ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
245593

รายงานการวิจัย เรื่อง

การศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติการนำความร้อนของวัสดุคอมพอสิตระหว่างผงขี้เลื่อยไม้กับพอลิคาร์บอเนต

THE STUDY OF MECHANICAL PROPERTIES AND THERMAL CONDUCTIVITY OF WOOD SAWDUST/POLYCARBONATE COMPOSITES

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร พูนทรัพย์ ตรีภพนาถกูล

Assistance Professor Dr. Poonsub Threepopnatkul

นายวิทวุธ วิมลทรง

Mr. Wittawut Vimolsong

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร

2555

b00253048

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
245593

รายงานการวิจัย เรื่อง

การศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติการนำความร้อนของวัสดุคอมพอสิตระหว่างผงขี้เลื่อยไม้กับพอลิคาร์บอเนต

THE STUDY OF MECHANICAL PROPERTIES AND THERMAL CONDUCTIVITY OF WOOD SAWDUST/POLYCARBONATE COMPOSITES

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร พูนทรัพย์ ตรีภพนาถกูล

Assistance Professor Dr. Poonsub Threepopnatkul

นายวิทวุธ วิมลทรง

Mr. Wittawut Vimolsong

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร

2555

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นไปได้ด้วยดี เป็นผลมาจากการได้รับความอนุเคราะห์จากหลากหลายฝ่าย ทั้งนี้ต้องขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร สำหรับการสนับสนุนด้านเงินทุน อุปกรณ์ และห้องปฏิบัติการที่ใช้ในงานวิจัย ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านปิโตรเลียม ปิโตรเคมีและวัสดุขั้นสูงสำหรับการสนับสนุนด้านเงินทุน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร สำหรับความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่อง SEM ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) สำหรับความอนุเคราะห์ในการทดสอบสมบัติการนำความร้อน และขอขอบคุณบริษัท ไทยโพลิคาร์บอเนต จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เม็ดพลาสติกพอลิคาร์บอเนต ที่ให้ความอนุเคราะห์เอนไซม์ สำหรับการทำงานวิจัยในครั้งนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พูนทรัพย์ ตรีภพนาถกูลผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ แนะแนวทางในการศึกษา วิเคราะห์ พร้อมให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ยิ่งด้วยความเอาใจใส่มาโดยตลอด และขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้เคยสั่งสอนข้าพเจ้ามาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงและขอระลึกถึงพระคุณของท่านอาจารย์ตลอดไป

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ คุณพินิจ เจียนระลึก ที่คอยอำนวยความสะดวกในการจัดหาอุปกรณ์และสารเคมีต่างๆ และ คุณไพโรจน์ ตั้งศุภธวัช ในการบำรุงรักษาเครื่องมือต่างๆ รวมไปถึงเจ้าหน้าที่สำนักงานภาควิชา ที่อำนวยความสะดวกทางด้านการเงินและเอกสารต่างๆ สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบคุณครอบครัวและเครือญาติ ที่คอยส่งเสริมและให้โอกาสทางการศึกษา คอยเป็นที่ปรึกษาทางใจ ให้มีกำลังเข้มแข็งและพร้อมที่จะเผชิญกับปัญหา จนการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

