอร์ท เขาใหญ่ จ.นครราชสีมา

สัดส่วนของเม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่เหมาะสมของถุงพลาสติกหิ้วรูปตัวยู

RECYCLED PLASTIC RESIN PROPOTION OF U-SHAPED PLASTIC BAG OPTIMIZATION

คนัน ธนกุลชัยทวี และ ศุภชัย นาทะพันธ์*
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดลพุทธมณฑล นครปฐม 73170
E-mail: khanan.tan@student.mahidol.ac.th,supphachai.nat@mahidol.ac.th*

บทคัดย่อ

กระบวนการผลิตถุงพลาสติกหิ้วรูปตัวยูด้วยพลาสติกโพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมักจะพบข้อบกพร่องที่เกิดจากความไม่แน่นอนในกระบวนการผลิต โดยเฉพาะกระบวนการปิดผนึกและตัดถุงพลาสติกเป็นเหตุให้ผู้ประกอบการต้องนำของเสียเหล่านั้นเข้าสู่กระบวนการหลอมพลาสติกใหม่ ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตเพิ่มขึ้น อีกทั้งถุงที่ผลิตใหม่อาจมีคุณสมบัติไม่เหมือนกับถุงที่ผลิตจากเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของถุงที่มีสัดส่วนการผสมของเม็ดรีไซเคิลที่ทำให้มีคุณสมบัติสอดคล้องกับ มอก.1116-2535 ได้แก่ การยืด ความหนา และความแข็งแรงของตะเข็บ จากนั้นประยุกต์การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสมของค่าร้อยละการยืดและค่าความแข็งแรงของตะเข็บต่อการรับภาระ ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองคือ สัดส่วนเม็ดรีไซเคิล อุณหภูมิปิดผนึก และความเร็วในการป้อนแผ่นฟิล์ม ผลการวิจัย พบว่าสัดส่วนของเม็ดรีไซเคิลที่เหมาะสมต่อการผลิตถุงขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ คือ 30% และปัจจัยที่มีอิทธิผลต่อการรับภาระ ได้แก่ อุณหภูมิปิดผนึก 152, 140 และ 140 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และความเร็วในการป้อนแผ่นฟิล์ม 100, 100 และ 80 ชิ้นต่อนาที ตามลำดับ จะทำให้คุณสมบัติทางกลของถุงได้ค่าไม่ต่างจากถุงจากเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ ทั้งยังสามารถนำไปสู่การลดต้นทุนการผลิตได้ประมาณ33.3%

คำสำคัญ: โพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง,เม็ดพลาสติกรีไซเคิล,ค่าความแข็งแรงของตะเข็บ, การออกแบบการทดลอง

Abstract

High-density polyethylene (HDPE) U-shape plastic bag manufacturing process always founddefects, which occurred by uncertainties in the manufacturing process, especially, sealing and cutting process. These are caused entrepreneurs need to bring those defects intorecycling process, whichincreases cost of production. Moreover, recycling may not produce the same properties as using pure plasticresin. Thus, the objective of this research is to studyproportion of recycled plastic resin which the plastic bags properties still conform to the requirement of TIS 1116-2535 (1992) including elongation, thickness and seal strength. The application of two-level factorial designs is to analyze factors that optimize elongation percent and seal strength for capacity weight of plastics bags. The experimental factors are proportion of recycled plastic resin, seal temperature and film feeding speed.The experimental results found that the optimal recycled plastic proportion of small, medium and large plastic bags are 30%. Load are effected by seal temperature factor; 152, 140 and 140 ℃, respectively, and film feeding speed; 100, 100 and 80 piece per minute, respectively following the sizes of plastic bags. They reveal mechanical properties of plastic bags in each size are not different from pure plastic bags and lead to cost reduction approximately 33.3%.

Keywords: High-density polyethylene, Recycled plastic resin, Capacity weight, Seal strength, Experimental design

1. บทนำ

อุตสาหกรรมพลาสติกถือเป็นอุตสาหกรรมหลักของประเทศที่มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องประกอบด้วยโรงงานอุตสาหกรรมจำนวนมากทั้งขนาดใหญ่และขนาดย่อมอยู่ประมาณ 5,000 แห่ง สามารถทำรายได้ให้กับประเทศกว่า 2.2 แสนล้านบาท (สำนักเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2554) โดยเฉพาะถุงพลาสติกหิ้วรูปตัวยูหรือถุงก๊อปแก๊ป (Pasticshopping (grocery) bags) ซึ่งเป็นบรรจุภัณฑ์ชนิดหนึ่งของผลิตภัณฑ์จากการแปรรูปพลาสติกจากเม็ดพลาสติกชนิดพลาสติกโพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High-density polyethylene; HDPE) ได้รับความนิยมและมีการใช้เป็นจำนวนมากเพื่อบรรจุสินค้าจากตลาด ร้านค้า ร้านสะดวกซื้อ หรือซุปเปอร์มาร์เก็ตเนื่องจากมีหลายรูปแบบ น้ำหนักเบา ราคาถูก สะดวกต่อการใช้งาน และมีความทนทาน (Dilli, 2007) เหมาะสำหรับการบรรจุสินค้าหลายๆชิ้นในถุงเดียวกัน มีการใช้งานถุงพลาสติกชนิดนี้ทั่วโลกมากกว่า 5 แสนล้านใบต่อปี(Clean Up Australia, 2012) ซึ่งขนาดถุงพลาสติกของประเทศไทยในการจำหน่ายและส่งออกได้มีการกำหนดช่วงของขนาด (กว้าง × ยาว) โดยแบ่งเป็น 3 ลักษณะ คือขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ แสดงดังตารางที่ 1 โดยการผลิตถุงพลาสติกแต่ละขนาดนั้นขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้าหรือผู้ใช้งาน ดังนั้นการหาปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเพื่อนำไปสู่การควบคุมกระบวนการผลิตทำให้สอดคล้องหรือทำให้มีมาตรฐานผลิตภัณฑ์ นั้นเป็นกิจกรรมที่สำคัญขององค์กรในการพัฒนาอย่างยั่งยืน

