การพัฒนายางตีนตะขาบเครื่องเกี่ยวนวด

Development of Semi Rubber Track Combine Harvester

วิชัย โอภานุกุล [1] อดุลย์ ณ วิเชียร [2] ณพรัตน์ วิชิตชลชัย [2]
คทาวุธ จงสุขไว [1] วีระ สุขประเสริฐ [1]

บทคัดย่อ

ปัจจุบันคาดว่ามีการใช้งานเครื่องเกี่ยวนวดมากกว่า 10,000 เครื่อง ในกิจกรรมเก็บเกี่ยวข้าวเพื่อบริโภคและส่งออกของไทย ซึ่งการเคลื่อนย้ายเครื่องเกี่ยวนวดไปทำงานในไร่นามีบ่อยครั้งที่สภาพพื้นที่ไม่เอื้ออำนวย จำเป็นต้องขับเคลื่อนไปบนถนนภายในหมู่บ้านทำให้ผิวถนนเป็นรอยเสียหาย ต้องใช้ล้อรถยนต์หรือแผ่นยางมารองรับตีนตะขาบ แล้วขับเคลื่อนไปอย่างช้า ๆ จนถึงแปลงเก็บเกี่ยวทำให้เกิดการสูญเสียเวลาและค่าใช้จ่ายประมาณ 2,000 บาท/ชั่วโมง คณะผู้วิจัยจึงพัฒนายางตีนตะขาบสำหรับใช้กับเครื่องเกี่ยวนวด โดยพัฒนาสูตรยางธรรมชาติผสมกับสารเคมีให้มีสมบัติทางกายภาพสอดคล้องกับมาตรฐาน มอก. 2478-2552 มีค่าความแข็ง 68.8 Shore A จากนั้นนำสูตรที่พัฒนาได้ไปผลิตยางตีนตะขาบโดยการอัดขึ้นรูปร้อนด้วยแม่พิมพ์ที่ออกแบบเฉพาะ ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

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

[1] สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม

[2] สถาบันวิจัยยาง

คำนำ

ประเทศไทยผลิตและส่งออกสินค้าเกษตรหลายชนิด เช่น ยางพารา ข้าว มันสำปะหลัง อ้อย และสับปะรด เป็นต้น ส่วนใหญ่มักส่งออกในรูปของวัตถุดิบหรือมีการแปรรูปขั้นต้นทำให้มีมูลค่าต่ำ ภาครัฐจึงมีความพยายามสร้างมูลค่าเพิ่มโดยการนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อส่งออกและใช้งานในประเทศ ในส่วนของยางพาราหรือยางธรรมชาตินั้น ตามยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ พ.ศ.2551-2553 ได้จัดให้เรื่องการเพิ่มมูลค่าสินค้าเกษตรเพื่อการส่งออกและลดการนำเข้าเป็นหนึ่งในกลุ่มเรื่องที่ควรวิจัยเร่งด่วน รายงานของสถาบันวิจัยยางในปี 2553 สามารถส่งออกผลิตภัณฑ์ยางไทย อาทิ ยางยืด ยางปูพื้น สายพาน ยางยานพาหนะและยางในรถยนต์ เป็นต้น นำเงินตราเข้าประเทศ ได้มากถึง 156,311 ล้านบาท ในส่วนของภาครัฐจึงส่งเสริมงานวิจัยด้านนี้ให้มากยิ่งขึ้น ผลิตภัณฑ์ยางแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตามลักษณะของวัตถุดิบที่ใช้ คือ กลุ่มผลิตภัณฑ์จากวัตถุดิบที่เป็นยางแห้งและน้ำยาง ยางเป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยไฮโดรเจนและคาร์บอน มีความยืดหยุ่นสูง แต่ยางธรรมชาติมีข้อด้อย คือ การเสียสภาพภายใต้แสงแดด ออกซิเจน และโอโซนจึงมีข้อจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลต่ำและลักษณะทางกายภาพไม่เสถียรต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมาก กล่าวคือยางธรรมชาติจะอ่อนเยิ้มและเหนียวเหนอะเมื่อได้รับความร้อน 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 มีระบบขับเคลื่อนแบบแทรกเตอร์ตีนตะขาบ สามารถทำงานได้รวดเร็วและลดความเหนื่อยยาก และลดต้นทุนการเก็บเกี่ยวเมื่อเทียบกับการใช้แรงงานคน โดยเฉพาะพื้นที่ภาคกลางซึ่งส่วนใหญ่ทำนาปรังมีกิจกรรมเก็บเกี่ยวหลายครั้งต่อปี ในปี พ.ศ. 2536 นับเป็นช่วงแรกที่เครื่องเกี่ยวนวดเริ่มได้รับความนิยมและขยายตัวอย่างรวดเร็ว ราคาเครื่องละประมาณ 800,000 บาท ใช้ตีนตะขาบที่ทำจากไม้เนื้อแข็ง เมื่อเคลื่อนที่บนถนนจึงไม่ก่อให้เกิดปัญหาผิวถนนเสียหาย แต่มีอายุการใช้งานต่ำต้องซ่อมแซมบ่อยครั้งทำให้มีการพัฒนาวัสดุเป็นเหล็ก ซึ่งมีความทนทานต่อการใช้งานได้ดี แต่เมื่อนำมาเคลื่อนที่บนถนนทำให้ผิวถนนเสียหาย จากรายงานของ วินิต และคณะ (2551) มีจำนวนเครื่องเกี่ยวนวดเพิ่มมากขึ้นถึง 10,000 เครื่อง และการเก็บเกี่ยวเกิดเป็นวัฏจักรซ้ำกันทุกปี ทำให้เกิดปัญหาขัดแย้งระหว่างเจ้าของเครื่องเกี่ยวนวดกับหน่วยงานท้องถิ่นที่ดูแลถนน จนหลายท้องที่ต้องใช้มาตรการทางกฎหมายเพื่อแก้ปัญหาผิวถนน

