

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 วัสดุคอมโพสิต (Composites)[6]

วัสดุคอมโพสิต หรือ “วัสดุประกอบ” เป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมและมีการใช้งานอย่างมาก ในปัจจุบันมีปริมาณการใช้ผลิตภัณฑ์วัสดุคอมโพสิตมากกว่า 10 ล้านตันต่อปี และมีอัตราการใช้เพิ่มขึ้นทุกปีประมาณ 5-10% [6] วัสดุคอมโพสิตจัดเป็นวัสดุวิศวกรรม (Engineering materials) ที่สำคัญชนิดหนึ่ง ปัจจุบันมีการใช้งานวัสดุคอมโพสิตเป็นวัสดุโครงสร้างและรับแรงสำหรับงานวิศวกรรม เช่น ใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องบิน รถยนต์ เรือ เฟอร์นิเจอร์ อุปกรณ์กีฬา เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากคอมโพสิตมีสมบัติที่ดีหลายประการ ที่สำคัญที่สุดคือ มีความแข็งแรงสูง แต่มีน้ำหนักเบา เมื่อเทียบกับวัสดุอื่นๆ เช่น โลหะหรือเซรามิกส์ ดังนั้นคอมโพสิตจึงมีความแข็งแรงจำเพาะ (Specific strength, σ/ρ) สูง ดังนั้นเมื่อใช้วัสดุคอมโพสิตเป็นส่วนประกอบในโครงสร้าง เช่น ยานพาหนะ จะทำให้วัสดุมีความแข็งแรงสูง แต่มีน้ำหนักเบา เคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น มีประสิทธิภาพในการขนส่งมากขึ้น และประหยัดพลังงานมากขึ้น นอกจากนี้คอมโพสิตยังมีสมบัติที่อยู่ในช่วงกว้าง เนื่องจากมีคอมโพสิตหลายชนิดหลายรูปแบบ สามารถเลือกใช้ออกแบบ และสร้างวัสดุคอมโพสิตให้เหมาะสมกับการใช้งานได้ ทำให้มีการประยุกต์ใช้วัสดุคอมโพสิตอย่างกว้างขวางมากมาย หลากหลายการใช้งาน

ในการใช้งานในปัจจุบันมีการเรียกวัสดุคอมโพสิตหลากหลายชื่อ เช่น พลาสติกเสริมแรง (Reinforced plastics, RP) พลาสติกเสริมแรงไฟเบอร์กลาส (Fiberglass reinforced plastics, FRP) แผ่นลามิเนตเสริมแรง (Reinforced plastic laminates) หรือ ไฟเบอร์กลาส (Fiberglass) เป็นต้น

วัสดุคอมโพสิต คือ วัสดุที่ประกอบด้วยองค์ประกอบสองส่วน (หรือมากกว่า) ที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด (Distinct components) อยู่ด้วยกันและเสริมแรงกัน องค์ประกอบสองส่วนหลักของคอมโพสิต คือ

1. ส่วนเสริมแรง (Reinforcement) คือส่วนที่เป็นโครงสร้างที่ให้ความแข็งแรงแก่วัสดุคอมโพสิต วัสดุที่เป็นส่วนเสริมแรงจะมีความแข็งแรงและมอดุลัสสูง ตัวอย่างของส่วนเสริมแรงที่สำคัญได้แก่ เส้นใย (Fibers) ชนิดต่างๆ เช่น เส้นใยแก้ว (Glass fibers) เส้นใยคาร์บอน (Carbon fibers) เส้นใยเคพลาร์ (Kevlar® fibers) เป็นต้น เส้นใยอาจเป็นเส้นใยเดี่ยวยาว (Continuous fibers) หรือเส้นใยสั้น (Discontinuous หรือ Chopped short fibers) นอกจากนี้อาจเป็นเส้นใยพันกันหรือทอ (Weaves) ให้มีโครงสร้างแบบต่างๆ และมีการจัดเรียงตัว (Orientation) ของส่วนเสริมแรงแบบต่างๆ โดยส่วน

เสริมแรงทำหน้าที่เป็นส่วนรับแรงหลัก (Principle load-carrying members) ของวัสดุคอมโพสิต

2. เมตริกซ์ (Matrix) เป็นวัสดุที่ทำหน้าที่ยึดส่วนเสริมแรงเข้าด้วยกัน ให้อยู่ในตำแหน่งและการเรียงตัวที่กำหนด โดยจะล้อมรอบและปกป้องส่วนเสริมแรงจากการเสียดสีจากสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น เป็นต้น มักมีความแข็งแรงและมอดุลลัสน้อยกว่าส่วนเสริมแรง เมตริกซ์เป็นองค์ประกอบที่มีความต่อเนื่อง (Continuous phase) จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางถ่ายเทแรงที่ได้รับ (Load transfer medium) ไปสู่ส่วนเสริมแรง เมตริกซ์ที่นิยมใช้ในปัจจุบันได้แก่
 - พอลิเมอร์ เรียกคอมโพสิตชนิดนี้ว่า “Polymer Composites” สามารถใช้ได้ทั้งพอลิเมอร์ ประเภท เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) และเทอร์โมเซต (Thermosets)
 - โลหะ เรียกคอมโพสิตชนิดนี้ว่า “Metal Composites”
 - เซรามิกส์ เรียกคอมโพสิตชนิดนี้ว่า “Ceramic Composites”

2.1.1 การแบ่งชนิดของคอมโพสิต (Classification of Composites)

มีการแบ่งชนิดวัสดุคอมโพสิตในหลายแบบ อาจแบ่งชนิดคอมโพสิตตามลักษณะส่วนเสริมแรง สามารถแบ่งได้ดังนี้

1. คอมโพสิตแบบเส้นใย (Fibrous composites) คือคอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใย (Fibers) อาจเป็นเส้นใยสั้น (Short fibers) หรือเส้นใยยาวต่อเนื่อง (Continuous fibers) มักเป็นเส้นใยขนาดเล็ก มีความแข็งแรงและมอดุลลัสสูง ทำให้คอมโพสิตมีความแข็งแรงตามแนวการเรียงตัวของเส้นใยสูงกว่าแนวอื่นๆ
2. คอมโพสิตแบบแผ่นหรือลามิเนต (Laminar composites) คือคอมโพสิตที่ประกอบด้วยชั้นหรือแผ่นของวัสดุที่ยึดติดกันด้วยตัวเชื่อมเมตริกซ์ มีลักษณะเป็นชั้นๆ คล้ายแซนวิช (Sandwich) หรือเป็น โครงสร้างคล้ายรังผึ้ง (Honeycomb)
3. คอมโพสิตแบบเป็นก้อน (Particulate composites) คือคอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงเป็นเม็ด (Beads) แผ่น (Flake) หรือผง (Powder) ที่มีขนาดเล็ก (มักมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน)

นอกจากนี้ สามารถแบ่งชนิดของคอมโพสิตได้ตามลักษณะการเกิดของคอมโพสิต คือ

1. คอมโพสิตจากธรรมชาติ (Natural composites) คือวัสดุคอมโพสิต ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ไม้ (Wood) ฟัน (Teeth) และกระดูก (Bone) ไม้เป็นคอมโพสิตของเส้นใยเซลลูโลส (Cellulose) เป็นส่วนเสริมแรง โดยมีสารจำพวกลิกนิน (Lignin) เป็นเมตริกซ์ยึดเซลลูโลสไว้ด้วยกัน ส่วนกระดูกและฟันเป็นคอมโพสิตของผลึกแข็ง

อนินทรีย์ เช่น ไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxyapatite) อยู่ในเมทริกซ์ของสารอินทรีย์ คอลลาเจน (Collagen) ที่เหนียว เป็นต้น

2. คอมโพสิตจากการสังเคราะห์ (Synthetic composites) คือวัสดุคอมโพสิตที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น พลาสติกเสริมแรง วัสดุไฟเบอร์กลาส เป็นต้น

2.1.2 ข้อดีและข้อเสียของวัสดุคอมโพสิต

ข้อดีของคอมโพสิต

- มีสมบัติต่อน้ำหนักหรือความหนาแน่น (Properties to weight/density ratio) สูง เช่น ความแข็งแรงจำเพาะ (Specific strength) โมดูลัสจำเพาะ (Specific modulus) ความแข็งเปราะจำเพาะ (Specific stiffness) เป็นต้น เนื่องจากวัสดุคอมโพสิตมีความหนาแน่นต่ำ น้ำหนักเบา
- ช่วยลดน้ำหนักของวัสดุ
- มีสมบัติหลากหลาย สามารถสร้างวัสดุคอมโพสิตให้เหมาะสมกับการใช้งาน เช่น จัดให้เส้นใย (ส่วนเสริมแรง) เรียงตัวตามแนวรับแรง
- มีอายุการใช้งานยาวนาน มีสมบัติความต้านทานต่อการสึกกร่อนดี
- มีสมบัติการรับแรงและมีการหน่วง (Damping) ที่ดี
- ความทนทานต่อการล้า (Fatigue resistance) ดี
- มีเสถียรภาพของรูปร่าง (Dimensional stability) สูง เนื่องจากมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน (Coefficients of thermal expansion, CTE) ต่ำ เมื่อเทียบกับวัสดุอื่น เช่น โลหะ

