

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	V
สารบัญ.....	VI
สารบัญตาราง.....	X
สารบัญรูป.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	4
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	5
2.1 วัสดุคอมโพสิต (Composite).....	5
2.1.1 การแบ่งชนิดของคอมโพสิต (Classification of Composite).....	6
2.1.2 ข้อดีและข้อเสียของวัสดุคอมโพสิต.....	7
2.2 เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fibers).....	8
2.2.1 เซลลูโลส (Celluloses).....	8
2.2.1.1 สมบัติทางกายภาพของเซลลูโลส.....	9
2.2.1 เฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses).....	9
2.2.3 ลิกนิน (Lignin).....	10
2.3 ไม้และเส้นใยไม้ (Wood and Fibers).....	11
2.3.1 ชนิดของไม้.....	11
2.4 ไม้ยางพารา.....	12
2.4.1 ส่วนประกอบทางเคมีของไม้ยางพารา.....	12
2.4.2 สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล.....	13
2.4.2.1 สมบัติของไม้ยางพารา.....	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2.2 สมบัติพิเศษของไม้ยางพาราเทียบกับไม้สัก.....	13
2.4.2.3 สมบัติทางกลและความแข็งแรงของไม้ยางพารา.....	13
2.4.3 การใช้ประโยชน์จากไม้ยางพารา.....	15
2.5 แคลเซียมคาร์บอเนต.....	16
2.5.1 การประยุกต์ใช้งาน.....	16
2.6 พอลิเอทิลีน (Polyethylene).....	18
2.6.1 การเตรียมพอลิเอทิลีน.....	18
2.6.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (Medium Density Polyethylene).....	19
2.7 พอลิเอทิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Polyethylene grafted maleic anhydride).....	19
2.8 ออร์แกโนซิลเลน (Organosilanes).....	20
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....	27
3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย.....	27
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	28
3.3 วิธีการทดลอง.....	30
3.3.1 การเตรียมเชื้อไม้.....	30
3.3.2 ขั้นตอนการผสม.....	31
3.3.3 ขั้นตอนการขึ้นรูปวัสดุไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต.....	31
3.4 การทดสอบ.....	34
3.4.1 สมบัติเชิงกล.....	35
3.4.1.1 ความแข็งแรงดึง มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด...	35
3.4.1.2 ความแข็งแรงกระแทก.....	36
3.4.1.3 ความแข็งกด.....	36
3.4.1.4 ความแข็งแรงโค้งงอและมอดุลัส โค้งงอ.....	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.2 สมบัติทางกายภาพ.....	38
3.4.2.1 การดูดซับน้ำ.....	38
3.4.3 สมบัติทางความร้อน.....	38
3.4.3.1 Differential Scanning Calorimetry (DSC).....	38
3.4.4 ความทนทานต่อการเข้าทำลายของปลวก.....	39
3.4.5 สันฐานวิทยา.....	40
3.4.6 การทดสอบสมบัติไม้พลาสติก.....	40
3.4.6.1 สมบัติการกดอัด (Compressive properties).....	40
3.4.6.2 สมบัติการต้านทานการถอนตะปูและสกรู (Mechanical fasteners).....	40
3.4.6.3 สมบัติการโค้งงอ (Flexural properties).....	41
3.4.6.4 ความหนาแน่น (Density).....	42
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	43
4.1 การศึกษาผลของเกรดMDPE.....	43
4.2 การศึกษาผลของปริมาณเส้นใยไม้ยางพารา.....	45
4.3 การศึกษาปริมาณของสารช่วยผสม มาเลอิกแอนไฮไดรยกราฟท์พอลิเอทิลีน.....	50
4.4 การศึกษาชนิดของสารช่วยผสม.....	56
4.5 การศึกษาชนิดของสารตัวเติม แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3).....	60
4.6 ศึกษาปริมาณสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3).....	64
4.7 เพอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ.....	69
4.8 ผลจากเครื่องทดสอบทางความร้อน DSC.....	72
4.9 การศึกษาสันฐานวิทยาคู่กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM).....	73
4.10 การศึกษาความต้านทานต่อการเข้าทำลายของปลวก.....	77
4.11 ศึกษาสมบัติเชิงกลของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้จากการขึ้นรูป.....	79
4.12 การวิเคราะห์ต้นทุน (Cost Analysis).....	82