เสียหาย การนำมาขับเคลื่อนไปบนถนนจำเป็นต้องมีแผ่นยางรองรับเพื่อป้องกันผิวถนนเสียหายจากการกดทับของตีนตะขาบที่สร้างจากเหล็ก ดังแสดงในภาพที่ 2 ทำให้สูญเสียต้นทุนด้านเวลาขณะเคลื่อนย้าย

จากปัญหาดังกล่าว จึงมีแนวคิดพัฒนายางตีนตะขาบจากยางธรรมชาติเพื่อลดเวลาการเคลื่อนย้ายและลดความเสียหายต่อผิวถนน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเกี่ยวนวด รวมทั้งสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัตถุดิบยางธรรมชาติโดยการนำมาแปรรูปและใช้ในประเทศต่อไป

ภาพที่ 1 เครื่องเกี่ยวนวด

ภาพที่ 2 ตีนตะขาบ

วัตถุประสงค์

พัฒนายางตีนตะขาบเครื่องเกี่ยวนวด ให้สามารถนำไปเคลื่อนที่บนถนนลาดยางโดยไม่ทำให้ผิวถนนเสียหาย เพื่อลดการสูญเสียเวลาและค่าใช้จ่ายขณะเคลื่อนย้ายเข้าเก็บเกี่ยวผลผลิตในแปลง

วิธีดำเนินการ

อุปกรณ์

1.เครื่องอัดยางคงรูป

2.เครื่องมือวัดสมบัติทางกายภาพของยาง

3.ยางแผ่นดิบชั้น 3 และสารเคมี เช่น เขม่าดำ 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.ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบยางตีนตะขาบ

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

การพัฒนายางตีนตะขาบเครื่องเกี่ยวนวด มีสองกิจรรม คือกิจกรรมพัฒนาสูตรยางความทนทานสูง ดำเนินการโดยนักวิทยาศาสตร์สถาบันวิจัยยาง และกิจกรรมการพัฒนายางตีนตะขาบเครื่องเกี่ยวนวด ดำเนินการโดยวิศวกรของสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม มีขั้นตอนดังนี้ (1) การศึกษาข้อมูลสภาพการใช้งานเครื่องเกี่ยวนวด (2) เพื่อนำข้อมูลมาออกแบบรูปทรงทางกายภาพของยางตีนตะขาบ (3) ออกแบบสูตรยางให้มีสมบัติตามที่กำหนด (4) ออกแบบแม่พิมพ์สำหรับใช้อัดขึ้นรูปเป็นยางตีนตะขาบ (5) นำไปติดตั้งกับตีนตะขาบเครื่องเกี่ยวนวดและทดสอบในห้องปฏิบัติการ (6) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ร่วมกันระหว่างนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรการเกษตร เพื่อปรับปรุงการออกแบบให้ดีที่สุด (7) นำยางตีนตะขาบไปทดสอบบนผิวถนนลาดยาง (8) และทดสอบภาคสนามในสภาพไร่นา โดยใช้แปลงของหน่วยงานกรมวิชาการเกษตรและแปลงของเกษตรกร (9) สรุปผลการวิจัยและเผยแพร่ให้ผู้เกี่ยวข้องต่อไป

กิจกรรมที่ 1 พัฒนาสูตรยางความทนทานสูง

1.การออกแบบสูตรยาง

ดำเนินการออกสูตรยางโดยนักวิทยาศาสตร์ของสถาบันวิจัยยาง จำนวน 14 สูตร โดยใช้ยางแผ่นรมควันชั้น 3 บดผสมกับสารเคมี ได้แก่ สารกระตุ้น สารตัวเร่ง สารตัวเติม และสารเคมีอื่น ๆ ด้วยเครื่องบดผสมแบบ 2 ลูกกลิ้งจนเข้ากัน และนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพในห้องปฏิบัติการเพื่อหาสูตรยางที่มีคุณสมบัติตามต้องการ โดยอ้างอิงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ยางผสมเสร็จสำหรับการหล่อดอกยางแบบร้อนของยางรถยนต์เชิงพาณิชย์ มอก. 2478-2552

2.ทดสอบสมบัติทางกายภาพในห้องปฏิบัติการ

ค่าชี้ผลที่ใช้อ้างอิงตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 2478-2552 ประกอบด้วยค่าความแข็ง ค่าความต้านทานแรงดึง ระยะยืดจนขาด โมดูลัสที่ระยะยืด 300 เปอร์เซ็นต์ และค่าความถ่วงจำเพาะเป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 1 จากการศึกษาชนิดของสารตัวเร่ง พบว่า สูตรยาง รหัส Tin 1 ที่มีการใช้สารตัวเร่ง คือ CBS มีสมบัติทางกายภาพผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.2478-2552 จึงได้ทำการเลือกสูตรยาง รหัส Tin 1 มาผลิตยางตีนตะขาบ โดยการอัดขึ้นรูปร้อนด้วยแม่พิมพ์ที่ออกแบบเฉพาะ ซึ่งเป็นแบบผิวหน้าแบน นำไปติดตั้งกับ

