



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การผลิตฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีนผสมผงยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว  
เพื่อใช้เป็นฟิล์มห่อหุ้มกันรอยขีดข่วน

โดย ดร. ระพีพันธ์ แดงตันกี และคณะ

พฤษภาคม 2553

สัญญาเลขที่ RDG 5250031

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การผลิตฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีนผสมผงยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว

เพื่อใช้เป็นฟิล์มห่อหุ้มกันรอยขีดข่วน

คณะผู้วิจัย

สังกัด

ดร. ระพีพันธ์ แดงตันกี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

นาย กิรติ พินิจเศรษฐวงศ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

นางสาว ชญาดา ปรีดั่ง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

นางสาว ฉัฐนันท์ ปัญญาธงชัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ชุดโครงการวิจัยแห่งชาติ : ยางพารา

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

## บทสรุปรายงานสำหรับผู้บริหาร

ชื่อโครงการ การผลิตฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีนผสมผงยางรถยนต์ที่ใช้แล้วเพื่อใช้เป็นฟิล์มห่อหุ้มกันรอยขีดข่วน

(Processing of polyethylene filled with ground tire rubber powder for scratch preventing film)

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงาน และ ที่อยู่

ชื่อ สกุล ดร. ระพีพันธุ์ แดงตันกี

หน่วยงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ที่อยู่ ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

พระจอมเกล้าพระนครเหนือ 1518 ถ.พินุลสงคราม บางซื่อ กทม. 10800

โทรศัพท์/โทรสาร 02-9132500-24 ext. 4825/ 02-9132500-24 ext. 4816

E-mail [rdg@kmutnb.ac.th](mailto:rdg@kmutnb.ac.th)

นักศึกษาที่ร่วมวิจัย

1. นาย กิรติ พินิจเศรษฐวงศ์
2. นางสาว ชญาดา ปุริตัง
3. นางสาว ณัฐนันท์ ปัญญาธงชัย

ระยะเวลาดำเนินการ 9 เดือน ตั้งแต่วันที่ 15 /7/2552 ถึงวันที่ 15/3/2553

## ปัญหาที่ทำวิจัยและความสำคัญ

ในปัจจุบันมีการใช้ยางรถยนต์เป็นจำนวนมากและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี ซึ่งสิ่งที่เป็นผลตามมาจากยางรถยนต์ที่หมดอายุการใช้งานแล้วคือ การจัดการปริมาณขยะยางรถยนต์ที่ยากต่อการย่อยสลาย ดังนั้นแนวคิดที่นำยางรถยนต์กลับมาประยุกต์ใช้ใหม่ จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดปริมาณขยะ โดยงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นในการศึกษาการนำยางรถยนต์ที่ใช้งานแล้ว มาใช้เป็นสารเติมแต่งในแผ่นฟิล์ม LDPE เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตแผ่นฟิล์มห่อหุ้มกันรอยขีดข่วน

## วัตถุประสงค์

เพื่อผลิตฟิล์มโดยผลิตจากพลาสติก LDPE ผสมยางรถยนต์ใช้แล้ว โดยหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มพลาสติก LDPE ผสมยางรถยนต์ และปรับปรุงสมบัติเชิงกล สมบัติการต้านทานรอยขีดข่วน สมบัติการต้านทานการฉีกขาดของฟิล์ม

## ผลการดำเนินงาน

การผลิตฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีนผสมยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว สามารถทำได้โดยการนำผงยางรถยนต์บดละเอียดมาทำการปรับปรุงผิวโดยเคลือบด้วยกรดสเตียริก จากนั้นนำไปผสมกับพลาสติก LDPE โดยขึ้นรูปด้วยเครื่อง Chill Roll Cast Film แล้วจึงนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลด้านต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งผลการทดลองได้ 3 กรณี คือ

1.) การศึกษาผลของการเคลือบผิวยางด้วยกรดสเตียริกพบว่า การปรับปรุงผิวยางจะทำให้ แผ่นฟิล์มมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ดังที่เห็นได้จากค่าการทนต่อแรงกระแทกและค่าการทนต่อแรงยึดดึงที่สูงขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้ผงยางที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว เนื่องจากกรดสเตียริกทำหน้าที่เป็นสารช่วยยึดเกาะ กล่าวคือมีทั้งส่วนที่มีขี้ซึ่งสามารถเข้ากับอนุภาคผงยางได้ดี และส่วนที่ไม่มีขี้ซึ่งสามารถเข้ากับ LDPE ได้ดี ทำให้แผ่นฟิล์ม LDPE ผสมผงยางเข้ากันได้ดีมากขึ้น ส่งผลให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น

2.) การศึกษาผลของปริมาณผงยางที่เติมลงไปในแผ่นฟิล์ม LDPE พบว่า ถ้าปริมาณผงยางเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้สมบัติการทนต่อแรงยึดดึงลดลง, ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดดึงมีแนวโน้มสูงขึ้นทั้งในทิศทางการดึงที่ตั้งฉากและทิศทางขนาน, ด้านการทนแรงกระแทกลดลง, การทนต่อแรงฉีกขาดสูงขึ้น และความแข็งแรงของชิ้นงานลดลง ทั้งนี้เนื่องจากผงยางมีความยืดหยุ่นสูงและมีสมบัติเป็นอีลาสติกมาก ดังนั้นเมื่อผสมผงยางลงไปในแผ่นฟิล์ม ทำให้ชิ้นงานมีความยืดหยุ่นสูงตามไปด้วย แต่การผสมสารเติมแต่งลงไปใน matrix มักทำ

ให้เกิดปัญหาที่สำคัญประการหนึ่ง คือการไม่เข้ากันระหว่างอนุภาคทั้งสองชนิด ทำให้เกิดการแยกตัวภาคระหว่างผิวของผงยางกับ LDPE และเมื่อมีแรงมากระทำกับชิ้นงาน จะทำให้การส่งผ่านแรงของอนุภาคลดลง หรือชิ้นงานรับแรงได้น้อยลง

3) การศึกษาผลของขนาดอนุภาคผงยางที่เติมลงในแผ่นฟิล์ม LDPE พบว่า ขนาดของอนุภาคส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลไม่มาก เนื่องจากสมบัติเชิงกลเกือบทุกด้านมีค่าค่อนข้างคงที่ ไม่เปลี่ยนไปตามขนาดอนุภาคผงยางที่เติมลง โดยที่ผงยางขนาดอนุภาค 26 Mesh จะให้สมบัติเชิงกลที่ด้อยที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคผงยางอาจเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนและมีการกระจายตัวของผงยางไม่ดี ทำให้เกิดการแยกตัวภาคระหว่าง LDPE กับอนุภาคผงยาง

จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้นทำให้พบว่า สามารถนำผงยางรถยนต์ที่ใช้แล้วมาผสมกับพลาสติก LDPE เพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มห่อหุ้มกันรอยขีดข่วนได้และยังให้สมบัติเชิงกลที่ดี โดยพบว่าการปรับปรุงผิวของผงยางรถยนต์ที่ใช้แล้วโดยผ่านการเคลือบด้วยกรดสเตียริกในอัตราส่วนผงยางต่อกรดสเตียริกเท่ากับ 50:200 จะทำให้สเตียริกเคลือบอยู่บนผิวของผงยางได้มากที่สุดซึ่ง สเตียริกจะทำให้ผงยางยึดเกาะกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำได้ดีขึ้นและอัตราส่วนที่ให้สมบัติโดยรวมที่ดีที่สุดคือ การใช้ผงยางที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยกรดสเตียริก ขนาดอนุภาค 20 Mesh และผสมลงใน LDPE ปริมาณ 5 phr โดยสมบัติการกันรอยขีดข่วนจะขึ้นอยู่กับสมบัติด้านความแข็งที่ผิวของชิ้นงานโดยตรง

## สรุปผลการวิจัย

การผลิตฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีนผสมผงยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว เพื่อใช้เป็นฟิล์มห่อหุ้มกันรอยขีดข่วน มีแนวโน้มที่สามารถใช้ในระดับอุตสาหกรรมการผลิตแผ่นฟิล์มได้ โดยยังคงรักษาสมบัติเชิงกลที่ดีของแผ่นฟิล์ม LDPE ไว้ได้ แต่ต้นทุนในการผลิตแผ่นฟิล์มดังกล่าวจะลดลง เนื่องจากราคาของผงยางรถยนต์มีราคาถูกกว่าพลาสติก โดยที่ราคาของแผ่นฟิล์ม LDPE เท่ากับ 130 - 150 บาท/กิโลกรัมแต่แผ่นฟิล์ม LDPE ผสมผงยางรถยนต์ 5 phr ที่ผ่านการเคลือบกรดสเตียริกแล้วจะมีราคาลดลงประมาณ 3-5 % ซึ่งเห็นได้ว่ามีมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์เพิ่มขึ้น เนื่องจากการนำยางรถยนต์ที่หมดอายุการใช้งานแล้ว มาเพิ่มมูลค่าและเป็นการส่งเสริมให้เกิดการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

### **ข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะควรวิจัยเพิ่มเติม และวิธีที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติ**

