



# วารสาร PARA RUBBER ELECTRONIC BULLETIN

# ยางพารา

ปีที่ 41 ฉบับที่ 1 มกราคม-มีนาคม 2563

ฉบับอิเล็กทรอนิกส์ 40





วารสาร PARA RUBBER ELECTRONIC BULLETIN

# ยางพารา

ปีที่ 40 ฉบับที่ 4 ตุลาคม-ธันวาคม 2562

## สารบัญ

### บทความ

- 2** การประเมินผลผลิตชีวมวลและคุณสมบัติทางพลังงานของไม้ยางพารา
- 18** การพัฒนาแผ่นรองเท้าสำเร็จรูปจากยางธรรมชาติ สำหรับผู้ป่วยที่เป็นโรครองเท้าและโรคเท้าแบน
- 27** การผลิต การใช้ การส่งออกยางของโลก และของไทย ระหว่างปี 2558-2562

ภาพปก: ตอไม้ยางพารา เป็นส่วนหนึ่งที่น่ามาใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล

# บทบรรณาธิการ

บทบรรณาธิการฉบับนี้ มีเรื่องที่จะขอกล่าวถึงวารสารยางพารา เนื่องจากได้จัดทำมาครบ 40 ปี แล้ว โดยฉบับแรกได้พิมพ์เผยแพร่เมื่อปี 2523 ในยุคที่ศูนย์วิจัย-การยาง ซึ่งตั้งอยู่ที่อำเภอหาดใหญ่ เป็นหน่วยงานเพียงแห่งเดียวในประเทศไทยที่ทำหน้าที่ศึกษาค้นคว้าทดลองเรื่องยางพาราอย่างครบวงจร โดยมีสถานทดลองยางเป็นเครือข่าย กระจายไปทุกจังหวัดในภาคใต้ และภาคตะวันออก

ขอย้อนกลับไปในช่วงก่อนที่จะมีวารสารยางพาราในวงการยางระหว่างประเทศขณะนั้น มาเลเซีย จัดเป็นประเทศที่มีความก้าวหน้าในทางวิชาการ นอกจากในเรื่องของผลงานวิจัยที่มีความโดดเด่นแล้ว การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการก็เป็นไปอย่างหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของการจัดสัมมนาทั้งในระดับประเทศและต่างประเทศ การจัดพิมพ์เอกสารทางวิชาการในรูปแบบต่าง ๆ เช่น Journal of RRIM (ชื่อในขณะนั้น) Planters' Bulletin และ Monograph (เอกสารวิชาการเฉพาะเรื่อง)

จากการที่ประเทศมาเลเซียเป็นต้นแบบในหลาย ๆ เรื่องของยางพารา แต่มีเรื่องหนึ่งที่นักวิชาการของศูนย์วิจัยการยางมองเห็นถึงความสำคัญเช่นเดียวกันก็คือ การเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการให้กับเจ้าของสวนยาง และบุคคลทั่วไปเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาอาชีพการทำสวนยางของประเทศ ดังนั้น วารสารยางพารา จึงได้ก่อกำเนิดขึ้นในรูปแบบเดียวกับ Planters' Bulletin ของมาเลเซีย

ในการจัดทำวารสารยางพาราช่วงแรก ๆ ได้อาศัยนักวิชาการที่มีใจรักที่จะทำงานทางด้านนี้มาเป็นผู้เริ่มต้น ในขณะที่เทคโนโลยีทางการพิมพ์ยังไม่ได้มีอุปกรณ์ที่อำนวยความสะดวกดังเช่นทุกวันนี้ กล่าวคือ ในช่วงเริ่มต้นของการทำวารสาร การเตรียมต้นฉบับก็ใช้เครื่องพิมพ์ดีดธรรมดา และเมื่อส่งต้นฉบับให้กับโรงพิมพ์เพื่อทำ Plate ช่างเรียงก็จะนำนำอักษรตัวนูนที่ทำจากตะกั่วแต่ละตัวมาเรียงต่อกันเป็นคำ หรือประโยค จากนั้นก็นำไปพิมพ์เป็นต้นฉบับกลับมาให้บรรณาธิการตรวจและแก้ไข ซึ่งการแก้ไขก็ทำได้ช้า เพราะต้องดึงตัวอักษรที่ผิดออก แล้วเอาตัวอักษรที่ถูกใส่เข้าไปแทนที่ ต่างจากสมัยนี้ ที่ทุกอย่างเป็นดิจิทัลไปหมด ผู้เขียนบทความก็ใช้คอมพิวเตอร์ทำงานภายใต้โปรแกรม Word และ Excel ผู้จัดทำต้นฉบับก็ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้โปรแกรม InDesign, Photoshop และ Illustrator ส่วนโรงพิมพ์เมื่อได้รับต้นฉบับ สามารถออกเป็นฟิล์มดิจิทัล พิมพ์เป็นต้นฉบับออกมาให้ตรวจสอบความถูกต้อง การแก้ไขก็กระทำกับคอมพิวเตอร์ ทุกอย่างสะดวก รวดเร็ว และให้ผลงานได้ดีตามความต้องการ แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าหากไร้ซึ่งบทความ หรือผลงานทางวิชาการที่มีประโยชน์ รวมถึงความร่วมมือร่วมใจ เทคโนโลยีที่ทันสมัยก็ไร้ค่า

ดร.วิทยา พรหมมี  
บรรณาธิการ



การยางแห่งประเทศไทย  
Rubber Authority of Thailand

เจ้าของ: สถาบันวิจัยยาง การยางแห่งประเทศไทย เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900  
บรรณาธิการบริหาร: ดร.กฤษฎดา สังข์สิงห์ บรรณาธิการ: ดร.วิทยา พรหมมี  
กองบรรณาธิการ: ดร.ฐิตาภรณ์ ภูมิไชย์, ดร.พิศมัย จันทูมา, นางสาวภรภัทร สุชาติกุล,  
นางปรียดีเปรม ทศนกุล, นางอารมณี โรจน์สุจิตร์, นางสาวอริวิณ์ แดงกนิษฐ  
ผู้จัดการสื่อสิ่งพิมพ์: ดร.วิทยา พรหมมี ผู้จัดการสื่ออิเล็กทรอนิกส์: นายชัยวัฒน์ ยศพิมसार  
ผู้ช่วยผู้จัดการสื่ออิเล็กทรอนิกส์: นายอาเดอล มะหะหมัด พิสูจน์อักษร: นายวิชา สิงห์ลือ



# การประเมินผลผลิตชีวมวลและคุณสมบัติทางพลังงานของไม้ยางพารา

ฐิตาภรณ์ ภูมิไชย<sup>1</sup>, ธมลวรรณ โทณสิน<sup>2</sup>, ทรงยศ ชิตชุตติมา<sup>3</sup>

สุจินต์ เจนวิวัฒน์<sup>3</sup> และ พูนสิน มณีสาร<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สถาบันวิจัยยาง การยางแห่งประเทศไทย

<sup>2</sup>ศูนย์วิจัยยางบุรีรัมย์ การยางแห่งประเทศไทย

<sup>3</sup>มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ยางพารานอกจากการใช้ประโยชน์จากน้ำยางแล้ว ต้นยางพาราที่ถูกตัดโค่นยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ไม้แปรรูป และไม้เชื้อเพลิง เมื่อต้นยางพาราอายุตั้งแต่ 20-25 ปี ขึ้นไปให้ผลผลิตน้ำยางไม่คุ้มค่าเชิงเศรษฐกิจ ต้นยางจะถูกตัดโค่น และจะมีการนำไม้ยางพาราที่ตัดโค่น ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 3 ส่วนหลักคือ 1. รากไม้หรือตอไม้ 2. กิ่งหรือปลายไม้ และ 3. ไม้ท่อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้วขึ้นไป ส่วนต่าง ๆ เหล่านี้จะถูกนำไปใช้ไปแปรรูปเป็นไม้ยางพาราแปรรูปอบแห้ง ที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่อง โดยจะเหลือส่วนรากไม้ และปลายไม้ หรือกิ่งไม้ที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ และของเสียจากโรงงานแปรรูปไม้และโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไม้ยางพารา ได้แก่ ปีกไม้ ขี้เลื่อย ตาไม้ (ส่วนที่มีตำหนิ) และขี้กบ

ในปัจจุบันมีความต้องการเชื้อเพลิงชีวมวลจำนวนมากในโรงงานไฟฟ้าชีวมวล ซึ่งโรงไฟฟ้าขนาด 1 เมกะวัตต์ (MW) จะใช้เชื้อเพลิงชีวมวลประมาณ 10,000 ตัน/ปี จากการประเมินความพร้อมเรื่องวัตถุดิบไม้ยางในพื้นที่ภาคใต้มีมากพอสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาด 1,000 MW (รักษ์, 2560) นอกจากนี้ ยางพารายังเป็นแหล่งเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีการกระจายผลผลิตเกือบตลอดทั้งปี ซึ่งเป็นอีกตัวชี้วัดในการพิจารณาความมั่นคงด้านปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวล และทำให้ง่ายต่อการจัดการสำหรับ

โรงงานไฟฟ้าชีวมวลเมื่อเทียบกับชีวมวลชนิดอื่นที่มีผลผลิตผันแปรไปตามฤดูกาลเก็บเกี่ยว ยางพาราที่ถูกตัดโค่นสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้หลายส่วน ได้แก่ ปลายไม้ยางพารา ตอ ราก และกิ่งก้านไม้ยางพารา ปีกไม้ยางพารา ตลอดจนขี้เลื่อยและเศษไม้ยางพารา (กระทรวงพลังงาน, 2556) ซึ่งกระทรวงพลังงาน (2556) รายงานว่าสวนยางพาราพื้นที่ 1 ไร่ (ไม่ระบุพันธุ์) จะให้เชื้อเพลิงชีวมวล ประมาณ 32 ตัน (ไม่รวมส่วนไม้ที่ถูกแปรรูป) โดยในปี 2556 พบว่ามีปริมาณปลายไม้ จำนวน 2,626,476 ตัน ส่วนตอ รากและกิ่งก้านไม้ จำนวน 1,094,365 ตัน ส่วนปีกไม้ จำนวน 2,626,476 ตัน และปริมาณขี้เลื่อยและเศษไม้ จำนวน 656,619 ตัน รวมมีปริมาณชีวมวลที่สามารถใช้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลได้ประมาณ 7 ล้านตัน ในส่วนคุณสมบัติทางพลังงานพบว่า เกือบทุกส่วนของไม้ยางพาราให้ความชื้นประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์ และค่าความร้อนประมาณ 6.57 เมกะจูลต่อกิโลกรัม (MJ/kg) (กระทรวงพลังงาน, 2556) จากข้อมูลข้างต้น จะเห็นได้ว่ายางพารายังเป็นพืชอเนกประสงค์ที่ให้ประโยชน์ทั้งน้ำยางและไม้ ดังนั้น การศึกษาและพัฒนาสายพันธุ์ยางพาราที่ให้ผลผลิตและคุณภาพของน้ำยางและไม้สำหรับเป็นเชื้อเพลิงไปพร้อมกันจึงมีความจำเป็น และยังไม่มียางพาราสายพันธุ์ยางที่ให้คุณสมบัติทั้งสองด้านมาก่อนในประเทศไทย โดย



เฉพาะในด้านคุณภาพของไม้ยางในการใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล

## วิธีดำเนินการ

### แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Split plot มี 4 ซ้ำ ปัจจัยหลักประกอบพันธุ์ยางจำนวน 10 พันธุ์ ได้แก่ BPM 24, PB 235, PB 260, PB 310, PR 255, RRIC 110, PR 305, RRIT 226, GT 1, และ RRIM 600 ส่วนปัจจัยรอง ได้แก่ ส่วนต่าง ๆ ของต้นยางพารา คือ กิ่ง โคน และ ลำต้น

### การตัดต้นยางพารา

วัดความสูงของต้นยาง (เมตร) และตัดต้นที่ระดับความสูง 10 เซนติเมตรเหนือพื้นดิน แล้ววัดความสูงของคาบ (เมตร) การทดลองในครั้งนี้ใช้ต้นยางพาราจำนวน 4 ต้นของแต่ละพันธุ์ จำนวน 10 พันธุ์ เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลการให้ค่าพลังงานชีวมวลของแต่ละพันธุ์ จากนั้นจึงแบ่งส่วนของไม้ออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนของ ยอด ลำต้น และราก เพื่อเปรียบเทียบการให้ค่าพลังงานชีวมวลของแต่ละส่วนในต้นเดียวกัน โดยในแต่ละส่วนจะถูกตัดแบ่งออกเป็นเชิงอีกครั้งเพื่อนำไปบันทึกน้ำหนักสดและน้ำแห้งต่อไป (ภาพที่ 1-5)

### การสับและบดละเอียดตัวอย่างไม้ยางพารา

1. เก็บตัวอย่างไม้ยางพารา และสับย่อยเป็นท่อนความยาวประมาณ 3-4 เซนติเมตร

2. นำตัวอย่างไปบดด้วยเครื่องบดตัวอย่างละเอียดชนิด Centrifugal mill ที่มีตะแกรงร่อนขนาด 2 มิลลิเมตร หรือใช้เครื่องบดตัวอย่างชนิด Cutter type (Wiley) ที่มีตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร ร่อนให้มีขนาดประมาณ 60 เมช (Mesh) แล้วเก็บตัวอย่างไว้ใน filter bag เพื่อเตรียมวิเคราะห์ต่อไป

### การหาคุณสมบัติทางเคมี

1. แบ่งผงไม้ที่ร่อนผ่านตะแกรง 40 เมช ออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกนำไปสกัดปริมาณสารแทรกที่ละลายในเอทานอล-เบนซีน (Ethanol-benzene solubility) ตามมาตรฐาน TAPPI T 264 om-88 (1988) ส่วนที่สองนำไป

เผาเพื่อวิเคราะห์เถ้า (Ash) ตามมาตรฐาน TAPPI T 211 om-93 (1993) และส่วนที่สามนำไปวิเคราะห์ปริมาณการละลายในด่างเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ (1% NaOH) ตามมาตรฐาน TAPPI T 212 om-98 (1998)

2. นำผงไม้ที่ปราศจากสารแทรกมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ต่อไปดังนี้ ผงไม้ที่ปราศจากสารแทรก นำไปวิเคราะห์ปริมาณลิกนิน (Lignin) ตามมาตรฐาน TAPPI T 222 om-98 (1998) หลังจากนั้นกำจัดลิกนินออกโดยใช้โซเดียมคลอไรด์ ( $\text{NaClO}_2$ ) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณโฮโลเซลลูโลส [โฮโลเซลลูโลส (Holo-cellulose) = แอลฟาเซลลูโลส (Alphacellulose) + เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)] โดยใช้วิธีของ Browning (1967) และกำจัดเฮมิเซลลูโลสเพื่อวิเคราะห์แอลฟาเซลลูโลสตามมาตรฐาน TAPPI T 203 om-88 (1988) จากนั้นนำปริมาณโฮโลเซลลูโลสมาลบกับแอลฟาเซลลูโลสก็จะได้ปริมาณเฮมิเซลลูโลส (Rowell, 2005)

### การหาคุณสมบัติทางพลังงาน

1. วิเคราะห์หาปริมาณ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และ ซัลเฟอร์ ด้วยหลักการเผาไหม้ (LECO, 2003; Telmo et al., 2010)

2. การหาค่าความร้อน (Gross Calorific Value, GCV) วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Bomb calorimeter (AOAC, 1980)

3. การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น (Dry matter หรือ Moisture) ซึ่งเป็นน้ำหรือสารที่ระเหยได้ทั้งหมด (Total volatile matter) ที่สูญเสียไปจากพืชเมื่อเพิ่มความร้อนให้แก่พืช อุณหภูมิที่ให้แก่พืชต้องไม่สูงกว่าจุดเดือดของน้ำหรือความชื้นในสภาพสุญญากาศ การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความชื้นกระทำตามวิธีมาตรฐาน ASTM 3173 โดยนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ในตู้อบ (Drying oven) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เพื่อให้ไอน้ำระเหยออกจากตัวอย่าง ค่าความชื้นที่ได้สามารถคำนวณจากน้ำหนักของตัวอย่างที่ลดลง

4. การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (Ash) เถ้า คือองค์ประกอบส่วนที่เป็นสารอนินทรีย์ (Inorganic substances) ในตัวอย่าง มีหลักการง่าย ๆ คือ เผาตัวอย่างที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้องค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์ (Organic



ภาพที่ 1 การตัดแยกส่วนของยอดและลำต้น



ภาพที่ 2 เก็บตัวอย่างลำต้นเป็นชิ้น ความหนา 5 เซนติเมตร ที่ระดับความสูง 6 ระดับ ได้แก่ L1 (0.90-0.95 ม., เป็นช่วงที่กรี๊ด), L2 (2.65-2.70 ม.), L3 (5.95-6.00 ม.), L4 (9.95-10.00 ม.), L5 (13.95-14.00 ม.) และ L6 (17.95-18.00 ม.) ตามลำดับ



ภาพที่ 3 การเก็บเนื้อไม้โดยใช้วิธีเจาะในส่วนต่อ และซุดในส่วนของราก

substance) ให้หมดไป ส่วนที่เหลือคือ สารอินทรีย์สำหรับองค์ประกอบของเถ้าขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและวิธีการเผา เถ้าประกอบด้วย แร่ธาตุต่าง ๆ เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก โซเดียม โพแทสเซียม และแมกนีเซียม ทำการวิเคราะห์ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 3174 โดยนำตัวอย่างไปเผาให้ความร้อนในเตาเผาที่อุณหภูมิ 575 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง จนกระทั่งได้น้ำหนัก

ที่คงที่ของถ้อยทนไฟรวมกับน้ำหนักของเถ้าที่เหลือ จึงนำมาชั่งน้ำหนัก

5. การวิเคราะห์หาปริมาณสารระเหย (Volatile matter) ทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน SATMD 3175 โดยนำตัวอย่างมาเผาที่อุณหภูมิ 925 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณสารระเหยจากการสูญเสีย น้ำหนักของตัวอย่าง



ภาพที่ 4 วัดเส้นรอบวงของเซียงแต่ละระดับ และบันทึกรายละเอียดต่างๆ ในด้านล่าง (ด้านที่อยู่ส่วนราก)



ภาพที่ 5 อบแห้งตัวอย่างด้วยตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่อเนื่อง 5 วัน หรือจนน้ำหนักแห้งคงที่ และบันทึกน้ำหนักแห้งของเซียงแต่ละระดับ

6. การหาปริมาณคาร์บอนคงตัว (Fixed carbon) เป็นค่าที่แสดงถึงส่วนที่เผาไหม้หลังจากที่กำจัดความชื้น สารระเหย และเถ้าออกแล้ว ซึ่งหาได้โดยนำปริมาณความชื้น เถ้า สารระเหย ลบออกจาก 100 และทุกค่าต้องอยู่ในสภาวะความชื้นเดียวกัน

### ผลการทดลองและวิจารณ์ ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน

จากตารางที่ 1 พบว่า สายพันธุ์ RRIT 226 มีปริมาณเฮมิเซลลูโลสสูงที่สุด เท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับสายพันธุ์อื่น ยกเว้นสายพันธุ์ BPM 24, PB 235, PR 255 และ PR 305 (18, 18,19 และ 19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) และมี



ปริมาณเอมิเซลลูโลสต่ำสุดในสายพันธุ์ RRIC 110 เท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณเซลลูโลส พบมากที่สุดในสายพันธุ์ RRIC 110 เท่ากับ 49 เปอร์เซ็นต์ ต่ำสุดในสายพันธุ์ PR 305 เท่ากับ 44 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณลิกนินพบมากที่สุดในสายพันธุ์ RRIC 110 เท่ากับ 22 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าทุกสายพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ยกเว้น BPM 24, PB 235, PR 255 และ RRIM 600 (20, 21, 21 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) และมีปริมาณลิกนินต่ำสุดในสายพันธุ์ GT 1, PB 260, PB 310, PB 235 และ RRIT 226 เท่ากับ 19 เปอร์เซ็นต์

เมื่อเปรียบเทียบในสวนต่าง ๆ ของต้น พบว่าปริมาณเอมิเซลลูโลสมีมากที่สุดในส่วนของกิ่ง เท่ากับ 19 เปอร์เซ็นต์ และน้อยที่สุดในส่วนของลำต้นเท่ากับ 16 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณเซลลูโลสพบมากที่สุดในส่วนของของกิ่งและลำต้น เท่ากับ 48 เปอร์เซ็นต์ พบน้อยที่สุดในส่วนโคน เท่ากับ 43 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณลิกนินพบมากที่สุดในส่วนของลำต้น เท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์ พบได้น้อยที่สุดในส่วนของกิ่งและโคน เท่ากับ 17 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาค่าความแปรปรวน (CV) ผลวิเคราะห์ค่า เอมิเซลลูโลส เซลลูโลส และ ลิกนิน ของสายพันธุ์และองค์ประกอบผลผลิต พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ (ไม่เกิน 15%) ในส่วนของค่าความแปรปรวน (LSD) เมื่อเปรียบเทียบ เอมิเซลลูโลส เซลลูโลส และ ลิกนิน ภายในสายพันธุ์ องค์ประกอบผลผลิต (เปรียบเทียบระหว่างสวนต่าง ๆ ในต้น) และเปรียบเทียบระหว่างสายพันธุ์กับองค์ประกอบผลผลิต พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ในกระบวนการเผาไหม้ชีวมวลที่มีปริมาณเซลลูโลสสูงจะส่งผลให้เกิดกระบวนการเผาไหม้ได้เร็ว ตรงกันข้ามกับชีวมวลที่มีปริมาณลิกนินสูงจะมีผลทำให้เกิดกระบวนการเผาไหม้ได้ช้ากว่า (Gani and Nurse 2007) ในงานทดลองนี้ ยางพาราทุกสายพันธุ์มีปริมาณเอมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนินอยู่ระหว่าง 14–20, 44–49 และ 19–22 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยส่วนประกอบที่มีปริมาณเอมิเซลลูโลสน้อยที่สุดคือลำต้น ส่วนที่มีปริมาณเซลลูโลสน้อยที่สุดคือโคน และส่วนที่มีปริมาณลิกนินสูงที่สุดคือลำต้น สอดคล้องกับการศึกษาพบว่า พืชที่มีปริมาณเซลลูโลสสูงจะมีการเผาไหม้เร็ว แต่

ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณสัดส่วนของลิกนินและเอมิเซลลูโลสด้วย เนื่องจากทั้งสองตัวมีผลต่อการสลายตัวด้วยความร้อนของเซลลูโลส การมีปริมาณเอมิเซลลูโลสและลิกนินสูงจะทำให้เซลลูโลสต้องใช้เวลาในการสลายตัวด้วยความร้อนนานขึ้น และมีสารที่เหลือจากการเผาไหม้เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความร้อนลดลงด้วย อีกทั้งสารที่เหลือจากการเผาไหม้ที่เรียกว่า ถ่านชาร์ มากขึ้น ซึ่งยากต่อการกำจัด แต่หากมีการจัดการที่ดีสามารถนำถ่านชาร์เหล่านี้มาใช้เป็นวัสดุเชื้อเพลิงไร้ควันเพื่อใช้ในบ้านเรือนหรืออุตสาหกรรมขนาดเล็กและกลางได้ดี เช่น เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ การเผาอิฐ การอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เป็นต้น แต่หากต้องการผลิตถ่านไม้อัดแท่งก็ต้องพิจารณาเลือกพันธุ์ที่มีปริมาณลิกนินน้อยเพื่อให้ได้เชื้อเพลิงที่ลุกไหม้เร็วและเหลือถ่านน้อยง่ายต่อการกำจัด ส่วนการใช้ประโยชน์จากชีวมวลเพื่อการผลิตก๊าซ ได้แก่ CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub> และสารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ จากไพโรไลซิสที่ได้จากเอมิเซลลูโลส เซลลูโลส และลิกนิน พบว่า เอมิเซลลูโลส จะให้ปริมาณ CO<sub>2</sub> สูง ส่วนเซลลูโลสจะได้ปริมาณ CO สูง และลิกนินจะให้ปริมาณ H<sub>2</sub> และ CH<sub>4</sub> สูง

### ปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์

จากตารางที่ 2 สายพันธุ์ RRIC 110 มีปริมาณคาร์บอนสูงที่สุด เท่ากับ 45.7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าสายพันธุ์ RRIM 600 (44.9 เปอร์เซ็นต์) ที่มีคาร์บอนต่ำที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ส่วนปริมาณไฮโดรเจนพันธุ์ที่พบมากที่สุด คือ PR 305 เท่ากับ 6.73 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าสายพันธุ์ PB 310 (6.08 เปอร์เซ็นต์) ที่มีปริมาณไฮโดรเจนต่ำอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ส่วนปริมาณไนโตรเจน พบว่า มีปริมาณสูงที่สุดในสายพันธุ์ GT 1, PB 260 และ PR 305 เท่ากับ 0.36, 0.37 และ 0.36 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มากกว่าทุกสายพันธุ์ (ยกเว้นสายพันธุ์ PR 255 (0.32 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ) โดยสายพันธุ์ PB 310 ที่มีปริมาณไนโตรเจนต่ำที่สุด เท่ากับ 0.23 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ ทุกสายพันธุ์ให้ปริมาณซัลเฟอร์ใกล้เคียงกัน จึงไม่แตกต่างทางสถิติ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.06-0.08 เปอร์เซ็นต์





ตารางที่ 1 ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ที่มีอยู่ในไม้ยางพาราพันธุ์ต่าง ๆ  
จำนวน 10 พันธุ์

พันธุ์ยาง	เซลลูโลส (%)	เฮมิเซลลูโลส (%)	ลิกนิน (%)
BPM 24 (A1)	46 abc	18 ab	20 ab
GT 1 (A2)	47 abc	17 bc	19 b
PB 260 (A3)	47 ab	17 bc	19 b
PB 310 (A4)	48 ab	18 bc	19 b
PB 235 (A5)	47 abc	18 ab	19 b
PR 255 (A6)	46 abc	19 ab	21 ab
PR 305 (A7)	44 c	19 ab	21 ab
RRIC 110 (A8)	49 a	14 b	22 a
RRIM 600 (A9)	45 bc	17 bc	20 ab
RRIT 226 (A10)	45 bc	20 a	19 b
องค์ประกอบผลผลิต (B)			
กิ่ง (B1)	48 a	19 a	17 b
โคน (B2)	43 b	17 b	18 b
ลำต้น (B3)	48 a	16 c	25 a
AXB			
A1XB1	48 a-e	18 a-g	16 h
A1XB2	44 b-g	17 b-h	19 e-h
A1XB3	47 b-e	19 a-e	24 a-f
A2XB1	51 ab	19 a-e	17 h
A2XB2	43 c-g	14 fgh	19 fgh
A2XB3	48 a-e	18 a-g	24 a-e
A3XB1	49 abc	21 ab	17 h
A3XB2	46 b-f	14 fgh	17 h
A3XB3	47 a-e	15 d-h	24 a-e
A4XB1	50 abc	21 ab	15 h
A4XB2	45 b-f	18 a-f	17 h
A4XB3	49 abc	15 d-h	26 ab
A5XB1	48 a-d	19 a-e	18 gh
A5XB2	44 b-g	20 a-d	15 h
A5XB3	49 abc	16 c-h	26 abc



ตารางที่ 1 (ต่อ) ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ที่มีอยู่ในไม้ยางพาราพันธุ์ต่าง ๆ  
จำนวน 10 พันธุ์

AXB	เซลลูโลส (%)	เฮมิเซลลูโลส (%)	ลิกนิน (%)
A6XB1	48 a-d	20 a-d	18 gh
A6XB2	40 fg	21 a	18 gh
A6XB3	51 ab	15 d-h	28 a
A7XB1	49 abc	17 a-g	18 gh
A7XB2	38 g	22 a	20 d-h
A7XB3	44 b-g	17 a-g	25 a-d
A8XB1	48 a-d	18 a-g	20 d-h
A8XB2	44 b-g	13 gh	20 d-h
A8XB3	54 a	12 h	27 a
A9XB1	45 b-f	22 a	18 gh
A9XB2	42 d-g	14 fgh	20 d-h
A9XB3	49 abc	15 d-h	24 a-e
A10XB1	47 b-e	20 ab	19 fgh
A10XB2	41 efg	22 a	18 gh
A10XB3	47 b-e	18 a-g	23 a-g
c.v.			
พันธุ์ยาง	6.63	13.42	10.47
องค์ประกอบผลผลิต	7.80	14.32	14.86
L.S.D.			
พันธุ์ยาง (A)	3.47**	2.67**	2.37**
องค์ประกอบผลผลิต (B)	2.15**	1.49**	1.77**
AXB	6.80**	4.76**	5.61**

\*\*มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

<sup>1</sup>ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 99% โดย Duncan's Multiple Range Test



เมื่อเปรียบเทียบในส่วนต่าง ๆ ของต้น พบว่า ส่วนลำต้นมีปริมาณคาร์บอนมากที่สุด เท่ากับ 46.6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับส่วนโคนต้นที่มีปริมาณคาร์บอนน้อยที่สุด เท่ากับ 44.4 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณไฮโดรเจนในส่วนโคนและลำต้นมีมากที่สุด เท่ากับ 6.69 และ 6.87 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าส่วนกิ่งที่มีปริมาณไฮโดรเจนต่ำที่สุด เท่ากับ 6.26 เปอร์เซ็นต์ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และปริมาณไนโตรเจนพบมากที่สุดในส่วนกิ่ง เท่ากับ 0.38 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าส่วนโคนและลำต้น (0.27 และ 0.26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และปริมาณซัลเฟอร์มีมากที่สุดส่วนกิ่งและโคน เท่ากับ 0.07 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าส่วนลำต้นที่ให้ค่าน้อยที่สุด (0.06 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ปริมาณคาร์บอนและไฮโดรเจนมีผลต่อการติดไฟ จึงมีผลต่อค่าความร้อนที่ได้ เนื่องจากการเผาไหม้เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจน กับคาร์บอน ไฮโดรเจน และซัลเฟอร์ ซึ่งปริมาณคาร์บอนและไฮโดรเจนมากจะช่วยทำให้ค่าความร้อนเกิดการเผาไหม้เพิ่มขึ้น ตรงข้ามกับออกซิเจน ซึ่งขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของการเปลี่ยนคาร์บอนและไฮโดรเจนไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ส่วนค่าไนโตรเจนและซัลเฟอร์เป็นตัวบ่งบอกถึงก๊าซที่จะถูกปลดปล่อยออกสู่อากาศซึ่งอาจมีผลต่อสภาพแวดล้อมได้ (เชื้อเพลิงชีวมวลที่ดีควรมีปริมาณไนโตรเจนและซัลเฟอร์ไม่เกิน 0.60 และ 0.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) ดังนั้น ในกระบวนการเผาไหม้ หากชีวมวลมีปริมาณคาร์บอน และไฮโดรเจนมากจะส่งผลให้ค่าความร้อนของการเผาไหม้มากขึ้น ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล และมูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม (2549) รายงานว่า ไม้ยางพารามีปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน 25.58 และ 3.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ น้อยกว่าไม้ยางพาราในงานทดลองนี้ซึ่งมีปริมาณคาร์บอน 44.0 – 45.7 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณไฮโดรเจน 6.08 – 6.73 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของปริมาณไนโตรเจน และซัลเฟอร์ ถ้ามีปริมาณมากเกิน 0.6 และ 0.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเพิ่มการปลดปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจก (Oberberger, 2006) ซึ่งในงานทดลองนี้

ไม้ยางพาราทุกสายพันธุ์มีปริมาณไนโตรเจน และซัลเฟอร์ต่ำกว่า เช่นเดียวกับในรายงานของศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล และมูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม (2549) ไม้ยางพารามีปริมาณไนโตรเจน 0.14 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณซัลเฟอร์ 0.02 เปอร์เซ็นต์