ตารางที่ 1 ขนาดถุงพลาสติกในประเทศไทย

ขนาด	กว้าง (มม.)	ยาว (มม.)
เล็ก (S)	150 ถึง228	300 ถึง 510
กลาง (M)	229ถึง 305	450 ถึง 635
ใหญ่ (L)	306ถึง 450	685 ถึง 762

ที่มา : Commission USIT (2010)

จากการศึกษากระบวนการผลิตถุงพลาสติกหิ้วรูปตัวยูนั้น ปัญหาที่เกิดขึ้นในการผลิตมักจะพบข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากความไม่แน่นอนในกระบวนการผลิตและที่เป็นข้อร้องเรียนจากลูกค้า โดยเฉพาะกระบวนการปิดผนึกและตัดถุงพลาสติกเช่น รอยปิดผนึกถุงไม่แข็งแรง ถุงขาด บรรจุสินค้าแล้วรั่ว เป็นต้น เป็นเหตุให้ผู้ประกอบการต้องนำของเสียเหล่านั้นเข้าสู่กระบวนการหลอมเม็ดพลาสติกใหม่ ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้ผู้ประกอบการส่วนมากจึงหันมาใช้เม็ดพลาสติกรีไซเคิลแทนเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ ซึ่งมีราคาถูกกว่าเท่าตัว (เสาวนิตย์, 2553) แต่ถ้าผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลในสัดส่วนที่มากถึงร้อยละ30 จะทำให้ถุงพลาสติกที่ผลิตใหม่อาจมีคุณสมบัติไม่เหมือนกับถุงพลาสติกที่ผลิตจากเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์อย่างเดียว เนื่องจากสมบัติของเม็ดพลาสติกรีไซเคิลในการหลอมแต่ละครั้งที่ส่งเข้ามาผลิตมีความไม่แน่นอน ทำให้เนื้อฟิล์มของถุงพลาสติกที่ผลิตออกมามีสมบัติเชิงกลแตกต่างกันออกไป (สุริยา, 2546) อาจส่งผลต่อการใช้งานถุงพลาสติกเมื่อบรรจุสินค้า งานวิจัยนี้จึงศึกษาสมบัติของถุงพลาสติกที่มีสัดส่วนการผสมของเม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่ทำให้มีคุณสมบัติสอดคล้องกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม(มอก.) 1116-2535 ถุงพลาสติกหิ้วรูปตัวยู ที่มีอิทธิผลต่อการยืดของถุงพลาสติก (Strain) และค่าความแข็งแรงของตะเข็บ (Seal strength) ส่งผลต่อการใช้งานหลักของถุงพลาสติก คือการบรรจุสินค้า (Miller, 2012)

2. การศึกษาสมบัติของถุงพลาสติกหิ้วรูปตัวยู

สมบัติทางกลของถุงพลาสติกหิ้วรูปตัวยูตาม มอก. 1116 – 2535 ประกอบด้วย ความต้านแรงตึงและการยืด ความทนแรงกระแทก ความแข็งแรงของตะเข็บ และการรั่ว ซึ่งมีเนื้อหาครอบคลุมเฉพาะถุงพลาสติกที่ทำด้วยฟิล์มโพลิเอทิลีนชั้นเดียว จึงมีหลักเกณฑ์เหมาะสมสำหรับการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุมากกว่า ซึ่งยังไม่สามารถตอบสนองลักษณะการใช้งานของถุงพลาสติกได้จริง แต่จากการศึกษาข้างต้นจะเห็นได้ว่าผู้ประกอบการมีการใช้เม็ดพลาสติกรีไซเคิลเป็นส่วนผสมในการผลิตถุงพลาสติกหิ้วรูปตัวยู เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิต ในงานวิจัยนี้จึงทดสอบสมบัติของถุงพลาสติกหิ้วรูปตัวยูที่มีส่วนผสมของเม็ดพลาสติกรีไซเคิลให้มีคุณสมบัติสอดคล้องกับ มอก. 1116-2535 ได้แก่ การยืด ความหนา ความแข็งแรงของตะเข็บ

ถุงพลาสติกที่ใช้ในการทดลองเป็นถุงพลาสติกใสชนิดโพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่มีส่วนผสมของเม็ดรีไซเคิลที่เกิดจากเม็ดพลาสติกชนิดเดียวกันที่ถูกนำไปหลอม

