

การพัฒนาผลิตภัณฑ์วัสดุเชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยใยสับปะรด:

การทบทวนวรรณกรรม

PRODUCT DEVELOPMENT FROM PALF REINFORCED COMPOSITES: LITERATURE REVIEW

ชานนท์ มุลวรรณ¹ และ กัณวรัช พลุปราชญ์²

¹นิสิตปริญญาเอก ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

²รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

บทคัดย่อ

การศึกษางานวิจัยเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ยานยนต์จากวัสดุเชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยเส้นใยสับปะรด เป็นการทบทวนวรรณกรรมที่มุ่งเน้นการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาเป็นวัตถุดิบเพื่อปรับปรุงและพัฒนาให้เกิดประโยชน์สูงสุดกับผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนในงานอุตสาหกรรมยานยนต์ได้แก่ แผ่นกันเสียงด้านในประตูรถ การทบทวนวรรณกรรมได้กล่าวถึง กระบวนการผลิต ลักษณะโครงสร้างพื้นฐาน วิทยา สมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงความร้อน เป็นต้น ประโยชน์ที่ได้รับจะเป็น การศึกษาความเป็นไปได้ของการนำเส้นใยสับปะรดมาทดแทนเส้นใยสังเคราะห์ เป็นการเพิ่มมูลค่า วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร งานวิจัยจึงมีความสำคัญยิ่งในการสร้างความรู้พื้นฐาน และนำมาบูรณาการในการผลิตเชิงอุตสาหกรรม ซึ่งจะเป็นผลดีต่อประเทศในอนาคต

คำสำคัญ: วัสดุเชิงประกอบ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เส้นใยสับปะรด

ABSTRACT

A study of researches to develop automobile product from PALF Reinforced Composites was a literature review emphasizing on using agricultural wastes as raw materials to improve and develop for highest benefit a product part for the automobile industry which is a noise prevention sheet inside the car doors. The literature reviews covered the production process, morphology, physical properties, mechanical properties and thermal properties. The benefits received will be a feasibility study of using pineapple fibers to replace synthetic fibers to increase the value of agricultural wastes. The research is essential in the creation of basic knowledge integrating with industrial production which will be beneficial for the country in the future.

KEYWORDS: Composite Materials, Agricultural Wastes, Pineapple Fibers

1. บทนำ

ในปัจจุบัน ความต้องการใช้วัสดุกลุ่มพอลิเมอร์ได้เพิ่มขึ้น เนื่องจากวัสดุในกลุ่มนี้ขึ้นรูปได้ง่าย มีน้ำหนักเบาและไม่เป็นสนิม แต่วัสดุพอลิเมอร์ก็มีข้อเสียคือ มีความแข็งแรงต่ำเมื่อเทียบกับวัสดุกลุ่มโลหะ เซรามิก และ วัสดุเชิงประกอบ (composite materials) การเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุกลุ่มพอลิเมอร์จึงมีความสำคัญ เส้นใยที่ใช้เสริมความแข็งแรงให้กับวัสดุพอลิเมอร์มี 2 กลุ่ม ได้แก่ เส้นใยสังเคราะห์ และเส้นใยธรรมชาติ กลุ่มเส้นใยสังเคราะห์ เช่น เส้นใยแก้ว (glass fiber) เส้นใยคาร์บอน (carbon fiber) หรือเส้นใยอะรามิด (aramid fiber) เป็นต้น เส้นใยสังเคราะห์เหล่านี้ล้วนมาจากวัตถุดิบที่เป็นผลผลิตจากปิโตรเลียม ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ไม่สามารถทดแทนได้ วัสดุเหล่านี้เมื่อหมดอายุการใช้งานการกำจัดก็ทำได้ยาก กระบวนการผลิตและกำจัดวัสดุสังเคราะห์ก็เป็นกระบวนการที่ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณที่สูง ซึ่งเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้การใช้เส้นใยธรรมชาติเสริมความแข็งแรงในวัสดุเชิงประกอบเพิ่มขึ้น [1] ปัจจุบันได้มีการพัฒนาใช้ใยจากวัสดุธรรมชาติเช่น ใยปอ ใยสับปะรด ใยมะพร้าว ใยศรนารายณ์ และอื่นๆ เสริมความแข็งแรงให้กับวัสดุเชิงประกอบที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เส้นใยจากปอสับปะรดเป็นเส้นใยธรรมชาติชนิดหนึ่งที่ได้ง่ายในประเทศไทย เนื่องจากมีการปลูกกันทุกภาค การใช้ปอสับปะรดซึ่งเป็นวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรมาเป็นวัตถุดิบเพื่อปรับปรุงและพัฒนาให้เกิดประโยชน์ในงานอุตสาหกรรมจึงเป็นการเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ในศตวรรษที่ผ่านมาได้มีการวิจัยและพัฒนาวัสดุเชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ (natural fiber) เริ่มต้นจากการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบเสริมแรงด้วยเส้นใยสั้น (short fibers) นำมาใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ เช่น พนักเบาะประตูและหลังคารถยนต์ ดังรูปที่ 1 [2,3]