บทคัดย่อ

245593

ปัจจุบันผงขี้เลื่อยไม้ได้ถูกใช้เป็นวัสดุเสริมแรงอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมเทอร์โมพลาสติก เนื่องจากมีราคาถูก ทั้งยังเป็นการนำวัสดุที่เหลือใช้กลับมาใช้ใหม่ แต่ปัญหาหนึ่งสำหรับการนำผงขี้เลื่อยไม้มาใช้ในการเสริมแรงให้กับวัสดุพอลิเมอร์คือความสามารถในการเข้ากันได้ของวัสดุทั้งสอง ในงานวิจัยนี้สารคู่ควบไซเลน 2 ชนิด คือ N-(3-Trimethoxysilylpropyl) diethyllenetriamine (TMS) และ γ-aminopropyl trimethoxy silane (Z6011) รวมถึงโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงการยึดติดกันระหว่างพื้นผิวของผงขี้เลื่อยไม้กับพอลิคาร์บอเนต จากผลการทดลองพบว่าค่ามอดูลัสแรงดึงและมอดูลัสแรงโค้งงอของวัสดุคอมพอสิตมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับพอลิคาร์บอเนตบริสุทธิ์ อีกทั้งค่ามอดูลัสแรงดึงและมอดูลัสแรงโค้งงอของวัสดุคอมพอสิตจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณของผงขี้เลื่อยไม้ลงไป อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณของผงขี้เลื่อยไม้ได้ส่งผลให้เกิดการลดลงของค่าการทนต่อแรงดึงสูงสุดของวัสดุคอมพอสิต จากการศึกษาด้วยเทคนิค SEM ได้ทำให้ทราบถึงการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนของอนุภาคผงขี้เลื่อยไม้ นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณการใช้ผงขี้เลื่อยไม้ยังส่งผลให้ค่าการนำความร้อนของวัสดุคอมพอสิตมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยจากการทดลองพบว่าปริมาณการใช้ผงขี้เลื่อยไม้ที่เหมาะสมที่สุดในการเสริมแรงให้กับวัสดุคอมพอสิตอยู่ที่ 10 % โดยน้ำหนักของพอลิคาร์บอเนต

นอกจากนี้แล้วในงานวิจัยนี้ยังได้มีการใช้สารทำให้เกิดฟอง 2 ชนิดที่แตกต่างกัน คือ Hydrocerol HK 40B และ 5-Phenyl-1H-Tetrazole ในการขึ้นรูปเป็นวัสดุโฟมคอมพอสิต จากผลการศึกษาสมบัติต่างๆ พอที่จะชี้ชัดได้ว่าการใช้สารทำให้เกิดฟองชนิด 5-Phenyl-1H-Tetrazole ในปริมาณ 2.0 phr เป็นปริมาณการใช้ที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้วัสดุโฟมคอมพอสิตเกิดโครงสร้างเซลล์โฟมที่สม่ำเสมอและมีสมบัติการเป็นฉนวนความร้อนที่ดี

ABSTRACT

245593

Wood sawdust was increasingly being used as reinforcement in commercial thermoplastics due to low cost, reusable raw materials. One of the problems of using wood sawdust is its interfacial adhesion with polymeric matrix. In this research, two types of silane coupling agents (N-(3-Trimethoxysilylpropyl)diethyllenetriamine and γ-aminopropyl trimethoxy silane) and sodium hydroxide were used for the modification of interfacial adhesion in wood sawdust/polycarbonate composites. The effects of chemical treatment and wood sawdust content (10, 20 and 30 % by wt) were investigated by Fourier transform infrared spectroscopy, scanning electron microscopy (SEM), thermal conductivity analysis. Young's modulus of composites was in general higher than the neat PC except for the one with γ-aminopropyl trimethoxy silane treatment. Tensile modulus of composites was increased as the filler loading increased. Nevertheless, the addition of wood sawdust resulted in the tensile strength reduction of the composites. The SEM micrographs reveal that the aggregation of wood particles and weak interfacial bond between the treated wood sawdust and the polymeric matrix with increasing filler loading. Furthermore, the thermal conductivity was reduced significantly with the increment of wood sawdust contents. Wood content in the most appropriate use of reinforcement in the composite was 10% compared to the weight of polycarbonate.