ความหนาของแผ่นฟิล์ม มีผลกระทบโดยตรงต่อสมบัติเชิงกลในทุกด้าน ดังนั้นการนำแผ่นฟิล์มไปใช้งานด้านต่างๆ จึงต้องพิจารณาถึงความหนาที่เหมาะสมของแผ่นฟิล์มด้วย ทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการศึกษาผลของความหนาของแผ่นฟิล์ม เพื่อเป็นการขยายขอบเขตในการใช้งานให้กว้างขึ้น นอกจากนี้ การศึกษาสมบัติการซึมผ่านของก๊าซหรือของเหลว ก็เป็นสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งของแผ่นฟิล์มที่ควรระบุไว้ในการใช้งาน

### **ผลงานทางวิชาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้น**

วารสารทางวิชาการที่ตีพิมพ์ในประเทศ หรือต่างประเทศ อย่างน้อย 1 ฉบับ ที่เกี่ยวข้องกับ Polymer Engineering

### บทคัดย่อ

การบริโภคยางรถยนต์มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นทุกปี ซึ่งยางรถยนต์เหล่านี้จะกลายเป็นขยะเหลือใช้ที่มีจำนวนมากขึ้นและการทำลายยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำยางรถยนต์ที่ใช้แล้วมาดัดเป็นผงขนาด 20,26 และ 40 Mesh แล้วจึงนำมาผสมกับพลาสติก พอลิเอทธิลีนความหนาแน่นต่ำ เพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มด้วยกระบวนการขึ้นรูปฟิล์มแบบลูกกลิ้งหล่อเย็น เพื่อทำการศึกษาลักษณะของสารช่วยยึดเกาะและสมบัติเชิงกล พบว่า การปรับปรุงผิวของผงยางรถยนต์ที่ใช้แล้วโดยผ่านการเคลือบด้วยกรดสเตียริกในอัตราส่วนผงยางต่อกรดสเตียริกเท่ากับ 50:200 จะทำให้สเตียริกเคลือบอยู่บนผิวของผงยางได้มากที่สุดซึ่งสเตียริกจะทำให้ผงยางยึดเกาะกับพอลิเอทธิลีนความหนาแน่นต่ำได้ดีขึ้น จึงทำให้แผ่นฟิล์มมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ดังที่เห็นได้จากค่าการทนต่อแรงกระแทกและค่าการทนต่อแรงยึดดึงที่สูงขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้ผงยางที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ส่วนผลของปริมาณผงยางที่เติมลงไป พบว่าถ้าปริมาณผงยางเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้สมบัติการทนต่อแรงยึดดึงลดลง, ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดดึงมีแนวโน้มสูงขึ้นทั้งในทิศทางการดึงที่ตั้งฉากและทิศทางขนาน, ด้านการทนแรงกระแทกลดลง, การทนต่อแรงฉีกขาดสูงขึ้น และความแข็งแรงของชิ้นงานลดลง ส่วนผลของขนาดอนุภาคผงยางส่งผลต่อสมบัติเชิงกลไม่มากนักเนื่องจากสมบัติเชิงกลเกือบทุกด้านมีค่าค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามขนาดอนุภาคผงยางที่ทำการทดลอง ซึ่งจากการศึกษาพบว่า อัตราส่วนที่ให้สมบัติโดยรวมที่ดีที่สุดคือ การใช้ผงยางที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยกรดสเตียริก ขนาด 20 Mesh และผสมลงใน LDPE ปริมาณ 5 phr

### **Abstract**

The consumer of tire are increased every year. Thus, tire waste could be danger for environmental for a long time. In this research tried to use ground tire rubber (GTR) at amount of 20, 26, and 40 mesh size, respectively. Low density polyethylene (LDPE) and GTR are fed in to chill roll cast film as LDPE/GTR film to study effect of coupling agent and mechanical properties. It was found that stearic coated with LDPE/GTR film are improved mechanical properties as impact and tensile test and best condition on 50:200 for GTR and stearic acid. In term amount of GTR are investigated, an increase of GTR, tensile stress, impact energy and hardness were decreased. But, tear strength and elongation at break tend to increase. As comparing as sizes, it was found that selected particles have no more changed the mechanical properties. So, it could be concluded that suitable composition is filled LDPE with 20 mesh coated stearic acid GTR at 5 phr.

## เนื้อหา

### ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

การบริโภคยางรถยนต์มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นทุกปี ดังนั้นยางรถยนต์เหล่านี้จึงกลายเป็นขยะเหลือใช้ที่มีจำนวนมากขึ้นและการทำลายยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว ซึ่งวิธีทางหนึ่งที่แก้ไขได้คือ การนำขยะยางกลับมาใช้ใหม่ โดยนำยางเหล่านี้ที่ผ่านกระบวนการที่ทำให้โมเลกุลของยางที่เชื่อมโยงกันแล้ว (cross-linked rubber) มาทำให้แตกออกเป็นโมเลกุลขนาดเล็กที่สามารถใช้งานได้เรียกว่ายางรีเคลม (reclaimed rubber) จากนั้นนำไปผสมกับสารเคมีและนำไปวัลคาไนซ์ใหม่ได้อีก โดยที่ยางยังคงมีคุณสมบัติความยืดหยุ่น และคุณสมบัติเชิงกลที่ดีอยู่จึงสามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติได้ แต่เนื่องจากปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำยางรีเคลม พบว่ามีต้นทุนที่สูงในการนำมาใช้ใหม่ของยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว เพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าวและเป็นทางเลือกสำหรับการนำยางรถยนต์มาใช้ใหม่ ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาการนำผงยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว (ground tire rubber powder) มาผสม และนำไปผลิตฟิล์มพลาสติกที่สามารถพัฒนาสมบัติเชิงกลของฟิล์มพลาสติกให้ดีขึ้นเช่นความทนทานต่อแรงกระแทก ความยืดหยุ่น ความย่นและรอยยับของฟิล์มพลาสติก ทั้งนี้เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ อาทิเช่น พลาสติกรองรับแรงกระแทก ภาชนะใส่ของป้องกันการกระแทก ฟิล์มห่อป้องกันความเสียหายของชิ้นงานหรืออื่นๆ ซึ่งการผลิตฟิล์มพลาสติกโดยการนำส่วนผสมหลักในการผลิตคือพลาสติกพอลิเอทิลีน (polyethylene, PE) มาผสมกับผงยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว นอกจากเหตุผลเพื่อลดปัญหาที่เกิดจากยางรถยนต์ที่เป็นขยะซึ่งสามารถแยกตามธรรมชาติกลับมาใช้อีกครั้งหนึ่งเป็นการช่วยลดปัญหาสภาวะโลกร้อน (global warming) ซึ่งเป็นปัญหาระดับนานาชาติในปัจจุบัน และการผสมผงยางรถยนต์ที่ใช้แล้วยังเป็นการลดต้นทุนในการผลิตอีกด้วย

## วัตถุประสงค์

เพื่อผลิตฟิล์มโดยผลิตจากพลาสติก LDPE ผสมผงยางรถยนต์ใช้แล้ว โดยหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มพลาสติก LDPE ผสมผงยางรถยนต์ และปรับปรุงสมบัติเชิงกล สมบัติการต้านทานรอยขีดข่วน สมบัติการต้านทานการฉีกขาดของฟิล์ม

## ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัยและผลงานที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้เป็นทางเลือกหนึ่งซึ่งสามารถดัดแปลงการใช้ประโยชน์จากผงยางรถยนต์ที่ใช้แล้วผสมลงในพอลิเอทิลีนเพื่อใช้เป็นฟิล์มกันรอยขีดข่วน ซึ่งอาจใช้แทนฟิล์มกันกระแทกที่มีอากาศอยู่ภายในและฟิล์มที่ใช้ห่อหุ้มภาชนะหรือพาเลทในการขนย้าย ซึ่งหากมองในแง่ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจแล้ว ฟิล์มกันกระแทกที่มีอากาศอยู่ภายใน ขนาดความกว้าง 1.30 ม. ยาว 100 ม. มีราคาเท่ากับ 600 บาท ฟิล์มห่อหุ้มภาชนะหรือพาเลท ขนาดความกว้าง 1.00 ม. ยาว 200 ม. มีราคาเท่ากับ 300 บาท ดังนั้นการนำผงยางรถยนต์มาใช้ประโยชน์จึงน่าจะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ

แนวทางในการผลิตฟิล์มผสมผงยางรถยนต์จากเอกสารที่สืบค้นพบว่า การผสมผงยางรถยนต์ลงในพอลิเมอร์ จะให้ค่าการทนแรงกระแทก (Impact Strength) สูง แต่สมบัติด้านการยืดดึง (Elongation) ลดลงอย่างมาก เนื่องจากไม่มีการยึดติดระหว่างวัสดุพอลิเมอร์กับพอลิเมอร์ที่ดี [1] อีกทั้งได้มีการศึกษาความเป็นไปได้ที่จะผลิตวัสดุผสมโดยผสมรีไซเคิลพอลิเอทิลีนเข้ากับเศษยางรถยนต์บด โดยใช้เครื่องหลอมอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ (Twin Screw Extruder) โดยมีรีไซเคิลพอลิเอทิลีน และเศษยางรถยนต์บด จะถูกเติมเข้าไปในเครื่องอัดรีด โดยที่ไม่ต้องเติมสารเติมแต่งใดๆ ผลการทดลองพบว่าวัสดุผสมที่เตรียมได้มีสมบัติเชิงกลที่ดี ถ้าใช้เศษยางรถยนต์บดในปริมาณน้อย และใช้สภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมเพราะเมื่อใช้อุณหภูมิในการผลิตสูงมากจะทำให้บางส่วนของเศษยางรถยนต์บดเกิดการเสื่อมสลาย (Degradation) เกิดเป็นคาร์บอน หรือที่เรียกว่าเกิดการ Carbonization และยังมีผลทำให้ค่าความหนืด (Viscosity), ค่าโมดูลัส (Modulus), ค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile Stress) เพิ่มขึ้น แต่ค่าการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) ลดลง [2] นอกจากนี้ การปรับปรุงพื้นผิวของยางก่อนนำไปใช้ผสมกับพอลิเมอร์ ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธีทั้งทางด้านเคมีและทางด้านฟิสิกส์ อาทิเช่น การใช้ Silane เป็นสารช่วยประสาน, การใช้พลาสมา และรังสีอิเล็กตรอน (Electron beam radiation) เพื่อช่วยทำให้การเข้ากันระหว่างยางและพอลิเมอร์มีมากขึ้น ซึ่งส่งผลโดยตรงกับสมบัติเชิงกลในทุกด้าน [3,5-6] แต่สารประสานอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ กรดสเตียริก ซึ่งได้มีการศึกษาผลของกรดสเตียริกที่เคลือบบนผิวของ zeolite ผสมลงใน LDPE, LLDPE, HDPE แล้วนำมาผลิตเป็นฟิล์ม โดยเปรียบเทียบ ระหว่าง zeolite ที่เคลือบด้วยกรดสเตียริกและไม่ได้เคลือบด้วยกรดสเตียริกโดยดูผลจากการทดสอบ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สมบัติ

การไหล และสัณฐานวิทยา ผลคือ zeolite ที่เคลือบด้วย Stearic acid จะทำให้พลาสติกมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ค่าโมดูลัส ค่ายืดดึง และค่าทนการกระแทก เพิ่มขึ้น [4,7] จากงานวิจัยทั้งหมดจึงตั้งสมมติฐานได้ว่า ในการผลิตฟิล์มพอลิเอทธิลีนผสมพวยางรถยนต์ที่ใช้แล้วจำเป็นต้องมีการปรับปรุงสมบัติของพวยางให้ดียิ่งขึ้นก่อนนำไปผลิตจริง โดยมุ่งใช้ Stearic acid เคลือบผิวพวยางก่อนนำไปผสมใน LDPE ซึ่งสาเหตุที่เลือกใช้พอลิเมอร์ชนิด LDPE คือ ปริมาณการใช้งานฟิล์มพลาสติก LDPE มีปริมาณการใช้งานที่มากกว่า LLDPE และ HDPE อีกทั้งยังมีราคาตามท้องตลาดถูกกว่า นอกจากนี้ การใช้อย่างรถยนต์ที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ก็มีข้อดีอีกหลายประการเช่น ใช้พลังงานในการผลิตน้อยลง เนื่องจากยางที่ผ่านการใช้งานแล้วจะง่ายต่อการหลอมเพื่อขึ้นรูปใหม่ อีกทั้งยังช่วยลดเวลาในการผลิตอีกด้วย และถ้าขึ้นรูปด้วยการการใช้ Extrusion จะเห็นว่าการหดตัวของชิ้นงานจะน้อยเนื่องจากในยางมีส่วนของ Crosslink gel อยู่ [3]

## วิธีการวิจัย

### เตรียมฟิล์มพลาสติกโดยพวยางรถยนต์เคลือบด้วยกรดสเตียริก

ผสมกรดสเตียริกกับน้ำและพวยาง ในอัตราส่วนดังตารางที่ 1 โดยทำการผสมกรดสเตียริกกับน้ำก่อน ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C จนกรดสเตียริกละลาย จากนั้นนำพวยางแช่ในชั้นกรดสเตียริกนาน 1 ชั่วโมง กรองเอาเฉพาะพวยางที่เคลือบด้วยกรดสเตียริก ส่วนกระดาษกรองที่มีกรดสเตียริกติดอยู่ นำมาละลายด้วยตัวทำละลาย Butanol แล้วหาน้ำหนักกรดสเตียริกที่ได้ เพื่อหา ปริมาณการเคลือบพวยางด้วยกรดสเตียริกให้ได้มากที่สุด นำพวยางที่เคลือบกรดสเตียริกมาอบที่อุณหภูมิ 80 °C นาน 12 ชั่วโมง แล้วนำมาเก็บไว้ในภาชนะสุญญากาศ นำพวยางที่ได้ผสมกับ LDPE และ Azodicarbonamide ตามอัตราส่วนดังตารางที่ 2 ผสมด้วยเครื่อง Twin Screw Extruder โดยกำหนดพารามิเตอร์ของเครื่องมือ ดังตารางที่ 3 นำเม็ดพลาสติกผสมที่ได้อบไล่ความชื้นที่ อุณหภูมิ 80 °C นาน 5 ชั่วโมง แล้วนำไปขึ้นรูปเป็นฟิล์มพลาสติกด้วยเครื่อง Cast Film Extruder โดยกำหนดพารามิเตอร์ของเครื่องมือ ดังตารางที่ 4 นำฟิล์มที่ได้มาวัดความหนาด้วยไมโครมิเตอร์ แล้วบันทึกผล จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกตามมาตรฐาน ASTM D-3763 ทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D882-67 ทดสอบการต้านทานการฉีกขาดของฟิล์มตามมาตรฐาน ASTM D-624 และทดสอบความแข็งตามมาตรฐาน ASTM D-2240 เพื่อศึกษาความสามารถในการเกิดรอยขีดข่วนที่ผิวของชิ้นงาน โดยทำการทดลอง 10 ครั้งในแต่ละการทดสอบดังที่กล่าวมา

ตารางที่ 1 อัตราส่วนกรดสเตียริก : น้ำ : พงยาง ที่ใช้ในสูตรที่ 1 สูตรที่ 2 และสูตรที่ 3

| สารเคมี            | สูตรที่ 1 * | สูตรที่ 2 | สูตรที่ 3 |
|--------------------|-------------|-----------|-----------|
| กรดสเตียริก (กรัม) | 200         | 200       | 200       |
| น้ำ (มิลลิลิตร)    | 500         | 500       | 500       |
| พยาง (กรัม)        | 50          | 100       | 150       |

\* ผลการทดลองจากการเคลือบผิวพบว่าสูตรที่ 1 มีปริมาณกรดสเตียริกติดบนกระดาษกรองน้อยที่สุด แสดงให้เห็นว่ากรดสเตียริกเคลือบบนผิวพยางได้มากที่สุด ดังนั้นจึงทำการเคลือบพยางตามสูตรที่ 1

ตารางที่ 2 อัตราส่วน LDPE และพยางที่ผ่านการเคลือบผิวแล้ว

| ขนาดอนุภาคพยาง         | 20 Mesh, 26 Mesh และ 40 Mesh |          |          |            |
|------------------------|------------------------------|----------|----------|------------|
| LDPE : พยาง : AZ (phr) | 100:5:1                      | 100:10:1 | 100:15:1 | 100:20:1 * |

\* อัตราส่วน 100:20:1 ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์ที่กำหนดของเครื่อง Twin Screw Extruder\*

|                                         | อุณหภูมิ (°C) |        |        | ความเร็วรอบของสกรู<br>(rpm) | ความเร็วรอบของ<br>เครื่องตัดเม็ดพลาสติก<br>(rpm) |
|-----------------------------------------|---------------|--------|--------|-----------------------------|--------------------------------------------------|
|                                         | Zone 1        | Zone 2 | Zone 3 |                             |                                                  |
| ผงยางที่เคลือบด้วย<br>กรดสเตียริก       | 120           | 180    | 190    | 100                         | 7                                                |
| ผงยางที่ไม่ได้เคลือบด้วย<br>กรดสเตียริก | 120           | 180    | 190    | 40                          | 5                                                |

\* Twin Screw Extruder รุ่น PRISM TSE 16TC

ตารางที่ 4 พารามิเตอร์ที่กำหนดของเครื่อง Cast Film Extruder\*

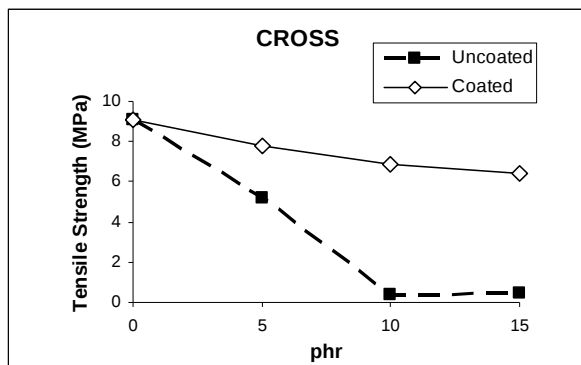
| อุณหภูมิ (°C) |     | ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง (rpm) |     |     | ความเร็วรอบของสกรู(rpm) |
|---------------|-----|------------------------------|-----|-----|-------------------------|
| Feed zone     | Die |                              |     |     |                         |
| 150           | 180 | 0.5                          | 0.9 | 1.3 | 100                     |