ข้อเสียของคอมโพสิต

- ต้นทุนการผลิตสูง เนื่องจากราคาของวัตถุดิบและเครื่องมือการขึ้นรูปคอมโพสิต
- มักมีสมบัติแต่ละทิศทางไม่เท่ากัน หรือมีสมบัติแอนไอโซโทรปี (Anisotropy) เนื่องจากมีการจัดเรียงตัว (Orientation) ของส่วนเสริมแรง เป็นสาเหตุให้คอมโพสิตไม่แข็งแรงในแนวตั้งฉากกับแนวการเรียงตัว (Transverse direction)
- การต่อ (Attaching) หรือเชื่อมติดกับวัสดุอื่น ทำได้ยาก
- การตรวจวิเคราะห์สมบัติคอมโพสิต ทำได้ยาก
- การทำลายและนำกลับมาใช้ใหม่หรือรีไซเคิล (Recycle) ทำได้ยาก

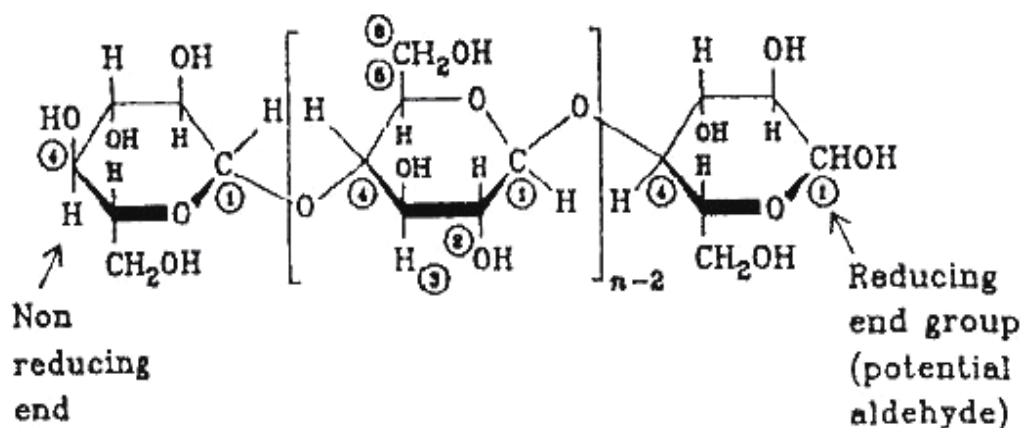
2.2 เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fibers) [7]

เส้นใยธรรมชาติเป็นอินทรีย์วัสดุที่สำคัญ หาได้ง่ายจากธรรมชาติ มีปริมาณมาก สามารถเกิดขึ้นได้ใหม่เรื่อยๆ และมีราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์ ด้วยเหตุนี้ เส้นใยธรรมชาติจึงสามารถใช้เป็นสารเติมแต่งในพอลิเมอร์ โดยอาจเป็นทั้งสารตัวเติมชนิดเสริมแรงและไม่เสริมแรง ขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของเส้นใยที่นำมาใช้

โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยธรรมชาติประกอบด้วยเซลลูโลส (Cellulose) เป็นส่วนใหญ่ องค์ประกอบที่เหลือเป็นเฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses) ลิกนิน (Lignin) และสารประกอบอื่นๆ

2.2.1 เซลลูโลส (Cellulose) [8-10]

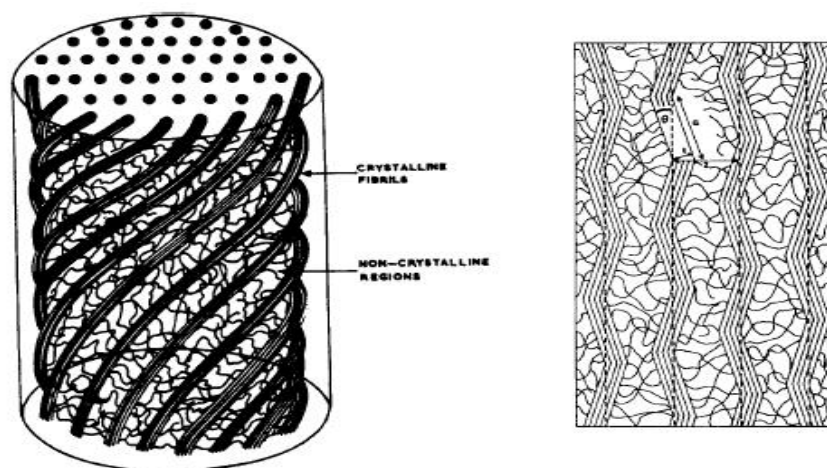
เซลลูโลสเป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharides) เชิงเส้นตรงที่ประกอบด้วยหน่วยซ้ำๆ กัน มีสูตรโมเลกุลทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ เป็นโครงสร้างในเนื้อเยื่อพืช โดยพบร่วมกับลิกนิน เพนโตแซน กัม แทนนิน ไขมัน สารที่ทำให้เกิดสี เป็นต้น เซลลูโลสจะมีหน่วยโมเลกุลยาวและแข็ง โดยเซลลูโลสมีสูตรโครงสร้างทางเคมีดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สูตร โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส [8]

ในแต่ละหน่วยซ้ำ (Repeating unit) เซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิล ถึง 3 หมู่ จึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสจึงมีมากและโครงสร้างของเซลลูโลสยังจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบจึงทำให้เซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูงมาก อุณหภูมิการหลอมตัวสูงจึงเกิดการสลายตัวก่อนถึงอุณหภูมิหลอมตัว และเซลลูโลสมีความสามารถในการละลายต่ำแต่สามารถละลายได้ในกรดเข้มข้น เช่น กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟูริก เป็นต้น เซลลูโลสธรรมชาติจะมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยต่างกัน การกระจายน้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลสมีความสำคัญต่อสมบัติทางกายภาพ ส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะส่งผลให้สมบัติทางกายภาพไม่ดี ในทางอุตสาหกรรมจะหา

น้ำหนักโมเลกุลโดยประมาณได้โดยการวัดความหนืด การจัดเรียงตัวของผลึกและอสัณฐานในโครงสร้างของเซลลูโลสแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แบบจำลองการจัดเรียงตัวของผลึกและอสัณฐานของเซลลูโลส [8]

2.2.1.1 สมบัติทางกายภาพของเซลลูโลส

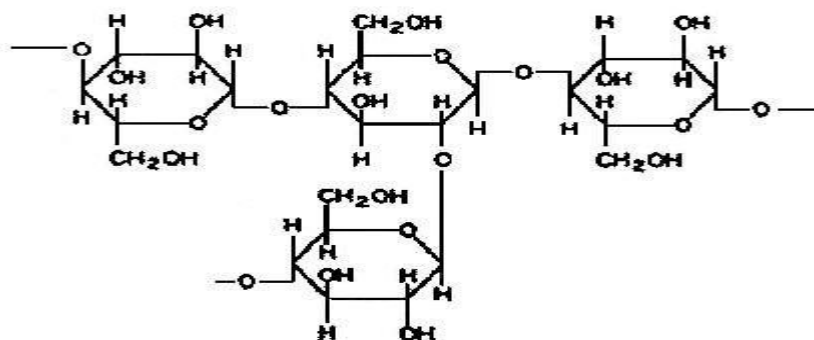
ความหนาแน่นของเซลลูโลสประมาณ 1.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความหนาแน่นของเส้นใยเดี่ยวมีค่าไม่แน่นอน ซึ่งจะแปรไปตามแหล่งที่มาและการปรับปรุงทางเคมี เซลลูโลสเป็นของแข็ง ไม่มีสี มีการดูดและคายไอน้ำและของเหลวอื่นๆ ที่อยู่ในบรรยากาศรอบๆ จนกระทั่งถึงสมดุล ปริมาณความชื้นของเซลลูโลสมีผลต่อสมบัติบางอย่าง เช่น ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เซลลูโลสไม่ละลายในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ แต่จะละลายในกรดเข้มข้น เช่น 72% ของกรดซัลฟูริก 40% ของกรดไฮโดรคลอริก และ 78% ของกรดฟอสฟอริก เซลลูโลสจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสอย่างรวดเร็วในสารละลายกรดที่อุณหภูมิห้อง ปฏิกิริยาจะหยุดที่อุณหภูมิต่ำๆ สารละลายเกลือเข้มข้นบางชนิด เช่น 72% ของซิงค์ออกไซด์ จะทำให้เซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ ละลายได้

2.2.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses)

โครงสร้างเฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยพอลิแซ็กคาไรด์คล้ายกับเซลลูโลส แต่อย่างไรก็ตาม เฮมิเซลลูโลสยังมีข้อแตกต่างจากเซลลูโลส 3 ประการด้วยกัน คือ ประการที่หนึ่ง เฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น กลูโคส กาแลกโตส แมนโนส ไซโลส รวมทั้งกรดกลูโคนิกและกาแลกทูโรนิก ในขณะที่เซลลูโลสประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสชนิดเดียวเป็นส่วนใหญ่ ประการที่สอง สายโซ่พอลิเมอร์ของเฮมิเซลลูโลสส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นสายโซ่กิ่ง ในขณะที่สายโซ่พอลิเมอร์ของเซลลูโลสจะมีลักษณะเป็นสายโซ่ตรง และประการที่สาม ระดับการ