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	85
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	85
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	87
เอกสารอ้างอิง.....	88
ภาคผนวก.....	93
ภาคผนวก ก. กราฟที่ได้จากเครื่อง DSC ของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต.....	93
ภาคผนวก ข. การคำนวณเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบเป็นผลึก.....	95
ภาคผนวก ค. ภาพของเส้นใยไม้ยางพารา.....	96
ประวัติผู้เขียน.....	99

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ร้อยละโดยปริมาตร (vol %) ขององค์ประกอบต่างๆ ทางเคมีของไม้ยางพารา.....	12
2.2 สมบัติทางกลและความแข็งแรงของไม้ยางพารา.....	14
3.1 สมบัติบางประการของ MDPE เกรด EL-Lene [®] M3204RWP และ EL-Lene [®] M3804RWP	28
3.2 อัตราส่วนผสมของสูตรต่างๆ.....	33
3.3 อัตราส่วนผสมของสูตรไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้ในการขึ้นรูปจริง.....	33
3.4 มาตรฐานต่างๆ ในการทดสอบพอลิเมอร์คอมโพสิต.....	34
3.5 มาตรฐานในการทดสอบความทนทานต่อปลวกของคอมโพสิต.....	39
3.6 อัตราส่วนของสารละลายผสมในแต่ละกระบอกตวง.....	42
4.1 ผลการศึกษาสมบัติเชิงกลของ MDPE เกรด EL-Lene [®] M3204 RWP และ EL-Lene [®] M3804 RWP.....	42
4.2 ค่าอุณหภูมิหลอมผลึกและองศาความเป็นผลึกของวัสดุคอมโพสิต.....	72
4.3 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความเสียหายของแผ่นวัสดุไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต และ ทรีทเมนต์ควบคุม (ไม้ยางพารา).....	79
4.4 สมบัติของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต ที่ขึ้นรูปในงานวิจัยนี้.....	81
4.5 สมบัติบางประการของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตในงานวิจัยนี้กับไม้จริงบางชนิด.....	82
4.6 สมบัติของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตในงานวิจัยนี้และวัสดุทดแทนไม้จำพวกไม้พลาสติก ที่มีจำหน่ายในประเทศ.....	82
4.7 การวิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต 1 กิโลกรัม.....	83
4.8 แสดงการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต.....	83

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไม้ยางพารา.....	1
1.2 ตัวอย่างไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต.....	2
1.3 การใช้งานจริงของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต.....	3
2.1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส.....	8
2.2 แบบจำลองการจัดเรียงตัวของผลึกและอสัณฐานของเซลลูโลส.....	9
2.3 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส.....	10
2.4 ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของลิกนิน.....	10
2.5 การจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในไม้.....	11
2.6 ลักษณะของต้นยางพารา.....	12
2.7 โครงสร้างของแคลเซียมคาร์บอเนต.....	16
2.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Falling weight impact strength กับ ปริมาณสารตัวเติม.....	17
2.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Notched izod impact strength กับปริมาณสารตัวเติม.....	17
2.10 โครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีนกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรย.....	19
2.11 โครงสร้างทั่วไปทางเคมีของ Organofunctional silane.....	20
2.12 กลไกการทำงานของสารคู่ควบไซเลนเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ.....	20
3.1 รูปถ่ายลักษณะของเส้นใยไม้ยางพาราจากกระบวนการความร้อนเชิงกล.....	30
3.2 ขั้นตอนการการขึ้นรูปวัสดุไม้พอลิเมอร์คอมโพสิต.....	32
3.3 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างที่นำมาทดสอบหาค่าความแข็งแรงดึง มอดูลัส และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด.....	35
3.4 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างที่นำมาทดสอบหาค่าความแข็งแรงกระแทก.....	36
3.5 ลักษณะการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ.....	37
3.6 การทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยวิธีการทดสอบแบบบังคับ.....	39
3.7 ตัวอย่างอุปกรณ์ทดสอบการถอนตะปูและสกรู.....	41
3.8 ลักษณะการทดสอบสมบัติการโค้งงอ.....	41
4.1 ค่าความแข็งแรงดึงของ MDPE เกรด EL-Lene [®] M3804 RWP ที่เติมเส้นใยไม้ยางพารา ในปริมาณต่างๆ.....	46
4.2 ค่ามอดูลัสของ MDPE เกรด EL-Lene [®] M3804 RWP ที่เติมเส้นใยไม้ยางพาราในปริมาณ	