\* Cast Film Extruder รุ่น LAB TECH ENGINEERING LE 25-30/C

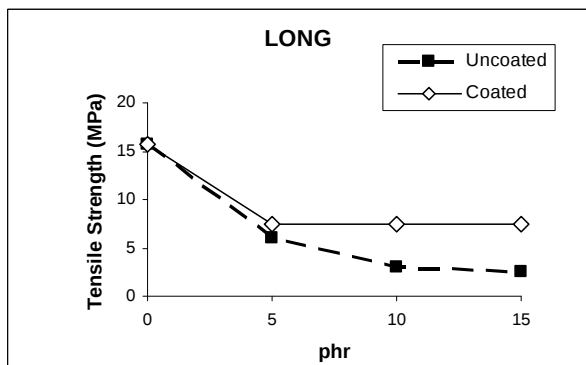
## ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

### 1) การทดสอบสมบัติการทนต่อแรงยืดดึง

การทดสอบการทนต่อแรงยืดดึงของฟิล์มพลาสติก เป็นการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D-638 ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine ในการทดสอบค่าความแข็งแรงต่อแรงยืดดึง (Tensile strength) และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดดึง (% Elongation) ซึ่งจากการทดสอบผลของปริมาณผงยางที่ใส่เข้าไปพบว่า เมื่อปริมาณผงยางมากขึ้น ทำให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงยืดดึงลดลงอย่างมาก ดังแสดงในรูปที่ (1a) และ (1b) เนื่องจากทำให้เกิดการแยกเป็น 2 ภูมิภาคระหว่างอนุภาคยาง และ LDPE เพิ่มขึ้น ทำให้เมื่อมีการให้แรงดึงจึงรับแรงได้น้อยลง ค่าความแข็งแรงต่อแรงยืดดึงจึงลดลง เมื่อพิจารณาการเคลือบผิวผงยางด้วยกรดสเตียริกพบว่า ค่าความแข็งแรงต่อแรงยืดดึง ดีขึ้นอย่างชัดเจนทั้งในทิศทางตั้งฉากกับการ Extrusion (a) และทิศทางเดียวกันกับการ Extrusion (b)



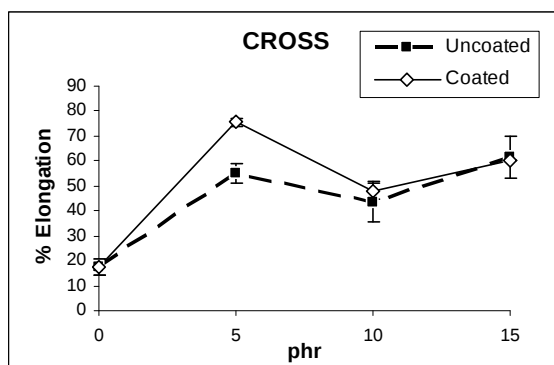
(a)



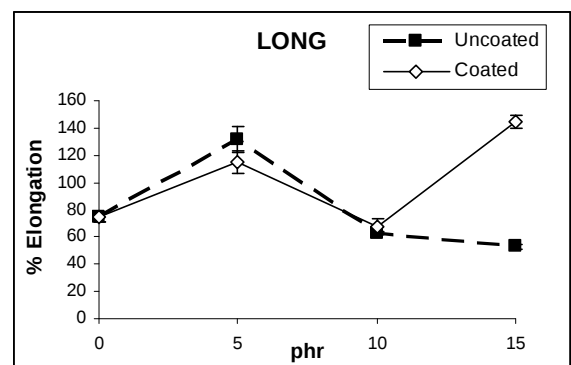
(b)

รูปที่ 1 ค่าความแข็งแรงต่อแรงยืดดึง (Tensile strength) ของ LDPE ผสมผงยางขนาดอนุภาค 20 Mesh ที่อัตราส่วนต่างๆ

เมื่อพิจารณาผลปริมาณพวงยางที่ใส่เข้าไปต่อค่าเปอร์เซ็นต์การยืดดึง ดังแสดงในรูปที่ (2a) และ (2b) พบว่าในส่วนนี้ไม่สามารถอธิบายได้ชัดเจนนัก โดยในงานวิจัย ในปี ค.ศ.2005 R. Scaffaro และคณะ [2] ศึกษาการเตรียมวัสดุผสมระหว่างพวงยางรถยนต์กับ Recycled PE โดยทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมที่เตรียมได้ พบว่าเมื่อเปรียบเทียบปริมาณพวงยางที่ใส่เพิ่มมากขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดดึงที่ได้ไม่สามารถอธิบายได้เช่นเดียวกันว่าเพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น แต่สิ่งที่เห็นชัดเจนในงานวิจัยนี้คือ ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดดึงในทิศทางตั้งฉากกับการ Extrusion (รูปที่ 2a) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในทุกปริมาณการเติมพวงยาง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเติมพวงยางลงไปในพื้นที่ ทำให้การจัดเรียงตัวตามทิศทางเดียวกันกับการ Extrusion ของสายโซ่โพลิเอทิลีน LDPE ถูกขัดขวางด้วยอนุภาคยาง และเกิดการเกี่ยวพันกับสายโซ่โพลิเอทิลีน ดังแบบจำลองที่แสดงไว้ในรูปที่ (3) ดังนั้นเมื่อดึงฟิล์ม LDPE ในทิศทางตั้งฉากกับทิศทาง Extrusion (รูปที่ 2a) จึงมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่า LDPE ที่ไม่เติมพวงยาง ในส่วนผลการทดสอบของพวงยางขนาดอนุภาค 26 และ 40 Mesh ให้ผลการทดสอบจากการยืดดึงเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลการทดลองจากพวงยางขนาดอนุภาค 20 Mesh ดังที่ได้อธิบายไว้

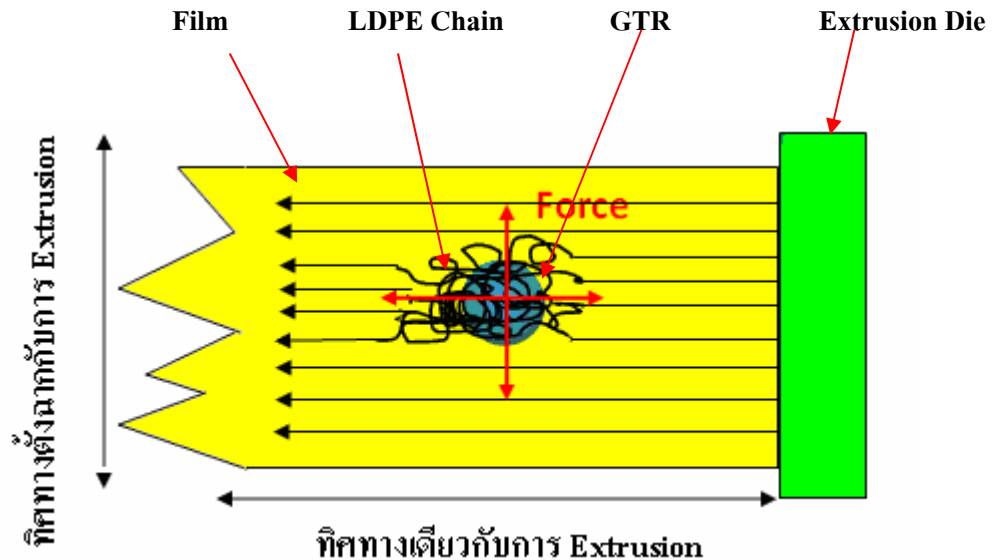


(a)



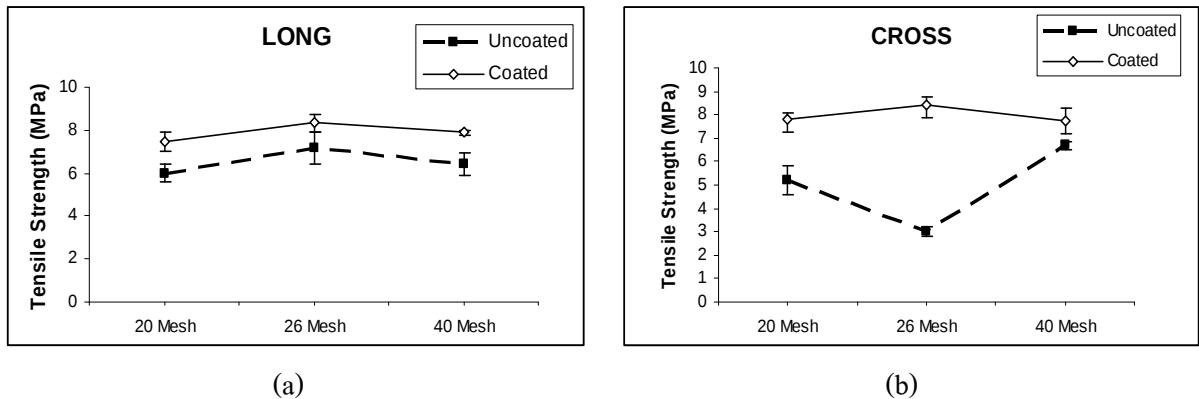
(b)