เครื่องเกี่ยวนวดและทดสอบเคลื่อนที่บนผิวถนนลาดยาง พบว่าสูตรยางรหัส Tin 1 เกิดการฉีกขาดที่บริเวณหน้าและขอบของยางตีนตะขาบมากกว่าร้อยละ 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_{c90},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 ถึง70	65.6	59.2	50.4	62.5	57.9	60.4
After ageing at 70 ^{0}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 การฉีกขาดบริเวณผิวหน้ายางตีนตะขาบ

จากนั้นได้ทำการปรับปรุงสูตรยางใหม่ โดยทำการแปรชนิดและปริมาณของสารตัวเติม พบว่าสูตรยาง รหัส Tin 13 มีสมบัติทางกายภาพผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.2478-2552 ดังแสดงในตารางที่ 2 หลังจากนั้นนำมาผลิตยางตีนตะขาบด้วยแม่พิมพ์แบบผิวหน้าแบน และทดสอบเคลื่อนที่บนผิวถนนลาดยาง พบว่าผิวถนนไม่เกิดการเสียหาย แต่เกิดปัญหายางตีนตะขาบหลุดออกจากตีนตะขาบของเครื่องเกี่ยวนวด เนื่องจากมีพื้นที่สัมผัสกับผิวถนนมากเกินไป ซึ่งปัญหาเกิดจากการออกแบบทางวิศวกรรมยังไม่เหมาะสม วิศวกรจึงดำเนินการออกแบบใหม่อีกครั้ง โดยปรับรูปทรงของยางตีนตะขาบ และสร้างแม่พิมพ์สำหรับใช้อัดขึ้นรูป และนำไปทดสอบการใช้งานในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม จนได้สูตรยางความทนทานสูงที่เหมาะสมสำหรับผลิตเป็นยางตีนตะขาบ

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 ถึง70	67	71	72	56	60	64	67.5	69.8
After ageing at 70 ^{0}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 การพัฒนายางตีนตะขาบเครื่องเกี่ยวนวด

1.ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบยางตีนตะขาบ

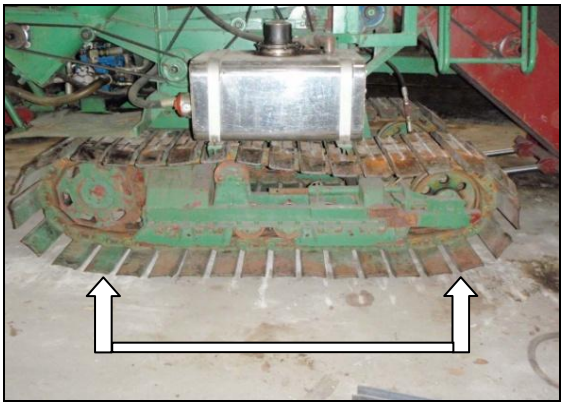
สาเหตุที่เมื่อนำเครื่องเกี่ยวนวดไปเคลื่อนที่บนถนนแล้วทำให้ผิวถนนเสียหาย เกิดจากตีนตะขาบทำจากเหล็กเป็นวัสดุแข็งเกร็ง ขณะเคลื่อนที่บนผิวถนนทำให้เกิดแรงกระทำในลักษณะตะกุยผิวถนน (Grousers) เนื่องจากเป็นเครื่องจักรกลเกษตรขนาดใหญ่ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสากรรม มอก. 1428-2540 ได้กำหนดแรงกดต่อหนึ่งหน่วยพื้นต้องไม่เกิน 2.94 เมกะพาสคัล หรือ 29.98 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร แต่เนื่องจากมีเพียงบางส่วนตีนตะขาบเท่านั้นที่สัมผัสผิวถนนทำให้มีแรงกดบนตีนตะขาบที่กระทำกับพื้นสูง (Ground Contact Pressure)ทำให้เกิดความเค้น (Stress:σu) ที่กระทำต่อผิวถนนมากกว่าหลายเท่าตัว จนเกินความต้านแรง (Strength:σy) ของวัสดุที่ใช้ถนน จึงเกิดการเปลี่ยนรูปหรือทำให้ผิวถนนเป็นรอยเสียหาย การลดแรงที่กระทำกับผิวถนนมี 2 วิธี หากพิจารณาจากสมการ P = F/A ได้แก่การเพิ่มพื้นที่ของตีนตะขาบให้มากขึ้น หรือลดน้ำหนักของเครื่องเกี่ยวนวดให้น้อยลงซึ่งทำได้ยากเนื่องจากมีชิ้นส่วนกลไกซับซ้อน จึงสนใจในส่วนของการพัฒนาตีนตะขาบที่ใช้วัสดุทำจากเหล็กร่วมกับยาง