Two different blowing agent (Hydrocerol HK 40B and 5-Phenyl-1H-Tetrazole) were used prepare foam composite. The effect of the blowing agent concentration on the mechanical properties and thermal conductivity of wood sawdust/PC composite–foamed was examined. Impact strength of wood sawdust/PC composite foam in all systems was decreased when compared with wood sawdust/PC composite and hardness indicate that it's rigid foam. The recommended concentrations for 5-Phenyl-1H-Tetrazole blowing agents in this research were 2.0 phr, the optimum for foam cells structure and composite foam insulator.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ..... ก

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

ขอบเขตของการศึกษาและข้อจำกัดของงานวิจัย 2

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 3

ผลที่คาดว่าจะได้รับและการใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ 8

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9

พอลิคาร์บอเนต 9

เส้นใยธรรมชาติ 12

องค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติ 12

การปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติ 13

ผงขี้เลื่อยไม้ 15

ข้อดี ข้อเสียของการนำผงขี้เลื่อยไม้มาใช้ในงานคอมพอสิต 15

ไซเลน 16

γ-aminopropyl trimethoxysilane 19

N^{1}-(3-Trimethoxysilylpropyl)diethylenetriamine 20

โฟมพลาสติก 20

ประเภทของโฟมตามประเภทของพลาสติก 21

ประเภทโฟมตามโครงสร้างของเซลล์ 21

ประเภทโฟมตามตามความแข็ง 21

ฉนวนโฟม 21

บทที่ หน้า

ฉนวนพอลิสไตรีนโฟม 22
ฉนวนพอลิยูเรเธนโฟม 22
ฉนวนพอลิเอทเธลีนโฟม 22
การผลิตโฟม 23
ก๊าซที่ใช้ในการขึ้นรูปโฟม 23
ทฤษฎีการเกิดโฟม 24
Nucleating agent สำหรับโฟม 25
ขนาดของเซลล์ โฟม 25
ความหนาแน่นของโฟม 26
อัตราส่วนระหว่างเซลล์เปิดและเซลล์ปิด 26
Blowing agent หรือ Foaming agent 27
Chemical foaming agents 27
Hydrocerol HK 40B 29
5-Phenyl-1H-tetrazoles 30
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 30
3 วิธีดำเนินงานวิจัย 36
วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย 36
เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย 39
วิธีการดำเนินงานวิจัย 40
การคัดเลือกขนาดผงขี้เลื่อยไม้ 42
การปรับปรุงผิวผงขี้เลื่อยไม้โดยการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 42
การปรับปรุงผิวผงขี้เลื่อยไม้ด้วยสารคู่ควบไซเลน 43
การพิสูจน์เอกลักษณ์ของผงขี้เลื่อยไม้ 44
การผสมวัสดุเพื่อขึ้นรูป 44
การขึ้นรูปชิ้นงานคอมพอสิต 46
การฉีดขึ้นรูป (Injection molding) 46
การอัดขึ้นรูป (Compression molding) 46
การทดสอบสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) 47

บทที่ หน้า
การวัดค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ 47
การทดสอบอัตราการไหลของคอมพอสิต (Melt Flow Index) 48
การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties) 48
การทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึง (Tensile Properties) 48
การทดสอบสมบัติความต้านทานแรงโค้งงอ (Flexural properties) .. 49
การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact Properties) 50
การทดสอบสมบัติความแข็ง (Hardness)..... 51
การทดสอบสมบัติทางความร้อน (Thermal Properties) 51
การวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อนของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย 51
การทดสอบสมบัติการนำความร้อน (Thermal Conductivity) 52
การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างสัณฐานวิทยา (Morphology) 53
แผนภูมิการดำเนินงานวิจัยโดยย่อ..... 55
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 59
ผลของชนิดและปริมาณสารคู่ควบไซเลนที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของคอมพอสิต..... 59
ศึกษาผลของชนิดสารคู่ควบไซเลนที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของคอมพอสิต 59
ผลการทดสอบ FTIR 60
ผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมพอสิต..... 64
ผลต่อสมบัติการนำความร้อนของวัสดุคอมพอสิต..... 74
ศึกษาผลของปริมาณสารคู่ควบไซเลนที่มีต่อสมบัติต่างๆของคอมพอสิต..... 76
ผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมพอสิต..... 76
ผลต่อสมบัติการนำความร้อนของวัสดุคอมพอสิต..... 81
ผลของปริมาณผงขี้เลื่อยไม้ที่มีต่อสมบัติต่างๆของคอมพอสิต 83
ศึกษาผลของปริมาณผงขี้เลื่อยไม้ที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของคอมพอสิต..... 83
ผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมพอสิต..... 83
ผลต่อสมบัติการนำความร้อนของวัสดุคอมพอสิต 88
ผลของชนิดและปริมาณของสารทำให้เกิดฟองที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของคอมพอสิต..... 91
ศึกษาผลของการใช้สารทำให้เกิดฟองที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของคอมพอสิต 91
ผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมพอสิต..... 91

