ผลของสารหน่วงไฟและผงไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อสมบัติของวัสดุทดแทนไม้เสริมแรงด้วยเส้นใยขนาดสั้นจากใบสับปะรดวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรสำหรับวิสาหกิจชุมชน

โดย

ดร.อุไรวรรณ พงสา

นายภูเมศวร์ แสงระยับ

ผศ.นิวัฒน์ มูเก็ม

นายปริญญา กวีกิจบัณฑิต

นางอรจิตร แจ่มแสง

สนับสนุนงบประมาณโดย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2561

EFFECT OF FLAME RETARDANT AND TITANIUM DIOXIDE ON THE PROPERTIES OF WOOD-SUBSTITUTED COMPOSITE REINFORCED WITH SHORT AGRO-WASTE PINEAPPLE LEAF FIBER FOR COMMUNITY ENTERPRISE

By

Uraiwan Pongsa

Phoometh Sangrayub

Niwat Mookam

Parinya Kaweekitbundit

Orajit Jamsang

Granted by

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Fiscal year 2018

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินอุดหนุนจากเงินงบประมาณเงินแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. พ.ศ. 2561 ผลผลิต : ผลงานวิจัยเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยี ภายใต้แผนงานวิจัยเรื่อง “แนวทางการพัฒนาวิสาหกิจชุมชุนในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์: การผลิตวัสดุทดแทนไม้ด้วยเส้นใยใบสับปะรดวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร” โดยการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ ศูนย์บริการวิชาการด้านการผลิตและการทดสอบสำหรับอุตสาหกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการ คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือวิเคราะห์และทดสอบ

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ คณาจารย์และบุคลากรทุกท่านของคณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยด้วยดี และ รศ.ดร. พรนภา เกษมศิริ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะในการวิจัย

ทั้งนี้หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัย ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้วิจัย

มีนาคม 2562

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : A-9/2561

ชื่อโครงการ : ผลของสารหน่วงไฟและผงไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อสมบัติของวัสดุทดแทนไม้เสริมแรงด้วยเส้นใยขนาดสั้นจากใบสับปะรดวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรสำหรับวิสาหกิจชุมชน

ชื่อนักวิจัย : ดร.อุไรวรรณ พงสา นายภูเมศวร์ แสงระยับ ผศ.นิวัฒน์ มูเก็ม นายปริญญา กวีกิจบัณฑิต และ นางอรจิตร แจ่มแสง

ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาเส้นใยขนาดสั้นจากใบสับปะรดวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรด้วยวิธีเชิงกลและวัสดุทดแทนไม้จากคอมพอสิตพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยใบสับปะรด โดยศึกษาผลของปริมาณการเติมเส้นใยใบสับปะรดร่วมกับสารหน่วงไฟชนิดไดแอมโมเนียมฟอสเฟตและสารเติมแต่งชนิดผงไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อสมบัติของคอมโพสิต ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และการลามไฟ ได้ศึกษาผลการเติมเส้นใยใบสับปะรด (PALF) ต่อสมบัติของคอมพอสิตพอลิโพรพิลีนผงไททาเนียมไดออกไซด์และสารไดแอมโมเนียมฟอสเฟตนำมาใช้เป็นสารเติมแต่งและสารหน่วงไฟตามลำดับ ซึ่งจะสังเกตเห็นว่า คอมพอสิตทุกสูตรมีค่ามอดูลัสแรงดัดโค้งเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งสูตร 73TD11 ที่มีค่ามอดูลัสแรงดัดโค้งเท่ากับ 840 MPa เพิ่มขึ้นร้อยละ 47.37 เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามอดูลัสแรงดัดโค้งของพอลิโพรพิลีน แต่อย่างไรก็ตาม การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นสำหรับคอมพอสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยใบสับปะรดเนื่องจากสมบัติความชอบน้ำของเส้นใย ในขณะที่การเติมผงไททาเนียมไดออกไซด์และสารไดแอมโมเนียมฟอสเฟตร่วมด้วยทำให้เส้นทางที่ซับซ้อนในเนื้อพลาสติกซึ่งจำกัดการเคลื่อนที่อย่างอิสระของโมเลกุลน้ำส่งผลให้การดูดซึมน้ำลดลง จากผลการทดสอบ UL-94 พบว่าการเติมผงไททาเนียมไดออกไซด์และสารไดแอมโมเนียมฟอสเฟตในคอมพอสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยใบสับปะรดทำให้เกิดอัตราการเผาไหม้ที่ช้ากว่าและการปกป้องที่ยาวนานขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน เพราะการเกิดเถ้าที่มีคุณภาพสูงกว่าระหว่างการเผาไหม้ จากผลการวิจัยทำให้เห็นว่าคอมพอสิตพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยใบสับปะรดเป็นทางเลือกใหม่สำหรับวัสดุทดแทนไม้จริงเพื่อเสริมสร้างความเข้มแข็งวิสาหกิจชุมชนและส่งเสริมการบริหารจัดการวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอย่างคุ้มค่าและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ : วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ใบสับปะรด วัสดุทดแทนไม้ วิสาหกิจชุมชน

E-mail Address : uraiwan.pon@rmutr.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : ตุลาคม 2560 – มีนาคม 2562

Abstract

Code of project : A-9/2561

Project name : Effect of flame retardant and titanium dioxide on the properties of wood-substituted composite reinforced with short agro-waste pineapple leaf fiber for community enterprise