เหล็กที่ใช้ควรเป็นเหล็กเหนียวคาร์บอนต่ำ นำมาอัดขึ้นรูปแบบเย็นเพื่อให้มีความต้านแรงสูงขึ้น และนำมาเชื่อมประกอบเป็นตีนตะขาบ ส่วนยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์มีสมบัติเด่นหลายประการ โดยเฉพาะความยืดหยุ่น เมื่อมีแรงดึงมากระทำกับยางที่คงรูปแล้วจะสามารถยืดตัวได้หลายเท่าของความยาวเดิมหากปล่อยแรงออกสามารถกลับคืนสู่รูปร่างและความยาวเดิมได้ นอกจากนี้ยังมีสมบัติด้านอื่น เช่น เมื่อนำไปติดกับวัสดุชนิดอื่นทำให้ยางมีความแข็งแรงสูงขึ้น จึงสามารถนำไปใช้งานด้านวิศวกรรมได้หลากหลาย ส่วนแรงที่กระทำกับตีนตะขาบนั้นเป็นแบบวัฏจักร ทำให้เกิดความเค้นกระทำซ้ำ ๆ สลับไป-มา เป็นวงรอบ ซึ่งค่าความเค้นสูงสุดในชิ้นงานที่มีการล้า จะมีค่าน้อยกว่าความต้านแรงของวัสดุ จึงใช้เป็นข้อพิจารณาหลักในการออกแบบ ดังนั้นต้องออกแบบให้ยางตีนตะขาบสามารถรับน้ำหนักเครื่องเกี่ยวนวดและถ่ายเทลงพื้นถนนโดย

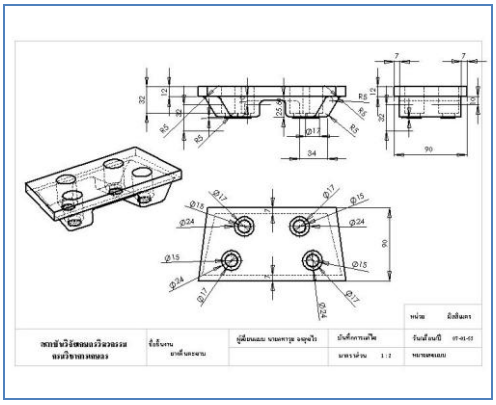
ไม่ทำให้ผิวถนนเสียหาย ผลิตได้ง่ายมีราคาที่เหมาะสม จึงกำหนดแนวทางให้มีรูปร่างที่สามารถติดตั้งเข้าในช่องว่างของตีนตะขาบ และยึดด้วยสกรูเหล็กทนแรงดึงสูง

2.การออกแบบ สร้าง ทดสอบ และปรับปรุง ในห้องปฏิบัติการ

การออกแบบยางตีนตะขาบ พิจารณาจากลักษณะของแรงกระทำกับผิวถนน ขณะเครื่องเกี่ยวนวดเคลื่อนที่ผ่าน เพื่อนำข้อมูลมาออกแบบแม่พิมพ์อัดขึ้นรูป ซึ่งการคำนวณหาปริมาณของแรงกดจากตีนตะขาบโดยใช้เครื่องเกี่ยวนวดของสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม เป็นแบบที่ใช้แรงงานคนรองข้าวเปลือกด้านข้าง เพื่อลดการพิจารณาภาระของน้ำหนักของผลิตผลทางเกษตรที่เก็บเกี่ยว ที่จะเป็นตัวแปรสำคัญต่อแรงกระทำกับตีนตะขาบ ซึ่งโดยปกติแล้วถ้าเป็นเครื่องเกี่ยวนวดที่มีถังบรรจุ จะทำให้ภาระที่กระทำต่อพื้นที่เพิ่มขึ้นอีกประมาณ 2,000-3,000 กิโลกรัม โดยเครื่องเกี่ยวนวดที่นำมาทดสอบมีน้ำหนัก 4,200 กิโลกรัม ใช้ระบบขับเคลื่อนแบบไฮดรอสแตติก ต้นกำลังเครื่องยนต์ขนาด 120 แรงม้า มีจำนวนตีนตะขาบข้างละ 34 ชิ้น ความยาว 60 เซนติเมตร ความกว้าง 11 เซนติเมตร มีพื้นที่ 660 ตารางเซนติเมตร มีพื้นที่รับแรงในแนวดิ่งจำนวน 12 ชิ้น แสดงในภาพที่ 4 และมีพื้นที่ว่างสำหรับจับยึดโซ่ที่สามารถติดตั้งยางตีนตะขาบ 153 ตารางเซนติเมตร จึงนำมาเป็นข้อมูลในการออกแบบ จากการคำนวณพบว่า พื้นที่ที่กระทำต่อพื้นที่สัมผัสของตีนตะขาบมีขนาด 15,840 ตารางเซนติเมตร จึงจะทำให้แรงที่กระทำต่อพื้นดินมีค่าเท่ากับ 0.026 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร หรือ 0.265 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ซึ่งภายใต้เงื่อนไขของการออกแบบ คณะผู้วิจัยได้กำหนดให้ยางตีนตะขาบมีความสามารถในการรับภาระเท่ากับตีนตะขาบ 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 และนำยางธรรมที่ผสมสารเคมี ประกอบด้วย เขม่าดำเกรด 330 จำนวน 50 phr สารตัวเร่ง CBS และกำมะถัน มาอัดขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ที่ อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส แสดงในภาพที่ 7 ได้ยางตีนตะขาบจำนวน 68 ชิ้น นำไปติดตั้งกับตีนตะขาบโดยจับยึดด้วยสกรูทำจากเหล็กทนแรงดึงสูงขนาด M 12x1.75 ร่วมกับแหวนสปริง จำนวน 4 ตัว แสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 4 พื้นที่รับแรงกด