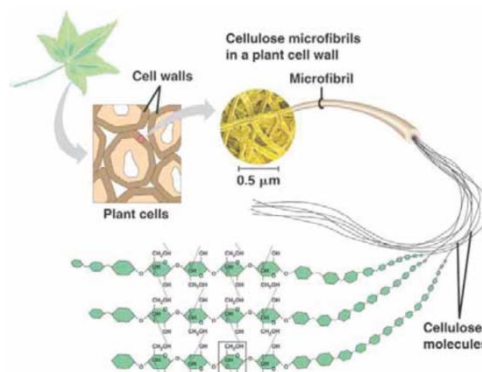
รูปที่ 1 การประยุกต์ใช้งานของเส้นใยธรรมชาติในอุตสาหกรรมยานยนต์ [2, 3]

2. วารสารปริทัศน์เกี่ยวกับวัสดุเชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยใยสับปะรด

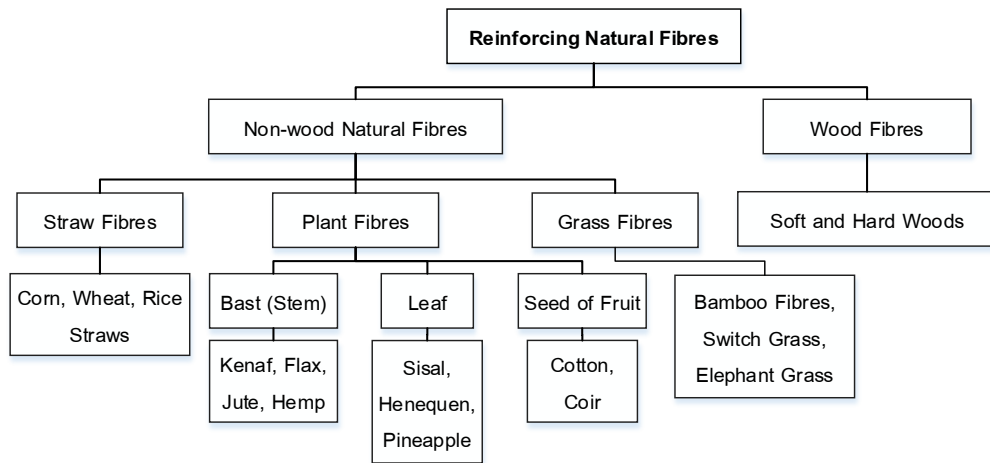
วัสดุเชิงประกอบ (composite materials) เป็นระบบของวัสดุที่เป็นการรวมกันของสารตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปทั้งในขนาดจุลภาคหรือมหภาคก็ได้ องค์ประกอบทางเคมีหรือส่วนผสมแตกต่างกัน และจะต้องไม่ละลายเข้าด้วยกัน [4] ความสำคัญทางวิศวกรรมของวัสดุเชิงประกอบอยู่ที่ว่าวัสดุ 2 ชนิด หรือมากกว่า 2 ชนิดนั้น เมื่อนำมาผสมกันแล้วได้วัสดุเชิงประกอบที่มีสมบัติเป็นพิเศษ หรือให้มีลักษณะที่สำคัญบางอย่างแตกต่างไปจากสารเดิม

2.1 เส้นใยธรรมชาติ (natural fibers) [5]

เส้นใยธรรมชาติมีสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น หาได้ง่าย ต้นทุนการผลิตต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับใยสังเคราะห์ จากรูปที่ 2 เส้นใยธรรมชาติมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ลิกนิน (lignin) และเพกติน (pectin) เป็นต้น โดยการจำแนกของเส้นใยธรรมชาติสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทได้แก่ เส้นใยจากไม้ และเส้นใยนอกกลุ่มไม้ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 2 องค์ประกอบของใยธรรมชาติ [6]



รูปที่ 3 การแบ่งประเภทของเส้นใยธรรมชาติ [7]

2.2 วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

การนำเอาวัสดุอื่นมาใช้ทดแทนไม้ในอุตสาหกรรมไม้อัดนั้น นิยมใช้เศษไม้ ปลายไม้ หรือไม้โตเร็วอื่นๆ ตลอดจนพืชทางการเกษตร รวมไปถึงการนำเอาวัสดุเหลือใช้อื่นๆ ที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ มาวิเคราะห์ วิจัย และประยุกต์ใช้ เพื่อแก้ปัญหามลพิษจากขยะของเสียจากภาคเกษตรกรรม หรือวัสดุเหลือใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยทั่วไปวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรมีประมาณ 20 ชนิด จากทุกภาคของประเทศไทย ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ชนิดของวัสดุทางการเกษตร

