

การพัฒนายางดินตะขบเครื่องเกี่ยวนวด

Development of Semi Rubber Track Combine Harvester

วิชัย โสภานกุล¹ อุดลย์ณ วิเชียร² ณพรัตน์ วิจิตรชัย²

คทาวิช จงสุขไว¹ วีระ สุขประเสริฐ¹

บทคัดย่อ

ปัจจุบันคาดว่าจะมีการใช้งานเครื่องเกี่ยวนวดมากกว่า 10,000 เครื่อง ในกิจกรรมเก็บเกี่ยวข้าวเพื่อบริโภคและส่งออกของไทย ซึ่งการเคลื่อนย้ายเครื่องเกี่ยวนวดไปทำงานในไร่นามีบ่อยครั้งที่สภาพพื้นที่ไม่เอื้ออำนวย จำเป็นต้องขับเคลื่อนไปบนถนนภายในหมู่บ้านทำให้ผิวนถนนเป็นรอยเสียหาย ต้องใช้ล้อรถยนต์หรือแผ่นยางมารองรับดินตะขบ แล้วขับเคลื่อนไปอย่างช้า ๆ จนถึงแปลงเก็บเกี่ยวทำให้เกิดการสูญเสียเวลาและค่าใช้จ่ายประมาณ 2,000 บาท/ชั่วโมง คณะผู้วิจัยจึงพัฒนายางดินตะขบสำหรับใช้กับเครื่องเกี่ยวนวด โดยพัฒนาสูตรยางธรรมชาติผสมกับสารเคมีให้มีสมบัติทางกายภาพสอดคล้องกับมาตรฐาน มอก. 2478-2552 มีค่าความแข็ง 68.8 Shore A จากนั้นนำสูตรที่พัฒนาได้ไปผลิตยางดินตะขบโดยการอัดขึ้นรูปพร้อมด้วยแม่พิมพ์ที่ออกแบบเฉพาะ ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

ผลการทดสอบใช้งานกับเครื่องเกี่ยวนวดขนาดกลาง น้ำหนัก 4.2 ตัน เมื่อนำไปขับเคลื่อนบนถนนลาดยางพบว่าไม่ทำให้ผิวนถนนลาดยางเสียหาย จึงนำไปทดสอบในไร่นาโดยช่วงแรกทดสอบในแปลงนาสภาพเป็นดินเหนียวอ่อน มีค่าความต้านทานการแทงทะลุความลึก 5 เซนติเมตร เท่ากับ 0.3 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร ความเร็วการเคลื่อนที่ 4.17-4.93 กิโลเมตร/ชั่วโมง บนพื้นที่ 7.2 ไร่ พบว่ายางดินตะขบมีอัตราการสึกหรอน้อยมาก จึงเร่งอัตราการสึกหรอโดยทดสอบในสภาพไร่ซึ่งดินแข็งกว่ามีค่าความต้านทานการแทงทะลุความลึก 5 เซนติเมตร เท่ากับ 1.6 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร ใช้ความเร็วการเคลื่อนที่ 4.21-4.43 กิโลเมตร/ชั่วโมง บนพื้นที่ 323 ไร่ หรือคิดเทียบเท่าแปลงนา 1,721 ไร่ เมื่อนำยางดินตะขบมาตรวจสอบมีอัตราการสึกหรอประมาณร้อยละ 5 เท่านั้น จึงขยายผลการวิจัยโดยร่วมกับบริษัทผู้ผลิตเครื่องเกี่ยวนวดในจังหวัดพิษณุโลกนำไปใช้กับเครื่องเกี่ยวนวดขนาดใหญ่ น้ำหนัก 9 ตัน

¹ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม

² สถาบันวิจัยยาง

คำนำ

ประเทศไทยผลิตและส่งออกสินค้าเกษตรหลายชนิด เช่น ยางพารา ข้าว มันสำปะหลัง อ้อย และ สับปะรด เป็นต้น ส่วนใหญ่มักส่งออกในรูปแบบของวัตถุดิบหรือมีการแปรรูปขั้นต้นทำให้มีมูลค่าต่ำ ภาครัฐจึงมีความพยายามสร้างมูลค่าเพิ่มโดยการนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อส่งออกและใช้งานในประเทศ ในส่วนของยางพาราหรือยางธรรมชาตินั้น ตามยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ พ.ศ.2551-2553 ได้จัดให้เรื่องการเพิ่มมูลค่าสินค้าเกษตรเพื่อการส่งออกและลดการนำเข้าเป็นหนึ่งในกลุ่มเรื่องที่ต้องวิจัยเร่งด่วน รายงานของสถาบันวิจัยยางในปี 2553 สามารถส่งออกผลิตภัณฑ์ยางไทย อาทิ ยางซีด ยางปูพื้น สายพาน ยางยานพาหนะ และยางในรถยนต์ เป็นต้น นำเงินตราเข้าประเทศ ได้มากถึง 156,311 ล้านบาท ในส่วนของภาครัฐจึงส่งเสริมงานวิจัยด้านนี้ให้มากยิ่งขึ้น ผลิตภัณฑ์ยางแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตามลักษณะของวัตถุดิบที่ใช้ คือ กลุ่มผลิตภัณฑ์จากวัตถุดิบที่เป็นยางแห้งและน้ำยาง ยางเป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยไฮโดรเจนและคาร์บอน มีความยืดหยุ่นสูง แต่ยางธรรมชาติมีข้อด้อย คือ การเสียดสีสภาพภายใต้แสงแดด ออกซิเจน และโอโซนจึงมีข้อจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลต่ำและลักษณะทางกายภาพไม่เสถียรต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมาก กล่าวคือยางธรรมชาติจะอ่อนนุ่มและเหนียวเหนอะเมื่อได้รับความร้อน แต่แข็งเปราะเมื่ออุณหภูมิต่ำ ด้วยเหตุนี้การใช้ประโยชน์จำเป็นต้องมีการบดผสมยางกับสารเคมีต่าง ๆ เช่น สารกระตุ้น สารตัวเร่ง สารตัวเติม เป็นต้น หลังบดผสมแล้วเรียกยางคอมปาวด์จะถูกนำไปขึ้นรูปในแม่พิมพ์ภายใต้ความร้อนและความดัน เพื่อให้ยางคงรูปด้วยกระบวนการ วัลคาไนเซชัน (Vulcanization) ซึ่งสมบัติของยางจะเสถียรไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น