บทที่ หน้า
ผลต่อสมบัติการนำความร้อนของวัสดุคอมพอสิต 96
ศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารทำให้เกิดฟองที่มีต่อสมบัติต่างๆ
ของคอมพอสิต..... 97
ผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมพอสิต..... 98
ผลต่อสมบัติทางความร้อนของวัสดุคอมพอสิต 103
5 สรุปผลการทดลอง..... 106
บรรณานุกรม..... 108
ภาคผนวก..... 112
ภาคผนวก ข้อมูลการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิคาร์บอเนตบริสุทธิ์
และวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนต 113
ประวัติผู้วิจัย..... 137

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงสมบัติของสารประสานคู่ควบไซเลน	17
2	แสดงตัวอย่างของสารคู่ควบประเภทไซเลนและการนำไปใช้งานกับพลาสติกชนิดต่างๆ	18
3	แสดงคุณสมบัติของพลาสติกพอลิคาร์บอเนต.....	37
4	แสดงองค์ประกอบของสารเคมีที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวผงขี้เลื่อยไม้และใช้ในการขึ้นรูปวัสดุคอมพอสิต	40
5	แสดงสภาวะในการฉีดขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์	46
6	แสดงสภาวะที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปชิ้นงานคอมพอสิต.....	47
7	แสดงค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity) ของพอลิคาร์บอเนตคอมพอสิต ที่ปริมาณการใช้ผงขี้เลื่อยไม้ 10% โดยน้ำหนักของคอมพอสิต....	75
8	แสดงค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity) ของพอลิคาร์บอเนตคอมพอสิต ซึ่งปรับปรุงพื้นผิวด้วยไซเลน TMS ในปริมาณที่แตกต่างกัน	81
9	แสดงค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity) ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนตที่มีการเติมผงขี้เลื่อยไม้ในปริมาณที่แตกต่างกัน	89
10	แสดงค่าความแข็ง (Hardness) ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนตกับผงขี้เลื่อยไม้ที่มีการใช้สารทำให้เกิดฟอง.....	92
11	แสดงค่าดัชนีการไหล (MFI) ของพอลิคาร์บอเนตและโฟมพอลิคาร์บอเนตคอมพอสิตไม้ที่ปริมาณการใช้สารทำให้เกิดฟอง 0.5 phr	94
12	แสดงค่าการนำความร้อนของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนตกับผงขี้เลื่อยไม้ที่มีการใช้สารทำให้เกิดฟอง	97
13	แสดงค่า Hardness ของวัสดุโฟมคอมพอสิตที่มีการใช้สารทำให้เกิดฟองในปริมาณที่แตกต่างกัน	102
14	แสดงข้อมูลการทดสอบค่า tensile strength ของพอลิคาร์บอเนตบริสุทธิ์และวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนต	114
15	แสดงข้อมูลการทดสอบค่า Young's modulus ของพอลิคาร์บอเนตบริสุทธิ์ และวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนต	115

ตารางที่ หน้า

16 แสดงข้อมูลการทดสอบค่า tensile strength ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนตที่มีการปรับปรุงด้วยไซเลนชนิด TMS 117

