



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องย่อยยาง
ต้นแบบ (Development and Improvement of the Prototyped
Rubber Shredder)

โดย อ.ดร. สุภสิทธิ์ รอดขวัญ และ คณะ

โครงการเสร็จวันที่ 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องย่อยยาง
ต้นแบบ (Development and Improvement of the Prototyped
Rubber Shredder)

คณะผู้วิจัย

สังกัด

- | | |
|------------------------------------|--|
| 1. อ. ดร. ศุภสิทธิ์ รอดขวัญ | อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 2. นาย สมศักดิ์ ตั้งวิบูลย์พาณิชย์ | นิสิตภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 3. นาย สาโรช ชินคำ | นิสิตภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |
| 4. นาย นวพล โหมมานะสิน | นิสิตภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ |

ชุดโครงการ

กลุ่มโครงการการออกแบบและสร้างเครื่องมืออุตสาหกรรมยาง มก. [1]

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

ข้อมูลโครงการ

สัญญาเลขที่ RDG4750041

ชื่อโครงการ การพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องย่อยยางต้นแบบ

Title Development and Improvement of the Prototyped Rubber Shredder

หัวหน้าโครงการ อ.ดร. ศุภสิทธิ์ รอดขวัญ

โครงการเริ่มวันที่ 1 กันยายน 2547

โครงการสิ้นสุดวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2548

รวมเวลาทำการวิจัยทั้งสิ้น 6 เดือน

บทสรุปย่อสำหรับผู้บริหาร (Executive Summary)

ชื่อโครงการ การพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องย่อยยางต้นแบบ

Title Development and Improvement of the Prototyped Rubber Shredder

1. ชื่อหัวหน้าโครงการ หน่วยงานสังกัด และที่อยู่

ชื่อ สกุล อ.ดร.ศุภสิทธิ์ รอดขวัญ

หน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ที่อยู่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทรศัพท์ (02) 942-8555 ต่อ 1803

โทรสาร (02) 579-4576

Email: fengssr@ku.ac.th

2. ระยะเวลาดำเนินการ 6 เดือน

3. ปัญหาที่ทำวิจัยและความสำคัญของปัญหา

ยางพาราเป็นพืชที่สำคัญในเชิงเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ที่ทำจากยางหลายชนิด โดยผลิตภัณฑ์เหล่านี้เมื่อถูกใช้งานจนหมดอายุแล้วก็ต้องนำไปทำลายทิ้งโดยไม่ผ่านกระบวนการรีไซเคิลทำให้ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากยางเหล่านั้นได้สูงสุดและยังก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ อาทิเช่น ยางจากยานพาหนะต่างๆ เราสามารถนำผลิตภัณฑ์ที่ทำจากยางประเภทนี้กลับมาใช้ใหม่ โดยอาศัยกระบวนการนำยางมาผ่านเครื่องย่อยให้ได้เป็นเศษเล็กๆซึ่งโดยทั่วไปแล้วชิ้นงานที่ถูกบดออกมาจะมีขนาดขึ้นกับประสิทธิภาพเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิต ก่อนนำไปผสมรวมกับยางใหม่หรือยางดิบทั่วไป เช่น พื้นสนามเด็กเล่น พื้นสนามกีฬา บล็อกปูพื้น ของเล่นสัตว์ หลังคา ฯลฯ

กระบวนการในการปรับปรุงเทคนิคในการรีไซเคิลผลิตภัณฑ์จากยางได้ถูกคิดค้นและพัฒนามาเป็นเวลานานแล้ว และได้มีการสร้างเครื่องจักรขึ้นเพื่อให้เกิดประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ โดยเครื่องจักรที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้มีราคาค่อนข้างสูงและส่วนใหญ่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศด้วยเหตุผลดังกล่าว ในปีการศึกษา 2546 ที่ผ่านมา ทางนิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้มีการนำเสนอโครงการวิจัยและประดิษฐ์เครื่องย่อยยางต้นแบบขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1.7 และได้ทำการทดลองโดยใช้ชิ้นงานตัวอย่าง ยางอัดดอก ยางรถจักรยาน และ ยางรถจักรยานยนต์นี้ พบว่า

ใน 1 รอบการทำงาน ขนาดของชิ้นงานหลังจากถูกย่อยแล้วมีขนาดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานยางลดลงประมาณ 93 % สำหรับยางอัดดอกและยางรถจักรยาน และ 52 % สำหรับยางรถจักรยานยนต์ โดยมีอัตราเร็วเฉลี่ยในการตัดประมาณ 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เมื่อพิจารณาทั้งในด้านขนาดของชิ้นงานที่ลดลง และอัตราการย่อยชิ้นงานที่สามารถย่อยได้ จะเห็นได้ว่าเครื่องย่อยยางต้นแบบที่ออกแบบและประดิษฐ์ขึ้นมีประสิทธิภาพเป็นที่น่าพอใจในระดับหนึ่ง ดังนั้นทางผู้เสนอโครงการนี้จึงมีแนวความคิดที่จะออกแบบและพัฒนาเครื่องย่อยยางต้นแบบให้มีประสิทธิภาพการทำงานสูงขึ้น และได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม เพื่อหาข้อบกพร่องและหาแนวทางการพัฒนาเครื่องย่อยยางต้นแบบ โดยสามารถสรุปแนวทางการปรับปรุงและพัฒนาเครื่องย่อยยางต้นแบบ ในประเด็นของการออกแบบและปรับปรุงชุดใบมีด การปรับปรุงระบบส่งกำลัง การทำสวิตช์สลับไฟเพื่อกลับทิศทางการหมุนของใบมีดในกรณีที่มีเศษยางติดอยู่ และการทำการศึกษาตัวแปรต่างๆในการทำงานของเครื่องย่อยยางโดยละเอียด

โดยทางผู้เสนอโครงการคาดหวังว่า การทำโครงการครั้งนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางทั้งในเชิงพาณิชย์และสิ่งแวดล้อม และยังสามารถผลิตเครื่องย่อยยางที่มีประสิทธิภาพดี และมีต้นทุนการผลิตต่ำสามารถผลิตเครื่องจักรได้ในประเทศ ตลอดจนเป็นส่วนหนึ่งในการสร้างความเข้มแข็งให้แก่อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางพาราของประเทศ

4. วัตถุประสงค์

1. เพื่อปรับปรุงและพัฒนาประสิทธิภาพเครื่องย่อยยางต้นแบบ
2. เป็นการนำผลิตภัณฑ์ยางเหลือใช้มาก่อให้เกิดประโยชน์ในเชิงพาณิชย์และสิ่งแวดล้อม
3. สามารถผลิตเครื่องย่อยยางประสิทธิภาพดีและต้นทุนในการผลิตต่ำได้เองในประเทศ
4. เพื่อเป็นการส่งเสริมให้นักศึกษาและนักวิจัยในสาขาวิศวกรรมศาสตร์ได้มีการนำเอาหลักการออกแบบ และทฤษฎีที่เรียนมาประยุกต์ใช้ในการสร้างอุปกรณ์เครื่องจักรในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง

5. สิ่งที่ได้คาดว่าจะได้

1. ได้เครื่องสำหรับย่อยยางที่มีประสิทธิภาพสูง และมีต้นทุนในการผลิตต่ำ
2. ช่วยลดการนำเข้าเครื่องย่อยยางจากต่างประเทศ
3. ได้เห็นถึงความสำคัญของกระบวนการรีไซเคิล และมีส่วนช่วยลดมลพิษที่จะเกิดกับสิ่งแวดล้อม
4. มีนักวิจัยที่สามารถประดิษฐ์เครื่องจักรที่ใช้ในอุตสาหกรรมยางได้
5. ส่งเสริมให้นักวิจัยในสาขาวิศวกรรมศาสตร์ได้เห็นถึงความสำคัญในการพัฒนาอุตสาหกรรมยางพาราของประเทศไทย

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ที่ทำจากยางพาราถูกใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยผลิตภัณฑ์เหล่านี้เมื่อถูกใช้งานจนหมดอายุแล้วมักจะถูกนำไปทำลายทิ้งโดยไม่ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycling) ทำให้ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากยางเหล่านั้นได้อย่างสูงสุด และยังก่อให้เกิดปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อม โดยกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ ทำได้โดยนำเศษยางที่ใช้แล้วมาบดตัดผ่านเครื่องย่อยให้ได้เป็นชิ้นที่มีขนาดเล็กลง หลังจากนั้นชิ้นยางที่ถูกย่อยแล้วจะถูกนำไปผสมกับยางใหม่รวมถึงสารเคมีต่างๆ เพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น อิฐบล็อกยาง แผ่นปูสนามเด็กเล่น แผ่นกันลื่นในห้องน้ำ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม โดยส่วนใหญ่เครื่องจักรที่ใช้ในการย่อยยางนี้เป็นเครื่องที่นำเข้าจากต่างประเทศ และมีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นโครงการนี้จึงเป็นการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องย่อยยางต้นแบบ เพื่อให้สามารถผลิตได้ในประเทศและมีราคาที่ต่ำลง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางพาราในประเทศ ทั้งในด้านสิ่งแวดล้อมและเชิงพาณิชย์ โดยโครงการนี้ได้ดำเนินการในสองส่วนคือ ส่วนของการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องย่อยยางต้นแบบที่คณะผู้จัดทำโครงการได้พัฒนาขึ้นมาก่อนแล้ว และส่วนของการออกแบบเครื่องย่อยยางที่พัฒนามาจากเครื่องต้นแบบเดิม ซึ่งในส่วนแรกได้ทำการติดตั้งชุดรีเลย์ควบคุมทิศทางการหมุนของชุดใบมีดและทำการชุบแข็งใบมีดให้ทนต่อการสึกหรอมากขึ้น และในส่วนที่สองได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องย่อยยางขึ้นมาใหม่ โดยจะเรียกว่า ชุดเครื่องย่อยยาง TAP-MC ซึ่งมีปัจจัยในการออกแบบที่มีผลต่อการตัดเนื้อยาง ได้แก่ ชนิดของวัสดุ มุมการตัดของใบมีด ความเร็วรอบจานตัด มุมการเรียงของใบมีด ขนาดและคุณสมบัติของชิ้นงานที่นำมาย่อย รวมถึงกำลังของมอเตอร์ ในการสร้างเครื่องนี้ใช้มอเตอร์ขนาด 10 แรงม้า ขับเครื่องย่อยยาง 2 ชุด ชุดแรกเป็นชุดใบมีด ใช้ใบมีดที่ทำมาจากเหล็กหัวแดง (S45C) ชุบแข็งโดยผ่านกระบวนการคาร์โบไนไตรดิ้ง (Carbonitriding) จำนวน 90 ใบ มุมตัด 60 องศา และติดอยู่บนจานจำนวน 15 จานซึ่งประกอบอยู่บนเพลาสองตัว โดยความเร็วรอบที่เพลาลับและเพลาดำเป็น 50 และ 30 รอบต่อนาทีตามลำดับ ส่วนชุดที่สองเป็นชุดลูกกลิ้งสองลูกหมุนบดเข้าหากัน โดยใช้ความเร็วรอบที่เพลาลับและเพลาดำเท่ากับชุดที่ 1

Abstract

Currently, various applications of rubber products have been widely found. The wastes of these rubber products are often neglected without the recycling process leading to the environmental hazardous problem. In the recycling process, the waste rubber products are shredded into small pieces using rubber recycling machine and shredded rubber can be mixed with other compositions in making reclaimed rubber or other rubber products such as rubber bricks, playground rubber pads, rubber mats using in the restroom. However, the imported rubber recycling machines are usually expensive; consequently, in this research, the design and improvement of the prototype rubber recycling machine

was proposed to response to the needs of the machine in the domestic rubber product industry both in the environment and in the commercial viewpoints. In this research, two tasks were performed; the improvement in performance of the prototyped rubber recycling machine which was developed earlier in the past project and the design and development of the new rubber recycling machine. In the first part, the relay switch was installed to control the direction of the machine shaft rotation and the cutter knives were strengthened through carbonitriding process for additional wear resistance. For the latter, newly developed recycling machined name "TAP-MC" was design and fabricated using various factors such as are type, size, and property of rubber material, angle and pattern of the cutting knife, cutting speed of a knife and power of a motor used. The motor of 10 hp was used to power two sets of recycling steps designed. The first set consists of 90 cutter knives and each has a 60 degree cutting angle attached on 15 disks installed on the two shafts with the rotational speeds of both shafts of 50 and 30 revolutions per minute. The second set uses two rollers rotated in the opposite direction with the similar speed as of the first set.

รายงานเนื้อหา

1. เนื้อหาการวิจัย
2. ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่น ๆ ต่อ สกว.
3. ภาคผนวก

1. เนื้อหาการวิจัย

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	ก-ข
สารบัญรูปภาพ	ค-จ
สารบัญตาราง	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ช
บทที่ 1 บทนำ (Introduction)	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการทำโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย	4
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร (Literature Review)	5
2.1 แนวคิดในการสร้าง	5
2.2 การออกแบบและการคำนวณเครื่องย่อยยางต้นแบบ	7
2.3 กระบวนการย่อยยางในโรงงานอุตสาหกรรมย่อยยาง	10
2.4 หลักการทำงานของเครื่องบดผสมยาง	14
บทที่ 3 การออกแบบ (Design)	16
3.1 ข้อเสนอแนะทางพัฒนาและปรับปรุงเครื่องย่อยยางต้นแบบ	16
3.2 การออกแบบชุดเครื่องย่อยยาง TAP-MC	19
3.3 การออกแบบและการคำนวณชุดเครื่องย่อยยาง TAP-MC	24
บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการ (Materials and Methods)	28
4.1 อุปกรณ์	28
4.2 วิธีการ	29
4.3 การสร้างเครื่องย่อยยาง TAP-MC	33
4.4 การทดสอบเครื่องย่อยยาง TAP-MC	39
บทที่ 5 ผล (Results)	40
5.1 ผลจากการทดสอบเครื่องย่อยยางTAP-MC	40
บทที่ 6 สรุป (Conclusions)	42
6.1 สรุปผลการวิจัย	42

6.2 ข้อเสนอแนะ	43
6.3 แนวทางการปรับปรุงและพัฒนา	43
เอกสารอ้างอิง (References)	44
ภาคผนวก ก ตารางคุณสมบัติและค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบ	45
ภาคผนวก ข แบบทางวิศวกรรมเพื่อใช้ในการผลิตส่วนประกอบ	50

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 พื้นกันกระแทก	1
รูปที่ 1.2 แผ่นพื้นสนามเด็กเล่น	1
รูปที่ 1.3 พื้นสนามกีฬา	1
รูปที่ 1.4 บล็อกปูพื้น	1
รูปที่ 1.5 ของเล่นสุนัข	2
รูปที่ 1.6 หลังคาอย่าง	2
รูปที่ 1.7 เครื่องย่อยยางดันแบบ	3
รูปที่ 2.1 ใบมีดที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมย่อยยางรถยนต์ในต่างประเทศ	5
รูปที่ 2.2 แสดงเศษชิ้นส่วนยางที่ผ่านการย่อยโดยเครื่องย่อยดัดใบมีด	5
รูปที่ 2.3 แสดงใบมีดของเครื่องย่อยยางดันแบบ (ด้านข้าง)	6
รูปที่ 2.4 แสดงใบมีดของเครื่องย่อยยางดันแบบ (ด้านหน้า)	6
รูปที่ 2.5 แสดงชิ้นส่วนของยางอัดดอกก่อนทำการย่อยโดยเครื่องย่อยยางดันแบบ	6
รูปที่ 2.6 แสดงชิ้นส่วนของยางอัดดอก หลังทำการย่อยโดยเครื่องย่อยยางดันแบบ	6
รูปที่ 2.7 แสดงชิ้นส่วนของยางรถจักรยานยนต์ ก่อนทำการย่อยโดยเครื่องย่อยยางดันแบบ	7
รูปที่ 2.8 แสดงชิ้นส่วนของยางรถจักรยานยนต์หลังทำการย่อยโดยเครื่องย่อยยางดันแบบ	7
รูปที่ 2.9 ยางรถยนต์ที่ถูกกรีดเหล็กขบล้อออกแล้ว (เป็นยางที่ไม่ได้เสริมใยเหล็ก)	10
รูปที่ 2.10 ยางที่กำลังถูกย่อยและเศษยางที่ไม่ได้ขนาดแล้วถูกลำเลียงกลับมาย่อยครั้งต่อไป	10
รูปที่ 2.11 เศษยางที่มีผ้าใบปนหลังจากที่ผ่านกระบวนการที่ 1	11
รูปที่ 2.12 เศษผ้าใบที่ผ่านการร่อน	11
รูปที่ 2.13 ยางที่กำลังถูกบดในเครื่องบดชนิดแรกคล้ายเครื่องโม่	12
รูปที่ 2.14 เครื่องบดชนิดลูกกลิ้ง	12
รูปที่ 2.15 เศษยางที่ผ่านกระบวนการแยกผ้าใบโดยเครื่องไซโคลน	12
รูปที่ 2.16 การให้ความร้อน(นิ่ง)	13
รูปที่ 2.17 การรีดยางให้เป็นแผ่น	13
รูปที่ 2.18 ยางที่ถูกอัดให้เป็นยางแผ่น	13
รูปที่ 2.19 ยางสำเร็จรูปที่เตรียมส่งขาย	13
รูปที่ 2.20 เครื่องบดผสมยาง	14
รูปที่ 2.21 เครื่องบดผสมยางและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	14

รูปที่ 2.22 ชุดลูกกลิ้งของเครื่องบดผสมยาง	14
รูปที่ 2.23 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	15
รูปที่ 2.24 ไดอะแกรม เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	15
รูปที่ 2.25 พวงมาลัยปรับระยะความห่างของลูกกลิ้ง	15
รูปที่ 2.26 สวิตช์เปิด – ปิดเครื่อง	15
รูปที่ 3.1 ชุดใบมีดหลายชุดยึดติดกับแกนเหล็กด้วยสลกรู	17
รูปที่ 3.2 ภาพด้านบนของชุดใบมีดสำหรับติดแกนเหล็ก	17
รูปที่ 3.3 แกนเหล็กเซาะร่อง	17
รูปที่ 3.4 ชุดใบมีดติดผนังทรงกระบอกหลายชุดยึดติดกับรางเหล็กด้วยสลกรู	17
รูปที่ 3.5 ภาพด้านบนชุดใบมีดติดผนังทรงกระบอก	17
รูปที่ 3.6 รางเหล็ก	17
รูปที่ 3.7 ตะแกรงสำหรับวัดขนาดของเศษยางที่ผ่านเครื่องย่อยแล้ว	17
รูปที่ 3.8 ภาพด้านข้างของเครื่องย่อยต้นแบบชุดใหม่	18
รูปที่ 3.9 ภาพด้านหน้าของเครื่องย่อยข้างต้นแบบชุดใหม่	18
รูปที่ 3.10 เครื่องย่อยยางที่ 1 ของชุดเครื่องย่อยยาง TAP – MC	20
รูปที่ 3.11 ใบมีดชุดเก่า(ใบมีดของเครื่องย่อยข้างต้นแบบ)	20
รูปที่ 3.12 ใบมีดชุดใหม่(ใบมีดของเครื่องย่อยยางที่ 1)	20
รูปที่ 3.13 มุมการตัดของใบมีดของเครื่องย่อยข้างต้นแบบ	21
รูปที่ 3.14 มุมการตัดของใบมีดของเครื่องย่อยยางที่ 1	21
รูปที่ 3.15 ชุดใบมีดที่ติดบนเพลลาของเครื่องย่อยข้างต้นแบบ	21
รูปที่ 3.16 ชุดใบมีดที่ติดบนเพลลาของเครื่องย่อยยางที่ 1	21
รูปที่ 3.17 เครื่องย่อยยางที่ 2 ชนิดลูกกลิ้ง ของชุดเครื่องย่อยยาง TAP – MC	23
รูปที่ 4.1 ตำแหน่งชุดรีเลย์	31
รูปที่ 4.2 แผงวงจรชุดรีเลย์	31
รูปที่ 4.3 การถอดใบมีดจากฐานใบมีด	32
รูปที่ 4.4 ใบมีดที่ทำจากเหล็ก AISI 1020 CD ที่เตรียมชุบแข็ง	32
รูปที่ 4.5 ใบมีดก่อนการเจียรในลับคมและการชุบแข็ง	32
รูปที่ 4.6 ใบมีดหลังการเจียรในลับคมและการชุบแข็ง	32
รูปที่ 4.7 การเชื่อมประกอบฐาน	34
รูปที่ 4.8 การเจียรในสะเก็ดจากการเชื่อม	34
รูปที่ 4.9 มอเตอร์ขนาด 10 แรงม้าและชุดทดเกียร์ขนาด 10:1	35