ต่างๆ.....	46
------------	----

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การยึด ผน จุดขาดของ MDPE เกรด EL-Lene [®] M3804 RWP ที่เติมเส้นใยไม้ ยางพาราในปริมาณต่างๆ.....	47
4.4 ค่าความแข็งแรงกระแทกของ MDPE เกรด EL-Lene [®] M3804 RWP ที่เติมเส้นใยไม้ ยางพาราในปริมาณต่างๆ.....	48
4.5 ค่าความแข็งกดของ MDPE เกรด EL-Lene [®] M3804 RWP ที่เติมเส้นใยไม้ยางพาราใน ปริมาณต่างๆ.....	48
4.6 ค่าความแข็งแรงโค้งงอของ MDPE เกรด EL-Lene [®] M3804 RWP ที่เติมเส้นใยไม้ ยางพาราในปริมาณต่างๆ.....	49
4.7 ค่ามอดุลัสโค้งงอของ MDPE เกรด EL-Lene [®] M3804 RWP ที่เติมเส้นใยไม้ยางพาราใน ปริมาณต่างๆ.....	49
4.8 ส่วนต่างๆ ของสารช่วยผสมที่ช่วยให้เกิดการยึดเกาะกันระหว่าง พอลิเมอร์และเส้นใย.....	51
4.9 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของหมู่ฟังก์ชัน ระหว่าง หมู่ไฮดรอกซี (-OH) ของเส้นใยไม้กับ หมู่แอนดรีไฮดราล (C ₄ H ₃ O ₃) ของสารช่วยผสม MAPE.....	51
4.10 ค่าความแข็งแรงดึงของ MDPE ที่เติมสารช่วยผสม MAPE ในปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr.....	53
4.11 ค่ามอดุลัสของ MDPE ที่เติมสารช่วยผสม MAPE ในปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr.....	53
4.12 ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดของ MDPE ที่เติมสารช่วยผสม MAPE ในปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr.....	54
4.13 ค่าความแข็งแรงกระแทกของ MDPE ที่เติมสารช่วยผสม MAPE ในปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr.....	54
4.14 ค่าความแข็งกดของ MDPE ที่เติมสารช่วยผสม MAPE ในปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr.....	55
4.15 ค่าความแข็งแรงโค้งงอของ MAPE ในปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใย ไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr.....	55
4.16 ค่ามอดุลัสโค้งงอของ MDPE ที่เติมสารช่วยผสม MAPE ในปริมาณ 1% 3% และ 5% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr.....	56

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 ค่าความแข็งแรงดึงของ MDPE ที่เติมและไม่เติมสารช่วยผสม 3% โดยน้ำหนักของเส้นใย ไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr.....	57
4.18 ค่ามอดุลัสของ MDPE ที่เติมและไม่เติมสารช่วยผสม 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพารา ชนิด TMP 40 phr.....	57
4.19 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดของ MDPE ที่เติมและไม่เติมสารช่วยผสม 3% โดยน้ำหนักของเส้นใย ไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr.....	58
4.20 ค่าความแข็งแรงกระแทกของ MDPE ที่เติมและไม่เติมสารช่วยผสม 3% โดยน้ำหนัก ของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr.....	58
4.21 ค่าความแข็งกดของ MDPE ที่เติมและไม่เติมสารช่วยผสม 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ ยางพาราชนิด TMP 40 phr.....	59
4.22 ค่าความแข็งแรงโค้งงอของ MDPE ที่เติมและไม่เติมสารช่วยผสม 3% โดยน้ำหนักของ เส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr.....	59
4.23 ค่ามอดุลัสโค้งงอของ MDPE ที่เติมและไม่เติมสารช่วยผสม 3% โดยน้ำหนักของเส้นใย ไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr.....	60
4.24 ค่าความแข็งแรงดึงของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใย ไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr ที่มีและไม่มี CaCO_3 20 phr.....	61
4.25 ค่ามอดุลัสของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr ที่มีและไม่มี CaCO_3 20 phr.....	61
4.26 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนัก ของเส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr ที่มีและไม่มี CaCO_3 20 phr.....	62
4.27 ค่าความแข็งแรงกระแทกของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใย ไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr ที่มีและไม่มี CaCO_3 20 phr.....	62
4.28 ค่าความแข็งกดของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้ยางพารา ชนิด TMP 40 phr ที่มีและไม่มี CaCO_3 20 phr.....	63
4.29 ค่าความแข็งแรงโค้งงอของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใย ไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr ที่มีและไม่มี CaCO_3 20 phr.....	63

