การใช้ซ้ำอีลาสโตเมอร์สำหรับอุปกรณ์ฮาร์ดดิสก์

ชำนาญ แหวนทองคำ[1*] และนุรักษ์ กฤษดานุรักษ์[2]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

[2]สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์เคมี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Chum_n@hotmail.com โทร 089-5234141

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาผลกระทบจากการหมุนเวียนใช้ซ้ำเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์เพื่อผลิตฝาปิดสำหรับผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อทั้งทางด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทางด้านสิ่งแวดล้อม และความคุ้มทุน ซึ่งผลการศึกษาวิจัยสามารถสรุปได้ 3 ประเด็นหลักดังนี้ ทางด้านคุณภาพพบว่าสามารถนำมาหมุนเวียนใช้ซ้ำได้สูงสุด 4 รอบ (Reuse 4th) ทางด้านสิ่งแวดล้อมมีค่าซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) น้อยกว่า 0.05 ppm. และค่าของคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ที่ได้มีค่าน้อยกว่า 150 ppm. ไม่เกินตามมาตรฐานอุตสาหกรรมและทางด้านความคุ้มทุนพบว่าสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ถึง 33.32%. ซึ่งการศึกษาวิจัยที่ได้สามารถนำไปเป็นข้อมูลเพื่อปรับปรุงการใช้ทรัพยากรและวัตถุดิบในอุตสาหกรรมยางได้อย่างมีประสิทธิผล.

คำสำคัญ: *เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์, การหมุนเวียนใช้ซ้ำ*

บทนำ

จากสภาวะการทางธุรกิจและอุตสาหกรรมที่มีการแข่งขันกันในแง่ของต้นทุนการผลิต ราคาขายและทางด้านคุณภาพ ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ มีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าและเพื่อดำเนินธุรกิจไปได้อย่างมีกำไร และในทางเดียวกันผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตแนวโน้มในเรื่องของผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งของการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงเพื่อให้ได้มาซึ่งความมั่นคงทางด้านธุรกิจ.

การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นโดยใช้เทคโนโลยีสะอาดคือการการนำกลับมาใช้ใหม่ (Reuse) เพื่อพัฒนาการผลิตของอุตสาหกรรมทั้งยังตอบสนองทางด้านความต้องการของลูกค้าและการผลิตผลิตภัณฑ์ในภาคอุตสาหกรรมรมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การผลิตชิ้นส่วนฝาปิดฮาร์ดดิสก์ของบริษัท เอ็นโอเค พรีซิชั่น คอมโพเนนท์ ประเทศไทย จำกัด จะใช้ยางพลาสติกยืดหยุ่นที่เรียกว่า “เทอร์โมพลาติกอีลาสโตเมอร์” เป็นส่วนประกอบหลักในการนำมาผลิตโดยการนำมาผ่านกระบวนฉีดพลาสติกขึ้นรูป ส่วนกากที่เหลือนั้นจะนำมาทำลายและทิ้งไป โดยเฉลี่ยต่อปีประมาณ 7,500 กิโลกรัมหรือคิดเป็นมูลค่าประมาณ 2,300,000 บาท ซึ่งจากสภาวะทางด้านต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้นและความต้องการของลูกค้าทางด้านราคาซื้อผลิตภัณฑ์ที่ลดลง ทำให้การพิจารณาการนำวัตถุดิบกลับมาหมุนเวียนใช้ซ้ำเป็นทางเลือกหนึ่งเพื่อลดต้นทุนการผลิต แต่ในทางเดียวกันการหมุนเวียนนำกลับมาใช้ซ้ำนั้นก็ส่งผลทั้งในแง่ของคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ลดลงและผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมตามมา การวิจัยนี้จะทำการศึกษาวิเคราะห์

เปรียบเทียบทางด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทางด้านคุณภาพอากาศ และทางด้านความคุ้มทุน โดยทำการศึกษาเทอร์โมพลาติกอีลาสโตเมอร์ที่ใช้ในครั้งแรกกับการหมุนเวียนใช้ซ้ำครั้งที่เป็นไปได้สูงสุด โดยใช้กรรมวิธีการผลิตตามขั้นตอนกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาทำการการวิเคราะห์ศึกษาหาความเหมาะสมของการใช้ซ้ำที่มีประสิทธิผล