รูปที่ 4.10	โซ่และชุดเฟืองโซ่ส่งกำลังชุดแรกขนาด 20 และ 23 ฟัน ตามลำดับ	35
รูปที่ 4.11	ชุดเฟืองส่งกำลัง เฟืองขับขนาด 24 ฟัน และเฟืองตามขนาด 40 ฟัน	35
รูปที่ 4.12	แผนภาพแสดงชุดส่งกำลัง	36
รูปที่ 4.13	ใบมีด	37
รูปที่ 4.14	น็อตยึดใบมีดกับฐานใบมีด	37
รูปที่ 4.15	แบร์ริงรองเพลลา	38
รูปที่ 4.16	การประกอบแบร์ริงเข้ากับเพลลา	38
รูปที่ 4.17	การตั้งเพลลาพร้อมแบร์ริงบนฐาน	38
รูปที่ 4.18	ชุดใบมีดตั้งบนฐานสมบูรณ์	38
รูปที่ 4.19	ชุดลูกกลิ้งบังคับตั้งบนฐานสมบูรณ์	39
รูปที่ 6.1	เครื่องย่อยยาง TAP-MA (ชนิดลูกกลิ้งและชนิดชุดใบมีด)	43

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 แผนการดำเนินงาน	30
ตารางที่ 5.1 ขนาดของชิ้นยางเฉลี่ยก่อนเข้าสู่ชุดใบมีด	40
ตารางที่ 5.2 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของชิ้นยางที่ได้จาก	
การย่อยด้วยชุดใบมีดโดยแบ่งตามช่วงของขนาด	40
ตารางที่ 5.3 ขนาดของชิ้นยางเฉลี่ยก่อนเข้าสู่ชุดลูกกลิ้ง	41
ตารางที่ 5.4 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของชิ้นยางที่ได้จาก	
การย่อยด้วยชุดลูกกลิ้งโดยแบ่งตามช่วงของขนาด	41
ตารางที่ ผ1 ขนาดระบุของเพลตามมาตรฐาน ISO (mm)	46
ตารางที่ ผ2 ค่าตัวประกอบความล้า, C_m และ C_t	46
ตารางที่ ผ3 เฟืองมาตรฐานที่นิยมใช้กันอยู่โดยทั่วไป	
(m มีหน่วยเป็น mm, P มีหน่วยเป็น in^{-1})	46
ตารางที่ ผ4 มาตรฐานของฟันเฟือง (หน่วย SI และหน่วยอังกฤษ)	47
ตารางที่ ผ5 ค่าตัวประกอบรูปแบบของลูอิส, Y และ y	47
ตารางที่ ผ6 ค่าตัวประกอบรูปแบบของลูอิส, Y และ y (ต่อ)	48
ตารางที่ ผ7 ค่าความเค้นสถิติใช้งานสำหรับใช้กับสมการของลูอิส	49

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

MPa	หน่วย เมกะปาสคาล
AISI	องค์การมาตรฐานอุตสาหกรรมแห่งประเทศสหรัฐ อเมริกา
ASME	สมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศ สหรัฐ อเมริกา
mm	หน่วย มิลลิเมตร
m	หน่วย เมตร
mm ²	หน่วย ตารางมิลลิเมตร
m/s	หน่วย เมตรต่อวินาที
ft/min	หน่วย ฟุตต่อนาที
rpm	หน่วย รอบต่อนาที
rps	หน่วย รอบต่อวินาที
N	หน่วย นิวตัน
kW	หน่วย กิโลวัตต์
J	หน่วย จูล
hp	หน่วย กำลังม้า
kg	หน่วย กิโลกรัม

บทที่ 1 บทนำ (Introduction)

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการทำโครงการ

เป็นที่ทราบกันดีว่ายางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทยเรา ในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ที่ทำจากยางหลายชนิด โดยผลิตภัณฑ์เหล่านี้เมื่อถูกใช้งานจนหมดอายุแล้วก็ต้องนำไปทำลายทิ้งโดยไม่ผ่านกระบวนการรีไซเคิลทำให้ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากยางเหล่านั้นได้สูงสุดและยังก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ อาทิเช่น ยางจากยานพาหนะต่างๆ [1], [2] เราสามารถนำผลิตภัณฑ์ที่ทำจากยางประเภทนี้กลับมาใช้ใหม่ โดยอาศัยกระบวนการนำยางมาผ่านเครื่องย่อยให้ได้เป็นเศษเล็กๆซึ่งโดยทั่วไปแล้วชิ้นงานที่ถูกบดออกมามีขนาดขึ้นกับประสิทธิภาพเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิต [3] ก่อนนำไปผสมรวมกับยางใหม่หรือยางดิบทั่วไป เช่น พื้นสนามเด็กเล่น พื้นสนามกีฬา บล็อกปูพื้น ของเล่นสัตว์ หลังคา ฯลฯ ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้แสดงไว้ในรูปที่ 1.1 – รูปที่ 1.6



รูปที่ 1.1 พื้นกันกระแทก [4]



รูปที่ 1.2 แผ่นพื้นสนามเด็กเล่น [5]



รูปที่ 1.3 พื้นสนามกีฬา [6]



รูปที่ 1.4 บล็อกปูพื้น [6]



รูปที่ 1.5 ของเล่นสุนัข [5]



รูปที่ 1.6 หลังคาทรง [6]

กระบวนการในการปรับปรุงเทคนิคในการรีไซเคิลผลิตภัณฑ์จากยางได้ถูกคิดค้นและพัฒนามาเป็นเวลานานแล้ว และได้มีการสร้างเครื่องจักรขึ้นเพื่อให้เกิดประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ โดยเครื่องจักรที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้มีราคาค่อนข้างสูงและส่วนใหญ่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ [7] ด้วยเหตุผลดังกล่าว ในปีการศึกษา 2546 ที่ผ่านมา ทางนิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้มีการนำเสนอโครงการวิจัยและประดิษฐ์เครื่องย่อยยางต้นแบบขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1.7 และได้ทำการทดลองโดยใช้ชิ้นงานตัวอย่าง ยางอัดดอกยางรถจักรยาน และ ยางรถจักรยานยนต์นี้ พบว่าใน 1 รอบการทำงาน ขนาดของชิ้นงานหลังจากถูกย่อยแล้วมีขนาดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานยางลดลงประมาณ 93 % สำหรับยางอัดดอกและยางรถจักรยาน และ 52 % สำหรับยางรถจักรยานยนต์ โดยมีอัตราเร็วเฉลี่ยในการตัดประมาณ 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เมื่อพิจารณาทั้งในด้านขนาดของชิ้นงานที่ลดลง และอัตราการย่อยชิ้นงานที่สามารถย่อยได้ จะเห็นได้ว่าเครื่องย่อยยางต้นแบบที่ออกแบบและประดิษฐ์ขึ้นมีประสิทธิภาพเป็นที่น่าพอใจในระดับหนึ่ง [8] ดังนั้นทางผู้เสนอโครงการนี้จึงมีแนวความคิดที่จะออกแบบและพัฒนาเครื่องย่อยยางต้นแบบให้มีประสิทธิภาพการทำงานสูงขึ้น และได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม เพื่อหาข้อบกพร่องและหาแนวทางการพัฒนาเครื่องย่อยยางต้นแบบ โดยสามารถสรุปแนวทางการปรับปรุงและพัฒนาเครื่องย่อยยางต้นแบบ ในประเด็นของการออกแบบและปรับปรุงชุดใบมีด การปรับปรุงระบบส่งกำลัง การทำสวิตช์สลับไฟเพื่อกลับทิศทางการหมุนของใบมีดในกรณีที่มีเศษยางติดอยู่ และการทำการศึกษาตัวแปรต่างๆ ในการทำงานของเครื่องย่อยยางโดยละเอียด

โดยทางผู้เสนอโครงการคาดหวังว่า การทำโครงการครั้งนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางทั้งในเชิงพาณิชย์และสิ่งแวดล้อม และยังสามารถผลิตเครื่องย่อยยางที่มีประสิทธิภาพดี และมีต้นทุนการผลิตต่ำสามารถผลิตเครื่องจักรได้ในประเทศ ตลอดจนเป็นส่วนหนึ่งในการสร้างความเข้มแข็งให้แก่อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางพาราของประเทศ



รูปที่ 1.7 เครื่องย่อยยางต้นแบบ [8]

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อปรับปรุงและพัฒนาประสิทธิภาพเครื่องย่อยยางต้นแบบ
2. เป็นการนำผลิตภัณฑ์ยางเหลือใช้มาก่อให้เกิดประโยชน์ในเชิงพาณิชย์และสิ่งแวดล้อม
3. สามารถผลิตเครื่องย่อยยางประสิทธิภาพดีและต้นทุนในการผลิตต่ำได้เองในประเทศ
4. เพื่อเป็นการส่งเสริมให้นิสิตและนักวิจัยในสาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ได้มีการนำเอาหลักการออกแบบ และทฤษฎีที่เรียนมาประยุกต์ใช้ในการสร้างอุปกรณ์เครื่องจักรในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาหลักการทำงานของเครื่องย่อยยางดันแบบ
2. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ยาง การนำกลับมาใช้ใหม่ เครื่องย่อยยาง จากทางอินเทอร์เน็ตและแหล่งข้อมูลเอกสารอ้างอิงต่าง ๆ
3. เก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องย่อยยางและเก็บชิ้นงานตัวอย่างที่จะใช้ใน โรงงานจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง
4. ออกแบบและหาแนวทางการพัฒนาเครื่องย่อยยางดันแบบให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น
5. ทำการทดสอบจริงเพื่อนำผลมาวิเคราะห์ให้สอดคล้องกับแบบแผนที่ได้วางเอาไว้
6. ปรับปรุงและแก้ไขข้อบกพร่องให้มีความเหมาะสมกับความต้องการในการใช้งานจริง
7. เสนอข้อควรปรับปรุงสำหรับการพัฒนาเครื่องย่อยยางในขั้นต่อไป

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เครื่องสำหรับย่อยยางที่มีประสิทธิภาพสูง และมีต้นทุนในการผลิตต่ำ
2. ช่วยลดการนำเข้าเครื่องย่อยยางจากต่างประเทศ
3. ได้เห็นถึงความสำคัญของกระบวนการรีไซเคิล และมีส่วนช่วยลดมลพิษที่จะเกิดกับสิ่งแวดล้อม
4. มีนักวิจัยที่สามารถประดิษฐ์เครื่องจักรที่ใช้ในอุตสาหกรรมยางได้
5. ส่งเสริมให้นักวิจัยในสาขาวิศวกรรมศาสตร์ได้เห็นถึงความสำคัญในการพัฒนาอุตสาหกรรมยางพาราของประเทศไทย

บทที่ 2 การทรวอเอกสาร (Literature Review)

2.1 แนวคิดในการสร้าง

แนวคิดและหลักการทำงานของเครื่องย่อยยางอาศัยแนวคิด จากการตัดโดยใช้ใบมีดหมุนรอบเพลานั้นๆ ซึ่งถูกคิดค้นเป็นครั้งแรกครั้งแรกโดย Kurt Rosler ในปี ค.ศ.1960 [9] และถูกออกแบบมาสำหรับตัดยางรถยนต์ โดยอาศัยการเคลื่อนที่สัมผัสของจานตัดที่ติดใบมีดซึ่งหมุนอยู่บนเพลาสองเพลาวางขนานกัน หมุนไปในทิศทางตรงกันข้ามและอาศัยแรงเฉือนเนื่องจากการขบกันระหว่างช่องว่างของใบมีดเป็นตัวแยกชิ้นส่วนของเศษยางให้ขาดออกจากกัน [7] โดยจะออกแบบให้เกิดการตัดขึ้นสองครั้ง (Primary and secondary shredding) ซึ่งขนาดของเศษยางที่ได้จากการตัดแต่ละครั้งถูกกำหนดโดยระยะห่างของใบมีดที่ติดอยู่บนเพลาสองและจำนวนครั้งที่ป้อนเศษยางผ่านใบมีด และใบมีดที่ติดตั้งอยู่บนจานตัดนั้นสามารถถอดประกอบเพื่อสะดวกต่อการบำรุงรักษาหรือเปลี่ยนใบมีดใหม่ รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างใบมีดที่ใช้ในเครื่องย่อยยางรถยนต์ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมต่างประเทศ [5] และรูปที่ 2.2 แสดงเศษชิ้นส่วนยางที่ผ่านการย่อยโดยเครื่องย่อยตัดใบมีด [5]



รูปที่ 2.1 ใบมีดที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม
ย่อยยางรถยนต์ในต่างประเทศ [5]



รูปที่ 2.2 แสดงเศษชิ้นส่วนยางที่ผ่านการย่อย
โดยเครื่องย่อยตัดใบมีด [5]

และด้วยแนวคิดดังกล่าว ในปีการศึกษา 2546 ที่ผ่านมา ทางนิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้มีการนำเสนอโครงการวิจัยและประดิษฐ์เครื่องย่อยยางต้นแบบขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1.7 โดยได้พัฒนาแนวคิดและหลักการทำงานของใบมีด โดยได้ออกแบบจากปัจจัยที่มีผลต่อการตัดเฉือนยาง ได้แก่ ชนิดของวัสดุ มุมการตัดของใบมีด

ความเร็วรอบงานตัด ขนาดและคุณสมบัติของชิ้นงานที่นำมาย่อย รวมถึงกำลังของมอเตอร์ในการจับ จากการทดสอบตัดชิ้นยางโดยใช้มีดที่ทำมาจากเหล็ก AISI1020CD ทั้งสั้น 141 ใบ โดยแต่ละใบมีมุมตัด 60 องศาและความเร็วรอบที่เพลาขับและเพลาตาม 50 และ 30 รอบต่อนาทีตามลำดับ โดยใช้ชิ้นงานตัวอย่าง ยางอัดดอก ยางรถจักรยาน และ ยางรถจักรยานยนต์นี้ พบว่าใน 1 รอบการทำงาน ขนาดของชิ้นงานหลังจากถูกย่อยแล้วมีขนาดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานยางลดลงประมาณ 93 % สำหรับยางอัดดอกและยางรถจักรยาน และ 52 % สำหรับยางรถจักรยานยนต์ โดยมีอัตราเร็วเฉลี่ยในการตัดประมาณ 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง [8] ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.3 - รูปที่ 2.8



รูปที่ 2.3 แสดงใบมีดของเครื่องย่อยยาง
แบบ (ด้านข้าง) [8]



รูปที่ 2.4 แสดงใบมีดของเครื่องย่อยยางแบบ
(ด้านหน้า) [8]



รูปที่ 2.5 แสดงชิ้นส่วนของยางอัดดอก
ก่อนทำการย่อยโดยเครื่องย่อยยางแบบ [8]



รูปที่ 2.6 แสดงชิ้นส่วนของยางอัดดอก
หลังทำการย่อยโดยเครื่องย่อยยางแบบ [8]



รูปที่ 2.7 แสดงชิ้นส่วนของยางรถจักรยานยนต์ ก่อนทำการย่อยโดยเครื่องย่อยยางต้นแบบ [8] รูปที่ 2.8 แสดงชิ้นส่วนของยางรถจักรยานยนต์ หลังทำการย่อยโดยเครื่องย่อยยางต้นแบบ [8]

เมื่อพิจารณาทั้งในด้านขนาดของชิ้นงานที่ลดลง และอัตราการย่อยชิ้นงานที่สามารถย่อยได้ จะเห็นได้ว่าเครื่องย่อยยางต้นแบบที่ออกแบบและประดิษฐ์ขึ้นนั้นสามารถใช้ได้จริง และมีประสิทธิภาพดีเป็นที่น่าพอใจในระดับหนึ่ง [8]

2.2 การออกแบบและการคำนวณเครื่องย่อยยางต้นแบบ

2.2.1 การออกแบบเพลาลูกเบี้ยว

ที่เพลามีความเร็วรอบ 30 rpm, มอเตอร์ขนาด 7.5 hp = 5.595 KW

$$\begin{aligned}
 P &= T\omega \\
 5.595 \times 1000 &= T \times 2\pi \times \frac{30}{60} \\
 T &= 1780 \quad \text{Nm} \\
 &= 1780000 \quad \text{Nmm}
 \end{aligned}$$

เพลาลูกเบี้ยวทำจากเหล็ก AISI 1020CD และเซาะร่องลิ้น

$$\begin{aligned}
 \tau &= 0.3 \times 0.75 \times \sigma_y \\
 &= 0.3 \times 0.75 \times 390 \\
 &= 87.75 \quad \text{MPa}
 \end{aligned}$$

เพลาลูกเบี้ยวรับแรงกระดุกอย่างเบา $C_t = 1.1$ เพลารับแรงบิดอย่างเดียว

$$\begin{aligned}
 D^3 &= \frac{16C_t T}{\pi \tau} \\
 &= \frac{16 \times 1.1 \times 1780000}{87.75 \pi}
 \end{aligned}$$

$$D = 48 \text{ mm}$$

ดังนั้นใช้เพลานาค 50 mm

2.2.2 การออกแบบลิ้ม

ลิ้มทำมาจากเหล็กกล้า AISI 1020CD ดังนั้นจะได้ $\sigma_y = 390 \text{ MPa}$, กำหนด $N = 2$

และ $\tau_y = 0.6\sigma_y = 0.6 \times 390 = 234 \text{ MPa}$

และ $\tau_d = \frac{234}{2} = 117 \text{ MPa}$

ใช้ลิ้มขนาด $b \times h = 12 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$ ความยาว $l = 431 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{2T}{bld} \\ &= \frac{2 \times 1780 \times 1000}{12 \times 431 \times 50} \\ &= 18 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

ฉะนั้นเมื่อ $\tau < \tau_d$ ดังนั้นลิ้มที่เลือกมาใช้จึงใช้งานได้ตามต้องการ

2.2.3 การออกแบบเฟือง

เลือกใช้เฟืองเฉียงเพราะส่งกำลังได้ดี

ความเร็วรอบของเพลาลับ = 50 rpm

ความเร็วรอบของเพลาดำ = 30 rpm, $\omega = 15$

ให้ฟันของ pinion = 24 ฟัน

ดังนั้นฟันของ gear = $\frac{50}{30} \times 24$
= 40 ฟัน

$$\begin{aligned} \psi &= \pi \left(\frac{m_n \times 24}{\cos 15} \right) \times \left(\frac{50}{60} \right) \\ &= 65.05 m_n \text{ m/s} \\ &= 0.06505 m_n \text{ mm/s} \\ F_t &= \frac{5595}{0.06505 m_n} \end{aligned}$$

$$K_v = \frac{3 + \psi}{3}$$

$$F_d = k_v F_t$$

$$= \frac{86010}{m_n} + 1860$$

$$N_e = \frac{N}{\cos^3 \omega} = \frac{24}{\cos^3 15} = 26.63, Y = 0.347$$

$$b = 2Pa = \frac{2\pi m_n}{\sin 15} = 24.27 m_n$$

ใช้วัสดุ ASTM25 $\sigma = 55, HB = 174$

$$F_b = \frac{\sigma b Y m_n}{K_f} = \frac{55 \times 25 m_n \times 0.347 m_n}{1.5} = 318 m_n^2$$

ใช้ค่า $m_n = 8$ จะได้ $F_b = 20352, F_d = 12611.25, F_b > F_d$

$$\text{Diameter pinion} = \frac{24 \times 8}{\cos 15} = 199$$

$$\text{Diameter gear} = \frac{40 \times 8}{\cos 15} = 331$$

$$\text{ระยะห่างระหว่าง pinion กับ gear} = \frac{199 + 331}{2} = 265 \text{ mm}$$

เพลาขับมีความเร็ว 50 rpm, เพลาตามมีความเร็ว 30 rpm

มอเตอร์มีความเร็วรอบ 1450 rpm, ใช้เฟืองโซ่ขนาด 20 ฟัน

ดังนั้นความเร็วรอบที่ทางเข้าชุดทดเกียร์ 1260 rpm ขนาดเฟืองโซ่ = 23 ฟัน

ใช้ชุดทดเกียร์อัตราทด 1:10 ดังนั้นความเร็วที่ทางออกของชุดทดเกียร์ 126 rpm

ขนาดเฟืองโซ่ 23 ฟัน

ไปจับเพลาขับที่มีความเร็วรอบ 50 rpm โดยใช้เฟืองโซ่ 57 ฟัน

หมายเหตุ ขนาดของ pinion และ gear ที่ใช้ประกอบตัวเครื่องย่อยข้างคันแบบไม่ตรงกับที่คำนวณไว้ คือ

- pinion มีจำนวนฟัน 40 ฟัน และมี Diameter เท่ากับ 84 mm
- gear มีจำนวนฟัน 60 ฟัน และมี Diameter เท่ากับ 126 mm

ทำให้ระยะห่าง ระหว่างเพลาเป็น 205 mm และความเร็วของเพลาตามมีค่าเท่า

$$\text{กับ } \frac{40}{60} \times 50 = 33.33 \text{ rpm}$$

2.3 กระบวนการย่อยยางในโรงงานอุตสาหกรรมย่อยยาง

กระบวนการย่อยยางต่าง ๆ จากการดูงานและเก็บข้อมูล ณ บริษัท สหยูเนี่ยนพัฒนากิจ จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทที่ผลิตยางรีไซเคิลที่ผ่านกระบวนการย่อยยาง เพื่อนำไปเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอื่น ๆ ต่อไป