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.30 ค่ามอดูลัสโค้งงอของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr ที่มีและไม่มี CaCO_3 20 phr.....	64
4.31 ค่าความแข็งแรงดึงของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพารา ชนิด TMP 40 phr และเติมสารตัวเติม CaCO_3 ขนาด 4 ไมครอน ที่ปริมาณต่างๆ.....	65
4.32 ค่ามอดูลัสของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพารา ชนิด TMP 40 phr และเติมสารตัวเติม CaCO_3 ขนาด 4 ไมครอน ที่ปริมาณต่างๆ.....	65
4.33 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr และเติมสารตัวเติม CaCO_3 ขนาด 4 ไมครอนที่ปริมาณต่างๆ...	66
4.34 ค่าความแข็งแรงกระแทกของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพารา ชนิด TMP 40 phr และเติมสารตัวเติม CaCO_3 ขนาด 4 ไมครอน ที่ปริมาณต่างๆ.....	66
4.35 ค่าความแข็งกดของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพารา ชนิด TMP 40 phr และเติมสารตัวเติม CaCO_3 ขนาด 4 ไมครอน ที่ปริมาณต่างๆ.....	67
4.36 ค่าความแข็งแรงโค้งงอของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพารา ชนิด TMP 40 phr และเติมสารตัวเติม CaCO_3 ขนาด 4 ไมครอน ที่ปริมาณต่างๆ.....	67
4.37 ค่ามอดูลัสโค้งงอของ MDPE ที่เติม MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพารา ชนิด TMP 40 phr และเติมสารตัวเติม CaCO_3 ขนาด 4 ไมครอน ที่ปริมาณต่างๆ.....	68
4.38 เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของ MDPE ที่ใส่เส้นใยไม้อย่างพาราในปริมาณต่างๆ.....	69
4.39 เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของ MDPE ที่ใส่เส้นใยไม้อย่างพาราในปริมาณ 40 phr MAPE ใน ปริมาณต่างๆ.....	70
4.40 เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของ MDPE ที่ใส่เส้นใยไม้อย่างพาราในปริมาณ 40 phr MAPE 3% โดยน้ำหนักของเส้นใยไม้อย่างพารา และ แคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณต่างๆ.....	71
4.41 ผลการทดสอบทางความร้อน DSC.....	72
4.42 ภาพ SEM แสดงพื้นผิวรอยแตกหักของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้จาก MDPE และเส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr.....	75
4.43 ภาพ SEM แสดงพื้นผิวรอยแตกหักของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้จาก MDPE เส้นใยไม้อย่างพาราชนิด TMP 40 phr และสารช่วยผสม MAPE 3% โดยน้ำหนักของ เส้นใยไม้อย่างพารา.....	76

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.44 ภาพ SEM แสดงพื้นผิวรอยแตกหักของไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้จาก MDPE เส้นใยไม้ยางพาราชนิด TMP 40 phr สารช่วยผสม MAPE 3% โดยน้ำหนักของ เส้นใยไม้ยางพารา และ สารตัวเติม CaCO_3 ขนาด 4 ไมครอน ปริมาณ 60 phr.....	77
4.45 ลักษณะความเสียหายของแผ่นวัสดุไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตกับทริทเมนต์ควบคุม (ไม้ยางพารา).....	79
4.46 แผ่นไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ทำการขึ้นรูปเป็นแผ่น.....	80
4.47 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ผลิตได้จากงานวิจัยนี้แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ต่างๆ เช่น แก้ว ู้จัดหมาย ไม้แผ่น.....	81