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อวิเคราะห์หาผลกระทบที่เกิดจากการใช้ซ้ำของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์สำหรับผลิตอุปกรณ์ฮาร์ดดิสก์โดยพิจารณาผลกระทบในด้านต่างๆดังนี้

1. ทางด้านคุณภาพของอุปกรณ์ฮาร์ดดิสก์
2. ทางด้านคุณภาพอากาศที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อม
3. การประเมินด้านการคุ้มทุนจากการใช้ซ้ำ

ขอบเขตของการวิจัย

1. การใช้ซ้ำวัตถุดิบเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จำนวนสูงสุด 5 รอบ (Reuse 5th).
2. อัตราการผลิตคงที่ที่ 4,000 ชิ้นต่อเครื่องต่อวันและอัตราการผลิต 100,000 ชิ้นต่อเครื่องต่อเดือน.
3. ปริมาณการใช้วัตถุดิบเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ต่อเครื่องต่อเดือน.
4. พื้นที่การผลิต และพื้นที่การใช้ซ้ำ (Reuse) ที่ใช้ผลิตชิ้นส่วนฝาปิดฮาร์ดดิสก์.
5. คุณภาพของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากการทดสอบได้แก่ การทดสอบความแข็ง (Hardness Test), การทดสอบความเค้น (Tensile Test), การทดสอบความยืดหยุ่น (% Elongation Test), ค่าอนุภาคปนเปื้อนบนชิ้นงาน (Liquid Particle Count) ค่าความเป็นประจุไฟฟ้า (Ionic Contamination Test) และค่าแรงยึดเหนี่ยวของยางกับผลิตภัณฑ์ (Gasket Strengthen).
6. ปริมาณคุณภาพอากาศจากปล่องระบายระบายอากาศและปริมาณค่าความเข้มข้นของสารต้องห้าม RoHS Compliance ตามมาตรฐานความต้องการลูกค้า

วิธีการศึกษา

การศึกษาดำเนินงานวิจัยที่บริษัท เอ็นโอเค พรีซิชั่น คอมโพเนนท์ ประเทศไทยจำกัดในกระบวนการผลิตฝาปิดสำหรับผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ดังนี้

1. เตรียมวัตถุดิบที่ทำการผลิตได้แก่ เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์เป็นยางที่ยังไม่ได้ผ่านการใช้ซ้ำ (Virgin)
2. ทำการตรวจสอบคุณภาพก่อนการใช้งานการทดสอบความแข็ง (Hardness Test), การทดสอบความเค้น (Tensile Test), การทดสอบความยืดหยุ่น (% Elongation Test), และบันทึกผล.
3. ทำการผลิตขึ้นรูปฉีดพลาสติกให้อยู่ในสถานะปกติตามข้อกำหนดมาตรฐานการผลิต.
4. ทำการตรวจสอบคุณภาพหลังการผลิตโดยใช้เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่ยังไม่ได้ผ่านการใช้ซ้ำดังนี้
   4.1 การตรวจสอบข้อบกพร่อง (Visual Inspection)

4.2 การตรวจสอบค่าอนุภาคปนเปื้อนบนชิ้นงาน (Liquid Particle Count)

4.3 การตรวจสอบค่าความเป็นประจุไฟฟ้า (Ionic Contamination Test)

4.4 การตรวจสอบค่าแรงยึดเหนี่ยวของยางกับชิ้นงาน (Gasket Strengthens)

5. ทำการตรวจติดตามผลของคุณภาพอากาศที่เกิดขึ้นบริเวณปล่องระบายจากตึกได้แก่ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และค่า RoHS จากผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในครั้งแรกจนถึงครั้งที่ 5.
6. นำเศษยางที่ได้หลังจากการขึ้นรูปฉีดพลาสติกในครั้งแรกมาทำการบดละเอียดโดยนำมาเตรียมเพื่อทำการใช้ซ้ำในครั้งที่ 1 ถึง 5 (Reuse 1st-Reuse 5th) จากนั้นทำซ้ำในข้อ 2-4 และบันทึกผล
7. ทำการศึกษาวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตในแต่ละครั้งจากการใช้เพื่อหาความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์.
8. บันทึกผลที่ได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลและวิจารณ์ผลการทดลองนำมาหาแนวทางการแก้ไขปรับปรุง.

