โครงการ: การออกแบบและจัดสร้างลูกกลิ้งยางเพื่อใช้ในเครื่องแกะกระเทียม โดยใช้วัตถุดิบยางธรรมชาติ

โดย: ดร. นเรศ อินต๊ะวงค์ และคณะ

เดือน เมษายน ปี พ.ศ. 2551

เลขที่สัญญา RDG5050078

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ: การออกแบบและจัดสร้างลูกกลิ้งยางเพื่อใช้ในเครื่องแกะกระเทียม โดยใช้วัตถุดิบยางธรรมชาติ

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. ดร. นเรศ อินต๊ะวงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตภาคพายัพ (มทร.ล้านนา)
2. นายกนต์ธีร์ สุขตากจันทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตภาคพายัพ (มทร.ล้านนา)

โครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา (Small Project on Rubber: SPR)

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

บทสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหาร

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การออกแบบและจัดสร้างลูกกลิ้งยางเพื่อใช้ในเครื่องแกะกระเทียมโดยใช้วัตถุดิบยางธรรมชาติ

(ภาษาอังกฤษ) Design and production of the rubber roller for garlic peeling machine from nature rubber.

ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด และที่อยู่

ชื่อ-สกุล: ดร. นเรศ อินต๊ะวงค์

หน่วยงาน: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตภาคพายัพ

ที่อยู่: 128 ถนนห้วยแก้ว ต. ช้างเผือก อ. เมือง จ. เชียงใหม่ 50300

โทรศัพท์: 053-892462 โทรสาร 053-892462, 0816717214

E-mail: naret_i@yahoo.com

นักศึกษา/ผู้ร่วมวิจัย นายกนต์ธีร์ สุขตากจันทร์

ระยะเวลาดำเนินการ 9 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม 2550 ถึง 30 มีนาคม 2551

ปัญหาที่ทำวิจัยและความสำคัญ

เครื่องแกะกระเทียมทั่วไปใช้หลักการของการบดอัดหัวกระเทียมแห้งให้กะเทาะออกจากกันเป็นกลีบด้วยลูกกลิ้ง วัสดุที่ใช้ทำลูกกลิ้งในเครื่องแกะกระเทียมส่วนใหญ่มักเป็นการประยุกต์ใช้วัสดุเหลือใช้หรือที่ใช้ในงานประเภทอื่นเช่น ประเก็นยางที่ใช้ในเครื่องยนต์ หรือใช้ล้อยางรถยนต์ที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว ซึ่งมีความแข็งมากเกินไปจะทำให้กระเทียมช้ำหรือกลีบกระเทียมแตก ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ และจัดสร้างลูกกลิ้งแกะกระเทียมโดยใช้วัตถุดิบจากยางธรรมชาติเป็นองค์ประกอบหลัก โดยการอัดขึ้นรูปสารประกอบยางธรรมชาติหุ้มบนเพลาเหล็กให้เสมือนเป็นชิ้นส่วนเดียวกันในแม่พิมพ์อัด เพื่อให้ได้ลูกกลิ้งมีความยืดหยุ่นสูงขึ้น ลดการช้ำและแตกเสียหายของกลีบกระเทียม นอกจากนี้ลูกกลิ้งดังกล่าวยังได้ออกแบบให้มีหลายพื้นผิวลูกกลิ้ง(ลายลูกกลิ้ง) เพื่อหาว่าพื้นผิวแบบใดที่เหมาะสมและให้ประสิทธิภาพการแกะกระเทียมที่ดีที่สุด

วัตถุประสงค์

1. ออกแบบและจัดสร้างลูกกลิ้ง แกะกระเทียมโดยใช้ยางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบหลัก
2. ออกแบบแม่พิมพ์ (Compression mold) ที่สามารถผลิตผิวลูกกลิ้งในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อหาพื้นผิวที่เหมาะสมในการแกะกระเทียม และมีความทนทานต่อการใช้งาน

ผลการดำเนินงาน

ทำการออกแบบและจัดสร้างลูกกลิ้งแกะกระเทียมซึ่งใช้วัตถุดิบจากยางธรรมชาติเป็นองค์ประกอบหลัก โดยการอัดขึ้นรูปสารประกอบยางธรรมชาติหุ้มบนเพลาเหล็กให้เสมือนเป็นชิ้นส่วนเดียวกันในแม่พิมพ์อัด (Compression mold) ที่ได้จัดสร้างขึ้น ซึ่งจะช่วยยืดอายุการใช้งานของลูกกลิ้งได้นานขึ้น ประกอบกับสารประกอบยางเมื่อวัลคาไนซ์แล้วจะมีความยืดหยุ่นและสมบัติความเป็นอิลาสติกสูง ซึ่งสามารถแก้ปัญหาการแตกและช้ำของกลีบกระเทียมได้ นอกจากนี้ลูกกลิ้งดังกล่าวได้ออกแบบให้มีพื้นผิวลูกกลิ้ง(ลายลูกกลิ้ง)ที่แตกต่างกัน 3 ประเภทซึ่งได้แก่ ลายลูกกลิ้งแบบผิวนูนโค้ง(A) แบบฟันเลื่อย (B) แบบสี่เหลี่ยม (C) และ เพื่อเปรียบเทียบกับลูกกลิ้งที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน(D) โดยมีแนวทางการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการแกะกระเทียมของลูกกลิ้งประเภทต่าง ๆ คือ เปอร์เซ็นต์การแตกของกลีบกระเทียม เวลาที่ใช้ในการแกะกระเทียมปริมาณเท่า ๆ กันของลูกกลิ้งแต่ละชนิดและพื้นผิวของลูกกลิ้งที่เหมาะสมในการแกะกระเทียม ผลการวิจัยพบว่าสารประกอบยางธรรมชาติสามารถขึ้นรูปบนแกนเพลาเหล็กเป็นชิ้นงานลูกกลิ้งแกะกระเทียมได้อย่างสมบูรณ์ และสามารถใช้งานในเครื่องเกาะกระเทียมได้จริง ลูกกลิ้งยางที่ได้จัดสร้างขึ้นทั้ง 3 ชนิดสามารถแก้ปัญหาการแตกลอกของกระเทียมระหว่างการแกะด้วยเครื่องได้เป็นอย่างดี ซึ่งมีการแตกลอกเสียหายประมาณ 2-3% เท่านั้น ในขณะที่ลูกกลิ้งแบบเดิมที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีการแตกลอกของกระเทียมถึงประมาณ 13.3% การสร้างลายบนลูกกลิ้งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการแกะกระเทียมได้ถึง 25% เมื่อเทียบกับลูกกลิ้งที่ไม่มีลวดลายประเภท D ลูกกลิ้งที่มีพื้นผิวชนิด A และ C ใช้เวลาในการแกะกระเทียมที่เวลาต่ำสุดที่ 8.43 วินาทีต่อกระเทียม 1 กิโลกรัม ซึ่งสามารถเพิ่มกำลังการผลิต (Productivity) ได้ประมาณ 62% เมื่อเทียบกับลูกกลิ้งแบบเดิม ในท้ายที่สุดคณะวิจัยได้สรุปว่าลูกกลิ้งชนิดแบบพื้นผิวสี่เหลี่ยม (C) เป็นลูกกลิ้งที่เหมาะสมต่อการใช้งานแกะกระเทียมด้วยเครื่องมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากผลการทดสอบการใช้งานจริงไม่พบความเสียหายของลูกกลิ้ง ประกอบกับข้อมูลด้านประสิทธิภาพการแกะกระเทียม และในด้านเวลาที่ใช้ในการแกะกระเทียมจัดอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ในขณะที่ลูกกลิ้งประเภท A และB มีความเสียหายบริเวณผิวลูกกลิ้งเกิดขึ้นคือ มีการหลุดร่อนของลายลูกกลิ้งอย่างต่อเนื่องระหว่างการใช้งาน และลูกกลิ้งประเภท D ไม่เหมาะสมต่อการใช้งานมากที่สุด

สรุปผลการวิจัย

1. สารประกอบยางธรรมชาติสามารถขึ้นรูปบนแกนเพลาเหล็กเป็นชิ้นงานลูกกลิ้งยางแกะกระเทียมได้อย่างสมบูรณ์ และสามารถใช้งานในเครื่องเกาะกระเทียมได้จริง
2. การสร้างลายบนลูกกลิ้งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการแกะกระเทียมได้ถึง 25% เมื่อเทียบกับลูกกลิ้งที่ไม่มีลวดลายประเภท D

3. ลูกกลิ้งยางที่ได้จัดสร้างขึ้นทั้ง 3 ชนิดสามารถแก้ปัญหาการแตกลอกของกระเทียมระหว่างการแกะด้วยเครื่องได้เป็นอย่างดี โดยมีการแตกลอกเสียหายประมาณ 2-3% เท่านั้น ในขณะที่ลูกกลิ้งแบบเดิมที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีการแตกลอกของกระเทียมถึงประมาณ 13.3%
4. ลูกกลิ้งชนิดแบบพื้นผิวสี่เหลี่ยม (C) เป็นลูกกลิ้งที่เหมาะสมต่อการใช้งานแกะกระเทียมด้วยเครื่องมากที่สุด โดยสามารถเพิ่มกำลังการผลิต ได้ประมาณ 62% เมื่อเทียบกับลูกกลิ้งแบบเดิม

ข้อเสนอแนะที่คาดว่าควรวิจัยเพิ่มเติม และวิธีการที่ควรพัฒนาต่อยอดสู่ภาคปฏิบัติจริง

1. การพัฒนาสูตรยางให้มีความทนทานต่อสภาพการใช้งาน โดยมุ่งเน้นถึงการเพิ่มสมบัติทางด้านการต้านทานการขัดถู (Abrasion resistant)
2. การเพิ่มวัสดุเสริมแรงในเนื้อลูกกลิ้งยางให้มีอายุการใช้งานนานขึ้น
3. ผลผลิตกระเทียมแห้งที่ผ่านการแกะเป็นกลีบแล้ว ส่วนหนึ่งจะนำมาปอกผิวที่ห่อหุ้มกลีบกระเทียมออกโดยใช้แรงงานคน เพื่อนำไปแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่า เช่นนำไปทำเป็นกระเทียมเจียว หรือส่วนผสมของน้ำจิ้มสุกี้ ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาขั้นต่อไปควรเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำสารประกอบยางธรรมชาติมาใช้เป็นวัสดุขัดปอกผิว(Peel) กลีบกระเทียมในลักษณะของแผ่นขัดปอกผิวกระเทียมในเครื่องจักรได้ จะเป็นการเพิ่มกำลังการผลิตและมูลค่าของกระเทียมได้อีกทางหนึ่ง

1. บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ และจัดสร้างลูกกลิ้งแกะกระเทียมโดยใช้วัตถุดิบจากยางธรรมชาติเป็นองค์ประกอบหลัก โดยการอัดขึ้นรูปสารประกอบยางธรรมชาติหุ้มบนเพลาเหล็กให้เสมือนเป็นชิ้นส่วนเดียวกันในแม่พิมพ์อัด เพื่อให้ได้ลูกกลิ้งมีความยืดหยุ่นสูงขึ้น ลดการช้ำและแตกเสียหายของกลีบกระเทียม นอกจากนี้ลูกกลิ้งดังกล่าวยังได้ออกแบบให้มีหลายพื้นผิวลูกกลิ้ง(ลายลูกกลิ้ง) เพื่อหาว่าพื้นผิวแบบใดที่เหมาะสมและให้ประสิทธิภาพการแกะกระเทียมที่ดีที่สุด ลูกกลิ้งดังกล่าวนี้ได้ออกแบบให้มีพื้นผิวลูกกลิ้ง(ลายลูกกลิ้ง)ที่แตกต่างกัน 3 ประเภทซึ่งได้แก่ ลายลูกกลิ้งแบบผิวนูนโค้ง(A) แบบฟันเลื่อย (B) แบบสี่เหลี่ยม (C) และ เพื่อเปรียบเทียบกับลูกกลิ้งที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน (D) โดยมีแนวทางการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการแกะกระเทียมของลูกกลิ้งประเภทต่าง ๆ คือ เปอร์เซ็นต์การแตกของกลีบกระเทียม เวลาที่ใช้ในการแกะกระเทียมปริมาณเท่า ๆ กันของลูกกลิ้งแต่ละชนิด และพื้นผิวของลูกกลิ้งที่เหมาะสมในการแกะกระเทียม ผลการวิจัยพบว่าสารประกอบยางธรรมชาติสามารถขึ้นรูปบนแกนเพลาเหล็กเป็นชิ้นงานลูกกลิ้งแกะกระเทียมได้อย่างสมบูรณ์ และสามารถใช้งานในเครื่องเกาะกระเทียมได้จริง ลูกกลิ้งยางที่ได้จัดสร้างขึ้นทั้ง 3 ชนิดสามารถแก้ปัญหาการแตกลอกของกระเทียมระหว่างการแกะด้วยเครื่องได้เป็นอย่างดี ซึ่งมีการแตกลอกเสียหายประมาณ 2-3% เท่านั้น ในขณะที่ลูกกลิ้งแบบเดิมที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีการแตกลอกของกระเทียมถึงประมาณ 13.3% การสร้างลายบนลูกกลิ้งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการแกะกระเทียมได้ถึง 25% เมื่อเทียบกับลูกกลิ้งที่ไม่มีลวดลายประเภท D ลูกกลิ้งที่มีพื้นผิวชนิด A และ C ใช้เวลาในการแกะกระเทียมที่เวลาต่ำสุดโดยเฉลี่ยที่ 8.43 วินาทีต่อกระเทียม 1 กิโลกรัม ซึ่งสามารถเพิ่มกำลังการผลิต (Productivity) ได้ประมาณ 62% เมื่อเทียบกับลูกกลิ้งแบบเดิม ในท้ายที่สุดคณะวิจัยได้สรุปว่าลูกกลิ้งชนิดแบบพื้นผิวสี่เหลี่ยม (C) เป็นลูกกลิ้งที่เหมาะสมต่อการใช้งานแกะกระเทียมด้วยเครื่องมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากผลการทดสอบการใช้งานจริงไม่พบความเสียหายของลูกกลิ้ง ประกอบกับข้อมูลด้านประสิทธิภาพการแกะกระเทียม และในด้านเวลาที่ใช้ในการแกะกระเทียมจัดอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ในขณะที่ลูกกลิ้งประเภท A และB มีความเสียหายบริเวณผิวลูกกลิ้งเกิดขึ้นคือ มีการหลุดร่อนของลายลูกกลิ้งอย่างต่อเนื่องระหว่างการใช้งาน และลูกกลิ้งประเภท D ไม่เหมาะสมต่อการใช้งานมากที่สุด