17 แสดงข้อมูลการทดสอบค่า Young's modulus ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนตที่มีการปรับปรุงด้วยไซเลนชนิด TMS ในปริมาณที่แตกต่างกัน.. 118

18 แสดงข้อมูลการทดสอบค่า tensile strength ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนตที่มีการเติมผงขี้เลื่อยไม้ในปริมาณที่แตกต่างกัน..... 119

19 แสดงข้อมูลการทดสอบค่า Young's modulus ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนตที่มีการเติมผงขี้เลื่อยไม้ในปริมาณที่แตกต่างกัน 121

20 แสดงข้อมูลการทดสอบค่า flexural strength ของพอลิคาร์บอเนตบริสุทธิ์ และวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนต..... 122

21 แสดงข้อมูลการทดสอบค่า flexural modulus ของพอลิคาร์บอเนตบริสุทธิ์ และวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนต 123

22 แสดงข้อมูลการทดสอบค่า flexural strength ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนตที่มีการปรับปรุงด้วยไซเลนชนิด TMS ในปริมาณที่แตกต่างกัน... 124

23 แสดงข้อมูลการทดสอบค่า flexeral modulus ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนตที่มีการปรับปรุงด้วยเลนชนิด TMS ในปริมาณที่แตกต่างกัน..... 126

24 แสดงข้อมูลการทดสอบค่า flexural strength ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนตที่มีการเติมผงขี้เลื่อยไม้ในปริมาณที่แตกต่างกัน..... 127

25 แสดงข้อมูลการทดสอบค่า flexural modulus ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนตที่มีการเติมผงขี้เลื่อยไม้ในปริมาณที่แตกต่างกัน..... 128

26 แสดงข้อมูลการทดสอบค่า Impact strength ของพอลิคาร์บอเนตบริสุทธิ์ และวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนต..... 129

27 แสดงข้อมูลการทดสอบค่า Impact strength ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนตที่มีการปรับปรุงด้วยเลนชนิด TMS ในปริมาณที่แตกต่างกัน..... 130

28 แสดงข้อมูลการทดสอบค่า Impact strength ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนตที่มีการเติมผงขี้เลื่อยไม้ในปริมาณที่แตกต่างกัน..... 132

ตารางที่ หน้า

29 แสดงข้อมูลการทดสอบค่า Impact strength ของพอลิคาร์บอเนต และวัสดุโฟมคอมพอสิตที่มีการใช้สารทำให้เกิดฟองชนิด Hydrocerol HK 40B ในปริมาณที่แตกต่างกัน..... 133

30 แสดงข้อมูลการทดสอบค่า Impact strength ของวัสดุโฟมคอมพอสิตที่มีการใช้สารทำให้เกิดฟองชนิด 5-Phenyl-1H-Tetrazole ในปริมาณที่แตกต่างกัน 134

31 แสดงค่า Hardness ของวัสดุโฟมคอมพอสิตที่มีการใช้สารทำให้เกิดฟองในปริมาณที่แตกต่างกัน..... 135

32 แสดงข้อมูลการทดสอบค่า Hardness ของวัสดุโฟมคอมพอสิตที่มีการใช้สารทำให้เกิดฟองในปริมาณที่แตกต่างกัน..... 135

33 แสดงข้อมูลการทดสอบค่า Hardness ของวัสดุโฟมคอมพอสิตที่มีการใช้สารทำให้เกิดฟองในปริมาณที่แตกต่างกัน..... 136