ในกระบวนการย่อยยาง ยางรถยนต์ที่จะถูกนำมาย่อยจะต้องผ่านการกรีดเหล็กขอบล้อออกเสียก่อน ดังนั้นยางที่นำมาย่อยจะมีส่วนประกอบอยู่เพียงสองส่วนเท่านั้น ได้แก่ เนื้อยางแท้และผ้าใบ แต่ในบางครั้งอาจจะมีเศษเหล็กหรือเศษลวดติดมาด้วยเล็กน้อย ซึ่งแต่ละส่วนจะถูกแยกจากกันด้วยกระบวนการต่าง ๆ ต่อไป

2.3.1 กระบวนการที่ 1 การฉีกและตัด

โดยใช้ใบมีดที่มีลักษณะคล้ายลูกกลิ้ง 2 ลูก มีลายเฉียงเป็นใบมีดคล้ายเฟืองเฉียงขบกัน หมุนอยู่บนเพลลาโดยอาศัยการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ของลูกกลิ้งที่อยู่บนเพลลาสองเพลลาวางขนานกัน หมุนไปในทิศทางตรงกันข้ามและอาศัยแรงเหวี่ยงเนื่องจากการขบกันระหว่างช่องว่างของใบมีดเป็นตัวฉีกตัดยางให้ขาดออกจากกัน เศษยางที่ป้อนต้องกรีดขอบออกก่อนดังแสดงในรูปที่ 2.9 โดยมีการตัดมากกว่าหนึ่งครั้งโดยมีสายพานเป็นตัวป้อนเศษยางที่ยังไม่ได้ขนาดผ่านใบมีดเรื่อย ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 จนกว่าจะได้ขนาดของเศษยางที่ต้องการ เศษยางที่ได้จากกระบวนการนี้จะมีผ้าใบปนอยู่ด้วย และทั้งหมดนี้จะถูกลำเลียงไปยังกระบวนการต่อไป



รูปที่ 2.9 ยางรถยนต์ที่ถูกกรีดเหล็กขอบล้อออกแล้ว (เป็นยางที่ไม่ได้เสริมใยเหล็ก)



รูปที่ 2.10 ยางที่กำลังถูกย่อยและเศษยางที่ไม่ได้ขนาดแล้วถูกลำเลียงกลับมาย่อยครั้งต่อไป

2.3.2 กระบวนการที่ 2 การร่อนผ้าใบออกจากเศษยาง

หลังผ่านกระบวนการที่ 1 เศษยางที่ได้ก็จะถูกแยกเหล็กซึ่งอาจติดมากับยางออกก่อน โดยใช้แม่เหล็กดูดเศษเหล็กหรือเศษลวดในกระบวนการลำเลียง ออกจะได้เศษยางที่มีผ้าใบปนดังแสดงในรูปที่ 2.11 และหลังจากนั้นก็จะต้องนำมาร่อนเพื่อแยกเศษผ้าใบที่มีขนาดใหญ่ออกจากเศษยาง ผ้าใบที่แยกออกมาได้จะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.11 เศษยางที่มีผ้าใบปนหลังจากที่ผ่านกระบวนการที่ 1



รูปที่ 2.12 เศษผ้าใบที่ผ่านการร่อน

2.3.3 กระบวนการที่ 3 การบด

ในกระบวนการนี้จะแบ่งเศษยางออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนหนึ่งจะถูกส่งไปเข้าเครื่องบดชนิดแรกซึ่งมีลักษณะคล้ายเครื่องโม่ และอีกส่วนหนึ่งก็จะถูกส่งไปเข้าเครื่องบดชนิดลูกกลิ้ง

1. เครื่องบดชนิดแรก โดยใช้ฟันที่ไม่มีความคมตามลักษณะดังรูปที่ 2.13 หมุนรอบเพลานในแนวตั้งซึ่งแบ่งฟันเป็นสองชุด ได้แก่ ฟันชุดบนที่อยู่นิ่งและฟันชุดล่างที่หมุนโดยมีแกนหมุนเดียวกัน อาศัยแรงเฉือนและแรงอัดของฟันที่ไม่มีคมบดเศษยางจนบี้และมีขนาดเล็กลงจนเกือบจะเป็นผง แต่ก็ยังมีผ้าใบปนอยู่เช่นเดิม

2. เครื่องบดชนิดลูกกลิ้ง แสดงในรูปที่ 2.14 เครื่องจะมีลูกกลิ้งขนาดใหญ่สองลูกหมุนบนเพลลาที่วางขนานกันบดเศษยางให้ย่อยจนเกือบจะเป็นผง ซึ่งระยะระหว่างผิวลูกกลิ้งสองตัวนั้นมีค่าน้อยมากหรือแทบจะชิดกัน และในกระบวนการนี้จะต้องอาศัยค่าทอร์กที่มาก เศษยางที่ผ่านการบดจะถูกนำไปร่อนบนตะแกรงที่ตั้งขนาดที่ต้องการ และพวกที่ไม่ได้ขนาดก็จะถูกนำกลับไปบดซ้ำเรื่อยๆ จนกว่าจะได้ขนาดและผ่านตะแกรงร่อนออกมา



รูปที่ 2.13 ยางที่กำลังถูกบดในเครื่องบดชนิดแรกคล้ายเครื่องมือ



รูปที่ 2.14 เครื่องบดชนิดลูกกลิ้ง

2.3.4 กระบวนการที่ 4 การแยกผ้าใบออกจากเศษยาง

ในกระบวนการนี้จะอาศัยคุณสมบัติทางน้ำหนักของเศษยางและผ้าใบ โดยเศษยางที่มีน้ำหนักมากกว่าเมื่อผ่านเครื่องไซโคลนที่หมุนด้วยอัตราเร็วคงที่ เศษยางก็จะตกลงมาอยู่ด้านล่างของเครื่องและไหลออก ดังแสดงในรูปที่ 2.15 ส่วนผ้าใบที่มีน้ำหนักเบาก็กะหมุนและเกาะตัวกันลอยอยู่ในตัวเครื่อง และถูกนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปอีกชั้นหนึ่ง



รูปที่ 2.15 เศษยางที่ผ่านกระบวนการแยกผ้าใบโดยเครื่องไซโคลน

2.3.5 การขึ้นรูปเศษยางในอุตสาหกรรม

เศษยางจะถูกนำไปให้ความร้อน(นึ่ง) และขึ้นรูปเป็นยางแผ่นเพื่อสะดวกในการนำไปใช้ประโยชน์และการขนส่ง ยางแผ่นในที่นี่จะต้องถูกนำไปแปรรูปเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ถึงรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.16 การให้ความร้อน(นึ่ง)



รูปที่ 2.17 การรีดยางให้เป็นแผ่น



รูปที่ 2.18 ยางที่ถูกอัดให้เป็นยางแผ่น



รูปที่ 2.19 ยางสำเร็จรูปที่เตรียมส่งขาย

หมายเหตุ

การบอกขนาดของเศษยางในอุตสาหกรรมย่อยยาง ในอุตสาหกรรมย่อยยางนิยมบอกขนาดเศษยางที่ข่อยได้ในหน่วย MESH ซึ่งหมายถึง จำนวนช่องของตะแกรงร้อนที่แบ่งออกในหนึ่งนิ้ว ตัวอย่างเช่น เศษยางขนาด 20 MESH หมายถึง ขนาดตะแกรงกว้าง 1 นิ้ว จะมีจำนวนช่องที่ถูกแบ่งออก 20 ช่อง กล่าวคือ เศษยางจะมีขนาดเล็กกว่า $1/20 \times 1/20$ นิ้ว

ในที่นี้แต่ละกระบวนการที่กล่าวมาจะได้เศษยางที่มีขนาดแตกต่างกันตามความต้องการของลูกค้าที่ต้องการตามสภาพงานที่นำไปใช้ประโยชน์

2.4 หลักการทำงานของเครื่องบดผสมยาง

หลักการทำงานต่าง ๆ ของเครื่องบดผสมยางจากการดูงานและเก็บข้อมูล ณ สถาบันวิจัยยางแห่งชาติ ซึ่งเป็นสถาบันที่ ค้นคว้าและวิจัยเทคนิคต่าง ๆ เพื่อพัฒนาคุณภาพของยางดิบและผลิตภัณฑ์ยางให้ดียิ่งขึ้น ตัวเครื่องแสดงในรูปที่ 2.20 และรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.20 เครื่องบดผสมยาง



รูปที่ 2.21 เครื่องบดผสมยางและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

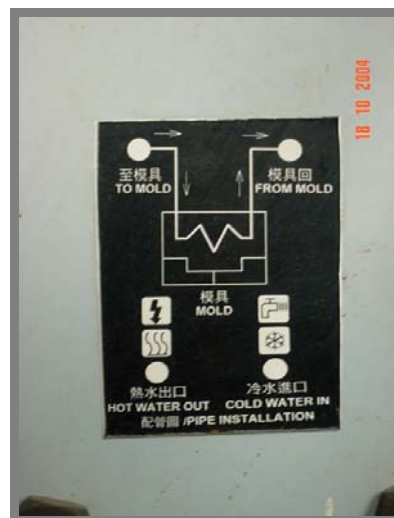
เครื่องบดผสมยางของสถาบันวิจัยยางแห่งชาติ เป็นเครื่องที่ใช้สำหรับผสมยางให้เข้ากับสารเคมีที่ผสมเข้าไปกับเนื้อยาง ซึ่งอาศัยหลักการบดอัดของลูกกลิ้งทรงกระบอก 2 ลูก ที่วางขนานกันและหมุนสวนทิศทางการเคลื่อนที่กัน ดังแสดงในรูปที่ 2.22 ลูกกลิ้งทั้ง 2 ลูก จะถูกทำให้ร้อนขึ้นโดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการทำงานของสารเคมีนั้น ๆ ที่ผสมลงในยาง ดังแสดงในรูปที่ 2.23 และรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.22 ชุดลูกกลิ้งของเครื่องบดผสมยาง



รูปที่ 2.23 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

รูปที่ 2.24 ไดอะแกรม เครื่องแลกเปลี่ยน
ความร้อน

และสามารถตั้งระยะความห่างของลูกกลิ้งทั้ง 2 ลูกได้ตามต้องการ โดยหมุนพวงมาลัยที่ต่อกับเกลียวซึ่งทำหน้าที่ปรับระยะความห่าง เกลียวจะมีคุณสมบัติ self-locking และระยะความห่างที่ได้จะถูกวัดโดยไมโครมิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.25 และรูปที่ 2.26

รูปที่ 2.25 พวงมาลัยปรับระยะความห่าง
ของลูกกลิ้ง

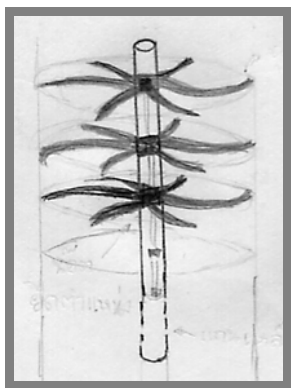
รูปที่ 2.26 สวิตช์เปิด - ปิดเครื่อง

บทที่ 3 การออกแบบ (Design)

3.1 ข้อเสนอแนะทางพัฒนาและปรับปรุงเครื่องย่อยยางต้นแบบ

- 1 ออกแบบปรับปรุงชุดใบมีดและระบบการย่อยยางของเครื่องย่อยยางต้นแบบให้มีวัฏจักรการย่อยเพิ่มขึ้น
- 2 ปรับเปลี่ยนการวางฐานมีด เนื่องจากการวางฐานมีดติดกันเป็นมุม 5 องศาทำให้เกิดปัญหาในเรื่องการติดของยางกับใบมีดในขณะที่เครื่องทำงานในบางครั้ง จึงควรทดสอบแบบที่วางเป็นแนวเดียวกันเพื่อลดอัตราการเกิดข้อผิดพลาดนี้ [8]
- 3 ทำการชุบแข็งใบมีดเพื่อเพิ่มความทนทานของใบมีดและให้ใบมีดมีความคมอยู่เสมอ [8]
- 4 ออกแบบระบบส่งกำลังเพื่อให้มีประสิทธิภาพการย่อยยางสูงขึ้น
- 5 ทำสวิตช์สลับไฟเพื่อกลับทิศทางการหมุนของใบมีดเพื่อแก้ปัญหายางติดระหว่างใบมีดขณะทำการตัด [8]
- 6 ออกแบบชุดย่อยยางต่อเนื่องจากเครื่องย่อยยางต้นแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้สามารถย่อยยางให้มีขนาดเล็กกว่าเครื่องต้นแบบ

แนวคิดที่ 1 การย่อยของชุดย่อยยางต่อเนื่องนี้อาศัยหลักการของแรงเฉือนโดยใบมีดที่หมุนรอบแกน ซึ่งใบมีดจะมี 2 ชนิด ได้แก่ ชุดใบมีดติดแกนและชุดใบมีดติดผนังทรงกระบอก ซึ่งหมุนสวนทางกันเพื่อเพิ่มความเร็วสัมพัทธ์ในการเฉือนเศษยางของใบมีด และความเร็วสัมพัทธ์นี้จะต้องมีค่าสูงมากพอสมควร ชุดใบมีดจะมีความห่างลดลงไปตามลำดับเพื่อที่จะให้ขนาดของเศษยางลดลงไปเรื่อย ๆ โดยเศษยางที่จะนำมาย่อยในเครื่องย่อยตัวที่ 2 นี้ จะต้องผ่านการย่อยจากเครื่องย่อยยางต้นแบบเสียก่อน และเศษยางที่ผ่านกระบวนการนี้จะถูกคัดด้วยตะแกรงวัดขนาดซึ่งจะทำให้ได้เศษยางที่มีขนาดตามต้องการ และเศษยางที่ไม่ได้ขนาดก็จะถูกส่งเข้าไปผ่านกระบวนการย่อยอีกครั้ง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 ถึงรูปที่ 3.7



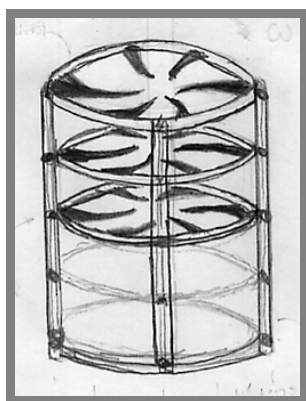
รูปที่ 3.1 ชุดใบมีดหลายชุดยึดติดกับ
แกนเหล็กด้วยสลกรู



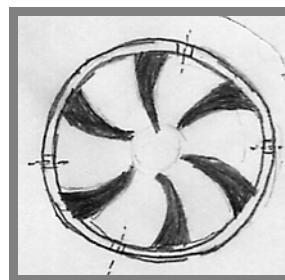
รูปที่ 3.2 ภาพด้านบนของชุดใบมีด
สำหรับติดแกนเหล็ก



รูปที่ 3.3 แกนเหล็ก
เซาะร่อง



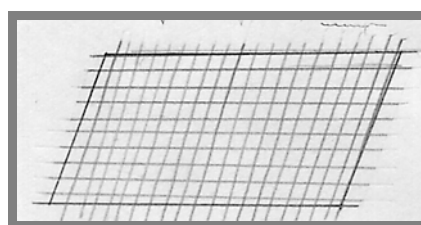
รูปที่ 3.4 ชุดใบมีดติดผนังทรงกระบอก
หลายชุดยึดติดกับรางเหล็กด้วยสลกรู



รูปที่ 3.5 ภาพด้านบนชุดใบมีดติด
ผนังทรงกระบอก



รูปที่ 3.6 รางเหล็ก

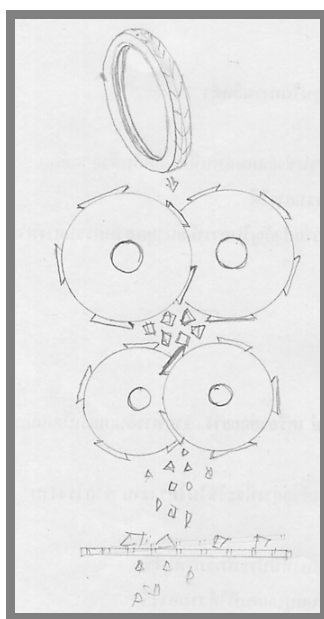


รูปที่ 3.7 ตะแกรงสำหรับวัดขนาดของเศษยางที่
ผ่านเครื่องย่อยแล้ว

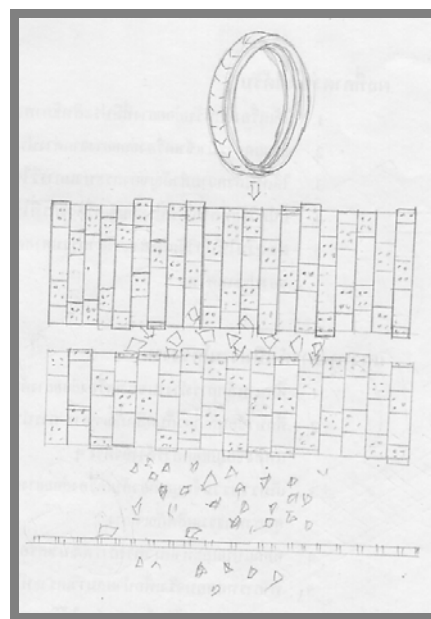
หมายเหตุ

- ชุดไบบิตติดแกนเหล็กจะหมุนในทิศทางเข็มนาฬิกา แต่ชุดไบบิตติดผนังทรงกระบอกจะหมุนในทิศตามเข็มนาฬิกา
- แกนเหล็กและรางเหล็กออกแบบให้สามารถเปลี่ยนชุดไบบิต และสามารถปรับระยะห่างระหว่างชุดไบบิตได้
- ระยะห่างระหว่างชุดไบบิตแต่ละชุดจะลดลงเรื่อยๆ

แนวคิดที่ 2 อาศัยหลักการทำงานเดิมของเครื่องต้นแบบ โดยสร้างชุดไบบิตที่มีลักษณะเหมือนชุดไบบิตของเครื่องย่อยอย่างต้นแบบแต่จะมีขนาดเล็กลง และปรับระยะห่างของไบบิตให้เล็กลง ไบบิตชุดใหม่นี้จะวางด้านล่างของชุดไบบิตของเครื่องย่อยอย่างต้นแบบ ซึ่งจะมองเห็นว่ามีไบบิต 2 ชั้น หลังจากที่เราใส่เศษยางผ่านไบบิตชุดแรกจะตกลงมาผ่านไบบิตชุดที่ 2 ซึ่งจะทำให้เศษยางที่ผ่านออกมาจะมีขนาดเล็กลง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.8 และ รูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 ภาพด้านข้างของเครื่องย่อย
ต้นแบบชุดใหม่



รูปที่ 3.9 ภาพด้านหน้าของเครื่องย่อย
ต้นแบบชุดใหม่

แนวคิดที่ 3 หลักการทำงานคล้ายกับหลักการทำงานของแนวคิดที่ 2 แต่เปลี่ยนจากชุดใบมีดใหม่ซึ่งมีลักษณะเหมือนชุดใบมีดของเครื่องย่อยอย่างต้นแบบให้เป็นลักษณะลูกกลิ้งบดแทน โดยเศษยางจะต้องถูกวัดขนาดให้ได้ตามต้องการก่อนที่จะส่งเข้าสู่ชุดลูกกลิ้งบดยาง และเศษยางที่ได้จะถูกวัดขนาดอีกครั้งหลังจากออกจากลูกกลิ้งบดยาง สำหรับเศษยางที่ไม่ได้ขนาดในแต่ละกระบวนการจะถูกส่งเข้ากระบวนการนั้น ๆ จนกว่าจะได้ขนาดตามที่ต้องการ

2.2 การออกแบบชุดเครื่องย่อยยาง TAP-MC

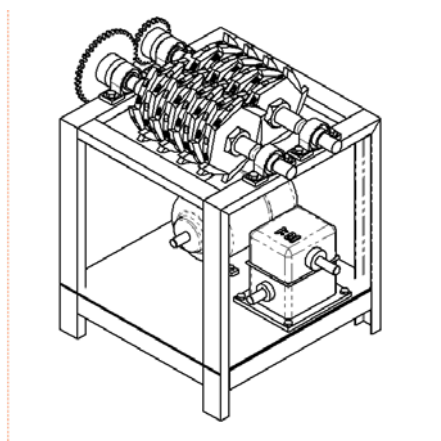
3.2.1 หลักการทำงานของชุดเครื่องย่อยยาง TAP-MC

จากการที่ผู้เสนอโครงการได้มีศึกษาข้อมูลจากเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง จากสื่อ Internet ตลอดจนจากการที่ได้มีโอกาสไปดูงานและเก็บข้อมูลในโรงงานอุตสาหกรรมย่อยยางทำให้สามารถสรุปเป็นแนวความคิดในการออกแบบชุดเครื่องย่อยยาง TAP-MC ได้ดังนี้