รูปที่ 2 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดดึง (% Elongation) ของ LDPE ผสมพวงยางขนาดอนุภาค 20 Mesh ที่อัตราส่วนต่างๆ

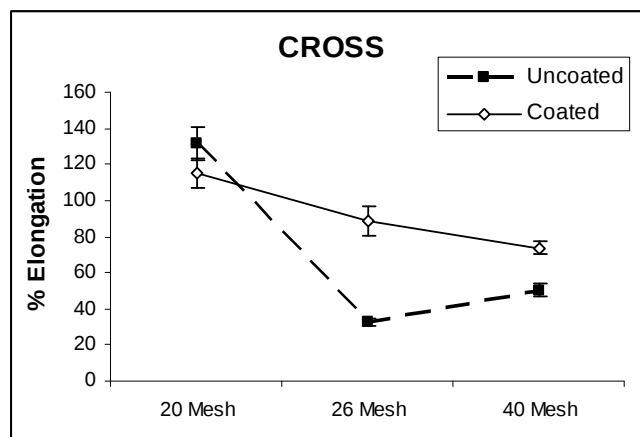


รูปที่ 3 แบบจำลองลักษณะการเกี่ยวพันกันของสายโซ่ LDPE กับอนุภาคยางที่เคลือบกรดสเทียริกในแผ่นฟิล์ม

เมื่อพิจารณาผลของขนาดอนุภาคยาง ดังแสดงในรูปที่ (4a) และ (4b) พบว่า ค่าความแข็งแรงต่อแรงยึดดึงมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงไปตามขนาดผยางที่ใหญ่ขึ้น โดยเฉพาะส่วนผสมที่ใช้ผยางที่ไม่ได้เคลือบผิวด้วยกรดสเทียริก กล่าวคือค่าความแข็งแรงต่อแรงยึดดึงของผยาง 26 Mesh มีค่าต่ำที่สุดเมื่อตั้งในทิศทางตั้งฉากกับการ Extrusion (รูปที่ 4 a) ในส่วนทิศทางเดียวกันกับการ Extrusion (รูปที่ 4b) พบว่าค่าความแข็งแรงต่อแรงยึดดึงที่ได้ไม่ต่างกันมากนักทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก อนุภาคยางมีขนาดที่ไม่แตกต่างกันมาก จึงทำให้เมื่อทำการตั้งทั้งในทิศทางตั้งฉากกับการ Extrusion และในทิศทางเดียวกันกับการ Extrusion มีแนวโน้มที่คงที่ แต่สิ่งที่ส่งผลให้เห็นอย่างชัดเจนคือ ผลของการใช้กรดสเทียริกเป็นสารช่วยผสม หรือช่วยยึดเกาะระหว่างอนุภาคยางและ LDPE พบว่า การเคลือบผิวอนุภาคยางด้วยกรดสเทียริกทำให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงยึดดึงและค่าเปอร์เซ็นต์การยึดดึงสูงขึ้น จากผลการทดลองค่าการยึดดึงตามทิศทางตั้งฉากกับการ Extrusion (รูปที่ 5) พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การยึดดึงมีแนวโน้มลดลง ตามขนาด Mesh และค่าเปอร์เซ็นต์การยึดดึงของอนุภาคยางที่เคลือบผิวมีค่าสูงกว่าอนุภาคยางที่ไม่ได้เคลือบผิวซึ่งให้ผลการทดลองเหมือนกับค่าความแข็งแรงต่อแรงยึดดึง (รูปที่ 4)

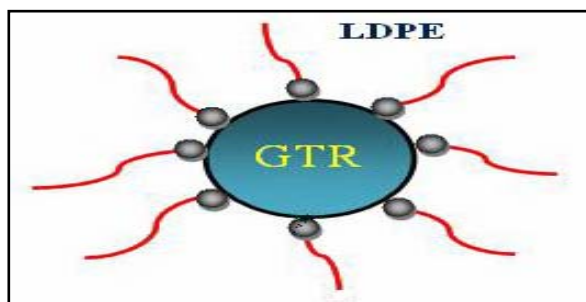


รูปที่ 4 ค่าความแข็งแรงต่อแรงยืดดึง (Tensile strength) ของ LDPE ผสมผงยางขนาดอนุภาคต่างๆ ที่อัตราส่วน 5 phr



รูปที่ 5 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดดึง (% Elongation) ของ LDPE ผสมผงยางขนาดอนุภาคต่างๆ ที่อัตราส่วน 5 phr ในทิศทางตั้งฉากกับการ Extrusion (cross)

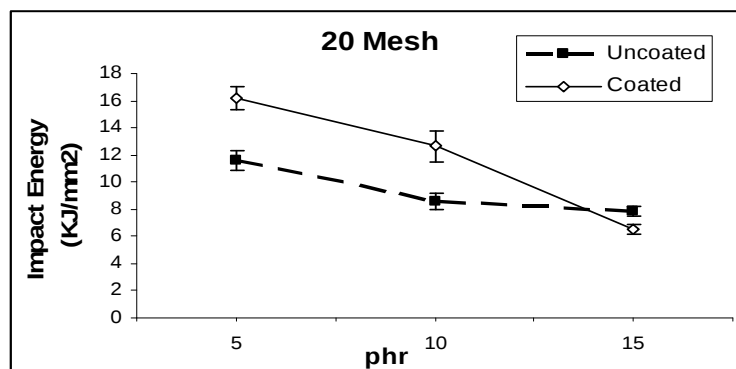
การใช้กรดเตียริกเป็นสารช่วยยึดเกาะทำให้ค่าความแข็งแรงต่อแรงยืดดึงและค่าเปอร์เซ็นต์การยืดดึงสูงขึ้น เนื่องจากกรดเตียริกมีทั้งส่วนที่มีขั้วคือหมู่คาร์บอนิล และส่วนที่ไม่มีขั้วคือหมู่อัลคิล เมื่อเคลือบสารละลายกรดเตียริกลงบนผิวอนุภาคยาง กรดเตียริกจะหันด้านที่มีขั้วจับกับผิวอนุภาคยาง ทำให้อนุภาคยางมีขั้ว และหันด้านที่ไม่มีขั้วไปจับกับ LDPE เนื่องจาก LDPE ไม่มีขั้ว จึงทำให้ได้อนุภาคยางที่เกิดการยึดเกาะกับ LDPE ดังแสดงในรูปที่ 6



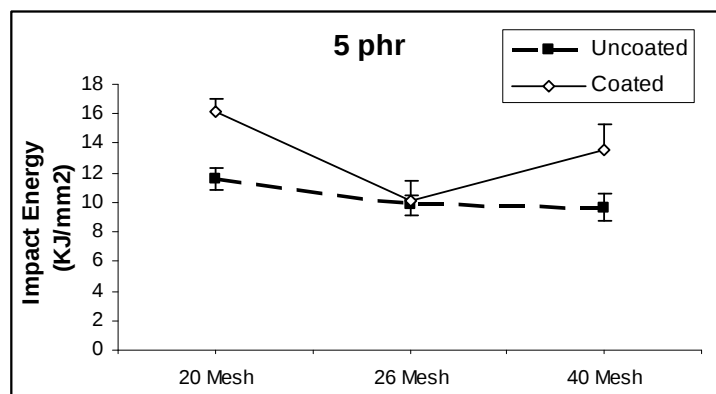
รูปที่ 6 แบบจำลองลักษณะการยึดเกาะระหว่างอนุภาคยางและ LDPE โดยใช้กรดสเตียริกเป็นสารช่วยผสม

## 2) การทดสอบสมบัติการทนต่อแรงกระแทก

การทดสอบสมบัติการทนแรงกระแทกของชิ้นงาน LDPE ผสมผงยาง ด้วยวิธี Izod ตามมาตรฐาน ASTM D256 ด้วยเครื่อง Impact Tester ผลการทดสอบจะได้ค่าการทนแรงกระแทก (Impact Energy) พบว่า ผลของปริมาณผงยางที่ใส่เข้าไป และผลของการเคลือบผิวอนุภาคยางด้วย กรดสเตียริกแสดงในรูปที่ (7) เมื่อปริมาณผงยางมากขึ้นค่าการทนแรงกระแทกลดลง เนื่องจากเกิดการแยกวัฏภาคระหว่างผิวของอนุภาคยาง และ LDPE เพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการส่งผ่านแรงระหว่างวัฏภาคลดลง จึงทำให้การต้านทานแรงกระแทกลดลง แต่เมื่อทำการเคลือบผิวอนุภาคยางด้วยกรดสเตียริก ทำให้ได้ค่าการทนแรงกระแทกที่สูงขึ้น เนื่องจากกรดสเตียริกทำหน้าที่ยึดเกาะระหว่างอนุภาคยาง และ LDPE ให้ยึดติดเข้าด้วยกัน จึงทำให้ต้านทานแรงกระแทกได้สูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณผงยางลงไปจนถึง 15phr พบว่าการเคลือบผิวผงยาง ไม่มีผลต่อสมบัติการทนแรงกระแทกมากนัก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณผงยางที่มากขึ้นทำให้เกิดการแยกวัฏภาคเพิ่มขึ้น ผลของประสิทธิภาพในการใช้สารเคลือบผิวจึงลดลง