เกิดพอลิแซ็กคาไรด์จากน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Degree of polymerization) ของเซลลูโลสจะสูงกว่า เฮมิเซลลูโลส

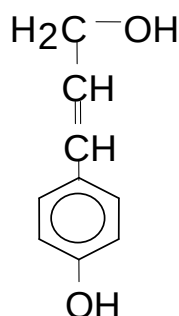
เฮมิเซลลูโลสมีสูตรทางเคมี คือ $(C_6H_{12}O_5)_{2n}$ โดย n คือ จำนวนหน่วยซ้ำของเฮมิเซลลูโลส โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส [8]

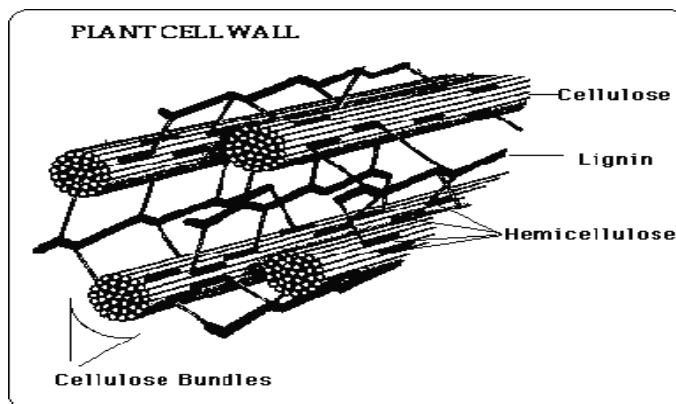
2.2.3 ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเชิงซ้อน มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โครงสร้างของลิกนินประกอบด้วยสารอะลิฟาติกและอะโรมาติกอยู่รวมกัน สารอะโรมาติกในโครงสร้างของลิกนินจะทำให้ลิกนินมีเสถียรภาพสูง ไม่ละลายน้ำ นอกจากนี้ลิกนินยังเป็นส่วนสำคัญที่ทำหน้าที่ยึดเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเข้าไว้ด้วยกัน ทำให้พืชที่มีปริมาณลิกนินอยู่มากมีความแข็งแรง ทนทานต่อดินฟ้าอากาศสูงมากด้วย เมื่อพืชตายลิกนินจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ ลิกเนส (Lignase) หรือ ลิกนินเนส (Ligninnase) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญในรา ตัวอย่างโครงสร้างของลิกนินแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของลิกนิน [8]

ไม้แต่ละชนิดจะมีอัตราส่วนระหว่างเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ไม่เท่ากัน ขึ้นกับชนิดและอายุของไม้ โดยไม้ที่มีลิกนินมากจะมีความแข็งแรงสูง และในไม้ชนิดเดียวกัน ไม้ที่มีอายุนานจะมีปริมาณลิกนินมากเช่นเดียวกัน โดยการจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในไม้จะเป็นไปดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในไม้ [8]

2.3 ไม้และเส้นใยไม้ (Wood and Fibers) [11]

ไม้เป็นวัสดุที่มีความสำคัญมากสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับทำอาหาร ให้ความร้อน และผลิตไอน้ำ ซึ่งอาจใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ด้วย นอกจากนี้ยังนำไม้มาใช้เป็นเฟอร์นิเจอร์ เครื่องตกแต่งได้อีกมากมายหลายรูปแบบ ซึ่งการผลิตผลิตภัณฑ์เหล่านี้ก่อให้เกิดเศษไม้ (Wood flake) หรือ จี้เลื่อย (Sawdust) ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นเส้นใยไม้ (Wood fibers)

2.3.1 ชนิดของไม้

โดยทั่วไปไม้แบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ ไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) และไม้เนื้ออ่อน (Softwood) แต่สำหรับงานก่อสร้างแล้ว ไม้จะแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ซึ่งกำหนดตามมาตรฐานกรมป่าไม้ คือ

1. ไม้เนื้ออ่อน (Softwood) มีค่าแรงคดสถิตย์ (Static bending) ต่ำกว่า 600 กก./ชม² และมีค่าความทนทานตามธรรมชาติต่ำกว่า 2 ปี
2. ไม้เนื้อแข็งปานกลาง (Medium hardwood) มีค่าแรงคดสถิตย์ (Static bending) ระหว่าง 600-1000 กก./ชม² และมีค่าความทนทานตามธรรมชาติ 2-6 ปี
3. ไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) มีค่าแรงคดสถิตย์ (Static bending) สูงกว่า 1000 กก./ชม² และมีค่าความทนทานตามธรรมชาติสูงกว่า 6 ปี

2.4 ไม้ยางพารา [12-13]

ยางพาราเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ที่มีอายุยืนยาวนานนับร้อยๆปี เป็นพืชที่มีใบเลี้ยงคู่ อยู่ในตระกูล Euphorfiaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Hevea brasiliensis* มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาใต้ มีผู้นำเข้ามาปลูกในประเทศไทยเพื่อเอาน้ำยาง ปลูกมากทางภาคใต้ ภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เนื้อไม้มีสีขาวอมเหลือง เนื้อไม้ละเอียดปานกลาง แข็งเหนียว และบิดตัวง่าย ลักษณะของต้นยางพาราแสดงได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ลักษณะของต้นยางพารา [14]

ไม้ยางพาราเป็นพืชเพียงชนิดเดียวในตระกูลที่เป็นพืชเศรษฐกิจ ผลิตภัณฑ์ที่สำคัญจากไม้ยางพาราคือ น้ำยาง ซึ่งปัจจุบันได้มีการพัฒนาสายพันธุ์ไม้ยางพาราเพื่อเพิ่มผลผลิตของน้ำยางให้มีปริมาณเพิ่มขึ้น

2.4.1 ส่วนประกอบทางเคมีของไม้ยางพารา [15]

ไม้ยางพารามีองค์ประกอบทางเคมีในอัตราส่วนที่แตกต่างกันดังแสดงใน ตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ร้อยละ โดยปริมาตร (vol %) ขององค์ประกอบต่างๆ ทางเคมีของไม้ยางพารา [15]

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ โดยปริมาตร (vol %)
Cellulose	49.41
Hemicellulose	17.17
Lignin	18.06

2.4.2 สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล

2.4.2.1 สมบัติของไม้ □ ยางพารา [16]

ไม้ □ ยางพารามีเนื้อไม้ □ สีขาวอมเหลืองเมื่อสด และเปลี่ยนเป □ นสีขาวจางเมื่อแห้ง ลักษณะเนื้อไม้ □ จะหยาบปานกลาง เส้นตรง วงรอบป □ ไม้ □ เห็นชัด ไม้ □ มีแก □ น เนื้อไม้ □ มีลักษณะกล □ ยกับตาข □ าย และมีความหนาแน่น □ พื้นฐาน (Basic density) 0.56-0.65 กรัมต □ อลูกบาศก์ เซนติเมตร และสำหรับที่ความชื้น 15% จะมีความหนาแน่น □ นประมาณ 0.67-0.74 กรัมต □ อลูกบาศก์ เซนติเมตร ไม้ □ ยางพาราเป็นไม้ □ ที่มีลวดลายสวยงาม ลวดลายอันสวยงามนี้เกิดจากอัตราการเจริญเติบโตที่แตกต □ างกันในระยะห □ วฤดูการต □ าง ๆ หน □ ไม้ □ แปรรูปที่เลื่อยตัดกับเส □ นรัศมีจะมีลวดลายที่ปรากฏชัดกว □ หน □ ไม้ □ ที่เลื่อยขนานกับเส □ นรัศมี

2.4.2.2 สมบัติพิเศษของไม้ □ ยางพาราเทียบกับไม้ □ สัก [17]

ไม้ □ ยางพารามีความแข็งแรงและน้ำหนักจัดอยู่ □ ในกลุ่มเดียวกับไม้ □ สัก คือ มีน้ำหนักปานกลางโดยมีความหนาแน่น □ นเฉลี่ยประมาณ 0.64 กรัมต □ อลูกบาศก์ เซนติเมตร แต่ □ ไม้ □ ยางพาราจะมีความแข็งแรงในการรับแรงดัด และแรงกดขนานเส้นต่ำกว่า □ ไม้ □ สักเล็กน้อย โดยมีการรับแรงดัดในแนวรัศมีและสัมผัสและการรับแรงกระแทกดีกว □ ไม้ □ สัก อันเป □ นสมบัติสำคัญที่เหมาะสมในการทำเครื่องเรือนเช่นเดียวกับไม้ □ สัก นอกจากนั้นไม้ □ ยางพารายังมีอัตราการพองตัวต □ ่อความชื้นสัมพัทธ์ □ อันมีลักษณะค □ อยเป □ นค □ อยไป ซึ่งเป □ นลักษณะของความชื้นสมดุลที่ดีกว □ ไม้ □ สักและไม้ □ อื่นๆ และ เป □ นสมบัติสำคัญต □ ่อการผลิตเครื่องเรือน อันมีผลต □ ่อการออกแบบผลิตภัณฑ์ □ การเข □ ไม้ □ และการประสานกาวที่ดีกว □ ไม้ □ ประเภทอื่นแม □ ว □ ไม้ □ ยางพาราจะต □ ่อองใช้ □ เวลาในการอบให้ □ แห □ งนานกว □ ากก็ตาม