ข้าวเป็นอาหารหลักของไทยปัจจุบันมีการปลูกและเก็บเกี่ยวหลายครั้งต่อปี เพื่อใช้บริโภคและส่งออก ซึ่งในทุกกิจกรรมตั้งแต่การเตรียมดิน การปลูก การดูแลรักษา และการเก็บเกี่ยว ต้องมีเครื่องจักรกลเกษตรเข้ามาใช้งานทุกขั้นตอนการเก็บเกี่ยวข้าวมากกว่าร้อยละ 70 ของพื้นที่ปลูกข้าวจะใช้เครื่องเกี่ยวนวด ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งถูกออกแบบโดยรวมระบบการทำงานเกี่ยวและนวดเข้าด้วยกัน เมื่อได้ข้าวเปลือกจึงลำเลียงใส่ถังเก็บที่อยู่ในเครื่องเดียวกันหรือบรรจุใส่กระสอบ มีระบบขับเคลื่อนแบบแทรกเตอร์ดินตะขบ สามารถทำงานได้รวดเร็วและลดความเหนื่อยยาก และลดต้นทุนการเก็บเกี่ยวเมื่อเทียบกับการใช้แรงงานคน โดยเฉพาะพื้นที่ภาคกลางซึ่งส่วนใหญ่ทำนาปรังมีกิจกรรมเกี่ยวเกี่ยวหลายครั้งต่อปี ในปี พ.ศ. 2536 นับเป็นช่วงแรกที่เครื่องเกี่ยวนวดเริ่มได้รับความนิยมและขยายตัวอย่างรวดเร็ว ราคาเครื่องละประมาณ 800,000 บาท ใช้ดินตะขบที่ทำจากไม้เนื้อแข็ง เมื่อเคลื่อนที่บนถนนจึงไม่ก่อให้เกิดปัญหาผิวถนนเสียหาย แต่มีอายุการใช้งานต่ำต้องซ่อมแซมบ่อยครั้งทำให้มีการพัฒนาวัสดุเป็นเหล็ก ซึ่งมีความทนทานต่อการใช้งานได้ดี แต่เมื่อนำมาเคลื่อนที่บนถนนทำให้ผิวถนนเสียหาย จากรายงานของ วินิต และคณะ (2551) มีจำนวนเครื่องเกี่ยวนวดเพิ่มมากขึ้นถึง 10,000 เครื่อง และการเก็บเกี่ยวเกิดเป็นวัฏจักรซ้ำกันทุกปี ทำให้เกิดปัญหาขัดแย้งระหว่างเจ้าของเครื่องเกี่ยวนวดกับหน่วยงานท้องถิ่นที่ดูแลถนน จนหลายท้องถิ่นต้องใช้มาตรการทางกฎหมายเพื่อแก้ปัญหาผิวถนน

เสียหาย การนำมาขับเคลื่อนไปบนถนนจำเป็นต้องมีแผ่นยางรองรับเพื่อป้องกันผิวถนนเสียหายจากการกดทับของดินตะขาบที่สร้างจากเหล็ก ดังแสดงในภาพที่ 2 ทำให้สูญเสียต้นทุนด้านเวลาขณะเคลื่อนย้าย

จากปัญหาดังกล่าว จึงมีแนวคิดพัฒนาขบวนดินตะขาบจากยางธรรมชาติเพื่อลดเวลาการเคลื่อนย้ายและลดความเสียหายต่อผิวถนน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเกี่ยววนวด รวมทั้งสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัตถุดิบยางธรรมชาติโดยการนำมาแปรรูปและใช้ในประเทศต่อไป



ภาพที่ 1 เครื่องเกี่ยววนวด



ภาพที่ 2 ดินตะขาบ

วัตถุประสงค์

พัฒนาขบวนดินตะขาบเครื่องเกี่ยววนวด ให้สามารถนำไปเคลื่อนที่บนถนนลาดยางโดยไม่ทำให้ผิวถนนเสียหาย เพื่อลดการสูญเสียเวลาและค่าใช้จ่ายขณะเคลื่อนย้ายเข้าเก็บเกี่ยวผลผลิตในแปลง

วิธีดำเนินการ

อุปกรณ์

- 1.เครื่องอัดยางคงรูป
- 2.เครื่องมือวัดสมบัติทางกายภาพของยาง
- 3.ยางแผ่นดิบชั้น 3 และสารเคมี เช่น เชม์ดำ กำมะถันและสารตัวเร่ง CBS
- 4.เครื่องมือวัดความต้านทานการแทงทะลุของดิน
- 5.เครื่องมือบันทึกข้อมูล เช่น คอมพิวเตอร์ กล้องถ่ายภาพ เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
- 6.เครื่องจักรโรงงานสำหรับสร้างต้นแบบ เช่น เครื่องกลึง เครื่องเจาะ เครื่องเชื่อม เครื่องกัด CNC

วิธีการ

- 1.ออกแบบสูตรยาง
- 2.ทดสอบสมบัติทางกายภาพในห้องปฏิบัติการ
- 3.ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบขบวนดินตะขาบ
- 4.ออกแบบ สร้าง ทดสอบในห้องปฏิบัติการ

5.ทดสอบในภาคสนาม และวิเคราะห์ผล

6.สรุปผล และจัดทำรายงาน

7.เผยแพร่ให้แก่ผู้ที่เกี่ยวข้อง

เวลาและสถานที่ดำเนินการ

เริ่มต้นดำเนินงานระหว่าง ตุลาคม 2552 สิ้นสุด กันยายน 2554 ที่ สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม
สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร และแปลงของเกษตรกร