พื้นที่ในประเทศไทย	ชนิดของวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร
ภาคเหนือ	- ใบไผ่ (bamboo leaf (<i>Bambusa flexuosa</i> Munro)) - หญ้าคา (lalang (<i>Imperata cylindrical</i> (L.) Beauv.)) - แกลบ (rice husk (<i>Oryza sativa</i>)) - ฟางข้าว (rice straw (<i>Oryza sativa</i>)) - ใบตาล (palmyra palm leaf (<i>Barassus flabellifer</i> Linn.))
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	- ใบอ้อย (sugarcane leaf (<i>Saccharum officinarum</i> Linn.)) - กากอ้อย (sugarcane refuse (<i>Saccharum officinarum</i> Linn.)) - หญ้าขน (paragrass (<i>Brachiaria mutica</i> (Forsk.) Stapf.)) - ปอกระเจา (tossa jute (<i>Corchorus olitorius</i> Linn.)) - เปลือกข้าวโพด (corn covering (<i>Zea mays</i> Linn.))

ตารางที่ 1 ชนิดของวัสดุทางการเกษตร (ต่อ)

พื้นที่ในประเทศไทย	ชนิดของวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร
ภาคกลางและภาคตะวันออก	- ผักตบชวา (water hyacinth (<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms.)) - ต้นกล้วย (banana trunk (<i>Musa sapientum</i> Linn.)) - ต้นกก (umbrella plant (<i>Cyperus flabelliformis</i> Rottb.)) - ต้นธูปฤๅษี (lesser reedmace (<i>Typha angustifolia</i> Linn.)) - ไยมะพร้าว (coconut fiber (<i>Cocos nucifera</i> Linn.))
ภาคใต้	- ใบจาก (nipa palm leaf (<i>Nypa fruticans</i> Wurmb.)) - ใบสับปะรด (pineapple leaf (<i>Ananas Comosus</i> (L.) Merr.)) - กากปาล์ม (oil palm refuse (<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.)) - ใบยางพารา (para rubber leaf (<i>Hevea brasiliensis</i> Muell. Arg.)) - ขุยมะพร้าว (coconut coir (<i>Cocos nucifera</i> Linn.))

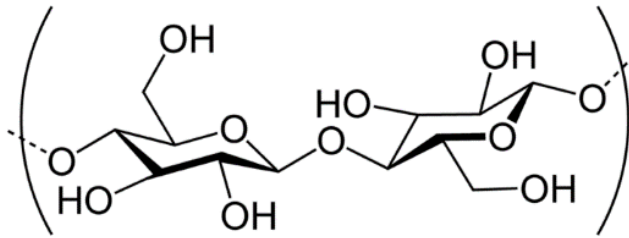
2.2.1 ส่วนประกอบของวัสดุทางการเกษตร [8, 9, 10]

วัสดุทางการเกษตรทุกชนิดประกอบด้วยเส้นใยธรรมชาติ เส้นใยธรรมชาติมักจะมีลักษณะเป็นเส้นเรียวยาว เส้นใยธรรมชาติที่ได้จากพืชจะมีองค์ประกอบทางเคมีที่มีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบหลักที่สำคัญ โดยเซลลูโลสนั้นพบได้ในหลายส่วนของพืช นิยมนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษหรืออุตสาหกรรมไม้อัดไม้ประกอบ

องค์ประกอบทางเคมีของโครงสร้างเส้นใยพืชนั้นค่อนข้างซับซ้อน ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน แวกซ์ และส่วนประกอบของน้ำ โดยมีเส้นใยเซลลูโลสขนาดเล็กที่เรียงตัวอย่างเป็นระเบียบและเสริมแรงด้วยลิกนินที่แทรกอยู่อย่างไม่เป็นระเบียบ และมีเฮมิเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบหลัก โดยทั่วไปในไม้ยืนต้นหรือไม้พุ่มจะมีปริมาณเซลลูโลสอยู่ร้อยละ 40 ถึง 50 ปริมาณเฮมิเซลลูโลสประมาณร้อยละ 20 ถึง 30 และมีปริมาณลิกนินร้อยละ 20 ถึง 30

2.2.2 เซลลูโลส (cellulose) [11]

เซลลูโลส ($C_6H_{10}O_5$)_n มีส่วนประกอบทางเคมีจำพวกคาร์โบไฮเดรต มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลเดือยที่สูญน้ำไป 1 โมเลกุล (D-anhydroglucose; $C_6H_{11}O_5$) เชื่อมต่อกันหลายๆ โมเลกุลเข้าไปมา และเกิดพันธะกับ β -1,4-glycosidic ด้วยปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน การเกิดพันธะกับ β -1,4-glycosidic โมเลกุลใหญ่และมีโครงสร้างแบบเส้นตรง (a linear macromolecule) ดังรูปที่ 4 ในเซลลูโลสจะเรียงตัวเป็นเส้นตรงที่มีความเสถียรสูง และมีความต้านทานต่อสารเคมี เพราะมีพันธะไฮโดรเจนจำนวนมากที่เกิดขึ้นระหว่างโครงสร้างของเซลลูโลส