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

จากการดำเนินงานวิจัยนี้ ส่วนของผลการวิจัยที่ได้สามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ ทางด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้ซ้ำ ทางด้านคุณภาพอากาศจากผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและด้านความคุ้มทุนการการผลิตดังนี้

การวิเคราะห์ทางด้านคุณภาพ

คุณภาพของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ก่อนการการผลิต

จากผลของการตรวจสอบแสดงค่าคุณภาพที่ได้จากการพิจารณาจากข้อมูล พบว่าค่าการทดสอบความแข็ง (Hardness Test) ตั้งแต่ Virgin – Reuse 5th มีค่าอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดในช่วง 42-36 แต่มีแนวโน้มของค่าที่ได้ลดลงส่วนครั้งที่ 5 (Reuse 6th) พบว่ามีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดที่ 34 แสดงถึงคุณสมบัติของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์เมื่อมีการหมุนเวียนใช้ซ้ำในหลายครั้งค่าความแข็ง (Hardness Test) จะมีค่าน้อยลงตามลำดับ ส่วนค่าความเค้น (Tensile Test) ตั้งแต่ Virgin – Reuse 5th พบว่ามีค่าอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดและมีแนวโน้มของค่าที่ได้มีค่าลดลงเช่นเดียวกับค่าความแข็ง (Hardness Test) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 3.5 – 1.7 Mpa. และค่าความยืด (% Elongation Test) ตั้งแต่ Virgin – Reuse 5th พบว่ามีค่าอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด โดยค่าที่ได้อยู่ในช่วง 400%-660% ซึ่งมีแนวโน้มสูงขึ้นต่างจากค่าความแข็งและค่าความเค้นที่ได้มีแนวโน้มลดลง ดังแสดงในตารางที่ 1 ให้เห็นว่าค่าคุณสมบัติความยืดของของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์เมื่อมีการใช้ซ้ำจะมี

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบความแข็ง (Hardness Test), การทดสอบความเค้น (Tensile Test), การทดสอบความยืดหยุ่น (%Elongation Test)

Testing Item	Specification Limit	Virgin	Reuse 1st	Reuse 2nd	Reuse 3rd	Reuse 4th	Reuse 5th
Hardness (ความแข็ง)	40 +/- 5	42	40	39	38	36	34

Tensile: (ความเค้น) [Mpa]	Min 1.5	3.5	3.1	2.8	2.7	2.1	1.7
%Elongation (ความยืด)	Min 300	400	460	510	540	610	660
หมายเหตุ การวัดและตรวจสอบสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน JIS standard K6253							

ความยืดหยุ่นที่สูงตามจำนวนการใช้ซ้ำที่เพิ่มขึ้น จากผลการทดสอบคุณสมบัติสามารถอธิบายได้ในลักษณะของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์เมื่อได้รับการใช้ซ้ำในหลายครั้ง จะให้ค่าความแข็งและความเค้นน้อยลงตามจำนวนการใช้งานที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลมาจากแรงยึดเหนี่ยวของยางและพันธะการยึดเหนี่ยวของวัตถุได้ถูกทำให้ค่าน้อยลงแต่ในทางกลับกันพบว่าความความยืดแปรผันตามจำนวนการใช้ซ้ำจึงทำให้ค่าความยืดมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยในการใช้ซ้ำครั้งที่ 5 (Reuse 6th) จะไม่นำมาพิจารณาทำการศึกษาวิจัยตรวจสอบต่อไปเนื่องจากค่าความแข็งก่อนการใช้งานมีค่าไม่ได้มาตรฐานที่กำหนด