2.4.2.3 สมบัติทางกลและความแข็งแรงของไม้ □ ยางพารา [18]

ไม้ □ ยางพาราจัดอยู่ในประเภทไม้ □ เนื้ออ่อน สมบัติทางกลและความแข็งแรง เช่น ค่าความชื้น ความแข็งแรงในการรับแรงดัด การรับแรงกดขนานเส้น การรับแรงกดตั้งฉากเส้น การรับแรงดัดตั้งฉากเส้น และอื่นๆ โดยแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกลและความแข็งแรงของไม้ยางพารา [18]

สมบัติ	ค่าที่ได้
ความหนาแน่นที่ความชื้น 12%	0.60 – 0.70 g/cm ³
การรับแรงดัด * ความเค้นในขีดยืดหยุ่น * โมดูลัสแตกร้าว * โมดูลัสยืดหยุ่น * พลังงานถึงจุดแตกหัก	600 kg/cm ² 973 kg/cm ² 96,000 kg/cm ² 2.4 Kg-cm/cm ³
การรับแรงขานานเลื้อน * ความเค้นในขีดยืดหยุ่น * ความเค้นประลัย	328 kg/cm ² 478 kg/cm ²
การรับแรงกดตั้งฉากเลื้อน * ความเค้นในขีดยืดหยุ่น	93 kg/cm ²
การรับแรงดึงตั้งฉากเลื้อน * ด้านรัศมี * ด้านสัมผัส	28 kg/cm ² 29 kg/cm ²
การรับแรงเฉือน * ด้านรัศมี * ด้านสัมผัส	155 kg/cm ² 169 kg/cm ²
ความแข็งแรงผิวหน้า * ด้านรัศมี * ด้านสัมผัส	544 kg 532 kg
การรับแรงกระแทก * น้ำหนักสูงสุดที่ใช้ * พลังงานที่ใช้	149 kg 2.9 kg-m

ที่มา : รายงานการสำรวจสภาพพื้นที่ปลูกยาง กิจกรรมกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ไม้ยางพารา ท้องที่จังหวัดระยอง สงขลา ภูเก็ต และการตลาดไม้ยางพาราของประเทศไทย.

กรุงเทพฯ : สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2543

2.4.3 การใช้ประโยชน์จากไม้ยางพารา

ไม้ยางพาราสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบตามความเหมาะสมของขนาดไม้ ดังนี้ทำฟืน ในอดีตไม้ยางพารานำไปใช้ประโยชน์ในการทำฟืนสำหรับหุงต้ม และฟืนสำหรับใช้ในโรงงานต่างๆ เช่น โรงรมยาง โรงงานปลาป่น โรงเผาอิฐ โรงเผากระเบื้องและปูนขาว

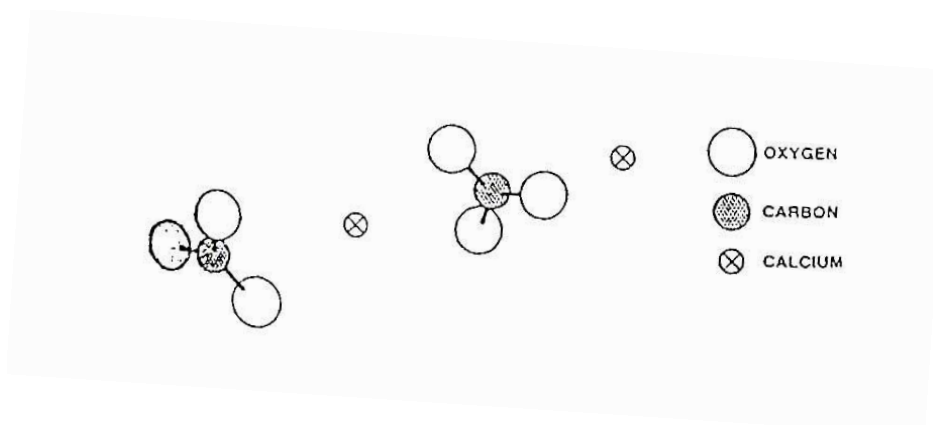
1. เผาถ่าน เมื่อประมาณปี 2513 มาเลเซียขยายอุตสาหกรรมถลุงเหล็กในประเทศ ทำให้ ถ่านไม้ยางพาราในประเทศไม่เพียงพอ ต้องสั่งซื้อถ่านจากประเทศเพื่อนบ้าน เช่น อินเดีย เพื่อใช้อุตสาหกรรมการทำถ่านไม้ยางพาราเกิดขึ้นในประเทศไทยปีแรกและขยายตัวเรื่อยมา ต่อมาได้มีการนำไม้ยางพาราไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นที่มีมูลค่าสูง ก่อให้เกิดขึ้นอุตสาหกรรมถ่านจึงซบเซาลง
2. ทำเสาเข็ม มีการใช้ไม้ยางพาราทำเสาเข็มในอุตสาหกรรมก่อสร้างอยู่อย่าง โดยเฉพาะในกรุงเทพมหานครและจังหวัดใกล้เคียง แต่ก็ไม่แพร่หลายเท่าใดนัก เนื่องจากข้อจำกัด ในความทนทานตามธรรมชาติ
3. ทำลังไม้ เฟอร์นิเจอร์ที่นิยมรับกัน ในธุรกิจแปรรูปไม้ยางพาราแปรรูปมาขายบรรจุที่มีราคาถูกที่สุดในปัจจุบัน สำหรับไม้ที่นำมาใช้ทำลังปลาแปรรูปไม้ที่มีค่าแปรรูปต่ำ ไม้สามารถนำไปผลิตเครื่องเรือนที่มีมูลค่าสูงกว่าได้
4. ทำเครื่องเรือนหรือเฟอร์นิเจอร์ เฟอร์นิเจอร์ที่นำมาใช้ประโยชน์ที่มีมูลค่าสูงสุดในปัจจุบัน ไม้ที่จะนำมาผลิตเครื่องเรือนได้ จะต้องมีความแข็งแรง เหนียว หนาพอสมควร ตั้งแต่ 6 นิ้วขึ้นไป และจะต้องไม่มีตำหนิประเภทเครื่องเรือนที่ผลิตมีหลายชนิด เช่น ชุด โต๊ะอาหาร ชุดรับแขก เตียงนอน ชั้นวางหนังสือชั้นวางเครื่องเสียง บาริเคต ที่ใส่กระถางต้นไม้ เป็นต้น
5. ไม้แวนิเยอร์ (Veneer) ผลิตจากไม้ขนาดเล็ก เช่น ไม้สน ไม้ยาง 8 นิ้วขึ้นไป
6. ไม้แผ่นแปรรูป (Particle Board) และไม้แผ่นเอ็มดีเอฟ หรือ แผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (Medium Density Fiberboard) สามารถผลิตจากไม้เหลือและปอกไม้
7. ทำสิ่งประดิษฐ์อื่นๆ ไม้ยางพาราสามารถนำไปใช้ทำสิ่งประดิษฐ์หลายอย่าง เช่น ไม้จิ้มฟัน ไม้เลียบไอศกรีม เก้าอี้ สบู่รองเท้าน้ำ กรอบรูป

ด□ามแปรต□่างๆ เจียง ของเด็ก เล□ น ป□ จวบ□ันใด□มีการนำไม□ยางพารา
ไปใช้□ในการแกะสลักของที่ระลึก

2.5 แคลเซียมคาร์บอเนต [19]

แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นแร่ธาตุที่มีอย่างอุดมสมบูรณ์บนเปลือกโลก ในอุตสาหกรรมมีการนำแคลเซียมคาร์บอเนตมาใช้ประมาณ 20% ของทั้งหมด แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารทั่วไปที่ใช้เติมลงในพลาสติก ซึ่งมีหลายชื่อโดยแบ่งตามแหล่งกำเนิด เช่น Marble, Limestone, Coral, Shell หรือ Chalk เป็นต้น สามารถแบ่งตามโครงสร้างผลึกได้เช่น Calcite, Aragonite และถ้ามีแมกนีเซียมคาร์บอเนตอยู่ในโครงสร้างจะเรียก Dolomite (CaCO_3 / MgCO_3) แคลเซียมคาร์บอเนตถูกใช้เป็นสารตัวเติมอย่างกว้างขวางเนื่องจากความขาว มีหลายขนาดอนุภาค ราคาถูก แคลเซียมคาร์บอเนตมีโครงสร้าง 2 แบบ คือ Alternating calcium cations และ Trigonal planner carbonate anions ดังรูปที่