รูปที่ 4 โครงสร้างเซลลูโลส [11]

พันธะไฮโดรเจนเป็นตัวที่ทำให้เซลลูโลสคงรูป ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความเป็นผลึกและสมบัติทางกายภาพของเซลลูโลส ทำให้เซลลูโลสย่อยสลายได้ยาก โมเลกุลของเซลลูโลสมักจะเรียงตัวอยู่ที่บริเวณผนังเซลล์ของพืช เกิดจากหน่วยเส้นใยขนาดเล็ก (micro fibrils) จำนวนมากมารวมตัวกันเป็นเส้นใยขนาดเล็กเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบเป็นท่อยาวที่ผนังชั้นนอกสุด เซลลูโลสจะถูกยึดติดไว้ด้วยกันด้วยเฮมิเซลลูโลสเพื่อรวมตัวกันเป็นโครงสร้างของเส้นใย (fiber) โดยแต่ละเส้นใยจะถูกยึดตัวไว้ด้วยกันโดยลิกนิน เซลลูโลสจึงมีค่าความต้านทานต่อต่างสูงและต้านทานต่อการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน แต่ง่ายต่อการเกิดปฏิกิริยาต่อน้ำ อย่างไรก็ตามเซลลูโลสสามารถปรับปรุงสมบัติเหล่านี้ได้ด้วยการเตรียมเส้นใยด้วยสารเคมีได้หลายวิธี เช่น การปรับปรุงเส้นใยด้วยการแช่ หรือต้มด้วย 1 เปอร์เซ็นต์สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ พืชที่มีปริมาณเซลลูโลสมากมักจะมาจากพืชจำพวกปอ เช่น ต้นแฟลกซ์ มีเซลลูโลสร้อยละ 80 - 90 ต้นกัญชงร้อยละ 65 - 75 ปอกระเจาร้อยละ 60 - 70 และ ป่านร้อยละ 85 เป็นต้น

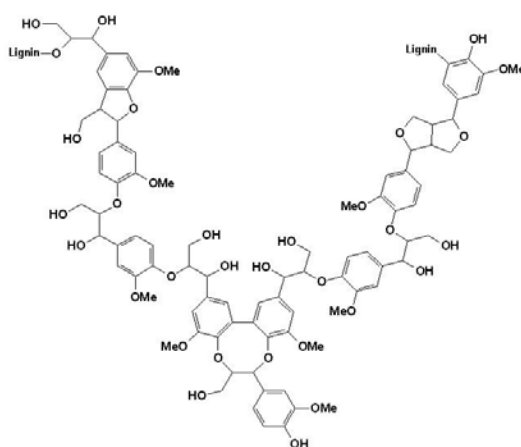
2.2.3 เฮมิเซลลูโลส (cellulose) [9]

เฮมิเซลลูโลส เป็นส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญชนิดหนึ่งในพืช โดยมีปริมาณ 1 ใน 3 หรือ 1 ใน 4 ของโครงสร้างพืช มักฝังตัวอยู่ตามผนังเซลล์ของพืช โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยโครงสร้างโมเลกุลของน้ำตาลหลาย ๆ ชนิดโดยมีโพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharides) เป็นโครงสร้างหลักคล้ายกับเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสเป็นส่วนที่ช่วยในการยึดเหนี่ยวเส้นใยขนาดเล็กของเซลลูโลส แต่เซลลูโลสจะประกอบด้วยกลูโคสเพียงอย่างเดียว การจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบเป็นเส้นตรง แข็งแรง และทนต่อการละลายน้ำ เฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยน้ำตาล 5 ชนิด แบ่งเป็นน้ำตาลที่มีจำนวนคาร์บอน 5 ตัว คือ D-xylose และ L-arabinose และน้ำตาลที่มีคาร์บอนจำนวน 6 ตัว คือ D-galactose, D-glucose และ D-mannose และ Uronic acid ทำการจัดเรียงตัวกันแบบไม่เป็นระเบียบ มีโครงสร้างแบบร่างแห และมีความแข็งแรงต่ำ ประกอบไปด้วยโครงสร้างสั้น ๆ ของ

น้ำตาลประมาณ 200หน่วย ความสามารถในการเปิกน้ำสูงกว่าเซลลูโลส สามารถละลายในเบสหรือกรดที่อุณหภูมิสูงและไฮโดรไลซ์ในกรด เฮมิเซลลูโลสเป็นส่วนที่ช่วยลดการบวมตัวของเส้นใย

2.2.4 ลิกนิน (lignin) [9]