คำสำคัญ: ยางธรรมชาติ, ลูกกลิ้งยาง, การอัดขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์, เครื่องแกะกระเทียม

Abstract

This research aims to design and construct garlic-peeling roller by using natural rubber as main raw material. Rubber compound is covered and compressed on an iron axle as if they are the same part in a mold. This makes the roller more flexible and reduces the breaking rate of garlic petal. Moreover, the roller is also designed to have various patterns on its surface to find the most suitable and most effective one for peeling garlic. The roller is designed to have 3 patterns: convex pattern (A), sawtooth pattern (B), and rectangular pattern (C) in order to compare with the existing one (D). Factors used to determine effectiveness in garlic-peeling of various types of rollers includes breaking percentage of garlic petal, duration in peeling the same amount of garlic, and suitable surface of roller in peeling garlic. Results of the research reveal that natural rubber can be used to press on garlic-peeling iron roller and can be used for garlic peeling. The 3 types of constructed roller can solve problems of broken garlic petal during use with a percentage of 2-3 percent while the existing roller had a breaking rate of 13.3%. The pattern used on roller can increase effectiveness of garlic peeling by 25% compared to the existing roller (D). The roller with A and C patterns used the lowest average peeling duration at 8.43 seconds per 1 kilogram of garlic. This results in 62% increase in productivity, compared to the existing roller. Finally, the researchers concluded that the roller with a rectangular pattern (C) is the most suitable for peeling garlic because this type of pattern had no damage during use, plus the good rate of effectiveness and duration used in peeling garlic. On the other hand, the type A and B roller were found to have damage on the surface due to continuous fray during use. The D-type roller was found to be the most unsuitable roller.

Key words: Natural Rubber, Rubber Roller, Compression Moulding, Garlic Peeler Machine

2. ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย

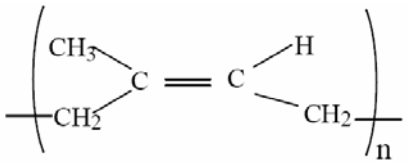
ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกกระเทียมประมาณ 150,000-190,000 ไร่ ผลผลิตประมาณ 9,000 ตัน/ปี [1] ผลผลิตกระเทียมดังกล่าวถูกนำมาแปรรูปในรูปของการทำกระเทียมแห้ง หรือการปริโภคในลักษณะกระเทียมสด สำหรับการทำกระเทียมแห้งเป็นที่นิยมกันมากในกลุ่มเกษตรกรทางภาคเหนือ เช่น ลำพูน แพร่ และเชียงใหม่ ทั้งนี้เนื่องมาจากกระเทียมแห้งสามารถนำไปแปรรูปให้เพิ่มมูลค่าได้อย่างหลากหลาย เช่น การทำอาหารเสริมและส่วนประกอบของยาสมุนไพรเป็นต้น สำหรับปัญหาด้านการผลิตกระเทียมแห้งคือ การแกะกระเทียม เพราะยังต้องใช้แรงงานคนในการแกะ ซึ่งได้ผลผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด

ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะได้มีการประดิษฐ์เครื่องแกะกระเทียมขึ้นมาใช้แทนแรงงานคนแล้วก็ตาม แต่คุณภาพของกระเทียมกลีบที่ได้ยังไม่ดีนัก ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องแกะกระเทียมทั่วไปใช้หลักการของการบดอัดหัวกระเทียมแห้งให้กะเทาะออกจากกันเป็นกลีบด้วยลูกกลิ้ง (Roller) การบดอัดด้วยลูกกลิ้งนี้หากลูกกลิ้งมีความแข็งมากเกินไปจะทำให้กระเทียมช้ำหรือกลีบกระเทียมแตกได้ กระเทียมกลีบที่ผ่านเครื่องแกะออกมาแล้วเกิดการช้ำ หรือแตกเสียหายจะไม่มีผลต่อการคุณภาพของผลผลิตที่ได้ในแง่ของการจำหน่ายมากนัก หากผู้ซื้อนำกระเทียมไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารเช่น กระเทียมเจียว น้ำจิ้มต่าง ๆ หรือกระเทียมผงแห้ง หากแต่จะมีปัญหาในแง่ของการนำกระเทียมที่ได้ไปเพาะปลูกต่อหรือเรียกว่า กระเทียมพันธุ์ จะมีปัญหาเรื่องของอัตราการงอกของกระเทียม กระเทียมที่ช้ำหรือแตกจะทำให้อัตราการงอกต่ำตามไปด้วย หากจะกล่าวถึงเครื่องแกะกระเทียมส่วนประกอบที่สำคัญคือ ลูกกลิ้งที่ใช้ในการบดอัดให้กลีบกระเทียมแยกออกจากกัน วัสดุที่ใช้ทำลูกกลิ้งในเครื่องแกะกระเทียมส่วนใหญ่ในปัจจุบันมักเป็นการประยุกต์ใช้วัสดุเหลือใช้หรือที่ใช้ในงานประเภทอื่นเช่น ประเก็นยางที่ใช้ในเครื่องยนต์ หรือใช้ล้อยางรถยนต์ที่ผ่านการใช้งานมาแล้วเป็นต้น โดยการนำมาประกอบหรือหุ้มบนเพลาเหล็กและยึดด้วยหมุดย้ำหรือสกรู ซึ่งนอกจากจะไม่ทนทานต่อการใช้งานเป็นเวลานานจากสาเหตุอันเนื่องมาจากการฉีกขาดบริเวณหมุดย้ำหรือรอยต่อระหว่างเพลาเหล็กและแผ่นยางแล้ว ยังรวมไปถึงวัสดุที่นำมาทำลูกกลิ้งดังกล่าวยังมีความยืดหยุ่นต่ำ ซึ่งเป็นผลทำให้กลีบกระเทียมช้ำและแตกเสียหายตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น นอกจากนี้ลูกกลิ้งที่ใช้งานในเครื่องแกะกระเทียมในปัจจุบันส่วนใหญ่มีผิวลูกกลิ้งแบบเรียบ ซึ่งเป็นไปตามผิวของวัสดุที่ทำมาหุ้มเพลาเหล็ก เช่นผิวของประเก็นยางเป็นต้น ทำให้ประสิทธิภาพของลูกกลิ้งในการบดอัดกระเทียมไม่ดีเท่าที่ควรเนื่องจากมีแรงเสียดทานระหว่างลูกกลิ้งและกระเทียมต่ำ การแยกตัวของกลีบกระเทียมออกจากกันภายหลังจาการถูกบดอัดจึงมีน้อย โดยวิธีการแก้ปัญหาดังกล่าวนี้ก็คือการใส่กระเทียมที่ยังไมแยกออกจากกัน(ติดกับส่วนหัวของกระเทียม) เข้าไปในเครื่องแกะกระเทียมอีกครั้ง ซึ่งกระเทียมจะมีโอกาสเกิดความเสียหายจากการบดอัดเป็นครั้งที่สองตามไปด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ และจัดสร้างลูกกลิ้งแกะกระเทียมซึ่งใช้วัตถุดิบจากยางธรรมชาติเป็นองค์ประกอบหลัก โดยการอัดขึ้นรูปสารประกอบยางธรรมชาติหุ้มบนเพลาเหล็กให้เสมือนเป็นชิ้นส่วนเดียวกันในแม่พิมพ์อัด (Compression mold) เพื่อให้

ลูกกลิ้งมีความยืดหยุ่นสูงขึ้น ลดการช้ำและแตกเสียหายของกลีบกระเทียม นอกจากนี้ลูกกลิ้งดังกล่าวได้ออกแบบให้มีหลายพื้นผิวลูกกลิ้ง(ลายลูกกลิ้ง) เพื่อหาว่าพื้นผิวแบบใดที่เหมาะสมและให้ประสิทธิภาพการแกะกระเทียมที่ดีที่สุดอีกด้วย

3. ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง

ยางธรรมชาติ (natural rubber: NR) เป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเฉลี่ยประมาณสองแสนถึงห้าแสน โครงสร้างหลักประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนล้วน ดังโครงสร้างทางเคมีในรูปที่ 1. ทำให้ยางธรรมชาติมีสมบัติทนน้ำมันปิโตรเลียมหรือน้ำมันพืชได้น้อย แต่จะเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี



รูปที่ 1. โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ [2]

โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติมีพันธะคู่ที่ว่องไวในปฏิกิริยาเคมี ทำให้สามารถทำปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ได้ด้วยกำมะถันและทำให้ยางทำปฏิกิริยาได้ง่ายด้วยออกซิเจน และโอโซนซึ่งเป็นสาเหตุของการเสื่อมสภาพของยาง ทำให้การออกสูตรยางธรรมชาติจำเป็นต้องมีสารป้องกันการเสื่อมจากออกซิเจน (antioxidant) และสารต้านโอโซน (antiozonant) ร่วมด้วย สายโซ่ของยางธรรมชาติเคลื่อนไหวหักงอไปมาได้ง่าย จึงทำให้คงสภาพยืดหยุ่นได้ดี และอาจสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิต่ำมาก เนื่องจากยางธรรมชาติมีค่า (glass transition temperature) Tg เท่ากับ -72^{o}C ยางมีโครงสร้างโมเลกุลที่มีความสม่ำเสมอ และมีช่องว่างระหว่างสายโซ่โมเลกุล (free volume) มาก มีผลทำให้สายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติมีความสามารถในการเคลื่อนไหวได้ง่าย ค่า Tg ของยางธรรมชาติจึงมีค่าต่ำ (-72^{o}C) จึงสามารถนำยางธรรมชาติมาใช้งานได้ที่อุณหภูมิต่ำมาก นอกจากนี้ความสม่ำเสมอในโครงสร้างโมเลกุลยังมีผลทำให้ยางธรรมชาติสามารถเกิดผลึกได้เมื่อถูกดึงยืด ทำให้มีความต้านทานแรงดึงสูงมาก อีกทั้งยังมีสมบัติด้านความกระเด้งตัว (resilience) สูง เนื่องจากยางธรรมชาติมีสายโซ่โมเลกุลที่ยาว ดังนั้นจึงเหมาะกับการใช้งานที่ต้องรับแรงกระทำอย่างต่อเนื่องในรูปแบบของแรงเฉือน (shear stress) และแรงกดกระบวนการผลิตยางเพื่อนำไปใช้งานทางวิศวกรรมต้องทำการบดให้สายโซ่โมเลกุลของยางสั้นลงก่อนแล้วจึงเติมสารเคมี ซึ่งโดยทั่วไปได้แก่ ซิงค์ออกไซด์ กรดสเตียริก สารเร่งปฏิกิริยา และซัลเฟอร์ เพื่อให้เกิดการปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ของยาง สำหรับในกรณีการเพิ่มความแข็งแรงให้กับยางธรรมชาติ สามารถทำโดยการเติมสารตัวเติมเสริมแรง เช่น ผงเขม่าดำ หรือซิลิกา ในระหว่าง

ทำการเตรียมยางคอมปาวด์ ซึ่งพร้อมที่จะนำไปขึ้นรูปเป็นชิ้นงานและทำให้สุก (vulcanization) ภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิที่เหมาะสม [2]