2.7

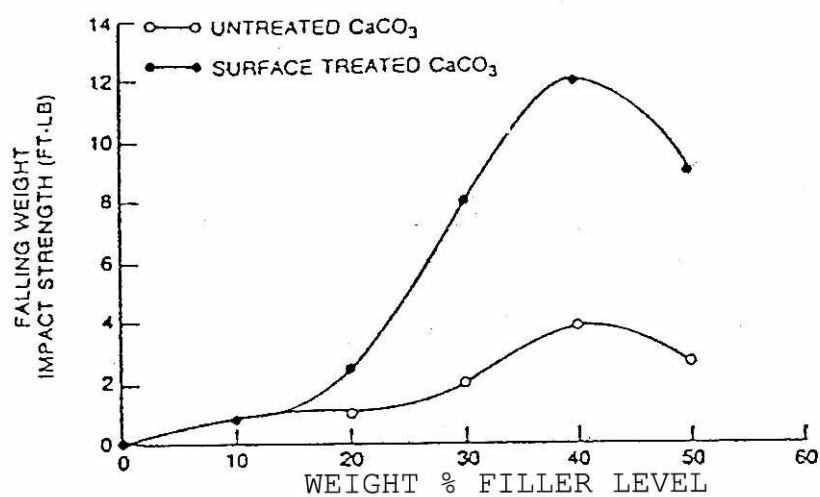


รูปที่ 2.7 โครงสร้างของแคลเซียมคาร์บอเนต [19]

2.5.1 การประยุกต์ใช้งาน

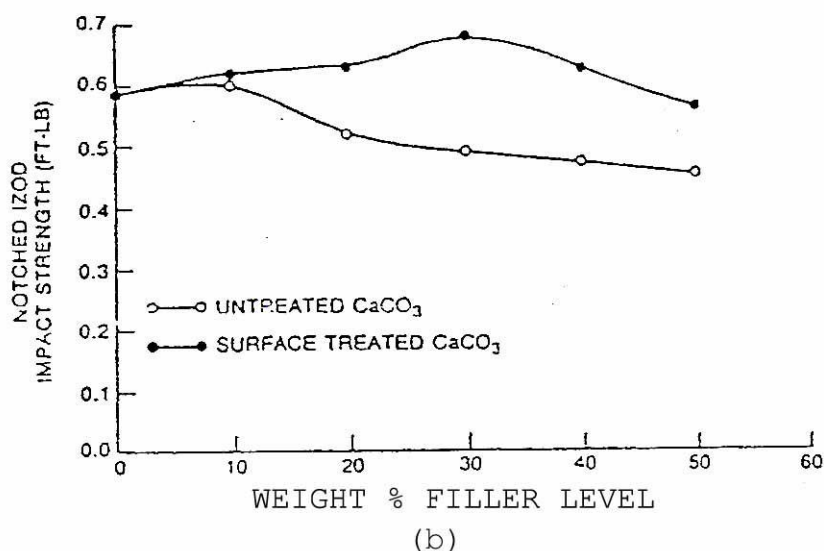
แคลเซียมคาร์บอเนตนิยมใช้กับพอลิเอทิลีน (PE) และพอลิพรอพิลีน (PP) เพื่อลดต้นทุน Ground calcium carbonate จะนิยมใช้เติมลงในพอลิเอทิลีน ซึ่งสมบัติเชิงกลบางประการจะลดลง เช่น ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตในพอลิพรอพิลีนในช่วง 20 – 40% โดยน้ำหนัก จะช่วยเพิ่มความทนต่อแรงกระแทก (Impact strength) แต่ลดสมบัติการโค้ง

งอ (Flexural properties) โดยแคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิว และเป็นชนิดที่มีความละเอียดมาก (Finely grade) จะมีการกระจายตัวในพอลิพรอพิลีนได้ดีกว่าแคลเซียมคาร์บอเนตที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวมีความหยาบ (Coarsely grade) ซึ่งจะส่งผลต่อความทนต่อแรงกระแทก ดังรูปที่ 2.8-2.9



(a)

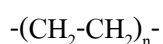
รูปที่ 2.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Falling weight impact strength กับ ปริมาณสารตัวเติม [19]



รูปที่ 2.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Notched izod impact strength กับปริมาณสารตัวเติม [19]

2.6 พอลิเอทิลีน (Polyethylene) [20]

พอลิเอทิลีนจัดเป็นพอลิโอเลฟินชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่เตรียมได้จากเอทิลีนอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนแบบไม่อิ่มตัว (Unsaturated aliphatic hydrocarbon) สูตรโครงสร้างของพอลิเอทิลีน เป็นดังนี้



พอลิเอทิลีนผลิตขึ้นในทางการค้าครั้งแรกในปี ค.ศ. 1939 เป็นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene : LDPE) ค้นพบครั้งแรกโดยเฟาเซตต์และกิบสัน (Fawcett and Gibson) ที่บริษัท ไอซีไอ (Imperial Chemical Industries Ltd. : ICI) ประเทศอังกฤษ โดยการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับปฏิกิริยาเคมีที่ความดันสูง และได้ค้นพบพอลิเอทิลีนโดยบังเอิญจากปฏิกิริยาของเอทิลีนกับ เบนซาลดีไฮด์ ปัจจุบันมีการผลิตพอลิเอทิลีนให้เหมาะสมกับการใช้งาน มีทั้ง LLDPE (Linear Low Density Polyethylene) MDPE (Medium Density Polyethylene) HDPE (High Density Polyethylene) และ UMWPE (Ultra High Molecular Weight Polyethylene)

2.6.1 การเตรียมพอลิเอทิลีน

พอลิเอทิลีนได้จากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันของเอทิลีนโมโนเมอร์ พอลิเมอร์ที่ได้จะมีตั้งแต่น้ำหนักโมเลกุลต่ำมีลักษณะเป็นไขไปจนถึงน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีความเป็นผลึกสูง กระบวนการในการเตรียมพอลิเอทิลีนมีอยู่ด้วยกัน 4 วิธี คือ

1. พอลิเมอไรเซชันที่ความดันสูง พอลิเมอร์ที่ได้โดยวิธีนี้เป็น LDPE จะมีลักษณะยืดหยุ่น ความหนาแน่นต่ำ
2. กระบวนการซีเกลอร์ (Ziegler process) พอลิเมอร์ที่ได้มีความหนาแน่นปานกลางแต่สูงกว่าการใช้ความดันสูง
3. กระบวนการฟิลลิปส์ (Phillips process) ผลผลิตที่ได้เป็นพอลิเมอร์ที่มีความหนาแน่นสูง สายโซ่โมเลกุลเกือบจะเป็นสายโซ่ตรงชนิดสมมาตรโดยแทบไม่มีกิ่งสาขาเลย จึงทำให้มีความหนาแน่นสูงมาก
4. กระบวนการ Standard oil กระบวนการนี้คล้ายกับกระบวนการฟิลลิปส์ และพอลิเมอร์ที่ได้มีความหนาแน่นและน้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกันกับพอลิเมอร์ที่ได้จากกระบวนการฟิลลิปส์ด้วย

พอลิเอทิลีนจัดเป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature: T_g) ประมาณ -130 ถึง 60 องศาเซลเซียส ทำให้พอลิเอทิลีนมีลักษณะทั้งยืดหยุ่นและแข็งที่สภาวะปกติ สำหรับอุณหภูมิหลอมเหลว (Melting temperature: T_m) ของพอลิเอทิลีนมีค่าประมาณ 108 ถึง 133 องศาเซลเซียส

2.6.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง

(Medium Density Polyethylene; MDPE) [21]

MDPE และ LLDPE (Linear Low Density Polyethylene) สามารถผลิตได้ด้วยกระบวนการ gas phase process ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตของบริษัท BP Chemical ประเทศอังกฤษ

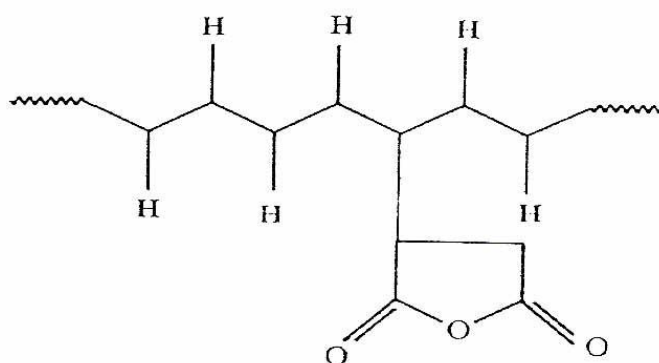
การผลิตเริ่มจากการผ่านกระบวนการควบคุมการผลิตที่มีประสิทธิภาพ และมีการเลือกใส่สารเติมอย่างดี ทำให้ เรซินที่ได้มีคุณภาพสูง มีสมบัติเชิงกลที่ดี เหมาะกับการผลิตฟิล์มคุณภาพสูง และผลิตภัณฑ์จากกระบวนการหมุนหล่อก่อนหน้านี้ยังมีความปลอดภัยสามารถรับประทานได้

2.7 พอลิเอทิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์

(Polyethylene grafted maleic anhydride, MAPE)