Researcher name : Uraiwan Pongsa Phoometh Sangrayub Niwat Mookam Parinya Kaweekitbundit and Orajit Jamsang

Short pineapple leaf fiber (PALF) from fresh agro-waste pineapple leaf was successfully prepared by the chopping and milling techniques. The effect of the addition of pineapple leaf fiber, Titanium dioxide (TiO_2) and diammonium phosphate (DAP) on the properties of polypropylene (PP) composites was investigated in this work. TiO_2 and DAP was used as additive and flame retardant, respectively. Enhanced flexural modulus was observed for all composites, especially 7 3TD1 1 which the value of flexural modulus increased about 47.37% to 840 MPa compared with the PP matrix. However, water adsorption of composites only reinforced with PALF increased due to their hydrophilic characteristic. While the incorporation of TiO_2 and DAP provided the tortuous pathway in the matrix that restricted the free motion of water molecules, thereby the decrease of water adsorption. From the result of UL-94 testing, the present of TiO_2 and DAP in PALF reinforced composites remarkably achieved slower burning rate and longer-lasting protection because the higher quality char was formed during the combustion. As the results, PP composite reinforced with PALF can be alternative approach for wood-substituted composite development to strengthen community enterprises and to promote the environmentally friendly and cost-effectively management of agricultural waste.

Keywords: Agro-Waste Pineapple Leaf Wood-substituted composite Community Enterprise

---

E-mail Address : uraiwan.pon@rmutr.ac.th

Period of project : October 2017 – March 2019

สารบัญ

		หน้า
กิตติกรรมประกาศ		ค
บทคัดย่อภาษาไทย		ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		จ
สารบัญ		ฉ
สารบัญตาราง		ซ
สารบัญภาพ		ฌ
บทที่ 1	**บทนำ**	**1**
	1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	2. วัตถุประสงค์การวิจัย	3
	3. ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
	4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2	**ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง / ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง**	**4**
	1. วัสดุทดแทนไม้	4
	2. ลิกโนเซลลูโลส	4
	3. เส้นใยธรรมชาติ	5
	4. เส้นใยใบสับปะรด	6
	5. พอลิโพรพิลีน	7
	6. ผงไทเทเนียมไดออกไซด์	8
	7. สารหน่วงไฟ	9
	8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
บทที่ 3	**ระเบียบวิธีการวิจัย**	**14**
	1. วิธีการดำเนินการวิจัย	14
	2. วัตถุดิบและสารเคมี	15
	3. การเตรียมเส้นใยขนาดสั้นจากใบสับปะรดด้วยวิธีเชิงกล	15

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
	4. การเตรียมคอมโพสิต	15
	5. การทดสอบและวิเคราะห์สมบัติ	16
	6. ระยะเวลาทำการวิจัยและแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	17
	7. งบประมาณของโครงการวิจัย	18
บทที่ 4	**ผลการวิจัยและผลการวิเคราะห์**	**19**
	1. สัณฐานวิทยาของเส้นใยสับปะรดขนาดสั้น	19
	2. สมบัติทางกายภาพของคอมโพสิต	21
	3. สมบัติเชิงกลภายใต้แรงดัดโค้ง	25
	4. การติดไฟของคอมโพสิต	28
บทที่ 5	**สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ**	**31**
	1. สรุปผลการวิจัย	31
	2. อภิปรายผล	31
	3. ข้อเสนอแนะ	32
บรรณานุกรม		33
ภาคผนวก ก โครงสร้างจุลภาคเส้นใยใบสับปะรดและผงใบสับปะรด		35
ภาคผนวก ข ลักษณะทางภาพของชิ้นงานตัวอย่าง		41
ประวัติผู้วิจัย		46

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สมบัติเชิงกลของเส้นใยธรรมชาติบางชนิดเทียบกับเส้นใยสังเคราะห์	6
2	แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	17
3	งบประมาณของโครงการวิจัย	18
4	การทดสอบการเผาไหม้ตามมาตรฐาน UL-94 แบบแนวนอน	29
4	การทดสอบการเผาไหม้ตามมาตรฐาน UL-94 แบบแนวนอน (ต่อ)	30

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	14
2	ลักษณะผงใบสับปะรดหลังกระบวนการบดแยกตามขนาดตะแกรงร่อน: (ก) 20 เมช (ข) 40 เมช (ค) 60 เมช และ (ง) 100 เมช	19
3	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดที่กำลังขยาย 30 เท่า ของใบสับปะรดบดละเอียดแยกตามขนาด: (ก) 20 เมช (ข) 40 เมช (ค) 60 เมช และ (ง) 100 เมช	20
4	ลักษณะเส้นใยใบสับปะรดจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดที่กำลังขยาย (ก) 200 เท่า และ (ข) 1000 เท่า	21
5	ความหนาแน่นของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยใบสับปะรดที่ปริมาณต่างๆ ร่วมกับการเติมผงไทเทเนียมไดออกไซด์หรือสารหน่วงไฟ DAP ที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก	22
6	ความหนาแน่นของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยสับปะรดผสมผงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ปริมาณต่าง ๆ ร่วมกับสารหน่วงไฟ DAP 10% โดยน้ำหนัก	23
7	การดูดซึมน้ำของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยใบสับปะรดร่วมกับการเติมผงไทเทเนียมไดออกไซด์หรือสารหน่วงไฟ DAP ในปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก	24
8	การดูดซึมน้ำของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยใบสับปะรดร่วมกับการเติมผงไทเทเนียมไดออกไซด์และสารหน่วงไฟ DAP	24
9	มอดูลัสแรงดัดโค้งของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยใบสับปะรดร่วมกับการเติมผงไทเทเนียมไดออกไซด์หรือสารหน่วงไฟ DAP ที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก	25
10	มอดูลัสแรงดัดโค้งของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยสับปะรดและผงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ปริมาณต่างๆ ร่วมกับสารหน่วงไฟ DAP ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก	26
11	เปอร์เซ็นต์การยืดตัวของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยใบสับปะรดที่ปริมาณต่างๆ ร่วมกับการเติมผงไทเทเนียมไดออกไซด์หรือสารหน่วงไฟที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก	26
12	เปอร์เซ็นต์ของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยใบสับปะรดผสมสารหน่วงไฟ DAP ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก ร่วมกับผงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ปริมาณต่าง ๆ	27
ก-1	ภาพ SEM แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคเส้นใยสับปะรดที่กำลังขยาย (ก) 30 เท่า (ข) 100 เท่า (ค) 200 เท่า (ง) 500 เท่า และ (จ)-(ฉ) 1000 เท่า	36