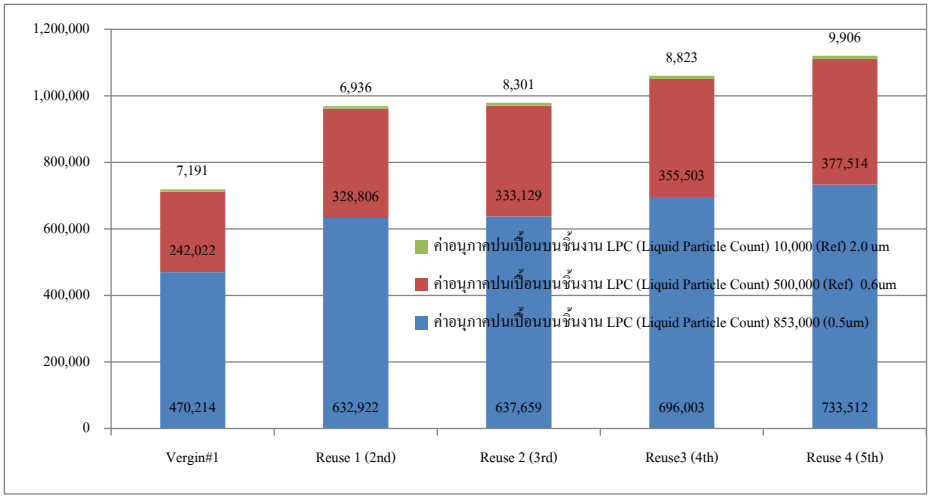
คุณภาพของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์หลังการผลิต

ในการตรวจสอบเทอร์โมพลาสติก อีลาสโตเมอร์หลังการนำไปใช้ และ คุณภาพของผลิตภัณฑ์จะทำการทดสอบกับตัวผลิตภัณฑ์เป็นการอ้างอิงทั้ง Virgin – Reuse 4th

1. ผลการตรวจสอบข้อบกพร่อง (Visual Inspection) โดยทำการตรวจสอบด้วยสายตาของพนักงานตามมาตรฐานการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ฝาปิดฮาร์ดดิสก์ ตั้งแต่ครั้งแรกที่ใช้ Virgin – Reuse 4th มีจำนวนชิ้นงานต่อครั้งเท่ากับ 10,000 ชิ้นไม่พบว่าจำนวนงานที่มีข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นบนตัวยางที่ทำการตรวจสอบเป็น วิเคราะห์ได้ว่าการใช้เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ซ้ำไม่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นและจากการวิเคราะห์เพิ่มเติมพบว่าลักษณะของยางตั้งแต่ครั้งแรกจนถึงการใช้ซ้ำครั้งที่Virgin – Reuse 4th มีค่าไม่แตกต่างกันตามลักษณะทางกายภาพ.

2. การตรวจสอบค่าอนุภาคปนเปื้อนบนชิ้นงาน LPC (Liquid Particle Count) โดยในการวัดค่าอนุภาคปนเปื้อนบนชิ้นงาน จะทำภายใต้ห้องควบคุมฝุ่นหรือ Clean Room ที่ระดับ Class 100 เพื่อควบคุมไม่ให้ปริมาณอนุภาคปนเปื้อนมีผลกระทบต่อการวัดค่าที่ได้ ผลจากการวัดแสดงได้ในภาพที่ 1 โดยทำการวิเคราะห์ที่ระดับของอนุภาคที่แตกต่างกันได้แก่ ที่การวัดอนุภาค 0.5um, 0.6um และ 2.0um ตามลำดับ ค่าที่ได้พบว่า Reuse 4th มีค่าระดับอนุภาคปนเปื้อนมากที่สุดและค่าที่การใช้ Virgin มีค่าในทุกระดับอนุภาคปนเปื้อนน้อยที่สุด โดยลักษณะของค่าที่แสดงผลนั้นเมื่อทำการเปรียบเทียบเพิ่มเติมในแต่ละระดับแล้วค่าที่ระดับอนุภาค 0.5 um มีค่าอยู่ในช่วง อนุภาค 400,000 – 800,000 Count/Part โดยมีค่าน้อยกว่ามาตรฐานข้อกำหนดที่ 853,000 Count/Parts ส่วนผลการวัดที่ค่าระดับอนุภาค 0.6 um พบค่าอยู่ในช่วง 200,000 – 400,000 Count/Parts ซึ่งมีค่าน้อยกว่ามาตรฐานข้อกำหนดที่ 500,000 Count/Parts และการวัดที่ค่าระดับอนุภาค 2.0 um พบค่าอยู่ในช่วง 5,000 – 10,000 มีค่าน้อยกว่ามาตรฐานข้อกำหนดที่ 10,000 Count/Parts นอกจากนี้จากผลของข้อมูลที่จากภาพที่ 1 พบว่าค่าอนุภาคปนเปื้อนบนชิ้นงานที่มีการใช้ซ้ำในครั้งที่ 1 (Reuse 1st) - 4 (Reuse 4th) มีแนวโน้มสูงขึ้นตามลำดับ แสดงถึงเมื่อมีการหมุนเวียนใช้ซ้ำจำนวนเพิ่มขึ้นค่าอนุภาคบนเปื้อนบนชิ้นงานจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยอาจส่งผลจากกระบวนการบดละเอียดและกระบวนใช้ซ้ำทำให้เทอร์โมพลาสติก อีลาสโตเมอร์มีค่าปนปนสูงขึ้นตามลำดับ.