หลายครั้งจำแนกเป็น 3 ขนาด ได้แก่ ขนาดเล็ก 153 ×357 มม. (6 ×14 นิ้ว) ขนาดกลาง 234 × 457 มม., (9 ×18 นิ้ว) และ 350 ×508 มม. (12 ×20 นิ้ว) โดยกำหนดความหนาที่เหมาะสมของถุงพลาสติกแต่ละขนาดในการทดสอบคือ 0.015, 0.020 และ 0.025 มม. ตามลำดับ (ณัฐวรี, 2556) แสดงดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 ถุงพลาสติกขนาดเล็กขนาดกลางและขนาดใหญ่

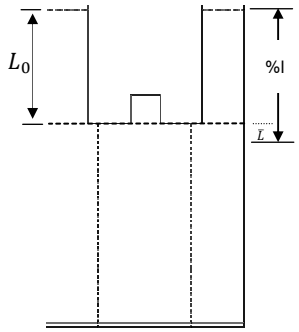
2.1ความหนา

วัดความหนาเฉลี่ยของถุงพลาสติกตัวอย่างบริเวณหูหิ้ว 4 จุด โดยใช้ไมโครมิเตอร์ที่มีความละเอียด 0.001 มม. เป็นเครื่องมือวัด

รูปที่2ตำแหน่งในการวัดความหนา

2.2การยืด

การศึกษาการยืดของของถุงพลาสติกตาม มอก. 1116-2535 ได้กำหนดให้มีการทดสอบความต้านแรงตึงและการยืด ซึ่งจะแสดงถึงสมบัติในการรับน้ำหนักและการใช้งาน ทดสอบความยืดด้วยการรับน้ำหนักบรรจุโดยการบรรจุทราย เนื่องจากทรายสามารถกระจายน้ำหนักได้ทั่วทั้งพื้นที่รับแรง แขวนไว้เป็นเวลา 12 นาที โดยกำหนดน้ำหนักบรรจุที่เหมาะสมในการทดสอบของถุงขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ ที่ 5, 7 และ 9 กิโลกรัม ตามลำดับ แล้ววัดค่าร้อยละการยืด (%elongation หรือ %l) ที่หูหิ้วเฉลี่ยจากขอบตะเข็บจนถึงปากถุงทั้ง 4 จุด เนื่องจากบริเวณนั้นเป็นพื้นที่มีค่าร้อยละการยืดสูงสุดเมื่อถุงพลาสติกได้รับภาระ(ณัฐวรี, 2556)



รูปที่3การทดสอบการยืดของถุงพลาสติก

สามารถคำนวณค่าร้อยละการยืดได้จากสูตรต่อไปนี้

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

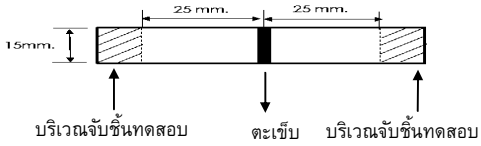
โดย l คือค่าร้อยละของการยืด(%)

$\bar{L}$ คือความยาวเฉลี่ยของหูหิ้วหลังทดสอบ(มม.)

L_0 คือ ความยาวของหูหิ้วก่อนทดสอบ (มม.)

2.3ความแข็งแรงของตะเข็บ

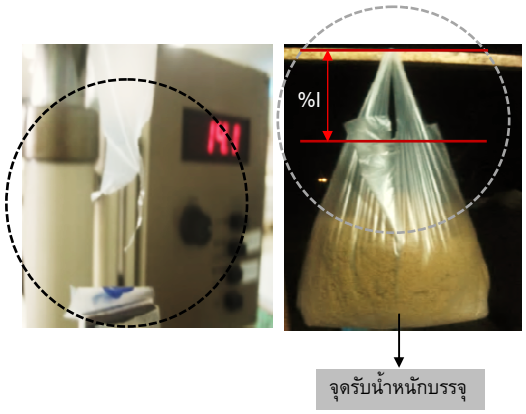
การทดสอบค่าความแข็งแรงตะเข็บ โดยวิธีการสุ่มจากถุงในแต่ละขนาด จำนวน 3 ใบ มาตัดขนาดชิ้นทดสอบเพื่อใช้ทดสอบแรงดึงตาม มอก.1116-2535 ซึ่งรูปร่างขนาดและตำแหน่งที่ตัดชิ้นงาน แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงขนาดชิ้นทดสอบในการรับแรงดึง

ผลจากการศึกษาสมบัติของถุงพลาสติกหิ้วรูปตัวยูที่มีส่วนผสมของเม็ดพลาสติกรีไซเคิล โดยวิธีการสุ่มจากถุงในแต่ละขนาด จำนวน 3 ใบ พบว่าได้ค่ามากกว่าเกณฑ์ที่มอก.1116-2535 กำหนด และลักษณะของเนื้อถุงพลาสติกไม่มีจุดบกพร่องที่แสดงถึงข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ ซึ่ง