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ก-2	ภาพ SEM แสดงการวัดขนาดเส้นใยสับปะรดที่กำลังขยาย 1000 เท่า	37
ก-3	ภาพ SEM แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคผงใบสับปะรดขนาด 40 เมช ที่กำลังขยาย (ก) 30 เท่า (ข) 100 เท่า และ (ค) 200 เท่า	38
ก-4	ภาพ SEM แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคผงใบสับปะรดขนาด 60 เมช ที่กำลังขยาย (ก) 30 เท่า (ข) 100 เท่า และ (ค) 200 เท่า	39
ก-5	ภาพ SEM แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคผงใบสับปะรดขนาด 100 เมช ที่กำลังขยาย (ก) 30 เท่า (ข) 100 เท่า และ (ค) 200 เท่า	40
ข-1	ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างสูตร PP	42
ข-2	ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างสูตร 82	42
ข-3	ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างสูตร 82T	42
ข-4	ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างสูตร 82D	43
ข-5	ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างสูตร 82TD11	43
ข-6	ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างสูตร 82TD12	43
ข-7	ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างสูตร 73	44
ข-8	ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างสูตร 73T	44
ข-9	ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างสูตร 73D	44
ข-10	ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างสูตร 73TD11	45
ข-11	ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างสูตร 73TD12	45

บทที่ 1
บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สับปะรดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ มีปริมาณการผลิตและส่งออกสูงเป็นอันดับหนึ่งของโลก โดยจังหวัดประจวบคีรีขันธ์มีพื้นที่เพาะปลูกสับปะรดมากที่สุดในประเทศ มีปริมาณผลผลิตประมาณ 8.03 แสนตันต่อปี หรือ 4,065 กิโลกรัมต่อไร่ [1] จากภาวะการชะลอตัวทางเศรษฐกิจและภาวะภัยแล้งส่งผลให้ราคาและผลผลิตของสินค้าเกษตรลดลงเกือบทุกกลุ่มสินค้า แต่ความต้องการใช้สับปะรดเป็นวัตถุดิบของโรงงานแปรรูปเพิ่มขึ้นทำให้ราคาที่เกษตรกรขายได้อยู่ในเกณฑ์ดี เกษตรกรในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์จึงมีการขยายพื้นที่เพาะปลูกสับปะรดอย่างรวดเร็วและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามยุทธศาสตร์เพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันด้านการผลิตและแปรรูปสินค้าเกษตรสู่ตลาดโลกตามแผนพัฒนาจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ พ.ศ. 2558-2561 [2] ในการเก็บเกี่ยวผลสับปะรดนั้นเกษตรกรจำเป็นต้องตัดใบสับปะรด (Pineapple leaf) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของลำต้นทิ้งก่อนจำนวนมากเพื่อความสะดวกในการเก็บเกี่ยวผลผลิต ใบสับปะรดมีสัดส่วนน้ำหนักประมาณ 39 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสับปะรดทั้งต้น ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสัดส่วนน้ำหนักผล [3] ดังนั้นในแต่ละรอบการผลิตจะมีใบสับปะรดสดที่ถูกตัดทิ้งประมาณ 4,000 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจำนวนมากเหล่านี้เป็นภาระต่อเกษตรกร เกษตรกรจึงมักเผาทำลายเป็นสาเหตุของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นำไปสู่มลพิษทางอากาศและปัญหาโลกร้อน หรือปล่อยทิ้งไว้ให้เน่าเปื่อยย่อยสลายไปเองตามธรรมชาติเนื่องจากต้องการประหยัดค่าแรงงานในการเคลื่อนย้ายวัสดุซึ่งใช้เวลานานและถ้าเน่าเปื่อยในสภาวะที่มีความชื้นสูงก็เป็นสาเหตุให้เกิดก๊าซมีเทนส่งผลต่อสภาวะโลกร้อนมากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 300 เท่า ซึ่งเป็นประเด็นที่สังคมโลกกำลังให้ความสำคัญค่อนข้างมาก คณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของปัญหานี้ จึงศึกษาเพื่อหาแนวทางในการบริหารจัดการวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเหล่านี้อย่างจริงจัง สร้างสรรค์ และปฏิบัติจริงได้ตามวิถีเกษตรประยุกต์ใช้ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและนวัตกรรมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยเน้นการพัฒนาในรูปแบบเทคโนโลยีเพื่อชุมชนที่ง่ายและไม่ซับซ้อนเกษตรกรสามารถนำไปต่อยอดในการผลิตเชิงวิสาหกิจชุมชนได้ โดยมีเป้าหมายสูงสุดเพื่อการสนับสนุนเศรษฐกิจฐานรากให้เข้มแข็งซึ่งนับว่าเป็นส่วนหนึ่งในการวางรากฐานเศรษฐกิจของประเทศให้พัฒนาอย่างมั่นคง มั่งคั่ง และยั่งยืน ตาม “โมเดลประเทศไทย 4.0” ที่มุ่งผลักดันการปฏิรูปโครงสร้างเศรษฐกิจของประเทศจากการผลิตในอุตสาหกรรมหนักไปสู่ “Value-Based Economy”