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กลไกการเกิดปฏิกิริยา deprotonates hydroxyl groups ของโมเลกุล bisphenol A	10
2	การเกิดปฏิกิริยาปฏิกิริยา deprotonated oxygen กับ phosgene	10
3	การ deprotonate bisphenol A การขจัด chloride ion และการเกิด dimmer ของ bisphenol A	11
4	แสดงแผนผังกระบวนการผลิตพอลิคาร์บอเนต	12
5	โครงสร้างของเซลลูโลส (Cellulose)	13
6	โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)	14
7	ปฏิกิริยาการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	15
8	แสดงลักษณะโครงสร้างของไซเลน	16
9	แสดงโครงสร้างของ Gamma-Aminopropyl trimethoxysilane	19
10	แสดงโครงสร้างของ N^{l}-(3-Trimethoxysilylpropyl)diethylenetriamine	20
11	แสดงสูตรโครงสร้างของ Hydrocerol HK 40B	29
12	แสดงสูตรโครงสร้างของ 5-Phenyl-1H-tetrazoles	30
13	แสดง SEM micrograph ของ (a) NaOH treated, (b) Z-6011 treated and (c) Z-6030 treated PALF/PC composites	32
14	ผงขี้เลื่อยไม้	37
15	พอลิคาร์บอเนตเกรด MB2215R	37
16	แสดงสูตรโครงสร้างของสารคู่ควบไซเลน ชนิด γ-aminopropyl trimethoxysilane	38
17	แสดงสูตรโครงสร้างของสารคู่ควบไซเลน ชนิด N-(3-Trimethoxysilylpropyl) diethylenetriamine	38
18	สารทำให้เกิดฟองชนิด Hydrocerol HK 40B	39
19	สารทำให้เกิดฟองชนิด 5-Phenyl-1H-Tetrazole	39
20	เครื่องคัดแยกขนาด (Sieve Shaker)	41
21	แสดงการปรับปรุงผิวผงขี้เลื่อยไม้ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	43
22	เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR)	44

ภาพที่		หน้า
23	แสดงเครื่องปั่นผสมความเร็วสูง (High Speed Internal Mixer)	45
24	แสดงเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวคู่ (twin screw extruder) ที่ใช้ในงานวิจัย	45
25	แสดงเครื่อง Compression Molding ที่ใช้ในงานวิจัย	47
26	แสดงUniversal testing machine ของ LLOYD Instruments รุ่น LR 50K	49
27	แสดงเครื่อง Impact Tester ของบริษัท Zwick	50
28	แสดงเครื่อง Shore Durometer Hardness	51
29	แสดงเครื่อง Thermal Gravimetric Analyzer (TGA) ที่ใช้ในงานวิจัย.....	52
30	แสดงเครื่อง Thermal constant analyzer	53
31	แสดงเครื่อง Scanning Electron Microscope ที่ใช้ในงานวิจัย.....	54
32	แผนผังแสดงการแนวทางและขั้นตอนการศึกษาผลของ ชนิดสารคู่ควบไซเลนที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของคอมโพสิต	55
33	แผนผังแสดงการแนวทางและขั้นตอนการศึกษาผลของ ปริมาณสารคู่ควบไซเลนที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของคอมโพสิต.....	56
34	แผนผังแสดงการแนวทางและขั้นตอนการศึกษาผลของ ปริมาณผงขี้เลื่อยไม้ต่อสมบัติต่างๆ ของคอมโพสิต.....	57
35	แผนผังแสดงการแนวทางและขั้นตอนการศึกษาผลของชนิดและปริมาณ ของสารทำให้เกิดฟองที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของคอมโพสิต.....	58
36	แสดง FTIR สเปกตรัมของพอลิคาร์บอเนตและพอลิคาร์บอเนตคอมพอสิต	60
37	แสดงปฏิกิริยาที่เกิดระหว่างไซเลนชนิด Z-6011 กับโครงสร้างเซลลูโลส ในผงขี้เลื่อยไม้	62
38	กลไกปฏิกิริยาระหว่างผงขี้เลื่อยไม้ที่มีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยไซเลน ชนิด TMS กับพอลิคาร์บอเนต.....	62
39	แสดงค่า tensile strength ของพอลิคาร์บอเนตบริสุทธิ์ และวัสดุคอมพอสิต ของพอลิคาร์บอเนต	63
40	แสดงค่า flexural strength ของพอลิคาร์บอเนตบริสุทธิ์ และวัสดุคอมพอสิต ของพอลิคาร์บอเนต	63
41	แสดงพื้นที่ผิวการแตกหักของวัสดุคอมพอสิ (ก) PC/W-Untreated (ข) PC/W-NaOH (ค) PC/W-Z6011 และ (ง) PC/W-TMS ที่กำลังขยาย 1000 เท่า....	66