แสดงให้เห็นว่าถุงพลาสติกประเภทนี้สามารถที่จะนำมาใช้บรรจุสิ่งของได้ดีในระดับหนึ่ง



รูปที่ 5ลักษณะชิ้นทดสอบเมื่อรับแรงดึงสูงสุด และการยืดของหูหิ้วเมื่อรับภาระ

3. การออกแบบการทดลอง

Ebrahim (2004) อธิบายถึงการใช้งานหลักของถุงพลาสติกคือการรับน้ำหนักบรรจุ โดยถุงจะรับภาระมากบริเวณหูหิ้ว (Handle) และก้นถุง (Bottom seal)ซึ่งการที่ถุงพลาสติกจะมีความแข็งแรงมากน้อยเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ 2 ประการคือ สัดส่วนของเม็ดพลาสติกที่ใช้ในการผลิต และสภาวะของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการผลิตถุงพลาสติก ได้แก่ อุณหภูมิปิดผนึก และ ความเร็วในป้อนแผ่นฟิล์ม ปัจจัยเหล่านี้จะส่งผลต่อค่าร้อยละการยืดและความแข็งแรงของตะเข็บเมื่อรับแรงดึงของถุงพลาสติก เนื่องจากถ้าอุณหภูมิปิดผนึกมากหรือน้อยเกินไปแล้วจะทำให้ความทนทานของรอยตะเข็บลดลงส่งผลต่อการรับภาระ (Load)อีกทั้งความเร็วในการป้อนแผ่นฟิล์มเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิปิดผนึก เพราะเกี่ยวเนื่องกับเวลาในการปิดผนึก ถ้าการปรับความเร็วในป้อนแผ่นฟิล์มไม่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ก็จะส่งผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงของตะเข็บ (ปณัยกรณ์, 2544)

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้หลักการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ(2^k) โดยที่แต่ละปัจจัยมี2 ระดับ คือระดับต่ำ (-1)และระดับสูง (1)แสดงดังในตารางที่2การออกแบบการทดลองถุงพลาสติกหิ้วรูปตัวยูแต่ละขนาดจะได้สภาวะการทดลอง8สภาวะแต่ละการทดลองจะทำซ้ำ2ครั้งแบบสุ่มเพื่อลดความผิดพลาดจากการทดลองแล้วบันทึกค่าร้อยละของการยืดและค่าความแข็งแรงของตะเข็บเมื่อรับแรงดึง

ตารางที่ 2ระดับปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง

ปัจจัย	ระดับปัจจัย	
	-1	1
A: สัดส่วนเม็ดพลาสติกรีไซเคิล (%)	10	30
B: อุณหภูมิปิดผนึก (℃)	140	160
C:ความเร็วในการป้อน (ชิ้นต่อนาที)	80	100

โดยระดับของปัจจัยนี้จะนำมาจากสภาพการทำงานจริงที่เกิดขึ้นในการผลิตและค่าปัจจัยศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการเป่าแผ่นฟิล์ม ซึ่งปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษาไม่มีการกำหนดระดับของปัจจัยที่แน่นอน จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าที่สัดส่วนเม็ดพลาสติกรีไซเคิลมากกว่าร้อยละ30ก็จะให้ค่าร้อยละการยืดแตกต่างกันกับเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ และเมื่อกำหนดระดับปัจจัยนอกช่วงดังกล่าวจะทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านกำหนดเป็นจำนวนมาก

4. ผลการวิจัย

การดำเนินการทดลองเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของเม็ดรีไซเคิลของถุงพลาสติกหิ้วรูปตัวยูที่ส่งผลต่อการใช้งานหลักของถุงพลาสติก เริ่มจากทดสอบหาค่าร้อยละการยืดและค่าความแข็งแรงตะเข็บเมื่อรับแรงดึงของถุงพลาสติกขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ด้วยวิธีการทดสอบสมบัติของถุงพลาสติกดังกล่าวข้างต้น จากนั้นวิเคราะห์ผลการทดลองโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน ตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง และวิเคราะห์หาระดับที่สมของปัจจัยโดยใช้โปรแกรมMinitab 16โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่95เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดในการดำเนินงานวิจัยและผลลัพธ์จากการดำเนินงานวิจัยได้ดังต่อไปนี้

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนถุงพลาสติกขนาดเล็กพบว่าปัจจัยหลัก (Main Effect) ได้แก่ สัดส่วนเม็ดพลาสติกรีไซเคิล อุณหภูมิปิดผนึก และ ความเร็วในป้อนแผ่นฟิล์มมีอิทธิพลต่อค่าร้อยละการยืด ยกเว้นความเร็วในการป้อนแผ่นฟิล์มที่ไม่มีอิทธิต่อค่าความแข็งแรงของตะเข็บอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05พิจารณาได้จากค่าP-Value จากการคำนวณด้วยโปรแกรมMinitab มีค่าน้อยกว่าค่า Alpha ซึ่งผู้วิจัยกำหนดค่าระดับนัยสำคัญα=0.05 โดยปัจจัยร่วมทั้ง 3 ปัจจัย (3-way Interactions) ไม่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงของตะเข็บ พิจารณาจากได้จากค่าP-Value ที่ได้มีค่ามากกว่าค่าAlpha