ชุดเครื่องย่อยยาง TAP-MC จะประกอบด้วย 2 กระบวนการ คือ กระบวนการที่ 1 การฉีกและตัด (ผ่านเครื่องย่อยยางที่ 1) และกระบวนการที่ 2 การบด (ผ่านเครื่องย่อยยางที่ 2 ชนิดลูกกลิ้ง)

3.2.1.1 กระบวนการที่ 1 การฉีกและตัด

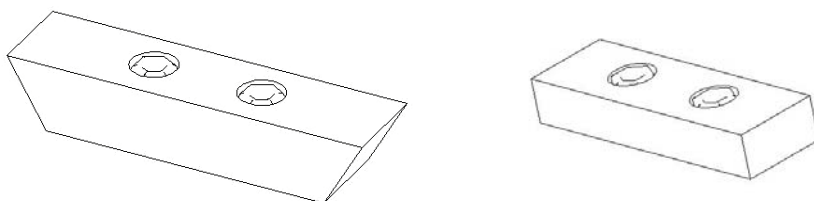
กระบวนการนี้จะเป็นกระบวนการย่อยยางขั้นแรก โดยให้ชิ้นยางผ่านเครื่องย่อยยางที่ 1 ดังรูปที่ 3.10 ซึ่งทำหน้าที่ฉีกและตัดชิ้นยางเป็นหลักทำให้ชิ้นยางมีขนาดเล็กลง โดยเครื่องย่อยยางที่ 1 จะมีหลักการทำงานเหมือนกับเครื่องย่อยอย่างต้นแบบ คือ อาศัยการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ของจานตัดที่ติดใบมีดซึ่งหมุนอยู่บนเพลาสองเพลาวางขนานกัน หมุนไปในทิศทางตรงกันข้ามและอาศัยแรงเสียดทานเนื่องจากการขบกันระหว่างช่องว่างของใบมีดเป็นตัวแยกชิ้นส่วนของเศษยางให้ขาดออกจากกันทำให้ชิ้นยางมีขนาดเล็กลง โดยเศษยางที่ได้ ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการต่อไปเศษยางเหล่านี้จะต้องถูกวัดขนาดให้ได้ขนาดตามที่ต้องการก่อน สำหรับเศษยางที่ไม่ได้ขนาดจะถูกส่งเข้าเครื่องย่อยยางที่ 1 อีกครั้งจนกว่าจะได้ขนาดตามที่ต้องการ



รูปที่ 3.10 เครื่องย่อยยางที่ 1 ของชุดเครื่องย่อยยาง TAP-MC

เครื่องย่อยยางที่ 1 มีข้อแตกต่างจากเครื่องย่อยยางต้นแบบ คือ

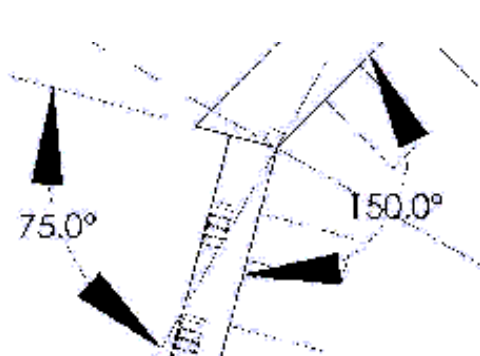
- เครื่องย่อยยางที่ 1 จะใช้มอเตอร์ที่มีกำลังเพิ่มขึ้นจาก 7.5 แรงม้า เป็น 10 แรงม้า
- เปลี่ยนรูปร่าง โดยให้ใบมีดมีมุมตัดที่ทำกับเส้นสัมผัสวงกลมเท่ากับเครื่องย่อยยางต้นแบบ คือ 75 องศา แสดงในรูปที่ 3.11 ถึงรูปที่ 3.14



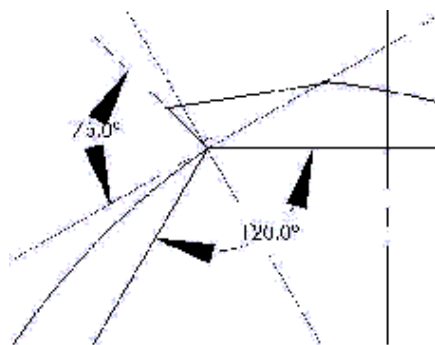
รูปที่ 3.11 ใบมีดชุดเก่า(ใบมีดของเครื่องย่อยยางต้นแบบ)



รูปที่ 3.12 ใบมีดชุดใหม่(ใบมีดของเครื่องย่อยยางที่ 1)

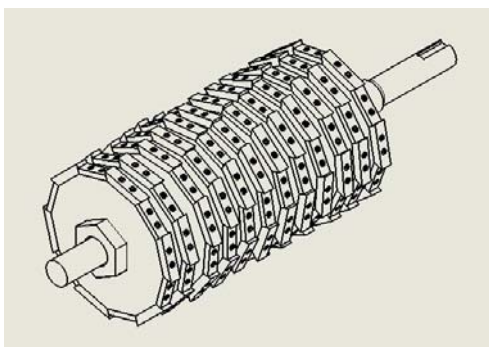


รูปที่ 3.13 มุมการตัดของใบมีดของเครื่อง
ย่อยยางต้นแบบ

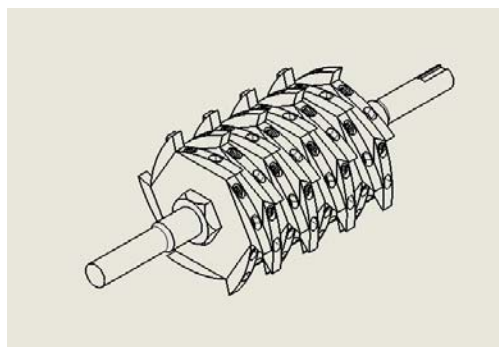


รูปที่ 3.14 มุมการตัดของใบมีดของเครื่อง
ย่อยยางที่ 1

- ลดจำนวนของใบมีดที่ติดบนจานตัดจาก 12 ใบ เป็น 6 ใบ
- เปลี่ยนการวางของชุดใบมีดใหม่ โดยให้คมของใบมีดด้านที่สูงของแต่ละชุดใบมีดที่ติดบนจานตัด มีมุมมองที่ทำกับแกนของเพลาดังกันเท่ากับ 30 องศา จากเดิม 5 องศา ดังแสดงในรูปที่ 3.15 และรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.15 ชุดใบมีดที่ติดบนเพลาลของเครื่อง
ย่อยยางต้นแบบ



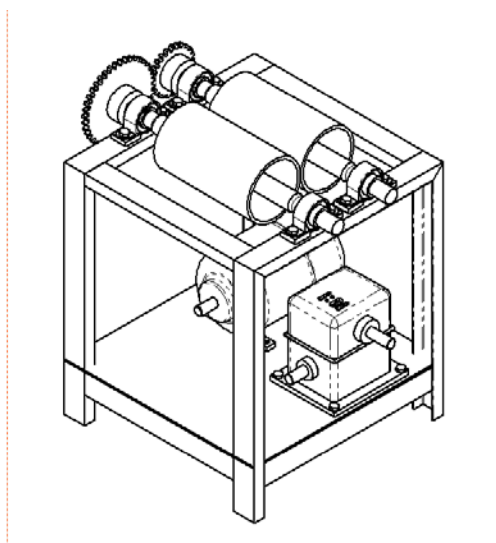
รูปที่ 3.16 ชุดใบมีดที่ติดบนเพลาลของเครื่อง
ย่อยยางที่ 1

ข้อดีเครื่องย่อยยางที่ 1 ของชุดเครื่องย่อยยาง TAP-MC คือ

1. การเปลี่ยนรูปร่างของใบมีดใหม่ ทำให้ลดผลกระทบจาก Tolerance ของใบมีด และส่งผลให้การประกอบหรือการถอดใบมีดออกทำได้สะดวกขึ้น และการเปลี่ยนรูปร่างของใบมีดใหม่ทำให้พื้นที่การตัดเพิ่มขึ้นอีกด้วย
2. ลดช่องว่างระหว่างชุดมีดของเพลานึ่งกับเพลานึ่งของอีเพลานึ่ง ทำให้พื้นที่ของเศษยางที่ผ่านออกมาลดลง
3. จำนวนของใบมีดลดลงจากของเดิม 252 ใบ เหลือ 90 ใบ และจำนวนฐานใบมีดก็ลดลงเช่นกันจากเดิม 21 จาน เหลือ 15 จาน
4. มีกำลังการย่อยสูงขึ้น และจากการออกแบบเครื่องย่อยยางที่ 1 ดังที่กล่าวมาข้างต้นสามารถลดปัญหาการติดขัดของเครื่องขณะทำงานลงได้

3.2.1.2 กระบวนการที่ 2 การบด

กระบวนการนี้เป็นการย่อยเศษยางที่ได้จากกระบวนการที่ 1 การฉีกและตัด โดยในกระบวนการนี้จะให้เศษยางผ่านเครื่องย่อยยางที่ 2 ชนิดลูกกลิ้ง แสดงในรูปที่ 3.17 ซึ่งทำหน้าที่บดและอัดขึ้นยางเป็นหลักทำให้ชิ้นยางมีขนาดเล็กลงจนกลายเป็นผง และหลักการทำงาน คือ ลูกกลิ้งเกลี้ยง 2 ลูกกลิ้งขบกันความเร็วรอบต่างกัน อยู่บนเพลาสองเพลาวางขนานกัน ย่อยยางโดยอาศัยแรงอัดเนื่องจากการขบกัน และอาศัยการเคลื่อนที่สัมผัสของลูกกลิ้งที่อยู่บนเพลานึ่ง ที่หมุนไปในทิศทางตรงกันข้ามโดยจะมีความเร็วรอบไม่เท่ากัน ทำให้เศษยางมีขนาดเล็กลง โดยเศษยางที่ได้จากกระบวนการนี้จะต้องถูกวัดขนาดให้ได้ขนาดตามที่ต้องการก่อน สำหรับเศษยางที่ไม่ได้ขนาดจะถูกส่งเข้าเครื่องย่อยยางที่ 2 ชนิดลูกกลิ้ง อีกครั้งจนกว่าจะได้ขนาดตามที่ต้องการ โดยเครื่องย่อยยางที่ 2 ชนิดลูกกลิ้งนี้ใช้มอเตอร์ขนาด 10 แรงม้า เพื่อให้ได้ทอร์คสูงขึ้น



รูปที่ 3.17 เครื่องย่อยยางที่ 2 ชนิดลูกกลิ้ง ของชุดเครื่องย่อยยาง TAP-MC

3.3 การออกแบบและการคำนวณชุดเครื่องย่อยยาง TAP-MC

ชุดเครื่องย่อยยาง TAP – MC ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ เครื่องย่อยยางที่ 1 และเครื่องย่อยยางที่ 2 ชนิดลูกกลิ้ง โดยในการออกแบบและการคำนวณหาส่วนประกอบของระบบส่งกำลังของเครื่องย่อยยางทั้ง 2 สามารถใช้ข้อมูลตัวเดียวกันได้บางส่วน เนื่องจากการใช้มอเตอร์ 10 แรงม้า และความเร็วรอบของเพลลาของเครื่องย่อยยางทั้ง 2 เท่ากัน

3.3.1 การออกแบบเพลลา

เครื่องย่อยยางทั้ง 2 เครื่องจะประกอบด้วยเพลลา 2 อัน ซึ่งมีความเร็วรอบไม่เท่ากัน คือ 30 rpm และ 50 rpm และการออกแบบเพลลาจะให้เพลลาทั้ง 2 ข้างมีขนาดเท่ากัน โดยจะใช้ขนาดเพลลาที่ออกแบบได้ของข้างที่มีความเร็วรอบต่ำกว่าเนื่องจากมีค่าทอร์กที่สูงกว่า

ที่เพลลาที่มีความเร็วรอบ 30 rpm, มอเตอร์ขนาด 10 hp = 7.46 KW

$$P = T\omega$$

$$7.46 \times 1000 = T \times 2\pi \times \frac{30}{60}$$

$$T = 2374.59 \quad \text{Nm}$$

$$= 2374590 \text{ Nmm}$$

เพลาทำจากเหล็ก AISI 1020CD และเซาะร่องลิ้ม

$$\begin{aligned}\tau &= 0.3 \times 0.75 \times \sigma_y \\ &= 0.3 \times 0.75 \times 390 \\ &= 87.75 \text{ MPa}\end{aligned}$$

เพลารับทอร์กจากมอเตอร์และโมเมนต์คัตจากน้ำหนักของชุดใบมีด

เพลามุนด้วยแรงกระตุกเบา $C_t = 1.3$ และ $C_m = 1.7$

โมเมนต์คัตที่เกิด โดยกำหนดให้แรงที่เกิดขึ้นจากน้ำหนัก คือ 500 N

$$\begin{aligned}M &= \frac{FX}{2} \\ &= \frac{500 \times 500}{2} \\ &= 125000 \text{ Nm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}D^3 &= \frac{16}{\pi \tau} [(C_t T)^2 + (C_m M)^2]^{\frac{1}{2}} \\ &= \frac{16}{87.75 \pi} [(1.3 \times 2374590)^2 + (1.7 \times 125000)^2]^{\frac{1}{2}}\end{aligned}$$

$$D^3 = 165870$$

$$D = 54.94 \text{ mm}$$

ดังนั้นใช้เพลารูขนาด 55 mm

3.3.2 การออกแบบลิ้ม

ลิ้มทำมาจากเหล็กกล้า AISI 1020CD ดังนั้นจะได้ $\sigma_y = 390 \text{ MPa}$, กำหนด $N = 2$

และ $\tau_y = 0.6 \sigma_y = 0.6 \times 390 = 234 \text{ MPa}$

และ $\tau_d = \frac{234}{2} = 117 \text{ MPa}$

- เพลามีความเร็วรอบ 30 rpm ของเครื่องย่อยยางที่ 1

ใช้ลิ้มขนาด $b \times h = 16 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ ความยาว $l = 328 \text{ mm}$

$$\tau = \frac{2T}{bld}$$

$$= \frac{2 \times 2374590}{16 \times 328 \times 55}$$

$$= 16.45 \text{ N/mm}^2$$

ฉะนั้นเมื่อ $\tau < \tau_d$ ดังนั้นลิ้มที่เลือกมาใช้จึงใช้งานได้ตามต้องการ

- เพลาที่มีความเร็วรอบ 50 rpm ของเครื่องย่อยยางที่ 1

ใช้ลิ้มขนาด $b \times h = 16 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ ความยาว $l = 284 \text{ mm}$

$$\tau = \frac{2T}{bld}$$

$$= \frac{2 \times 2374590}{16 \times 284 \times 55}$$

$$= 19.00 \text{ N/mm}^2$$

ฉะนั้นเมื่อ $\tau < \tau_d$ ดังนั้นลิ้มที่เลือกมาใช้จึงใช้งานได้ตามต้องการ

- เพลาทั้ง 2 ของเครื่องย่อยยางที่ 2 ชนิดลูกกลิ้ง

ใช้ลิ้มขนาด $b \times h = 16 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ ความยาว $l = 350 \text{ mm}$

$$\tau = \frac{2T}{bld}$$

$$= \frac{2 \times 2374590}{16 \times 350 \times 55}$$

$$= 15.42 \text{ N/mm}^2$$

ฉะนั้นเมื่อ $\tau < \tau_d$ ดังนั้นลิ้มที่เลือกมาใช้จึงใช้งานได้ตามต้องการ

3.3.3 การออกแบบเฟือง

เครื่องย่อยยางทั้ง 2 ใช้ชุดเฟืองขนาดเท่ากัน

เลือกใช้เฟืองตรง , $\Phi = 14.5^\circ FD$

อัตราทด 5 : 3

ความเร็วรอบของเพลาขับ = 50 rpm

ความเร็วรอบของเพลาตาม = 30 rpm

ให้ฟันของ Pinion = 24 ฟัน

ดังนั้นฟันของ Gear $= \frac{5}{3} \times 24 = 40$ ฟัน

เฟืองทำจากวัสดุ ASTM 25 มีค่า $\sigma = 55 \text{ N/mm}^2$ HB = 174

- การหาขนาดวงกลมพิตช์ (Pitch Circle)

จากระยะห่างระหว่างเพลาทั้ง 2 ตามที่ออกแบบไว้ คือ 200 mm และอัตราทด 5 : 3

$$\text{รัศมี Pitch Circle ของ Pinion} = \frac{200}{(5+3)} \times 3 = 75 \text{ mm}$$

$$\text{รัศมี Pitch Circle ของ Gear} = \frac{200}{(5+3)} \times 5 = 125 \text{ mm}$$

และ

$$\text{Pitch Diameter ของ Pinion} = 75 \times 2 = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Pitch Diameter ของ Gear} = 125 \times 2 = 250 \text{ mm}$$

- การหาค่ามอดุล

$$\text{จาก} \quad m = \frac{d}{N}$$

$$\text{คิดที่ Gear} \quad m = \frac{250}{40} = 6.25$$

- พิจารณาความคงทนในการทำงาน และหาความหนาของเฟือง

ใช้วัสดุ SAE 1030 ชุบแข็งโดย OQT $\sigma = 241$, $HB = 223$

จากตารางที่ 5 จะได้ $Y_{Pinion} = 0.302$, $Y_{Gear} = 0.336$

$$\sigma Y_{Pinion} = 241 \times 0.302 = 72.78 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma Y_{Gear} = 241 \times 0.336 = 80.98 \text{ N/mm}^2$$

จะเห็นว่า σY_{Pinion} มีค่าน้อยกว่า σY_{Gear} ดังนั้น Pinion จะมีความแข็งแรงน้อยกว่า Gear

จึงต้องหาขนาดของฟัน Pinion

$$\text{ความเร็วพิตช์} \quad V = \pi d n$$

$$V = \pi \times 150 \times \frac{50}{60}$$

$$V = 392.67 \text{ mm/s}$$

$$= 0.3927 \text{ m/s}$$

$$F_t = \frac{W_p}{V} = \frac{7460}{0.3927} = 18996.69 \text{ N}$$

จาก V น้อยกว่า 10 m/s

$$K_v = \frac{3+V}{3} = \frac{3+0.3927}{3} = 1.13$$

$$F_d = K_v \times F_t = 1.13 \times 18996.69 = 21466.26 \text{ N}$$

เพื่อความแข็งแรงของฟันเฟือง F_d ต้องมีค่าน้อยกว่า F_b

โดย $F_b = \frac{\sigma_b Y_m}{K_f}$ และให้แรงกระทำที่ปลายฟัน จะได้ $K_f = 1.2$

ดังนั้น $\frac{\sigma_b Y_m}{K_f} \geq F_d$

$$\frac{241 \times 0.302 \times 6.25 \times b}{1.2} \geq 21466.26$$

$$b \geq 56.6 \text{ mm}$$

3.3.4 สรุปการออกแบบเฟือง

- ระยะห่างระหว่าง Pinion และ Gear เท่ากับ 200 mm
- Pinion มีความเร็ว 30 rpm , ค้ำมอดูล 6.25 , Pitch Diameter 150 mm , 24 ฟันและ
หนา 57 mm
- Gear มีความเร็ว 50 rpm , ค้ำมอดูล 6.25 , Pitch Diameter 250 mm , 40 ฟันและ
หนา 57 mm
- มอเตอร์มีความเร็ว 1450 rpm , 10 แรงม้า ใช้เฟืองโซ่ขนาด 20 ฟัน
- ใช้ชุดทดเกียร์อัตราทด 1:10 ความเร็วรอบที่ทางเข้าชุดทดเกียร์ 1260 rpm ดังนั้น
ขนาดเฟืองโซ่ คือ 23 ฟัน และความเร็วที่ทางออกของชุดทดเกียร์ 126 rpm ขนาด
เฟืองโซ่ 23 ฟัน ไปขับเพลาคับที่มีความเร็วรอบ 50 rpm โดยใช้เฟืองโซ่ 57 ฟัน

บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการ (Materials and Methods)