พอลิเอทิลีนเป็นหนึ่งในพอลิเมอร์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้วส่งผลให้เมื่อทำการผสมรวมกับวัสดุอื่นที่มีขั้วมักมีสมบัติด้านแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพื้นผิวไม่ดี แต่สามารถที่จะทำการแก้ไขได้โดยการเติมสารอีกชนิดลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติการเข้ากันได้ [22]

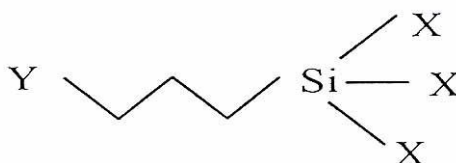
พอลิเอทิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮดรายเป็นการต่อกิ่งพอลิเอทิลีนซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่เสถียรแล้ว ซึ่งจะทำให้สมบัติเคมีเชิงฟิสิกส์ (Physicochemical properties) ดีขึ้น โดยการเพิ่มความเป็นขั้วของพอลิเอทิลีนโดยทำให้ความเป็นขั้ว (Hydrophilic) เพิ่มขึ้น และความสามารถในการยึดติดเพิ่มขึ้น พบว่าแอนไฮดรายเป็นส่วนที่เกิดการเชื่อมโยง เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เพิ่มความสามารถในการต้านทานความร้อน และเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้กับพอลิเมอร์อื่น รวมทั้งสารตัวเติม (Fillers) ได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 2.10 โครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮดราย [23]

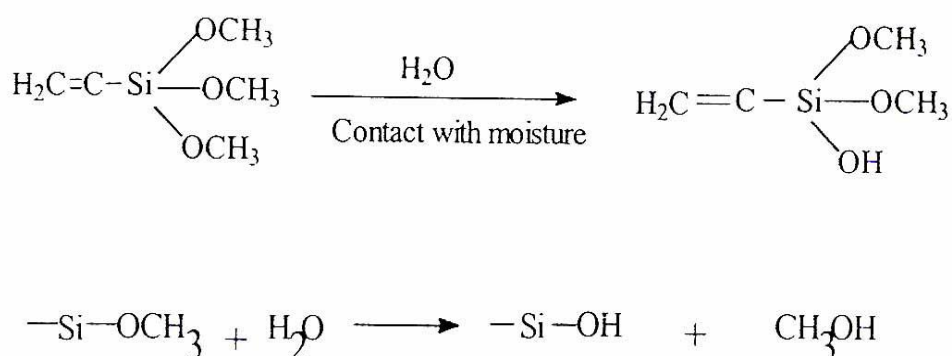
2.8 ออร์แกโนไซเลน (Organosilanes)[24]

ออร์แกโนไซเลนจัดเป็นสารคู่ควบที่นิยมใช้กันมานาน มีสูตรโครงสร้างทั่วไปดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.11 โครงสร้างทั่วไปทางเคมีของ Organofunctional silane [25]

ประกอบด้วยหมู่เมทอกซี 3 กลุ่ม เอทอกซีหรืออะเซทอกซิลอีก 1 กลุ่ม ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ $-OH$ เพื่อเกิดเป็นพันธะ $-O-Si$ ระหว่างเส้นใยและสารคู่ควบ หมู่ Y ซึ่งเป็นสารอินทรีย์สามารถออกแบบพันธะที่เหมาะสมกับเมตริกซ์พอลิเมอร์ที่แตกต่างกันไป เช่น หมู่ไวนิล เอมีน อีพอกซี เมอร์แคปแทน เป็นต้น หมู่เหล่านี้ทำให้เกิดพันธะโคเวเลนต์หลักจากสารคู่ควบ เข้าไปยังเมตริกซ์พอลิเมอร์ประเภทสารอินทรีย์ ด้วยเหตุนี้สารเติม (Filler) สารคู่ควบ และเมตริกซ์พอลิเมอร์ทั้งหมดจึงกลายเป็นโมเลกุลโคเวเลนต์ขนาดใหญ่หนึ่งโมเลกุล ตัวอย่างกลไกการทำงานของสารคู่ควบไซเลนเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำแสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.12 กลไกการทำงานของสารควบไซเลนเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ [25]

การใช้สารควบออร์กาโนไซเลนกับเรซินเทอร์โมพลาสติก การจะกล่าวว่ามีพันธะโคเวเลนต์หลักเกิดขึ้นทำได้ยากจึงควรกล่าวว่าเกิดจากความมีขั้วที่เหมือนกันโดยมีพันธะไฮโดรเจนทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวทางเคมีชนิดทุติยภูมิ ระหว่างสารควบและเมตริกซ์พอลิเมอร์ เพื่ออธิบายการกระทำที่สำเร็จได้ แม้แต่ในเรซินเทอร์โมเซต สารควบที่ใช้ได้อย่างดีก็ไม่ปรากฏว่าเกิดพันธะโคเวเลนต์ปฐมภูมิ จึงกล่าวว่าเกิดจากแรงดึงดูดทางเคมีชนิดทุติยภูมิ

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วรรณิชา ชาญณรงค์ [26] ศึกษาการผลิตไม้เทียมจากพอลิไวนิลคลอไรด์(PVC) เส้นใยไม้ยางพารา (0-50 phr) สารทำให้เกิดความเสถียร และพลาสติกไซเซอร์ โดยใช้เครื่องผสมเกลียวหนอนเดี่ยว จากการทดลองพบว่า การเพิ่มปริมาณเส้นใยไม้ยางพาราจะทำให้สมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้น และจะลดลงเมื่อเกินขีดความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์กับเส้นใยไม้ยางพารา จากผลการวิเคราะห์ทางความร้อนพบว่า อุณหภูมิการสลายตัวอยู่ในช่วง 280 – 400 °C โดยปริมาณของเส้นใยไม้ไม่มีผลต่ออุณหภูมิการสลายตัว อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) จะลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยไม้ยางพาราเพิ่มขึ้น สมบัติทางความร้อนเชิงกลพบว่า Heat distortion temperature (HDT) เพิ่มขึ้นตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของเส้นใยไม้ยางพารา อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) เพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่งแล้วลดลง การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยไม้ยางพาราที่เพิ่มขึ้นและค่าความถ่วงจำเพาะจะไม่แตกต่างกันมากเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยไม้ยางพารา นอกจากนี้ได้ศึกษาถึงผลของพลาสติกไซเซอร์ คือ DOP พบว่าสมบัติเชิงกลลดลงเนื่องจาก DOP จะทำให้พอลิไวนิลคลอไรด์เกิดการเคลื่อนไหวย้ายโซ่ได้ง่ายขึ้น เป็นผลให้วัสดุที่ได้นิ่มขึ้น สามารถขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น ในงานวิจัยนี้วัสดุประกอบที่มีสมบัติเชิงกลดีและสามารถขึ้นรูปได้ง่าย ประกอบด้วย พอลิไวนิลคลอไรด์ เส้นใยยางพารา สารทำให้เกิดความเสถียร และพลาสติกไซเซอร์ เท่ากับ 100 30 15 และ 10 phr ตามลำดับ

เด่นศักดิ์ แสงพุทธเงินฐานะ [27] ได้ศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติเพื่อใช้เป็นไม้เทียม โดยเตรียมได้จาก ฟิวิซีและเส้นใยธรรมชาติ 2 ชนิดคือ เส้นใยหญ้าแฝกและเส้นใยคาไลปัส งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาผลของปริมาณเส้นใย ปริมาณพลาสติกไซเซอร์ (DOP) ชนิดของเส้นใยที่เตรียมได้จาก 2 กระบวนการคือ กระบวนการเชิงกล (MP) และกระบวนการทางความร้อนเชิงกล (TMP) ปริมาณสารตัวเติม 3 ชนิดคือ แคลเซียมคาร์บอเนต ซิลิกา และทัลคัม และผลของการนำกลับมาใช้ใหม่ จากการทดลองพบว่า ปริมาณเส้นใยที่ให้สมบัติดีที่สุดคือ 30 phr ปริมาณพลาสติกไซเซอร์ที่เหมาะสมคือ 3 phr เส้นใยไม้ยูคาลิปตัสที่เตรียมได้จากกระบวนการความร้อนเชิงกลจะให้สมบัติเชิงกลสูงที่สุด ผลของสารตัวเติมพบว่า ซิลิกาเป็นสารตัวเติมชนิดเสริมแรง ปริมาณที่แนะนำคือ 10 phr และการรีไซเคิลจะทำให้สมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตลดลง

ธีรพัฒน์ อุณหโชค และพจนีย์ ศรธรรมลี [28] ได้ทำการศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) กับเส้นใยผักตบชวา (Hyacinth fibers) ที่เตรียมจากกระบวนการทางเคมี ซึ่งศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างปริมาณเส้นใยต่อพอลิเมอร์ ผลของสารช่วยผสม Polyethylene-graft-Maleic anhydride (PE-g-MA) ต่อปริมาณเส้นใย และขนาดของเส้นใยผักตบชวา โดยผสมสูตรด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวและทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูปพลาสติก จากการศึกษาพบว่าค่าความแข็งแรงดึง มอดูลัส ความแข็งกด เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำและปริมาณความเป็นผลึกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยผักตบชวาเพิ่มขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์การยืด ๓ จุดขาดและความแข็งแรงกระแทกมีค่าลดลง จากการศึกษาผลของสารช่วยผสมพบว่าคอมโพสิตมีสมบัติที่ดีขึ้นเมื่อใส่สารช่วยผสม PE-g-MA เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของคอมโพสิตมีค่าลดลงเมื่อใส่สารช่วยผสม PE-g-MA ปริมาณสารช่วยผสม PE-g-MA ที่เหมาะสมคือ 3% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักเส้นใย และขนาดของเส้นใยผักตบชวาที่เหมาะสม คือ 50-80 mesh ให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด จาก SEM พบว่าสารช่วยผสม PE-g-MA ช่วยให้การยึดเกาะระหว่างพอลิเอทิลีนเมตริกซ์กับเส้นใยดีขึ้น