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

การพัฒนายางดินตะขบเครื่องเกี่ยววนวด มีสองกิจกรรม คือกิจกรรมพัฒนาสูตรยางความทนทานสูง
ดำเนินการโดยนักวิทยาศาสตร์สถาบันวิจัยยาง และกิจกรรมการพัฒนายางดินตะขบเครื่องเกี่ยววนวด
ดำเนินการโดยวิศวกรของสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม มีขั้นตอนดังนี้ (1) การศึกษาข้อมูลสภาพการใช้งาน
เครื่องเกี่ยววนวด (2) เพื่อนำข้อมูลมาออกแบบรูปทรงทางกายภาพของยางดินตะขบ (3) ออกแบบสูตรยางให้
มีสมบัติตามที่กำหนด (4) ออกแบบแม่พิมพ์สำหรับใช้อัดขึ้นรูปเป็นยางดินตะขบ (5) นำไปติดตั้งกับ
ดินตะขบเครื่องเกี่ยววนวดและทดสอบในห้องปฏิบัติการ (6) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ร่วมกันระหว่าง
นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรการเกษตร เพื่อปรับปรุงการออกแบบให้ดีที่สุด (7) นำยางดินตะขบไปทดสอบ
บนฟิวถนนลาดยาง (8) และทดสอบภาคสนามในสภาพไร่นา โดยใช้แปลงของหน่วยงานกรมวิชาการเกษตร
และแปลงของเกษตรกร (9) สรุปผลการวิจัยและเผยแพร่ให้ผู้เกี่ยวข้องต่อไป

กิจกรรมที่ 1 พัฒนาสูตรยางความทนทานสูง

1.การออกแบบสูตรยาง

ดำเนินการออกสูตรยางโดยนักวิทยาศาสตร์ของสถาบันวิจัยยาง จำนวน 14 สูตร โดยใช้ยางแผ่น
รมควันชั้น 3 บดผสมกับสารเคมี ได้แก่ สารกระตุ้น สารตัวเร่ง สารตัวเติม และสารเคมีอื่น ๆ ด้วยเครื่องบด
ผสมแบบ 2 ลูกกลิ้งจนเข้ากัน และนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพในห้องปฏิบัติการเพื่อหาสูตรยางที่มี
คุณสมบัติตามต้องการโดยอ้างอิงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ยางผสมเสร็จสำหรับการหล่อดอกยาง
แบบร้อนของยางรถยนต์เชิงพาณิชย์ มอก. 2478-2552

2.ทดสอบสมบัติทางกายภาพในห้องปฏิบัติการ

ค่าใช้ผลที่ใช้อ้างอิงตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 2478-2552 ประกอบด้วยค่าความแข็ง ค่าความ
ต้านทานแรงดึง ระยะยืดจนขาด โมดูลัสที่ระยะยืด 300 เปอร์เซ็นต์ และค่าความถ่วงจำเพาะเป็นต้น ดังแสดง
ในตารางที่ 1 จากการศึกษาชนิดของสารตัวเร่ง พบว่า สูตรยาง รหัส Tin 1 ที่มีการใช้สารตัวเร่ง คือ CBS มี
สมบัติทางกายภาพผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.2478-2552 จึงได้ทำการเลือกสูตรยาง รหัส Tin 1 มาผลิต
ยางดินตะขบ โดยการอัดขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ที่ออกแบบเฉพาะ ซึ่งเป็นแบบฟิวหน้าแบน นำไปติดตั้งกับ

เครื่องเกี่ยวขนาดและทดสอบเคลื่อนที่บนผิวถนนลาดยาง พบว่าสูตรยางรหัส Tin 1 เกิดการฉีกขาดที่บริเวณหน้าและขอบของยางดินตะขามมากกว่าร้อยละ 80 ดังแสดงในภาพที่ 3

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพ

สมบัติ	มอก.2478-2552	Tin 1	Tin 2	Tin 3	Tin 4	Tin 5	Tin 6
Cure time (T_{90} ,min)		4.08	3.42	5.92	10.42	9.75	4.88
Before ageing							
Tensile strength (MPa)	>20	27.4	15.0	27.1	24.5	23.8	23.4
Elongation at break (%)	> 450 %	512	332	592	369	441	409
Modulus at 300 % (MPa)	>9	10.7	13.0	7.7	16.9	12.1	16.7
Hardness (Shore A)	60 ถึง 70	65.6	59.2	50.4	62.5	57.9	60.4
After ageing at 70 °C/168 hr							
Change of Tensile strength (%)	ไม่เกิน 10 %	-7.7	-58.7	-4.4	-10.6	-20.2	-42.7
Change of Elongation at break (%)	ไม่เกิน 15 %	-15.8	-56.0	-19.3	-24.6	-9.07	-31.78
Change of Hardness (Shore A)	ไม่เกิน +5	-6.3	+3.3	+7.6	-0.1	+2.9	+4.0



ภาพที่ 3 การฉีกขาดบริเวณผิวหน้ายางดินตะขาม

จากนั้นได้ทำการปรับปรุงสูตรยางใหม่ โดยทำการแปรชนิดและปริมาณของสารตัวเติม พบว่าสูตรยาง รหัส Tin 13 มีสมบัติทางกายภาพผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.2478-2552 ดังแสดงในตารางที่ 2 หลังจากนั้นนำมาผลิตยางดินตะขามด้วยแม่พิมพ์แบบผิวหน้าแบน และทดสอบเคลื่อนที่บนผิวถนนลาดยาง พบว่าผิวถนนไม่เกิดการเสียหาย แต่เกิดปัญหายางดินตะขามหลุดออกจากดินตะขามของเครื่องเกี่ยวขนาด เนื่องจากมีพื้นที่สัมผัสกับผิวถนนมากเกินไป ซึ่งปัญหาเกิดจากการออกแบบทางวิศวกรรมยังไม่เหมาะสม วิศวกรจึงดำเนินการออกแบบใหม่อีกครั้ง โดยปรับปรุงทรงของยางดินตะขาม และสร้างแม่พิมพ์สำหรับใช้อัดขึ้นรูป และนำไปทดสอบการใช้งานในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม จนได้สูตรยางความทนทานสูงที่เหมาะสมสำหรับผลิตเป็นยางดินตะขาม

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพ

สมบัติ	มอก. 2478-2552	Tin 7	Tin 8	Tin 9	Tin 10	Tin 11	Tin 12	Tin 13	Tin 14
Cure time(T_{c90} ,min)		3.92	3.88	3.42	5.92	5.75	5.83	4.92	4.67
Before ageing									
Tensile strength (MPa)	>20	14.9	11.3	8.8	24.2	22.5	14.5	29.8	24.8
Elongation at break (%)	> 450 %	321	274	252	548	564	458	471	455
Modulus at 300 % (MPa)	>9	13.2	0.00	0.00	8.2	7.7	6.8	17.3	15.0
Hardness (Shore A)	60 ถึง 70	67	71	72	56	60	64	67.5	69.8
After ageing at 70 °C/168 hr									
Change of Tensile strength (%)	ไม่เกิน 10 %	-29.5	-19.5	-19.3	-16.9	-30.2	-3.5	+1.1	-3.4
Change of Elongation at break (%)	ไม่เกิน 15 %	-25.6	-23.7	-18.3	-23.0	-35.5	-13.3	-1.9	-4.8
Change of Hardness (Shore A)	ไม่เกิน +5	-26.4	-35.1	-41.5	+5.0	+5.0	+6.0	+1.0	+2.0