4.1 อุปกรณ์

1. เหล็กรูปพรรณชนิดต่างๆ ได้แก่
 - 1.1 เหล็กทรงน้ำขนาด 3 x 1.5 นิ้ว ยาว 560 มิลลิเมตร จำนวน 8 ท่อน, ยาว 1000 มิลลิเมตร จำนวน 4 ท่อน, ยาว 1450 มิลลิเมตร จำนวน 4 ท่อน
 - 1.2 เหล็กหัวแดง (S45C) ขนาด 19 x 20 x 140 มิลลิเมตร จำนวน 90 แท่ง(ใช้ทำใบมีด)
 - 1.3 เหล็กแผ่นรูปหกเหลี่ยมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 240 มิลลิเมตรหนา 19 มิลลิเมตร จำนวน 15 แผ่น
 - 1.4 เหล็กเพลขาว (G3123) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 55 มิลลิเมตร ยาว 790 มิลลิเมตร จำนวน 2 ท่อน, ยาว 850 มิลลิเมตร จำนวน 2 ท่อน
 - 1.5 เหล็กท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 190 มิลลิเมตร หนา 10 มิลลิเมตร ยาว 350 มิลลิเมตร จำนวน 2 ท่อ
 - 1.6 เหล็กแผ่นกลมเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 180 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 55 มิลลิเมตร หนา 10 มิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่น
 - 1.7 เหล็กเหนียวขนาด 3/8 นิ้วยาว 63 มิลลิเมตร จำนวน 4 แท่ง, 50 มิลลิเมตร จำนวน 2 แท่ง
2. มอเตอร์ไฟฟ้าชนิด 1 เฟส ขนาด 10 แรงม้า จำนวน 1 ตัว
3. ชุดทดเกียร์อัตรา 1:10 จำนวน 1 ตัว
4. แบร์ริงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ¼ นิ้ว จำนวน 8 ตัว
5. โซ่ขนาด 60-1 R (10 ฟุต) จำนวน 2 กล่อง
6. เฟืองโซ่ขนาด TB-20 (20 ฟัน มีดุม) 1 ตัว, ขนาด TB-23 1 ตัว, ขนาด TB-23 ฟันคู่ 1 ตัว และขนาด TB-57 2 ตัว
7. ชุดวงจรรีเลย์ 1 ชุด
8. น็อตตัวเมียขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 55 มิลลิเมตร
9. น็อตขนาด M14 จำนวน 16 ตัว, ขนาด M12 จำนวน 8 ตัว,
10. เครื่องเจียรไน
11. เครื่องเชื่อม
12. เครื่องตัดเหล็ก
13. เครื่องมือช่าง

4.2 วิธีการ

3.2.1 แนวทางการดำเนินงานโครงการ

1. ศึกษาหลักการทำงานของเครื่องย่อยยางดันแบบ
2. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ยาง การนำกลับมาใช้ใหม่ เครื่องย่อยยาง จากทางอินเทอร์เน็ตและแหล่งข้อมูลเอกสารอ้างอิงต่าง ๆ
3. เก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องย่อยยางและเก็บชิ้นงานตัวอย่างที่จะใช้ในโครงการจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง
4. ออกแบบและหาแนวทางการพัฒนาเครื่องย่อยยางดันแบบให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น
5. ทำการทดสอบจริงเพื่อนำผลมาวิเคราะห์ให้สอดคล้องกับแบบแผนที่ได้วางเอาไว้
6. ปรับปรุงและแก้ไขข้อบกพร่องให้มีความเหมาะสมกับความต้องการในการใช้งานจริง
7. สรุปผลและทำรายงานฉบับสมบูรณ์

4.2.2 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 4.1 แผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	กรกฎาคม 2547	สิงหาคม 2547	กันยายน 2547	ตุลาคม 2547	พฤศจิกายน 2547	ธันวาคม 2547	มกราคม 2548
1. เสนอโครงการ รวบรวมข้อมูล และสรุปข้อมูลที่ได้มาทั้งหมด							
2. ออกแบบและหาแนวทางการพัฒนา เครื่อง ย่อยยางคั่นแบบ							
3. สั่งซื้ออุปกรณ์ชิ้นส่วน และดำเนิน การปรับปรุงอุปกรณ์ที่มีอยู่เดิม							
4. ดำเนินการปรับปรุงและพัฒนาเครื่อง ย่อยยางตามแบบที่เสนอ							
5. ทดสอบด้วยชิ้นงานตัวอย่าง รวบรวม ผลทดสอบและทำการวิเคราะห์							
6. แก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่อง							
7. สรุปผลและทำรายงานฉบับสมบูรณ์							

4.2.3 การปรับปรุงและพัฒนาเครื่องย่อยยางต้นแบบ

4.2.3.1 การติดตั้งชุดรีเลย์

ชุดรีเลย์เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งเพิ่มเติมเพื่อให้ตัดกระแสไฟฟ้าที่จะจ่ายเข้ามอเตอร์ถ้าหากมีการติดขัดของชุดใบมีดขณะการย่อย สามารถควบคุมให้ชุดใบมีดหมุนกลับทิศทางได้ ซึ่งเป็นการรักษาและยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ เช่น มอเตอร์ ชุดอัตราทดเกียร์ เป็นต้น และทำให้เครื่องย่อยยางสามารถทำงานได้ต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 ตำแหน่งชุดรีเลย์



รูปที่ 4.2 แผงวงจรชุดรีเลย์

4.2.3.2 การเจียระไนลับคมและชุบแข็งใบมีด

เนื่องจากการเลือกใช้วัสดุยังไม่เหมาะสมนักจึงทำให้ใบมีดเกิดการสึกกร่อน บิ่น ไม่มีคม ดังนั้นจึงต้องชุบแข็งใบมีดเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและความทนทาน ขึ้นตอนดังที่แสดงในรูปที่ 4.3 ถึงรูปที่ 4.6 ซึ่งได้ทำการเจียระไนลับคมและชุบแข็งใบมีด โดยการชุบแข็งผ่านกระบวนการ CARBONITRIDING จนมีความแข็งอยู่ในช่วง 58 – 60 HRC



รูปที่ 4.3 การถอดไบมิดจากฐานไบมิด



รูปที่ 4.4 ไบมิดที่ทำจากเหล็ก AISI 1020 CD
ที่เตรียมชุบแข็ง



รูปที่ 4.5 ไบมิดก่อนการเจียระไนลับคม
และการชุบแข็ง



รูปที่ 4.6 ไบมิดหลังการเจียระไนลับคม
และการชุบแข็ง

4.3 การสร้างเครื่องย่อยยาง TAP-MC

เมื่อทำการออกแบบและคำนวณขนาดของชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องย่อยยาง TAP-MC เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการจัดหาซื้ออุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในการสร้างซึ่งในขั้นตอนนี้จะต้องทำการศึกษาและพิจารณาอุปกรณ์และวัสดุที่มีขายในท้องตลาดทั้งในด้านของราคาและความเหมาะสม โดยการพิจารณาส่วนใหญ่จะอ้างอิงตามท้องตลาดมากกว่าอ้างอิงตามทฤษฎีที่ไม่สามารถนำมาใช้จริงได้ในบางทฤษฎี เนื่องจากในบางกรณีนั้นในท้องตลาดไม่สามารถทำตามแบบที่เราออกแบบได้ เราจึงต้องเปลี่ยนแบบให้สอดคล้องกับอุปกรณ์ที่มีขาย รวมถึงการหาวัสดุก็ต้องเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ตามท้องตลาดที่สามารถหาซื้อได้ง่ายและราคาถูก ดังนั้นตามแบบที่ได้นำเสนอมาบางอย่างมีการปรับเปลี่ยนไปตามวัสดุที่สามารถหาได้และมีการปรับเปลี่ยนไปตามการประกอบในโรงงาน ซึ่งในรายละเอียดของแบบนั้นได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข

เครื่องย่อยยาง TAP-MC นั้นจะประกอบไปด้วยชุดย่อยยาง 2 ชุด ได้แก่ ชุดย่อยยางใบมีดตัด และชุดย่อยยางลูกกลิ้งบด โดยการทำงานของเครื่องทั้งสองได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.2 ดังนั้นส่วนประกอบหลักๆ ของเครื่องย่อยยาง TAP-MC ประกอบไปด้วย

1. ฐานเครื่อง
2. ชุดส่งกำลัง
3. ชุดใบมีดตัด
4. ชุดลูกกลิ้งบด
5. ชุดวงจรรีเลย์

4.3.1 การสร้างฐาน

เริ่มจากการตัดเหล็กทรงน้ำด้วยเครื่องตัดเหล็กด้วยไฟเบอร์ และเชื่อมประกอบฐาน ซึ่งในการออกแบบโครงสร้างนั้นจะคำนึงถึงขนาดสัดส่วนที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน การเคลื่อนย้ายที่สะดวก และความแข็งแรงเป็นหลัก เนื่องจากน้ำหนักของชุดส่งกำลังและชุดอุปกรณ์ใบมีดมีน้ำหนักมาก ซึ่งขณะนี้อะไหล่พิเศษยางและทางออกหลังการย่อยยังไม่ได้ประกอบเข้ากับฐานเนื่องจากจะมีผลทำให้เกิดความยุ่งยากในการติดตั้งชุดส่งกำลัง รูปแบบฐานเครื่องจักรและชุดฐานเครื่องจักรที่ประกอบสมบูรณ์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ



รูปที่ 4.7 การเชื่อมประกอบฐาน



รูปที่ 4.8 การเจียรระไนสะเก็ดจากการเชื่อม

เนื่องจากข้อหนึ่งที่เราคำนึงถึงคือ การเคลื่อนย้ายที่สะดวก ดังนั้นในการสร้างฐานจึงต้องเว้นระยะความสูงระหว่างคานรองรับมอเตอร์และชุดทดเกียร์กับพื้นให้มีระยะมากกว่าความสูงของรถยกขนย้าย โดยในการสร้างให้มีระยะความสูง 10 เซนติเมตรซึ่งรถยกสามารถสอดเข้าได้พอดีทำให้การขนย้ายเครื่องไปมาได้สะดวกมากขึ้น

4.3.2 การประกอบชุดส่งกำลัง

ในส่วนของระบบการส่งกำลังนั้นจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 10 แรงม้า ส่งกำลังเข้ากับชุดทดเกียร์ขนาดอัตราทด 10:1 (ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.9) โดยใช้เฟืองโซ่ทางออกมอเตอร์ขนาด 20 ฟันและทางเข้าชุดทดเกียร์ขนาด 23 ฟัน ก่อนส่งกำลังต่อผ่านโซ่ เฟืองโซ่ทางออกชุดเกียร์ขนาด 23 ฟันเช่นเดียวกับทางเข้า ดังแสดงในรูป 4.10 และเฟืองโซ่เข้าเพลาคับของชุดย่อยยวทั้งสองที่มีความเร็วรอบ 50 rpm ขนาด 57 ฟัน และผ่านชุดเกียร์ไปยังเพลาคับของแต่ละชุดที่มีความเร็วรอบ 30 rpm โดยเพลาคับใช้เฟืองขนาด 24 ฟันและเพลาคับขนาด 40 ฟัน ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.9 มอเตอร์ขนาด 10 แรงม้าและชุดทดเกียร์ขนาด 10:1

ในการกำหนดขนาดอัตราทดชุดเกียร์และขนาดของเฟืองโซ่นั้นจะพิจารณาอัตรารอบของเพลาทิ้งสองเป็นสำคัญ เพื่อให้ได้ค่าแรงบิดที่สูงเพียงพอที่จะใช้ในการตัดเฉือนตามวิธีการคำนวณที่แสดงไว้ก่อนหน้านี้แล้ว จะเห็นได้ว่าความเร็วรอบของใบัดบนเพลาทิ้งสองนั้นมีค่าไม่เท่ากันเพื่อทำให้เกิดแรงบิดที่มีค่ามากที่สุดที่จะสามารถทำการย่อยยางได้ โดยแสดงแผนผังขั้นตอนการคำนวณดังรูปที่ 4.12

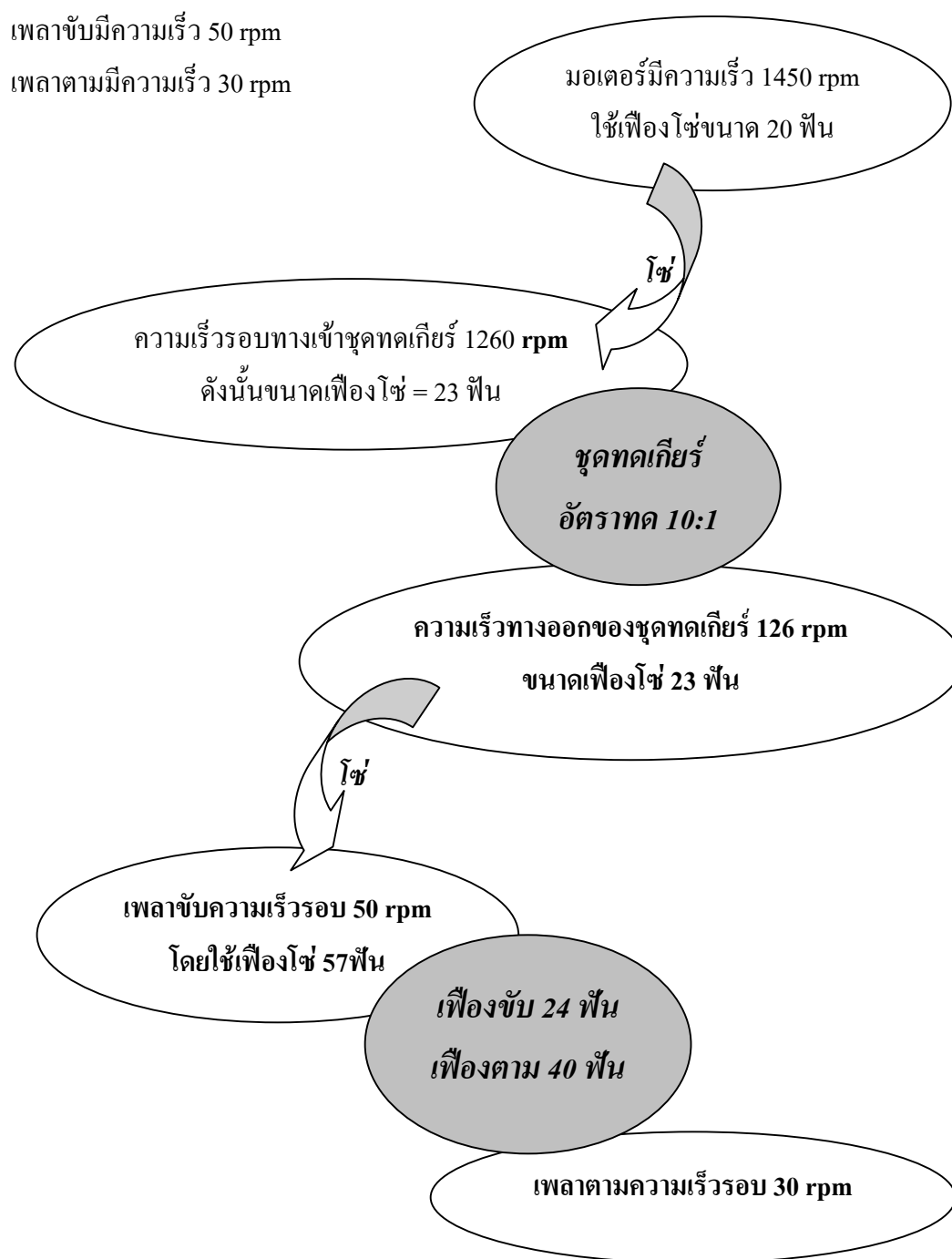


รูปที่ 4.10 โซ่และชุดเฟืองโซ่ส่งกำลังชุดแรก



รูปที่ 4.11 ชุดเฟืองส่งกำลังเฟืองขับขนาด 24 ฟัน
ขนาด 20 และ 23 ฟัน ตามลำดับ
และเฟืองตามขนาด 40 ฟัน

แผนภาพแสดงชุดส่งกำลัง



รูปที่ 4.12 แผนภาพแสดงชุดส่งกำลัง

4.3.3 การประกอบชุดใบมีดตัด

ในการประกอบใบมีดนี้ นับว่าเป็นส่วนสำคัญที่สุดในการสร้างเครื่องย่อยยาง TAP-MC ทั้งในเรื่องของการออกแบบและการสร้างและประกอบ เนื่องจากลักษณะของงานส่วนใหญ่ ต้องการความแม่นยำสูงเพื่อที่จะไม่ให้เกิดการขัดกันของใบมีดแต่ละใบซึ่งจะต้องกล่าวรวมถึงการตั้งเพลลาและการวางตำแหน่งของแบร์ริงด้วย โดยทั้งหมดนี้จึงต้องอาศัยความแม่นยำในการผลิตชิ้นส่วนและประกอบเป็นอย่างสูง โดยอุปกรณ์ที่สำคัญในส่วนนี้ประกอบไปด้วย

1. ฐานใบมีด
2. เพลลาทั้งสอง
3. ใบมีดที่ทำจากเหล็กหัวแดง
4. แหวนรองระหว่างฐานรองฐานใบมีด

อันดับแรกประกอบฐานใบมีดเข้ากับเพลลาโดยมีแหวนรองระหว่างฐานใบมีดแต่ละฐาน สลับกัน และนำใบมีดมาประกอบเข้ากับชุดฐานกับเพลลาโดยการยึดด้วยน็อตหัวจม ดังแสดงในรูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.13 ใบมีด



รูปที่ 4.14 น็อตยึดใบมีดกับฐานใบมีด

เพลลาทั้งสองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางแต่ความยาวเท่ากันและทำการกลึงลดขนาดปลายลงตามแบบและทำการเจาะรูกลมโดยใช้เครื่องกัด เพื่อทำการยึดตัวฐานใบมีดให้ยึดติดกับเพลลา และด้านปลายฐานใบมีดก็ทำการกลึงเกลียว เพื่อทำการยึดน็อตป้องกันไม่ให้ฐานใบมีดเกิดการเคลื่อนที่ในแนวแกนของเพลลา โดยใบมีดที่ใช้นั้นทำจากเหล็กหัวแดงชุบแข็งโดยผ่านกระบวนการ

CARBONITRIDING จนมีความแข็งอยู่ในช่วง 58 – 60 HRC นำไปเข้าเครื่องเจียรนัยให้มีขนาดตามที่ต้องการและทำการเจาะรู โดยมีใบมีด 90 ใบตามจำนวนเหลี่ยมของฐานมีดและแต่ละใบมีมุมในการตัด 60 องศา และช่องว่างแต่ละช่องของฐานมีดโดยถูกรองไว้ด้วยแหวนซึ่งทำจากเหล็กท่อนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูท่อนเท่ากับของเพลลาโดยมีขนาดความหนาเพียงพอที่จะให้ใบมีดซึ่งติดตั้งอยู่บนแต่ละเพลลาวิ่งผ่านไปมาได้โดยไม่สัมผัสกัน

จากนั้นประกอบแบร์ริงเข้ากับชุดใบมีดแล้วนำไปตั้งบนฐานซึ่งได้ทำการเจาะรูแบร์ริงด้วยสว่านไว้แล้ว การเจาะรูแบร์ริงนี้มีความสำคัญมากดังนั้นจะต้องเจาะให้มีความแม่นยำอย่างสูง เพราะถ้าไม่แม่นยำแล้วจะทำให้เพลลาไม่ขนานกันและชุดใบมีดก็จะขบกันไม่สามารถใช้งานได้ โดยรูปที่ 4.15 ถึงรูปที่ 4.18 แสดงภาพขั้นตอนการประกอบแบร์ริงและชุดใบมีด



รูปที่ 4.15 แบร์ริงรองเพลลา



รูปที่ 4.16 การประกอบแบร์ริงเข้ากับเพลลา



รูปที่ 4.17 การตั้งเพลลาพร้อมแบร์ริงบนฐาน



รูปที่ 4.18 ชุดใบมีดตั้งบนฐานสมบูรณ์

4.3.4 การประกอบชุดลูกกลิ้งบด

การประกอบชุดลูกกลิ้งบดจะคล้ายกับการประกอบชุดใบมีดที่ได้กล่าวมาในหัวข้อก่อนนี้ โดยแตกต่างกันเพียงขั้นตอนแรกคือ การประกอบใบมีดเปลี่ยนเป็นการประกอบลูกกลิ้งเท่านั้น

อันดับแรกก็ทำการเชื่อมเหล็กแผ่นกลมสองแผ่นเข้ากับเหล็กท่อโดยเชื่อมปิดหัวปิดท้าย และต่อมาก็เชื่อมเพลาลงเข้ากับชุดลูกกลิ้งนี้ ซึ่งเพลาทังสองมีขนาดเท่ากับเพลาของชุดใบมีด แล้วนำเบร็ริงประกอบเข้าและนำไปตั้งบนฐานด้วยความแม่นยำเช่นเดียวกับการตั้งชุดใบมีดตัด ดังแสดงในรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ชุดลูกกลิ้งบดตั้งบนฐานสมบูรณ์

4.4 การทดสอบเครื่องย่อยยาง TAP-MC

การทดสอบการย่อยของชุดใบมีดนี้ได้ป้อนยางรถยนต์ชนิดไม่มีการเสริมใยเหล็ก (Bias Tire) ที่มีชั้นผ้าใบหนา 4 ชั้น ซึ่งมีขนาดกว้าง 150 มิลลิเมตร ยาว 200 มิลลิเมตร หนา 15 มิลลิเมตร แล้วทำการวัดขนาดของชิ้นยางที่ผ่าน การย่อยโดยเครื่องย่อยยางเป็นจำนวน 1, 3 และ 6 รอบการทำงาน โดยจะทำการวัดขนาดที่ยาวที่สุดของชิ้นยาง เพื่อที่จะหาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของชิ้นยางที่ได้จากการย่อยด้วยชุดใบมีดโดยแบ่งตามช่วงของขนาด