นอกจากนั้นเมื่อทำการตรวจสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจตัดสินใจ (R-Square : R-sq)พบว่ามีค่าสูงแสดงว่าแบบจำลองเหมาะสมต่อการทำนายค่าร้อยละของการยืดและค่าความแข็งแรงของตะเข็บเมื่อถุงรับภาระได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมแสดงได้ดังตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าร้อยละการยืดของถุงพลาสติกขนาดเล็ก

Source	DF	SS	MS	F	P
A	1	16.4430	16.4430	68.63	0.000
B	1	10.1442	10.1442	42.34	0.000
C	1	28.8906	28.8906	120.59	0.000
A*B	1	2.5921	2.5921	10.82	0.011
A*C	1	1.3225	1.3225	5.52	0.047
B*C	1	27.984	27.9841	116.81	0.000
A*B*C	1	14.7072	14.7072	61.39	0.000
Error	8	1.917	0.2396		
Total	15	104.000			
R-Sq = 98.16%		R-Sq (adj) = 96.54%			

* ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าแข็งแรงของตะเข็บของถุงพลาสติกขนาดเล็ก

Source	DF	SS	MS	F	P
A	1	0.07563	0.01562	4.38	0.042
B	1	3.33062	0.07536	2.47	0.000
C	1	0.03063	0.03063	1.00	0.347*
A*B	1	0.39062	0.39062	12.76	0.007
A*C	1	0.68063	0.68063	22.22	0.002
B*C	1	4.73063	4.73063	154.47	0.000
A*B*C	1	0.14062	0.14062	4.59	0.064*
Error	8	0.24500			
Total	15	9.62437			
R-Sq = 97.45%		R-Sq (adj) = 95.23%			

* ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ถุงพลาสติกขนาดกลาง ผลวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า สัดส่วนเม็ดพลาสติกรีไซเคิล และอุณหภูมิปิดผนึกที่มีอิทธิพลเฉพาะค่าร้อยละการยืดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยที่ปัจจัยร่วม 2 และ 3 ปัจจัยมีอิทธิพลต่อค่าร้อยละการยืดของถุงขนาดกลาง ยกเว้นเพียงปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิปิดผนึกกับความเร็วในการป้อนแผ่นพลาสติก และปัจจัยร่วมระหว่างสัดส่วนเม็ดพลาสติกรีไซเคิลอุณหภูมิปิดผนึก และความเร็วในการป้อนแผ่นพลาสติกที่ไม่มีอิทธิพลต่อค่าร้อยละการยืดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เช่นเดียวกันกับถุงพลาสติกขนาดเล็กค่าR-sqก็พบว่ามีค่าสูง นั้นคือ ผลการวิเคราะห์เหมาะสมต่อการทำนายแสดงได้ดังตารางที่ 5 และ 6

ตารางที่ 5การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าร้อยละการยืดของถุงพลาสติกขนาดกลาง

Source	DF	SS	MS	F	P
A	1	50.0203	50.0203	104.92	0.000
B	1	7.4393	7.4393	15.60	0.004
C	1	0.4389	0.4389	0.92	0.365*
A*B	1	22.5388	22.5388	47.28	0.000
A*C	1	0.7268	0.7268	1.52	0.252*
B*C	1	7.0889	7.0889	14.87	0.005
A*B*C	1	1.1289	1.1289	2.37	0.162*
Error	8	3.8138	0.4767		
Total	15	93.1956			
R-Sq = 95.91%		R-Sq (adj) = 92.33%			

* ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 6การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าแข็งแรงของตะเข็บของถุงพลาสติกขนาดกลาง

Source	DF	SS	MS	F	P
A	1	1.15562	1.15562	52.83	0.000
B	1	0.22563	0.22563	10.31	0.012
C	1	2.80562	2.80562	128.26	0.000
A*B	1	0.10563	0.10563	4.83	0.059*
A*C	1	0.00062	0.00062	0.03	0.087*
B*C	1	1.89062	1.89062	86.43	0.000
A*B*C	1	2.64063	2.64063	120.71	0.000
Error	8	0.17500	0.02187		
Total	15	8.9997			
R-Sq = 98.06%		R-Sq (adj) = 96.35%			

* ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

สำหรับการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ของถุงขนาดใหญ่มีลักษณะเช่นเดียวกันกับถุงขนาดเล็กและขนาดกลางกล่าวคือวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการคำนวณ

พบว่า ปัจจัยหลัก ได้แก่ อุณหภูมิปิดผนึกมีอิทธิพลต่อค่าร้อยการยืดและค่าความแข็งแรงของตะเข็บ และความเร็วในการป้อนแผ่นฟิล์มมีอิทธิพลต่อค่าร้อยละการยืดของถุงพลาสติกด้วย โดยที่ปัจจัยร่วม 2 และ 3 ปัจจัยทั้งหมดไม่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงของตะเข็บของถุงขนาดใหญ่ยกเว้นเพียงปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิปิดผนึกกับความเร็วในการป้อนแผ่นพลาสติกที่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่ไม่มีอิทธิพลต่อร้อยละการยืดเมื่อพิจารณาค่าR-sqแล้วถือว่ามีค่าสูง จึงสรุปได้ว่าผลการวิเคราะห์มีความถูกต้องและเหมาะสม แสดงได้ดังตารางที่ 7และ 8

ตารางที่ 7การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าร้อยละการยืดของถุงพลาสติกขนาดใหญ่