3. การตรวจสอบค่า Ionic Contamination ผลการตรวจสอบค่าความเป็นประจุไฟฟ้าบนเปื้อนบนตัวงาน ซึ่งเราจะอ่านค่า ประจุไฟฟ้ารวม "Total Anion" และค่าอนุภาคคลอไรด์ (Chloride) กับค่าอนุภาคซัลเฟต(Sulphate) ที่ได้เปรียบเทียบกับข้อกำหนดมาตรฐานดังตารางที่ 2 ซึ่งจากผลการตรวจวัดพบว่าค่า ประจุไฟฟ้ารวม "Total Anion" ในช่วง Virgin –Reuse 2nd มีค่าใกล้เคียงกัน" และค่าอนุภาคคลอไรด์ (Chloride) กับค่าอนุภาคซัลเฟต (Sulphate) ก็มีลักษณะใกล้เคียงกันตามลำดับ ส่วนในช่วงการใช้ซ้ำที่ 3และ4 (Reuse 3rd, Reuse 4th)พบว่าค่าประจุไฟฟ้ารวม "Total Anion"มีค่าสูงขึ้นในช่วง 2.99-3.47 เป็นผลมาจากการตรวจพบค่าอนุภาคไนไตรท์(Nitrite) ที่ 0.34 และ 0.23 และยังตรวจพบค่าอนุภาคฟอสเฟต (Phosphate) ที่ 3.01 และ 2.65 จึงทำให้ค่าประจุไฟฟ้ารวม "Total Anion"มีค่าสูงขึ้นดังกล่าว ซึ่งยังไม่ทราบแน่ชัดจากการตรวจสอบว่ามาจากสาเหตุละองค์ประกอบในส่วนใดซึ่งจะต้องทำการศึกษาวิจัยต่อไป อย่างไรก็ตาม ค่าประจุไฟฟ้ารวม "Total Anion" และค่าอนุภาคคลอไรด์ (Chloride) กับค่าอนุภาคซัลเฟต (Sulphate) ในการใช้ซ้ำครั้งที่ 1 (Reuse 1st) - 4 (Reuse 4th) ที่ได้สามารถผ่านข้อกำหนดมาตรฐานตามความต้องการลูกค้า



ภาพที่ 1 แนวโน้มอนุภาคปนเปื้อนบนชิ้นงาน LPC (Liquid Particle Count)

ตารางที่ 2 ค่าความเป็นประจุไฟฟ้าบนเปื้อนบนตัวงาน (Ionic Contamination)

ค่าประจุไฟฟ้าในแต่ละชนิด	ผลการตรวจสอบค่าความเป็นประจุ (Ionic Contamination) ไมโครกรัมต่อชิ้นงาน					Specification ไมโครกรัมต่อชิ้นงาน
	Virgin	Reuse 1st	Reuse 2nd	Reuse 3rd	Reuse 4th	
Fluoride	ND	ND	ND	ND	ND	N/A
Chloride	0.06	0.04	0.09	0.04	0.02	1.61
Nitrite	0.01	0.02	ND	0.34	0.23	N/A
Bromide	ND	ND	ND	ND	ND	N/A
Nitrate	0.03	0.03	ND	0.08	0.08	N/A

Sulphate	ND	ND	ND	ND	ND	1.61
Phosphate	ND	ND	ND	3.01	2.65	N/A
Total Anion	0.10	0.09	0.09	3.47	2.99	6.45