ส่วนกอบทางเคมีของลิกนินไม่เป็นคาร์โบไฮเดรตเหมือนกับเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส แต่เป็นส่วนประกอบที่ให้ความคงรูปแก่พืช โดยจะพบบริเวณผนังเซลล์ของไม้ ลิกนินมีปริมาณถึง 1 ใน 3 หรือ 1 ใน 4 ของโครงสร้างไม้ มักใช้เป็นตัวประสานในปาร์ติเคิลบอร์ด เป็นส่วนที่เพิ่มความแข็งแรงและความแข็งแรงให้กับผนังเซลล์ โดยทำหน้าที่เป็นตัวเติมเต็มระหว่างเซลลูโลสกับเฮมิเซลลูโลส พันธะโควาเลนต์ระหว่างโพลีแซคคาไรด์ เป็นโครงสร้างที่ค่อนข้างซับซ้อน มีการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ เป็นโพลีเมอร์แบบสามมิติ ดังรูปที่ 5 ลิกนิน ประกอบด้วยกลุ่มไฮดรอกซิล เมทอกซิล และกลุ่มคาร์บอนิล โดยมีปริมาณคาร์บอนสูง แต่มีปริมาณไฮโดรเจนต่ำ ประกอบกันเป็นอะลิฟาติก (aliphatic) และอะโรมาติก(aromatic) ที่เกิดจากธาตุที่มีมวลโมเลกุลสูง ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้เกิดกลิ่น โพลีแซคคาไรด์มีความสามารถในการดูดซับน้ำสูง ซึ่งทำให้ลิกนินมีความสามารถในการกักน้ำได้มากขึ้น การเกิดพันธะระหว่างโพลีแซคคาไรด์ ทำให้เกิดการดูดซึมน้ำบริเวณผนังเซลล์ ลิกนินเป็นพอลิเมอร์แบบเทอร์โมพลาสติก อุณหภูมิแข็งตัวที่ 90 องศาเซลเซียส และมีจุดหลอมเหลวที่ 170 องศาเซลเซียส ลิกนินไม่สามารถเกิดไฮโดรไลซ์ได้โดยกรด แต่ละลายได้ในเบสที่อุณหภูมิสูง ง่ายต่อการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน และเกิดการกลั่นตัวด้วยฟีนอลได้ แต่ลิกนินจะย่อยสลายได้ยาก เพราะฉะนั้นไม้ที่มีปริมาณลิกนินมาก จะมีความทนทานสูง และเป็นเชื้อเพลิงที่ดี นอกจากบริเวณผนังเซลล์แล้ว ลิกนินจะถูกพบที่บริเวณท่อน้ำเลี้ยงในพืชอีกด้วย



รูปที่ 5 โครงสร้างของลิกนิน [9]

2.3 เส้นใยสับปะรด

สับปะรด (pineapple) มีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Ananas Comosus* (L.) Merr. มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปอเมริกากลางและอเมริกาใต้ ลำต้นสูงประมาณ 1 ถึง 1.5 เมตร เป็นพืชยืนต้น ใบเลี้ยงเดี่ยว ลำต้นหนา ใบสับปะรดจะมีลักษณะยาว โดยมีความยาวประมาณ 30 ถึง 100 เซนติเมตร กว้าง 5 ถึง 7.5 เซนติเมตร และคม มีสีเขียวเข้ม เส้นใยของสับปะรดจะแข็งแรง ขาวและนุ่มสวย แต่มีใบสับปะรดเป็นจำนวนมากที่ถูกทิ้งเป็นขยะ เพราะงานวิจัยที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ยังมีน้อย ใบสับปะรดประกอบไปด้วยเส้นใยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 ถึง 80 ไมโครเมตร เป็นจำนวนมากดังรูปที่ 6



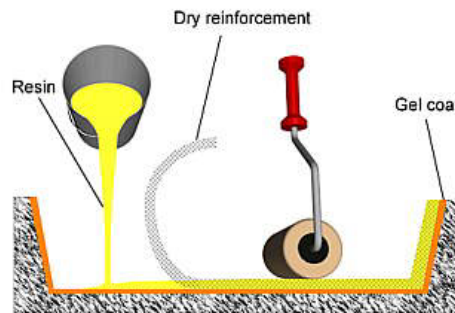
รูปที่ 6 เส้นใยสับปะรด [12]

เส้นใยประกอบด้วยเซลลูโลสร้อยละ 70 ถึง 82 ลิกนินร้อยละ 12 และโพลีแซคคาไรด์ร้อยละ 5 ใบสับปะรดมีความหนาแน่นประมาณ 1,500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เส้นใยมีสมบัติเชิงกลที่ดี ทั้งค่าความยืดหยุ่นและค่าการคงตัวเมื่อเทียบกับปอกระเจา เนื่องจากมีค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) อยู่ในช่วง 34 ถึง 82 GPa และมีค่าการยืดตัวร้อยละ 1 ถึง 2 ค่าการดูดซับน้ำสูงเนื่องจากมีปริมาณเซลลูโลสที่มาก