ถึงแม้ว่าปัจจุบันได้มีการนำยางเทียมหรือยางสังเคราะห์ที่ผลิตจากน้ำมันปิโตรเลียมมาใช้แทนยางธรรมชาติก็ตาม แต่เนื่องจากคุณสมบัติบางอย่างของยางเทียมยังไม่ดีเท่ากับยางธรรมชาติ และต้นทุนการผลิตก็ยังสูงกว่ายางธรรมชาติอยู่มาก ดังนั้นยางธรรมชาติยังคงเป็นที่ต้องการของโรงงานอุตสาหกรรมเสมอและน่าจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอนาคต ยางธรรมชาติมีสมบัติการยืดหยุ่นได้สูงจึ่งเหมาะที่จะใช้ในงานที่ต้องรับโหลดสลับ (Dynamic Load) เช่น ยางรถยนต์ ยางรองสะพาน อุปกรณ์ส่งกำลัง(Couplings)หรือส่วนประกอบของเครื่องจักรซึ่งต้องการลดการสั่นสะเทือน (Vibration) เป็นต้น การแปรสภาพวัตถุดิบยางธรรมชาติให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปกระทำโดยกระบวนการให้ความร้อนและความดันแก่สารประกอบยาง (Rubber compound) ในแม่พิมพ์แบบอัดหรือกระบวนการอัดรีด โดยสารประกอบยางดังกล่าวเป็นส่วนผสมของยางและสารเคมีที่ทำให้เกิดการเชื่อมต่อของสายโซ่โมเลกุลยาง ซึ่งที่นิยมคือ Sulfur จนยางเกิดการวัลคาไนซ์เซชั่น (Vulcanization) [3]

งานวิจัยของคนไทยที่ได้มีการนำเอายางธรรมชาติมาเป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น งานวิจัยของ ศ.ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ และ คณะ (กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์:P-PROF คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มจธ.) [4-6] ในการพัฒนาสมบัติของวัสดุผสมยางธรรมชาติโดยมีเถ้าลอยและขี้เลื่อยไม้ยางพาราเป็นสารเติมแต่งเพื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น หลังคายางเป็นต้น โดยทำการศึกษาถึงแนวทางการนำเถ้าลอยที่มีในประเทศไทยมาใช้เป็นสารเติมแต่งในยางธรรมชาติ และหาวิธีการปรับปรุงผิวเถ้าลอยที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานยางธรรมชาติที่มีเถ้าลอยเป็นสารเติมแต่งได้มากขึ้น นอกจากนี้การใช้ซิลิกาจากเถ้าลอยยังมีข้อเด่นเหนือกว่าการใช้ซิลิกาเกรดการค้า คือ เถ้าลอยสามารถผสมเข้าในเนื้อยางได้ดี สามารถถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ได้ง่าย และทำให้ราคาต้นทุนทางการผลิตต่ำ รวมทั้งมีข้อดีคือ ความสามารถในการรับแรง การคืนตัวกลับหลังได้รับแรงยืดการกระเด้งตัวของยางที่แสดงถึงสมบัติความเป็นอิลาสติกที่ดีอีกด้วย C. Sirisinha [7] ศึกษาผลกระทบของสารตัวเติมผงเขม่าดำ และซิลิกาที่เคลือบสารคู่ควบ รวมถึงสาร compatibilizer ทั้งสองชนิด โดยเลือกใช้ EPDM-g-MA (maleated ethylene propylene diene rubber) และ EOR-g-MA (maleated ethylene octane copolymer) ที่มีผลต่อเฟสโครงสร้างจุลภาคและความทนทานต่อน้ำมันของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยาง NR กับยาง NBR พบว่าเมื่อเติมผงเขม่าดำลงในพอลิเมอร์ผสมทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงสัมพัทธ์และความทนทานต่อน้ำมันดีกว่าซิลิกา เนื่องจากการเกิด interaction ระหว่างยางกับสารตัวเติม ส่วนผลของปริมาณสาร compatibilizer ทั้งสองที่เติมลงไปในพอลิเมอร์ผสมนี้มากขึ้น ทำให้ขนาดอนุภาคยาง NR กระจายตัวได้ค่อนข้างดี แต่สาร compatibilizer ทั้งสองชนิดนี้ไม่มีประสิทธิภาพดีเท่าที่ควรนัก อย่างไรก็ตามการเติม EPDM-g-MA ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น สามารถทำให้ความทนต่อแรงดึงสูงขึ้น เนื่องจากผลของความเป็นขั้วของ MA แต่การเติม EOR-g-MA กลับเริ่มทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงสัมพัทธ์ลดลง เนื่องจากขนาดอนุภาคยาง NR ใหญ่ขึ้น

สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุยางธรรมชาติมาผลิตเป็นลูกกลิ้งเพื่อใช้ในเครื่องแกะกระเทียม ซึ่งโดยทั่วไปเครื่องแกะกระเทียมใช้หลักการของการบดอัดหัวกระเทียมแห้งให้กะเทาะออกจากกันเป็นกลีบด้วยลูกกลิ้ง (Roller) การบดอัดด้วยลูกกลิ้งนี้หากลูกกลิ้งมีความแข็งมากเกินไปจะทำให้กระเทียมช้ำหรือกลีบกระเทียมแตกได้ กระเทียมกลีบที่ผ่านเครื่องแกะออกมาแล้วเกิดการช้ำ และแตกเสียหาย สาเหตุอันเนื่องมาจากวัสดุที่ใช้ทำลูกกลิ้งในเครื่องแกะกระเทียมมีความยืดหยุ่นต่ำ ส่วนใหญ่เป็นการประยุกต์ใช้วัสดุเหลือใช้หรือที่ใช้ในงานประเภทอื่นเช่น ประเก็นยางที่ใช้ในเครื่องยนต์ หรือใช้ล้อยางรถยนต์ที่ผ่านการใช้งานมาแล้วเป็นต้น จากปัญหาดังกล่าวมีแนวทางในการแก้ปัญหาคือเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ทำลูกกลิ้งเป็นยางวัลคาไนซ์(Vulcanization rubber) ซึ่งมีความยืดหยุ่นและสมบัติความเป็นอิลาสติก (Elastic property) สูง ซึ่งคาดว่าจะสามารถแก้ปัญหาการแตกและช้ำของกลีบกระเทียมได้ สำหรับลูกกลิ้งของเครื่องแกะกระเทียมทำโดยการนำเอา ประเก็นยางที่ใช้ในเครื่องยนต์ หรือใช้ล้อยางรถยนต์ที่ผ่านการใช้งานมาแล้วมาประกอบ หรือหุ้มบนเพลาเหล็กและยึดด้วยหมุดย้ำหรือสกรู ซึ่งไม่ทนทานต่อการใช้งานเป็นเวลานานจากสาเหตุอันเนื่องมาจากการฉีกขาดบริเวณหมุดย้ำหรือรอยต่อระหว่างเพลาเหล็กและแผ่นยาง ซึ่งมีผลมาจากจุดรวมแรงเค้น(Stress concentration)บริเวณรอยต่อดังกล่าวแล้ว จากปัญหาดังกล่าวมีแนวทางในการแก้ปัญหาคือใช้สารประกอบยางธรรมชาติอัดขึ้นหุ้มบนเพลาเหล็กให้เสมือนเป็นชิ้นส่วนเดียวกันในแม่พิมพ์อัด (Compression mold) เพื่อลดจุดเชื่อมต่ออันจะนำมาซึ่งปัญหาตามที่กล่าวมาข้างต้น และคาดว่าจะสามารถยืดอายุการใช้งานของลูกกลิ้งได้นานขึ้น

นอกจากนี้ลูกกลิ้งที่ใช้งานในเครื่องแกะกระเทียมในปัจจุบันส่วนใหญ่มีผิวลูกกลิ้งแบบเรียบซึ่งเป็นไปตามผิวของวัสดุที่ทำมาหุ้มเพลาเหล็ก เช่นผิวของประเก็นยางเป็นต้น ทำให้ประสิทธิภาพของลูกกลิ้งในการบดอัดกระเทียมไม่ดีเท่าที่ควรเนื่องจากมีแรงเสียดทานระหว่างลูกกลิ้งและกระเทียมต่ำ การแยกตัวของกลีบกระเทียมออกจากกันภายหลังจาการถูกบดอัดจึงมีน้อย โดยวิธีการแก้ปัญหาดังกล่าวนี้ก็คือการใส่กระเทียมที่ยังไมแยกออกจากกัน(ติดกับส่วนหัวของกระเทียม) เข้าไปในเครื่องแกะกระเทียมอีกครั้ง ซึ่งกระเทียมจะมีโอกาสเกิดความเสียหายจากการบดอัดเป็นครั้งที่สองตามไปด้วย แนวทางการแก้ปัญหาคือการออกแบบแม่พิมพ์อัดความดันให้มีหลายพื้นผิวลูกกลิ้ง(ลายลูกกลิ้ง) ในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อให้เกิดแรงเสียดทางระหว่างลูกกลิ้งและหัวกระเทียมมากขึ้น โดยผลการวิจัยจะนำไปสู่การเลือกใช้พื้นผิวลูกกลิ้งที่เหมาะสมและให้ประสิทธิภาพการแกะกระเทียมที่ดีที่สุดอีกด้วย

4. วิธีการวิจัย

4.1. วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

ยางธรรมชาติที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ ยางแท่งเกรด STR 5L จาก บริษัท สยามยูไนเต็ดรับเบอร์ จำกัด เนื่องจากเป็นยางแท่งที่มีคุณภาพดี มีสิ่งเจือบนในเนื้อยางต่ำ เมื่อนำมาผลิตเป็นลูกกลิ้งแกะ

กระเทียมแล้ว จะมีความแข็งแรงทนทานมากกว่ายางเกรด อื่น ๆ นอกจากนี้สูตรยางที่เลือกใช้จะทำการวัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติ (Conventional Vulcanization, CV) รายละเอียดดังตารางที่ 1.

ตารางที่ 1. สูตรยาง Compound แบบ Conventional Vulcanization, CV [2]

ส่วนประกอบ	หน้าที่	CV(phr)
1. ยางธรรมชาติ, STR 5L	Matrix	100.00
2. Zinc Oxide	Activator	5.0
3. Stearic acid	Activator	2.0
4. Sulfur	Cross-linker	3.0
5. MBT	Accelerators	0.7
6. DPG	Accelerators	0.2

4.2. การเตรียมสารประกอบยางธรรมชาติ

ทำการบดผสมยางกับสารเคมีโดยใช้เครื่องบดผสมลูกกลิ้งคู่ (Two roll mill) จากบริษัท ยงฟง แมช ชีนเนอรี จำกัด (P-PROF, KMUTT) โดยใช้เวลาในการผสมสารประกอบยางที่ 20 นาที อุณหภูมิในการผสมเท่ากันที่ 30 องศาเซลเซียส โดยมีขั้นตอนการผสม ดังต่อไปนี้

1. นำยางธรรมชาติบด (Masticate) ในเครื่องบดผสมลูกกลิ้งคู่เป็นเวลา 5 นาที
2. เติม ZnO (Zinc oxide) เข้าไปในยางผสมเป็นเวลา 3 นาที
3. เติม Stearic acid เข้าไปในยางผสมเป็นเวลา 3 นาที
4. เติม MBT เข้าไปในยางผสมเป็นเวลา 2 นาที
5. เติม DPG เข้าไปในยางผสมเป็นเวลา 2 นาที
6. ขั้นตอนสุดท้ายเติม Sulfur ในยางผสมเป็นเวลา 5 นาที

4.3. การทดสอบสมบัติการไหลและการคงรูปของยาง

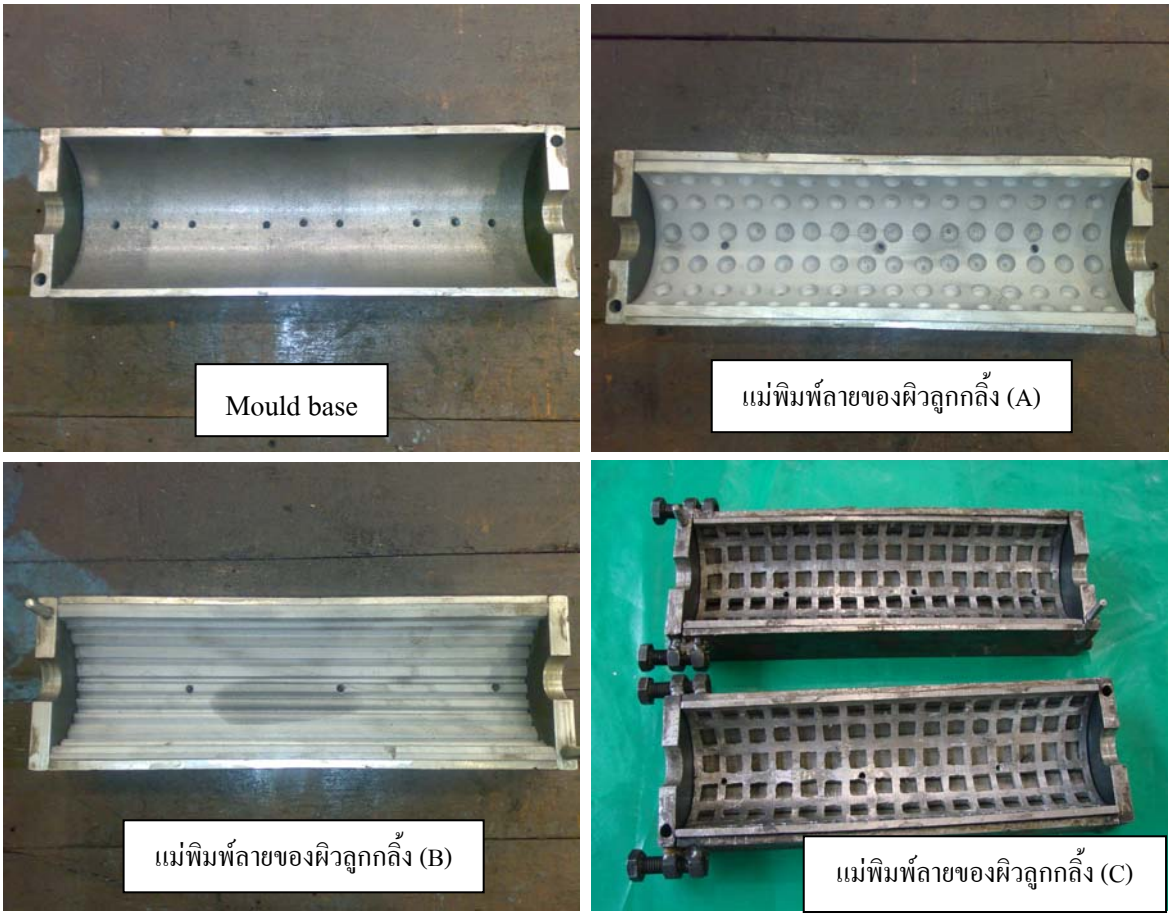
นำสารประกอบยางที่ได้จากเครื่องบดผสมลูกกลิ้งคู่ไปทดสอบหาเวลาในการคงรูป (Cure time) ที่ 90 เปอร์เซ็นต์ (tc_{90}) และค่าความแตกต่างของแรงบิด (Delta torque) ด้วยเครื่อง Oscillating Disk Rheometer (ODR) จาก บริษัท โกเท็ค เทรดดิ้ง แมชชีน อินดัส เตรียล จำกัด รุ่น GT 70-70-S2, Taiwan ตามมาตรฐานทดสอบ ASTM D2084-01 ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส (P-PROF, KMUTT)