### ค่าความร้อน

จากตารางที่ 3 พบว่าไม้ยางสายพันธุ์ PB 310 ให้ปริมาณค่าความร้อนสูงที่สุดเท่ากับ 16.86 MJ/kg มากกว่าสายพันธุ์ PB 235 (16.40 MJ/kg) ที่ให้ค่าความร้อนต่ำที่สุด อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบในส่วนต่าง ๆ ของต้น พบว่า ส่วนลำต้นให้ปริมาณค่าความร้อนสูงที่สุดเท่ากับ 16.99 MJ/kg มากกว่าส่วนกิ่งและส่วนโคน (16.48 และ 16.42 MJ/kg) ที่ให้ค่าความร้อนต่ำที่สุด อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ค่าความร้อนที่ได้นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจน เนื่องจากคาร์บอนและไฮโดรเจนจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนแล้วได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานความร้อนในการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ แต่อย่างไรก็ตาม หากมีปริมาณไฮโดรเจนสูงก็จะเกิดน้ำมากขึ้นทำให้พลังงานงานบางส่วนถูกกักเก็บไว้ ระบบจึงไม่สามารถปล่อยพลังงานความร้อนออกมาได้ทั้งหมดมีผลทำให้ค่าความร้อนลดลงได้เช่นกัน นอกจากนี้ ปริมาณความชื้น และปริมาณเถ้ามีผลให้ชีวมวลมีค่าพลังงานความร้อนลดลง (Sheng, 2005) ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล และมูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม (2549) รายงานว่า ไม้ยางพารามีค่าความร้อนอยู่เพียง 10.37 เปอร์เซ็นต์ น้อยกว่ายางพาราในงานทดลองนี้ซึ่งมีค่าความร้อนอยู่ระหว่าง 16.40–16.86 เปอร์เซ็นต์ โดยส่วนของลำต้นมีค่าความร้อนมากที่สุด (16.99%) เนื่องจากมีปริมาณคาร์บอนมากกว่ากิ่งและโคน และถึงแม้ว่าลำต้นจะมีปริมาณความชื้นสูงกว่าส่วนอื่น

### ความชื้น สารระเหยได้ เถ้า และคาร์บอนคงที่

*ความชื้น* จากตารางที่ 4 เมื่อพิจารณาข้อมูลความชื้น พบว่า พันธุ์ PR 305 มีความชื้นมากที่สุด เท่ากับ 4.46 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์อื่น รองลงมาคือพันธุ์ BPM 24, RRIC 110, RRIT



ตารางที่ 2 ปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ ที่มีอยู่ในไม้ยางพารา พันธุ์ต่าง ๆ จำนวน 10 พันธุ์

พันธุ์ยาง	คาร์บอน (%)	ไฮโดรเจน (%)	ไนโตรเจน (%)	ซัลเฟอร์ (%)
BPM 24 (A1)	45.4 ab	6.63 ab	0.27 bc	0.07
GT 1 (A2)	45.5 ab	6.68 ab	0.36 a	0.07
PB 260 (A3)	45.3 ab	6.66 ab	0.37 a	0.08
PB 310 (A4)	45.0 ab	6.08 b	0.23 c	0.07
PB 235 (A5)	45.5 ab	6.60 ab	0.28 b	0.06
PR 255 (A6)	45.6 ab	6.64 ab	0.32 ab	0.06
PR 305 (A7)	45.4 ab	6.73 a	0.36 a	0.06
RRIC 110 (A8)	45.7 a	6.70 ab	0.29 b	0.07
RRIM 600 (A9)	44.9 b	6.64 ab	0.28 b	0.08
RRIT 226 (A10)	45.7 ab	6.68 ab	0.29 b	0.06
องค์ประกอบผลผลิต (B)				
กิ่ง (B1)	45.1 b	6.26 b	0.38 a	0.07 a
โคน (B2)	44.4 c	6.69 a	0.27 b	0.07 a
ลำต้น (B3)	46.6 a	6.87 a	0.26 b	0.06 b
AXB				
A1XB1	44.9 fgh	6.30	0.35 bcd	0.07 abc
A1XB2	44.2 h	6.65	0.25 de	0.08 abc
A1XB3	47.2 ab	6.93	0.20 e	0.07 abc
A2XB1	45.2 e-h	6.40	0.53 a	0.06 abc
A2XB2	44.5 fgh	6.73	0.28 cde	0.08 abc
A2XB3	46.9 abc	6.93	0.28 cde	0.06 abc
A3XB1	45.2 e-h	6.45	0.50 a	0.10 a
A3XB2	44.5 fgh	6.78	0.30 cde	0.08 abc
A3XB3	46.2 b--e	6.75	0.30 cde	0.07 abc
A4XB1	45.5 d-g	4.93	0.23 de	0.07 abc
A4XB2	44.3 gh	6.60	0.23 de	0.08 abc
A4XB3	45.2 e-h	6.73	0.23 de	0.07 abc
A5XB1	45.1 e-h	6.33	0.28 cde	0.08 abc
A5XB2	44.2 h	6.68	0.30 cde	0.04 c
A5XB3	47.1 ab	6.80	0.28 cde	0.07 abc



ตารางที่ 2 (ต่อ) ปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และซัลเฟอร์ ที่มีอยู่ในไม้ยางพารา พันธุ์ต่าง ๆ จำนวน 10 พันธุ์

AXB	คาร์บอน(%)	ไฮโดรเจน(%)	ไนโตรเจน (%)	ซัลเฟอร์ (%)
A6XB1	44.9 fgh	6.38	0.45 ab	0.07 abc
A6XB2	44.1 h	6.53	0.30 cde	0.06 abc
A6XB3	47.8 a	7.03	0.20 e	0.06 abc
A7XB1	44.8 fgh	6.45	0.45 ab	0.07 abc
A7XB2	44.5 fgh	6.70	0.33 b-e	0.06 abc
A7XB3	47.0 ab	7.03	0.30 cde	0.06 abc
A8XB1	45.6 c-f	6.48	0.40 abc	0.07 abc
A8XB2	44.9 fgh	6.88	0.23 de	0.08 abc
A8XB3	46.6 a-d	6.75	0.25 de	0.05 bc
A9XB1	45.0 e-h	6.48	0.35 bcd	0.09 ab
A9XB2	44.5 fgh	6.75	0.25 de	0.08 abc
A9XB3	45.1 e-h	6.70	0.25 de	0.07 abc
A10XB1	45.0 e-h	6.38	0.28 cde	0.06 abc
A10XB2	44.5 fgh	6.60	0.28 cde	0.09 ab
A10XB3	47.5 a	7.05	0.33 b-e	0.04 c
c.v.				
พันธุ์ยาง	1.65	8.38	15.09	42.32
องค์ประกอบผลผลิต	1.49	8.33	23.82	34.90
L.S.D.				
พันธุ์ยาง (A)	0.84**	0.62**	0.05**	0.03 <sup>ns</sup>
องค์ประกอบผลผลิต (B)	0.40**	0.32**	0.04**	0.01**
AXB	1.27**	0.77 <sup>ns</sup>	0.13**	0.05**

<sup>ns</sup>ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

\*\*มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

<sup>1</sup>ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 99% โดย Duncan's Multiple Range Test



### ตารางที่ 3 ปริมาณค่าความร้อนของไม้ยางพาราพันธุ์ต่าง ๆ จำนวน 10 พันธุ์

พันธุ์ยาง	ค่าความร้อน (MJ/kg)
BPM 24 (A1)	16.70 ab
GT 1 (A2)	16.57 ab
PB 260 (A3)	16.58 ab
PB 310 (A4)	16.86 a
PB 235 (A5)	16.40 b
PR 255 (A6)	16.41 ab
PR 305 (A7)	16.71 ab
RRIC 110 (A8)	16.80 ab
RRIM 600 (A9)	16.65 ab
RRIT 226 (A10)	16.63 ab
องค์ประกอบผลผลิต (B)	
กิ่ง (B1)	16.48 b
โคน (B2)	16.42 b
ลำต้น (B3)	16.99 a
AXB	
A1XB1	16.63 a-h
A1XB2	16.43 c-i
A1XB3	17.05 abc
A2XB1	16.53 b-i
A2XB2	16.33 d-i
A2XB3	16.85 a-f
A3XB1	16.00 hi
A3XB2	16.68 a-h
A3XB3	17.05 abc
A4XB1	17.08 abc
A4XB2	16.20 e-i
A4XB3	17.30 a
A5XB1	16.33 d-i
A5XB2	15.93 i
A5XB3	16.95 a-d

### ตารางที่ 3 (ต่อ) ปริมาณค่าความร้อนของไม้ยางพาราพันธุ์ต่าง ๆ จำนวน 10 พันธุ์

AXB	ค่าความร้อน (MJ/kg)
A6XB1	16.15 ghi
A6XB2	16.20 e-i
A6XB3	16.88 a-e
A7XB1	16.68 a-h
A7XB2	16.68 a-h
A7XB3	16.78 a-g
A8XB1	16.88 a-e
A8XB2	16.60 b-i
A8XB3	16.93 a-d
A9XB1	16.40 c-i
A9XB2	16.58 b-i
A9XB3	16.98 a-d
A10XB1	16.18 f-i
A10XB2	16.60 b-i
A10XB3	17.13 ab
c.v.	
พันธุ์ยาง	2.41
องค์ประกอบผลผลิต	2.21
L.S.D.	
พันธุ์ยาง (A)	0.45**
องค์ประกอบผลผลิต (B)	0.22**
AXB	0.69**

\*\*มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ  
ความเชื่อมั่น 99%

<sup>1</sup>ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันที่ระดับ  
ความเชื่อมั่น 99% โดย Duncan's Multiple Range Test

226, RRIM 600, GT 1, PB 310, PR 255, PB 260 และ พันธุ์ PB 235 มีความชื้นน้อยที่สุด เท่ากับ 3.69 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาค่าความชื้นในส่วนต่าง ๆ ของต้น พบว่า ในส่วนของลำต้นมีค่าความชื้นมากกว่าที่สุด เท่ากับ 5.05 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือส่วนโคน และส่วน กิ่ง ซึ่งมีค่าความชื้นน้อยที่สุด เท่ากับ 2.90 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาค่าความแปรปรวน (CV) ผล วิเคราะห์ค่าความชื้น พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่สามารถ ยอมรับได้ (ไม่เกิน 15%) ในส่วนของค่าความแปรปรวน (LSD) เมื่อเปรียบเทียบภายในพันธุ์ องค์ประกอบผลผลิต (เปรียบเทียบระหว่างส่วนต่าง ๆ ในต้น) และเปรียบเทียบ ระหว่างพันธุ์กับองค์ประกอบผลผลิต พบว่า มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ปริมาณความชื้นในชีวมวลเป็นคุณสมบัติที่สำคัญ มากในการนำชีวมวลไปใช้เป็นเชื้อเพลิง ถ้าชีวมวลมี ปริมาณความชื้นมากจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการเผา ไหม้ลดลงเป็นอย่างมาก ปัจจัยที่ทำให้มีค่าความชื้นที่ ต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับชนิดและองค์ประกอบของวัสดุที่ถูก เผา ถ้าเป็นชีวมวลจำพวก ชานอ้อย เปลือกมังคุด กาก ปาล์ม ทลายปาล์ม มูลสัตว์ เป็นต้น ก็จะมีค่าความชื้นสูง จึง จำเป็นต้องมีวิธีการกำจัดความชื้นต่างกันอย่างออกไป ทั้งนี้ค่า ความชื้นเริ่มต้นยังมีผลต่อปริมาณสารที่ระเหยได้และ ปริมาณคาร์บอนคงที่อีกด้วย หากจะนำชีวมวลเหล่านี้ไป ผลิตเป็นถ่านเชื้อเพลิงต้องปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรม, 2547) ในส่วนของผลการทดลองในครั้งนี้มี ปริมาณความชื้นอยู่ที่ 3.69–4.46 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่เกิน จากค่ามาตรฐานที่กำหนด เพราะถ่านที่มีความชื้นมาก เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป มีแนวโน้มที่จะเกิดการแตก่วน เมื่อนำไปใช้และจุดติดไฟยากขึ้น

**สารที่ระเหยได้** จากตารางที่ 4 เมื่อพิจารณาข้อมูล สารที่ระเหยได้ พบว่า พันธุ์ PB 310 มีสารระเหยมากที่สุด เท่ากับ 94.58 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติกับ ทุกพันธุ์ รองลงมาคือพันธุ์ PB 235, RRIC 110, PR 255, GT 1, RRIM 600, RRIT 226, PR 305, BPM 24 และ พันธุ์ PB 260 มีสารที่ระเหยได้น้อยที่สุด เท่ากับ 92.33 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาค่าความแปรปรวน (CV) ผล

ของต้น พบว่า ส่วนกิ่งมีปริมาณสารที่ระเหยได้มากที่สุด เท่ากับ 95.80 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือส่วนลำต้นและ ส่วนโคน มีสารที่ระเหยได้น้อยที่สุด คือ 92.38 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาค่าความแปรปรวน (CV) ผล วิเคราะห์สารที่ระเหยได้พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงที่สามารถ ยอมรับได้ (ไม่เกิน 15%) ในส่วนของค่าความแปรปรวน (LSD) เมื่อเปรียบเทียบภายในพันธุ์ พบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติ แต่เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบผลผลิต (เปรียบเทียบระหว่างส่วนต่าง ๆ ในต้น) และเปรียบเทียบ ระหว่างพันธุ์กับองค์ประกอบผลผลิต พบว่า มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

ปริมาณสารที่ระเหยได้จะเป็นตัวบอกถึงปริมาณ ของเหลวและน้ำมันดินส่วนที่ยังถูกขับออกไปไม่หมด ซึ่ง ผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารที่ระเหยได้ของงานวิจัย ในครั้งนี้ พบว่า มีค่าปริมาณสารที่ระเหยได้ค่อนข้างสูง สาเหตุเนื่องมาจากความร้อนส่วนหนึ่งต้องนำมาใช้ในการ ขับความชื้นออกจากตัวอย่างพืชก่อน ทำให้ความ ร้อนที่เหลือในการขับสารที่ระเหยได้น้อยลงจึงมีปริมาณ สารระเหยสูง แต่ถ้ามีการให้ความร้อนต่อไปและมี อุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณสารระเหยน้อยลงได้ ถ่าน ที่มีปริมาณสารระเหยได้อยู่มากจะติดไฟง่ายและมีควัน มาก ไม่เป็นที่นิยมใช้ในครัวเรือน แต่ถ่านที่มีปริมาณสาร ที่ระเหยได้น้อยจะติดไฟยากและเมื่อเผาไหม้แล้วไม่มี ควัน สารที่ระเหยได้จะถูกขับออกไปจากตัวอย่างพืชใน รูปของก๊าซ ซึ่งหากมีกระบวนการเก็บสารระเหยที่ดีแล้วก็ สามารถนำไปใช้งานในรูปแบบของเชื้อเพลิงก๊าซ (Gaseous fuel) ได้

**เถ้า** จากตารางที่ 4 เมื่อพิจารณาข้อมูลเถ้า พบว่า พันธุ์ GT 1 มีปริมาณเถ้ามากที่สุดเท่ากับ 2.56 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์อื่น รองลงมาคือ พันธุ์ PR 255, PB 260, BPM 24, PB 235, RRIM 600, RRIT 226, PR 305, PB 310 และ พันธุ์ RRIC 110 มี ปริมาณเถ้าที่น้อยที่สุด เท่ากับ 1.71 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาข้อมูลเถ้าในส่วนต่าง ๆ ของต้น พบว่า ส่วนโคนมีปริมาณเถ้ามากที่สุดเท่ากับ 3.41 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือส่วนกิ่ง และส่วนลำต้น มีปริมาณ เถ้าที่น้อยที่สุด เท่ากับ 1.53 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาค่าความแปรปรวน (LSD) ผล