หรือ “เศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม” โดยตั้งอยู่บนพื้นฐานความคิดของปรัญชาเศรษฐกิจพอเพียง [4, 5]

ด้วยกระแสรักษ์โลกในปัจจุบันทำให้ผู้บริโภคหันมาเลือกใช้วัสดุใหม่ๆ เป็นวัสดุทดแทนไม้จริงมากขึ้น โดยเน้นวัสดุที่ใช้งานยาวนานและก่อสร้างเร็ว ประหยัดพลังงาน เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งวัสดุทดแทนไม้เป็นนวัตกรรมวัสดุที่ได้รับความนิยมมากและแนวโน้มทางการตลาดเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งในไทยและต่างประเทศ จึงมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์นวัตกรรมวัสดุทดแทนไม้ออกมาสู่ตลาดในรูปแบบต่างๆ อย่างต่อเนื่อง มีการพัฒนาทั้งทางด้านวัสดุ กระบวนผลิต การออกแบบ และคุณสมบัติ สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นงานออกแบบตกแต่งภายใน งานตกแต่งทางด้านสถาปัตยกรรมภายนอก อาทิ พื้น ฝ้า เพดาน ผนังอาคาร ระแนง กันสาดบันได ราวกันตก รั้ว และเฟอร์นิเจอร์ โดยนักวิจัยได้ศึกษาและพัฒนาเป็นวัสดุทดแทนไม้ (Wood-substituted composite) โดยเอาพอลิเมอร์มาผสมกับเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากพืชหลากหลายชนิด เช่น ปอกระเจา (Jute) ลินิน (Flax) และป่านศรนารายณ์ (Sisal) เป็นต้น หรือเส้นใยธรรมชาติจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น เส้นใยมะพร้าว เส้นใยปาล์มน้ำมัน เป็นต้น แทนการผสมกับผงไม้แบบดั้งเดิม เนื่องจากเส้นใยธรรมชาติเหล่านี้มีความแข็งแรงสูง ความหนาแน่นต่ำ น้ำหนักเบา และช่วยเสริมความแข็งแรงของวัสดุคอมโพสิตได้ดีกว่า [6, 7] นอกจากนี้ ยังมีการใส่สารตัวเติมหรือสารเติมแต่งอื่นๆ ร่วมด้วย เพื่อพัฒนาวัสดุทดแทนไม้ให้มีสมบัติเทียบเท่าหรือเหนือกว่าไม้จริง เช่น การเติมผงนาโนไทเทเนียมออกไซด์ [8, 9] ช่วยให้วัสดุทนทานต่อสภาพอากาศ ไม่สะสมความร้อนจากแสงอาทิตย์ การเติมสารหน่วงไฟ [10, 11] ช่วยปรับปรุงความต้านทานการติดไฟและไม่ลามไฟ เป็นต้น

จากการศึกษาพบว่า ใบสับปะรดวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตพื้นที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เป็นวัสดุที่มีศักยภาพ มีปริมาณมาก หาได้ง่าย และมีเกือบตลอดทั้งปี เป็นแหล่งเส้นใยที่มีคุณภาพ มีความแข็งแรงสูง เส้นเล็ก และมีน้ำหนักเบา [12] สามารถผลิตเป็นเส้นใยขนาดสั้นเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิต ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาเส้นใยขนาดสั้นจากใบสับปะรดด้วยวิธีเชิงกลและการผลิตวัสดุทดแทนไม้ผสมเส้นใยใบสับปะรดขนาดสั้น (Short pineapple leaf fiber) เพื่อเพิ่มมูลค่าให้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร สร้างรายได้เสริมแก่เกษตรกร ลดการเผาทำลายวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เป็นการอนุรักษ์ป่าไม้ ลดการตัดต้นไม้เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมผลิตแผ่นไม้ รักษาพื้นที่ป่าและความหลายทางชีวภาพอย่างสร้างสรรค์ โดยศึกษาผลของการเติมเส้นใยใบสับปะรดขนาดนั้นร่วมกับสารหน่วงไฟชนิดไดแอมโมเนียมฟอสเฟตและผงไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อสมบัติต่างๆ ของวัสดุคอมโพสิต ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และการลามไฟ

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาและเตรียมเส้นใยขนาดสั้นจากใบสับปะรดสำหรับใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิต

2. เพื่อพัฒนาวัสดุทดแทนไม้จากพอลิเมอร์คอมโพสิตผสมเส้นใยใบสับปะรดขนาดสั้น

3. เพื่อถ่ายทอดความรู้และเทคโนโลยีการผลิตวัสดุทดแทนไม้จากเส้นใยใบสับปะรดสำหรับวิสาหกิจชุมชน