4.4. การทดสอบทดสอบความแข็งของยาง

ค่าความแข็ง ด้วยเครื่องทดสอบความแข็ง จากบริษัท เทค ล็อค จำกัด ตามมาตรฐาน ASTM D2240 (2003) (Shore A) (P-PROF, KMUTT)

4.5. ออกแบบและจัดสร้างแม่พิมพ์อัด

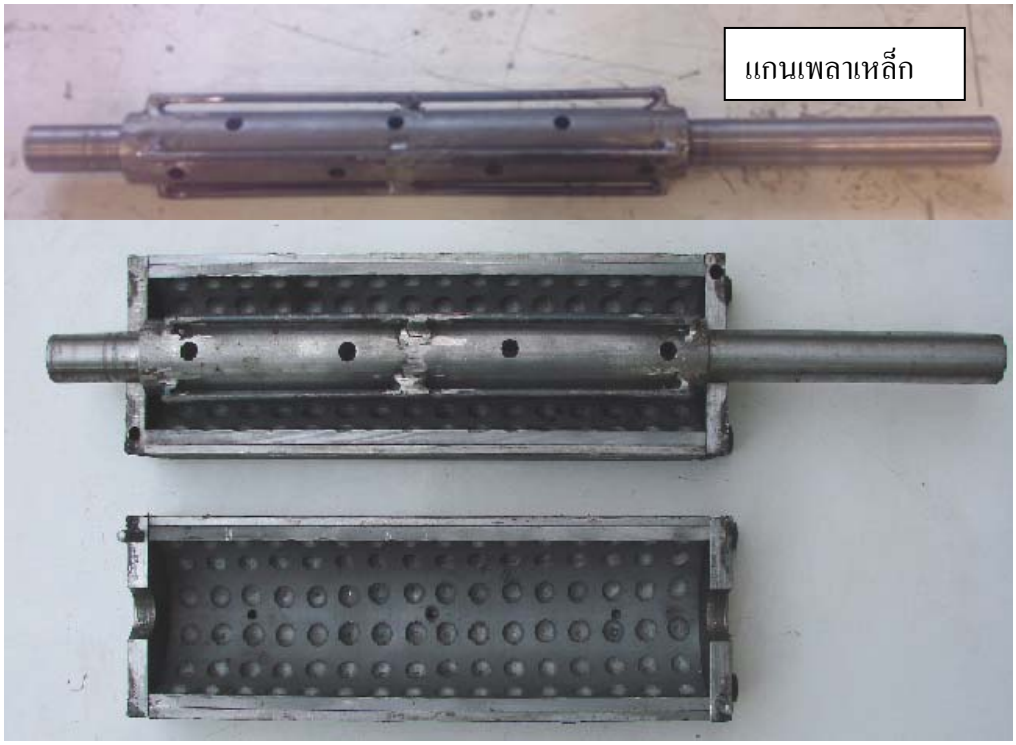
การออกแบบและจัดสร้างแม่พิมพ์อัดความดันมีหลักการพื้นฐานคือ เป็นแม่พิมพ์อัดแบบสองชิ้น ดังรูปที่ 2. ชิ้นส่วนที่ 1 คือส่วนที่เป็นฐานแม่พิมพ์(Mould base) ภายตัว Mould base คือแม่พิมพ์ชุดที่ 2 เป็นแม่พิมพ์ลายของผิวลูกกลิ้ง โดยออกแบบให้สามารถถอดประกอบและปรับเปลี่ยนชนิดของลายลูกกลิ้งได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้มีกำหนดแนวทางในการออกแบบลายของลูกกลิ้งทั้งหมด 3 แบบด้วยกัน ได้แก่ ลายลูกกลิ้งแบบผิวนูนโค้ง (A) แบบฟันเลื่อย (B) และแบบสี่เหลี่ยม(C) ซึ่งแม่พิมพ์ที่เป็นลายของลูกกลิ้งนี้มีหลักการออกแบบคือ ต้องเป็นลวดลายที่สร้างแรงเสียดทาน(Friction) ระหว่างผิวลูกกลิ้งกับหัวกระเทียมให้มากที่สุด เพื่ออาศัยแรงเสียดทานดังกล่าวทำให้เกิดการแยกตัวของกลีบกระเทียมออกจากหัวระหว่างการถูกบดอัดอย่างต่อเนื่องในเครื่องแกะกระเทียม



รูปที่ 2. แม่พิมพ์ลูกกลิ้งสารประกอบยางที่ประกอบด้วยฐานแม่พิมพ์(Mould base) และแม่พิมพ์ลายลูกกลิ้งแบบผิวนูนโค้ง (A) แบบฟันเลื่อย(B) และแบบสี่เหลี่ยม (C) ตามลำดับ

นอกจากนี้ในส่วนของ Mould base ยังทำหน้าที่เป็นตัวจับยึดแกนเพลาเหล็กที่อยู่ระหว่างแผ่นแม่พิมพ์ทั้งสองด้าน แกนเพลาเหล็กถูกออกแบบให้บริเวณส่วนกลางเพลาที่สารประกอบยางจะเคลือบลงไป มีครีบเหล็กติดอยู่ตลอดแนวเส้นรอบวงของแกนเพลาดังรูปที่ 3. ทั้งนี้เพื่อเพิ่มความสามารถใน

การจับยึดของตัวสารประกอบยางและแกนเพลาเหล็กให้ดียิ่งขึ้นภายหลังจากที่สารประกอบยาง Vulcanization จนสมบูรณ์แล้ว

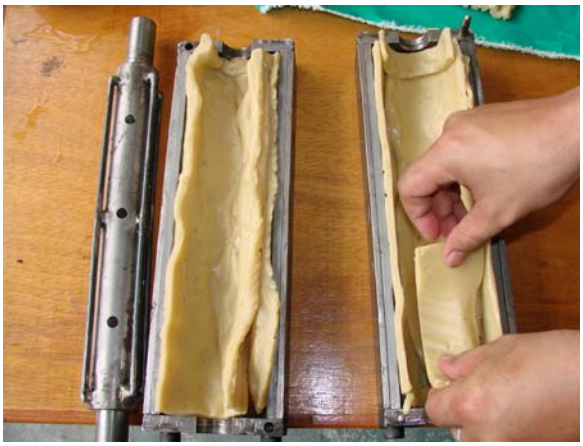


รูปที่ 3. แกนเพลาเหล็กที่ถูกประกอบเข้ากับ Mould base และแม่พิมพ์ลายลูกกลิ้ง

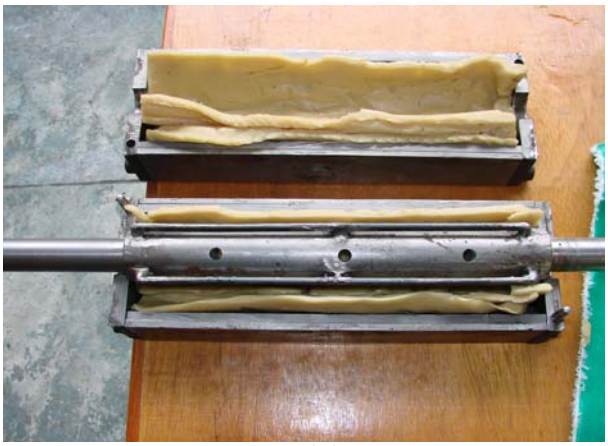
การอัดขึ้นรูปลูกกลิ้งยางและแผ่นรองลูกกลิ้ง

4.6.1. ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปลูกกลิ้งยาง

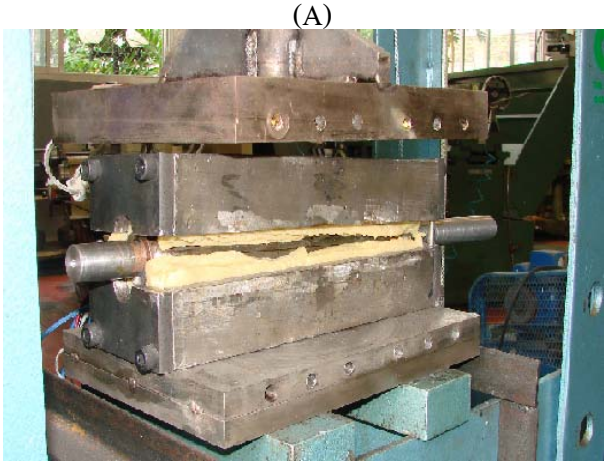
ประกอบแม่พิมพ์ลายผิวลูกกลิ้ง เข้ากับ Mould base ขึ้นรูปสารประกอบยางด้วยเครื่อง Two roll mill ให้เป็นแผ่นที่มีความหนาประมาณ 10 mm จากนั้นตัดเป็นชิ้นและบรรจุลงในแม่พิมพ์ทั้งสองด้านเท่า ๆ กันคือประมาณด้านละ 0.5 กิโลกรัม ดังรูปที่ 4 (A). นำแกนเพลาเหล็กมาว่างปริเวณส่วนกลางของแม่พิมพ์ ดังรูปที่ 4 (B). ประกอบแม่พิมพ์ทั้งสองด้านเข้าด้วยกันและนำไปอัดขึ้นรูปบนเครื่อง Compression moulding ดังรูปที่ 4 (C). ที่อุณหภูมิ 160 ^{o}C เป็นเวลา 4.10 นาที จากนั้นนำชิ้นงานลูกกลิ้งยางออกจากแม่พิมพ์ ภายหลังจากที่สารประกอบยางเกิดการ Vulcanization จนสมบูรณ์แล้วดังรูปที่ 4. (D) เปลี่ยนแม่พิมพ์ลายของผิวลูกกลิ้งรูปแบบอื่น ๆ โดยทำตามขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้นจนได้ลูกกลิ้งทุกแบบดังแสดงในรูปที่ 5.



(A)



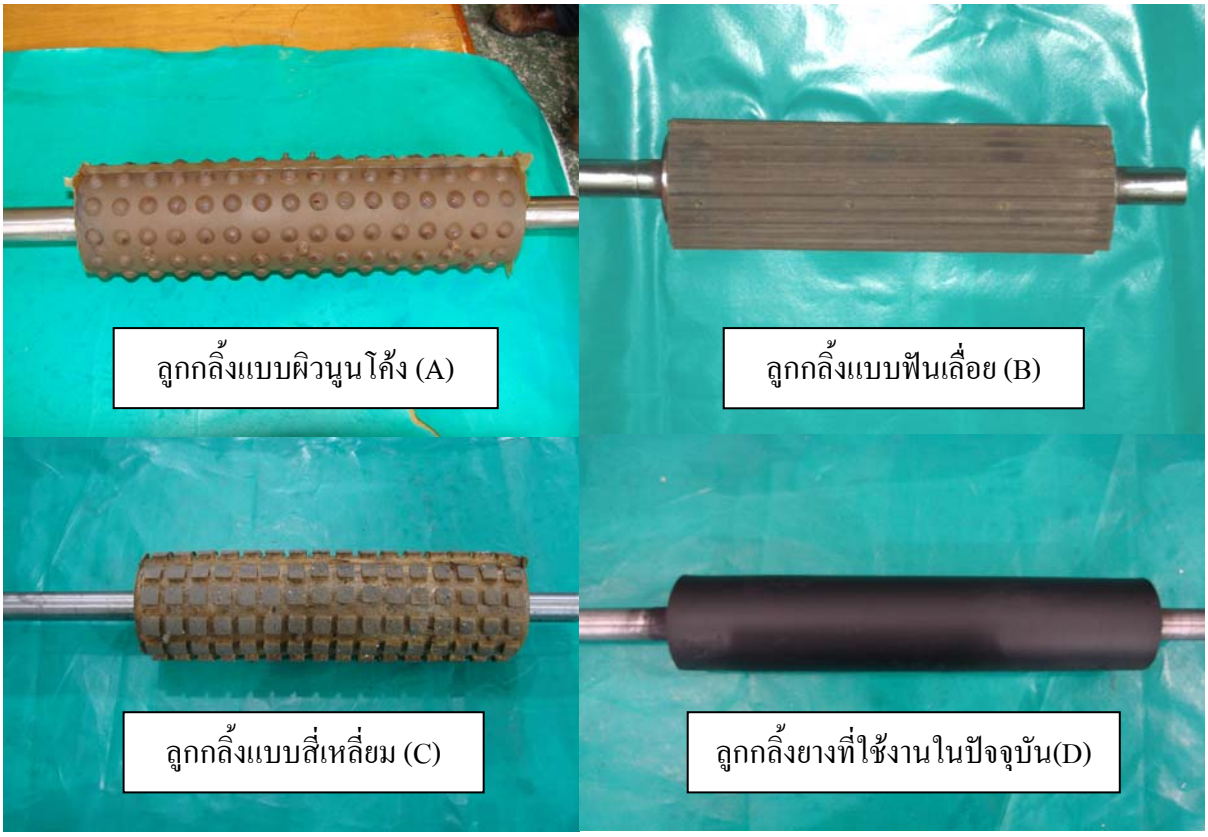
(B)