4. การตรวจสอบค่าแรงยึดเหนี่ยวของยางกับผลิตภัณฑ์ (Gasket- Strengthen) ผลจากการทดสอบแสดงในตารางที่ 3 พบว่าการใช้ซ้ำครั้งที่ 1 (Reuse 1st) - 4 (Reuse 4th) ค่าแรงยึดเหนี่ยวของยางที่ได้มีค่าในช่วง 2-2.5 (N/10mm) โดยค่าสูงที่สุดเฉลี่ยอยู่ที่ 2.34 (N/10mm) ที่การใช้ Virgin ส่วนแรงยึดเหนี่ยวที่มีค่าน้อยที่สุดคือ 2.02 (N/10mm) ที่การใช้ซ้ำที่ 4 (Reuse 4th) เมื่อทำการวิเคราะห์แรงยึดเหนี่ยวที่ได้นั้นพบว่ามีค่าแปรผันตามการใช้ซ้ำของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่มากขึ้นซึ่งพบว่าค่าแรงยึดเหนี่ยวที่ได้มีแนวโน้มลดลง ตามลำดับ.

ตารางที่ 3 ค่าแรงยึดเหนี่ยวของยางกับผลิตภัณฑ์ (Gasket Strengthen)

Gasket Strengthen	Virgin	Reuse 1st	Reuse 2nd	Reuse 3rd	Reuse 4th
Specification Limit (> 0.7 [N/10mm])	>0.7	>0.7	>0.7	>0.7	>0.7
	2.4	2.3	2.1	2.2	2.0
	2.1	2.2	2.2	2.0	1.9
	2.3	2.1	2.0	2.1	2.1
	2.5	2.2	2.3	2.2	2.0
	2.4	2.2	2.2	2.1	2.1
Average data	2.34	2.2	2.16	2.12	2.02

การวิเคราะห์ทางด้านคุณภาพอากาศและสิ่งแวดล้อม

การวิเคราะห์ทางด้านคุณภาพอากาศและสิ่งแวดล้อมจะทำการตรวจสอบทางด้านคุณภาพอากาศที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยการศึกษาวิจัยนี้จะพิจารณาตรวจสอบปริมาณความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และปริมาณของคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และทางด้านข้อกำหนดสารที่เป็นอันตรายในอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์หรือที่เรียกว่า RoHS ดังนี้

1. ผลการตรวจสอบคุณภาพอากาศ ณ ปล่องระบายอากาศ ในการตรวจวัดค่าคุณภาพอากาศเราได้อาศัยเทคโนโลยีเครื่องมือวัดโดยใช้ระบบ Air Sampling และวิธีการการตรวจสอบตามมาตรฐาน US EPA ประกอบด้วยการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ตามมาตรฐาน "US EPA CFR40 Method 6 โดยการเก็บตัวอย่างก๊าซจากปล่องระบาย โดยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) จะถูกแยกด้วยการดูดซึมของสารละลาย แล้วทำการวัดปริมาณด้วยวิธี Barium-thorn titration และรายงานค่าความเข้มข้นเป็นหน่วยส่วนในล้านส่วน (ppm) ที่สภาวะมาตรฐาน 25 องศาเซลเซียส 760 มิลลิเมตรปรอท ส่วนการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) จะทำโดยการเก็บตัวอย่างก๊าซจากปล่องระบายไว้ในถุงเก็บตัวอย่างอากาศ แล้ววิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์แบบ NDIR และรายงานค่าความเข้มข้นเป็นหน่วยส่วนในล้านส่วน (ppm) ที่สภาวะมาตรฐาน 25 องศาเซลเซียส 760 มิลลิเมตรปรอท แสดงผลได้ดังตารางที่ 4.

ตารางที่ 4 ผลการตรวจสอบคุณภาพอากาศ

ปริมาณความเข้มข้นสาร	ผลการตรวจวัดค่า SO_2 และค่า CO (ppm)					Specification (ppm)
	Virgin	Reuse 1st	Reuse 2nd	Reuse 3rd	Reuse 4th	
1. ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<60
2. คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO)	123.53	127.58	113.17	132.21	142.22	<690

จากผลการตรวจวัดพบว่าในช่วงการใช้ซ้ำครั้งที่ 1 (Reuse 1st) - 4 (Reuse 4th) ปริมาณค่าความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)ที่ได้จะมีค่าไม่เกิน 0.05 ppm เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานที่ 60 ppm และค่าปริมาณค่าความเข้มข้นของคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) จะมีค่าไม่เกิน 150 ppm เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานที่ 690 ppm และจากการพิจารณาแนวโน้มของค่าที่ตรวจวัดพบว่าค่าความเข้มข้นของคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) จะเพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบของการใช้ซ้ำตั้งแต่ครั้งที่ 1 (Reuse 1st) - 4 (Reuse 4th) ส่วนค่าค่าความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)ที่ได้มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับข้อกำหนดมาตรฐาน.