Source	DF	SS	MS	F	P
A	1	292.838	292.838	32.82	0.000
B	1	30.443	30.443	3.41	0.102*
C	1	35.017	35.017	3.92	0.083*
A*B	1	49.175	49.175	5.51	0.047
A*C	1	143.101	143.101	16.04	0.004
B*C	1	16.790	16.790	1.88	0.207*
A*B*C	1	153.698	153.698	17.23	0.003
Error	8	71.378	8.922		
Total	15	792.439			
R-Sq = 90.99%		R-Sq (adj) = 83.11%			

* ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

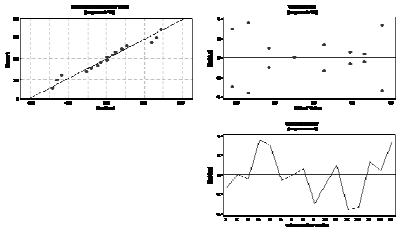
ตารางที่ 8การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าแข็งแรงของตะเข็บของถุงพลาสติกใหญ่

Source	DF	SS	MS	F	P
A	1	20.7025	20.7025	54.84	0.000
B	1	0.0100	0.0100	0.03	0.875*
C	1	6.0025	6.0025	15.90	0.004
A*B	1	0.9025	0.9025	2.39	0.161*
A*C	1	0.2500	0.2500	0.66	0.439*
B*C	1	2.4025	2.4025	6.36	0.036
A*B*C	1	0.3600	0.3600	0.95	0.057*
Error	8	3.0200	0.3775		
Total	15	33.6500			
R-Sq = 91.03%		R-Sq (adj) = 83.01%			

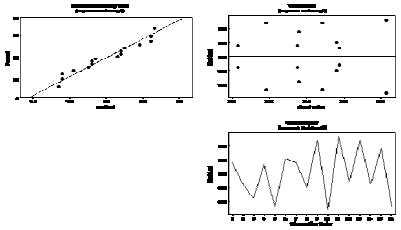
* ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

จากตารางที่ 3 – 8 เมื่อพิจารณาแต่ละปัจจัยจะพบว่าเมื่อขนาดและความหนาของถุงพลาสติกเพิ่มขึ้นสัดส่วนเม็ดพลาสติกรีไซเคิลมีอิทธิผลต่อค่าร้อยละการยืดและค่าความแข็งแรงของตะเข็บอย่างมาก แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนเม็ดพลาสติกรีไซเคิลนั้นเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการผลิตถุงพลาสติกเพื่อให้ถุงสามารถรับภาระได้โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่สิ่งของที่บรรจุภายในได้เมื่อนำถุงไปหิ้ว

แล้วทำการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking) พบว่าค่าส่วนตกค้าง(e_{ijkl}) ข้อมูลผลตอบของค่าร้อยละการยืดและค่าความแข็งแรงของตะเข็บเมื่อรับแรงดึงของถุงขนาดเล็กกลาง และใหญ่ มีกระจายตัวแบบปกติเป็นอิสระต่อกันด้วยค่าความแปรปรวนเท่ากันแสดงดังตัวอย่างรูปที่6และ 7 ดังนั้นข้อมูลดังกล่าวมีความน่าเชื่อถือและเหมาะสมเพียงพอที่นำไปใช้วิเคราะห์การทดลองได้



รูปที่6 กราฟแสดงการวิเคราะห์ค่าส่วนตกค้างของข้อมูลของค่าร้อยละการยืด (ถุงพลาสติกขนาดใหญ่)

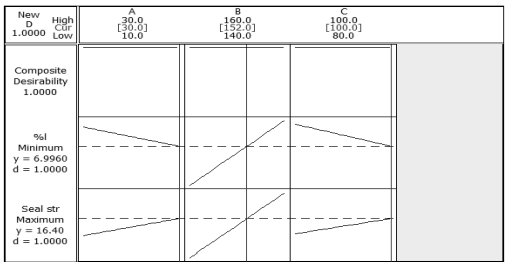


รูปที่7กราฟแสดงการวิเคราะห์ค่าส่วนตกค้างของข้อมูลของค่าความแข็งแรงของตะเข็บ (ถุงพลาสติกขนาดใหญ่)

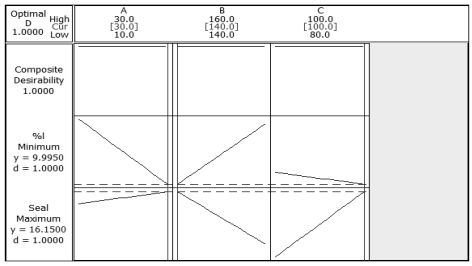
ในการวิเคราะห์หาสัดส่วนเม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่เหมาะสมที่ส่งผลต่อค่าร้อยละการยืดและค่าความแข็งแรงของถุงพลาสติกซึ่งเป็นผลตอบจากหน้าที่หลักในการใช้งานที่ทำให้เกิดความเสียหายแก่สิ่งของที่บรรจุภายในเมื่อนำถุงพลาสติกไปหิ้วน้อยที่สุด นั้นหมายความว่าถุงพลาสติกที่