ภาพที่ หน้า

42 แสดดง TGA thermogram ของพอลิคาร์บอเนตคอมพอสิตที่มีการปรับปรุงพื้นผิวของผงขี้เลื่อยไม้ด้วยไซเลน ณ อุณหภูมิ 240°C คงอุณหภูมิไว้ 30 นาที ภายใต้บรรยากาศออกซิเจน 67

43 แสดงค่า Young's modulus ของพอลิคาร์บอเนตบริสุทธิ์ และวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนต 69

44 แสดงค่า flexural modulus ของพอลิคาร์บอเนตบริสุทธิ์ และวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนต 69

45 แสดงพื้นผิวผงขี้เลื่อยไม้ก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์... 70

46 แสดงปฏิกิริยาการเกิดพอลิไซลอกเซน (Polysiloxane) 72

47 แสดงค่า Impact strength ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนต 73

48 แสดงค่า tensile strength ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนต ที่มีการปรับปรุงด้วยไซเลนชนิด TMS ในปริมาณที่แตกต่างกัน 77

49 แสดงค่า flexural strength ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนต ที่มีการปรับปรุงด้วยไซเลนชนิด TMS ในปริมาณที่แตกต่างกัน 77

50 แสดงค่า Young's modulus ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนต ที่มีการปรับปรุงด้วยไซเลนชนิด TMS ในปริมาณที่แตกต่างกัน 79

51 แสดงค่า flexural modulus ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนต ที่มีการปรับปรุงด้วยไซเลนชนิด TMS ในปริมาณที่แตกต่างกัน 79

52 แสดงค่า Impact strength ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนต ที่มีการปรับปรุงด้วยเลนชนิด TMS ในปริมาณที่แตกต่างกัน 80

53 แสดงค่า tensile strength ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนต ที่มีการเติมผงขี้เลื่อยไม้ในปริมาณที่แตกต่างกัน 84

54 แสดงค่า flexural strength ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนต ที่มีการเติมผงขี้เลื่อยไม้ในปริมาณที่แตกต่างกัน 84

55 แสดงพื้นที่ผิวการแตกหักของวัสดุคอมพอสิตของ PC/W-TMS composites ที่ปริมาณการเติมผงไม้ที่แตกต่างกัน (a) 10%wt (b) 20%wt (c) 30%wt ที่กำลังขยาย 1000 เท่า 85