2. ผลกระทบความเป็นอันตรายเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ต่อสิ่งแวดล้อมทางด้านที่เรียกว่าข้อกำหนด RoHS เป็นระเบียบว่าด้วยการจำกัดการใช้สารอันตรายบางชนิดในผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment หรือ RoHS) ระเบียบนี้บังคับให้ผู้ผลิตใช้สารอื่นที่ปลอดภัยเพื่อทดแทนการใช้สารพิษ 6 ชนิด คือตะกั่ว ปรอท แคดเมียม โครเมียมเฮกซาวาเลนท์ พอลิโบรมิเนทไบฟีนิล (PBB) และพอลิโบรมิเนทไดฟีนิลอีเทอร์ (PBDE) ในเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้วิธีการตรวจสอบอ้างอิงการทดสอบสารอันตรายตามเอกสารของสหภาพยุโรป (IEC 62321) ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 5.

จากผลการทดสอบไม่พบค่าปริมาณสารอันตราย (Not Detected (ND)) ตามระเบียบข้อบังคับเกี่ยวกับ RoHS จากการตรวจวัดในช่วงการใช้ซ้ำครั้งที่ 1 (Reuse 1st) - 4 (Reuse 4th).

การวิเคราะห์ทางด้านค่าความคุ้มทุน

ในการวิเคราะห์ค่าความคุ้มทุนโดยใช้หลักการการเปรียบเทียบโครงการทางเศรษฐศาสตร์เพื่อหาอัตราผลตอบแทน ของการทดลองใน 5 ลักษณะด้วยกันตั้งแต่ Virgin, Reuse 1st, Reuse 2nd, Reuse 3rd, Reuse 4th. ค่าการลงทุนของการผลิตมีค่าลดลงตามลำดับเมื่อทำการนำกลับมาใช้เพิ่มมากขึ้นโดยในครั้งที่ Reuse 1st- Reuse 4th ซึ่งสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ค่า Present Worth จากการคำนวณดังตารางที่ 6

จากตารางพบว่าค่าความคุ้มทุนที่ Reuse 1st ในครั้งที่ 1 มีค่า 11.79% ค่าความคุ้มทุนที่ Reuse 2nd ในครั้งที่ 2 มีค่า 21.97% ค่าความคุ้มทุนที่ Reuse 3rd ในครั้งที่ 3 มีค่า 28.77% และค่าความคุ้มทุนที่ Reuse 4th ในครั้งที่ 4 มีค่า 33.32% เมื่อเทียบกับการใช้ เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ในครั้งแรก (Virgin)

ตารางที่ 5 ผลการตรวจสอบ RoHS การใช้ซ้ำครั้งที่ 1 (Reuse 1st) - 4 (Reuse 4th)

ปริมาณความเข้มข้นสาร ppm wt	ผลการตรวจวัด RoHS					Specification (ppm)
	Virgin	Reuse 1st	Reuse 2nd	Reuse 3rd	Reuse 4th	
1.) Cadmium(Cd)	ND	ND	ND	ND	ND	2.00
2.) Lead (Pb)	ND	ND	ND	ND	ND	2.00
3.) Mercury (Hg)	ND	ND	ND	ND	ND	0.5
4.) Hexavalent Chromium (Cr6+)	ND	ND	ND	ND	ND	2.00
6.)Polybrominated Biphenyls	ND	ND	ND	ND	ND	5.00
6.)Polybrominated Diphenyl Ethers	ND	ND	ND	ND	ND	5.00

ตารางที่ 6 ตารางเปรียบเทียบมูลค่าปัจจุบัน (Present Worth) การใช้ซ้ำ

รายการ	**Virgin**	**Reuse 1st**	**Reuse 2nd**	**Reuse 3rd**	**Reuse 4th**
PW (Present Worth)	**274,895.33 บาท**	**242,487.83 บาท**	**214,508.15 บาท**	**195,810 บาท**	**183,287.51 บาท**
%เปรียบเทียบกับการใช้ Virgin(1st)	**-**	**11.79%**	**21.97%**	**28.77%**	**33.32%**