รัชดา ขวัญตน [29] ได้ทำการศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมจากขูดน้ำดื่ม HDPE กับเส้นใยอ้อย โดยทำการศึกษาผลของปริมาณ ผลของขนาดเส้นใยอ้อย และผลของสารช่วยผสม 2 ชนิด คือสารช่วยผสม PE-g-AA และ PE-g-MA จากการศึกษาพบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยอ้อยที่เติมในพอลิเมอร์คอมโพสิตเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้น แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ๓ จุดขาด และความแข็งแรงกระแทกลดลง ขนาดของเส้นใยอ้อยไม่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต สารช่วยผสม PE-g-AA และ PE-g-MAH ที่ใช้ไม่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต เนื่องจากสารช่วยผสมทั้งสองเกิดพันธะชนิดเดียวกัน

ปิยะวรรณ เจริญกัก และ พงศักดิ์ แพน้อย [30] ได้ศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และเส้นใยยูคาลิปตัส ที่ได้จากกระบวนการทางเคมี (Chemical pulp; CP) และกระบวนการทางความร้อนเชิงกล (Thermo mechanical pulp; TMP) โดยศึกษาผลของสารช่วยผสม มาเลอิกแอนด์ไฮไดรด์ต่อกิ่งด้วยพอลิพรอพิลีน (Maleic anhydride graft polypropylene; PP-g-MA) และ ศึกษาอัตราส่วนผสมของเส้นใย (10 20 30 และ 40 phr) จากการทดลองพบว่า วัสดุคอมโพสิตมีสมบัติความแข็งแรงดึง และค่ามอดุลัสดีขึ้น แต่ความแข็งแรงกระแทก และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดลดลง ปริมาณเส้นใยที่ 20 phr จะให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด เมื่อเพิ่มปริมาณสารช่วยผสม พบว่าวัสดุคอมโพสิตมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น และการดูดซับน้ำลดลง ส่วนชนิดของเส้นใย TMP จะมีการกระจายตัวและให้สมบัติเชิงกลดีกว่าเส้นใย CP

ธารทิพย์ เชมะศิริ และคณะ [31] ได้ศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยหญ้าแฝกกับพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ทั้งชนิดใหม่และชนิดรีไซเคิล โดยใช้สารช่วยผสม พอลิพรอพิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Polypropylene graft maleic anhydride; PP-g-MA) และพอลิเอทิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Polyethylene graft maleic anhydride; PE-g-MA) ที่ 3 % โดยน้ำหนักของเส้นใย จากการทดลองพบว่า สมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตที่เตรียมได้จากเส้นใย TMP ดีกว่าที่เตรียมได้จากวิธี MP ส่วนสมบัติอื่นๆ มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันคือ เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยมากเกินไปจะทำให้สมบัติเชิงกลลดลง การยึดติดของเส้นใยกับพอลิเมอร์เมตริกซ์ดี ปริมาณการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ส่วนการศึกษาชนิดของพอลิเมอร์ชนิดใหม่และชนิดรีไซเคิลจะให้สมบัติโดยรวมใกล้เคียงกัน

นวกรณ์ อนันตธนวนิชย์ และคณะ [32] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติเพื่อใช้เป็นไม้เทียม โดยแบ่งการทดลองออกเป็นสองตอน คือ พอลิพรอพิลีนกับผงหญ้าแฝกที่เตรียมด้วยวิธีทางเชิงกล (VMP) ซึ่งทำการศึกษาถึงผลของปริมาณผงหญ้าแฝก ขนาดของผงหญ้าแฝก และปริมาณสารช่วยผสม Maleic anhydride-graft-polypropylene (MAPP) และพียูซีกับเส้นใยหญ้าแฝกที่เตรียมจากกระบวนการทางเคมี (VCP) ซึ่งทำการศึกษาผลของปริมาณและขนาดของเส้นใยหญ้าแฝก ผลการทดลองของพอลิพรอพิลีนกับผงหญ้าแฝกที่เตรียมจากกระบวนการเชิงกล (VMP) พบว่าปริมาณการเติมผงหญ้าแฝก ขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 30 phr ให้สมบัติโดยรวมที่ดีที่สุด แต่สมบัติเชิงกลที่ได้มีแนวโน้มไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากผงหญ้าแฝกทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมไม่เสริมแรง (Non-reinforcing filler) การศึกษาฐานานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM) พบว่าการใส่สารช่วยผสม MAPP 3% ของน้ำหนักผงหญ้าแฝกทำให้มีการยึดติดกันระหว่างพอลิพรอพิลีนเมตริกซ์กับผงหญ้าแฝกดีขึ้น และมีช่องว่างระหว่างวัฏภาคลดลง ส่วนผลการทดลองของพียูซีกับเส้นใยหญ้าแฝกที่เตรียมจากกระบวนการทางเคมี (VCP) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกในพียูซีคอมโพสิตทำ

ให้ความแข็งแรงดึง มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดมีค่าลดลง ปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกขนาด 20-50 mesh ในปริมาณ 30 phr มีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด จาก SEM พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกมากขึ้นทำให้การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ เกิดการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนเป็นผลให้พีวีซีเมตริกซ์ไม่สามารถแทรกตัวระหว่างเส้นใยหญ้าแฝกและเกิดช่องว่างภายในชิ้นงานคอมโพสิตเนื่องจากพีวีซีบางส่วนเกิดการสลายตัวทางร้อน

พิชัย มนต์พัฒนาและศิริพงศ์ ไรจน์วีระ [33] ได้ปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และพอลิพรอพิลีน (PP) โดยใช้ขุยมะพร้าวและฟางข้าวซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นสารตัวเติม จากการศึกษาพบว่า การเติมขุยมะพร้าวใน HDPE และ PP ทำให้ค่ามอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น ส่วนความแข็งแรงดึงมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนการเติมฟางข้าวใน HDPE และ PP ทำให้ค่าความแข็งแรงดึง และมอดุลัสเพิ่มขึ้น แต่ถ้าใส่สารตัวเติมมากกว่า 10 phr จะพบปัญหาในการขึ้นตอนการขึ้นรูป

กมลรัตน์ คุรัตน์ชัชวาล และจุฑาภา ปรีชาวงศ์ [34] ได้ทำการศึกษาผลของเส้นใยอ้อยที่ใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิเอทิลีน พอลิพรอพิลีน และพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนกับพอลิพรอพิลีน โดยใช้เส้นใยอ้อยที่ไม่ปรับสภาพผิว และเส้นใยอ้อยที่ปรับสภาพผิวด้วยการฉายรังสีแล้วต่อกิ่งด้วยมัลติฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์ (Multifunctional monomer) ผสมสูตรที่ได้แบบหลอมเหลวในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวและทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป แล้วนำไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ จากการศึกษาพบว่าคอมโพสิตที่เติมเส้นใยอ้อยทั้งปรับและไม่ปรับสภาพผิวมีสมบัติความแข็งแรงดึงและสมบัติทางด้านความร้อนดีขึ้น ปริมาณมัลติฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์ที่ 1% โดยน้ำหนักทำให้คอมโพสิตมีสมบัติต่าง ๆ ดีที่สุด

Simpson และ Selke [35] ได้ทำการศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมจากขวดพอลิพรอพิลีนชนิดหลายชั้นที่นำกลับมาใช้ใหม่ (Recycled polypropylene, rPP) กับเส้นใยไม้ (Wood fiber) และพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมจากพอลิพรอพิลีนใหม่ (Virgin polypropylene) กับเส้นใยไม้ โดยใช้ปริมาณเส้นใยไม้ 0 30 40 และ 50% โดยน้ำหนัก จากการศึกษาพบว่าคอมโพสิตที่เตรียมจากพอลิพรอพิลีนชนิดหลายชั้นที่นำกลับมาใช้ใหม่กับเส้นใยไม้มีสมบัติเชิงกลสูงกว่าคอมโพสิตที่เตรียมจากพอลิพรอพิลีนใหม่กับเส้นใยไม้ แต่การเติมเส้นใยไม้มากกว่า 30% โดยน้ำหนัก ให้ความแข็งแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดมีค่าลดลง เนื่องจากสารเติมแต่งที่มีอยู่ในขวดพอลิพรอพิลีนชนิดหลายชั้นช่วยเพิ่มความแข็งแรงการยึดเกาะที่อินเตอร์เฟส