(C)

(D)

รูปที่ 4. ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปลูกกลิ้งยาง



รูปที่ 5. ลูกกลิ้งยางที่ผ่านการขึ้นรูปแล้วทั้ง 3 ชนิด และลูกกลิ้งยางที่ใช้งานในปัจจุบัน(D)

4.6.2. ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปแผ่นรองลูกกลิ้ง

สำหรับขั้นตอนการทำแผ่นยางรองลูกกลิ้งโดยใช้แม่พิมพ์เดียวกัน มีขั้นตอนและวิธีการการขึ้นรูปเหมือนกับการขึ้นรูปลูกกลิ้งยาง กล่าวคือ บรรจุสารประกอบยางลงในแม่พิมพ์ทั้งสองด้านเท่า ๆ กันคือประมาณด้านละ 0.4 กิโลกรัม ดังรูปที่ 6. (A) จากนั้นนำแกนเพลาเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 37 mm มาว่างปริเวณส่วนกลางของแม่พิมพ์ โดยที่เพลาดังกล่าวนี้จะไม่มีครีบเหล็กติดอยู่ตลอดแนวเส้นรอบวงของแกนเพลา เพื่อที่เมื่อยาง Vulcanization จนสมบูรณ์แล้วดังแสดงในรูปที่ 6. (B) จะสามารถดึงลอกออกมาเป็นแผ่นและนำมายึดบนแผ่นเหล็กได้ ดังแสดงในรูปที่ 7.

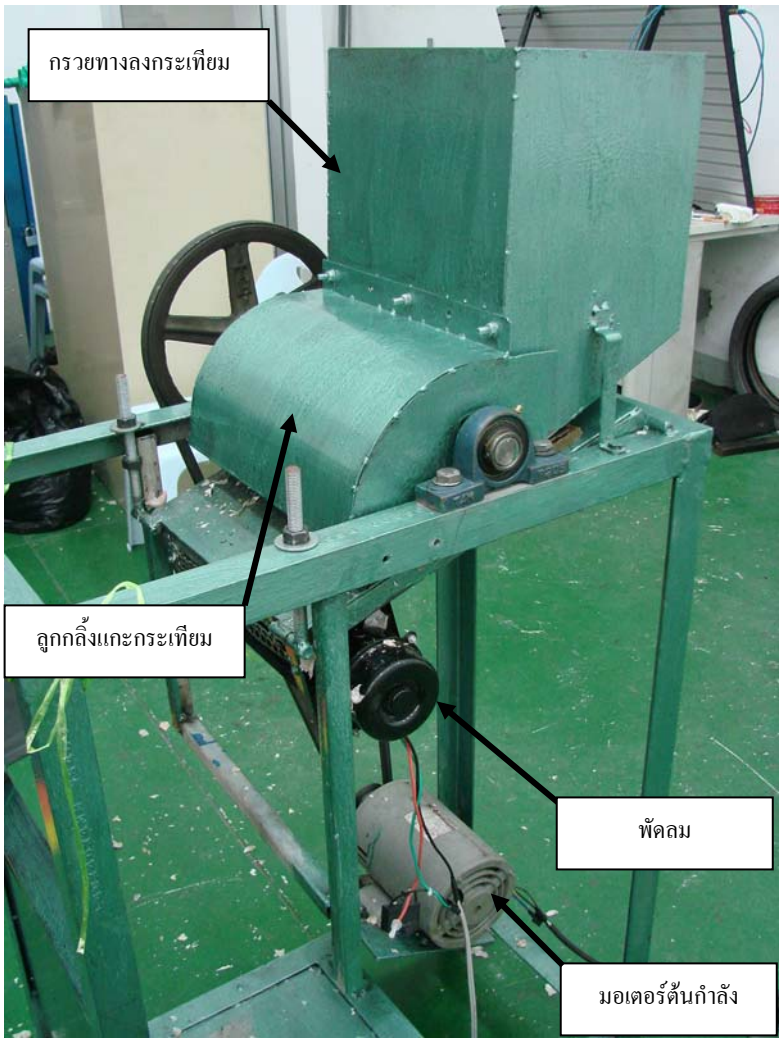
(A) (B)

รูปที่ 6. ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปแผ่นรองลูกกลิ้ง

รูปที่ 7. แผ่นรองลูกกลิ้งที่พร้อมจะนำไปยึดบนแผ่นเหล็ก

4.7. การจัดสร้างเครื่องแกะกระเทียม

เครื่องแกะกระเทียมที่ได้จัดสร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ เพื่อใช้ในการทดสอบการใช้งานลูกกลิ้งยาง หลักการทำงานของเครื่องอาศัยการบีบอัดกระเทียมให้แยกออกจากกันด้วยลูกกลิ้งกับแผ่นยางรองลูกกลิ้ง โดยลูกกลิ้งจะถูกทำให้หมุนด้วยต้นกำลังมอเตอร์ในขณะที่แผ่นรองลูกกลิ้งจะถูกยึดอยู่กับที่ ซึ่งทั้งลูกกลิ้งและแผ่นรองมีพื้อนผิวแบบเดียวกัน จากนั้นกลีบกระเทียมที่แยกออกจากกันแล้ว และเปลือกของกระเทียมจะถูกเป่าออกทางด้านหน้าด้วยพัดลม ส่วนกลีบกระเทียมจะตกลงสู่ภาชนะรองรับด้านล่าง ส่วนประกอบหลักของเครื่องแกะกระเทียมดังรูปที่ 8.

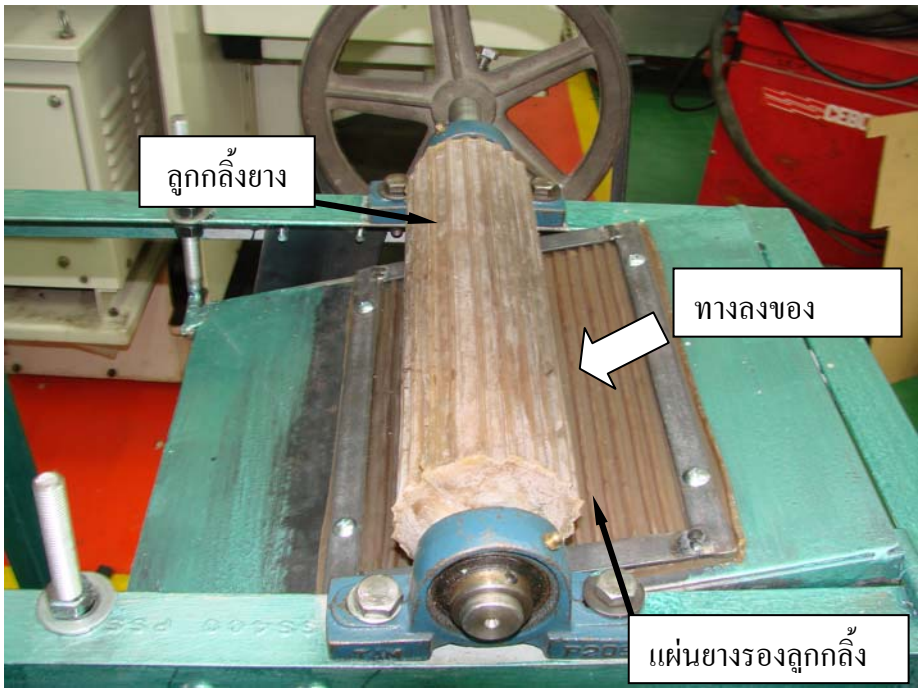


รูปที่ 8. เครื่องแกะกระเทียมที่จัดสร้างขึ้น เพื่อใช้ในการทดสอบการใช้งานลูกกลิ้งยาง

ส่วนประกอบของเครื่องแกะกระเทียม

1. กรวยทางลงของกระเทียม ทำจากเหล็กแผ่นหนา 3 mm มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก ทำหน้าที่บรรจุกระเทียมและลำเลียงกระเทียมลงสู่เพลาลูกกลิ้ง

2. ลูกกลิ้งยางที่จัดสร้างขึ้นจะถูกประกอบเข้ากับพู่เล่ชนิดร่อง A ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 mm ยาว 500 mm และถูกทำให้หมุนด้วยต้นกำลังมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า ที่ความเร็วรอบ 500 rpm นอกจากนี้ลูกกลิ้งดังกล่าวสามารถถอดปรับเปลี่ยนชนิดของลูกกลิ้งได้ ในกรณีที่ต้องการทำการทดลองในลูกกลิ้งชนิดอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 9.
3. แผ่นยางรองลูกกลิ้ง ขนาดความหนา 10 mm กว้าง 150 mm ยาว 300 mm มีพื้นผิวเหมือนกับลูกกลิ้ง(ผลิตจากแม่พิมพ์เดียวกัน) ติดตั้งให้ยึดกับแผ่นเหล็กที่อยู่ด้านล่างของลูกกลิ้ง มีระยะห่างจากลูกกลิ้ง 25 mm ด้วยมุมเอียง 20 ^{o} ทำหน้าที่ร่วมกับลูกกลิ้งยาง คือ บดอัดให้กลีบกระเทียมแยกออกจากกัน รวมทั้งลดความรุนแรงของการกระแทกระหว่างการแกะ ดังแสดงในรูปที่ 9. ในส่วนของแผ่นยางรองลูกกลิ้งและลูกกลิ้งชนิด A และ C ได้จัดวางให้ลายพื้นผิวลูกกลิ้งอยู่ในตำแหน่งสลับกัน (ดังแสดงในรูปที่ 14.)
4. ต้นกำลังมอเตอร์ขนาด 1/2 แรงม้า
5. พัดลมเป่าเปลือกกระเทียม ขนาด 70 mm x 300 mm ทำหน้าที่ เป่าแยกเปลือกของกระเทียมที่ผ่านการแกะแล้ว



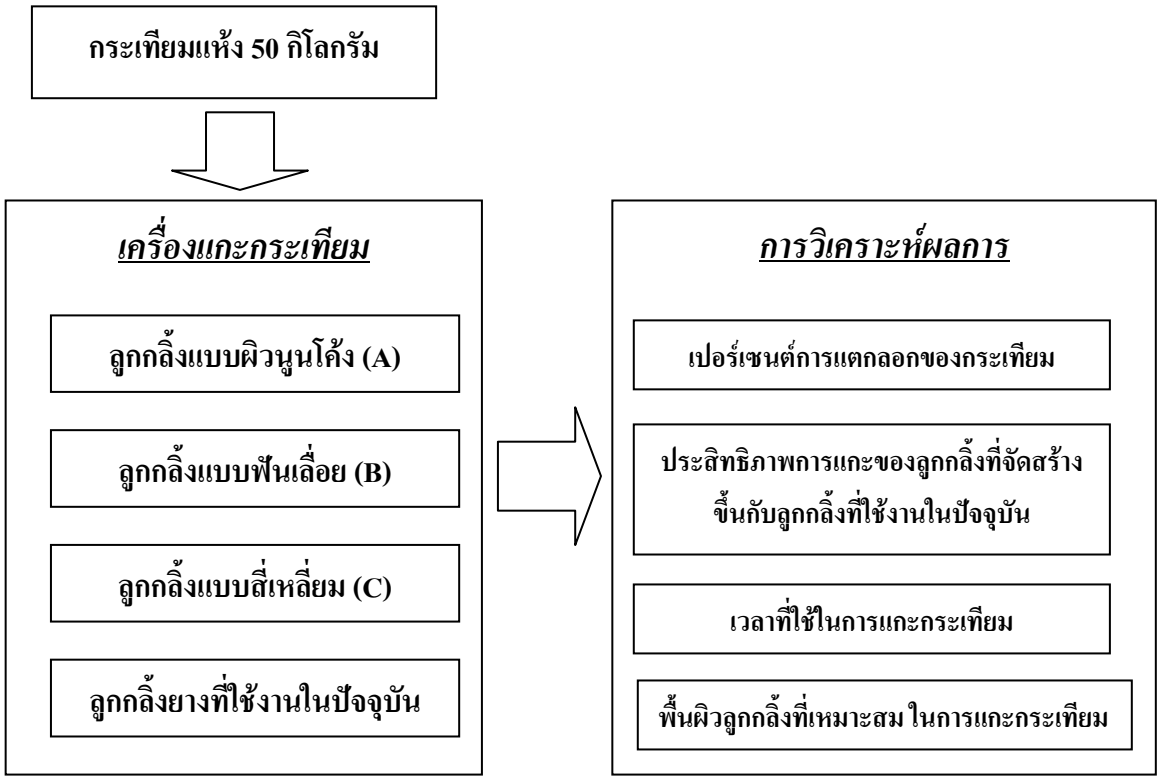
รูปที่ 9. การติดตั้งลูกกลิ้งยางและแผ่นรองลูกกลิ้ง