รูปที่ 7 ค่าการทนแรงกระแทก (Impact energy) กับ LDPE ผสมผงยางขนาดอนุภาค 20 Mesh ที่อัตราส่วนต่างๆ

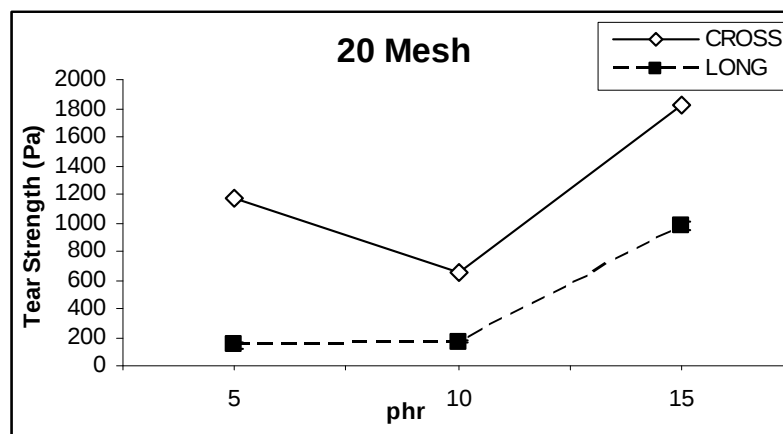


รูปที่ 8 ค่าการทนแรงกระแทก (Impact energy) กับ LDPE ผสมผงยางขนาดที่อนุภาคต่างๆที่อัตราส่วน 5 phr

เมื่อพิจารณาขนาดอนุภาคยาง ดังแสดงในรูปที่ (8) พบว่า ขนาดอนุภาคยางไม่ให้ค่าการทนแรงกระแทกที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนในกรณีผงยางไม่ได้เคลือบด้วยกรดสเตียริก แต่เมื่อใช้ผงยางที่เคลือบด้วยกรดสเตียริก พบว่าที่ 26 Mesh มีค่าต่ำที่สุด ซึ่งเป็นไปตามผลการทดสอบจากการยึดดึงแต่โดยรวมแล้วผงยางทั้งสามขนาด หากจะนำมาใช้ในฟิล์มพลาสติกผสมผงยางตามปริมาณที่การทดลองนี้ได้กำหนดไว้ ต้องมีการปรับปรุงผิวของผงยางด้วยกรดสเตียริกก่อนนำมาผสม เพื่อให้ได้สมบัติที่ดี

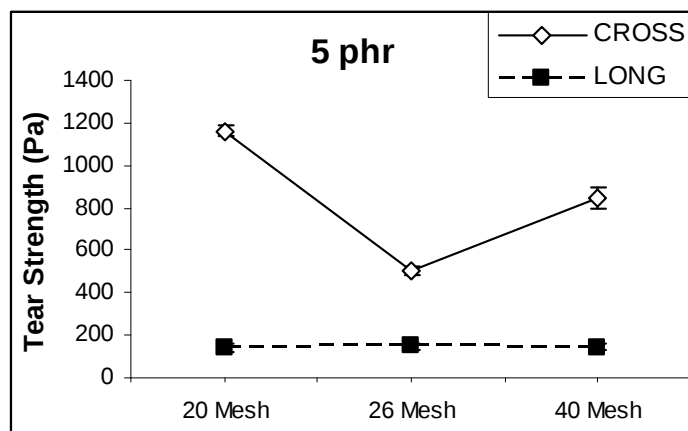
### 3) การทดสอบสมบัติการทนต่อการฉีกขาด

การทดสอบสมบัติการทนต่อการฉีกขาด (Tear Strength) ของชิ้นงาน LDPE ผสมผงยาง ทั้งในทิศทางตั้งฉากกับการ Extrusion (CROSS) และทิศทางเดียวกันกับการ Extrusion (LONG) โดยการศึกษาผลของปริมาณผงยางที่เคลือบด้วยกรดสเตียริกที่ใส่เข้าไป ดังแสดงในรูปที่ (9)



รูปที่ 9 ค่าการทนต่อการฉีกขาด (Tear strength) กับ LDPE ผสมผงยางขนาดอนุภาค 20 Mesh ที่อัตราส่วนต่างๆ

พบว่า เมื่อปริมาณผงยางมากขึ้น ค่าการทนแรงฉีกขาดทั้งในทิศทาง CROSS และทิศทาง LONG มีแนวโน้มมากขึ้น เนื่องจากเกิดการเกี่ยวพันกันระหว่างสายโซ่โพลิเมอร์ของ LDPE กับอนุภาคผงยางมากขึ้น ตามปริมาณของผงยางที่เติมลงไป (ดังแสดงในรูปที่ 3) ส่งผลทำให้แรงที่ใช้ในการฉีกแผ่นฟิล์มมากขึ้นนั่นเอง แต่ที่ปริมาณผงยาง 10 phr ในทิศทาง CROSS มีค่าลดลงและไม่เป็นไปตามแนวโน้ม อาจเกิดเนื่องจากผงยางในแผ่นฟิล์มมีการกระจายตัวไม่ดี หรือเกิดการเกาะตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (Agglomerate) ทำให้แรงที่ใช้ในการฉีกแผ่นฟิล์มมีค่าลดลง ส่วนทิศทางในการฉีกของแผ่นฟิล์มพบว่าทิศทาง CROSS จะให้ค่าการทนแรงฉีกขาดมากกว่าในทิศทาง LONG เนื่องจากสายโซ่โพลิเมอร์ของ LDPE จะจัดเรียงตัวในทิศทาง LONG ทำให้เมื่อได้รับแรงฉีกในทิศทางเดียวกันสายโซ่โพลิเมอร์ก็หลุดออกจากกันได้ง่ายกว่า แต่ในทิศทาง CROSS ซึ่งเป็นทิศทางที่ตั้งฉากกับสายโซ่โพลิเมอร์ทำให้ต้องใช้แรงในการฉีกมากกว่าเนื่องจากจะต้องฉีกสายโซ่โพลิเมอร์ให้ขาดออกจากกัน

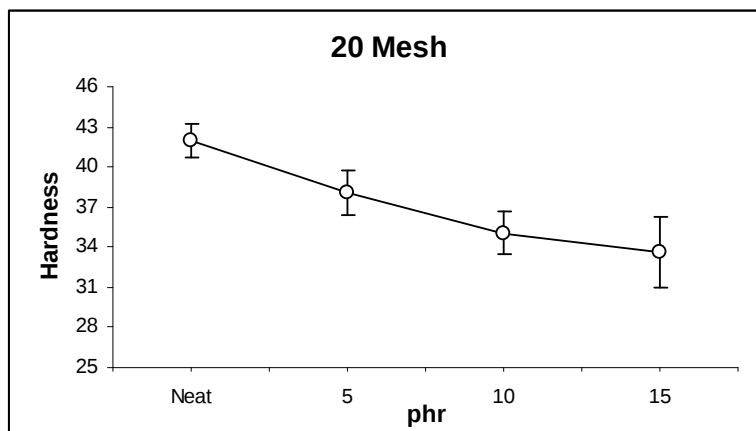


รูปที่ 10 ค่าการทนต่อการฉีกขาด (Tear strength) กับ LDPE ผสมผงยางขนาดที่อนุภาคต่างๆที่อัตราส่วน 5 phr

การศึกษาผลของขนาดอนุภาคผงยาง ดังแสดงในรูปที่ (10) เมื่อพิจารณาการทนแรงฉีกขาดในทิศทาง CROSS ขนาดอนุภาคผงยาง 20 mesh มีค่าต้านทานการฉีกขาดสูงที่สุด และที่ขนาดผงยาง 26 Mesh มีค่าการทนต่อการฉีกขาดน้อยที่สุด ซึ่งให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับการทนต่อแรงยืดดึง และการทนต่อแรงกระแทก ส่วนผลการทดสอบในทิศทาง LONG จะมีแนวโน้มไม่ต่างกันมากนัก ทั้งนี้ เนื่องจากการเติมผงยางลงไปในฟิล์มจะมีการจัดเรียงตัวตามทิศทางเดียวกันกับการ Extrusion และการเคลื่อนที่ของสายโซ่โพลิเมอร์ของ LDPE ถูกขัดขวางด้วยอนุภาคยางอยู่แล้ว ทำให้ขนาดผงยางที่ต่างกันไม่มาก ส่งผลต่อการฉีกขาดในทิศทางนี้ได้น้อย เมื่อเทียบกับการทนแรงฉีกขาดในทิศทาง CROSS