การทดสอบการย่อยของชุดลูกกลิ้งป้อนเศษยางที่ได้จากการย่อยของชุดใบมีด โดยคัดชิ้นเศษยางที่มีขนาดโดยเฉลี่ยกว้าง 20 มิลลิเมตร ยาว 20 มิลลิเมตร หนา 10 มิลลิเมตร แล้วทำการวัดขนาดของชิ้นยางที่ผ่านการย่อย โดยชุดลูกกลิ้ง 1, 3 และ 6 รอบการทำงาน โดยจะทำการวัดขนาดที่ยาวที่สุดของชิ้นยาง เพื่อที่จะหาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของชิ้นยางที่ได้จากการย่อยด้วยชุดลูกกลิ้งโดยแบ่งตามช่วงของขนาด

บทที่ 5 ผล (Results)

5.1 ผลจากการทดสอบเครื่องย่อยยาง TAP-MC

สำหรับการทดสอบการย่อยยางของชุดไบริมิด ขนาดของชิ้นยางเฉลี่ยก่อนเข้าสู่ชุดไบริมิดจะมีขนาดดังตารางที่ 5.1 และเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของชิ้นยางที่ได้จากการย่อยด้วยชุดไบริมิด โดยแบ่งตามช่วงของขนาดจะมีค่าดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.1 ขนาดของชิ้นยางเฉลี่ยก่อนเข้าสู่ชุดไบริมิด

กว้าง x ยาว x หนา (มิลลิเมตร)	
150 x 200 x 15	

ตารางที่ 5.2 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของชิ้นยางที่ได้จากการย่อยด้วยชุดไบริมิด โดยแบ่งตามช่วงของขนาด

ช่วงของขนาดชิ้นยาง	จำนวนรอบการทำงาน		
	1 รอบ 	3 รอบ 	6 รอบ 
60.0mm ขึ้นไป	51.19	14.23	1.12
50.0mm-60.0mm	21.42	25.47	2.42
40.0mm-50.0mm	9.20	23.72	6.54
30.0mm-40.0mm	0.00	12.55	24.15
20.0mm-30.0mm	12.03	13.97	35.05
10.0mm-20.0mm	5.53	7.53	26.42
5.0mm-10.0mm	0.45	1.28	1.76
0.0mm-5.0mm	0.18	1.25	2.54

สำหรับการทดสอบการย่อยของชุดลูกกลิ้ง ขนาดของชิ้นยางเฉลี่ยก่อนเข้าสู่ชุดลูกกลิ้งจะมีขนาดดังตารางที่ 5.3 และเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของชิ้นยางที่ได้จากการย่อยด้วยชุดลูกกลิ้ง โดยแบ่งตามช่วงของขนาดจะมีค่าดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.3 ขนาดของชิ้นยางเฉลี่ยก่อนเข้าสู่ชุดลูกกลิ้ง

กว้าง x ยาว x หนา (มิลลิเมตร)	
20 x 20 x 10	

ตารางที่ 5.4 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของชิ้นยางที่ได้จากการย่อยด้วยชุดลูกกลิ้งโดยแบ่งตามช่วงของขนาด

ช่วงของขนาดชิ้นยาง	จำนวนรอบการทำงาน		
	1 รอบ 	3 รอบ 	6 รอบ 
30.0mm ขึ้นไป	41.70	15.00	12.32
20.0mm-30.0mm	23.69	11.20	14.37
10.0mm-20.0mm	20.25	33.14	20.70
5.0mm-10.0mm	10.96	21.53	10.56
0.0mm-5.0mm	3.40	19.13	42.05

บทที่ 6 สรุป (Conclusions)

6.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการนี้เป็นการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องย่อยแบบ ดันแบบ เพื่อให้สามารถผลิตได้ในประเทศและมีราคาต่ำลงในอนาคต ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางพาราในประเทศ ทั้งในด้านสิ่งแวดล้อมและเชิงพาณิชย์ โดยโครงการนี้ได้ดำเนินการในสองส่วนคือ ส่วนของการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องย่อยแบบดันแบบที่คณะผู้จัดทำโครงการได้พัฒนาขึ้นมาก่อนแล้ว และส่วนของการออกแบบเครื่องย่อยแบบที่พัฒนามาจากเครื่องดันแบบเดิม ซึ่งในส่วนแรกได้ทำการติดตั้งชุดรีเลย์ควบคุมทิศทางการหมุนของชุดใบมีดและทำการชุบแข็งใบมีดให้ทนต่อการสึกหรอมากขึ้น

ในส่วนที่สองได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องย่อยแบบขึ้นมาใหม่ โดยจะเรียกว่า ชุดเครื่องย่อยแบบ TAP-MC ดังแสดงในรูปที่ 6.1 และจากการทดสอบย่อยเศษยาง จะเห็นได้ว่าเครื่องย่อยแบบ TAP-MC ที่ออกแบบและพัฒนาในโครงการวิจัยนี้ สามารถทำการย่อยยางรถยนต์ชนิดที่เป็นผ้าใบไม่มีการเสริมใยเหล็ก (Bias Tire) โดยตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบ คือ จำนวนรอบการทำงานของชุดย่อยและชุดบด มุมการตัดของใบมีด ขนาดและคุณสมบัติของชิ้นงานที่นำมาย่อย รวมถึงกำลังของมอเตอร์ โดยการสร้างเครื่องนี้ใช้มอเตอร์ขนาด 10 แรงม้า ขับเครื่องย่อยแบบ 2 ชุด ชุดแรกเป็นชุดใบมีด ใช้ใบมีดที่ทำมาจากเหล็กหัวแดงชุบแข็งโดยผ่านกระบวนการคาร์โบไนไตรดิ้ง (Carbonitriding) ให้มีความแข็ง 58-60 HRC จำนวน 90 ใบ มุมตัด 60 องศา และติดอยู่บนจานจำนวน 15 จานซึ่งประกอบอยู่บนเพลาสองตัว โดยความเร็วรอบที่เพลาชับและเพลาดำเป็น 50 และ 30 รอบต่อนาทีตามลำดับ ส่วนชุดที่สองเป็นชุดลูกกลิ้งสองลูกหมุนบดเข้าหากัน โดยใช้ความเร็วรอบที่เพลาชับและเพลาท่ากันกับชุดที่ 1 ซึ่งเครื่องย่อยแบบชุดที่ 1 จะทำหน้าที่ฉีกและตัดชิ้นงาน และในเครื่องย่อยแบบชุดที่ 2 จะทำหน้าที่บดอัดเศษยางที่ได้จากเครื่องย่อยแบบชุดที่ 1 ให้มีขนาดเล็กลง ซึ่งพบว่าเมื่อจำนวนรอบดังกล่าวเพิ่มขึ้น ขนาดเฉลี่ยของชิ้นงานที่สามารถย่อยได้ใน 1, 3, และ 6 รอบการทำงาน ของชุดใบมีดจะมีค่า 53.06 มิลลิเมตร, 43.07 มิลลิเมตร, 23.47 มิลลิเมตรตามลำดับ และขนาดเฉลี่ยของชิ้นงานที่สามารถย่อยได้ใน 1, 3, และ 6 รอบการทำงาน ของชุดลูกกลิ้งจะมีค่า 18.08 มิลลิเมตร, 15.11 มิลลิเมตร, 12.86 มิลลิเมตรตามลำดับ จะเห็นได้ว่าทั้งชุดใบมีดและชุดลูกกลิ้งของเครื่องย่อยแบบ TAP-MC มีประสิทธิภาพที่ดี และมีแนวโน้มที่จะสา

มาร้อยยงให้มีขนาดเล็กลงไปหากมีการเพิ่มจำนวนรอบการทำงานให้มากขึ้น ดังนั้นเครื่องร้อยยงแบบนี้สามารถนำไปเป็น เครื่องต้นแบบเพื่อพัฒนาในการใช้ในอุตสาหกรรมจริงต่อไป



รูปที่ 6.1 เครื่องร้อยยง TAP-MC (ชนิดลูกกลิ้ง และชนิดชุดใบมีด)

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรให้ความสำคัญกับการพิจารณาชนิดของวัสดุที่มีขายตามท้องตลาดซึ่งจะทำให้การออกแบบเป็นไปได้โดยเหมาะสมมากขึ้น
2. ควรพิจารณาถึงขั้นตอนและวิธีการสร้างขณะออกแบบด้วยพร้อมทั้งเลือกสถานที่การทำงานที่มีความพร้อมมากที่สุด เพื่อความสะดวกในการทำงาน
3. ควรปรึกษาช่างฝีมือที่ชำนาญเพื่อลดเวลาในการสร้างและปัญหาที่เกิดจากความผิดพลาดในขั้นตอนการผลิต

6.3 แนวทางการปรับปรุงและพัฒนา

เนื่องจากเครื่องจักรที่ทางผู้จัดทำได้ออกแบบและสร้างไว้แล้วนั้นสามารถใช้ได้จริง แต่มีประสิทธิภาพดีพอเพียงระดับหนึ่ง ทั้งนี้ยังเกิดข้อบกพร่องในการประกอบเครื่องจักรบางประการ จึงขอเสนอแนวทางปรับปรุงและพัฒนาเพื่อเป็นประโยชน์แก่นักวิจัยในรุ่นต่อไป ดังนี้

1. ชุดใบมีดของเครื่องร้อยยง TAP-MC ควรมีจำนวนความถี่ของใบมีดมากขึ้น
2. ชุดลูกกลิ้งของเครื่องร้อยยง TAP-MC ควรลดช่องว่างระหว่างผิวลูกกลิ้งให้มากที่สุด
3. ออกแบบชุดดึงโซ่ เพื่อให้ระบบส่งกำลังมีประสิทธิภาพสูงขึ้น
4. ลดความเร็วรอบ และเพิ่มขนาดเพลา เพื่อเพิ่มกำลังการร้อย

เอกสารอ้างอิง (References)

1. Fang, Y. (2001), "The status of Recycling of Waste Rubber", Materials and Design, Vol. 22, pp 123 – 127.
2. Mastral, A. M. (2000), "Optimization of Scrap Automotive Tyres Recycling into Valuable Liquid Fuels", Resources, Conservation and Recycling, Vol. 29, pp 263 – 272.
3. Indian Rubber Institute (2000), "Rubber Engineering", McGraw-Hill.
4. <http://www.rubberecycle.com>
5. <http://www.protechrubber.com>
6. <http://www.trma.com>
7. Gent, A. N. (1992), "Engineering with Rubber How to Design Rubber Components", Hanser.
8. สิทธิธา บุญโพธิ์อภิชาติ และคณะ (2547), "การออกแบบและประดิษฐ์เครื่องย่อยยาง", โครงการงานวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร
9. Shih, A. J. and McCall, R. C. , "Wear and Kinematics of Tool Blades for Scrap Tire Shredding", To be submitted.

ภาคผนวก ก

ตารางคุณสมบัติและค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบ

ตารางที่ ผ1 ขนาดระบุของเพลตามมาตรฐาน ISO (mm)

6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 18, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50,
55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100, 110, 120, 130,
140, 150, 160, 170, 180, 190, 200, 220, 240, 260, 280,
300, 320, 340, 360, 380

ที่มา : การออกแบบเครื่องจักรกล เล่มที่ 1, พ.ศ. 2522, ดร. วรวิทย์ อึ้งภากรณ์ และ ชาญ ถนังงาน

ตารางที่ ผ2 ค่าตัวประกอบความล้า, C_m และ C_t

ชนิดของแรง	C_m	C_t
เพลายูนิง		
- แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า ๆ	1.0	1.0
- แรงกระตุก	1.5-2.0	1.5-2.0
เพลามุม		
- แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า ๆ	1.5	1.0
- แรงกระตุกอย่างเบา	1.5-2.0	1.0-1.5
- แรงกระตุกอย่างแรง	2.0-3.0	1.5-3.0

ที่มา : การออกแบบเครื่องจักรกล เล่มที่ 1, พ.ศ. 2522, ดร. วรวิทย์ อึ้งภากรณ์ และ ชาญ ถนังงาน

ตารางที่ ผ3 เฟืองมาตรฐานที่นิยมใช้กันอยู่โดยทั่วไป (m มีหน่วยเป็น mm, P มีหน่วยเป็น in^{-1})

Module, m (mm)	Module, m (mm)	Module, m (mm)	Diametral Pitch, P (in^{-1})	Diametral Pitch, P (in^{-1})	Diametral Pitch, P (in^{-1})
1	4	16	20	5	1.25
1.25	5	20	16	4	1
1.5	6	25	12	3	0.75
2	8	32	10	2.5	0.625
2.5	10	40	8	2	0.50
3	12	50	6	1.5	

ตารางที่ ๔4 มาตรฐานของพื้นเพื่อง (หน่วย SI และหน่วยอังกฤษ)

รายการ	14.5°FD	20°FD พิตช์หยาบ	20°FD พิตช์ละเอียด	20° Stub	25°FD
Addendum	m	m	m	0.8 m	m
Dedendum	1.157 m	1.25 m	1.2 m + 0.05	m	1.25 m
Clearance	0.157 m	0.25 m	0.2 m + 0.05	0.2 m	0.25 m
ความสูงใช้งานของฟัน	2 m	2 m	2 m	1.6 m	2 m
ความสูงทั้งหมดของฟัน	2.157 m	2.25 m	2.2 m + 0.05	1.8 m	2.25 m
Addendum	$\frac{1}{P}$	$\frac{1}{P}$	$\frac{1}{P}$	$\frac{0.8}{P}$	$\frac{1}{P}$
Dedendum	$\frac{1.157}{P}$	$\frac{1.25}{P}$	$\frac{1.2}{P} + 0.002$	$\frac{1}{P}$	$\frac{1.25}{P}$
Clearance	$\frac{1.157}{P}$	$\frac{0.25}{P}$	$\frac{0.2}{P} + 0.002$	$\frac{0.2}{P}$	$\frac{0.25}{P}$
ความสูงใช้งานของฟัน	$\frac{2}{P}$	$\frac{2}{P}$	$\frac{2}{P}$	$\frac{1.6}{P}$	$\frac{2}{P}$
ความสูงทั้งหมดของฟัน	$\frac{2.157}{P}$	$\frac{2.25}{P}$	$\frac{2.2}{P} + 0.002$	$\frac{1.8}{P}$	$\frac{2.25}{P}$

ตารางที่ ๔5 ค่าตัวประกอบรูปแบบของลูอิส, Y และ y

จำนวน ฟัน	แรงกระทำที่ปลาย								แรงกระทำใกล้กึ่งกลาง			
	14 1/2 °FD		20°FD		20°Stub		25 °		14 1/2 °FD		20°FD	
	Y	y	Y	y	Y	y	Y	y	Y	y	Y	y
10	0.176	0.056	0.201	0.064	0.261	0.083						
11	0.192	0.061	0.226	0.072	0.289	0.092						
12	0.210	0.067	0.245	0.078	0.311	0.099	0.242	0.077	0.355	0.113	0.415	0.133
13	0.223	0.071	0.264	0.083	0.324	0.103	0.258	0.082	0.377	0.120	0.443	0.141
14	0.236	0.075	0.276	0.088	0.339	0.108	0.270	0.086	0.399	0.127	0.468	0.149
15	0.245	0.078	0.289	0.092	0.349	0.111	0.286	0.091	0.415	0.133	0.490	0.156
16	0.255	0.081	0.295	0.094	0.360	0.115	0.298	0.095	0.430	0.137	0.503	0.160

ตารางที่ ผ6 ค่าตัวประกอบรูปแบบของลูอิส, Y และ y (ต่อ)

จำนวน ฟัน	แรงกระทำที่ปลาย								แรงกระทำใกล้กึ่งกลาง			
	14 1/2 °FD		20°FD		20°Stub		25 °		14 1/2 °FD		20°FD	
	Y	y	Y	y	Y	y	Y	y	Y	y	Y	y
17	0.264	0.084	0.302	0.096	0.368	0.117	0.311	0.099	0.446	0.142	0.512	0.163
18	0.270	0.086	0.308	0.098	0.377	0.120	0.324	0.103	0.459	0.146	0.522	0.167
19	0.277	0.088	0.314	0.100	0.386	0.123	0.336	0.107	0.471	0.150	0.534	0.170
20	0.283	0.090	0.320	0.102	0.393	0.125	0.349	0.111	0.481	0.153	0.544	0.173
21	0.289	0.092	0.326	0.104	0.399	0.127	0.365	0.116	0.490	0.156	0.553	0.177
22	0.292	0.093	0.330	0.105	0.404	0.129	0.377	0.120	0.496	0.158	0.559	0.178
23	0.296	0.094	0.333	0.106	0.408	0.130	0.390	0.124	0.502	0.160	0.565	0.180
24	0.302	0.096	0.337	0.107	0.411	0.132	0.403	0.128	0.509	0.162	0.572	0.183
25	0.305	0.097	0.340	0.108	0.416	0.133	0.415	0.132	0.515	0.164	0.580	0.184
26	0.308	0.098	0.344	0.109	0.421	0.135	0.428	0.136	0.522	0.166	0.584	0.186
27	0.311	0.099	0.348	0.111	0.426	0.136	0.418	0.133	0.528	0.168	0.588	0.187
28	0.314	0.100	0.352	0.112	0.430	0.137	0.409	0.130	0.534	0.170	0.592	0.189
29	0.316	0.101	0.355	0.113	0.434	0.138	0.412	0.131	0.537	0.171	0.599	0.191
30	0.318	0.101	0.358	0.114	0.437	0.139	0.418	0.133	0.540	0.172	0.606	0.193
31	0.320	0.101	0.361	0.115	0.440	0.140	0.421	0.134	0.554	0.173	0.611	0.195
32	0.322	0.101	0.364	0.116	0.443	0.141	0.428	0.136	0.547	0.174	0.617	0.196
33	0.324	0.103	0.367	0.117	0.445	0.142	0.430	0.137	0.550	0.175	0.623	0.198
34	0.326	0.104	0.371	0.118	0.447	0.142	0.434	0.138	0.553	0.177	0.628	0.200
35	0.327	0.104	0.373	0.119	0.449	0.143	0.437	0.139	0.556	0.177	0.633	0.201
36	0.329	0.105	0.377	0.120	0.451	0.144	0.443	0.141	0.559	0.178	0.639	0.203
37	0.330	0.105	0.380	0.121	0.454	0.144	0.446	0.142	0.563	0.179	0.645	0.205
38	0.333	0.106	0.381	0.122	0.455	0.145	0.450	0.143	0.565	0.180	0.650	0.207
39	0.335	0.107	0.386	0.123	0.457	0.146	0.454	0.144	0.568	0.181	0.655	0.209
40	0.336	0.107	0.389	0.124	0.459	0.146	0.460	0.146	0.570	0.182	0.659	0.210
43	0.339	0.108	0.397	0.126	0.467	0.147	0.463	0.147	0.574	0.183	0.668	0.212
45	0.340	0.108	0.399	0.127	0.468	0.149	0.469	0.149	0.579	0.184	0.678	0.214
50	0.346	0.110	0.408	0.130	0.474	0.151	0.478	0.152	0.588	0.187	0.694	0.221
55	0.352	0.112	0.415	0.132	0.480	0.153	0.485	0.154	0.596	0.190	0.704	0.224
60	0.355	0.113	0.421	0.134	0.484	0.154	0.490	0.156	0.603	0.192	0.713	0.227
65	0.358	0.114	0.425	0.135	0.488	0.155	0.496	0.158	0.607	0.193	0.721	0.229
70	0.360	0.115	0.429	0.136	0.493	0.157	0.502	0.160	0.610	0.194	0.728	0.231
75	0.361	0.115	0.433	0.138	0.496	0.158	0.508	0.161	0.613	0.195	0.735	0.233
80	0.363	0.116	0.436	0.139	0.499	0.159	0.510	0.162	0.615	0.196	0.739	0.235
90	0.366	0.117	0.442	0.141	0.503	0.160	0.516	0.164	0.619	0.197	0.747	0.237
100	0.368	0.117	0.446	0.142	0.506	0.161	0.521	0.166	0.622	0.198	0.755	0.240
150	0.375	0.119	0.458	0.146	0.518	0.165	0.531	0.169	0.635	0.202	0.778	0.247
200	0.378	0.120	0.463	0.147	0.524	0.167	0.538	0.171	0.640	0.204	0.787	0.250
300	0.382	0.122	0.471	0.150	0.534	0.170	0.550	0.175	0.650	0.207	0.801	0.255
∞	0.390	0.124	0.484	0.154	0.550	0.175	0.563	0.180	0.660	0.210	0.823	0.262