4.8. การนำลูกกลิ้งไปใช้งานจริงและหาประสิทธิภาพการทำงานของลูกกลิ้ง

ในขั้นตอนนี้ คือการนำลูกกลิ้งที่ได้จากการขึ้นรูปทั้ง 3 ชนิด ที่มีลายผิวลูกกลิ้งต่างกัน ไปใช้ในเครื่องแกะกระเทียม และทำการผลิตจริงเพื่อหาประสิทธิภาพการแกะของลูกกลิ้งแต่ละชนิด เปรียบเทียบกับลูกกลิ้งแบบเดิมที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันที่สภาวะการใช้งานเดียวกัน โดยลูกกลิ้งแต่ละ

ชนิดจะถูกใช้ในการแกะกระเทียมจำนวน 50 กิโลกรัม รวมทั้งจับเวลาของการแกะในลูกกลิ้งแต่ละชนิด และนำกระเทียมที่ได้มาแยกเป็นกลุ่ม คือ กระเทียมที่แยกออกจากกันโดยสมบูรณ์(เหลือ 1 กลีบ) กระเทียมที่แยกออกจากกันบางส่วน(กลีบกระเทียมติดกันตั้งแต่ 2 กลีบขึ้นไป) กระเทียมที่แตกลอก อันมีผลมาจากลูกกลิ้งที่ใช้แกะ และกระเทียมที่ไม่ถูกแยกออกจากแกนกระเทียม เพื่อนำมาชั่งน้ำหนัก และคำนวนเป็นเปอร์เซนต์สำหรับการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการแกะกระเทียมของลูกกลิ้งชนิดต่าง ๆ ดังแผนภาพการทดลองรูปที่ 10. โดยให้ความสนใจตัวแปรต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- เปอร์เซ็นต์การแตกของกลีบกระเทียม โดยทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การแตกและช้ำของกลีบกระเทียมภายหลังจากการถูกบดอัดในเครื่องแกะกระเทียม ของลูกกลิ้งทั้ง 3 ชนิด และลูกกลิ้งที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน
- ประสิทธิภาพการแกะของลูกกลิ้งที่จัดสร้างขึ้นเปรียบเทียบกับที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยทำการวัดเปอร์เซ็นต์การกะเทาะของกลีบออกจากหัวกระเทียมโดยสมบูรณ์ กระเทียมที่แยกออกจากกันบางส่วน และกระเทียมที่ไม่ถูกแยกออกจากแกนกระเทียม เปรียบเทียบกันระหว่างลูกกลิ้งทั้ง 3 ชนิด และลูกกลิ้งที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน
- เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการแกะกระเทียมของลูกกลิ้งแต่ละชนิด
- พื้นผิวของลูกกลิ้งที่เหมาะสมในการแกะกระเทียม โดยประเมิน ผลการทดลองที่ได้กล่าวมาข้างต้น และความทนทานต่อการใช้งานของลูกกลิ้งแต่ละชนิด การฉีกขาด รวมทั้งการหลุดร่อนของผิวลูกกลิ้งระหว่างการใช้งาน



รูปที่ 10. แผนภาพการทดลอง

5. ผลการวิจัยและวิจารย์ผล

5.1. ค่าความแข็ง สมบัติการไหลและการคงรูปของยาง

ผลการทดสอบเวลาในการคงรูป (Cure time) ที่ 90 เปอร์เซ็นต์ (tc_{90}) ตามมาตรฐานทดสอบ ASTM D2084-01 พบว่าสารประกอบยางที่ใช้ทำลูกกลิ้งมีระหว่างเวลาการไหลตัว (scorch time) เท่ากับ 1.17 นาที และเวลาการคงรูปเท่ากับ 4.10 นาที แรงบิดต่ำT_{min} เท่ากับ 9.6 dN-m แรงบิดสูงสุดT_{max} เท่ากับ 53.0 dN-m และค่าความแตกต่างแรงบิด (Delta torque, DT) เท่ากับ 43.4 dN-m ตามลำดับ ส่วนค่าความแข็งตามมาตรฐาน ASTM D2240 ของสารประกอบยางที่ใช้ทำลูกกลิ้งเท่ากับ 36 Shore A และค่าความแข็งของลูกกลิ้งยางที่ใช้งานในปัจจุบันเท่ากับ 73 Shore A

5.2. ชนิดของลูกกลิ้งยางที่มีผลต่อการแตกลอกของกลีบกระเทียม

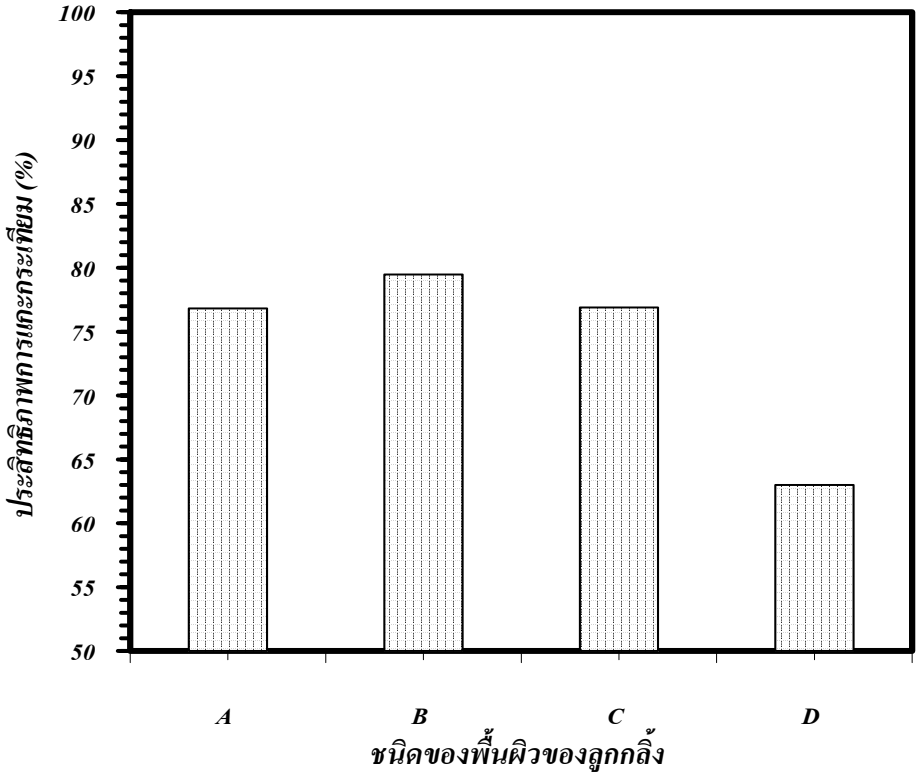
ตารางที่ 2. แสดงน้ำหนักกระเทียมแต่ละประเภท ซึ่งได้แก่ 1) กระเทียมที่แยกออกจากกันโดยสมบูรณ์(เหลือ 1 กลีบ) 2) กระเทียมที่แยกออกจากกันบางส่วน(กลีบกระเทียมติดกันตั้งแต่ 2 กลีบขึ้นไป) 3) กระเทียมที่ไม่ถูกแยกออกจากแกนกระเทียม และ 4) กระเทียมที่แตกลอกอันมีผลมาจากลูกกลิ้งที่ใช้แกะตามลำดับ ที่ผ่านการแกะด้วยลูกกลิ้งทั้ง 4 ชนิด โดยที่ลูกกลิ้งแต่ละชนิดจะถูกใช้แกะกระเทียมในประมาณที่เท่ากันคือ 50กิโลกรัม จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าลูกกลิ้งแบบ D ที่ใช้งานในปัจจุบันก่อให้เกิดการแตกลอกและเสียหายถึง 6.65 กิโลกรัมจากกระเทียมที่ใช้ในการทดลอง 50 กิโลกรัมหรือคิดเป็น 13.3% ในขณะที่ลูกกลิ้งที่ได้จัดสร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ทั้ง 3 ชนิดคือ ลูกกลิ้งแบบผิวนูนโค้ง (A) ลูกกลิ้งแบบฟันเลื่อย (B) ลูกกลิ้งแบบสี่เหลี่ยม (C) ก่อให้เกิดการแตกลอกเสียหายของกระเทียมประมาณ 1-1.45 กิโลกรัมต่อกระเทียม 50 กิโลกรัมหรือประมาณ 2-3%เท่านั้นซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับลูกกลิ้งชนิด D ทั้งนี้เนื่องมาจากลูกกลิ้งที่จัดสร้างขึ้นจากสูตรยางระบบกำมะถันปกติ (CV) มีสมบัติของความยืดหยุ่นสูงและมีค่าความแข็งเท่ากับ 36 Shore A ซึ่งต่ำกว่าเมื่อเทียบกับค่าความแข็งของลูกกลิ้งยางชนิด D ที่มีความแข็ง 73 Shore A ดังนั้นระหว่างที่กระเทียมถูกบดอัดด้วยลูกกลิ้งในเครื่อง ลูกกลิ้งแบบ D จะมีโอกาศทำให้เกิดการแตกลอกของกลีบกระเทียมได้มากกว่านั่นเอง จากผลการทดลองโดยรวมอาจกล่าวได้ว่า ลูกกลิ้งที่จัดสร้างขึ้นในงานวิจัยนี้สามารถแก้ปัญหาการแตกลอกของกระเทียมระหว่างการแกะด้วยเครื่องได้เป็นอย่างดี คือกระเทียมที่ที่ผ่านการแกะไม่เกิดความเสียหายเลยประมาณ 97-98% โดยประมาณ

ตารางที่ 2. น้ำหนักกระเทียมแต่ละประเภทที่ผ่านการแกะด้วยลูกกลิ้งชนิดต่าง ๆ (กระเทียม 50 กิโลกรัม)

ประเภทกระเทียม		ลูกกลิ้งแบบผิวนูนโค้ง (A)	ลูกกลิ้งแบบฟันเลื่อย (B)	ลูกกลิ้งแบบสี่เหลี่ยม (C)	ลูกกลิ้งที่ใช้งานในปัจจุบัน (D)
1. กระเทียมที่แยกออกจากกันโดยสมบูรณ์ (1 กลีบ), (kg)		**38.4**	**39.7**	**38.45**	**31.5**
2. กระเทียมที่แยกออกจากกันบางส่วน(กลีบกระเทียมติดกันตั้งแต่ 2 กลีบขึ้นไป), (kg)		**8**	**6.05**	**7.1**	**8.55**
3. กระเทียมที่ไม่ถูกแยกออกจากแกนกระเทียม, (kg)		**2.6**	**2.85**	**4.1**	**3.3**
4. กระเทียมที่แตกลอก, (kg)		**1**	**1.4**	**1.45**	**6.65**

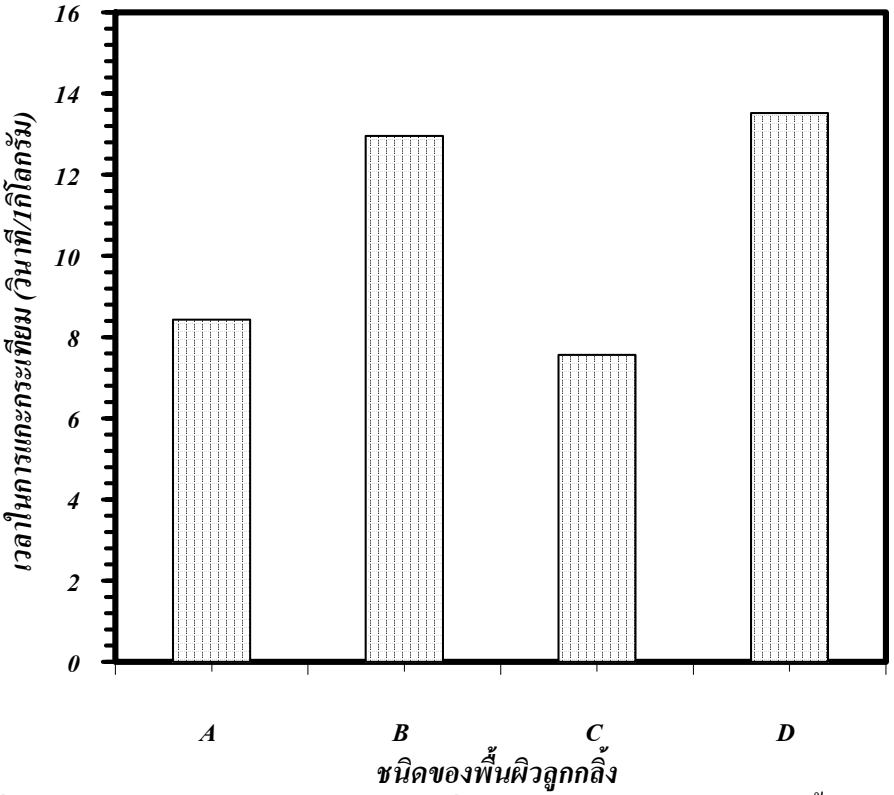
5.3. ประสิทธิภาพของลูกกลิ้งที่จัดสร้างขึ้นเปรียบเทียบกับลูกกลิ้งที่ใช้งานในปัจจุบัน