ภาพที่ 5 แบบยางตีนตะขาบ

ภาพที่ 6 แม่พิมพ์

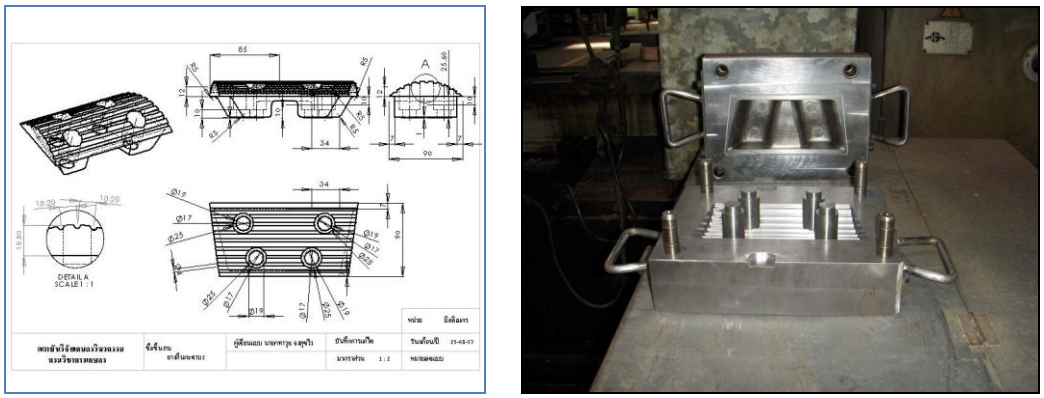
ภาพที่ 7 การอัดขึ้นรูป

และนำมาทดสอบการเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง บริเวณข้างสถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม ผลการทดสอบครั้งที่ 1 ยางตีนตะขาบไม่สามารถรับแรงได้ เกิดการฉีกขาดมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ จึงออกแบบสูตรยางให้มีความเหนียวมากกว่าเดิม และการทดสอบครั้งที่ 2 โดยกำหนดให้เครื่องเกี่ยวนวดเคลื่อนที่ไป-กลับ ระยะทาง 50 เมตร และเลี้ยวที่บริเวณกลับตัวด้วยลักษณะของการใช้งานแบบปกติของเครื่องเกี่ยวนวด จำนวน 20 เที่ยว ใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ทางตรงเฉลี่ย 0.86 เมตร/วินาที (3.1 กิโลเมตร/ชั่วโมง) รอบเครื่องยนต์ 1,500 รอบ/นาที รวมระยะทาง 1 กิโลเมตร ผลการทดสอบยางตีนตะขาบสามารถรองรับน้ำหนักเครื่องเกี่ยวนวดได้โดยไม่ทำให้พื้นถนนเสียหายเป็นรอย ดังแสดงในภาพที่ 9 แต่พบปัญหาขณะเลี้ยวมียางตีนตะขาบหลุดออกจากจุดจับยึด เนื่องจากด้านหน้าของยางตีนตะขาบมีพื้นที่สัมผัสกับผิวถนนมากเกินไป ทำให้มีแรงกระทำที่จุดจับยึดมากเกินจนเกิดการฉีกขาด ดังแสดงในภาพที่ 10 จึงปรับปรุงโดยออกแบบให้มีส่วนโค้งเพื่อลดพื้นที่สัมผัสกับผิวถนน และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เขียนแบบเป็นรูปทรง 3 มิติ แล้วโอนถ่ายพิกัดไปสร้างแม่พิมพ์ ดังแสดงในภาพที่ 11

ภาพที่ 8 ยางตีนตะขาบ และการติดตั้งกับตีนตะขาบ

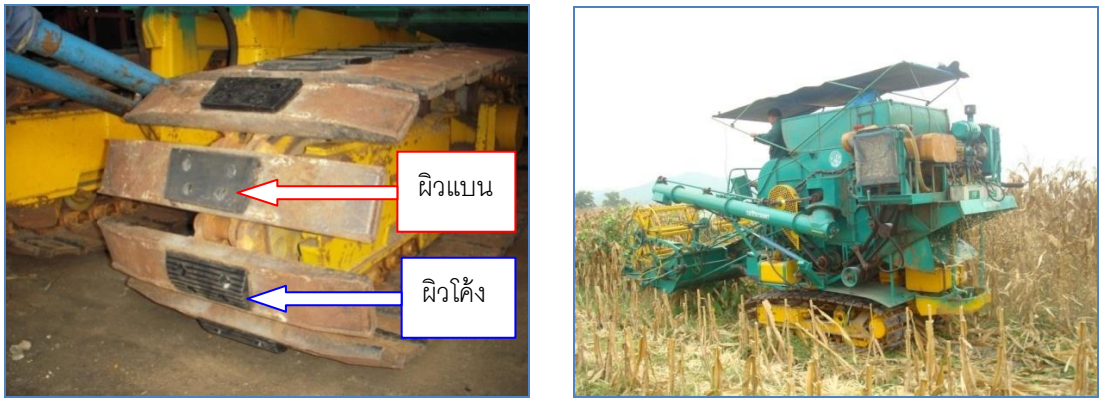
ภาพที่ 9 เปรียบเทียบผิวถนนก่อน และหลังติดตั้งยางตีนตะขาบ