ตารางที่ ๗ ค่าความเค้นสถิตใช้งานสำหรับใช้กับสมการของคูอิส

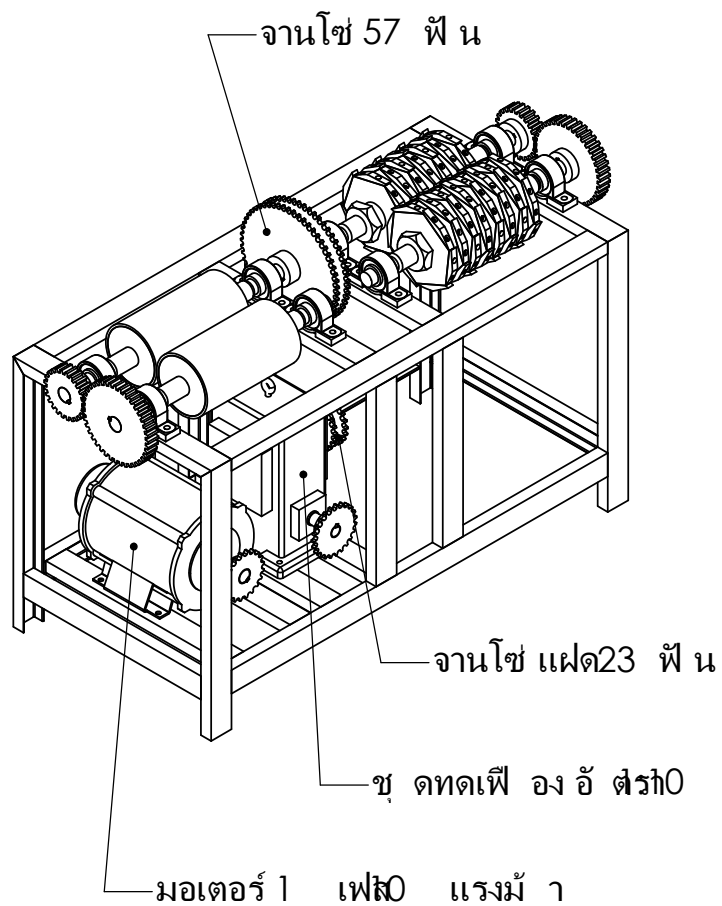
วัสดุ	σ		HB
	ksi	N/mm ²	
เหล็กหล่อสีเทา			
ASTM 25	8	55	174
ASTM 35	12	82	212
ASTM 50	15	103	223
เหล็กกล้าหล่อ (คาร์บอนต่ำ)			
0.2% C ไม่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน	20	138	180
0.2% C WQT	25	172	250
เหล็กกล้าคาร์บอนตีอัด (forged)			
SAE 1020 Case hardened และ WQT	18	124	156
SAE 1030 ไม่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน	20	138	180
SAE 1035 ไม่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน	23	159	190
SAE 1040 ไม่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน	25	172	202
SAE 1045 ไม่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน	30	207	215
SAE 1045 ชุบแข็งโดย WQT	32	220	205
SAE 1030 ชุบแข็งโดย OQT	35	241	223
เหล็กกล้าผสม			
SAE 2320 case hardened และ WQT	50	345	225
SAE 2345 ชุบแข็งโดย OQT	50	345	475
SAE 3115 case hardened และ OQT	37	255	212
SAE 3145 ชุบแข็งโดย OQT	53	365	475
SAE 3245 ชุบแข็งโดย OQT	65	448	475
SAE 4340 ชุบแข็งโดย OQT	65	448	475
SAE 4640 ชุบแข็งโดย OQT	55	379	475
SAE 6145 ชุบแข็งโดย OQT	67.5	465	475
วัสดุที่มีทองแดงเป็นส่วนผสม			
SAE 43 (ASTM B 147-52.8 A) (แมงกานีสบรอนซ์)	20	138	100
SAE 62 (ASTM B 143-52.1 A) (gun metal)	10	69	80
SAE 65 (ASTM B 144-52.3 C) (ฟอสเฟอร์บรอนซ์)	12	82	100
SAE 68 (ASTM B 148-52.98) (อลูมิเนียมบรอนซ์ ผ่านกรรมวิธีทาง ความร้อน)	12	152	180
อโลหะ			
Bakelite, Micarta, Celeron	8	55	

หมายเหตุ : WQT หมายถึง ชุบแข็งด้วยน้ำแล้วเทมเปอร์ (Temper)

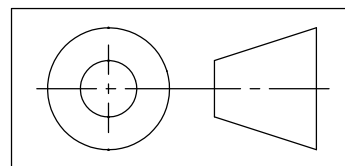
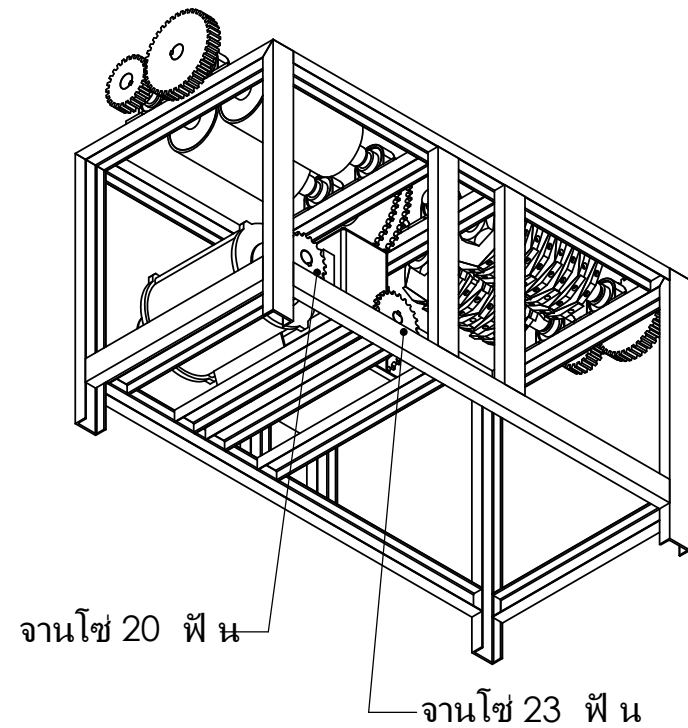
OQT หมายถึง ชุบแข็งด้วยน้ำมันแล้วเทมเปอร์

ภาคผนวก ข

แบบทางวิศวกรรมเพื่อใช้ในการผลิตส่วนประกอบ



ส่งกำลังด้วยสายพาน



ชุดเครื่องจักร ' องย๋ ออยย AP MC		หมายเลขแบบ : AS-U-02
ชื่อแบบเครื่องจักร ' เครวี ' องย๋ ออยย AP MC		
หน่วย: MilliMetre	มาตราส่ว น: 1:20	
วันที่ วาด 25 พฤศจิกายน 2547	ผู้ วาด นาย นวพล โฆมนะสิน	
ภาควิ ชาเครี ' องคณะวิ วิศวกรรมศาสตร์มหาวิ ทยาลั ยเกษตรศาสตร์		

2. ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่น ๆ ต่อ สกว.

แนวทางในการปรับปรุงและพัฒนา

เนื่องจากเครื่องจักรที่ทางผู้จัดทำได้ออกแบบและสร้างไว้แล้วนั้นสามารถใช้ได้จริง แต่มีประสิทธิภาพดีพอเพียงระดับหนึ่ง ทั้งนี้ยังเกิดข้อบกพร่องในการประกอบเครื่องจักรบางประการจึงขอเสนอแนวทางปรับปรุงและพัฒนาเพื่อเป็นประโยชน์แก่นักวิจัยในรุ่นต่อไป ดังนี้

1. ชุดใบมีดของเครื่องย่อยยาง TAP-MC ควรมีจำนวนความถี่ของใบมีดมากขึ้น
2. ชุดลูกกลิ้งของเครื่องย่อยยาง TAP-MC ควรลดช่องว่างระหว่างผิวลูกกลิ้งให้มากที่สุด
3. ออกแบบชุดตึงโซ่ เพื่อให้ระบบส่งกำลังมีประสิทธิภาพสูงขึ้น
4. ลดความเร็วรอบ และเพิ่มขนาดเพลา เพื่อเพิ่มกำลังการย่อย

3. ภาคผนวก

3.1 บทความสำหรับการเผยแพร่

การพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องย่อยยางต้นแบบ

Development and Improvement of the Prototype Rubber Recycling Machine

สมศักดิ์ ตั้งวิบูลย์พาณิชย์¹ นวพล โจนมานะสิน² สาโรช ชินคำ³ สุภสิทธิ์ รอดขวัญ^{4*}

^{1,2,3,4}ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทร 0-2942-8555 ต่อ 1803 *Email: fengssr@ku.ac.th

Somsak Tangwiboonphanit¹ Navapol Komanasin² Saroch Chinkum³ Supasit Rodkwan^{4*}

^{1,2,3,4}Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

50 Phaholyothin Road, Ladyaw, Jatujak, Bangkok, Thailand 10900

Tel. 0-2942-8555 Ext. 1803 *Email: fengssr@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ที่ทำจากยางพาราถูกใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยผลิตภัณฑ์เหล่านี้เมื่อถูกใช้งานจนหมดอายุแล้วมักจะถูกนำไปทำลายทิ้งโดยไม่ผ่านกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycling) ทำให้ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากยางเหล่านั้นได้อย่างสูงสุด และยังก่อให้เกิดปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ ทำได้โดยนำเศษยางที่ใช้แล้วมาบดคัดผ่านเครื่องย่อยให้ได้เป็นชิ้นที่มีขนาดเล็กลง หลังจากนั้นชิ้นยางที่ถูกย่อยแล้วจะถูกนำไปผสมกับยางใหม่รวมถึงสารเคมีต่างๆ เพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น อีพ็อกซียาง แผ่นปูสนามเด็กเล่น แผ่นกันลื่นในห้องน้ำ เป็นต้น อย่างไรก็ตามโดยส่วนใหญ่เครื่องจักรที่ใช้ในการย่อยยางนี้เป็นเครื่องที่นำเข้าจากต่างประเทศ และมีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นโครงการนี้จึงเป็นการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องย่อยยางต้นแบบ เพื่อให้สามารถผลิตได้ในประเทศและมีราคาที่ต่ำลง ซึ่งเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางพาราในประเทศ ทั้งในด้านการสิ่งแวดล้อมและเชิงพาณิชย์ โดยโครงการนี้ได้ดำเนินการในสองส่วนคือ ส่วนของการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องย่อยยางต้นแบบที่คณะผู้จัดทำโครงการได้พัฒนาขึ้นมาก่อนแล้ว และส่วนของการออกแบบเครื่องย่อยยางที่พัฒนามาจากเครื่องต้นแบบเดิม ซึ่งในส่วนแรกได้ทำการติดตั้งชุดรีเลย์ควบคุมทิศทางการทำงานของชุดใบมีดและทำการหุบแข็งใบมีดให้ทนต่อการสึกหรอมากขึ้น และในส่วนที่สองได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องย่อยยางขึ้นมาใหม่ โดยจะเรียกว่า ชุดเครื่องย่อยยาง TAP-MC ซึ่งมีปัจจัยในการออกแบบที่มีผลต่อการคัดเล็กลง ได้แก่ ชนิดของวัสดุ มุมการตัดของใบมีด ความเร็วรอบงานตัด มุมการเรียงของใบมีด ขนาดและคุณสมบัติของชิ้นงานที่นำมาย่อย รวมถึงกำลังของมอเตอร์ ในการสร้าง

เครื่องนี้ใช้มอเตอร์ขนาด 10 แรงม้า ขับเครื่องย่อยยาง 2 ชุด ชุดแรกเป็นชุดใบมีด ใช้ใบมีดที่ทำมาจากเหล็กหัวแดง (S45C) หุบแข็งโดยผ่านกระบวนการคาร์บอนไตริดิง (Carbonitriding) จำนวน 90 ใบ มุมตัด 60 องศา และติดอยู่บนจานจำนวน 15 จานซึ่งประกอบอยู่บนเพลาสองตัว โดยความเร็วรอบที่เพลาลับและเพลาดำเป็น 50 และ 30 รอบต่อนาทีตามลำดับ ส่วนชุดที่สองเป็นชุดลูกกลิ้งสองลูกหมุนบดเข้าหากันโดยใช้ความเร็วรอบที่เพลาลับและเพลาดำเท่ากันกับชุดที่ 1

คำหลัก: เครื่องย่อยยาง

Abstract

Currently, various applications of rubber products have been widely found. The wastes of these rubber products are often neglected without the recycling process leading to the environmental hazardous problem. In the recycling process, the waste rubber products are shredded into small pieces using rubber recycling machine and shredded rubber can be mixed with other compositions in making reclaimed rubber or other rubber products such as rubber bricks, playground rubber pads, rubber mats using in the restroom. However, the imported rubber recycling machines are usually expensive; consequently, in this research, the design and improvement of the prototype rubber recycling machine was proposed to response to the needs of the machine in the domestic rubber product industry both in the environment and in the commercial

viewpoints. In this research, two tasks were performed; the improvement in performance of the prototyped rubber recycling machine which was developed earlier in the past project and the design and development of the new rubber recycling machine. In the first part, the relay switch was installed to control the direction of the machine shaft rotation and the cutter knives were strengthened through carbonitriding process for additional wear resistance. For the latter, newly developed recycling machined name “TAP-MC” was design and fabricated using various factors such as are type, size, and property of rubber material, angle and pattern of the cutting knife, cutting speed of a knife and power of a motor used. The motor of 10 hp was used to power two sets of recycling steps designed. The first set consists of 90 cutter knives and each has a 60 degree cutting angle attached on 15 disks installed on the two shafts with the rotational speeds of both shafts of 50 and 30 revolutions per minute. The second set uses two rollers rotated in the opposite direction with the similar speed as of the first set.

Keywords: Rubber Recycling Machine

1. บทนำ

กระบวนการในการปรับปรุงการนำผลิตภัณฑ์จากยางกลับมาใช้ใหม่ ได้ถูกพัฒนามาเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้ว และได้มีการสร้างเครื่องจักรขึ้น เพื่อให้เกิดประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ [1], [2] อย่างไรก็ตาม เครื่องจักรที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ราคาก่อนข้างสูงและส่วนใหญ่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ด้วยเหตุผลดังกล่าว ได้มีการนำเสนอโครงการวิจัยและประดิษฐ์เครื่องย่อยยางคันแบบขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 1 และได้ทำการทดลองโดยใช้ชิ้นงานตัวอย่าง ได้แก่ ยางอัดดอก ยางรถจักรยาน และ ยางรถจักรยานยนต์ นี้ พบว่าในหนึ่งรอบการทำงาน ขนาดของชิ้นงานหลังจากถูกย่อยแล้ว จะมีขนาดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานยางลดลงประมาณ 93% สำหรับยางอัดดอกและยางรถจักรยาน และ 52% สำหรับยางรถจักรยานยนต์ โดยมีอัตราเร็วเฉลี่ยในการตัดประมาณ 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เมื่อพิจารณาทั้งในด้านขนาดของชิ้นงานที่ลดลง และอัตราการย่อยชิ้นงานที่สามารถย่อยได้ จะเห็นได้ว่าเครื่องย่อยยางคันแบบที่ออกแบบและประดิษฐ์ขึ้นมีประสิทธิภาพเป็นที่น่าสนใจในระดับหนึ่ง [3] ในส่วนของงานวิจัยนี้ มีแนวความคิดที่จะออกแบบและพัฒนาเครื่องย่อยยางคันแบบให้มีประสิทธิภาพการทำงานสูงขึ้น และได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม เพื่อหาข้อบกพร่องและหาแนวทางการพัฒนาเครื่องย่อยยางคันแบบ โดยสามารถสรุปแนวทางการปรับปรุงและพัฒนาเครื่องย่อยยางคันแบบ ในประเด็นของการออกแบบและปรับปรุงชุดใบมีด การปรับปรุงระบบส่งกำลัง การทำสวิตช์สลับไฟเพื่อกลับทิศทางการหมุนของใบมีดในกรณีที่เศษยางติดอยู่ และการทำการศึกษาตัวแปรต่างๆ ในการทำงานของเครื่องย่อยยาง โดยทางผู้จัดทำโครงการคาดหวังว่า การทำโครงการครั้งนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางทั้งในเชิงพาณิชย์และสิ่ง

แวดล้อม และยังสามารถผลิตเครื่องย่อยยางที่มีประสิทธิภาพดี และมีต้นทุนการผลิตต่ำสามารถผลิตเครื่องจักรได้ในประเทศ ตลอดจนเป็นส่วนหนึ่งในการสร้างความเข้มแข็งให้แก่อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางพาราของประเทศไทยต่อไป



รูปที่ 1 เครื่องย่อยยางคันแบบ [3]

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นการส่งเสริมให้มียางผลิตภัณฑ์ยางเหลือใช้มาก่อให้เกิดประโยชน์ทั้งในเชิงพาณิชย์ และสิ่งแวดล้อม
2. เพื่อให้ได้มาซึ่งเครื่องย่อยยางที่มีประสิทธิภาพดี และต้นทุนในการผลิตต่ำ สามารถผลิตได้เองภายในประเทศ รวมถึงเพื่อปรับปรุงและพัฒนาประสิทธิภาพเครื่องย่อยยางคันแบบที่มีอยู่แล้วให้ดีขึ้น
3. เพื่อเป็นการส่งเสริมให้นักวิจัยในสาขาวิศวกรรมศาสตร์ได้มีการนำหลักการออกแบบ และทฤษฎีที่เรียนมาประยุกต์ใช้ในการสร้างอุปกรณ์เครื่องจักรในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง

3. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงการ มีดังนี้

3.1.1 เหล็กรูปพรรณชนิดต่างๆ ได้แก่

- เหล็กทรงน้ำขนาด 3 นิ้ว $\times$ 1 1/2 นิ้ว ความยาว 560 มิลลิเมตร จำนวน 8 ท่อน และความยาว 1000 มิลลิเมตร จำนวน 4 ท่อน และความยาว 1450 มิลลิเมตร จำนวน 4 ท่อน
- เหล็กหัวแดง (S45C) ขนาด 19 มิลลิเมตร $\times$ 20 มิลลิเมตร $\times$ 140 มิลลิเมตร จำนวน 90 แท่ง
- เหล็กแผ่นรูปหกเหลี่ยมด้านเท่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 240 มิลลิเมตร หนา 19 มิลลิเมตร จำนวน 15 แผ่น
- เหล็กเพลยาว (G3123) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 55 มิลลิเมตร ความยาว 790 มิลลิเมตร จำนวน 2 ท่อน และความยาว 850 มิลลิเมตร จำนวน 2 ท่อน
- ท่อเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 190 มิลลิเมตร หนา 10 มิลลิเมตร ยาว 350 มิลลิเมตร จำนวน 2 ท่อ
- เหล็กแผ่นกลมเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 180 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 55 มิลลิเมตร หนา 10 มิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่น

- เหล็กเหนียวขนาด 3/8 นิ้ว ความยาว 63 มิลลิเมตร จำนวน 4 แท่ง,
ความยาว 50 มิลลิเมตร จำนวน 2 แท่ง

- 3.1.2 มอเตอร์ไฟฟ้าชนิด 1 เฟส ขนาด 10 แรงม้า จำนวน 1 ตัว
- 3.1.3 ชุดทดเกียร์อัตรา 1:10 จำนวน 1 ตัว
- 3.1.4 แบร์ริงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 3/4 นิ้ว จำนวน 8 ตัว
- 3.1.5 โช้ขนาด 60-1 R ความยาว 10 ฟุต จำนวน 2 กล้อง
- 3.1.6 เพื่องโช้ขนาด TB-20 (20 ฟัน มีคัม) จำนวน 1 ตัว ขนาด TB-23
จำนวน 1 ตัว ขนาด TB-23 ฟันคู่ จำนวน 1 ตัว และขนาด TB-57
จำนวน 2 ตัว
- 3.1.7 เพื่องทดโมดูล 6 ขนาด 40 ฟัน จำนวน 2 ตัว และ โมดูล 6 ขนาด 24
ฟัน จำนวน 2 ตัว
- 3.1.8 ชุดวงจรรีเลย์ 1 ชุด
- 3.1.9 น็อตตัวเมียขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 55 มิลลิเมตร
- 3.1.10 น็อตขนาด M14 จำนวน 16 ตัว ขนาด M12 จำนวน 8 ตัว
- 3.1.11 เครื่องเจียรไน
- 3.1.12 เครื่องเชื่อม
- 3.1.13 เครื่องตัดเหล็ก
- 3.1.14 เครื่องมือช่าง

3.2 วิธีการ

3.2.1 วิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องย่อยยางดันแบบ

3.2.1.1 การติดตั้งชุดรีเลย์

ชุดรีเลย์เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งเพิ่มเข้าไปกับเครื่องย่อยยางดันแบบ เพื่อให้ตัดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้ามอเตอร์หากมีการติดขัดของชุดใบมีดขณะทำการย่อย และยังสามารถควบคุมให้ชุดใบมีดหมุนกลับทิศทาง เพื่อให้เศษยางหลุดออกมาได้ ทำให้เครื่องย่อยยางสามารถทำงานได้ต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตำแหน่งและแผงวงจรชุดรีเลย์