วิเคราะห์เข้าเปรียบเทียบภายในพันธุ์ องค์ประกอบผลผลิต (เปรียบเทียบระหว่างส่วนต่าง ๆ ในต้น) และเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์กับองค์ประกอบผลผลิต พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

เข้าเป็นส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้ซึ่งไม่สามารถติดไฟได้และมีผลทำให้ค่าความร้อนลดลงหากมีปริมาณเข้าสูง อีกทั้งยังยากต่อการทำความสะอาดเตาเผาและการกำจัดทิ้งอีกด้วย ซึ่งสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดว่า ถ่านไม้หุงต้มจะต้องมีปริมาณเข้าไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

**คาร์บอนคงที่** จากตารางที่ 4 เมื่อพิจารณาข้อมูลคาร์บอนคงที่ พบว่า พันธุ์ BPM 24, PR 305 และ RRIC 110 มีปริมาณคาร์บอนคงที่มากที่สุดเท่ากับ 3.9 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติกับพันธุ์อื่น รองลงมาคือ พันธุ์ RRIT 226, RRIM 600, GT 1, PB 310, PR 255 ส่วนพันธุ์ PB 260 และ PB 235 มีปริมาณคาร์บอนคงที่น้อยที่สุด เท่ากับ 3.1 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาข้อมูลคาร์บอนคงที่ในส่วนต่าง ๆ ของต้น พบว่า ส่วนลำต้นมีปริมาณคาร์บอนคงที่มากที่สุด เท่ากับ 4.5 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ ส่วนโคนและส่วนกิ่งซึ่งมีปริมาณคาร์บอนคงที่น้อยที่สุด เท่ากับ 2.6 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาค่าความแปรปรวน (CV) ผลวิเคราะห์เข้าพบว่า มีค่าอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ (ไม่เกิน 15%) ในส่วนของค่าความแปรปรวน (LSD) เมื่อเปรียบเทียบภายในพันธุ์ องค์ประกอบผลผลิต(เปรียบเทียบระหว่างส่วนต่าง ๆ ในต้น) และเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์กับองค์ประกอบผลผลิต พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

คาร์บอนคงที่ (Fix carbon) คือปริมาณสารประกอบคาร์บอนที่ระเหยได้ยากซึ่งคงเหลือจากการเผาไหม้ทั้งหมดแล้ว ปริมาณคาร์บอนคงที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อให้อุณหภูมิการเผาไหม้สูงขึ้น และมีความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้ามกับปริมาณสารที่ระเหยได้ กล่าวคือ ถ้ามีปริมาณสารระเหยสูงจะทำให้มีการปลดปล่อยคาร์บอนคงที่ออกมาได้น้อยหรือคงที่ เนื่องจากความร้อนบางส่วนถูกใช้ไปในการขับเคลื่อนและปริมาณสารที่ระเหยได้แล้ว ความร้อนจึงไม่เพียงพอในการขับเคลื่อนคาร์บอนคงที่ออก

มา เนื่องด้วยคาร์บอนคงที่มีสถานะเป็นของแข็ง นอกจากนี้ปริมาณคาร์บอนคงที่ยังมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนอีกด้วย ถ้ามีปริมาณคาร์บอนคงที่สูง มีแนวโน้มที่จะมีค่าความร้อนสูง และมีการเผาไหม้ได้นานขึ้น เพราะปริมาณคาร์บอนคงที่เป็นแหล่งพลังงานหลักระหว่างการเผาไหม้

## สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

### สรุปผลการทดลอง

- พันธุ์ RRIC 110 มีแนวโน้มให้ปริมาณเซลลูโลสและลิกนินสูง ขณะที่พันธุ์ RRIT 226 ให้ปริมาณเฮมิเซลลูโลสสูง โดยเฉพาะพันธุ์ PB 310 ส่วนลำต้นมีปริมาณเฮมิเซลลูโลสน้อยที่สุด ปริมาณเซลลูโลสน้อยที่สุดคือ โคน และส่วนที่มีปริมาณลิกนินสูงที่สุด คือ ลำต้น

- พันธุ์ RRIC 110 ให้ปริมาณคาร์บอนสูง ไม่ยางพาราทุกสายพันธุ์มีปริมาณไนโตรเจนและซัลเฟอร์ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ทำให้สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลได้ดี ส่วนลำต้นมีปริมาณคาร์บอนและไฮโดรเจนสูง และมีปริมาณไนโตรเจนและซัลเฟอร์ต่ำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีในการใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล รองลงมา คือ ส่วนโคน

- ค่าความร้อนของไม้ยางพาราทุกสายพันธุ์มีค่าใกล้เคียงกันและอยู่ในระดับที่เหมาะสมในการใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล และส่วนลำต้นให้ค่าความร้อนสูงที่สุด (16.99%)

- พันธุ์ RRIC 110 ให้ปริมาณเข้าต่ำและคาร์บอนคงที่สูง ส่วนลำต้นจะมีปริมาณความชื้นสูงกว่าส่วนโคนและกิ่ง และมีปริมาณสารที่ระเหยได้ต่ำกว่ากิ่ง แต่มีปริมาณเข้าต่ำ และมีปริมาณคาร์บอนคงที่มากกว่าส่วนอื่น

### ข้อเสนอแนะ

- คุณสมบัติทางพลังงานบางประการอาจมีปริมาณผันแปรไปตามสภาพพื้นที่ดินและการใส่ปุ๋ยของเกษตรกร เช่น ไนโตรเจน และซัลเฟอร์

- การทดลองนี้ วิเคราะห์คุณสมบัติทางพลังงานเพียงบางส่วน ซึ่งในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลเชิงการค้า





ตารางที่ 4 ปริมาณความชื้น สารระเหยได้ เถ้า และคาร์บอนคงที่ ที่มีอยู่ในไม้ยางพารา พันธุ์ต่าง ๆ จำนวน 10 พันธุ์

พันธุ์ยาง	ความชื้น (%)	สารระเหยได้(%)	เถ้า (%)	คาร์บอนคงที่ (%)
BPM 24 (A1)	4.38 ab	93.75	2.30 ab	3.9 a
GT 1 (A2)	4.07 a-e	94.17	2.56 a	3.4 abc
PB 260 (A3)	3.78 de	92.33	2.31 ab	3.1 c
PB 310 (A4)	3.95 b-e	94.58	1.99 ab	3.4 abc
PB 235 (A5)	3.69 e	94.58	2.25 ab	3.1 bc
PR 255 (A6)	3.82 cde	94.33	2.35 a	3.4 abc
PR 305 (A7)	4.46 a	93.92	2.08 ab	3.9 a
RRIC 110 (A8)	4.32 ab	94.50	1.71 b	3.9 a
RRIM 600 (A9)	4.22 a-d	94.17	2.24 ab	3.6 abc
RRIT 226 (A10)	4.28 abc	94.17	2.21 ab	3.7 ab
องค์ประกอบผลผลิต (B)				
กิ่ง (B1)	2.90 c	95.80 a	1.66 b	2.6 c
โคน (B2)	4.33 b	92.38 b	3.41 a	3.5 b
ลำต้น (B3)	5.05 a	93.98 b	1.53 c	4.5 a
AXB				
A1XB1	3.38 g-j	95.00 a-d	1.84 efg	3.0 f-l
A1XB2	4.82 a-d	92.25 cd	3.77 ab	4.0 a-g
A1XB3	4.94 a-d	94.00 a-d	1.30 fg	4.6 abc
A2XB1	2.89 ijk	96.25 abc	1.79 efg	2.2 jkl
A2XB2	4.98 a-d	91.75 d	4.25 a	3.9 a-h
A2XB3	4.34 def	94.50 a-d	1.65 efg	4.0 a-g
A3XB1	2.32 k	96.25 abc	2.14 def	2.0 l
A3XB2	4.29 d-g	86.25 e	3.22 abc	3.1 e-l
A3XB3	4.74 a-d	94.50 a-d	1.56 efg	4.1 a-f
A4XB1	2.32 k	97.00 a	0.96 g	2.1 kl
A4XB2	4.23 d-h	93.25 a-d	3.44 abc	3.5 c-j
A4XB3	5.32 abc	93.50 a-d	1.57 efg	4.8 ab
A5XB1	2.54 jk	96.00 abc	1.72 efg	2.3 jkl
A5XB2	3.20 ijk	94.00 a-d	3.37 abc	2.7 h-l
A5XB3	5.33 abc	93.75 a-d	1.67 efg	4.5 a-d



ตารางที่ 4 (ต่อ) ปริมาณความชื้น สารระเหยได้ เถ้า และคาร์บอนคงที่ ที่มีอยู่ในไม้ยางพารา พันธุ์ต่าง ๆ จำนวน 10 พันธุ์

AXB	ความชื้น (%)	สารระเหยได้ (%)	เถ้า (%)	คาร์บอนคงที่ (%)
A6XB1	3.44 f-j	95.00 a-d	1.69 efg	3.4 d-k
A6XB2	3.12 ijk	93.75 a-d	3.92 ab	2.4 i-l
A6XB3	4.89 a-d	94.25 a-d	1.45 fg	4.4 a-d
A7XB1	3.62 e-i	95.00 a-d	1.57 efg	3.3 d-k
A7XB2	4.38 c-f	93.25 a-d	3.06 bcd	3.5 b-i
A7XB3	5.37 ab	93.50 a-d	1.61 efg	4.9 a
A8XB1	2.64 jk	96.50 ab	1.06 g	2.7 h-l
A8XB2	4.80 a-d	93.50 a-d	2.58 cde	3.9 a-h
A8XB3	5.52 a	93.50 a-d	1.50 fg	5.0 a
A9XB1	2.64 jk	95.75 a-d	1.71 efg	2.3 i-l
A9XB2	5.10 a-d	92.75 bcd	3.35 abc	4.1 a-g
A9XB3	4.92 a-d	94.00 a-d	1.68 efg	4.5 a-d
A10XB1	3.28 hij	95.25 a-d	2.16 def	2.8 g-l
A10XB2	4.44 b-e	93.00 a-d	3.18 bcd	3.9 a-h
A10XB3	5.13 a-d	94.25 a-d	1.30 fg	4.5 a-d
c.v.				
พันธุ์ยาง	10.65	2.88	24.03	15.95
องค์ประกอบผลผลิต	12.44	3.01	25.70	18.97
L.S.D.				
พันธุ์ยาง (A)	0.49**	2.27ns	0.60**	0.64**
องค์ประกอบผลผลิต (B)	0.30**	1.68**	0.33**	0.40**
AXB	0.96**	4.00*	1.06**	1.26**

<sup>ns</sup>ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

<sup>\*\*</sup>มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

<sup>1</sup>ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 99% โดย Duncan's Multiple Range Test

อาจต้องพิจารณาคุณสมบัติทางพลังงานเพิ่มเติม เช่น ปริมาณโพแทสเซียม และคลอรีน ซึ่งมักขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ประโยชน์ของผู้ใช้ชีวมวล

### เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงพลังงาน. 2556. *ฐานข้อมูลศักยภาพชีวมวลในประเทศไทยประจำปีเพาะปลูก พ.ศ. 2556*. กระทรวงพลังงาน. กรุงเทพมหานคร.
- นิรนาม. 2560. "ไม้ยาง" ภาคใต้เพียงพอสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวล 1,000 เมกะวัตต์. ยาง&ปาล์ม. สืบค้นจาก: <https://www.yangpalm.com/2017/02/1000html> [20 มีนาคม 2561].
- ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล และมูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. 2549. *ชีวมวล*. พิมพ์ครั้งที่ 1: กรุงเทพมหานคร.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2547. *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านอัดแท่ง*. สำนักงานมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร.
- Association of Official Agriculture (AOAC). 1980. *Association of Office Analytical Chemists*. 13th ed. Office methods of analysis. Washington D.C. 376-384.
- Browning, B. L. 1967. *Methods of Wood Chemistry*. Interscience, Publishers, Wiley: New York.
- Gani, A. and I. Naruse, 2007. Effect of cellulose and lignin content on pyrolysis and combustion characteristics for several types of biomass. *Renewable Energy* 32: 649-661.
- Laboratory Equipment Corporation (LECO). 2003. CHNS-932 Instruction Manual. LECO. Corporation, St Joseph, Michigan. USA.
- Obernberger, I., T. Brunner and G. Bärnthaler. 2006. Chemical properties of solid biofuels significance and impact. *Biomass Bioenerg* 27: 653-669.
- Rowell, R. M. 2005. *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. Taylor and Francis: New York.
- Sheng, C. D. and J. L. T. Azevedo. 2005. Estimating the higher heating value of biomass fuels from basic analysis data. *Biomass and Bioenergy*, vol. 28(5), November 2004, pp. 499 - 507.
- TAPPI Standard T203 om-88. 1988. Alpha-, Beta- and gamma-Cellulose in Pulp. The Technical Association of the Pulp and Paper Industry, TAPPI Press: Atlanta, Georgia.
- TAPPI Standard T264 om-88. 1988. Preparation of Wood for Chemical Analysis. The Technical Association of the Puustry, TAPPI Press: Atlanta, Georgia.
- TAPPI Standard T211 om-93. 1993. Ash in Wood, Pulp, Paper and Paperboard: Combustion at 525 °C. The Technical Association of the Pulp and Paper Industry, TAPPI Press: Atlanta, Georgia.
- TAPPI Standard T222 om-98. 1998. Acid-Insoluble Lignin in Wood and Pulp. The Technical Association of the Pulp and Paper Industry, TAPPI Press: Atlanta, Georgia.
- TAPPI Standard T212 om-98. 1998. One Percent Sodium Hydroxide Solubility of Wood and Pulp. The Technical Association of the Pulp and Paper Industry, TAPPI Press: Atlanta, Georgia.