ภาพที่ 10 ยางตีนตะขาบหลุดขณะเลี้ยว

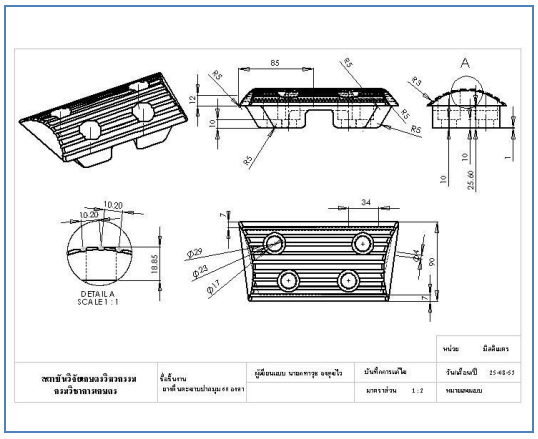


ภาพที่ 11 แบบยางตีนตะขาบมีส่วนโค้งด้านหน้า และแม่พิมพ์

หลังจากปรับปรุงแม่พิมพ์ยางตีนตะขาบให้มีส่วนโค้งด้านหน้าแล้ว จึงนำมายางธรรมชาติที่ผสมกับสารเคมีตามสูตรที่กำหนดและอัดขึ้นรูป จำนวน 68 ชิ้น มาติดตั้งกับตีนตะขาบ และนำไปทดสอบเก็บเกี่ยวข้าวโพดที่ศูนย์วิจัยพืชสวนเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี จำนวน 50 ไร่ แสดงในภาพที่ 12 สภาพพื้นที่ปลูกเป็นดินทราย พบปัญหายางตีนตะขาบหลุดออกจากตีนตะขาบ สาเหตุเกิดจากขณะที่เครื่องเกี่ยวนวดเลี้ยวกลับตัวที่หัว-ท้ายแปลง จากคุณลักษณะการเคลื่อนที่ของระบบช่วงล่างเครื่องเกี่ยวนวด จำเป็นต้องหยุดชุดตีนตะขาบด้านใดด้านหนึ่งเพื่อให้เกิดการเลี้ยว ทำให้เกิดแรงกระทำจากพื้นดินที่ด้านข้างดันให้ยางตีนตะขาบค่อย ๆ โก่งงอ ของด้านที่หยุด เมื่อจำนวนชั่วโมงทำงานมากขึ้นดินจึงดันยางตีนตะขาบหลุดออกจากตีนตะขาบ จึงนำข้อมูลมาปรับปรุงแม่พิมพ์อีกครั้งให้มีมุมเอียงด้านข้างจากเดิมมุม 90 องศา ลดลงเป็น 45 องศา แสดงในภาพที่ 13 และเพิ่มขนาดของบ่าปู๊ซจับยึดจากเดิม 18 เป็น 24 มิลลิเมตร แล้วนำแม่พิมพ์มาอัดขึ้นรูป และติดตั้งกับตีนตะขาบแล้วนำไปทดสอบเพื่อตรวจสอบปัญหาแรงดันด้านข้างของยางตีนตะขาบพบว่าใช้งานได้ดี จึงสรุปผลรูปทรงของยางตีนตะขาบที่ปรับปรุงขั้นสุดท้าย ดังแสดงในภาพที่ 14 และนำไปทดสอบภาคสนาม



ภาพที่ 12 การทดสอบเก็บเกี่ยวข้าวโพด



ภาพที่ 13 แบบยางตีนตะขาบมุมเอียง 45 องศา

ภาพที่ 14 ยางตีนตะขาบที่ปรับปรุงขั้นสุดท้าย

ภาพที่ 15 ติดตั้งในห้องปฏิบัติการ

ภาพที่ 16 ยางตีนตะขาบที่ติดตั้งแล้ว

ภาพที่ 17 เคลื่อนที่บนถนนลาดยาง โดยไม่ทำให้ผิวถนนเสียหาย

ภาพที่ 18 การหาเปอร์เซ็นต์การลื่นไถล

3.ทดสอบในภาคสนาม และวิเคราะห์ผล

การทดสอบบนถนนลาดยาง

เพื่อนำข้อมูลมาประเมินอายุการใช้งานและหาอัตราการสึกหรอ โดยนำยางตีนตะขาบมาติดตั้งกับเครื่องเกี่ยวนวด แสดงในภาพที่ 15 และ16 แล้วนำไปทดสอบการเคลื่อนที่บนผิวถนนลาดยางพบว่าไม่ทำให้ผิวถนนเสียหาย ดังภาพที่ 17 และหาเปอร์เซ็นต์การลื่นไถลบนผิวถนนลาดยาง เปรียบเทียบกับพื้นนาและพื้นไร่ แสดงในภาพที่ 18 โดยกำหนดความเร็วการเคลื่อนที่เท่ากับ 4 กิโลเมตร/ชั่วโมง