กิจกรรมที่ 2 การพัฒนาขดดินตะขบเครื่องเกี่ยวนวด

1. ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบขดดินตะขบ

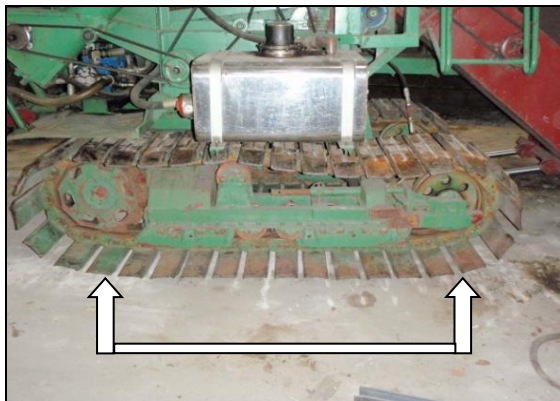
สาเหตุที่เมื่อนำเครื่องเกี่ยวนวดไปเคลื่อนที่บนถนนแล้วทำให้ผิวถนนเสียหาย เกิดจากดินตะขบทำจากเหล็กเป็นวัสดุแข็งแรง กระทั่งเคลื่อนที่บนผิวถนนทำให้เกิดแรงกระทำในลักษณะตะกุกผิวถนน (Grousers) เนื่องจากเป็นเครื่องจักรกลเกษตรขนาดใหญ่ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1428-2540 ได้กำหนดแรงกดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ต้องไม่เกิน 2.94 เมกะพาสคัล หรือ 29.98 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร แต่เนื่องจากมีเพียงบางส่วนดินตะขบเท่านั้นที่สัมผัสผิวถนนทำให้มีแรงกดบนดินตะขบที่กระทำกับพื้นสูง (Ground Contact Pressure) ทำให้เกิดความเค้น (Stress: σ_u) ที่กระทำต่อผิวถนนมากกว่าหลายเท่าตัว จนเกินความต้านแรง (Strength: σ_y) ของวัสดุที่ใช้ถนน จึงเกิดการเปลี่ยนรูปหรือทำให้ผิวถนนเป็นรอยเสียหาย การลดแรงที่กระทำกับผิวถนนมี 2 วิธี หากพิจารณาจากสมการ $P = F/A$ ได้แก่การเพิ่มพื้นที่ของดินตะขบให้มากขึ้น หรือลดน้ำหนักของเครื่องเกี่ยวนวดให้น้อยลงซึ่งทำได้ยากเนื่องจากมีชิ้นส่วนกลไกซับซ้อน จึงสนใจในส่วนของการพัฒนาดินตะขบที่ใช้วัสดุทำจากเหล็กกล้าผสมยาง

เหล็กที่ใช้ควรเป็นเหล็กเหนียวคาร์บอนต่ำ นำมาอัดขึ้นรูปแบบเย็นเพื่อให้มีความต้านแรงสูงขึ้น และนำมาเชื่อมประกอบเป็นดินตะขบ ส่วนยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์มีสมบัติเด่นหลายประการ โดยเฉพาะความยืดหยุ่น เมื่อมีแรงดึงมากระทำกับยางที่คงรูปแล้วจะสามารถยืดตัวได้หลายเท่าของความยาวเดิมหากปล่อยแรงออกสามารถกลับคืนสู่รูปร่างและความยาวเดิมได้ นอกจากนี้ยังมีสมบัติด้านอื่น เช่น เมื่อนำไปติดกับวัสดุชนิดอื่นทำให้ยางมีความแข็งแรงสูงขึ้น จึงสามารถนำไปใช้งานด้านวิศวกรรมได้หลากหลาย ส่วนแรงที่กระทำกับดินตะขบนั้นเป็นแบบวัฏจักร ทำให้เกิดความเค้นกระทำซ้ำ ๆ สลับไป-มา เป็นวงรอบ ซึ่งค่าความเค้นสูงสุดในชิ้นงานที่มีการล้า จะมีค่าน้อยกว่าความต้านแรงของวัสดุ จึงใช้เป็นข้อพิจารณาหลักในการออกแบบ ดังนั้นต้องออกแบบให้ยางดินตะขบสามารถรับน้ำหนักเครื่องเกี่ยวนวดและถ่ายเทลงพื้นถนนโดย

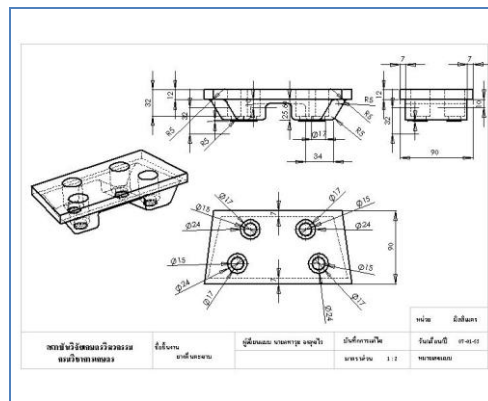
ไม่ทำให้ผิวถนนเสียหาย ผลิตได้ง่ายมีราคาที่เหมาะสม จึงกำหนดแนวทางให้มีรูปร่างที่สามารถติดตั้งเข้าในช่องว่างของดินตะขาบ และยึดด้วยสกรูเหล็กทนแรงดึงสูง