# การพัฒนาแผ่นรองเท้าสำเร็จรูปจากยางธรรมชาติสำหรับผู้ป่วยที่เป็นโรค รองเท้าและโรคเท้าแบน

ราตรี สีสุข<sup>1</sup>, นภาพรณ เลขะวิวัฒน์<sup>1</sup>, พิธิษฐุ์ พิมพัรัตน์<sup>1</sup>, เมตตา เจริญสุข<sup>1</sup>, และ ชินะโชติ ลิขิตสมบุรณ์<sup>2</sup>

<sup>1</sup>กองวิจัยอุตสาหกรรม การยางแห่งประเทศไทย

<sup>2</sup>กองเวชศาสตร์ฟื้นฟู โรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้า

โรคเอ็นฝ่าเท้าอักเสบ (Plantar fasciitis) หรือ โรค รองเท้า เป็นภาวะการอักเสบของเอ็นฝ่าเท้า (Plantar fascia) เป็นโรคที่พบบ่อยในเวชปฏิบัติ และมีความชุกของโรคในประชากรสูง โดยเกิดจากการอักเสบของเอ็นฝ่าเท้า (Plantar fascia) จากสาเหตุต่าง ๆ เช่น การบาดเจ็บจากการใช้งานเท้าซ้ำ ๆ การยืนนาน การวิ่ง หรือการใส่รองเท้าที่ไม่เหมาะสม การรักษาโรครองเท้ามีหลายวิธีตามสาเหตุที่เกิดขึ้น วิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพและนิยมใช้รักษาในโรงพยาบาลเพื่อลดอาการปวดส้นเท้าและป้องกันการกลับเป็นซ้ำ คือการใช้แผ่นรองเท้า (Insole) ซึ่งจะมีส่วนเสริมอุ้งเท้าที่ใส่ในพื้นรองเท้า เพื่อกระจายน้ำหนักจากจุดที่มีอาการปวดไปยังบริเวณทั่วเท้า และทำให้ลดอาการเจ็บบริเวณส้นเท้าและอุ้งเท้าได้

โรคเท้าแบนในผู้ใหญ่ (Flat foot) เป็นภาวะของรูปร่างอุ้งเท้าที่ผิดปกติ โดยมีส่วนอุ้งเท้าด้านในน้อยกว่าปกติ หรือไม่มีอุ้งเท้า ทำให้สามารถมองเห็นเป็นลักษณะอุ้งเท้าด้านในแบนราบกับพื้น โรคเท้าแบนทำให้การลงน้ำหนักเท้าผิดปกติและไม่สามารถถือเท้าให้มั่นคงในช่วงการเดินได้ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดอาการผิดปกติตามมาได้ เช่น อาการปวดส้นเท้าและฝ่าเท้า มีอาการเจ็บขณะลงน้ำหนักเท้า ตาปลาใต้ฝ่าเท้าตามจุดต่าง ๆ แต่ในบางรายอาจไม่แสดงอาการใด ๆ ก็ได้ การรักษา

โรคเท้าแบน สามารถรักษาได้ด้วยวิธีการต่าง ๆ ทั้งแบบอนุรักษ์นิยม และการผ่าตัด ซึ่งเริ่มจากการออกกำลังกายบริหารยืดเหยียดและเสริมความแข็งแรงของกล้ามเนื้อภายในเท้า การใส่ยาต้านการอักเสบ การรักษาโดยใช้เครื่องมือทางกายภาพบำบัด และ วิธีที่สำคัญอีกวิธีการหนึ่งคือ การปรับรองเท้าและใช้อุปกรณ์เสริมภายในรองเท้า เช่น แผ่นรองเท้า ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดอาการปวดและเพิ่มประสิทธิภาพการใส่เท้าได้ดีขึ้น

แผ่นรองเท้าในปัจจุบันผลิตจากวัสดุหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นพลาสติกอย่างแข็ง (Rigid plastic) และ Carbon fiber หรือ วัสดุกึ่งแข็ง (Semi-rigid devices) เช่น EVA foam แต่ยังไม่มีการใช้ยางพาราในการผลิตใช้งานมาก

ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีการผลิตแผ่นรองเท้าชนิดสำเร็จรูปที่ทำมาจากวัสดุภายในประเทศอย่างแพร่หลาย และต้องนำเข้าวัสดุจากต่างประเทศมาผลิตแผ่นรองเท้าจำนวนมาก ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาวัสดุภายในประเทศที่มีราคาต้นทุนต่ำกว่าและมีประสิทธิภาพที่ดีเทียบเท่ากับวัสดุที่นำมาจากต่างประเทศ เช่น ซิลิโคน โฟม ยูรีเทน โดยการผลิตแผ่นรองเท้าชนิดสำเร็จรูปที่ใช้วัสดุจากยางพาราในประเทศไทย

## วิธีดำเนินการ

### สูตรน้ำยาง

ในการออกแบบสูตรน้ำยางเพื่อผลิตแผ่นรองเท้าเป็นต้นแบบสำหรับนำมาทดลองหาความแข็งตามความต้องการของคณะแพทย์จากกองเวชศาสตร์ฟื้นฟูโรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้า แล้วนำไปทดลองกับผู้ป่วยและคัดเลือกแผ่นรองเท้าที่มีความแข็งที่เหมาะสม ซึ่งความแข็งของวัสดุจะแบ่งความเป็น 3 ช่วง คือ ชนิดแข็ง (Rigid) ชนิดกึ่งแข็ง (Semi-rigid) และชนิดอ่อน (Soft)

ดังนั้น การพัฒนาเพื่อให้ได้แผ่นรองเท้าที่มีความแข็งตามที่กำหนด จึงได้ศึกษาน้ำยางผสมสารเคมีจำนวน 4 สูตร (ตารางที่ 1) ส่วนปริมาณที่ใช้จริงจะเตรียมเป็นจำนวนเท้าของน้ำหนักเปียกในตารางที่ 1 เพิ่มขึ้นจาก 1 เท้า เป็น 3 เท้า (A), 4 เท้า (B) และ 5 เท้า (C) (ตารางที่ 2)

### กระบวนการผลิตแบบขึ้นรูปตีฟองแบบต้นฉบับแบบชุด/ครั้ง (Batch foaming)

1. ศึกษาระยะเวลาการเกิดฟองเพื่อหาความแข็งตามที่ 5-40 Shore oo โดยกำหนดระยะเวลาการปั่นให้เกิดฟองพร้อมกับการเติมสารที่ทำให้เกิดฟอง ดังนี้

สูตร	เวลาที่เกิดฟอง (นาที)
A	3
B	4
C	5

2. การวัดค่าในซึบของยางฟอง โดยอาศัยการใช้สารเคมีที่เหมาะสมและการให้ความร้อน อุปกรณ์ที่ทำให้ยางฟองน้ำคงรูป คือหม้อน้ำความดันไอน้ำ และตุ๋นบวมร้อน ใช้อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส ในการทำให้ยางฟองน้ำสุก

3. การอบแห้ง หรือการนำมาฝังลมให้แห้ง เป็นกระบวนการที่ทำให้ยางฟองน้ำแห้งสนิท ไม่เกิดปัญหาเชื้อรา หรือการเกิดความอับชื้นในชิ้นงาน

### การทดสอบทางกายภาพ

#### 1. ความแข็ง

1.1 เตรียมแผ่นยางคงรูปที่มีความหนาไม่น้อยกว่า 6 มิลลิเมตร หรือชิ้นทดสอบที่มีความหนา 2-3 มิลลิเมตร จำนวน 3 ชิ้น ที่วางซ้อนกันแล้วความหนาไม่น้อยกว่า 6 มิลลิเมตร

1.2 วางตัวอย่างไว้ในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ  $23 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  และความชื้น  $50 \pm 10\%$  เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบความแข็งโดยใช้เครื่อง Durometer

#### 2. ความหนาแน่นของฟองยาง

2.1 ตัดชิ้นทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสความกว้างด้านละ  $50 \pm 1$  หนา  $40 \pm 1$  มิลลิเมตร จำนวน 5 ชิ้น

2.2 ชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบทั้ง 5 ชิ้น

2.3 วัดความกว้าง ความยาว และความหนาของชิ้นทดสอบ ด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ เป็นมิลลิเมตร

2.4 คำนวณปริมาตรของชิ้นทดสอบทั้ง 5 ชิ้น เป็นลูกบาศก์มิลลิเมตร (V)

2.5 คำนวณความหนาแน่น ตามสูตร

$$P = \frac{m \times 10^6}{V}$$

P คือความหนาแน่น เป็นกิโลกรัมต่อ

ลูกบาศก์เมตร (kg/m<sup>3</sup>)

M คือ น้ำหนัก เป็นกรัม

V คือปริมาตร เป็นลูกบาศก์มิลลิเมตร

#### 3. การยุบตัวเนื่องจากแรงกด

3.1 ตัดตัวอย่างเป็นชิ้นทดสอบรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด  $50 \pm 1$  มิลลิเมตร หนา  $25 \pm 1$  มิลลิเมตร โดยใช้ความกว้างและความยาวเป็น 2 เท้าของความหนาและระนาบของผิวด้านบนและด้านล่างขนานกัน จำนวน 5 ชิ้น

3.2 ใช้เครื่องวัดวัดความหนาของชิ้นทดสอบในแนวตั้งฉากกับระนาบทั้งสองของชิ้นทดสอบ 3 ตำแหน่ง โดยไม่ให้มีแรงกด หาค่าเฉลี่ยความหนาของชิ้นทดสอบ (d0)

3.3 วางชิ้นทดสอบบริเวณกึ่งกลางระหว่างแผ่นระนาบของเครื่องกด เลื่อนแผ่นระนาบทั้งสองเข้าหากันให้ชิ้นทดสอบมีความหนาลดลงร้อยละ  $50 \pm 4$  ของความ

ตารางที่ 1 สูตรน้ำยาที่ใช้ในการพัฒนาการผลิตแผ่นยางรองเท้าให้มีความแข็งแรงตามที่กำหนด

น้ำยางและสารเคมี	สูตร 1		สูตร 2		สูตร 3		สูตร 4	
	น.น.แห้ง (phr)	น.น.เปียก <sup>1</sup> (กรัม)	น.น.แห้ง (phr)	น.น.เปียก (กรัม)	น.น.แห้ง (phr)	น.น.เปียก (กรัม)	น.น.แห้ง (phr)	น.น.เปียก (กรัม)
น้ำยาง	100	167	100	167	100	167	100	167
โพลีเอทิลีน อดิเอต	0.5	5	0.7	7	0.5	5	0.5	5
กำมะถัน	2	4	2	4	2	4	2	4
แซดดีอีซี	1	2	1	2	1	2	1	2
แซดเอ็มบีที	1	2	1	2	1	2	1	2
วิงสเตย์-แอล	1	2	1	2	1	2	1	2
ซิงค์ออกไซด์	5	10	5	10	5	10	5	10
ดีพีซี	1	3	1	3	1	3	1	3
เอสเอสเอฟ	1	8	1	8	1	8	1	8
แคลเซียม คาร์บอเนต	0	0	0	0	20	40	25	50
รวม	112.5	203	112.7	205	132.5	243	137.5	253

<sup>1</sup>น้ำหนักเปียกของสารเคมี =  $\frac{\text{น้ำหนักแห้ง} \times 100}{\text{ความเข้มข้น}}$

ตารางที่ 2 ปริมาณ (กรัม) ของสูตรน้ำยางแต่ละสูตรที่ต้องการเตรียม คิดเป็นจำนวนเท่าของสูตรน้ำหนักเปียกในตารางที่ 1

น้ำยางและสารเคมี	ความเข้มข้น (%)	สูตร 1			สูตร 1			สูตร 1			สูตร 1		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
น้ำยาง	60.0	501	668	1,002	501	668	1,002	501	668	1,002	501	668	1,002
โปแตสเซียม โอลิเอต	10.0	15	25	30	28	35	42	15	25	30	15	25	30
กำมะถัน	50.0	12	20	24	12	20	24	12	20	24	12	20	24
แซตตีอ์ซี	50.0	6	10	12	6	10	12	6	10	12	6	10	12
แซดเอ็มบีที	50.0	6	10	12	6	10	12	6	10	12	6	10	12
วิงสเตย์-แอล	50.0	6	10	12	6	10	12	6	10	12	6	10	12
ซิงค์ออกไซด์	50.0	30	50	60	30	50	60	30	50	60	30	50	60
ดีพีดี	33.5	9	15	18	9	15	18	9	15	18	9	15	18
เอสเอสเอฟ	12.5	24	40	48	24	40	48	24	40	48	24	40	48
แคลเซียม คาร์บอเนต	50.0	0	0	0	0	0	0	120	200	240	150	250	300
รวม		609	848	1,218	622	858	1,230	729	1,048	1,458	759	1,098	1,518

$$^1 \text{จำนวนเท่าของสูตร} = \frac{\text{น้ำหนักที่ต้องการเตรียม}}{\text{น้ำหนักเปียกรวม}}$$

หนาเดิม ที่งไว้ที่อุณหภูมิ 23±2 องศาเซลเซียส ความชื้น 50± 5 % เป็นเวลา 72 ชั่วโมง (3 วัน)

3.4 นำชิ้นทดสอบออกจากเครื่องกด ปล่อยให้ชิ้นทดสอบให้คืนตัวไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที

3.5 วัดความหนาของชิ้นทดสอบ (d1)

3.6 คำนวณค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด ตามสูตร

$$C = \frac{(d_0 - d_1) \times 100}{V}$$

C คือ การยุบตัวเนื่องจากแรงอัด เป็นร้อยละ

d0 คือ ความหนาเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ

เป็นมิลลิเมตร

d1 คือ ความหนาของชิ้นทดสอบหลังการ

ทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

### คัดเลือกสูตรและวิธีการขึ้นรูปที่เหมาะสม

คัดเลือกความแข็งของแผ่นรองเท้า ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 2240 ทำการทดลองสูตรซ้ำเพื่อกำหนดความแข็งที่เหมาะสม

### ออกแบบแผ่นรองเท้า

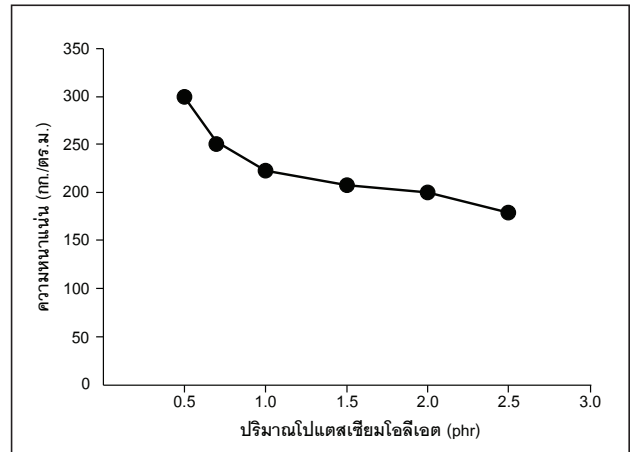
ออกแบบเข้าพิมพ์สำหรับการผลิตจริง

### ผลการดำเนินการ

#### สูตรน้ำยาง และกระบวนการผลิต

ในการทำยางพองน้ำ ต้องมีสารก่อฟอง หรือน้ำสบู (โปแตสเซียม โอลิเอต) อยู่ในสูตรน้ำยางที่ใช้ผลิตยางพองน้ำ จากการทดลองใช้โปแตสเซียม โอลิเอต ในปริมาณต่าง ๆ พบว่า เมื่อเติมสารก่อฟองมากขึ้น ทำใหยางพองน้ำที่ได้มีความหนาแน่นลดลง ซึ่งส่งผลทำให้ความแข็งของยางพองน้ำลดลงตามไปด้วย โดยที่การใช้โปแตสเซียม โอลิเอต ในปริมาณ 0.5 ส่วนต่อยางแห้ง 100 ส่วน (phr) ทำใหยางพองน้ำมีความหนาแน่นสูงสุด (ภาพที่ 1)

การเริ่มต้นผลิตยางพองน้ำ จะใช้การปั่นหรือตีน้ำยางให้เกิดฟองในเครื่องที่ประกอบด้วยหม้อปั่น และมีอุปกรณ์ปั่นที่ปรับความเร็วได้ และการผลิตจะใช้เวลาปั่นเป็นตัวกำหนดการเกิดฟอง ซึ่งระยะเวลาการเกิดฟองจะ



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารก่อฟอง (โปแตสเซียม โอลิเอต) ที่เติมลงในน้ำยางเพื่อทำให้เกิดฟองโดยใช้เครื่องตีฟอง กับความหนาแน่นของยางพองน้ำ

มีความสัมพันธ์กับความแข็งของยางพองน้ำ จากการศึกษาค้นคว้าของระยะเวลาการเกิดฟองกับสูตรน้ำยางจำนวน 4 สูตร พบว่า การใช้สูตรน้ำยาง 1 และ 2 ซึ่งมีปริมาณของโปแตสเซียม โอลิเอต 0.5 phr (สูตร 1) และ 0.7 phr (สูตร 2) ที่ระยะเวลาการเกิดฟอง 2 นาที ทำใหแผ่นรองเท้ามีความแข็งต่ำกว่าที่กำหนดไว้ หรือมีความแข็งแค่ 13.2 Shore oo (สูตร 2) และ 20.0 shore oo (สูตร 1) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3 และ 4

อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการเพิ่มปริมาณน้ำยางและสารเคมีเป็น 5 เท่าของน้ำหนักเปียก และมีการเติมแคลเซียม คาร์บอเนตเพิ่มลงในส่วนผสมน้ำยาง ในปริมาณ 20 phr (สูตร 3) และ 25 phr (สูตร 4) พบว่าสามารถเพิ่มความแข็งของแผ่นรองเท้าเป็น 30 Shore oo (สูตร 3) และ 35 Shore oo (สูตร 4) เมื่อใช้ระยะเวลาการเกิดฟองนาน 2 นาที (ตารางที่ 5 และ 6)