2.4 การขึ้นรูป

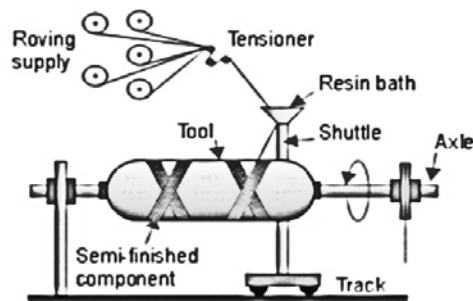
กระบวนการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบมีหลายวิธี

1) ใ้หมี้อทา (hand lay-up) เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด เริ่มจากการใส่เส้นใยเสริมแรงลงในแบบ แล้วเทเรซินลงไปใช้ลูกกลิ้งรีดไล่ฟองอากาศในเรซิน วิธีนี้ทำได้ง่าย ลงทุนต่ำ สามารถใช้ได้ ในอุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาดใหญ่ แต่ก็มีข้อเสียคือใช้เวลาในการผลิตนาน



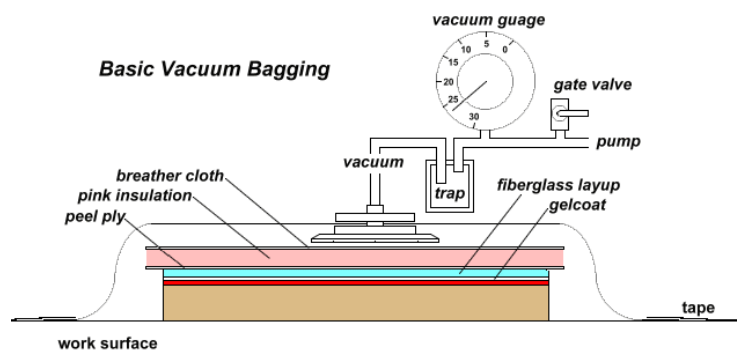
รูปที่ 7 การขึ้นรูปด้วยการทำแบบใช้มือทา [13]

2) แบบพัน (filament winging) ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะกลวง มีผิวด้านในเรียบ มีความแข็งแรง และต้านทานต่อแรงดันสูง เช่น ถังเก็บสารเคมี ท่อส่งของเหลว และผลิตภัณฑ์อื่นๆ



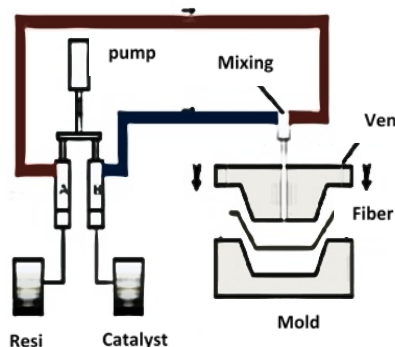
รูปที่ 8 การขึ้นรูปแบบพัน [14]

3) แบบถุงสุญญากาศ (vacuum bagging) เป็นกระบวนการผลิตระบบแม่พิมพ์ปิดที่ง่ายที่สุด เริ่มต้นการวางเส้นใยเสริมแรงลงในแบบ แล้วจึงเทเรซินแล้วดูดอากาศออก



รูปที่ 9 การขึ้นรูปแบบสุญญากาศ [15]

4) แบบเรซินทรานสเฟอร์ (resin transfer moulding: RTM) เรซินจะถูกฉีดเข้าไปในแบบ ซึ่งมีเส้นใยเสริมแรงวางอยู่ ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 การขึ้นรูปแบบสุญญากาศ [16]

3. สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยใยธรรมชาติ

สมบัติเชิงกลของเส้นใยธรรมชาติขึ้นกับส่วนผสมทางเคมี เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และ เพ็คติน เป็นต้น และกระบวนการผลิตเส้นใย จากตารางที่ 2 จะเห็นว่า ใยสับปะรดมีความแข็งแรงต้านแรงดึง มอดุลัสของยัง และมอดุลัสจำเพาะสูงกว่าใยธรรมชาติชนิดอื่นๆ

ตารางที่ 2 สมบัติเชิงกลของเส้นใยธรรมชาติ [17]