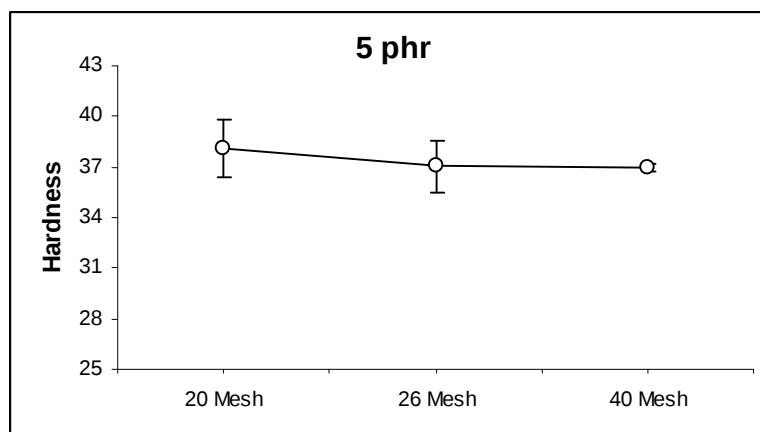
#### 4) การทดสอบสมบัติความแข็ง

การทดสอบสมบัติความแข็งของชิ้นงาน LDPE ผสมผงยาง ด้วยวิธี ShoreD ตามมาตรฐาน ASTM D2240 ด้วยเครื่อง Shore durometer การศึกษาผลของปริมาณผงยางที่เพิ่มขึ้นแสดงในรูปที่ (11) พบว่าเมื่อเติมผงยางลงไปใน LDPE จะทำให้ค่าความแข็งมีค่าลดลง และมีค่าลดลงอีกเมื่อเพิ่มปริมาณผงยาง ทั้งนี้เนื่องจาก ยางมีความยืดหยุ่นสูง และสามารถกระจายแรงระหว่างอนุภาคได้ดี ดังนั้นเมื่อนำหนักมากกดทับจึงเกิดการกระจายแรงมากขึ้นทำให้ความแข็งของชิ้นงานลดลง



รูปที่ 11 ค่าความแข็ง (Hardness) กับ LDPE ผสมผงยางขนาดอนุภาค 20 Mesh ที่อัตราส่วนต่างๆ

ส่วนการศึกษาผลของขนาดอนุภาคของยาง แสดงในรูปที่ (12) พบว่า อนุภาคของผงยางไม่ส่งผลต่อความแข็งมากนัก ดังที่เห็นได้จากค่าความแข็งของชิ้นงานที่ค่อนข้างคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของอนุภาคผงยาง ซึ่งให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับสมบัติเชิงกลด้านอื่นๆ



รูปที่ 12 ค่าความแข็ง (Hardness) กับ LDPE ผสมผงยางขนาดที่อนุภาคต่างๆ ที่อัตราส่วน 5 phr

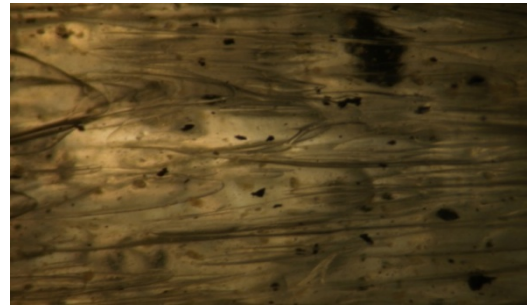
### 5) การทดสอบสมบัติการต้านทานรอยขีดข่วน

จากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D624 พบว่า फिल्म LDPE/GTR ไม่สามารถวัดค่าตามมาตรฐานได้ เนื่องจากแรงเริ่มต้นที่เครื่องมือให้กับชิ้นงานในขณะที่ยังไม่ได้ทำการวัดนั้น มีค่ามากพอที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการขาดได้ และความหนาของ फिल्म ณ จุดที่มีผองยางอยู่มีความหนามากกว่า ดังนั้นจึงไม่สามารถวัดค่าการกันรอยขีดข่วนของแผ่น फिल्म ได้ แต่ทั้งนี้ในเบื้องต้นได้ทำการทดสอบการเกิดรอยขีดข่วนด้วยการใช้ปากกาในการขีดพบว่าแผ่น फिल्म ที่ผสมผองยางสามารถเกิดรอยขีดข่วนบนแผ่น फिल्म น้อยกว่าแผ่น फिल्म LDPE ที่ไม่ผสมผองยางเนื่องจากการรับแรงกดอัดที่ดีขึ้นของอนุภาคยางที่ผสมอยู่

### 6) ลักษณะทางกายภาพของ फिल्म ที่ได้



(a)



(b)

รูปที่ 13 ลักษณะพื้นฐานวิทยาของ LDPE ผสมผองยาง 20 Mesh อัตราส่วน 5 phr

(a) ผองยางเคลือบด้วยกรดสเตียริก (b) ผองยางไม่เคลือบด้วยกรดสเตียริก

จากการศึกษาพื้นฐานวิทยาด้วยกล้อง Optical Microscope จะได้ภาพถ่ายแสดงลักษณะพื้นฐานวิทยาของ फिल्मพลาสติก LDPE ที่ผสมผองยาง จากรูป (13a) จะเห็นว่ากรดสเตียริกที่เคลือบไปบนผิวของผองยางจะทำให้อนุภาคยางยึดเกาะกับ LDPE ทำให้มีความเป็นเนื้อเดียวกันกับ LDPE ส่งผลให้สมบัติเชิงกล มีแนวโน้มที่ดีขึ้น และผิวของ फिल्म ที่ได้เมื่อสังเกตดูจะมีลักษณะราบเรียบ เนื่องจากกรดสเตียริกไปปกคลุมเคลือบที่ผิวของผองยาง จากรูป (13b) จะเห็นว่าผิวของ फिल्म ไม่เรียบ สันนิษฐานว่าไม่มีการยึดเกาะระหว่างกันแต่อย่างใด ทำให้เกิดการแยกวัฏภาคระหว่าง LDPE กับผองยาง คล้ายกับในวัฏภาคของ LDPE มีรูพรุนหรือจุดบกพร่อง (Flaw) จึงทำให้สมบัติเชิงกลลดต่ำลง

## 7) การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

จากการศึกษาพบว่าสามารถนำพวงยางรถยนต์ที่ใช้แล้วมาผสมกับพลาสติก LDPE เพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มห่อหุ้มกันรอยขีดข่วนได้และยังให้สมบัติเชิงกลที่ดี โดยพบว่าการปรับปรุงผิวของพวงยางรถยนต์ที่ใช้แล้วโดยผ่านการเคลือบด้วยกรดสเตียริกในอัตราส่วนพวงยางต่อกรดสเตียริกเท่ากับ 50:200 จะทำให้สเตียริกเคลือบอยู่บนผิวของพวงยางได้มากที่สุดซึ่งสเตียริกจะทำให้พวงยางยึดเกาะกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำได้ดีขึ้นและอัตราส่วนที่ให้สมบัติโดยรวมที่ดีที่สุดคือ การใช้พวงยางที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยกรดสเตียริก ขนาดอนุภาค 20 Mesh และผสมลงใน LDPE ปริมาณ 5 phr ดังนั้นหากพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์แล้ว แผ่นฟิล์ม LDPE 1 กิโลกรัม

|                                 | ราคา(บาท) |
|---------------------------------|-----------|
| แผ่นฟิล์ม LDPE 1 กิโลกรัม       | 130-150   |
| สารเคมีที่ใช้เคลือบผิวของพวงยาง | 2         |
| พวงยางบดละเอียด 50 กรัม         | 0.50      |

ถ้าคิดราคาแผ่นฟิล์ม 1 กิโลกรัมเท่ากับ 150 บาท เมื่อผสมพวงยางลงไป 5 phr พบว่า ราคาต้นทุนลดลง 3.17 % ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน่าจะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณพวงยางที่เติมลงไป

### สรุปผลการทดลอง

การปรับปรุงผิวของพวงยางรถยนต์ที่ใช้แล้วโดยผ่านการเคลือบด้วยกรดสเตียริกในอัตราส่วนพวงยางต่อกรดสเตียริกเท่ากับ 50:200 จะทำให้สเตียริกเคลือบอยู่บนผิวของพวงยางได้มากที่สุดซึ่งสเตียริกจะทำให้พวงยางยึดเกาะกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำได้ดีขึ้น ดังที่เห็นได้จากแผ่นฟิล์มมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น กล่าวคือค่าการทนต่อแรงกระแทกและค่าการทนต่อแรงยึดดึงที่สูงขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้พวงยางที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ส่วนผลของปริมาณพวงยางเพิ่มมากขึ้น ทำให้สมบัติการทนต่อแรงยึดดึงลดลง, ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดดึงมีแนวโน้มสูงขึ้นทั้งในทิศทางการดึงที่ดึงฉากและทิศทางขนาน, ด้านการทนแรงกระแทกลดลง, การทนต่อแรงฉีกขาดสูงขึ้น และความแข็งของชิ้นงานลดลง ทั้งนี้เนื่องจากพวงยางมีความยืดหยุ่นสูงและมีสมบัติเป็นอีลาสติคมาก ดังนั้นเมื่อผสมพวงยางลงไปแผ่นฟิล์ม ทำให้ชิ้นงานมีความยืดหยุ่นสูงตามไปด้วย แต่การแยกวัฏภาคระหว่างผิวของพวงยางกับ LDPE จะส่งผลให้การส่งผ่านแรงของ