### การทดสอบทางกายภาพ

เมื่อนำสูตรน้ำยางและกระบวนการผลิต เช่น ระยะเวลาการเกิดฟอง ที่ทำใหยางพองน้ำมีความแข็งที่ 30 และ 35 Shore oo ไปผลิตเป็นแผ่นรองเท้าชนิดสำเร็จรูปสำหรับนำไปทดลองกับผู้ป่วยโรคข้ออักเสบและโรคเท้าแบนปรากฏว่า แผ่นรองเท้าที่ผลิตได้มีความแข็งเป็นไปตามสูตรน้ำยางและกระบวนการผลิตจากการทดลองที่ผ่านมา (ตารางที่ 7 และ 8)





### ตารางที่ 3 ความแข็งของแผ่นรองเท้า (Shore oo) สูตร 1\* เมื่อใช้ระยะเวลาการเกิดฟองต่างกัน

ตัวอย่างที่	ระยะเวลาการเกิดฟอง (นาที)		
	2	3	4
1	20.1	17.4	16.9
2	19.8	17.2	15.0
3	17.5	17.6	11.5
4	22.1	17.6	13.1
5	20.8	16.8	15.7
เฉลี่ย	20.0	17.3	14.4

\*ใช้น้ำสบู่โปแตสเซียมโอเลต 0.5 ส่วน ต่อยางแห้ง 100 ส่วน

### ตารางที่ 4 ความแข็งของแผ่นรองเท้า (Shore oo) สูตร 2\* เมื่อใช้ระยะเวลาการเกิดฟองต่างกัน

ตัวอย่างที่	ระยะเวลาการเกิดฟอง (นาที)		
	2	3	4
1	13.4	9.6	5.3
2	14.4	10.7	6.2
3	12.8	10.5	4.7
4	11.7	9.9	5.6
5	13.7	10.5	4.1
เฉลี่ย	13.2	10.2	5.2

\*ใช้น้ำสบู่โปแตสเซียมโอเลต 0.7 ส่วน ต่อยางแห้ง 100 ส่วน

### สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติการขึ้นรูปแผ่นรองเท้าจากน้ำยางธรรมชาติ โดยการตีฟองเพื่อหาความแข็งที่เหมาะสมที่สามารถช่วยรักษาผู้ป่วยที่เป็นโรครองเท้าและโรคเท้าแบน โดยการใช้น้ำยางธรรมชาติทำให้เกิดฟอง เพื่อสามารถออกแบบการรับแรงกด ส่วนรองรับอุ้งเท้า ส่วนรองรับสันเท้า มีความแข็งที่เหมาะสม ซึ่งจากการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ความแข็งของฟองยางเพื่อให้สัมพันธ์กับความหนาแน่นที่แผ่นรองเท้า สามารถรับแรงกดได้ความหนาแน่นที่ประมาณ 400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีความแข็งของแผ่นรองเท้าที่ 30 Shore oo และความหนาแน่นที่ประมาณ 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีความแข็งแผ่นรองเท้าที่ 35 Shore oo
2. ความแข็งของฟองยางโดยใช้จำนวนเท่า ใช้เวลาเป็นตัวควบคุมระยะเวลาการเกิดฟองสามารถเพิ่มความ



### ตารางที่ 5 ความแข็งของแผ่นรองเท้า (Shore oo) สูตร 3\* เมื่อใช้ระยะเวลาการเกิดฟองต่างกัน

ตัวอย่างที่	ระยะเวลาการเกิดฟอง (นาที)		
	2	3	4
1	20.1	17.4	16.9
2	19.8	17.2	15.0
3	17.5	17.6	11.5
4	22.1	17.6	13.1
5	20.8	16.8	15.7
เฉลี่ย	20.0	17.3	14.4

\*ใช้น้ำสบู่โปแตสเซียมโอเลต 0.5 ส่วน ต่อยางแห้ง 100 ส่วน และมีสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต 20 ส่วน ต่อยางแห้ง 100 ส่วน

### ตารางที่ 6 ความแข็งของแผ่นรองเท้า (Shore oo) สูตร 4\* เมื่อใช้ระยะเวลาการเกิดฟองต่างกัน

ตัวอย่างที่	ระยะเวลาการเกิดฟอง (นาที)		
	2	3	4
1	13.4	9.6	5.3
2	14.4	10.7	6.2
3	12.8	10.5	4.7
4	11.7	9.9	5.6
5	13.7	10.5	4.1
เฉลี่ย	13.2	10.2	5.2

\*ใช้น้ำสบู่โปแตสเซียมโอเลต 0.5 ส่วน ต่อยางแห้ง 100 ส่วน และมีสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต 25 ส่วน ต่อยางแห้ง 100 ส่วน

แข็งและความหนาแน่นของฟองโดยสัมพันธ์กันคือ เมื่อใช้น้ำหนักมากขึ้น เนื้อฟองแน่น จะมีความแข็งสูงขึ้น

3. การศึกษาการเกิดฟองเพื่อให้มีความหนาแน่นสูง และมีความแข็งอีกทางหนึ่งที่สามารถลดต้นทุนการผลิต คือใช้สารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นสารเพิ่มความแข็ง โดยใช้ 20 ส่วนโดยน้ำหนัก สามารถเพิ่มความแข็งเพิ่มขึ้น 5 หน่วย

4. ความแข็งของแผ่นรองเท้าและการออกแบบแผ่นรองเท้าเป็นส่วนสำคัญที่สามารถช่วยลดแรงกดที่บริเวณเท้า เพราะการออกแบบที่สามารถรองรับจุดในตำแหน่งที่เหมาะสม จะช่วยกระจายน้ำหนักจากจุดที่มีอาการปวดไปยังบริเวณทั่วเท้าซึ่งทำให้ลดอาการเจ็บบริเวณส้นเท้าและอุ้งเท้า



ตารางที่ 7 การทดสอบความแข็งของแผ่นรองเท้า (Shore oo) ชนิดสำเร็จรูป เมื่อใช้แผ่นรองเท้าที่ 30 Shore oo กับผู้ป่วยโรครองเท้าและโรคเท้าแบน

ตัวอย่างที่	ซ้ำที่				เฉลี่ย
	1	2	3	4	
1	29.9	30.4	22.1	33.0	28.8
2	28.3	30.0	35.4	33.8	31.9
3	30.2	31.9	32.2	34.5	32.2
4	32.8	30.3	30.0	31.9	31.2
5	30.0	30.0	32.4	33.6	31.5

ตารางที่ 8 การทดสอบความแข็งของแผ่นรองเท้า (Shore oo) ชนิดสำเร็จรูป เมื่อใช้แผ่นรองเท้าที่ 35 Shore oo กับผู้ป่วยโรครองเท้าและโรคเท้าแบน

ตัวอย่างที่	ซ้ำที่				เฉลี่ย
	1	2	3	4	
1	33.0	34.9	32.8	36.6	34.3
2	35.4	37.7	37.4	38.4	37.2
3	32.2	32.0	41.0	36.8	35.5
4	36.0	35.4	28.9	38.1	34.6
5	38.4	31.6	36.0	41.6	36.9

### คำขอบคุณ

โครงการวิจัยนี้ สำเร็จลุล่วงได้ดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง นางวราภรณ์ ขจรไชยกูล ที่ได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับการดำเนินงานของโครงการวิจัยนี้ จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

### บรรณานุกรม

วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2559. เทคโนโลยีน้ำยาง. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

พรทิพย์ ประกายมณีวงศ์, นุชนาฏ ฤ ระนอง, ณพัรัตน์ วิชิตชลชัย, วิภาวี พัฒนกุล และ สุธมน่า แจ่มเหมือน. 2551. การพัฒนาสูตรและเทคนิคการผลิตยางพองน้ำเพื่อลดต้นทุนการผลิตและสร้างเครื่องต้นแบบ. ส่วนอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง.

วิริยะ ทองเรือง. 2547. การพัฒนาการผลิตโฟมยางธรรมชาติ. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.



- Berbrayer, D. and M. Fredericson. 2014. Update on evidence-based treatments for plantar fasciopathy. *PM. R.* 6(2): 159-169.
- Buchbinder, R. 2004. Clinical practice fasciitis. *N. Eng. J. Med.* 350(21): 2159-2166.
- Kang, S. M. SJL and B. K. Kim. 2012. Shape memory polyurethane foams. *Express Polymer Letter.* 6(1): 63-69.
- Landorf, K .B., A. M. Keenan and R. D. Herbert. 2006. Effectiveness of foot orthoses to treat plantar fasciitis: a randomized trial. *Arch. Intern. Med.* 166(12): 1305-1310
- Lee, M. S., J. V. Vanore, J. L. Thomas,... 2005. Diagnosis and treatment of adult flatfoot. *J. Foot Ankle Surg.* 44(2): 78-113. doi: 10.1053/j.jfas.2004.12.001.
- Lee S. Y., P. McKeon and J. Hertel. 2009. Does the use of orthoses improve self-reported pain and function measures in patients with plantar fasciitis ? A meta- analysis. *Phys. Ther. Sport.* 10(1): 12-18.
- Otsuka, R., H. Yatsuya, Y. Miura, .... 2003. *Nihon Koshu Eisel Zasshi.* 50(10): 988-998.
- Rathnayake I., H. Ismail, B. Azahari De Silva, C. N. Darsanasiri. 2014. Imparting antimicrobial properties to natural rubber latex foam via green synthesized silver nanoparticles. *Journal of Applied Polymer Science.* 131(8).
- Roslim MYAH, R., P. T. Augurio. 2012. Natural Latex Foam. *Journal of Engineering Science* 8: 15-27.
- Salmazo, L. O., A. Lopez-Gil, Z. M. Ariff, A. E. Job and M. A. Rodriguez-Perez. 2016. Influence of the irradiation dose in the cellular structure of natural rubber foams cross-linked by electron beam irradiation. *Industrial Crops and Products.* 89: 339-49.
- Thomas, J. L., J. C. Christensen, S. R. Kravitz, R. W. Mendicino, J. M. Schuberth, J. V. Vanore,... 2010. The diagnosis and treatment of heel pain: a clinical practice guideline-revision. *J. Foot Ankle Surg.* 49(3 Suppl.): S1-19.
- Toullec, E. 2015. Adult flatfoot. *Orthop. Traumatol. Surg. Res.* 101(1 Suppl.): S11-S17. doi: 10.1016/j.otsr.2014.07.030.
- Wit Witkiewicz, A. Z. 2006. Properties of the polyurethane (PU) light foam. *Advances in materials science.* 6 [2(10)]: 36-51.
- Zhou Y. J., G. Lu and J. L. Yang. 2015. Finite element study of energy absorption foams for headgear in football (soccer) games. *Materials & Design* 88: 162-169.

# การผลิต การใช้ การส่งออกยางของโลก และของไทย ระหว่างปี 2558-2562

อธิวิณ์ แดงนิษฐ์ และ อธิชา อินทอง

ฝ่ายวิจัยและพัฒนาเศรษฐกิจยาง การยางแห่งประเทศไทย

ปัจจุบัน ยางที่นำมาใช้ทำผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มี 2 ประเภท คือ ยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์ โดยแต่ละประเภทมีความแตกต่างกันทั้งในเรื่องราคาและคุณสมบัติต่าง ๆ การนำมาใช้สามารถนำมาใช้เดี่ยว ๆ หรือนำมาผสมกันเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและตรงความต้องการ รวมทั้งคำนึงถึงต้นทุนการผลิต

ยางธรรมชาติ เป็นผลผลิตที่ได้จากต้นยางพารา การผลิตยางธรรมชาติจะเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งการผลิตยางธรรมชาติจะเป็นการผลิตเชิงเกษตรกรรม สามารถปลูกทดแทนได้อย่างต่อเนื่อง มีข้อดีคือ ยางธรรมชาติใช้พลังงานน้อยในการผลิตเมื่อเทียบกับยางสังเคราะห์ และต้นยางพาราสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อันเป็นสาเหตุของปรากฏการณ์เรือนกระจก ตลอดจนช่วยสร้างความชุ่มชื้น โดยทำให้ฝนตกในพื้นที่ปลูกยางเพิ่มมากขึ้น แต่มีข้อเสียเมื่อเทียบกับยางสังเคราะห์ คือ ผลผลิตไม่แน่นอน ซึ่งผลผลิตขึ้นอยู่กับสภาพดินฟ้าอากาศในพื้นที่ปลูกยางเป็นสำคัญ

ยางสังเคราะห์ เป็นยางที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี โดยผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้เงินลงทุนสูง สามารถควบคุมคุณภาพ และปริมาณได้ตามความต้องการ แต่มีข้อเสีย คือ ในกระบวนการผลิตต้องใช้พลังงานสูง และมีการปลดปล่อยมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อม อันเป็นสาเหตุทำให้สภาพอากาศเปลี่ยนแปลง และเป็นต้นเหตุของปรากฏการณ์เรือนกระจก ตลอดจนผลิตภัณฑ์จากยางสังเคราะห์ย่อยสลายตัวได้

ช้ากว่าผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ อีกทั้งการนำกลับมาใช้ใหม่ของผลิตภัณฑ์ยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่ยังน้อยกว่ายางธรรมชาติ

โดยทั่วไปการผลิตยางธรรมชาติจะผลิตได้เฉพาะประเทศเกษตรกรรม และมีสภาพดินฟ้าอากาศที่เหมาะสมในการผลิต ไม่สามารถที่จะทำการผลิตได้ในทุกประเทศ ประเทศที่เหมาะสมในการผลิตยางธรรมชาติ ได้แก่ ไทย อินโดนีเซีย มาเลเซีย อินเดีย เป็นต้น ทำให้ผลผลิตยางธรรมชาติไม่แน่นอน ผันแปรไปตามสภาพอากาศและภูมิประเทศในแต่ละแห่ง ทำให้เกิดส่วนเกินของผลผลิตและขาดแคลนในบางครั้ง และส่งผลกระทบต่อราคายางธรรมชาติในตลาดโลก ส่วนยางสังเคราะห์นั้น โดยทั่วไปปริมาณการใช้ในแต่ละปีมีปริมาณใกล้เคียงกับปริมาณการผลิต ซึ่งสามารถวางแผนการผลิตได้แน่นอน และส่วนใหญ่เป็นการใช้ในประเทศผู้ผลิตเพื่อใช้ป้อนโรงงานอุตสาหกรรมและสร้างความมั่นคงให้กับอุตสาหกรรม โดยประเทศผู้ผลิตยางสังเคราะห์รายใหญ่ของโลก ได้แก่ จีน สหรัฐอเมริกา รัสเซีย และเกาหลีใต้ เป็นต้น ส่วนผลผลิตส่วนเกินจะส่งออกไปจำหน่ายยังประเทศต่าง ๆ ต่อไป

## การผลิต และการใช้ยางของโลก

ปี 2562 ปริมาณการผลิตยางของโลกมีจำนวนทั้งสิ้น 28.533 ล้านตัน เป็นยางธรรมชาติ 13.416 ล้านตัน และยางสังเคราะห์ 15.117 ล้านตัน และตั้งแต่ปี 2558 -



2562 ปริมาณการผลิตยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามความต้องการใช้และภาวะเศรษฐกิจโลกเริ่มฟื้นตัว (ตารางที่ 1)

### สัดส่วนการใช้ยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์ของโลก

ในช่วงปี 2558–2562 แม้ว่าราคายางจะผันผวนตามภาวะเศรษฐกิจโลก แต่สัดส่วนการใช้ยางระหว่างยางสังเคราะห์และยางธรรมชาติเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก โดยมีการใช้ยางสังเคราะห์มากกว่ายางธรรมชาติ ในสัดส่วนเฉลี่ยร้อยละ 53.36 : 46.64 แต่อัตราการขยายตัวของปริมาณการใช้ยางสังเคราะห์ลดลงเฉลี่ยร้อยละ 0.68 ในขณะที่อัตราการขยายตัวของปริมาณการใช้ยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 0.79 (ตารางที่ 2)

### การผลิต การใช้ และการส่งออกยางสังเคราะห์

**การผลิต** ประเทศผู้ผลิตยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่เป็นประเทศพัฒนาแล้ว หรือเป็นประเทศที่มีความก้าวหน้าทางอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี ในช่วงปี 2558 – 2562 ปริมาณการผลิตยางสังเคราะห์ของโลกอยู่ระหว่าง 13.975 –15.15.117 ล้านตัน เมื่อพิจารณารายประเทศ พบว่า ปี 2562 จีนเป็นประเทศที่ผลิตยาง