Plant fibre	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (GPa)	Specific Modulus (GPa)	Failure Strain (%)	Length of Ultimeates, l (mm)	Diameter of Ultimeates, d (μm)	Aspect Ratio, l/d	Microfibril Angle, θ (°)	Density (Kg/m ³)	Moisture Content (eq.) (%)
Cotton	300 - 700	6 - 10	4 - 6.5	6 - 8	20 - 64	11.5 - 17	2752	20 - 30	1550	8.5
Kapok	93.3	4	12.9	1.2	8 - 32	15 - 35	724	-	311 - 384	10.9
Bamboo	575	27	18	-	2.7	10 - 40	9259	-	1500	-
Flax	500 - 900	50 - 70	34 - 48	1.3- 3.3	27 - 36	17.8 - 21.6	1258	5	1400- 1500	12
Hemp	310 - 750	30 - 60	20 - 41	2 - 4	8.3 - 14	17 - 23	549	6.2	1400 -1500	12
Jute	200 - 450	20 - 55	14 - 39	2 - 3	1.9 - 3.2	15.9 - 20.7	157	8.1	1300 -1500	12
Kanaf	295 -1191	22 - 60	-	-	2 - 61	17.7 - 21.4	119	-	1220 -1400	17
Ramie	915	23	15	3.7	60 - 250	28.1 - 35	4639	-	1550	8.5
Abaca	12	41	-	3.4	4.6 - 5.2	17 - 21.4	257	-	1500	14
Banana	529 - 914	27 - 32	20 - 24	1 - 3	2 - 3.8	-	-	11 - 12	1300 -1350	-
Pineapple	413 -1627	60 - 82	42 - 57	0 - 1.6	-	20 - 80	-	6 - 14	1440 -1560	-
Sisal	80 - 840	9 - 22	6 - 15	2 - 14	1.8 - 3.1	18.3 - 23.7	115	10 - 22	1300 -1500	11
Coir	106 - 175	6	5.2	15 - 40	0.9 - 1.2	16.2 - 19.5	64	39 - 49	1150 -1250	13

สมบัติเชิงกลของเส้นใยธรรมชาติขึ้นกับองค์ประกอบหลายอย่าง เริ่มตั้งแต่การเตรียมผิว เช่น การใช้เอนไซม์เซลลูเลสในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่า degree of polymerization ของเซลลูโลสลดลง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนของเส้นใยเซลลูโลสถูกทำลายโดยเอนไซม์เซลลูเลส ทำให้เส้นใยเกิดการสลาย [18] แต่เส้นใยเซลลูโลสจะนุ่มและสะอาดขึ้น ขนาดของเส้นใยเล็กลง ความสามารถในการดูดซับน้ำลดลง ความเป็นผลึกของเส้นใยลดลง ค่าความแข็งแรงต้านแรงดึงลดลง [19] การปรับปรุงผิวของเส้นใยสับปะรดด้วยเซลลูเลสและเพคตินีสที่มีต่อการย้อมสีที่มาจากธรรมชาติ พบว่า โซเดียมไฮดรอกไซด์และเอนไซม์จะช่วยกำจัดสิ่งสกปรก และสารประกอบที่ไม่ใช่เซลลูโลสออกไปจากเส้นใย ทำให้ความแข็งแรงต้านแรงดึงลดลง สำหรับการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารประสาน 2 ชนิด ได้แก่ γ -aminopropyl trimethoxy silane (Z-6011) และ γ -methacryloxy propyl trimethoxy silane (Z-6030) ในวัสดุเชิงประกอบพอลิคาร์บอเนตเสริมแรงด้วยเส้นใยสับปะรด พบว่ามีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น [20] สมบัติเชิงกายภาพและสมบัติเชิงกลของเส้นใยสับปะรดแสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สมบัติเชิงกายภาพและสมบัติเชิงกลของเส้นใยสับปะรด[21]

Density	1.526 g/cm ³
Softening Point	104 ⁰ C
Tensile Strength	170 MPa
Young's Modulus	6062 MPa
Specific Modulus	4070 MPa
Elongation at Break	3 %
Moisture regain	12 %

สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ ขึ้นกับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น โครงสร้างหลัก (matrix) ที่เป็นพอลิเมอร์ ความยาวของเส้นใย และอื่นๆ จากตารางที่ 4 ผลของความยาวต่อความแข็งแรงต้านแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอสเทอร์เสริมแรงด้วยใยสับปะรด จะเห็นว่า ความยาวของเส้นใย 30 mm ให้ค่าความแข็งแรงต้านแรงดึงมากที่สุด 52.9 MPa ส่วนความเหนียวจะมีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 3 %

ตารางที่ 4 ความยาวของเส้นใยสับปะรดที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอสเตอร์ [21]

Fibre Length (mm)	Young's Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation at Break (%)
5	815	15.6	3.0
10	1870	35.0	3.0
15	1990	39.2	3.0
30	2290	52.9	3.6
40	1970	38.4	3.0

ปริมาณของเส้นใยส่งผลถึงสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยใยธรรมชาติ ดังตารางที่ 5 ปริมาณเส้นใย 40 wt% ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด กล่าวคือ ค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่น 2520 MPa ความแข็งแรงสูงสุด 63.3 MPa และความเหนียวของการยืดตัวเท่ากับ 5.0 %

ตารางที่ 5 ปริมาณของเส้นใยสับปะรดที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอสเตอร์ [21]

Fibre Content (wt%)	Young's Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation at Break (%)
0	580	20.6	1.6
10	1770	17.1	1.3
20	1830	40.0	3.0
30	2290	52.9	3.6
40	2520	63.3	5.0