3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ศึกษาและเตรียมเส้นใยขนาดสั้นจากใบสับปะรดด้วยวิธีเชิงกล

2. ศึกษาสัณฐานและลักษณะพื้นผิวของผงและเส้นใยใบสับปะรดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3. ศึกษาผลของปริมาณสัดส่วนของพอลิโพรพิลีนและเส้นใยใบสับปะรดต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต

4. ศึกษาผลการเติมสารหน่วงไฟชนิดไดแอมโมเนียมฟอสเฟตและผงไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต

5. ศึกษาสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์คอมโพสิต ได้แก่ ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ

6. ศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตด้วยการทดสอบแรงดัดโค้งตามมาตรฐาน ASTM D790

7. ศึกษาการลามไฟของพอลิเมอร์คอมโพสิตตามมาตรฐาน UL-94 แนวนอน

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เส้นใยใบสับปะรดขนาดสั้นจากการแปรรูปวัสดุเหลือทิ้งในการเพาะปลูกสับปะรด

2. ได้แนวทางในการพัฒนาวัสดุทดแทนไม้ผสมเส้นใยใบสับปะรดวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

3. เป็นการลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอย่างคุ้มค่า

4. บริหารจัดการการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอย่างเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

5. สามารถถ่ายทอดองค์ความรู้และเทคโนโลยีการผลิตวัสดุทดแทนไม้จากพอลิเมอร์คอมโพสิตผสมเส้นใยใบสับปะรดสำหรับวิสาหกิจชุมชนไปแก่กลุ่มเกษตรกรในพื้นที่เป้าหมาย อุตสาหกรรม และผู้ที่สนใจทั่วไป

6. เสริมสร้างความมั่นคงและยั่งยืนให้แก่วิสาหกิจชุมชน

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรม / ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. วัสดุทดแทนไม้ (Wood-substituted composites)

วัสดุทดแทนไม้เป็นวัสดุที่ประกอบจากส่วนประกอบ 2 ชนิดขึ้นไป โดยมีวัสดุไม้หรือเส้นใยธรรมชาติอื่นเป็นส่วนประกอบหนึ่งร่วมกับวัสดุอื่น เช่น พอลิเมอร์ หรือสารอนินทรีย์ ทั้งนี้ส่วนประกอบแต่ละชนิดจะต้องแสดงสมบัติของแต่ละส่วนแยกกันอย่างเด่นชัด แต่เมื่อนำมาผสมกันจะมีสมบัติที่ส่งเสริมกัน มีคุณสมบัติคล้ายคลึงและนำมาใช้ในงานทดแทนไม้จริงธรรมชาติ ในอุตสาหกรรมการผลิตวัสดุทดแทนไม้โดยทั่วไป เป็นการนำวัสดุเหลือใช้ต่างๆ เช่น เศษไม้หรือผงขี้เลื่อยมาผสมกับพลาสติกหรือวัสดุต่างๆ แล้วนำไปขึ้นรูปด้วยกระบวนการขึ้นรูป จะทำให้ได้วัสดุทดแทนไม้ซึ่งมีสมบัติที่ค่อนข้างใกล้เคียงกับไม้จริง ถึงแม้มีสมบัติทางด้านกำลังบางประการด้อยกว่าไม้จริง แต่มีสมบัติอื่นๆ ที่โดดเด่นกว่าไม้จริงอยู่หลายประการดังนี้

- ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ และมีพื้นผิวเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัว
- ทนทานต่อสภาวะแวดล้อมที่มีการกัดกร่อนรุนแรง เช่น น้ำทะเล และน้ำเสีย
- ทนต่อปลวก 100% และไม่เป็นผุยผง
- ไม่มีปัญหาเรื่องการขยายตัวเนื่องความชื้น
- ทนต่อการผุพังเนื่องจากความชื้นและเชื้อรา
- เป็นฉนวนกันความร้อนและเสียงได้อย่างดี
- ดัดโค้งและทำเป็นรูปร่างต่างๆ ได้ตามความต้องการ
- สามารถเลื่อย ตัด ดัด ติดกาว เจาะ และยึดด้วยตะปูได้ เช่นเดียวกับแผ่นไม้ชนิดอื่นๆ

2. ลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose)

ลิกโนเซลลูโลส หมายถึง ชีวมวลอินทรีย์ที่ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน พบมากในผนังเซลล์ของพืช ได้แก่ เศษวัสดุเหลือทิ้งจากไม้ทั้งไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อน เศษวัสดุจากการเกษตร เช่น ซังข้าวโพด เส้นใยข้าวโพด ชานอ้อย แกลบ และพวกฟางข้าว ขยะจากกระบวนการแปรรูปอาหารและจากบ้านเรือน รวมถึงมูลสัตว์ต่างๆ

2.1 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลส หมายถึง สารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccarides) เชิงเส้นตรงที่ประกอบด้วยหน่วยซ้ำๆ กันที่พบมากในผนังเซลล์พืช ซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์ที่เกิดจาก D-กลูโคสต่อกันเป็นสาย