การทดสอบในสภาพดินนา

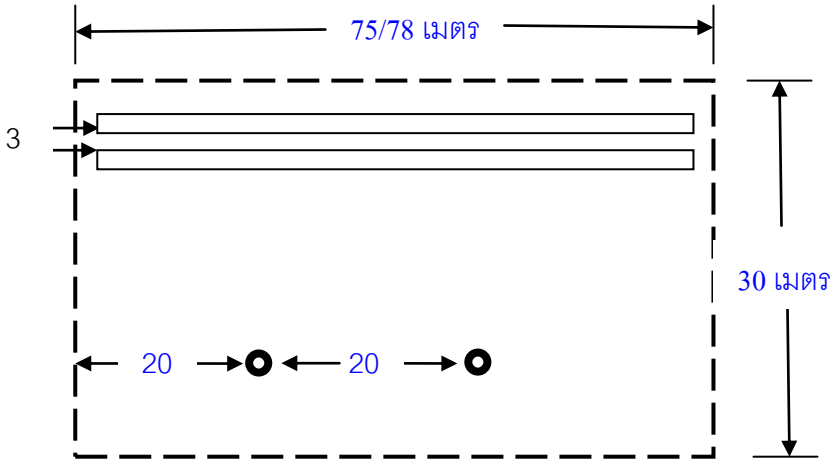
ทดสอบในแปลงของเกษตรกร บริเวณบ้านหนองถ่าน ตำบลหนองถ่าน อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี สภาพแปลงนาข้าวเก็บเกี่ยวแล้ว 1 วัน มีเศษฟางปกคลุมเล็กน้อย พื้นเป็นดินเหนียวอ่อนนุ่ม ไม่มีน้ำขัง ดังภาพที่ 19 โดยกำหนดพื้นที่ทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ความกว้าง 30 เมตร ความยาว 75 เมตร และที่ว่างสำหรับเลี้ยวกับหัว-ท้ายแปลง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

ได้พื้นที่เกือบ 1 ไร่ (หน้ากว้างเก็บเกี่ยว 2.3 เมตรx(75x2x4.5)) เท่ากับ 1,552.5 ตารางเมตร แล้วหยุดตรวจสอบการสึกหรอโดยการตรวจพินิจด้วยสายตารวม 7 ครั้ง หรือคิดเป็นพื้นที่ประมาณ 7ไร่ พบว่ายางตีนตะขาบมีอัตราการสึกหรอน้อยมากเพราะสภาพพื้นนาเป็นดินเหนียวอ่อน หากต้องการทราบผลอายุการใช้งาน ต้องใช้เวลาและเสียค่าใช้จ่ายสูง คณะผู้วิจัยจึงเปลี่ยนสภาวะการทดสอบเพื่อเร่งการสึกหรอ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟความความต้านทานการแทงทะลุของดินนา แสดงในภาพที่ 21 ค่าความต้านทานการแทงทะลุความลึก 5 เซนติเมตร ซึ่งเป็นส่วนที่มีผลกับการสึกหรอของยางตีนตะขาบ เท่ากับ 0.3 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร เมื่อเทียบกับดินไร่จะแข็งกว่ามีค่าความต้านทานการแทงทะลุความลึก 5 เซนติเมตร เท่ากับ 1.6 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร

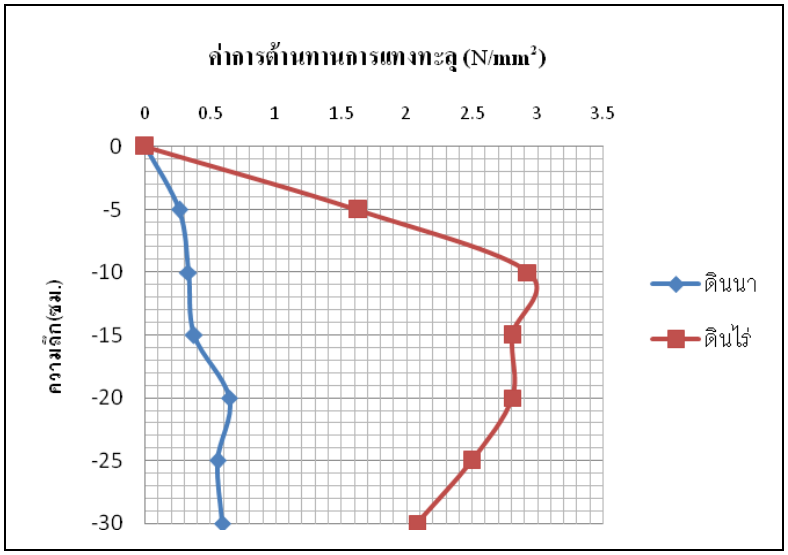
การทดสอบในสภาพดินไร่

โดยสภาพไร่เป็นดินเหนียวดำเนินการบริเวณบ้านลาดกระทิง ตำบลลาดกระทิง อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา ดังแสดงในภาพที่ 22 โดยกำหนดเงื่อนไขและรูปร่างของพื้นที่เช่นเดียวกันกับดินนา ก่อนทดสอบทำเครื่องหมายที่ตีนตะขาบด้านละ 5 ชิ้น ทั้ง 2 ด้าน แล้วถอดยางตีนตะขาบตรงจุดที่ทำเครื่องหมายรวม 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 และถอดยางตีนตะขาบนำมาทำความสะอาดและชั่งน้ำหนักที่หายไป เพื่อนำมาหาอัตราการสึกหรอ แสดงในตารางที่ 4 มีอัตราการสึกหรอประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผลกระทบจากการลื่นไถลเมื่อใส่ยางตีนตะขาบยังมีประสิทธิภาพในการตะกุยดิน (Grousers) 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 ผลการทดสอบการสึกหลอของยางตีนตะขาบในสภาพดินไร่