สรุป

จากผลการศึกษาวิจัยการใช้ซ้ำของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์แบ่งได้เป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ

1. การวิเคราะห์ทางด้านคุณภาพ

จากผลการทดสอบทางด้านคุณภาพการใช้ซ้ำเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ครั้งที่ 1(Reuse 1st) – 4 (Reuse 4th). จากผลของค่าความแข็ง (Hardness Test) ที่อยู่ในช่วง 36 – 40 ค่าความเค้น (Tensile) มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่มากกว่า 1.5 Mpa โดยอยู่ในช่วง 1.7-3.5 Mpa และค่าความยืด (%Elongation) อยู่ในช่วง 400-660 มีค่าสูงกว่าเกณฑ์ที่มากกว่า 300 Min.ส่วนคุณภาพหลังการผลิตพบว่า ผลตรวจสอบข้อบกพร่องไม่พบข้อบกพร่องเกินมาตรฐานข้อบกพร่องการยอมรับ ผลการตรวจสอบค่าอนุภาคปนเปื้อนบนชิ้นงาน (Liquid Particle Count) มีค่าอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานควบคุม ผลการตรวจสอบค่าความเป็นประจุไฟฟ้า (Ionic Contamination) โดยพิจารณา Total Anion ไม่เกิน 6.45 ไมโครกรัมต่อชิ้นงานตามมาตรฐานควบคุม และผลการตรวจสอบค่าแรงยึดเหนี่ยวของยาง (Gasket Strengthens) มีค่ามากกว่า 0.7 [N/10mm] ตามมาตรฐานควบคุมโดยมีค่าในช่วง 2.0 -2.4 [N/10mm].

2. การวิเคราะห์ทางด้านคุณภาพอากาศและสิ่งแวดล้อม

ผลจากการตรวจวัดคุณภาพอากาศของการใช้ซ้ำเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ ณ ปล่องระบายอากาศ พบว่าค่าปริมาณความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) จะมีค่าไม่เกิน 0.05 ppm. ทุกการใช้ซ้ำ และค่าปริมาณค่าความเข้มข้นของคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) จะมีค่าไม่เกิน 150 ppm. โดยมีค่าอยู่ในช่วง 113.17 – 142.22 และไม่พบค่าความปริมาณสารอันตรายตามระเบียบข้อบังคับเกี่ยวกับ RoHS จากการตรวจวัดในช่วงการใช้ซ้ำครั้งที่ 1 (Reuse 1^{st}) - 4 (Reuse 4^{th}).

3. จากการวิเคราะห์ทางด้านค่าความคุ้มทุน

จากข้อมูลพบว่าค่าการลงทุนของการผลิตมีค่าลดลงตามลำดับเมื่อทำการนำกลับมาใช้เพิ่มมากขึ้นและสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ โดยการใช้ Reuse 4^{th} ให้ค่าความคุ้มและใช้จ่ายในการลงทุนต่ำกว่าถึง 32.33%.

บรรณานุกรม

นเรนท์ อาศัยพานิช. 2550. การพัฒนาเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จากยางธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์. มหาวิทยาลัยศิลปากร.

พงษ์ธร แซ่อุย. 2548. ยาง: ชนิด สมบัติ และการใช้งาน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.

ไพบูล แย้มเผื่อน. 2548. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. กรุงเทพฯ. ซีเอ็ดยูเคชั่น.

อินทิรา เอื้อมลฉัตร. 2541. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการวิเคราะห์สิ่งแวดล้อม. นักวิชาการสิ่งแวดล้อม. สำนักงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม.

อุมาพร ขวัญเกื้อ. 2552. อัตราการเพิ่มขึ้นของผลผลิตและสิ่งแวดล้อมของขยะใช้ซ้ำ ขยะแปรใช้ใหม่ และขยะนำกลับคืนมาใหม่ ของกลุ่มปิโตรเลียมและปิโตรเคมี นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ประเทศไทย. วิทยานิพนธ์. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยมหิดล.

Avraam I Isayeva. 2005. Recycling of Rubbers. Institute of Polymer Engineering. University of Akron Akron. Ohio. Science and Technology of Rubber (Third Edition).Journal 5(3): 663-701

Jiri George. 2007. Recycling of Thermoplastic Elastomers. Drobny. Handbook of Thermoplastic Elastomers. Journal 5(3): 317-318