2.การออกแบบ สร้าง ทดสอบ และปรับปรุง ในห้องปฏิบัติการ

การออกแบบยางดินตะขาบ พิจารณาจากลักษณะของแรงกระทำกับผิวถนน ขณะเครื่องเกี่ยววนวดเคลื่อนที่ผ่าน เพื่อนำข้อมูลมาออกแบบแม่พิมพ์อัดขึ้นรูป ซึ่งการคำนวณหาปริมาณของแรงกดจากดินตะขาบ โดยใช้เครื่องเกี่ยววนวดของสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม เป็นแบบที่ใช้แรงงานคนรองขั่วเปลือกด้านข้าง เพื่อลดการพิจารณาภาระของน้ำหนักของผลิตผลทางเกษตรที่เกี่ยวเกี่ยว ที่จะเป็นตัวแปรสำคัญต่อแรงกระทำกับดินตะขาบ ซึ่งโดยปกติแล้วถ้าเป็นเครื่องเกี่ยววนวดที่มีถังบรรจุ จะทำให้ภาระที่กระทำต่อพื้นที่เพิ่มขึ้นอีกประมาณ 2,000-3,000 กิโลกรัม โดยเครื่องเกี่ยววนวดที่นำมาทดสอบมีน้ำหนัก 4,200 กิโลกรัม ใช้ระบบขับเคลื่อนแบบไฮดรอสแตติก ต้นกำลังเครื่องยนต์ขนาด 120 แรงม้า มีจำนวนดินตะขาบข้างละ 34 ชั้น ความยาว 60 เซนติเมตร ความกว้าง 11 เซนติเมตร มีพื้นที่ 660 ตารางเซนติเมตร มีพื้นที่รับแรงในแนวดิ่งจำนวน 12 ชั้น แสดงในภาพที่ 4 และมีพื้นที่ว่างสำหรับจับยึดโซ่ที่สามารถติดตั้งยางดินตะขาบ 153 ตารางเซนติเมตร จึงนำมาเป็นข้อมูลในการออกแบบ จากการคำนวณพบว่า พื้นที่ที่กระทำต่อพื้นที่สัมผัสของดินตะขาบมีขนาด 15,840 ตารางเซนติเมตร จึงจะทำให้แรงที่กระทำต่อพื้นดินมีค่าเท่ากับ 0.026 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร หรือ 0.265 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ซึ่งภายใต้เงื่อนไขของการออกแบบ คณะผู้วิจัยได้กำหนดให้ยางดินตะขาบมีความสามารถในการรับภาระเท่ากับดินตะขาบ ทำให้ต้องรับภาระเพิ่มมากขึ้นอย่างน้อย 4.31 เท่า เนื่องจากมีพื้นที่เพียง 153 ตารางเซนติเมตร โดยภาระที่รับมีค่าเท่ากับ 1.14 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร เมื่อรวบรวมข้อมูลทางกายภาพครบถ้วนแล้ว จึงนำข้อมูลไปออกแบบรูปทรงทางเรขาคณิต และเขียนแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (CAD) แสดงในภาพที่ 5 ได้เป็นรูปทรง 3 มิติ และแปลงข้อมูลเป็นพิกัดระยะทาง 3 มิติ (G-code) เพื่อนำข้อมูลใส่เครื่องกัดโลหะที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ (CNC) เพื่อสร้างแม่พิมพ์ แสดงในภาพที่ 6 และนำยางธรรมชาติผสมสารเคมี ประกอบด้วย เขม่าดำเกรด 330 จำนวน 50 phr สารตัวเร่ง CBS และกำมะถัน มาอัดขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ที่ อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส แสดงในภาพที่ 7 ได้ยางดินตะขาบจำนวน 68 ชิ้น นำไปติดตั้งกับดินตะขาบโดยจับยึดด้วยสกรูทำจากเหล็กทนแรงดึงสูงขนาด M 12x1.75 ร่วมกับแหวนสปริง จำนวน 4 ตัว แสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 4 พื้นที่รับแรงกด



ภาพที่ 5 แบบยางตีนตะขา



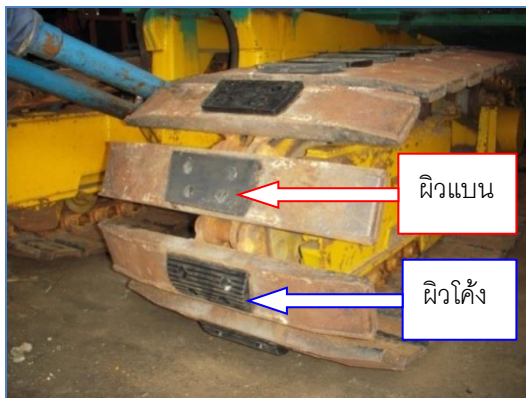
ภาพที่ 6 แม่พิมพ์



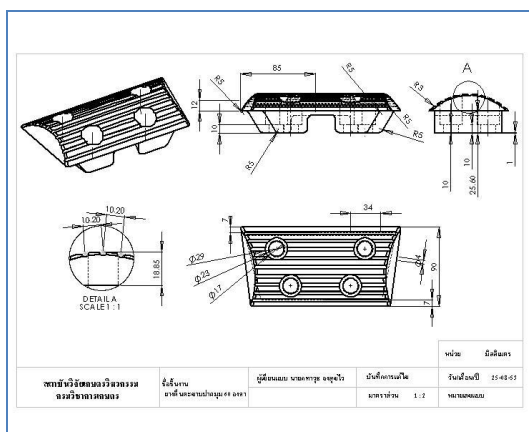
ภาพที่ 7 การอัดขึ้นรูป

และนำมาทดสอบการเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง บริเวณข้างสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม ผลการทดสอบครั้งที่ 1 ยางตีนตะขาไม่สามารถรับแรงได้ เกิดการฉีกขาดมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ จึงออกแบบสูตรยางให้มีความเหนียวมากกว่าเดิม และการทดสอบครั้งที่ 2 โดยกำหนดให้เครื่องเกี่ยววนวดเคลื่อนที่ไป-กลับ ระยะทาง 50 เมตร และเลี้ยวที่บริเวณกลับตัวด้วยลักษณะของการใช้งานแบบปกติของเครื่องเกี่ยววนวด จำนวน 20 เที้ยว ใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ทางตรงเฉลี่ย 0.86 เมตร/วินาที (3.1 กิโลเมตร/ชั่วโมง) รอบเครื่องยนต์ 1,500 รอบ/นาที รวมระยะทาง 1 กิโลเมตร ผลการทดสอบยางตีนตะขาสามารถรองรับน้ำหนักเครื่องเกี่ยววนวดได้โดยไม่ทำให้พื้นถนนเสียหายเป็นรอย ดังแสดงในภาพที่ 9 แต่พบปัญหาขณะเลี้ยวมียางตีนตะขาหลุดออกจากจุดจับยึด เนื่องจากด้านหน้าของยางตีนตะขามีพื้นที่สัมผัสกับผิวถนนมากเกินไป ทำให้มีแรงกระทำที่จุดจับยึดมากเกินไป เกิดการฉีกขาด ดังแสดงในภาพที่ 10 จึงปรับปรุงโดยออกแบบให้มีส่วนโค้งเพื่อลดพื้นที่สัมผัสกับผิวถนน และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เขียนแบบเป็นรูปทรง 3 มิติ แล้วโอนถ่ายพิกัดไปสร้างแม่พิมพ์ ดังแสดงในภาพที่ 11