Premalal และคณะ [36] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตที่เตรียมจากพอลิพรอพิลีน (PP) กับผงแกลบ และคอมโพสิตที่เตรียมจากพอลิพรอพิลีนกับทาลค์ัม โดยใช้เครื่อง Brabender Plasticoder รุ่น PLE 331 ที่มี Mixer ต่ออยู่ โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 180 °C

ความเร็วรอบ 50 rpm ซึ่งทำการผสมสารตัวเติม 0 15 30 45 และ 60 % โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการขึ้นรูปชิ้นงานโดยใช้เครื่องอัดไฮดรอลิก (Hydraulic press) ที่อุณหภูมิ 190 °C เป็นเวลา 10 นาที และทำให้เย็นภายใต้ความดันนั้นเป็นเวลา 4 นาที จากการศึกษาพบว่าเมื่อปริมาณของสารตัวเติมทั้งสองเพิ่มขึ้นในแต่ละคอมโพสิตทำให้มอดุลัส และความแข็งแรงโค้งงอมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าความแข็งแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การยืด ้น จุดขาดมีค่าลดลง คอมโพสิตที่ใช้เกลบเป็นสารตัวเติมมีค่าความแข็งแรงดึง มอดุลัส และความแข็งแรงโค้งงอต่ำกว่าคอมโพสิตที่ใช้ทลคัมเป็นสารตัวเติม แต่คอมโพสิตที่ใช้เกลบเป็นสารตัวเติมมีค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ้น จุดขาดสูงกว่า

Joseph และคณะ [37] ได้ทำการศึกษาสมบัติทางด้านความแข็งแรงดึงของคอมโพสิตที่เตรียมจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) กับเส้นใยป่านสรนารายณ์ (Sisal fiber) โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง จากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงดึง ได้แก่ กระบวนการผสมเส้นใยกับพอลิเมอร์ ความยาวของเส้นใย ปริมาณเส้นใย และลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยในพอลิเมอร์ โดยการผสมแบบสารละลาย (Solution mixing) เกิดความเสียหายของเส้นใยน้อยกว่าการผสมแบบหลอมเหลว (Melt mixing) เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยทำให้ความแข็งแรงดึงของคอมโพสิตมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์การยืด ้น จุดขาดมีค่าลดลง เมื่อนำคอมโพสิตมาฉีดขึ้นรูปใหม่ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ้น จุดขาดมีค่าเพิ่มตามจำนวนครั้งที่ฉีด เนื่องจากผลของความร้อนระหว่างกระบวนการขึ้นรูปทำให้เกิดการสลายตัวของเส้นใย จึงทำให้พอลิเอทิลีนเมตริกซ์ยึดติดกับเส้นใยดีขึ้น คอมโพสิตที่มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยตามแนวแรงมีค่าความแข็งแรงดึงสูงกว่าคอมโพสิตที่มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยในแนวทิศทางตั้งฉากกับแนวแรง เส้นใยที่มีความยาว 6 mm ทำให้คอมโพสิตมีค่าความแข็งแรงดึงที่สูงสุด

Bin Li. และคณะ [38] ได้ศึกษาสมบัติเชิงกล สารหน่วงการติดไฟ และการสลายตัวทางความร้อนของ LLDPE-Wood-Fiber คอมโพสิต โดยเตรียมจากเครื่องผสม 2 ลูกกลิ้ง และใช้ MPE เป็นสารเพิ่มสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิต ใช้ Aluminum Polyphosphate (APP) และส่วนผสมของ APP กับ Melamine Phosphate (MP) หรือ Pentaerythritol (PER) เป็นสารหน่วงการติดไฟ จากการทดลองพบว่า MPE ให้ค่า ความแข็งแรงดึงและความแข็งแรงกระแทก สูงขึ้น APP มีผลต่อความแข็งแรงกระแทกแต่ไม่มีผลต่อความแข็งแรงดึง นอกจากนี้พบว่า PER ลดค่าความแข็งแรงดึงและความแข็งแรงกระแทก เนื่องจาก PER จะทำให้เกิดปฏิกิริยา Esterification ระหว่าง เส้นใยไม้กับ MPE ค่า LOI ที่ได้จากการทดลองพบว่า APP เป็นสารหน่วงการติดไฟที่มีประสิทธิภาพ สำหรับวัสดุคอมโพสิตนี้ นอกจากนี้พบว่า เส้นใยไม้ไม่มีผลต่อลักษณะการสลายตัวทางความร้อนของวัสดุคอมโพสิต

Chuai และคณะ [39] ได้ศึกษาการนำเส้นใยสนเป็นวัสดุเสริมแรงในพอลิพรอพิลีน เพื่อเป็นวัสดุคอมโพสิต พบว่า การยึดติดกันหรือความเข้ากันได้ของพอลิพรอพิลีนและเส้นใยสน สามารถเพิ่มขึ้นได้โดยใช้ MAPP graft หรือ MAPP treat บนเส้นใยก่อนทำการผสม ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นได้จากเครื่องอิเล็กทรอนิกส์แบบส่องกวาด และเครื่อง DSC ส่วนค่า ความทนทานต่อแรงกระแทก จะลดลงเมื่อปริมาณของเส้นใยเพิ่มขึ้น อุณหภูมิการเสียสภาพของวัสดุคอมโพสิตจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยสน

Wu และคณะ [40] ได้ศึกษาผลของเส้นใยที่ทำการปรับปรุงผิวต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตเส้นใยไม้กับพอลิพรอพิลีน พบว่า พันธะที่เกิดขึ้นมีบทบาทอย่างมากต่อค่า ความแข็งแรงดึง และความแข็งแรงกระแทก ของวัสดุ งานวิจัยนี้เส้นใยไม้จะได้รับการปรับปรุงผิวก่อนด้วยสารละลายกรดไฮดรอกซิลิก ซึ่งจะทำให้เกิดพันธะที่แข็งแรงกับพอลิพรอพิลีน จึงมีผลทำให้สมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตเพิ่มขึ้น

P.J. Herrera และคณะ [41] ได้ศึกษาลักษณะสมบัติเชิงกลของ HDPE เสริมแรงด้วยเส้นใย Agave แบบต่อเนื่อง การยึดติดกันระหว่างเส้นใยและเมตริกซ์ สามารถทำให้ดีขึ้นได้ด้วยการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยด้วย Alkaline และ การผสมเมตริกซ์ก่อนด้วยสารคู่ควบ Silane สารคู่ควบ Silane จะช่วยให้เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์ เพิ่มการยึดเกาะระหว่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่า ความแข็งแรง และ ความแข็งแรงเปราะ ของวัสดุคอมโพสิตขึ้นกับปริมาณของ Silane ค่าความแข็งแรงดึง จะมีค่าสูงสุดเมื่อใช้ความเข้มข้นของ Silane ที่ระดับหนึ่งเท่านั้น ค่า โมดูลัสยืดหยุ่นไม่มีการเปลี่ยนแปลง ค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้นประมาณ 80% สมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้น 3 และ 43% สำหรับ Longitudinal tensile และ Flexural properties ตามลำดับ ส่วนในทิศทางตามขวางของเส้นใยเพิ่มขึ้นมากกว่า 50 %

Pickering และคณะ [42] ทำการศึกษาผลของสารคู่ควบไฮดรอกซิลิก (Silane coupling agent) ต่อคอมโพสิตเส้นใยต้นสนและพอลิเอทิลีน ชนิดของสารคู่ควบไฮดรอกซิลิกที่ใช้คือ แกมมาอะมิโนโพรพิลไตรเมทอกซีไฮดรอกซิลิก (γ-Aminopropyltrimethoxy silane) โดยเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ปรับปรุงผิวด้วย 2% โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และไฮดรอกซิลิก กับเส้นใยที่ปรับปรุงด้วยไฮดรอกซิลิกอย่างเดียว จากการทดสอบด้วย X-ray photoelectron spectroscopy และ NMR พบว่าไฮดรอกซิลิกทำหน้าที่ช่วยปรับปรุงความแข็งแรงของคอมโพสิตโดยเป็นตัวช่วยให้เกิดพันธะเชื่อมต่อกันระหว่างเส้นใยกับเมตริกซ์ ในขณะที่ NaOH จะช่วยทำให้เกิดการประสานที่ดีขึ้น ทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาสามารถสรุปประเด็นที่สำคัญได้ดังนี้

1. คอมโพสิตที่ใส่เส้นใยที่เตรียมจากกระบวนการความร้อนเชิงกล (TMP) มีสมบัติเชิงกลดีที่สุดเมื่อเทียบกับเส้นใยที่เตรียมได้จากกระบวนการ MP และ CP เนื่องจากเส้นใย TMP มีความคงรูป และกระจายตัวในคอมโพสิตได้ดี

2. เส้นใยที่ใช้ในวัสดุคอมโพสิตควรทำการปรับปรุงผิวของเส้นใยด้วย สารคู่ควบ หรือ สารช่วยผสม เพื่อช่วยให้การยึดติดระหว่างพอลิเมอร์เมทริกซ์กับเส้นใยดีขึ้น ซึ่งทำให้สมบัติเชิงกลของคอมโพสิตดีขึ้น