ยาว ถึงแม้ว่าเซลลูโลสจะประกอบด้วยหน่วยของกลูโคสเหมือนกับแป้งแต่เชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกชนิดบีตา (β-1,4-glycosidic bones) เอนไซม์อะไมเลสจึงไม่สามารถย่อยได้ เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบที่พบมากในวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส โดยพบในส่วนของผนังเซลล์ของพืช อยู่รวมกับเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน ปริมาณที่พบแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดและส่วนของพืช เซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลถึง 3 หมู่ สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสจึงมีมาก และโครงสร้างของเซลลูโลสยังจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ จึงทำให้เซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูง อุณหภูมิการหลอมตัวจึงสูง มักจะเกิดการสลายตัวก่อนถึงอุณหภูมิหลอมตัว และมีความสามารถในการละลายต่ำ เซลลูโลสธรรมชาติจะมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยต่างกัน การกระจายน้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลสมีความสำคัญต่อสมบัติทางกายภาพ ส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะส่งผลให้สมบัติทางกายภาพไม่ดี

2.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses)

เฮมิเซลลูโลสเป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่งคล้ายเซลลูโลส แต่เป็นสารพอลิเมอร์ของพวก D-ไซโลส ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดียวหลายชนิด มีแขนงข้างเป็นน้ำตาลอะราบิโนสหรือน้ำตาลชนิดอื่นๆ มีสายสั้นกว่าเซลลูโลสประมาณ 10-100 เท่า เฮมิเซลลูโลสพบในเนื้อเยื่อของพืช พบมากในแกลบ ซังข้าวโพด เฮกโซแซน

2.3 ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินเป็นสารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compound) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนทั้งแบบเส้นตรงและวงอะโรมาติก มีโครงสร้างเป็นอสัณฐานและไม่ละลายน้ำ ลิกนินจะเกาะกันอยู่ในชั้นระหว่างเส้นใยทำหน้าที่ยึดเกาะเส้นใยเข้าด้วยกัน ไม่มีสมบัติทางการยืดหยุ่น จึงทำให้พืชที่มีลิกนินมากมีความแข็งแรงทนทาน ลิกนินจัดเป็นพอลิมอร์ชนิดเทอร์โมพลาสติก มีค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วประมาณ 90 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิหลอมเหลวประมาณ 170 องศาเซลเซียส ลิกนินไม่ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยกรด แต่ละลายในด่างร้อน ถูกออกซิไดซ์ได้อย่างรวดเร็วด้วยฟีนอล

3. เส้นใยธรรมชาติ (Natural fiber)

เส้นใยธรรมชาติเป็นเส้นใยที่ได้จากพืช สัตว์ และแร่ต่างๆ เส้นใยจากพืชทุกชนิดจะประกอบด้วยเซลลูโลสและมาจากหลายแหล่ง เช่น ก้าน ใบ ผล เมล็ด เนื้อ และเปลือก เป็นต้น ในขณะที่เส้นใยจากสัตว์ประกอบด้วยโปรตีน เช่น เส้นผม ไหม และขนสัตว์ เป็นต้น การนำเส้นใยธรรมชาติเหล่านี้มาประยุกต์ใช้เป็นสารเสริมแรงในคอมโพสิตมีมานานหลายสิบปี และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจาก

คอมโพสิตที่ได้มีราคาถูกลง มีความแข็งแรงสูง และน้ำหนักเบา เส้นใยจากพืชเป็นเส้นใยที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เช่น เส้นใยฝ้าย (Cotton) ปอกระเจา (Jute) ลินิน (Flax) ป่านลามี (Ramie) และป่านศรนารายณ์ (Sisal) เป็นต้น ซึ่งองค์ประกอบหลักที่สำคัญ คือ เซลลูโลส ประมาณ 50-55 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses) ประมาณ 15-25 เปอร์เซ็นต์ และลิกนิน (Lignin) ประมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์ ส่วนองค์ประกอบที่เหลือ ได้แก่ เพคติน (Pectin) ไขมัน (Wax) และน้ำ

4. เส้นใยใบสับปะรด (Pineapple leaf fiber, PALF)

สับปะรด (ชื่อทางวิทยาศาสตร์: Ananas comosus) เป็นพืชล้มลุกชนิดหนึ่งที่มีต้นกำเนิดมาจากบริเวณทวีปอเมริกาใต้ ลำต้นมีขนาดสูงประมาณ 80-100 เซนติเมตร ไม่มีก้านใบ ดอกช่อออกจากกลางต้น มีดอกย่อยจำนวนมาก ผลเป็นผลรวม รูปทรงกระบอก มีใบเป็นกระจุกที่ปลาย สับปะรดเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ดี เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย

เส้นใยใบสับปะรดมีลักษณะขาวสะอาด นุ่มมากและเหนียวมาก เส้นใยจากใบสับปะรดได้จากแหล่งวัตถุดิบที่ไม่ต้องมีต้นทุน มีปริมาณมากมายเหลือเฟือและไม่ได้มีการใช้ประโยชน์อย่างจริงจัง มีสัดส่วนเส้นใยในใบสับปะรดที่สูง ประกอบกับเส้นใยมีความแข็งแรงสูงเมื่อเทียบกับเส้นใยธรรมชาติอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติเชิงกลของเส้นใยธรรมชาติบางชนิดเทียบกับเส้นใยสังเคราะห์ [7]

ชนิดเส้นใย	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (μm)	ความทนแรงดึงสูงสุด (MPa)	มอดูลัส (GPa)
เส้นใยรามี	1.5	-	400-938	61.4-128
เส้นใยใบสับปะรด	1.44	20-80	413-1627	34.5-82.5
เส้นใยลินิน	1.5-3	-	450-1100	27.6
เส้นใยปอกระเจา	1.3-1.45	20-200	393-773	13-26.5
เส้นใยต้นป่าน	-	-	690	-
เยื่อไม้ต้นยาดำ	1.45	50-200	468-640	9.4-22
เส้นใยฝักฝ้าย	1.5-1.6	-	287-800	5.5-12.6
เส้นใยมะพร้าว	1.15	100-450	131-175	4-6
เส้นใยแก้ว	2.5	-	2000-3500	70
เส้นใยเคฟลาร์	2.5	-	4570	86
คาร์บอน	1.7	-	4000	230-240