อนุภาคลดลง ทำให้ชิ้นงานรับแรงได้น้อยลง นอกจากนี้ การศึกษาผลของขนาดอนุภาคผงยาง พบว่า ไม่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลมากนัก ซึ่งสังเกตได้จากสมบัติเชิงกลเกือบทุกด้านมีค่าค่อนข้างคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงตามขนาดอนุภาคผงยาง แต่ที่ขนาดอนุภาคผงยาง 26 Mesh จะให้สมบัติเชิงกลที่แย่ที่สุด เนื่องจากอนุภาคผงยางอาจเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน เกิดการแยกวัฏภาคระหว่าง LDPE กับอนุภาคผงยาง

จากผลการทดลองทดลองที่กล่าวมาข้างต้นทำให้พบว่า สามารถนำผงยางรถยนต์ที่ใช้แล้วมาผสมกับพลาสติก LDPE เพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มห่อหุ้มกันรอยขีดข่วนได้และยังให้สมบัติเชิงกลที่ดี โดยพบว่าอัตราส่วนที่ให้สมบัติโดยรวมที่ดีที่สุดคือ การใช้ผงยางที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยกรดสเตียริก ขนาดอนุภาค 20 Mesh และผสมลงใน LDPE ปริมาณ 5 phr

### ข้อเสนอแนะ

ความหนาของแผ่นฟิล์ม มีผลกระทบโดยตรงต่อสมบัติเชิงกลในทุกด้าน ดังนั้นการนำแผ่นฟิล์มไปใช้งานด้านต่างๆ จึงต้องพิจารณาถึงความหนาที่เหมาะสมของแผ่นฟิล์มด้วย ทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการศึกษาผลของความหนาของแผ่นฟิล์ม เพื่อเป็นการขยายขอบเขตในการใช้งานให้กว้างขึ้น นอกจากนี้ การศึกษาสมบัติการซึมผ่านของก๊าซหรือของเหลว ก็เป็นสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งของแผ่นฟิล์มที่ควรระบุไว้ในการใช้งาน

## เอกสารอ้างอิง

- [1] สมศักดิ์ วรมงคลชัย กรุงไกร เวียงนาค และ กษมา สุขพ่องศรี “ผลของการใช้อนุภาคนาวยางรถยนต์ที่มีต่อสมบัติเชิงกลของอะครีโลไนไตรล์-สไตรีน โคพอลิเมอร์” วารสารพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 10, ฉบับที่ 4, ตุลาคม-ธันวาคม, ปี 2543
- [2] R. Scaffaro, N. Tzankova Dintcheva, M.A. Nocilla, F.P. La Mantia, **“Formulation, characterization and optimization of the processing condition of blends of recycled polyethylene and ground tyre rubber: Mechanical and rheological analysis”** Polymer Degradation and Stability, **Vol. 90** : 281-287 (2005)
- [3] B. Adhikari, D. De, S. Maiti, **“Reclamation and recycling of waste rubber”** Progress in Polymer Science, **Vol. 25** : 909-948 (2000)
- [4] K. Hyun, B. Jagannath, C. Soonja, **“Effects of Stearic Acid Coating on Zeolite in LDPE, LLDPE and HDPE Composites”** Polymer, **Vol. 47** : 3981-3992 (2006)
- [5] N. Tzankova Dintchevaa, F.P. La Mantiaa, R. Scaffaroa, M. Pacib, D. Aciernoc, G. Caminod , **“Reprocessing and restabilization of greenhouse films”** Polymer Degradation and Stability, **Vol.75** : 459–464 (2002)
- [6] P. Mareri, S. Bastide, N.Binda & A.Crespy **“Mechanical behavior of polyethylene composite containing fine mineral filler effect of filler surface treatment”** Composites Science and Technology **Vol.58** : 747-752 (1998)
- [7] D.Metin, F.Tihminlioglu, D.Balkose, S.Ulku **“The effect of interfacial interactions on the mechanical properties of polypropylene/natural zeolite composites”** Composites: Part A **Vol.35** : 23–32 (2004)

## รายละเอียดการปรับปรุง / แก้ไขรายงาน

“การผลิตฟิล์มพลาสติกพอลิเอทิลีนผสมผงยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว

เพื่อใช้เป็นฟิล์มห่อหุ้มกันรอยขีดข่วน ”

สัญญาเลขที่ RDG5250031

| ข้อคิดเห็น/ข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | ชี้แจงโดยนักวิจัย                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><u>ความเห็นด้านการพิมพ์</u></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. ปรับวัตถุประสงค์ให้เหมือนในสัญญาฉบับทุน</li><li>2. หน้าที่ 8 หัวข้อ abstract มีคำและประโยคผิด</li></ol> <p><u>ความเห็นด้านวิชาการ (Technical)</u></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. หน้า 5 ข้อมูลรายงานสืบสน เนื่องจากสรุปการคิดราคาในปริมาณผงยางรถยนต์ 10 phr แต่ที่ย่อนหน้าแรกสรุปให้ใช้ให้ใช้ 5 phr ดังนั้น ควรคิดราคาที่ 5 phr และควรประเมินการปรับปรุงกรดสเตียริกด้วย นอกจากนั้นนักวิจัยกล่าวว่า ผงยางไม่มีมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์นั้นไม่น่าจะถูกต้อง เนื่องจากการนำมาใช้ทำยางรีเคลมเพื่อจำหน่ายได้</li><li>2. หน้า 7 บทคัดย่อ ควรระบุด้วยว่า การปรับปรุงผิวยางด้วยกรดสเตียริกนั้น ใช้ในปริมาณเท่าไรเหมาะสมที่สุด ในหัวข้อสรุปผลก็เช่นเดียวกัน นักวิจัยควรแสดงผลการทดลองเปรียบเทียบปริมาณต่างๆเพิ่ม เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการสรุปผล</li><li>3. การเคลือบกรดสเตียริก ควรเพิ่มเติมผลการสรุปผล เนื่องจากนักวิจัยระบุว่า เพื่อหาปริมาณการเคลือบกรดสเตียริกให้ได้มากที่สุด แต่ไม่ได้สรุปผลการเคลือบว่าเป็นอย่างไรและปริมาณเท่าไรที่ได้ผลดีที่สุด</li></ol> | <ol style="list-style-type: none"><li>1. วัตถุประสงค์เหมือนในสัญญาฉบับทุน</li><li>2. แก้ไขเรียบร้อยแล้วในหน้า และเพิ่มเติมข้อมูลใน abstract เนื่องจากเพิ่มบทคัดย่อ</li></ol> <ol style="list-style-type: none"><li>1. แก้ไขในสรุปผลหน้าที่ 5</li><li>2. แก้ไขในหน้าที่ 7 และเพิ่มเติมในหน้าที่ 24-25 ในหัวข้อสรุปผลการทดลอง</li><li>3. มีเหตุผลอยู่แล้วในหน้าที่ 17-18 และเพิ่มเติมในหน้า 24-25 หัวข้อสรุปผลการทดลอง</li></ol> |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>4. หน้า 20 รูปที่ 9 นักวิจัยอธิบายว่า ค่าทนแรงฉีกขาดในทิศทางตั้งฉากกับการ Extrusion และทิศทางเดียวกับการ extrusion มีแนวโน้มมากขึ้นแต่ในทิศทางตั้งฉากไม่เป็นเช่นนั้น ควรระบุว่าทำซ้ำกี่ครั้ง และทบทวนการใช้สัญลักษณ์ CROSS และ LONG</p> <p>5. การทดสอบการต้านทานการขีดข่วน เป็นความสำคัญของโครงการแต่นักวิจัยสรุปว่าไม่สามารถวัดได้ ทำให้ไม่สามารถประเมินความสำเร็จของโครงการได้ นักวิจัยอาจหาวิธีอื่นในการหา เช่น ใช้ดินสอหรือวัสดุอื่นขีดลงไป แล้วดูว่าเป็นรอยหรือไม่</p> <p>6. เพิ่มเติมหัวข้อการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ให้ชัดเจน<br/><u>ข้อเสนอแนะ</u><br/>การทดสอบไม่ได้ใส่ข้อมูลดิบไว้ในรายงาน ทำให้ไม่สามารถทราบว่า ค่าที่ได้มีความแม่นยำหรือไม่ และตัวอย่างที่ทดสอบมีความเป็น homogeneity หรือไม่</p> | <p>4. แก้ไขและเพิ่มเติมหน้าที่ 12 และ 20</p> <p>5. เพิ่มเติมในหน้า 23</p> <p>6. เพิ่มเติมในหน้า 24 หัวข้อที่ 7</p> <p>เนื่องจากข้อจำกัดในรายงานฉบับสมบูรณ์ที่ สกว. แนะนำว่าไม่ควรเกิน 25 หน้า กระดาษ A4 จึงไม่ได้ใส่ข้อมูล และข้อมูลที่จำเป็นดูความแม่นยำได้จาก error bar อยู่แล้ว</p> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|