	น้ำหนักก่อนใช้งาน (กรัม)		น้ำหนักหลังใช้งาน (กรัม)	
ชิ้นที่	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

	เวลา (วินาที)						เปอร์เซ็นต์
สภาพพื้นที่	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	รอบที่ 4	รอบที่ 5	ค่าเฉลี่ย	การลื่นไถล
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 จากนั้นนำสูตรที่พัฒนาได้ไปผลิตยางตีนตะขาบโดยการอัดขึ้นรูปร้อนด้วยแม่พิมพ์ที่ออกแบบเฉพาะ ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ส่วนผลการทดสอบใช้งานกับเครื่องเกี่ยวนวดขนาด 4.2 ตัน เมื่อนำไปขับเคลื่อนบนถนนลาดยางพบว่าไม่ทำให้ผิวถนนลาดยางเสียหาย จึงทดสอบในแปลงนามีค่าความต้านทานการแทงทะลุ 0.3 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร ความเร็วการเคลื่อนที่ 4.17-4.93 กิโลเมตร/ชั่วโมง บนพื้นที่ 7.2 ไร่ พบว่ายางตีนตะขาบมีอัตราการสึกหรอน้อยมาก จึงเร่งอัตราการสึกหรอโดยทดสอบในสภาพไร่ซึ่งดินแข็งกว่ามีค่าความต้านทานการแทงทะลุ 1.6 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร ใช้ความเร็วการเคลื่อนที่ 4.21-4.43 กิโลเมตร/ชั่วโมง บนพื้นที่ 323 ไร่ หรือคิดเทียบเท่าแปลงนา 1,721 ไร่ เมื่อนำยางตีนตะขาบมาตรวจสอบมีอัตราการสึกหรอประมาณร้อยละ 5 เท่านั้น

การประเมินใช้งานในเชิงพาณิชย์

ต้นทุนการผลิต

เพื่อเป็นแนวทางการนำยางตีนตะขาบไปใช้งานในสภาวะจริงและไม่คิดค่าแม่พิมพ์ขึ้นรูป 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

เมื่อคิดในกรณีที่เจ้าของเครื่องเกี่ยวนวด ต้องจ่ายเงินซื้อ ยางตีนตะขาบ 10,200 บาท อายุการใช้งานประมาณ 1 ปี หรือมากกว่า เมื่อเทียบรายได้ประมาณ 10,000-15,0000 บาท/วัน (โดยทั่วไปเครื่องเกี่ยวนวดจะทำงานปีละ 2,000 ไร่ ความสามารถในการเก็บเกี่ยว 20-30 ไร่/วัน) เทียบกับความสะดวกและไม่ต้องค่าใช้จ่ายขณะเคลื่อนย้าย 2,000 บาท/ชั่วโมง จะเห็นว่ามีความคุ้มค่าที่จะซื้อไปใช้งาน

การนำไปใช้ประโยชน์

1.ได้วิธีแปรรูปยางธรรมชาติให้มีมูลค่าสูงขึ้นโดยนำไปผลิตเป็นยางตีนตะขาบเครื่องเกี่ยวนวดที่มีการผลิตและใช้งานในประเทศ

2.นำไปจัดแสดงในงาน มหกรรมพืชสวนโลกเฉลิมพระเกียรติ ฯ ราชพฤกษ์ 2554 ณ จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างเดือน มกราคม ถึง มีนาคม 2555

3.ขยายผลการวิจัยโดยร่วมกับบริษัทผู้ผลิตเครื่องเกี่ยวนวดในจังหวัดพิษณุโลกนำยางตีนตะขาบไปใช้กับเครื่องเกี่ยวนวดขนาดใหญ่ น้ำหนัก 9 ตัน

เอกสารอ้างอิง

พงษ์ธร แซ่อุย. 2548. **ยาง ชนิด สมบัติและการใช้งาน.** ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 125 หน้า

พรพรรณ นิธิอุทัย และคณะ. 2540. **ยาง:เทคนิคการออกสูตร.** ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.

ภาณุฤทธิ์ ยกตุทัต. 2547. **การออกแบบเครื่องจักรกล**. บริษัทสำนักพิมพ์ท้อป, กรุงเทพ ฯ. 503 หน้า

รุ่งเรือง และคณะ. 2549. **การศึกษาสมรรถนะการขับเคลื่อนแบบจำลองตีนตะขาบ**. 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 กฤษณะเศรณี. 2548. **เครื่องจักรกลเกษตรและการจัดการผลิตพืช**.กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 84 หน้า

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

Even, W. Colin. **Practical Rubber Compounding and Processing,** Applied Sci. Pubplishers,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.