การเตรียมเส้นใยจากใบสับปะรด โดยทั่วไป การแยกเส้นใยออกจากใบสับปะรดมี 4 วิธี ดังนี้

1) การขูดด้วยมือ วิธีการนี้เป็นวิธีการแบบดั้งเดิม และเก่าแก่ที่สุดโดยการใช้เศษกระเบื้องหรือของแข็งที่มีลักษณะเป็นแผ่นขูดลงบนใบสับปะรดเพื่อแยกเอาส่วนที่เป็นเนื้อเยื่อออกไปให้เหลือเฉพาะเส้นใย เส้นใยที่ได้จากกระบวนการนี้เป็นเส้นใยยาว และค่อนข้างหยาบ

2) การแช่ฟอก วิธีการนี้อาจจะนำใบสับปะรดทั้งใบไปแช่ในน้ำและรอจนกระทั่งเนื้อเยื่อของใบเปื่อยยุ่ย แล้วจึงใช้มือรูดเอาเฉพาะเส้นใย แต่เนื่องจากใบสับปะรดมีชั้นแวกซ์เคลือบอยู่ การแช่แบบธรรมดาจึงใช้เวลาค่อนข้างนาน การขูดเอาชั้นแวกซ์ออกและบีบใบให้เนื้อเยื่อแตกก่อนการแช่น้ำจะช่วยให้เนื้อเยื่อของใบเปื่อยยุ่ยได้เร็วขึ้น

3) การขูดด้วยเครื่อง วิธีการนี้จะใช้หลักการเดียวกับการขูดด้วยมือ เพื่อใช้สามารถทำงานได้เร็วขึ้น โดยใช้เครื่องที่เรียกว่า Decorticator ซึ่งได้รับการพัฒนามานานแล้ว ตัวเครื่องมีใบมีดเหล็กจำนวนหนึ่งทำหน้าที่ขูดเอาเนื้อเยื่อออกไป ใบมีดเหล็กเหล่านี้ติดอยู่บนแกนหมุนที่ขับด้วยเครื่องยนต์หรือมอเตอร์ไฟฟ้า

4) การบดย่อย วิธีการแยกเส้นใยแบบใหม่ที่ให้เส้นใยสั้น โดยการบดใบสับปะรดสดที่ตัดสั้นตามขนาดที่ต้องการ ส่วนที่ไม่ใช่เส้นใยซึ่งเป็นเนื้อเยื่อที่นุ่ม ไม่แข็งแรง จะถูกบดละเอียด ตากสิ่งที่ได้ให้แห้ง บดให้เส้นใยและอนุภาคที่ไม่ใช่เส้นใยหลุดออกจากกัน จากนั้นร่อนเพื่อแยกเส้นใย (PALF) และส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย (NFM) ออกจากกัน ผลผลิตเส้นใยที่ได้มีค่าสูงถึง 2.75% นอกจากนี้แล้ว วิธีการบดเชิงกลนี้ยังให้เส้นใยที่มีขนาดเล็กในช่วง 3–20 ไมโครเมตร

5. พอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP)

พอลิโพรพิลีนได้รับการพัฒนาและผลิตขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1957 เป็นเทอร์โมพลาสติกที่ผลิตจากโพรพิลีนมอนอเมอร์ แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามโครงสร้างของพอลิโพรพิลีน ได้แก่ ไอโซแทกทิกพอลิโพรพิลีน ซินดิโอแทกทิกพอลิโพรพิลีน และแอแทกทิกพอลิโพรพิลีน สามารถผลิตได้หลายรูปแบบ เช่น การบรรจุหีบห่อและการติดฉลาก สิ่งทอ ชิ้นส่วนพลาสติกและภาชนะบรรจุที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้หลายประเภท อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการ ชิ้นส่วนยานยนต์และอุปกรณ์ทางการแพทย์ เป็นต้น

พอลิโพรพิลีนมีลักษณะเป็นของแข็ง ไม่มีสี มีทั้งโปร่งใสและโปร่งแสง ผิวเป็นมันเงา ทนกรด เบส และสารเคมีต่างๆ ยกเว้นไฮโดรคาร์บอนและคลอริเนเทดไฮโดรคาร์บอน และมีคุณสมบัติที่โดดเด่นหลายประการ ได้แก่

- มีความแข็ง เปราะและแตกง่ายน้อยกว่า (HDPE) และมีความยืดหยุ่นน้อยกว่า (LDPE) มีผิวแข็ง ทนทานต่อการขีดข่วน คงตัวไม่เสียรูปง่าย

- เมื่อไม่ได้ผสมสีมีลักษณะขาวขุ่น ไม่ทึบแต่ไม่ใส ทึบแสงกว่าพอลิเอทิลีน (PE) แต่ไม่ใสเท่ากับพอลิสไตรีน (PS)

- มีน้ำหนักเบา เนื่องจากมีความหนาแน่นน้อยในช่วง 0.855-0.946 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จึงสามารถลอยน้ำได้เช่นเดียวกันกับพอลิเอทิลีน