4. สรุป

จากการศึกษางานวิจัย พบว่า วัสดุเชิงประกอบจากเส้นใยสับปะรด มีปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลหลายอย่าง เช่น โครงสร้างพื้น (matrix) การเตรียมผิวเส้นใยสับปะรดโดยเทคนิคต่างๆ จะช่วยกำจัดสิ่งสกปรกและสารประกอบที่ไม่ใช่เซลล์ลูโลสออกไปจากเส้นใย ทำให้เส้นใยมีขนาดเล็กลง จะเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุเชิงประกอบเพิ่มขึ้น และความแข็งแรงของวัสดุเชิงประกอบยังขึ้นกับความยาวของเส้นใย ปริมาณของเส้นใยเสริมแรง และกระบวนการขึ้นรูป ดังนั้นจะเห็นว่าวัสดุเชิง

ประกอบที่เสริมแรงเส้นใยสับปะรดมีสมบัติเชิงกลที่ดี สามารถนำไปทดแทนวัสดุเชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยใยสังเคราะห์ ต้นทุนการผลิตต่ำ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ในประเทศ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมการผลิตของประเทศในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- [1] Bledzki, A. K. and Gassan, J. (1999). "Composites reinforced with cellulose based fibers." **Progress in Polymer Science**. 24: 221-274.
- [2] Nangia, S. and S. Biswas. "Jute Composite: Technology & Opportunities" Available: <http://tifac.org.in/news/jute.htm>.
- [3] H.P.S. Abdul Khalil, M.S.A., and A.K. Mohd Omar. (2006). "Chemical composition, anatomy, lignin distribution, and cell wall structure of malaysian plant waste fibers." **Bioresources**. 1 (2): 220-232.
- [4] William F. Smith. (1996). **Principles of Materials Science and Engineering**. Singapore: McGraw-Hill.
- [5] ไทยเคมีสิ่งทอ. **Fiber science** [On-line]. สืบค้นเมื่อ 15 สิงหาคม 2552 เข้าถึงจาก <http://www.ttcexpert.com>
- [6] คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. **เซลล์ของพืชและอวัยวะภายในเซลล์** [Online]. สืบค้นเมื่อ กันยายน 2553 จาก <http://www.vcharkarn.com/>
- [7] Bledzki, A.K., Sperber, V.E. and Faruk, O. (2002). "Natural and Wood Fibre Reinforcement in Polymers." **Rapra Review Reports**. Vol. 13 (No. 152).
- [8] L.K. Norford, et al. (1999). "Development of Low-Cost Wheat-Straw Insulation Board." **HVAC & Research**. 5 (3): p. 249-264
- [9] Energy, U.S. DOE. **Feedstock Composition Glossary**.
- [10] Khalil, A., M.S. Alwani, and A.K.M. Omar. (2006). "Chemical Composition, Anatomy, Lignin Distribution, and Cell Wall Structure of Malaysian Plant Waste Fibers." **Bioresources**. 1 (2): 220-232
- [11] <http://www.wikipedia.org>.
- [12] หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีสิ่งทอ สถาบันค่นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. **การผลิตเส้นใยสับปะรดเพื่ออุตสาหกรรมสิ่งทอ** [On-line]. สืบค้นเมื่อ 7 สิงหาคม 2552. จาก <http://ku.ac.th/kaset60/Theme04/theme-04-20/>
- [13] <http://www.designinsite.dk/gifs/pb0102.jpg>

- [14] http://www.azom.com/work/Thermosetting%20Composites%20-%20Processing_files/image006.gif
- [15] <http://www.bertram31.com/proj/tips/vacuum-bag.gif>
- [16] <http://www.rtmcomposites.com/whatrtm.html>
- [17] <http://www.intechopen.com>
- [18] Y. Cao and H.Tan. (2002). "The properties of enzyme-hydrolyzed cellulose in aqueous sodium hydroxide." **Carbohydrate Research**. 337:1453-1457.
- [19] D. Ciechanska and J. Kazimerczak. (2006). "Treatments of Fibres of Regenerated Cellulose." **Fiber & Textile in Eastern Europe**. 14: 92-95
- [20] P. Threepopnatkul, N. Kaerkitcha, and N.Athipongarporn. (2009). "Effect of surface treatment on performance of pineapple leaf fiber- polycarbonate composites". **Composites Part B: Engineering**. 40 (7): 628-632.
- [21] Uma Devi, L., Bhagawan, S.S. and Thomas, S. (1997). "Mechanical Properties of Pineapple Leaf Fiber-Reinforced Polyester Composites." **Journal of Applied Polymer Science**. 64: 1739-1748.

ประวัติผู้เขียนบทความ



ชานนท์ มุลวรรณ

นิสิตปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
โทรศัพท์: 02-3216930-8 ต่อ 1212, 081-2506363
Email: charnont_99@hotmail.co.th



กัณวรัช พลุปราชญ์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
โทรศัพท์: 02-6495000 ต่อ 22055, 089-1411135
Email: pganwarich@yahoo.com