สังเคราะห์มากที่สุด จำนวน 3.401 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 22.50 ของปริมาณการผลิตทั้งโลก รองลงมาคือสหรัฐอเมริกา 2.519 ล้านตัน หรือร้อยละ 16.66 สหภาพยุโรป 2.238 ล้านตัน หรือร้อยละ 14.80 ญี่ปุ่น 1.554 ล้านตัน หรือร้อยละ 10.28 และยุโรปตะวันออก 1.298 ล้านตัน หรือร้อยละ 8.59 ที่เหลือผลิตได้ต่ำกว่า 1 ล้านตัน (ตารางที่ 3)

**การใช้** ประเทศผู้ใช้อย่างสังเคราะห์ส่วนใหญ่เป็นประเทศอุตสาหกรรม และเป็นกลุ่มเดียวกับประเทศผู้ผลิต โดยช่วงปี 2556 - 2561 ปริมาณการใช้ยางสังเคราะห์ของโลกอยู่ระหว่าง 13.932 - 15.085 ล้านตัน เมื่อพิจารณารายประเทศ พบว่า ปี 2562 จีนเป็นประเทศที่ใช้อย่างสังเคราะห์มากที่สุด จำนวน 4.441 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 29.44 รองลงมา คือ สหรัฐอเมริกา 2.418 ล้านตัน หรือร้อยละ 16.03 สหภาพยุโรป 2.269 ล้านตัน หรือร้อยละ 15.04 ญี่ปุ่น 0.858 ล้านตัน หรือร้อยละ 5.69 และ ยุโรปตะวันออก 0.711 ล้านตัน หรือร้อยละ 4.71 อย่างไรก็ตาม จีนนับเป็นประเทศที่มีอัตราการขยายตัวของการใช้ยางสังเคราะห์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี 2558 ถึงปัจจุบัน ขณะที่ประเทศผู้ใช้อย่างสังเคราะห์รายใหญ่อื่น ๆ ได้แก่ สหรัฐอเมริกา สหภาพยุโรป ญี่ปุ่น และ ยุโรปตะวันออก การขยายตัวของการใช้ยางสังเคราะห์

ตารางที่ 1 ปริมาณการผลิต และ การใช้ยางของโลก ปี พ.ศ. 2558-2562 (หน่วย: '000 ตัน)

ปี พ.ศ.	ยางธรรมชาติ			ยางสังเคราะห์			รวม	
	การผลิต	การใช้	ผลต่าง	การผลิต	การใช้	ผลต่าง	การผลิต	การใช้
2558	12,086	11,736	350	13,975	13,930	45	26,061	25,666
2559	12,078	12,276	-198	14,325	14,240	85	26,403	26,516
2560	13,064	12,892	172	14,710	14,617	94	27,774	27,509
2561	13,441	13,381	60	14,934	14,921	13	28,375	28,302
2562	13,416	13,408	8	15,117	15,085	32	28,533	28,493

ที่มา: LMC Tyre & Rubber Ltd. (2020) และ การยางแห่งประเทศไทย (2562)

หมายเหตุ ข้อมูลปี 2562 เป็นข้อมูลเบื้องต้น


**ตารางที่ 2 สัดส่วนการใช้ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ของโลก ปี พ.ศ. 2558-2562 (หน่วย: '000 ตัน)**

ปี พ.ศ.	ยางธรรมชาติ		ยางสังเคราะห์	
	ปริมาณการใช้	ร้อยละ	ปริมาณการใช้	ร้อยละ
2558	11,736	45.73	13,930	54.27
2559	12,276	46.30	14,240	53.70
2560	12,892	46.87	14,617	53.13
2561	13,381	47.28	14,921	52.72
2562	13,408	47.06	15,085	52.94

ที่มา: LMC Tyre & Rubber Ltd. (2020) และการยางแห่งประเทศไทย (2562)

หมายเหตุ ข้อมูลปี 2562 เป็นข้อมูลเบื้องต้น

**ตารางที่ 3 ปริมาณการผลิตยางสังเคราะห์ของประเทศต่างๆ ปี พ.ศ. 2558-2562 (หน่วย: '000 ตัน)**

ประเทศ	2558	2559	2560	2561	2562
จีน	2,800	3,010	3,130	3,209	3,401
สหรัฐอเมริกา	2,458	2,483	2,433	2,470	2,519
สหภาพยุโรป	2,239	2,295	2,295	2,283	2,238
ญี่ปุ่น	1,668	1,565	1,602	1,569	1,554
ยุโรปตะวันออก	1,237	1,298	1,372	1,396	1,298
อื่นๆ	3,573	3,671	3,879	4,007	4,107
รวม	13,975	14,322	14,710	14,934	15,117
อัตราการเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	2.34	2.49	2.71	1.52	1.23

ที่มา: LMC Tyre & Rubber Ltd. (2020)

หมายเหตุ ข้อมูลปี 2562 เป็นข้อมูลเบื้องต้น



#### ตารางที่ 4 ปริมาณการใช้อย่างสังเคราะห์ของประเทศต่างๆ ปี พ.ศ. 2555-2561 (หน่วย: '000 ตัน)

ประเทศ	2558	2559	2560	2561	2562
จีน	3,964	4,155	4,308	4,316	4,441
สหรัฐอเมริกา	2,461	2,396	2,245	2,349	2,418
สหภาพยุโรป	2,257	2,293	2,358	2,335	2,269
ญี่ปุ่น	896	866	881	887	858
ยุโรปตะวันออก	607	668	721	764	711
อื่นๆ	3,747	3,858	4,104	4,269	4,389
รวม	13,932	14,236	14,617	14,921	15,085
อัตราการเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	0.89	2.18	2.67	2.08	1.10

ที่มา: LMC Tyre & Rubber Ltd. (2020)  
หมายเหตุ ข้อมูลปี 2562 เป็นข้อมูลเบื้องต้น

เพิ่มขึ้นไม่มากนัก (ตารางที่ 4)

**การส่งออก** ปี 2561 ปริมาณการส่งออกยางสังเคราะห์ของโลกมีทั้งสิ้น 9.779 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2558 ร้อยละ 8.85 เมื่อพิจารณารายประเทศ พบว่า เกาหลีใต้ เป็นประเทศที่มีปริมาณการส่งออกยางสังเคราะห์มากที่สุด 1.601 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 16.37 ของปริมาณส่งออกทั้งหมด รองลงมา สหรัฐอเมริกา 1.153 ล้านตัน หรือร้อยละ 11.79 รัสเซีย 1.017 ล้านตัน หรือร้อยละ 10.40 ญี่ปุ่น 0.849 ล้านตัน หรือร้อยละ 8.68 และเยอรมนี 0.811 ล้านตัน หรือร้อยละ 8.29 สำหรับปริมาณการส่งออกยางสังเคราะห์ของโลก ปี 2562 (ม.ค. - ก.ย.) พบว่า ประเทศเกาหลีใต้ยังคงเป็นผู้ส่งออกยางสังเคราะห์มากที่สุดของโลก จำนวน 1.207 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 16.60 รองลงมา คือ สหรัฐอเมริกา รัสเซีย ญี่ปุ่น และ เยอรมนี (ตารางที่ 5)

#### การผลิต การใช้ และการส่งออกยางธรรมชาติ

**การผลิต** ปริมาณการผลิตยางธรรมชาติของโลก ตั้งแต่ปี 2558-2562 ขยายตัวเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 3.21

ต่อปี โดยปริมาณการผลิตยางธรรมชาติของโลกเพิ่มขึ้นจาก 12.086 ล้านตัน ในปี 2558 เป็น 13.416 ล้านตัน ในปี 2562 โดยปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวเนื่องจากการเติบโตของอุตสาหกรรมรถยนต์แบบกึ่งอัตโนมัติของจีนเมื่อปี 2553 - 2554 ทำให้ราคายางอยู่ในระดับสูง จึงจูงใจให้เกษตรกรในแต่ละประเทศผู้ผลิตยางมีการปลูกยางเพิ่มขึ้น ส่วนประเทศจีนขยายพื้นที่ปลูกไปยังประเทศเพื่อนบ้านเพื่อรองรับความต้องการของอุตสาหกรรมในประเทศ และประเทศผู้ผลิตยางธรรมชาติมากที่สุด 3 อันดับแรก คือ ไทย อินโดนีเซีย และเวียดนาม มีปริมาณการผลิตคิดเป็นร้อยละ 68.41 ของปริมาณการผลิตทั้งหมดของโลก ประกอบด้วย ไทย ร้อยละ 36.17 อินโดนีเซีย ร้อยละ 22.22 และ เวียดนาม ร้อยละ 10.02 สำหรับประเทศอื่น ๆ ผลิตยางธรรมชาติได้น้อยกว่าปีละ 1 ล้านตัน

สำหรับอัตราการขยายตัวในการผลิตยางธรรมชาติของโลกในภาพรวม ตั้งแต่ปี 2558 - 2562 มีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.21 และประเทศที่มีอัตราการขยายตัวในการผลิตยางธรรมชาติมากที่สุด 3





### ตารางที่ 5 ปริมาณการส่งออกยางสังเคราะห์ของประเทศต่างๆ ปี พ.ศ. 2555-2561 (หน่วย: '000 ตัน)

ประเทศ	2558	2559	2560	2561	2562
เกาหลีใต้	1,446	1,453	1,565	1,601	1,207
สหรัฐอเมริกา	1,129	1,193	1,176	1,153	758
รัสเซีย	943	986	1,030	1,017	757
ญี่ปุ่น	823	882	894	849	611
เยอรมนี	845	872	848	811	610
ไต้หวัน	492	504	513	552	413
ฝรั่งเศส	364	354	379	346	263
จีน	190	202	253	286	238
อิตาลี	192	213	199	202	152
แคนาดา	144	167	168	173	125
อังกฤษ	93	76	64	70	50
อื่นๆ	2,323	2,642	2,728	2,719	2,087
รวม	8,984	9,544	9,817	9,779	7,271
อัตราการเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	3.54	6.23	2.86	-0.39	-

ที่มา: IRSG ( October-December 2019) และ การยางแห่งประเทศไทย (2562)

หมายเหตุ ข้อมูลปี 2562 เป็นข้อมูลเบื้องต้น ระหว่าง ม.ค.-ก.ย.

อันดับแรก คือ โทตติวัวร์ ไลบีเรีย และ ศรีลังกา ร้อยละ 16.32, 10.98 และ 9.43 ตามลำดับ ในขณะที่ประเทศมาเลเซีย ฟิลิปปินส์ และอินโดนีเซีย มีขยายตัวในอัตราที่ลดลง ร้อยละ 3.45 1.71 และ 0.12 ตามลำดับ (ตารางที่ 6)

**การใช้** ในรอบ 5 ปีที่ผ่านมา ปริมาณการใช้ยางธรรมชาติของโลกขยายตัวเพิ่มขึ้น เฉลี่ยร้อยละ 5.15 ต่อปี โดยมีอัตราการขยายตัวของยางธรรมชาติระหว่าง 11.736 – 13.408 ล้านตัน เมื่อพิจารณารายประเทศ เห็นได้ว่า จีนเป็นประเทศผู้ใช้อย่างธรรมชาติมากที่สุดในโลก โดยปี 2562 มีปริมาณการใช้ 5.557 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 41.97 ของปริมาณการใช้ยางธรรมชาติทั้งหมดของโลก

รองลงมา คือ อินเดีย 1.159 ล้านตัน หรือร้อยละ 8.75 สหรัฐอเมริกา 0.980 ล้านตัน หรือร้อยละ 7.40 ไทย 0.774 ล้านตัน หรือร้อยละ 5.77 และ ญี่ปุ่น 0.700 ล้านตัน หรือร้อยละ 5.29 โดยปริมาณการใช้ยางของจีน อินเดีย และสหรัฐอเมริกา เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามการขยายตัวทางเศรษฐกิจ และอุตสาหกรรมยานยนต์ เช่นเดียวกับไทยที่มีปริมาณการใช้ยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น จากนโยบายการส่งเสริมการใช้ยางในประเทศ ขึ้นเป็นอันดับที่ 4 ของประเทศที่ใช้อย่างมากที่สุดในโลกแทนญี่ปุ่น ขณะที่เกาหลีใต้ และ เยอรมนี มีอัตราการขยายตัวของยางธรรมชาติลดลงเนื่องจากการย้ายฐานการผลิตไปสู่จีน

## ตารางที่ 6 ปริมาณการผลิตยางธรรมชาติของประเทศต่าง ๆ ปี พ.ศ. 2558-2562 (หน่วย: '000 ตัน)

ประเทศ	2558	2559	2560	2561	2562	อัตราเพิ่ม ร้อยละ
ไทย	4,170	4,324	4,473	4,347	4,429	5,131
อินโดนีเซีย	3,237	3,153	3,145	3,298	3,500	3,487
เวียดนาม	949	954	1,013	1,035	1,094	1,110
จีน	865	840	794	774	778	811
มาเลเซีย	827	669	722	674	740	603
อินเดีย	796	705	575	624	713	649
โกตดิวัวร์	289	317	351	468	604	624
ฟิลิปปินส์	111	114	100	91	102	111
ศรีลังกา	131	104	89	79	83	82
ไลบีเรีย	69	60	59	61	63	72
อื่น ๆ	839	902	943	1,153	1,445	1,441
รวม	12,282	12,142	12,264	12,604	13,551	14,121
อัตราการเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	5.35	-1.14	1.00	2.77	7.51	4.21

ที่มา: LMC Tyre & Rubber Ltd. (2020) และ การยางแห่งประเทศไทย (2562)

หมายเหตุ ข้อมูลปี 2562 เป็นข้อมูลเบื้องต้น

## เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 7)

**การส่งออก** ปริมาณการส่งออกยางธรรมชาติของโลกในช่วงปี 2558-2561 มีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 6.82 ต่อปี เมื่อพิจารณารายประเทศ เห็นได้ว่า ประเทศผู้ส่งออกยางเป็นประเทศผู้ผลิตยางธรรมชาติรายใหญ่แถบอาเซียน ประกอบด้วย ไทย อินโดนีเซีย เวียดนาม และมาเลเซีย มีปริมาณการส่งออกยางเมื่อปี 2561 รวม 9.857 ล้านตัน หรือร้อยละ 81.52 ของปริมาณการส่งออกยางธรรมชาติของโลก โดยไทยส่งออกมากที่สุด 4.300 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 35.56 รองลงมา คือ อินโดนีเซีย 2.961 ล้านตัน หรือร้อยละ 24.49 เวียดนาม

1.500 ล้านตัน หรือร้อยละ 12.41 และมาเลเซีย 1.096 ล้านตัน หรือร้อยละ 9.06 และจะเห็นได้ว่า ตั้งแต่ปี 2558 – 2561 พม่ามีอัตราการขยายตัวในการส่งออกยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นมากที่สุดของแถบอาเซียนถึงร้อยละ 26.51 (ตารางที่ 8)

สำหรับปริมาณการส่งออกยางธรรมชาติของโลก ปี 2562 (ม.ค. – ก.ย.) พบว่า ประเทศไทยยังคงเป็นผู้ส่งออกยางธรรมชาติมากที่สุดของโลก คิดเป็นร้อยละ 38.82 ของปริมาณการใช้ทั้งหมดของโลก รองลงมา 3 อันดับ คือ อินโดนีเซีย เวียดนาม และมาเลเซีย คิดเป็นร้อยละ 23.91, 13.34 และ 8.80 ตามลำดับ (ตารางที่ 8)