3.2.1.2 การเจียรไนลับคมและชุบแข็งใบมีด

เนื่องจากใบมีดที่ใช้ในเครื่องย่อยยางดันแบบเกิดความสึกหรอได้ง่าย เมื่อใช้เป็นระยะเวลาหนึ่ง จึงได้ทำการเจียรไนลับคมและชุบแข็งใบมีด โดยผ่านกระบวนการคาร์โบไนไตรดิง (Carbonitriding) ให้มีความแข็งอยู่ในช่วง 58-60 HRC ดังแสดงในรูปที่ 3



- รูปที่ 3 (ซ้าย) ใบมีดก่อนการเจียรไนลับคมและชุบแข็ง
(ขวา) ใบมีดหลังการเจียรไนลับคมและชุบแข็ง

3.2.2 การพัฒนาและสร้างชุดเครื่องย่อยยาง TAP-MC

ชุดเครื่องย่อยยางที่พัฒนาขึ้นมานี้ ประกอบไปด้วยชุดเครื่องย่อยยาง 2 ชุด ได้แก่ เครื่องย่อยยางชุดที่ 1 ชนิดใบมีด เป็นกระบวนการถึงกัด และเครื่องย่อยยางชุดที่ 2 ชนิดลูกกลิ้ง เป็นกระบวนการบด

ในการออกแบบและการคำนวณขนาดวัสดุที่ใช้ประกอบเป็นระบบส่งกำลังของเครื่องย่อยยางทั้ง 2 ชุดนั้น สามารถใช้ข้อมูลเดียวกันได้บางส่วน เนื่องจากที่มีการใช้มอเตอร์ 10 แรงม้า และความเร็วรอบของเพลลาของเครื่องย่อยยางทั้ง 2 ชุดเท่ากัน คือเพลลาขับและเพลลาตามมีความเร็วรอบเป็น 50 รอบต่อนาทีและ 30 รอบต่อนาทีตามลำดับ

3.2.2.1 กระบวนการถึงกัดและตัด

กระบวนการถึงกัดและตัดจะเป็นกระบวนการย่อยยางในขั้นแรก โดยให้ชิ้นยางผ่านเครื่องย่อยยางชุดที่ 1 ชนิดใบมีด ซึ่งทำหน้าที่ถึงกัดและตัดชิ้นยางเป็นหลักทำให้ชิ้นยางมีขนาดเล็กกลง เครื่องย่อยยางชุดที่ 1 จะมีหลักการทำงานเหมือนกับเครื่องย่อยยางดันแบบ กล่าวคือ อาศัยการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ของจานตัดที่ติดใบมีด หมุนอยู่บนเพลลาสองเพลลาซึ่งวางขนานกัน หมุนไปในทิศทางตรงกันข้ามและอาศัยแรงเสียดทานเนื่องจากการขบกันระหว่างช่องว่างของใบมีดเป็นตัวแยกชิ้นส่วนของเศษยางให้ขาดออกจากกัน ทำให้ชิ้นยางมีขนาดเล็กกลง ต่อจากนั้นยางที่ถูกถึงกัดแล้วจะถูกส่งเข้าสู่ชุดเครื่องย่อยยางชุดที่ 2 ซึ่งเป็นกระบวนการบดต่อไป

ในส่วนของการประกอบชุดใบมีดกับจานและเพลลานั้น เพลลาขับจะมีจานใบมีดจำนวน 7 จาน ส่วนเพลลาตามจะมีจานใบมีดจำนวน 8 จาน รวมทั้งสิ้นจำนวน 15 จาน โดยจานใบมีดของทั้งสองเพลลานั้นจะวางสลับกันแต่ละจานจะประกอบไปด้วยใบมีดจำนวน 6 ใบ รวมทั้งสิ้น 90 ใบ ดังที่แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 เครื่องย่อยยางชุดที่ 1 ชนิดใบมีด ของชุดเครื่องย่อยยาง TAP-MC

ในส่วนของคุณลักษณะของใบมีดและมุมของคมตัดจะถูกแสดงไว้ในรูปที่ 5 โดยการปรับเปลี่ยนรูปร่างของใบมีดใหม่นั้น จะช่วยให้พื้นที่ผิวสัมผัสของการตัดเพิ่มขึ้น และสามารถลดผลกระทบจากความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการประกอบใบมีดกับจานหรือเพล่าได้ ทำให้เพิ่มความสะดวกในการถอดประกอบใบมีดเพื่อนำไปเจียรในอีกด้วย



รูปที่ 5 แบบของใบมีดที่ใช้ในเครื่องย่อยยางชุดที่ 1

นอกจากนั้นชุดเครื่องย่อยยางนี้ได้ออกแบบให้สามารถทำการย่อยยางโดยชุดใบมีดแต่ละชุดที่สัมผัสกับยางจะรับภาระการทำงานเท่ากัน เนื่องจากการเปลี่ยนลักษณะการวางใบมีดใหม่ และยังช่วยลดปัญหาการติดขัดของเครื่องขณะทำงานลงได้

ในการทดสอบการย่อยของชุดใบมีดนี้ได้ป้อนยางรถยนต์ชนิดไม่มีการเสริมใยเหล็ก (Bias Tire) ที่มีชั้นผ้าใบหนา 4 ชั้น ซึ่งมีขนาดกว้าง 150 มิลลิเมตร ยาว 200 มิลลิเมตร หนา 15 มิลลิเมตร แล้วทำการวัดขนาดของชิ้นยางที่ผ่าน การย่อยโดยเครื่องย่อยยางเป็นจำนวน 1, 3 และ 6 รอบการทำงาน โดยจะทำการวัดขนาดที่ยาวที่สุดของชิ้นยาง เพื่อที่จะหาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของชิ้นยางที่ได้จากการย่อยด้วยชุดใบมีดโดยแบ่งตามช่วงของขนาด

3.2.2.2 กระบวนการบด

ในกระบวนการบดนั้นเป็นกระบวนการและอัดเศษยางที่ได้จากกระบวนการฉีกและตัด โดยในกระบวนการนี้ จะให้เศษยางผ่านเครื่องย่อยยางชุดที่ 2 โดยชุดเครื่องย่อยยางชุดนี้ประกอบไปด้วยลูกกลิ้งเกลี้ยง 2 ลูก หมุนขบกันที่ความเร็วรอบต่างกัน ในทิศทางตรงกันข้าม อยู่บนเพลาลูกกลิ้งวางขนานกัน ดังแสดงในรูปที่ 6 ทำงานโดยอาศัยแรงอัดเนื่องจากการขบกัน และอาศัยการเคลื่อนที่สัมผัสของลูกกลิ้งเพื่อบดเศษยางให้มีขนาดเล็กลง

ในการทดสอบการย่อยของชุดลูกกลิ้งป้อนเศษยางที่ได้จากการย่อยของชุดใบมีด โดยคัดชิ้นเศษยางที่มีขนาดโดยเฉลี่ยกว้าง 20 มิลลิเมตร ยาว 20 มิลลิเมตร หนา 10 มิลลิเมตร แล้วทำการวัดขนาดของชิ้นยางที่ผ่านการย่อย โดยชุดลูกกลิ้ง 1, 3 และ 6 รอบการทำงาน โดยจะทำการวัดขนาดที่ยาวที่สุดของชิ้นยาง เพื่อที่จะหาเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของชิ้นยางที่ได้จากการย่อยด้วยชุดลูกกลิ้งโดยแบ่งตามช่วงของขนาด



รูปที่ 6 เครื่องย่อยยางชุดที่ 2 ชนิดลูกกลิ้ง ของชุดเครื่องย่อยยาง TAP-MC

4. ผลการวิจัย

สำหรับการทดสอบการย่อยยางของชุดใบมีด ขนาดของชิ้นยางเฉลี่ยก่อนเข้าสู่ชุดใบมีดจะมีขนาดดังตารางที่ 1 และเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของชิ้นยางที่ได้จากการย่อยด้วยชุดใบมีดโดยแบ่งตามช่วงของขนาดจะมีดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ขนาดของชิ้นยางเฉลี่ยก่อนเข้าสู่ชุดใบมีด

กว้าง x ยาว x หนา (มิลลิเมตร)	
150 x 200 x 15	

ตารางที่ 2 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของชิ้นยางที่ได้จากการย่อยด้วยชุดใบมีดโดยแบ่งตามช่วงของขนาด

ช่วงของขนาดชิ้นยาง	จำนวนรอบการทำงาน		
	1 รอบ 	3 รอบ 	6 รอบ 
60.0mm ขึ้นไป	51.19	14.23	1.12
50.0mm-60.0mm	21.42	25.47	2.42
40.0mm-50.0mm	9.20	23.72	6.54
30.0mm-40.0mm	0.00	12.55	24.15
20.0mm-30.0mm	12.03	13.97	35.05
10.0mm-20.0mm	5.53	7.53	26.42
5.0mm-10.0mm	0.45	1.28	1.76
0.0mm-5.0mm	0.18	1.25	2.54

สำหรับการทดสอบการย่อยยางของชุดลูกกลิ้ง ขนาดของชิ้นยางเฉลี่ยก่อนเข้าสู่ชุดลูกกลิ้งจะมีขนาดดังตารางที่ 3 และเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ

ชิ้นยางที่ได้จากการย่อยด้วยชุดลูกกลิ้ง โดยแบ่งตามช่วงของขนาดจะมีค่าดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ขนาดของชิ้นยางเฉลี่ยก่อนเข้าสู่ชุดลูกกลิ้ง

กว้าง x ยาว x หนา (มิลลิเมตร)	
20 x 20 x 10	

ตารางที่ 4 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของชิ้นยางที่ได้จากการย่อยด้วยชุดลูกกลิ้ง โดยแบ่งตามช่วงของขนาด

ช่วงของขนาดชิ้นยาง	จำนวนรอบการทำงาน		
	1 รอบ 	3 รอบ 	6 รอบ 
30.0mm ขึ้นไป	41.70	15.00	12.32
20.0mm-30.0mm	23.69	11.20	14.37
10.0mm-20.0mm	20.25	33.14	20.70
5.0mm-10.0mm	10.96	21.53	10.56
0.0mm-5.0mm	3.40	19.13	42.05

5. สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

โครงการนี้เป็นการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องย่อยยางต้นแบบ เพื่อให้สามารถผลิตได้ในประเทศและมีราคาต่ำลงในอนาคต ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางพาราในประเทศ ทั้งในด้านสิ่งแวดล้อมและเชิงพาณิชย์ โดยโครงการนี้ได้ดำเนินการในสองส่วนคือ ส่วนของการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องย่อยยางต้นแบบที่คณะผู้จัดทำโครงการได้พัฒนาขึ้นมาก่อนแล้ว และส่วนของการออกแบบเครื่องย่อยยางที่พัฒนาจากเครื่องต้นแบบเดิม ซึ่งในส่วนแรกได้ทำการติดตั้งชุดรีเลย์ควบคุมทิศทางการหมุนของชุดไบริดและทำการชูนึงไบริดให้ทนต่อการสึกหรอมากขึ้น

ในส่วนที่สองได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องย่อยยางขึ้นมาใหม่โดยจะเรียกว่า ชุดเครื่องย่อยยาง TAP-MC ดังแสดงในรูปที่ 7 และจากการทดสอบย่อยเศษยาง จะเห็นว่าเครื่องย่อยยาง TAP-MC ที่ออกแบบและพัฒนาในโครงการวิจัยนี้ สามารถทำการ ย่อยยางรถยนต์ชนิดที่เป็นผ้าใบ ไม่มีการเสริมใยเหล็ก (Bias Tire) โดยตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบ คือ จำนวนรอบการทำงานของชุดย่อยและชุดบด มุมการตัดของไบริด ขนาดและคุณสมบัติของชิ้นงานที่นำมาย่อย รวมถึงกำลังของมอเตอร์ โดยการสร้างเครื่องนี้ใช้มอเตอร์ขนาด 10 แรงม้า ขับเครื่องย่อยยาง 2 ชุด ชุดแรกเป็นชุดไบริด ใช้ไบริดที่ทำมาจากเหล็กหัวแดงชูนึงโดยผ่านกระบวน

การคาร์ไบไนไตรดิง (Carbonitriding) ให้มีความแข็ง 58-60 HRC จำนวน 90 ใบ มุมตัด 60 องศา และติดอยู่บนจานจำนวน 15 จานซึ่งประกอบอยู่บนเพลาสองตัว โดยความเร็วรอบที่เพลาดับและเพลาดำเป็น 50 และ 30 รอบต่อนาทีตามลำดับ ส่วนชุดที่สองเป็นชุดลูกกลิ้งสองลูกหมุนบดเข้าหากัน โดยใช้ความเร็วรอบที่เพลาดับและเพลาดำเท่ากับชุดที่ 1 ซึ่งเครื่องย่อยยางชุดที่ 1 จะทำหน้าที่ถึงและตัดชิ้นงาน และในเครื่องย่อยยางชุดที่ 2 จะทำหน้าที่บดอัดเศษยางที่ได้จากเครื่องย่อยยางชุดที่ 1 ให้มีขนาดเล็กลง ซึ่งพบว่าเมื่อจำนวนรอบดังกล่าวเพิ่มขึ้น ขนาดเฉลี่ยของชิ้นยางที่สามารถย่อยได้ใน 1, 3, และ 6 รอบการทำงาน ของชุดไบริดจะมีค่า 53.06 มิลลิเมตร, 43.07 มิลลิเมตร, 23.47 มิลลิเมตรตามลำดับ และขนาด เฉลี่ยของชิ้นยางที่สามารถย่อยได้ใน 1, 3, และ 6 รอบการทำงาน ของชุดลูกกลิ้งจะมีค่า 18.08 มิลลิเมตร, 15.11 มิลลิเมตร, 12.86 มิลลิเมตรตามลำดับ จะเห็นได้ว่าทั้งชุดไบริดและชุดลูกกลิ้งของเครื่องย่อยยาง TAP-MC มีประสิทธิภาพที่ดี และมีแนวโน้มที่จะสามารถย่อยยางให้มีขนาดเล็กลงไปหากมีการเพิ่มจำนวนรอบการทำงานให้มากขึ้น ดังนั้นเครื่องย่อยยางนี้สามารถนำไปเป็นเครื่องต้นแบบเพื่อพัฒนาในการใช้ในอุตสาหกรรมจริงต่อไป



รูปที่ 7 เครื่องย่อยยาง TAP-MC (ชุดลูกกลิ้ง และชุดชุดไบริด)

6. กิตติกรรมประกาศ

- ขอขอบคุณ ฝ่ายอุตสาหกรรม (ฝ่าย 5) สำนักกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว) ในโครงการวิจัยแห่งชาติ: ยางพารา (SPR) ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้
- ขอขอบคุณครูช่าง และช่างเทคนิค ประจำภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับการช่วยเหลือ และคำแนะนำในการทำโครงการงาน
- ขอขอบคุณแผนกวิศวกรรม สถาบันคีนันคว่ำและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม (RD:IPT) สำหรับการสนับสนุนสถานที่และเครื่องมือในการทำโครงการงาน

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Internet Resource: <http://www.rbrubber.com>
- [2] Internet Resource: <http://www.rubberecycle.com>
- [3] สิทธิา บุญโพธิ์อภิชาติ และคณะ “การออกแบบและ ประดิษฐ์เครื่อง
ย่อยยาง” โครงการภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรม
ศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2547

3.3 ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ และกิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ

ลำดับที่	วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผนไว้ และกิจกรรมที่ดำเนินการมา	ผลที่ได้รับตลอดโครงการ
1	เพื่อปรับปรุงและพัฒนาประสิทธิภาพเครื่องย่อย อย่างต้นแบบ	ศึกษาหาแนวทางในการพัฒนาประสิทธิภาพเครื่อง ย่อยอย่างต้นแบบ	เครื่องย่อยอย่างต้นแบบมีประสิทธิภาพดี ขึ้น ได้เครื่องย่อยอย่าง TAP-MA
2	เป็นการนำผลิตภัณฑ์ยางเหลือใช้มาก่อให้เกิด ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์และสิ่งแวดล้อม	รวบรวมยางที่ใช้แล้วและไม่ก่อให้เกิดประโยชน์จาก แหล่งต่าง	ลดมลพิษที่จะเกิดกับสิ่งแวดล้อม และ ยางที่ผ่านกระบวนการสามารถนำมาใช้ ให้ก่อให้เกิดประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ได้
3	สามารถผลิตเครื่องย่อยอย่างประสิทธิภาพดีและ ต้นทุนในการผลิตต่ำได้เองในประเทศ	ได้มีการศึกษาหาความรู้จากแหล่งความรู้ต่างๆ เพื่อ ออกแบบเครื่องย่อยอย่างที่มีประสิทธิภาพดีขึ้น	ได้เครื่องย่อยอย่าง TAP-MA ที่มีประสิทธิ ภาพดีกว่าเครื่องย่อยอย่างต้นแบบ
4	เพื่อเป็นการส่งเสริมให้นิสิตและนักวิจัยในสาขา วิชาวิศวกรรมศาสตร์ได้มีการนำเอา หลักการออกแบบ และทฤษฎีที่เรียนมาประยุกต์ ใช้ในการสร้างอุปกรณ์เครื่องจักรใน อุตสาห กรรมผลิตภัณฑ์ยาง	มีการการศึกษาหาความรู้ และนำความรู้ที่เรียนมา ประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาประสิทธิภาพ เครื่องย่อยอย่างต้นแบบ	เพิ่มความรู้และประสบการณ์ในการ ทำงาน

3.4 ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้งานจริง

ในปัจจุบันเครื่องย่อยยางต้นแบบเป็นการย่อขนาดเพื่อทดลองทำการย่อยในขนาดเล็ก โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 10 แรงม้า ใบมีดใช้เหล็กหัวแดง (S45C) จำนวน 90 ใบ ความเร็วรอบ 30-50 รอบ/นาที สามารถทำการย่อยยางได้ 90 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และได้ผลยางดังแสดงในผลการทดลอง เมื่อเทียบตามขนาดที่ย่อลงมาและราคาต้นทุนที่ใช้ในการทำวิจัยถือว่ามีประสิทธิภาพสูงพอสมควร และยังเมื่อเทียบราคาต้นทุนที่กับราคาเครื่องย่อยยางที่ใช้จริงในอุตสาหกรรมแล้วจะเห็นว่าเครื่องย่อยยางต้นแบบนี้มีราคาถูกกว่าท้องตลาดมาก และสามารถเพิ่มขนาดเป็นเครื่องใหญ่ที่สามารถใช้ในอุตสาหกรรมได้(New Design by KU) ซึ่งจะมีประสิทธิภาพสูงมากและสามารถแข่งขันทางการค้ากับเครื่องจากต่างประเทศได้ ดังตารางแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลเฉพาะด้านล่างนี้

ตารางการเปรียบเทียบข้อมูลเฉพาะของเครื่องย่อยยาง

Shredder	Canada	Thailand	
	ST-150E	TAP-MC	New Design by KU
Drive	Electric	Electric	Hydraulic
Number of Motors	two	one	two
HP Range	150-200	10	150-200
Voltage	380-600	380	380
Cycle	50/60	6	
Knife Thickness	2"	19 mm	
Number of Knives	30	90	
Knife Diameter	20"	260 mm	
Hex Size	6 5/8"	240 mm	
Distance Between Shaft	15"	262 mm	
M/C Height	105"	1135 mm	
M/C Width	65"	740 mm	
M/C Length	177" (200 HP)	1560 mm	
Performance	5 tons/hr	90 kg/hr	5 tons/hr
Cost (Bath)		251,000	
Price (Bath)	20,000,000		10,000,000

ปัจจุบันบริษัทในธุรกิจปูนซีเมนต์ได้ให้ความสนใจกับเครื่องย่อยยางนี้เป็นอย่างสูง เพราะเดิมเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาปูนซีเมนต์คือ ไม้ แต่ในปัจจุบันเนื่องจากยางรถยนต์ที่ใช้แล้วมีมากซึ่งล้วนแต่เป็นขยะทั้งสิ้น และยางรถยนต์ยังให้ค่าความร้อนที่มากกว่าไม้ประมาณสองเท่า ดังนั้นยางรถยนต์ที่ใช้แล้วจึงเข้ามามีบทบาทในการเป็นเชื้อเพลิงเพื่อเผาปูนซีเมนต์ ซึ่งเป็นธุรกิจขนาดใหญ่ รวมถึงธุรกิจผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่สามารถนำยางที่ได้จากการบดย่อยไปผสมกับยางใหม่ได้เพื่อที่จะลดต้นทุนของวัสดุยาง เช่น พื้นปูยางในรถยนต์ แทนปูสนามเด็กเล่น และ พื้นลู่วิ่ง เป็นต้น