ภาพที่		หน้า
56	แสดงค่า Young's modulus ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนต ที่มีการเติมผงขี้เลื่อยไม้ในปริมาณที่แตกต่างกัน	86
57	แสดงค่า flexural modulus ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนต ที่มีการเติมผงขี้เลื่อยไม้ในปริมาณที่แตกต่างกัน	87
58	แสดงค่า Impact strength ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนต ที่มีการเติมผงขี้เลื่อยไม้ในปริมาณที่แตกต่างกัน	87
59	แสดงค่า Impact strength ของวัสดุคอมพอสิตที่มีการใช้สารทำให้เกิดฟอง	92
60	แสดงพื้นที่ผิวการแตกหักของวัสดุโฟมคอมพอสิตของ (ก) PC/W ที่กำลังขยาย 50 เท่า (ข) PC/H (ค) PC/P (ง) PC/W-H และ (จ) PC/W-P ปริมาณการใช้สารทำให้เกิดฟอง 0.5 phr ที่กำลังขยาย 12 เท่า	95
61	แสดงค่า Impact strength ของวัสดุโฟมคอมพอสิตที่มีการใช้สารทำให้เกิดฟอง ชนิด 5-Phenyl-1H-Tetrazole ในปริมาณที่แตกต่างกัน	99
62	แสดงค่า Impact strength ของวัสดุโฟมคอมพอสิตที่มีการใช้สารทำให้เกิดฟอง ชนิด Hydrocerol HK 40B ในปริมาณที่แตกต่างกัน	99
63	แสดงพื้นที่ผิวการแตกหักของวัสดุโฟมคอมพอสิตที่มีการใช้สารทำให้เกิดฟอง ชนิด 5-Phenyl-1H-Tetrazole ในปริมาณที่แตกต่างกัน (a) 0.5 (b) 1.0 (c) 1.5 และ (d) 2.0 phr ที่กำลังขยาย 12 เท่า	100
64	แสดงพื้นที่ผิวการแตกหักของวัสดุโฟมคอมพอสิตที่มีการใช้สารทำให้เกิดฟอง ชนิด Hydrocerol HK 40B ในปริมาณที่แตกต่างกัน (a) 0.5 (b) 1.0 (c) 1.5 และ (d) 2.0 phr ที่กำลังขยาย 12 เท่า	101
65	แสดงค่าการนำความร้อนของวัสดุโฟมคอมพอสิตที่มีการใช้สารทำให้เกิดฟอง ในปริมาณที่แตกต่างกัน	103
66	แสดง TGA thermogram ของสารทำให้เกิดฟอง	105
67	แสดงค่า tensile strength ของพอลิคาร์บอเนตบริสุทธิ์และวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนต	114
68	แสดงค่า Young's modulus ของพอลิคาร์บอเนตบริสุทธิ์ และวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนต	115

ภาพที่		หน้า
69	แสดงค่า tensile strength ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนตที่มีการปรับปรุงด้วยไซเลนชนิด TMS ในปริมาณที่แตกต่างกัน	116
70	แสดงค่า Young's modulus ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนตที่มีการปรับปรุงด้วยไซเลนชนิด TMS ในปริมาณที่แตกต่างกัน	118
71	แสดงค่า tensile strength ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนตที่มีการเติมผงขี้เลื่อยไม้ในปริมาณที่แตกต่างกัน	119
72	แสดงค่า Young's modulus ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนตที่มีการเติมผงขี้เลื่อยไม้ในปริมาณที่แตกต่างกัน	120
73	แสดงค่า flexural strength ของพอลิคาร์บอเนตบริสุทธิ์ และวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนต	122
74	แสดงค่า flexural modulus ของพอลิคาร์บอเนตบริสุทธิ์ และวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนต	123
75	แสดงค่า flexural strength ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนตที่มีการปรับปรุงด้วยไซเลนชนิด TMS ในปริมาณที่แตกต่างกัน	124
76	แสดงค่า flexeral modulus ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนตที่มีการปรับปรุงด้วยเลนชนิด TMS ในปริมาณที่แตกต่างกัน	125
77	แสดงค่า flexural strength ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนตที่มีการเติมผงขี้เลื่อยไม้ในปริมาณที่แตกต่างกัน	127
78	แสดงค่า flexural modulus ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนตที่มีการเติมผงขี้เลื่อยไม้ในปริมาณที่แตกต่างกัน	128
79	แสดงค่า Impact strength ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนต	129
80	แสดงค่า Impact strength ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนตที่มีการปรับปรุงด้วยเลนชนิด TMS ในปริมาณที่แตกต่างกัน	130
81	แสดงค่า Impact strength ของวัสดุคอมพอสิตของพอลิคาร์บอเนตที่มีการเติมผงขี้เลื่อยไม้ในปริมาณที่แตกต่างกัน	131
82	แสดงค่า Impact strength ของวัสดุโฟมคอมพอสิตที่มีการใช้สารทำให้เกิดฟองในปริมาณที่แตกต่างกัน	133