### ตารางที่ 7 ปริมาณการใช้ยางธรรมชาติของประเทศต่างๆ ปี พ.ศ. 2558-2562 (หน่วย: '000 ตัน)

ประเทศ	2558	2559	2560	2561	2562
จีน	4,595	5,009	5,369	5,659	5,557
อินเดีย	994	1,029	1,077	1,220	1,159
สหรัฐอเมริกา	918	914	938	963	980
ไทย	601	650	700	627	774
ญี่ปุ่น	672	660	660	694	700
อินโดนีเซีย	368	372	379	392	404
มาเลเซีย	475	486	488	516	506
บราซิล	372	372	398	404	404
เกาหลีใต้	402	407	403	387	387
เยอรมนี	295	288	302	292	270
อื่น ๆ	2,045	2,092	2,178	2,227	2,267
รวม	11,736	12,276	12,892	13,381	13,408
อัตราการเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	-3.66	4.61	5.02	3.79	0.21

ที่มา: LMC Tyre & Rubber Ltd. (2020) และ การยางแห่งประเทศไทย (2562)

หมายเหตุ ข้อมูลปี 2562 เป็นข้อมูลเบื้องต้น

## การผลิต การใช้ และการส่งออกยาง ของไทย

### การผลิต

ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตยางธรรมชาติมากที่สุดของโลก ศักยภาพการผลิตยางของไทย มีมากกว่าปีละ 4 ล้านตัน โดยระหว่างปี 2558 – 2562 ปริมาณการผลิตยางเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 4.473 ล้านตัน เมื่อปี 2558 เป็น 4.852 ล้านตัน ในปี 2562 (ตารางที่ 9) หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.01 เมื่อพิจารณาสัดส่วนประเภทยางแปรรูปขั้นต้นที่ผลิตได้ พบว่า ไทย ผลิตยางแท่งเอสทีอาร์มากที่สุด รองลงมาเป็นยางผสม (ยางผสมสารเคมี

และยางคอมปาวด์) น้ำยางข้น ยางแผ่นรมควัน และยางประเภทอื่น ๆ ตามลำดับ (ตารางที่ 10)

### การใช้

ปริมาณการใช้ยางธรรมชาติในประเทศของไทยเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากจำนวน 0.600 ล้านตัน เมื่อปี 2558 เป็น 0.774 ล้านตัน ในปี 2562 หรือมีอัตราเพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อปี อยู่ที่ร้อยละ 6.30 เมื่อพิจารณาชนิดของยางที่ใช้ในประเทศปี 2561 พบว่า ใช้ยางแท่งเอสทีอาร์มากที่สุด สัดส่วนร้อยละ 41.49 รองลงมาน้ำยางข้น ร้อยละ 32.96 ยางแผ่นรมควัน ร้อยละ 18.97 และยางผสม ร้อย



ตารางที่ 8 ปริมาณการส่งออกยางธรรมชาติของประเทศต่างๆ ปี พ.ศ. 2555-2561 (หน่วย: '000 ตัน)

ประเทศ	2558	2559	2560	2561	2562 <sup>1</sup>	อัตราเพิ่ม <sup>2</sup> (ร้อยละ)
ไทย	3,697	3,805	4,167	4,300	3,235	5.59
อินโดนีเซีย	2,680	2,642	3,251	2,961	1,993	5.20
เวียดนาม	1,137	1,254	1,380	1,500	1,112	9.71
มาเลเซีย	1,119	1,023	1,189	1,096	733	0.88
โกตดิวัวร์	348	459	591	622	512	22.08
ฟิลิปปินส์	80	69	133	118	88	20.05
พม่า	86	110	147	171	144	26.51
ไลบีเรีย	59	61	63	72	56	6.50
แคเมอรูน	52	50	53	48	38	-1.68
ศรีลังกา	10	16	16	13	11	8.19
อื่น ๆ	859	854	921	991	413	9.53
รวม	10,206	10,463	12,177	12,091	8,335	6.82
อัตราการเปลี่ยนแปลง (ร้อยละ)	-0.33	3.56	2.52	16.38	-0.71	-

ที่มา: IRSG ( October-December 2019)

<sup>1</sup>เป็นข้อมูลเบื้องต้น ระหว่างเดือน ม.ค.-ก.ย.<sup>2</sup>ระหว่างปี 2558-2561

ละ 5.96 (ตารางที่ 11) สำหรับอุตสาหกรรมที่ใช้ยางมากที่สุด 5 อันดับแรก คือ อุตสาหกรรมผลิตยางยานพาหนะ เป็นอุตสาหกรรมที่ใช้ยางมากที่สุด รองลงมาเป็นอย่างยัดถุงมือ ยาง รถจักรยานยนต์ และ ยางอนามัย ตามลำดับ โดยปริมาณการใช้ยางธรรมชาติในผลิตภัณฑ์ยางทั้ง 5 ชนิด มีจำนวน 0.59 ล้านตัน หรือร้อยละ 93.08 ของปริมาณการใช้ยางธรรมชาติทั้งหมด ที่เหลือเป็นผลิตภัณฑ์ยางอื่น ๆ (ตารางที่ 12) สำหรับสัดส่วนปริมาณการใช้ยางธรรมชาติต่อปริมาณการผลิตยางของประเทศเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 13.42 เมื่อปี 2558 เป็นร้อยละ 15.96 ในปี 2562 เนื่องจากผลผลิตออกสู่ตลาดน้อย ซึ่งได้รับ

ผลกระทบจากความเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ โดยในพื้นที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือต้องเผชิญกับภาวะฝนแล้งยาวนาน ในขณะที่ในพื้นที่ภาคใต้มีฝนตกชุก นอกจากนี้ ภาครัฐมีนโยบายส่งเสริมการใช้ยางภายในประเทศ ทำให้ช่วยสนับสนุนการใช้ยางภายในประเทศมากขึ้น

### การส่งออก

นอกจากไทยผลิตยางธรรมชาติได้มากเป็นอันดับหนึ่งของโลกแล้ว ประเทศไทยยังเป็นประเทศที่ส่งออกรายธรรมชาติมากที่สุดของโลกอีกด้วย ปริมาณการส่ง



ตารางที่ 9 การผลิต การใช้ การส่งออกยางธรรมชาติ และสต็อกยางของไทย ปี พ.ศ. 2555-2561  
(หน่วย: '000 ตัน)

ปี พ.ศ.	การผลิต	การใช้	การส่งออก	สต็อก
2558	4,473	600	3,697	643
2559	4,347	650	3,805	671
2560	5,131	652	4,167	708
2561	4,973	720	4,300	661
2562	4,852	774	3,979	606
อัตราเพิ่ม (ร้อยละ)	3.01	6.30	2.73	-1.33

ที่มา: สถิติยางประเทศไทย (2561) และ การยางแห่งประเทศไทย (2562)

หมายเหตุ: เป็นข้อมูลปี 2562 เป็นข้อมูลเบื้องต้น

ตารางที่ 10 ปริมาณการผลิตยางธรรมชาติของไทยจำแนกตามประเภท ปี พ.ศ. 2558-2561  
(หน่วย: '000 ตัน)

ประเภท	2558	2559	2560	2561
น้ำยางข้น <sup>1</sup>	964 (21.56)	861 (19.81)	797 (18.00)	971 (19.53)
ยางแผ่นรมควัน	884 (19.76)	857 (19.71)	880 (19.87)	740 (14.88)
ยางแท่งเอสทีอาร์	1,888 (42.20)	1,953 (44.93)	1,702 (38.43)	1,754 (35.27)
ยางผสม <sup>2</sup>	511 (11.43)	616 (14.17)	968 (21.86)	1,409 (28.33)
ยางอื่น ๆ <sup>3</sup>	226 (5.04)	251 (1.38)	82 (1.85)	99 (1.99)
รวม	4,473 (100.00)	4,347 (100.00)	4,429 (100.00)	4,973 (100.00)

ที่มา: สถิติยางประเทศไทย (2561) และ การยางแห่งประเทศไทย (2562)

<sup>1</sup>น้ำหนักเนื้อยางแห้ง

<sup>2</sup>ยางผสม ได้แก่ ยางผสมสารเคมี และยางคอมปาวด์

<sup>3</sup>ยางอื่น ๆ เช่น ยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางเครพ ยางสกิม ยางแผ่นดิบ ฯลฯ

หมายเหตุ: ค่าในวงเล็บหมายถึง ร้อยละ



### ตารางที่ 11 ปริมาณการใช้ยางธรรมชาติของไทยจำแนกตามประเภทผลิตภัณฑ์ ปี พ.ศ. 2558-2561 (หน่วย: '000 ตัน)

ประเภท	2558	2559	2560	2561
น้ำยางข้น <sup>1</sup>	224 (37.32)	247 (40.04)	277 (42.42)	274 (41.49)
ยางแผ่นรมควัน	180 (29.92)	183 (29.63)	178 (27.29)	218 (32.96)
ยางแท่งเอสทีอาร์	155 (25.82)	125 (20.19)	151 (23.18)	125 (18.97)
ยางผสม <sup>2</sup>	20 (3.30)	43 (6.95)	41 (6.32)	39 (5.96)
ยางอื่น ๆ <sup>3</sup>	22 (3.30)	20 (3.19)	5 (0.79)	4 (0.62)
รวม	600 (99.66)	617 (100.00)	653 (100.00)	661 (100.00)

<sup>1</sup>ที่มา: สถิติยางประเทศไทย (2561) และ การยางแห่งประเทศไทย (2562)

<sup>1</sup>น้ำหนักเนื้อยางแห้ง

<sup>2</sup>ยางผสม ได้แก่ ยางผสมสารเคมี และยางคอมปาวด์

<sup>3</sup>ยางอื่น ๆ เช่น ยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางเครพ ยางสกิม ยางแผ่นดิบ ฯลฯ

หมายเหตุ: ค่าในวงเล็บหมายถึง ร้อยละ

ออกยางของไทยเพิ่มขึ้นเกือบทุกปี ในปี 2562 ปริมาณการส่งออกยางของไทยมีทั้งสิ้น 3.979 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2558 ที่มีปริมาณส่งออก 3.697 ล้านตัน หรือเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 2.73 ส่วนใหญ่เกือบ 1 ใน 3 ส่งออกไปยังตลาดจีน รองลงมา มาเลเซีย ยุโรป ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา และเกาหลีใต้ โดยประเทศที่มีอัตราการส่งออกอัตราที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด คือ เกาหลีใต้ รองลงมา คือ สหรัฐอเมริกา และจีน ร้อยละ 27.47, 7.62 และ 3.29 ตามลำดับ สำหรับชนิดยางที่ส่งออกมากที่สุดของไทยในปี 2562 คือ ยางแท่งเอสทีอาร์ ร้อยละ 37.15 ยางผสม

ร้อยละ 30.99 น้ำยางข้น ร้อยละ 16.49 และยางแผ่นรมควัน ร้อยละ 11.99 ตามลำดับ ที่เหลือส่งออกยางชนิดอื่น ๆ ร้อยละ 3.39 เช่น แผ่นผึ่งแห้ง ยางสกิม ยางเครพ ยางแผ่นดิบ (ตารางที่ 13 - 14) สำหรับท่าเรือ/ด่านส่งออก ในปี 2562 ประเทศไทยส่งออกผ่านท่าเรือแหลมฉบังมากที่สุด ร้อยละ 42.35 รองลงมา ด่านปาดังเบซาร์ ร้อยละ 31.11 ด่านสะเดา ร้อยละ 12.67 และส่งออกผ่านท่าเรือ/ด่านส่งออกอื่น ๆ ร้อยละ 13.87 (ตารางที่ 15)

ตารางที่ 12 ปริมาณการใช้ยางธรรมชาติของไทยจำแนกตามประเภทผลิตภัณฑ์ ปี พ.ศ. 2558-2561  
(หน่วย: '000 ตัน)

ประเภท	2558	2559	2560	2561
ยางยานพาหนะ	297.14	340.67	378.02	376.11
ยางยืด	87.75	97.17	111.50	113.85
ถุงมือยาง	81.98	73.00	55.36	51.54
ยางรถจักรยานยนต์	40.69	33.25	33.73	39.71
ถุงยางอนามัย	9.52	10.09	10.57	7.66
ยางรัดของ	24.99	21.54	27.55	4.24
รองเท้า	4.98	5.26	4.16	4.08
กาว	3.04	3.19	2.19	1.77
ผลิตภัณฑ์ฟองน้ำ	0.26	0.23	0.23	0.29
อะไหล่รถยนต์	1.25	1.08	2.80	3.49
สายพาน	1.51	1.57	2.50	7.51
หลอดดอก	1.06	1.27	2.13	1.34
ท่อยาง	0.74	0.87	0.71	15.63
พื้นรองเท้า	1.02	1.08	1.15	1.50
เครื่องมือทางการแพทย์	0.68	0.84	0.95	0.38
อื่น ๆ	20.27	19.88	22.73	28.67
รวม	600.49	617.26	653.22	632.67

ที่มา: สถิติยางประเทศไทย (2561)



ตารางที่ 13 ปริมาณการส่งออกยางธรรมชาติของไทยจำแนกตามประเภท ปี พ.ศ. 2558 - 2562  
(หน่วย: '000 ตัน)

ประเภท	2558	2559	2560	2561	2562	อัตราเพิ่ม ร้อยละ
น้ำยางข้น <sup>1</sup>	639	665	674	750	656	1.73
ยางแผ่นรมควัน	659	562	673	545	477	-6.55
ยางแท่งเอสทีอาร์	1,831	1,722	1,514	1,497	1,478	-5.53
ยางผสม <sup>2</sup>	473	796	1,127	1,366	1,233	27.84
ยางอื่น ๆ <sup>3</sup>	95	60	178	143	135	16.91
รวม	3,697	3,805	4,167	4,301	3,979	2.73

<sup>1</sup>ที่มา: การยางแห่งประเทศไทย (2562), กรมศุลกากร (2562)

<sup>2</sup>น้ำหนักรวมของยางแห้ง

<sup>3</sup>ยางผสม ได้แก่ ยางผสมสารเคมี และยางคอมปาวด์

<sup>4</sup>ยางอื่น ๆ เช่น ยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางเครพ ยางสกีม ยางแผ่นดิบ ฯลฯ

ตารางที่ 14 ตลาดส่งออกยางธรรมชาติที่สำคัญของไทย ปี พ.ศ. 2558-2562  
(หน่วย: '000 ตัน)

ประเทศ	2558	2559	2560	2561	2562	อัตราเพิ่ม (ร้อยละ)
จีน	2,136	2,192	2,583	2,591	2,310	3.29
มาเลเซีย	432	375	393	421	385	-1.14
ญี่ปุ่น	221	211	208	210	200	-1.96
สหรัฐอเมริกา	154	190	171	192	221	7.62
เกาหลีใต้	156	4	109	112	103	27.47
ยุโรป	247	283	53	286	284	2.98
อื่น ๆ	404	549	649	488	476	2.11
รวม	3,749	3,805	4,167	4,301	3,979	2.44

<sup>1</sup>ที่มา: การยางแห่งประเทศไทย (2562), กรมศุลกากร (2562)





ตารางที่ 15 ปริมาณการส่งออกยางธรรมชาติของไทยผ่านท่าเรือ/ด่านศุลกากร ปี พ.ศ. 2558-2562  
(หน่วย: '000 ตัน)

ปี พ.ศ.	กรุงเทพฯ	สงขลา	แหลมฉบัง	ปาดังเบซาร์	สะเดา	อื่น ๆ	รวม
2558	425	105	1,258	1,163	490	284	3,725
2559	359	106	1,341	1,281	423	295	3,805
2560	205	155	1,528	1,440	448	391	4,167
2561	171	178	1,716	1,408	520	307	4,301
2562	113	178	1,685	1,238	504	261	3,979

ที่มา: การยางแห่งประเทศไทย (2562), กรมศุลกากร (2562)

# ต้นยางของคุณ โตพอหรือยัง ?



ไม่อยากสูญเสียรายได้  
ไม่อยากทำลายเศรษฐกิจชาติ

**อย่า! กรีดยางต้นเล็ก**

ที่ขนาดรอบลำต้นน้อยกว่า 50 เซนติเมตร



การยางแห่งประเทศไทย  
Rubber Authority of Thailand

**“กรีดยางถูกวิธี”**

สอบถามได้ที่ สถาบันวิจัยยาง  
โทร. 0-2940-6653, 0-2579-1576