หลังจากปรับปรุงแม่พิมพ์ยางดินตะขบให้มีส่วนโค้งด้านหน้าแล้ว จึงนำมาขยกรรรมชาติที่ผสมกับสารเคมีตามสูตรที่กำหนดและอัดขึ้นรูป จำนวน 68 ชิ้น มาติดตั้งกับดินตะขบ และนำไปทดสอบเก็บเกี่ยวข้าวโพดที่ศูนย์วิจัยพืชสวนเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี จำนวน 50 ไร่ แสดงในภาพที่ 12 สภาพพื้นที่ปลูกเป็นดินทราย พบปัญหายางดินตะขบหลุดออกจากดินตะขบ สาเหตุเกิดจากขณะที่เครื่องเกี่ยววนวดเลี้ยวกลับตัวที่หัว-ท้ายแปลง จากคุณลักษณะการเคลื่อนที่ของระบบช่วงล่างเครื่องเกี่ยววนวด จำเป็นต้องหยุดชุดดินตะขบด้านใดด้านหนึ่งเพื่อให้เกิดการเลี้ยว ทำให้เกิดแรงกระทำจากพื้นดินที่ด้านข้างดันให้ยางดินตะขบค่อย ๆ โค้งงอของด้านที่ใหญ่ เมื่อจำนวนชั่วโมงทำงานมากขึ้นดินจึงดันยางดินตะขบหลุดออกจากดินตะขบ จึงนำข้อมูลมาปรับปรุงแม่พิมพ์อีกครั้งให้มีมุมเอียงด้านข้างจากเดิมมุม 90 องศา ลดลงเป็น 45 องศา แสดงในภาพที่ 13 และเพิ่มขนาดของบ่าผู้จับยึดจากเดิม 18 เป็น 24 มิลลิเมตร แล้วนำแม่พิมพ์มาอัดขึ้นรูป และติดตั้งกับดินตะขบแล้วนำไปทดสอบเพื่อตรวจสอบปัญหาแรงดันด้านข้างของยางดินตะขบพบว่าใช้งานได้ดี จึงสรุปผลรูปทรงของยางดินตะขบที่ปรับปรุงขั้นสุดท้าย ดังแสดงในภาพที่ 14 และนำไปทดสอบภาคสนาม



ภาพที่ 12 การทดสอบเก็บเกี่ยวข้าวโพด



ภาพที่ 13 แบบยางดินตะขบมุมเอียง 45 องศา



ภาพที่ 14 ยางดินตะขบที่ปรับปรุงขั้นสุดท้าย



ภาพที่ 15 ติดตั้งในห้องปฏิบัติการ



ภาพที่ 16 ยางดินตะขาบที่ติดตั้งแล้ว



ภาพที่ 17 เคลื่อนที่บนถนนลาดยาง
โดยไม่ทำให้ผิวถนนเสียหาย



ภาพที่ 18 การหาเปอร์เซ็นต์การสิ้นไถล

3.ทดสอบในภาคสนาม และวิเคราะห์ผล

การทดสอบบนถนนลาดยาง

เพื่อนำข้อมูลมาประเมินอายุการใช้งานและหาอัตราการสึกหรอ โดยนำยางดินตะขาบมาติดตั้งกับเครื่องเกี่ยวพด แสดงในภาพที่ 15 และ 16 แล้วนำไปทดสอบการเคลื่อนที่บนผิวถนนลาดยางพบว่าไม่ทำให้ผิวถนนเสียหาย ดังภาพที่ 17 และหาเปอร์เซ็นต์การสิ้นไถลบนผิวถนนลาดยาง เปรียบเทียบกับพื้นนาและพื้นไร่ แสดงในภาพที่ 18 โดยกำหนดความเร็วการเคลื่อนที่เท่ากับ 4 กิโลเมตร/ชั่วโมง

การทดสอบในสภาพดินนา

ทดสอบในแปลงของเกษตรกร บริเวณบ้านหนองถ่าน ตำบลหนองถ่าน อำเภออุทุมพร จังหวัดสุพรรณบุรี สภาพแปลงนาข้าวเก็บเกี่ยวแล้ว 1 วัน มีเศษฟางปกคลุมเล็กน้อย พื้นเป็นดินเหนียวอ่อนนุ่ม ไม่มีน้ำขัง ดังภาพที่ 19 โดยกำหนดพื้นที่ทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ความกว้าง 30 เมตร ความยาว 75 เมตร และที่ว่างสำหรับเลี้ยวกับหัว-ท้ายแปลง 3 เมตร มีพื้นที่รวมทั้งหมด 2,250 ตารางเมตร ดังแสดงในภาพที่ 20 ใช้ความเร็วการเก็บเกี่ยวปกติ 3-4 กิโลเมตร/ชั่วโมง โดยกำหนดความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,500 รอบ/นาที นำเครื่องเกี่ยวพดเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงระยะทาง 75 เมตร และเลี้ยวกลับตัวที่หัว-ท้ายแปลง จำนวน 4.5 ที่ยว้าง