รูปที่ 12. แสดงผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์ประสิทธิภาพการแกะของลูกกลิ้งชนิดต่าง ๆ ในเครื่องแกะกระเทียมเครื่องเดียวกัน โดยผลการทดลองดังกล่าวนี้คำนวนจากน้ำหนักของกระเทียมประเภทที่แยกออกจากกันโดยสมบูรณ์ (เหลือ 1 กลีบ) ดังแสดงในตารางที่ 1. ผลการทดลองพบว่าลูกกลิ้งชนิด B มีความสามารถในการทำให้เกิดการแยกของกลีบกระเทียมมากที่สุด คือ 39.7 กิโลกรัมต่อกระเทียม 50 กิโลกรัมหรือประมาณ 79.4 % รองลงมาคือลูกกลิ้งแบบ A และ แบบ C อยู่ในระดับไกล้เคียงกัน คือ38.4 และ 38.45 กิโลกรัมต่อกระเทียม 50 กิโลกรัม หรือ ประมาณ 76-77 % ตามลำดับ และลูกกลิ้งที่มีประสิทธิภาพการแกะต่ำที่สุดคือลูกกลิ้งแบบ D คือมีความสามารถในการแยกกลีบกระเทียมภายในเครื่องได้ 31.5 กิโกรัมต่อกระเทียม 50 กิโลกรัมหรือที่ 63 % เท่านั้น ผลการทดลองดังกลาวนี้แสดงให้เห็นว่าการสร้างลายบนลูกกลิ้งมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพของการแกะกระเทียมอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉลี่ยแล้วมีการเพิ่มขึ้นประมาณ 25% เมื่อเทียบกับลูกกลิ้งที่ไม่มีลวดลายหรือลูกกลิ้งประเภท D ทั้งนี้เนื่องมาจากลวดลายที่สร้างขึ้นเป็นการเพิ่มพื้นที่ให้เกิดแรงเสียดทาน(Friction) ระหว่างผิวลูกกลิ้งกับหัวกระเทียมให้มากขึ้น แรงเสียดทานดังกล่าวก่อให้เกิดการแยกตัวของกลีบกระเทียมออกจากหัวระหว่างการถูกบดอัดอย่างต่อเนื่องในเครื่องแกะกระเทียมได้มากกว่าลูกกลิ้งที่มีผิวเรียบ ซึ่งกระเทียมบางส่วนจะถูกพาให้กลิ้งผ่านช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งกับแผ่นรองลูกกลิ้งโดยไม่เกิดการแยกตัวของกลีบกระเทียมออกจากหัวอย่างสมบูรณ์



รูปที่ 12. แสดงผลการทดลองความสัมพันธ์ประสิทธิภาพกระเทียมของลูกกลิ้งชนิดต่าง ๆ

5.4. รูปแบบของผิวลูกกลิ้งยางที่มีผลต่อเวลาในการแกะกระเทียม

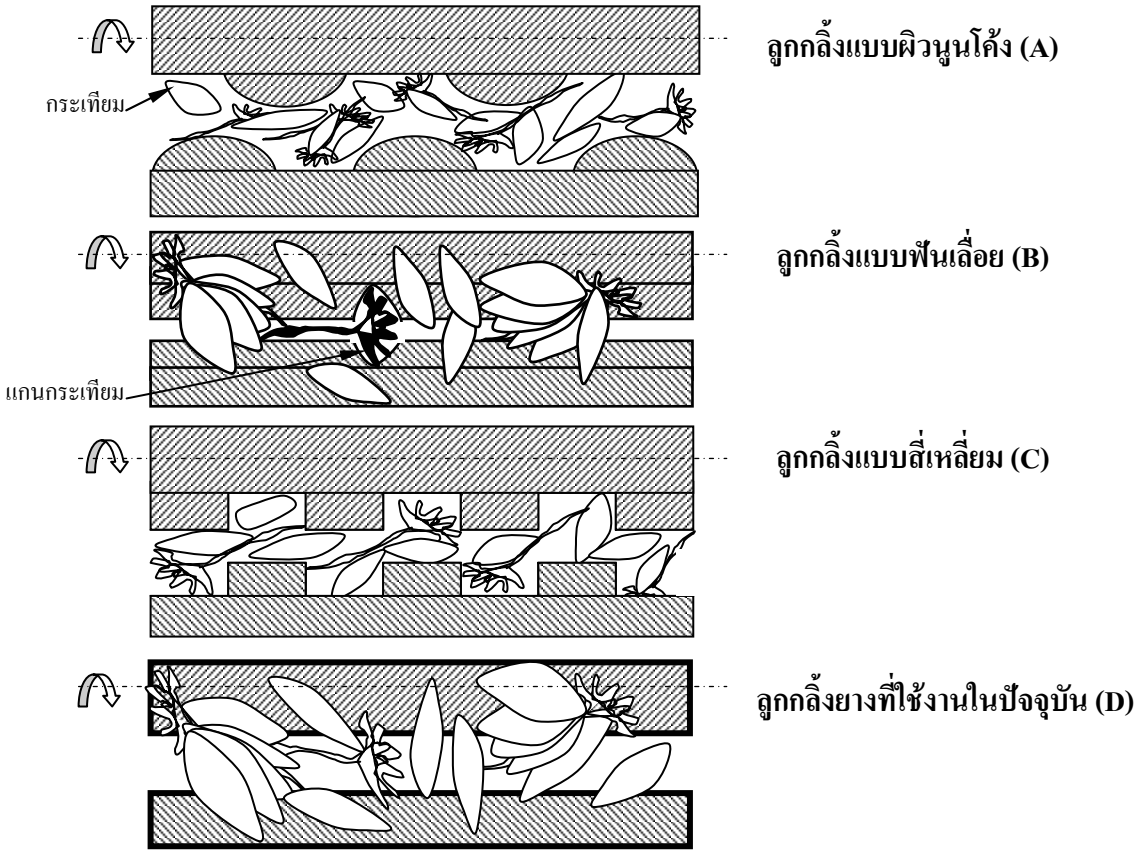


รูปที่ 13. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเฉลี่ยในการแกะกระเทียมของลูกกลิ้งชนิดต่าง ๆ

รูปที่ 13. แสดงผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเฉลี่ยในการแกะกระเทียมของลูกกลิ้งชนิดต่าง ๆ ในเครื่องแกะกระเทียมเครื่องเดียวกัน ผลการทดลองดังกล่าวนี้ได้จากเวลาเฉลี่ยของการแกะกระเทียมครั้งละ 1 กิโลกรัม จำนวน 50 ครั้งของลูกกลิ้งทั้ง 4 ประเภท โดยพิจารณาจากความสามารถในการแยกของกลีบกระเทียมออกหัวจนหมด ซึ่งหมายถึงน้ำหนักกระเทียมทั้ง 4 ประเภทตามตารางที่ 1 รวมกัน ผลการทดลองพบว่า ลูกกลิ้งชนิด C ใช้เวลาเฉลี่ยในการแกะกระเทียมต่ำสุดคือที่ที่ 7.56 วินาที่ รองลงมาคือลูกกลิ้งชนิด B คือที่ 8.43 วินาที ซึ่งอยู่ในช่วงเวลาที่ไกล้เคียงกัน ส่วนลูกกลิ้งชนิด B และ Dใช้เวลาในการแกะมากที่สุดคือที่ 12.96 วินาที และ 13.52 วินาที่ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าพื้นผิวลูกกลิ้งชนิด A และ C เป็นพื้นผิวที่เหมาะสมต่อการใช้งานมากกว่าพื้นผิวลูกกลิ้งชนิด B และ D ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยกลไกของการแกะกระเทียมของลูกกลิ้งชนิดต่าง ๆ ดังรูปที่ 14 คือในกรณีของลูกกลิ้งชนิด A และ C ระหว่างเกิดการบดอัดกระเทียมภายในช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งกับแผ่นรองลูกกลิ้ง กลีบกระเทียมและแกนกระเทียมจะถูกทำให้แยกออกจากกัน จากนั้นจะถูกเบียดให้เคลื่อนที่ไปตามช่องว่างของลายลูกกลิ้งอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว เมื่อเทียบกับลูกกลิ้งประเภท B ซึ่งมีลักษาณะเป็นฟันเลื่อยในแนวเดียวกับกับรัศมีการหมุนของลูกกลิ้ง โดยไม่มีช่องการไหลตามแนวตั้งฉากกับการหมุนของลูกกลิ้ง ดังนั้น กลีบกระเทียมและแกนกระเทียมจะค่อย ๆ แยกออกจากกัน

และเคลื่อนที่ไปได้ช้ากว่า และมีการกองรวมกันของกระเทียมที่เป็นหัวอยู่บริเวณด้านหน้าของลูกกลิ้งอย่างเห็นได้ชัด แต่อย่างไรก็ตามข้อดีของลูกกลิ้งชนิด B นี้ก็คือทำให้กลีบกระเทียมแยกออกจากกันโดยสมบูรณ์มากกว่าลูกกลิ้งชนิดอื่น ๆ ส่วนในกรณีของลูกกลิ้งประเภท D นั้นเป็นแบบผิวเรียบ การที่กระเทียมจะแยกออกจากกันได้นั้นต้องอาศัยการบดอัดแต่เพียงอย่างเดียว นอกจากนี้การที่มีแรงเสียดทานที่ต่ำระหว่างลูกกลิ้งนั้น ทำให้กระเทียมที่เป็นหัวไม่ถูกพาเข้าไปยังช่องว่างโดยง่าย และมีการกองรวมกันของกระเทียมที่เป็นหัวอยู่บริเวณด้านหน้าของลูกกลิ้งเช่นเดียวกับลูกกลิ้งชนิด B

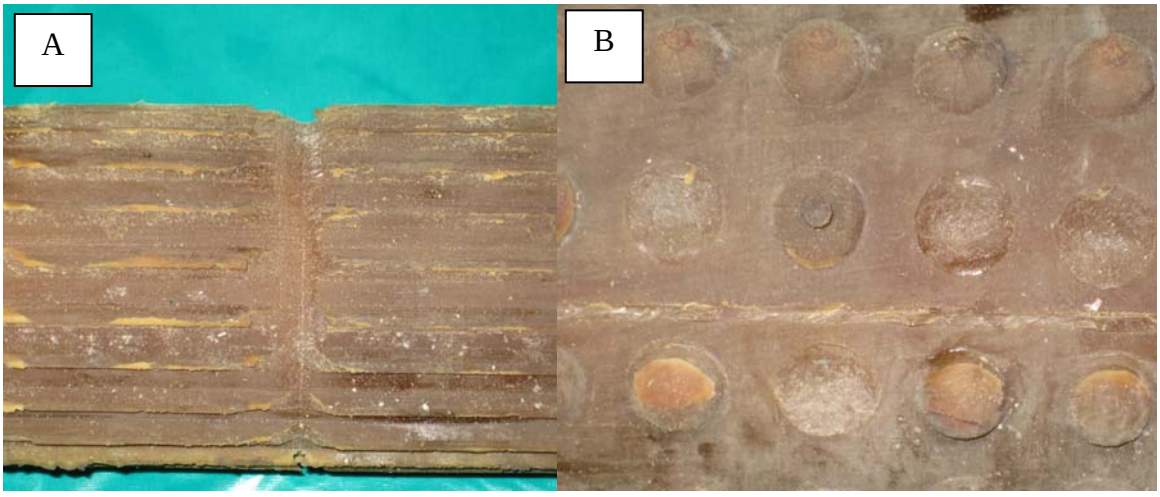
นอกจากนี้ผลการทดลองดังกล่าวยังแสดงให้เห็นว่าประเภทของพื้นผิวลูกกลิ้งมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการแกะกระเทียมอย่างชัดเจนซึ่งสะทอนถึงกำลังการผลิต (Productivity) นั่นเอง พิจารณาลูกกลิ้งในกลุ่ม A และ C ซึ่งอยู่ใช้เวลาในการแกะใกล้เคียงกันคือประมาณ 8 วินาทีต่อกิโลกรัม เปรียบเทียบกับลูกกลิ้งในกลุ่ม B และ D ที่ใช้เวลาในการแกะกระเทียมประมาณ 13 วินาทีต่อกิโลกรัม จะเห็นได้ว่าถ้าทำการผลิต 8 ชั่วโมงต่อวัน ลูกกลิ้งในกลุ่ม A และ C จะสามารถแกะกระเทียมได้ประมาณ 3.6 ตันต่อวัน ในขณะที่ลูกกลิ้งในกลุ่ม B และ D จะสามารถแกะได้ประมาณ 2.22 ตั้นต่อวันเท่านั้น ส่วนต่างประมาณ 1.38 ตันต่อวันนี้ มีผลเป็นอย่างมากหากใช้เป็นตัวแปรในการคำนวนทางเศรษฐศาสตร์ในแง่ต้นทุนในการผลิต ซึ่งลูกกลิ้งชนิดA และ C สามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ประมาณ 62% เมื่อเทียบกับลูกกลิ้งในกลุ่ม B และ D