นำไปใช้งานนั้นจะต้องยืดไม่น้อยกว่าร้อยละ 100 สำหรับที่บริเวณก้นถุงต้องมีแรงดึงสูงสุดไม่น้อยกว่า 5.8 นิวตัน สำหรับถุงพลาสติกขนาดเล็ก (ความหนาระบุ 0.015 มม.) ไม่น้อยกว่า 7.8 นิวตัน สำหรับถุงพลาสติกขนาดกลาง (ความหนาระบุ 0.020 มม.) และไม่น้อยกว่า 9.7นิวตัน สำหรับถุงพลาสติกขนาดใหญ่ (ความหนาระบุ 0.025) โดยใช้ Response Optimizer ในการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่าถ้าต้องการค่าให้ค่าร้อยละการยืดต่ำ (เนื่องจากค่าร้อยละการยืดสูงนั้น เสี่ยงต่อการบรรจุสินค้าซึ่งจะทำให้ถุงพลาสติกมีการยืดมากจนกระทั่งเกิดการฉีกขาด) และค่าความแข็งแรงของตะเข็บเมื่อรับแรงดึงไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ข้างต้น ถุงพลาสติกขนาดเล็กจะต้องเลือกผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลในการผลิตร้อยละ 30 อุณหภูมิปิดผนึก 152 องศาเซลเซียส และความเร็วในการป้อนแผ่นฟิล์ม 100 ชิ้นต่อนาทีให้ผลลัพธ์ค่าร้อยละการยืดและค่าความแข็งแรงของตะเข็บเท่ากับ 6.99% และ 16.40 นิวตัน

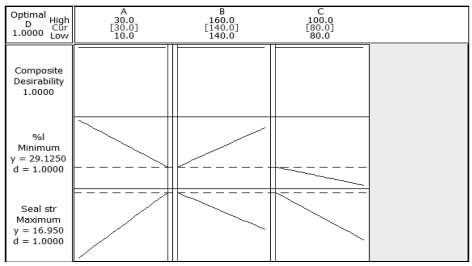
สำหรับถุงพลาสติกขนาดกลาง และใหญ่ ต้องการค่าให้ค่าร้อยละการยืดต่ำ และค่าความแข็งแรงของตะเข็บเมื่อรับแรงดึงไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ข้างต้น ถุงพลาสติกขนาดเล็กจะต้องเลือกผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลในการผลิตร้อยละ 30 อุณหภูมิปิดผนึก 140 องศาเซลเซียส และความเร็วในการป้อนแผ่นฟิล์ม 100 ชิ้นต่อนาทีให้ผลลัพธ์ค่าร้อยละการยืดและค่าความแข็งแรงของตะเข็บเท่ากับ 9.99% และ 16.15 นิวตัน และถุงพลาสติกขนาดใหญ่จะต้องเลือกผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลในการผลิตร้อยละ 30 อุณหภูมิปิดผนึก 140 องศาเซลเซียส และความเร็วในการป้อนแผ่นฟิล์ม 80 ชิ้นต่อนาทีให้ผลลัพธ์ค่าร้อยละการยืดและค่าความแข็งแรงของตะเข็บเท่ากับ 29.12% และ 16.95 นิวตันแสดงดังในรูปที่ 8จะเห็นได้ว่าค่าความพึงพอใจโดยรวม (Composite Desirability) ของถุงแต่ละขนาดมีเท่ากับ 1.000 นั้นหมายถึง ผลตอบนั้นได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์



(ก) ถุงพลาสติกขนาดเล็ก



(ข)ถุงพลาสติกขนาดกลาง



(ค) ถุงพลาสติกขนาดใหญ่

รูปที่ 8 กราฟแสดงผลตอบสนองของระดับปัจจัยที่เหมาะสมของถุงพลาสติกแต่ละขนาด

5. บทสรุป

ปัจจุบันมีผู้ประกอบการจำนวนมากได้นำเม็ดพลาสติกรีไซเคิลมาเป็นส่วนผสมในการผลิตถุงพลาสติก ซึ่งเม็ดพลาสติกรีไซเคิลในสัดส่วนที่แตกต่างกันก็จะทำให้คุณสมบัติของถุงพลาสติกแตกต่างกันซึ่งส่งผลต่อการใช้งานหลักของถุงพลาสติก คือ การรับน้ำหนักบรรจุ จากการศึกษาสมบัติทางกลที่สำคัญของถุงพลาสติกหิ้วรูปตัวยูขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ ที่ผลิตจากเม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ผสมกับเม็ดพลาสติกรีไซเคิล ได้แก่ การยืด ความหนา และความแข็งแรงของตะเข็บ พบว่าได้ค่ามากกว่าที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) 1116-2535 กำหนด และไม่พบจุดบกพร่องของเนื้อถุงพลาสติกที่แสดงถึงข้อบกพร่อง และจากการศึกษาวิจัยครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคหรือผู้ใช้สามารถนำถุงพลาสติกเหล่านี้มาใช้งานได้ รวมทั้งผู้ประกอบการก็สามารถใช้เม็ดพลาสติกรีไซในการผลิตถุงพลาสติกขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ ได้ในสัดส่วนที่เหมาะสมเท่ากับ 70:30 กล่าวคือ ใช้เม็ดพลาสติกบริสุทธิ์ 70% ผสมกับเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 30% โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ของปัจจัยที่มีอิทธิผลต่อการรับภาระ ได้แก่