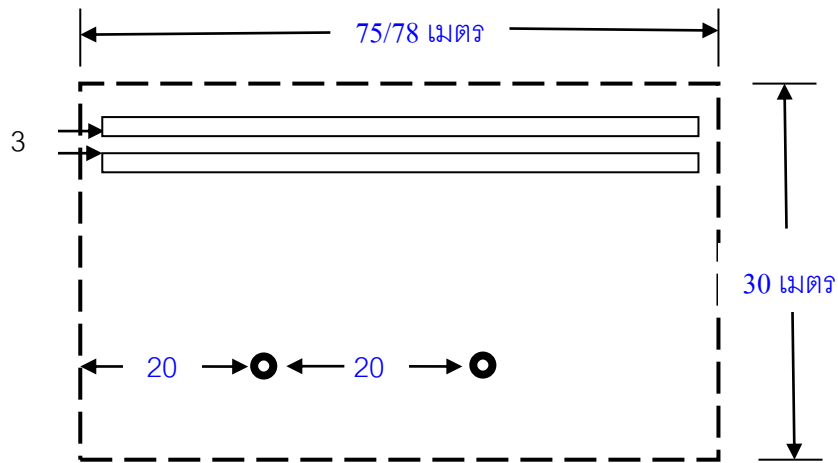
ได้พื้นที่เกือบ 1 ไร่ (หน้ากว้างเก็บเกี่ยว 2.3 เมตรx(75x2x4.5)) เท่ากับ 1,552.5 ตารางเมตร แล้วหยุดตรวจสอบการสึกหรอโดยการตรวจพินิจด้วยสายตารางม 7 ครั้ง หรือคิดเป็นพื้นที่ประมาณ 7 ไร่ พบว่ายางดินตะขามีอัตราการสึกหรอน้อยมากเพราะสภาพพื้นนาเป็นดินเหนียวอ่อน หากต้องการทราบผลอายุการใช้งาน ต้องใช้เวลาและเสียค่าใช้จ่ายสูง คณะผู้วิจัยจึงเปลี่ยนสภาวะการทดสอบเพื่อเร่งการสึกหรอ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟความความต้านทานการแท่งทะลุของดินนา แสดงในภาพที่ 21 ค่าความต้านทานการแท่งทะลุความลึก 5 เซนติเมตร ซึ่งเป็นส่วนที่มีผลกับการสึกหรอของยางดินตะขาบ เท่ากับ 0.3 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร เมื่อเทียบกับดินไร่จะแข็งกว่ามีค่าความต้านทานการแท่งทะลุความลึก 5 เซนติเมตร เท่ากับ 1.6 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร

การทดสอบในสภาพดินไร่

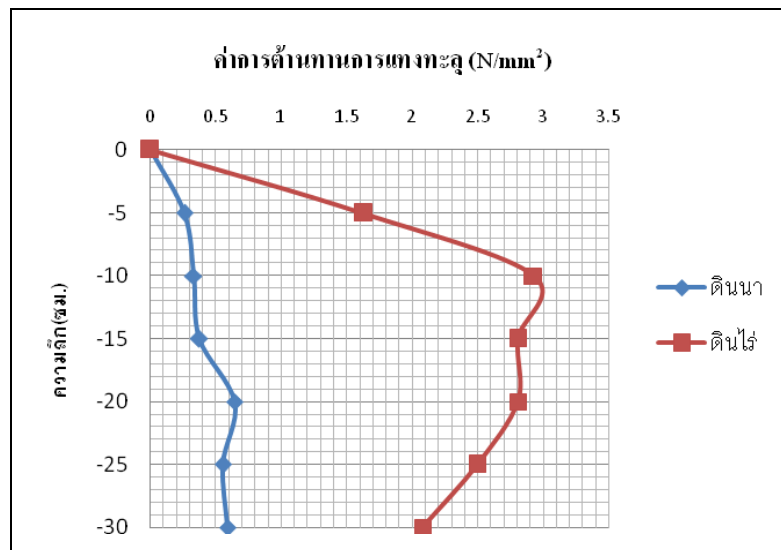
โดยสภาพไร่เป็นดินเหนียวดำเนินการบริเวณบ้านลาดกระทิง ตำบลลาดกระทิง อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา ดังแสดงในภาพที่ 22 โดยกำหนดเงื่อนไขและรูปร่างของพื้นที่เช่นเดียวกันกับดินนา ก่อนทดสอบทำเครื่องหมายที่ดินตะขาบด้านละ 5 ชิ้น ทั้ง 2 ด้าน แล้วถอยยางดินตะขาบตรงจุดที่ทำเครื่องหมายรวม 10 ชิ้น ดังแสดงในภาพที่ 23 นำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง บันทึกข้อมูล และนำกลับใส่ที่เดิม โดยใช้ความเร็วการเคลื่อนที่ 4.21-4.43 กิโลเมตร/ชั่วโมง นำไปทดสอบได้ระยะทาง 225 กิโลเมตร เมื่อนำมาเทียบเป็นพื้นที่เก็บเกี่ยว ((225x1,000เมตร)x2.3เมตร) เท่ากับ 517,500/1,600 คิดเป็นพื้นที่ 323 ไร่ หรือคิดเทียบเท่าแปลงนา 1,721 ไร่ และถอยยางดินตะขาบนำมาทำความสะอาดและชั่งน้ำหนักที่หายไปเพื่อนำมาหาอัตราการสึกหรอ แสดงในตารางที่ 4 มีอัตราการสึกหรอประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลกระทบจากการลื่นไถลเมื่อใส่ยางดินตะขาบยังมีประสิทธิภาพในการตะกุกดิน (Grouser) ได้สูง โดยมีเปอร์เซ็นต์การลื่นไถลเพียง 2.51 เปอร์เซ็นต์ ในดินนาเมื่อเทียบกับพื้นถนนลาดยาง ดังแสดงในตารางที่ 5



ภาพที่ 19 การทดสอบสภาพดินนาในแปลงเกษตรกร จังหวัดสุพรรณบุรี



ภาพที่ 20 ลักษณะแปลงทดสอบ



ภาพที่ 21 กราฟเปรียบเทียบค่าความต้านทานการแทงทะลุของดินนา และดินไร่



ภาพที่ 22 การทดสอบสภาพดินไร่



ภาพที่ 23 จุดที่ทำเครื่องหมาย

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบการสึกหลอของยางดินตะขาบในสภาพดินไร่

ชั้นที่	น้ำหนักก่อนใช้งาน (กรัม)		น้ำหนักหลังใช้งาน (กรัม)	
	ข้างซ้าย	ข้างขวา	ข้างซ้าย	ข้างขวา
1	327.10	325.10	310.70	308.90
2	325.70	324.90	309.50	308.70
3	325.20	326.00	309.00	310.90
4	326.10	327.20	309.80	307.90
5	326.80	325.40	310.50	309.10
น้ำหนักเฉลี่ย	326.18	325.72	309.90	309.10

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์การลื่นไถลในสภาพพื้นดินนาและดินไร่เทียบกับพื้นถนนลาดยาง

สภาพพื้นที่	เวลา (วินาที)					ค่าเฉลี่ย	เปอร์เซ็นต์การลื่นไถล
	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	รอบที่ 4	รอบที่ 5		
พื้นถนนลาดยาง	15.62	15.4	15.74	15.45	15.57	15.56	0
พื้นดินนา	15.59	15.06	17.24	16.33	15.51	15.95	2.51
พื้นดินไร่	16.23	16.26	16.38	16.32	16.28	16.29	4.74