รูปที่ 14. กลไกการแกะกระเทียมของลูกกลิ้งชนิด A, B, C และ D

5.5. พื้นผิวของลูกกลิ้งที่เหมาะสมในการแกะกระเทียม

ผลการทดลองที่ได้นำเสนอมาข้างต้นสามารถประเมินได้ว่าลูกกลิ้งที่มีความสามารถในการแกะกระเทียมต่ำสุดคือ ลูกกลิ้งแบบที่ใช้ในปัจจุบันประเภท D ส่วนลูกกลิ้งประเภท B ในแง่ของประสิทธิภาพการแกะ เมื่อพิจารณาจากการการแยกกันโดยสมบูรณ์ของกลีบกระเทียมจัดอยู่ในเกณฑ์ที่ดีที่สุด แต่หากพิจารณาในด้านเวลาที่ใช้ในการแกะกระเทียมหรือกำลังการผลิตแล้ว ลูกกลิ้งประเภท B ยังมิใช่ลูกกลิ้งที่เหมาะสมที่สุดในการใช้งาน เพราะใช้เวลาในการแกะกระเทียมนานกว่าลูกกลิ้งประเภทอื่น ๆ ซึ่งคณะวิจัยเห็นว่าสำคัญในกระบวนการผลิต นอกจากนี้ยังมีเหตุผลสำคัญอีกประการหนึ่งคือ การที่ลูกกลิ้งไม่ทนทานต่อการใช้งาน มีการชำรุดเสียหายได้ง่ายกว่าลูกกลิ้งชนิดอื่น ๆ ทั้งนี้เนื่องมาจากการที่ลูกกลิ้งมีลักษณะเป็นฟันเลื่อยในแนวรัศมีของลูกกลิ้ง ซึ่งไม่มีช่องการไหลตามแนวตั้งฉากกับการหมุนของลูกกลิ้ง ทำให้ระหว่างที่เกิดการบดอัดเพื่อให้เกิดการแยกตัวของกลีบกระเทียมนั้น แกนกระเทียมที่หลดออกมา และที่มีขนาดใหญ่กว่าช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งกับแผ่นรองลูกกลิ้งจะติดอยู่เป็นเวลานาน ซึ่งแกนกระเทียมดังกล่าวนี้มีความแข็ง และจะขูดผิวลูกกลิ้งให้เป็นรอยตามแนวรัศมี ก่อให้เกิดความเสียหายต่อลูกกลิ้งอย่างถาวรอีกด้วย กลไกที่เกิดขึ้นแสดงในรูปที่ 14. B ลูกกลิ้งชนิดฟันเลื่อย และความเสียหายที่เกิดขึ้นจริงดังแสดงในรูปที่ 15.(A) ในกรณีของลูกกลิ้งชนิด A นั้นมีการชำรุดเสียหายอันเกิดขึ้นจากการใช้งานเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 15.(B) กล่าวคือมีการหลุดร่อนของลายลูกกลิ้งอย่างต่อเนื่องระหว่างการใช้งาน ซึ่งคณะวิจัยพิจารณาแล้วเห็นว่าลูกกลิ้งชนิด A ยังไม่เหมาะสมต่อการใช้งานมากนัก ถึงแม้ว่าหากพิจารณาด้านประสิทธิภาพการแกะและเวลาที่ใช้ในการแกะกระเทียมแล้วจัดได้ว่าอยู่ในเกณฑ์ดีก็ตาม ส่วนลูกกลิ้งชนิด C นั้น จากการทดสอบการใช้งานไม่พบความเสียหายจากการใช้งาน ประกอบกับข้อมูลผลการทดลองประสิทธิภาพการแกะกระเทียม และในด้านเวลาที่ใช้ในการแกะกระเทียมจัดอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ดังนั้นในงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่าลูกกลิ้งชนิด C เป็นลูกกลิ้งที่เหมาะสมต่อการใช้งานแกะกระเทียมด้วยเครื่องมากที่สุด



รูปที่ 15. ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับลูกกลิ้งยางชนิด A และ B

6. สรุปผลการทดลอง

6.1. ลูกกลิ้งยางที่ได้จัดสร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ทั้ง 3 ชนิดคือ ลูกกลิ้งแบบผิวนูนโค้ง (A) ลูกกลิ้งแบบฟันเลื่อย (B) และลูกกลิ้งแบบสี่เหลี่ยม (C) สามารถแก้ปัญหาการแตกลอกของกระเทียมระหว่างการแกะด้วยเครื่องได้เป็นอย่างดี ซึ่งมีการแตกลอกเสียหายของกระเทียมระหว่างการผลิตประมาณ 2-3% เท่านั้น ในขณะที่ลูกกลิ้งแบบที่ใช้อยู่ในปัจุบันชนิด D มีการแตกลอกของกระเทียมถึงประมาณ 13.3%

6.2. ประสิทธิภาพการใช้งานของลูกกลิ้งยางที่จัดสร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ หากพิจารณาถึงคุณภาพของการแกะกระเทียม คือ การแยกออกจากกันโดยสมบูรณ์ของกลีบกระเทียมภายหลังจากการแกะด้วยเครื่องแล้ว การสร้างลายบนลูกกลิ้งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการแกะกระเทียมโดยเฉลี่ยที่ 25% เมื่อเทียบกับลูกกลิ้งที่ไม่มีลวดลายประเภท D

6.3. ลูกกลิ้งที่มีพื้นผิวชนิด A และ C ใช้เวลาในการแกะกระเทียมที่เวลาไกล้เคียงกันที่ 8.43 วินาทีต่อกระเทียม 1 กิโลกรัม ส่วนลูกกลิ้งชนิด B และ Dใช้เวลาในการแกะกระเทียมไกล้เคียงกันเช่นกันคือที่ 13.5 วินาที ดังนั้นหากมองในแง่ของกำลังการผลิต (Productivity) ลูกกลิ้งที่มีพื้นผิวชนิด A และ C เหมาะสมต่อการใช้งานมากกว่า โดยที่สามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ประมาณ 62% เมื่อเทียบกับลูกกลิ้งในกลุ่ม B และ D

6.4. ลูกกลิ้งชนิด C เป็นลูกกลิ้งที่เหมาะสมต่อการใช้งานแกะกระเทียมด้วยเครื่องมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจาก ผลการทดสอบการใช้งานไม่พบความเสียหายจากการใช้งาน ประกอบกับข้อมูลผลการทดลองประสิทธิภาพการแกะกระเทียม และในด้านเวลาที่ใช้ในการแกะกระเทียมจัดอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ในขณะที่ลูกกลิ้งประเภท A และB มีความเสียหายบริเวณผิวลูกกลิ้งเกิดขึ้นคือ มีการหลุดร่อนของลายลูกกลิ้งอย่างต่อเนื่องระหว่างการใช้งาน และลูกกลิ้งประเภท D ไม่เหมาะสมต่อการใช้งานมากที่สุด

7. ข้อเสนอแนะ

7.1. การพัฒนาสูตรยางให้มีความทนทานต่อสภาพการใช้งาน โดยมุ่งเน้นถึงการเพิ่มสมบัติทางด้านการต้านทานการขัดถู (Abrasion resistant)

7.2 การเพิ่มวัสดุเสริมแรงในเนื้อลูกกลิ้งยางให้มีอายุการใช้งานนานขึ้น

7.3 ผลผลิตกระเทียมแห้งที่ผ่านการแกะเป็นกลีบแล้ว ส่วนหนึ่งจะนำมาปอกผิวที่ห่อหุ้มกลีบกระเทียมออกโดยใช้แรงงานคน เพื่อนำไปแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่า เช่นนำไปทำเป็นกระเทียมเจียว หรือส่วนผสมของน้ำจิ้มสุกี้ ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาขั้นต่อไปควรเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำสารประกอบยางธรรมชาติมาใช้เป็นวัสดุขัดปอกผิว (Peel) กลีบกระเทียมในลักษณะของแผ่นขัดปอกผิวกระเทียมในเครื่องจักรได้ จะเป็นการเพิ่มกำลังการผลิตและมูลค่าของกระเทียมได้อีกทางหนึ่ง

8. เอกสารอ้างอิง

1. http://www.cb.ktb.co.th/prod/brnew.nsf/0/e05f89d8d859744c47256f43000c87f2?OpenDocument (04/06/2550)
2. พรพรรณ นิธิอุทัย. ยาง:เทคนิคการออกสูตร, ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปัตตานี, 2540,4-68.
3. Morton-Jones D. H., "Polymer Processing," TJ Press (Padstow) Ltd, Cornwall, Britain,1989.
4. Sombatsompop, N,. Thongsang, S. Markpin, T. and Wimolmala, E. Fly Ash Particles and Precipitated Silica as Fillers in Rubbers. I. Untreated Fillers in Natural Rubber and Styrene-Butadiene Rubber Compounds- Journal of Applied Polymer Science, 2004 , 93, 2119-2130.
5. Thongsang, S,. Sombatsompop N. Effect of NaOH and Si69 Treatment on Properties of Fly Ash Filled NR Composites -Polymer Composites, 2006, 27(1), 30-40.
6. Sombatsompop, N,. Kantala, C. and Wimolmala, E. Wood sawdust fibres as a secondary filler in carbon black filled NR vulcanizates - Polymers & Polymer Composites, 2006, 14 (4), 331-348.
7. Sirisinha, C., Limcharoen, S. and Thunyarittikorn, J. Effects of Fillers, Maleated Ethylene Propylene Diene Rubber, and Maleated Ethylene Octene Copolymer onPhase Morphology and Oil Resistance in Natural Rubber/Nitrile Rubber Blends-Journal of Applied Polymer Science, 2003, 89, 1156-1162.

ภาคผนวก

คำชี้แจงของนักวิจัยต่อข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ

1. ควรระบุด้วยว่า แบบ A และ C นั้นมีการวางตำแหน่งของแผ่นรองกับลูกกลิ้งเป็นไปตามรูปที่ 14 เพราะมีโอกาสเป็นไปได้ว่าจะวางเหลื่อมกัน

   คำชี้แจง

   ได้เพิ่มเติมคำอธิบายการจัดวางตำแหน่งลูกกลิ้งและแผ่นรองลูกกลิ้งแล้วในหน้า 16 ข้อที่ 3

2. นักวิจัยควรออกแบบลูกกลิ้งโดยใช้ความรู้ประกอบว่าทำไมจึงออกแบบทั้ง 3 แบบ และมีจุดอ่อน จุดแข็งในแต่ละแบบอย่างไร แล้วจึงนำมาสร้างลูกกลิ้ง โดยลูกกลิ้งที่ได้มีจุดอ่อนอย่างไร จะได้พัฒนาต่อไป จากผลการทดลองเสมือนนักวิจัยคิดเอง ของเดิมใช้ได้อยู่แล้ว นักวิจัยต้องบอกให้ได้ว่าได้ความรู้อะไรมาประดิษฐ์ เมื่อประดิษฐ์แล้วได้ความรู้อะไรเพิ่มเติมบ้าง

   คำชี้แจง

   1. คณะวิจัยได้อธิบายไว้อย่างชัดเจนในบทนำหน้าที่ 6 ย่อหน้าที่ 2 ถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้ลูกกลิ้งแบบเดิม คือลูกกลิ้งแบบเดิมเป็นแบบผิวเรียบ(เทียบได้กับลูกกลิ้งชนิด D) มีแรงเสียดทานต่ำ กระเทียมแยกออกจากกันได้ยาก ประกอบกับมีผิวที่แข็งทำให้เกิดการแตกช้ำได้ง่าย ดังนั้นหลักการออกแบบคือการเลือกใช้วัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูงเพื่อป้องกันการแตกช้ำของกระเทียมได้ ตลอดจนต้องสร้างแรงเสียดทาน(Friction) มากกว่าเดิมนั่นคือการสร้างลวดลายบนผิวลูกกลิ้ง โดยลูกกลิ้งทั้ง 3 แบบสามารถขึ้นรูปได้ง่ายในทางวิศวกรรม
   2. ในส่วนของจุดอ่อน จุดแข็งของลูกกลิ้งแต่ละชนิดนั้น คณะวิจัยได้อธิบายไว้อย่างชัดเจนเช่นกันในหัวข้อ 5.5 หน้า 23
   3. จากหัวข้อความสำคัญและที่มาของปัญหา คณะวิจัยได้กล่าวถึงข้อด้อยของลูกกลิ้งแบบเดิมไว้อย่างชัดเจนแล้ว ซึ่งเป็นข้อมูลที่เกิดขึ้นจริงในทางปฏิบัติ คณะวิจัยมิได้คิดไปเองแต่อย่างใด เหตุใดท่านผู้ทรงคุณวุฒิจึงคิดว่า “ของเดิมใช้ได้อยู่แล้ว” ได้โปรดให้คำอธิบายและเหตุผลประกอบ
   4. “นักวิจัยต้องบอกให้ได้ว่าได้ความรู้อะไรมาประดิษฐ์” คณะวิจัยไม่เข้าใจในข้อเสนอแนะนี้ ส่วนความรู้เพิ่มเติมที่ได้จากงานวิจัยนี้คณะวิจัยได้สรุปไว้โดยย่อแล้วในหัวข้อที่ 6 หน้า 24.