อุณหภูมิปิดผนึกเท่ากับ 152, 140 และ 140 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และความเร็วในการป้อนแผ่นฟิล์มเท่ากับ 100, 100 และ 80 ชิ้นต่อนาที ตามลำดับ ซึ่งจะทำให้ค่าร้อยละการยืดและค่าความแข็งแรงของตะเข็บอยู่ในเกณฑ์ที่ทำให้สินค้าเสียหาย ทั้งยังสามารถนำไปสู่การลดต้นทุนการผลิตได้ประมาณ3.33% และสามารถเขียนแบบจำลองสมการทดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าร้อยละการยืดและค่าความแข็งแรงของตะเข็บได้ดังต่อไปนี้

$$y_{1S} = -62.302 + 12.498x_1 + 0.534x_2 + 0.082x_3 - 0.082x_1x_2 - 0.147x_1x_3 + 0.001x_1x_2x_3 \quad (2)$$

$$y_{1M} = 63.585 + 1.437x_1 - 0.290x_2 - 0.012x_1x_2 \quad (3)$$

$$y_{1L} = 1009 - 42.207x_1 + 0.435x_1x_3 - 0.003x_1x_2x_3 \quad (4)$$

$$y_{2S} = 65.825 - 0.306x_2 - 0.068x_1x_2 + 0.012x_1x_3 - 0.003x_1x_2x_3 \quad (5)$$

$$y_{2M} = 74.550 - 5.395x_1 - 0.417x_2 - 0.662x_3 + 0.036x_1x_2 - 4.062x_1x_2x_3 \quad (6)$$

$$y_{2M} = 25.825 - 0.036x_2 - 0.068x_1x_2 - 0.012x_1x_3 - 0.003x_2x_3 \quad (7)$$

เมื่อ y_1 คือ ค่าร้อยละของการยืด(%)
y_2 คือ ค่าความแข็งแรงของตะเข็บ (นิวตัน)
x_1 คือ สัดส่วนของเม็ดพลาสติกรีไซเคิล (%)
x_2 คือ อุณหภูมิปิดผนึก (℃)
x_3 คือ ความเร็วในการป้อนแผ่นฟิล์ม (ชิ้นต่อนาที)

6.กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทตงอินเตอร์เนชั่นแนลแพ็คเก็จจิ้ง จำกัดที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัยเรื่องสัดส่วนของเม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่เหมาะสมของถุงพลาสติกหิ้วรูปตัวยู

บรรณานุกรม

ณัฐวรี ศรีก๊กเจริญ, คนัน ธนกุลชัยทวี และศุภชัย นาทะพันธ์. 2556. **ความหนาที่เหมาะสมต่อขนาดและน้ำหนักบรรจุของถุงพลาสติกหิ้วรูปตัวยู**. การประชุมวิชาการด้านการพัฒนาการดำเนินงานทางอุตสาหกรรมแห่งชาติ ครั้งที่ 4 (CIOD 2013) ณ โรงแรม รามาการ์เด้นส์, กรุงเทพฯ. 17พฤษภาคม 2556. หน้า 510-516.

ปณัยกรณ์ อังกุราภินันท์. 2544. **การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการทนแรงดึงในแนวตะเข็บในกระบวนการผลิตถุงพลาสติกหิ้วรูปตัวยู**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต,กรุงเทพฯ: วิศวกรรมการผลิตสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม, มอก.1116-2535.(2535)

สุริยาลีเฮือง.2546.**การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการเป่าฟิล์มพอลิเอทิลีนกรณีศึกษาโดยการทดลองจริงของพอลิเอทิลีนใหม่กับรีไซเคิล**.วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, กรุงเทพฯ: วิศวกรรมการผลิตสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

เสาวนิตย์จันทรโรจน์. 2553. “การประยุกต์แบบจำลองโซ่อุปทานเพื่อการประเมินสมรรถนะของโซ่อุปทานในอุตสาหกรรมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล: กรณีศึกษาโรงงานผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิล”. **วารสารวิขาการมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย**. 30(4): 50– 76.

สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. 2554. **รายงานสรุปภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมปี2554และแนวโน้มปี2555**. กรุงเทพฯ; กระทรวงอุตสาหกรรม.

Clean Up Australia. (n.d.).**Report on actions to reduce circulation of single-use plastic bags around the world**. Retrieved January 30, 2012,fromhttp://www.cleanup.org.au/PDF/au/cua_plastic_bag_usage_around_world_april_2010.pdf

Commission USIT. 2010. **Polyethylene Retail Carrier Bags from China, Mayalsia, and Thailand, Inv. 731- TA-1043-1045 (Review)**: DIANE Publishing.

Dilli R. 2007. **Comparison of existing life cycle analysis of shopping bag alternatives: Final Report**.Sustainability Victoria, Melbourne, Australia.

EbrahimSimhaee: **Gussetted plastic bag**.Jul, 27 2004: US 6767317.

Miller RM. 2012.**Plastic Shopping Bags: An Analysis of Policy Instruments for Plastic Bag Reduction**. Ph.D. Dissertation, Utrecht: Utrecht University.