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาสูตรยางธรรมชาติผสมกับสารเคมี ให้มีสมบัติทางกายภาพสอดคล้องกับมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 2478-2552 มีค่าความแข็ง 68.8 Shore A จากนั้นนำสูตรที่พัฒนาได้ไปผลิตยางดินตะขาบโดยการอัดขึ้นรูปร้อนด้วยแม่พิมพ์ที่ออกแบบเฉพาะ ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ส่วนผลการทดสอบใช้งานกับเครื่องเกี่ยวขนาด 4.2 ตัน เมื่อนำไปขับเคลื่อนบนถนนลาดยางพบว่าไม่ทำให้ผิวถนนลาดยางเสียหาย จึงทดสอบในแปลงนามีค่าความต้านทานการแทรกทะลุ 0.3 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร ความเร็วการเคลื่อนที่ 4.17-4.93 กิโลเมตร/ชั่วโมง บนพื้นที่ 7.2 ไร่ พบว่ายางดินตะขาบมีอัตราการสึกหรอน้อยมาก จึงเร่งอัตราการสึกหรอโดยทดสอบในสภาพไร่ซึ่งดินแข็งกว่ามีค่าความต้านทานการแทรกทะลุ 1.6 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร ใช้ความเร็วการเคลื่อนที่ 4.21-4.43 กิโลเมตร/ชั่วโมง บนพื้นที่ 323 ไร่ หรือคิดเทียบเท่าแปลงนา 1,721 ไร่ เมื่อนำยางดินตะขาบมาตรวจสอบมีอัตราการสึกหรอประมาณร้อยละ 5 เท่านั้น

การประเมินใช้งานในเชิงพาณิชย์

ต้นทุนการผลิต

เพื่อเป็นแนวทางการนำยางดินตะขบไปใช้งานในสภาวะจริงและไม่คิดค่าแม่พิมพ์ขึ้นรูป ราคา 50,000 บาท ผลิตงานได้ 100,000 ชิ้น คิดราคาต่อหน่วย (50,000/100,000) เท่ากับ 0.50 บาท/ชิ้น ซึ่งต้นทุนการผลิต จะแปรผันตามปริมาณชิ้นงาน หากผลิตจำนวนมากราคาต่อหน่วยจะต่ำลง โดยคิดเฉพาะ (1) ค่ายางธรรมชาติและสารเคมี 30 บาท/ชิ้น (2) ค่าแรงอัดขึ้นรูป 5 บาท/ชิ้น ใช้ทั้งหมด 68 ชิ้น เป็นเงิน (30x5x68) เท่ากับ 10,200 บาท

ความคุ้มค่า

เมื่อคิดในกรณีที่เจ้าของเครื่องเกี่ยวвод ต้องจ่ายเงินซื้อ ยางดินตะขบ 10,200 บาท อายุการใช้งานประมาณ 1 ปี หรือมากกว่า เมื่อเทียบรายได้ประมาณ 10,000-15,000 บาท/วัน (โดยทั่วไปเครื่องเกี่ยวводจะทำงานปีละ 2,000 ไร่ ความสามารถในการเก็บเกี่ยว 20-30 ไร่/วัน) เทียบกับความสะดวกและไม่ต้องค่าใช้จ่ายขณะเคลื่อนย้าย 2,000 บาท/ชั่วโมง จะเห็นว่ามีความคุ้มค่าที่จะซื้อไปใช้งาน

การนำไปใช้ประโยชน์

1. ได้วิธีแปรรูปยางธรรมชาติให้มีมูลค่าสูงขึ้นโดยนำไปผลิตเป็นยางดินตะขบเครื่องเกี่ยวводที่มีการผลิตและใช้งานในประเทศ
2. นำไปจัดแสดงในงาน มหกรรมพืชสวนโลกเฉลิมพระเกียรติ ฯ ราชพฤกษ์ 2554 ณ จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างเดือน มกราคม ถึง มีนาคม 2555
3. ขยายผลการวิจัยโดยร่วมกับบริษัทผู้ผลิตเครื่องเกี่ยวводในจังหวัดพิษณุโลกนำยางดินตะขบไปใช้กับเครื่องเกี่ยวводขนาดใหญ่ น้ำหนัก 9 ตัน

เอกสารอ้างอิง

- พงษ์ธร แซ่อูย. 2548. ยาง ชนิด สมบัติและการใช้งาน. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 125 หน้า
- พรพรรณ นิธิอุทัย และคณะ. 2540. ยาง:เทคนิคการออกสูตร. ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- ภาณุฤทธิ์ ขกตุทัต. 2547. การออกแบบเครื่องจักรกล. บริษัทสำนักพิมพ์ท็อป, กรุงเทพฯ ฯ. 503 หน้า
- รุ่งเรือง และคณะ. 2549. การศึกษาสมรรถนะการขับเคลื่อนแบบจำลองดินตะขบ.
- การประชุมวิชาการครั้งที่ 7 ประจำปี 2549. สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. หน้า 50
- สถาบันวิจัยยาง. 2554. สถิติยางประเทศไทย. ฉบับที่ 3. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 34 หน้า
- สันธานและคณะ. 2536. รายงานการประชุมวิชาการประจำปี. กองเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 65 หน้า

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2550. สถิติการเกษตรของประเทศไทย. กรุงเทพฯ. 122 หน้า

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2540. เครื่องเกี่ยวนวดข้าว. กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ. 19 หน้า

สุรเวทย์ กฤษณะเสรี. 2548. เครื่องจักรกลเกษตรและการจัดการผลผลิตพืช. กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 84 หน้า

อนันต์ มีชูเวท. 2531. แทรกเตอร์ดินตะขาบ. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ. 259 หน้า

Even, W. Colin. **Practical Rubber Compounding and Processing**, Applied Sci. Publishers, 1981, p.43.

Morton, Mauric. **Rubber Technology**. Cp. Cit. p.58

RNAM Test Codes and Procedures for Farm Machinery. 1995. **Test Codes and Procedures for Harvesting Machines**. pp 207-225.

Stewart, SJ., Lieb, R.I., and Dewwod, J.E., **PVI/Accelerator Systems**, Ruber Age, October, 1970, p.56.