- มีจุดหลอมเหลวสูง 130-171 °C สามารถทนอุณหภูมิสูงจึงนิยมใช้ในการฆ่าเชื้อ (Sterilization: 100 °C)

- เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก แม้ที่อุณหภูมิสูง

- มีความต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซได้ดี

- ทนทานต่อสารเคมีส่วนมาก ได้แก่ กรด ด่าง แอลกอฮอล์ ตัวทำละลายอินทรีย์ แต่จะเกิดการพองตัว อ่อนนิ่ม หรือพื้นผิวเป็นรอยได้ในสารเคมีที่มีองค์ประกอบเป็นคลอรีน หรือไฮโดรคาร์บอน และจะพองตัวและสลายตัวได้ในสารเคมีที่เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรง เช่น ไอกรดไนตริก กรดซัลฟิวริกเข้มข้นและร้อน

- การใช้ PP มีความปลอดภัยต่อสุขภาพโดยยังไม่มีรายงานถึงความเป็นพิษเมื่อต้องสัมผัสกับพลาสติกชนิดนี้ในระยะยาว

- พอลิโพรพิลีนมีการนำไปใช้ผลิตเป็นของเล่นเด็ก อุปกรณ์ภายในรถยนต์ เครื่องใช้ครัวเรือนพลาสติกสำหรับใช้งานในทางการแพทย์หรือในห้องปฏิบัติการเพื่ออบฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งอัดความดัน (Autoclave) และภาชนะบรรจุอาหารสำหรับไมโครเวฟได้

6. ผงไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide, TiO_2) [10, 11]

ผงไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารที่มีสีขาว เสถียรมาก ไม่ว่องไวต่อผลิตภัณฑ์ต่างๆ ไม่เป็นพิษและมีสมบัติการไหลดี ไม่มีกลิ่นและมีความสามารถในการดูดซับ ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มสารที่ปลอดภัย ปัจจุบันผงไทเทเนียมไดออกไซด์นิยมนำมาใช้ประโยชน์เกี่ยวข้องกับด้านต่างๆ ได้แก่

1) ใช้เป็นส่วนผสมของสีทาบ้าน ด้วยคุณสมบัติให้สารสีขาวสามารถดูดกลืน และหักเหช่วงแสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้สูง ขนาดอนุภาคเล็ก มีความยืดหยุ่นสูงทำให้ปกปิดรอยร้าว รอยตำหนิได้ดี และทนต่อสภาพความเป็นกรด-ด่าง ทนต่อแสง และความร้อน

2) ใช้เป็นสารเคลือบในอุตสาหกรรมต่างๆ อาทิ อุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมแก้วและกระจก อุตสาหกรรมผลิตกระเบื้อง อุตสาหกรรมโลหะสำหรับการเคลือบผิวโลหะ อุตสาหกรรมกระดาษสำหรับการเคลือบกระดาษ ด้วยคุณสมบัติที่สามารถยึดเกาะ และเคลือบติดผิวได้ง่าย มีความทนความร้อนต่อการกัดกร่อน

3) เป็นสารกึ่งตัวนำผลิตกระแสไฟฟ้า การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์นิยมใช้ผงไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นส่วนประกอบ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า

4) ใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องกับวงจรไฟฟ้ามักใช้ผงไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้า ด้วยคุณสมบัติมีค่าคงที่ทางไฟฟ้า และค่าความต้านทานไฟฟ้าสูง

5) ใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางต่างๆ เช่นครีมบำรุงผิว ครีมกันแดด แป้งรองพื้น และทาทับ เป็นต้น มีการใช้ผงไทเทเนียมไดออกไซด์เนื่องจากเป็นผงละเอียดสีขาว มีคุณสมบัติทึบแสง สามารถสะท้อน และหักเหแสงได้สูง และสะท้อนรังสียูวีได้ดี ไม่เป็นอันตรายต่อผิว

6) ใช้ในด้านการบำบัดมลพิษ

- ใช้เป็นสารดูดซับ โดยใช้งานในด้านการบำบัดมลพิษทางอากาศและมลพิษทางน้ำ ทำหน้าที่เป็นสารตัวดูดซับมลพิษ

- ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงผงไทเทเนียมไดออกไซด์เมื่อได้รับแสงและความร้อนจะแตกตัวให้สารและรังสีที่มีคุณสมบัติหลายประการที่สามารถกำจัดของเสียหรือมลพิษในน้ำและอากาศ รวมถึงการกำจัดและต้านเชื้อจุลินทรีย์

7. สารหน่วงไฟ (Fire retardants)

กระบวนการเผาไหม้ของวัสดุพอลิเมอร์เป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและประกอบด้วยหลายขั้นตอน โดยขั้นริเริ่มในกระบวนการเผาไหม้ประกอบด้วยสามขั้นตอนสำคัญ คือ การได้รับความร้อน (Heating) การสลายตัวทางความร้อน (Decompose or pyrolysis) และการลุกติดไฟ (Ignition) โดยทั่วไปการติดไฟจะเกิดจากการได้รับความร้อนจากภายนอก เช่น ความร้อนจากเปลวไฟหรือประกายไฟ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเพียงพอกระบวนการดังกล่าวก็สามารถเกิดได้เอง (Autoignition) หลังจากการเกิดการติดไฟอุณหภูมิของวัสดุพอลิเมอร์จะสูงขึ้นเนื่องจากการได้รับความร้อนจากภายนอก ความร้อนจะเร่งให้เกิดการสลายตัวซึ่งจะทำหน้าที่เป็นเชื้อเพลิงสนับสนุนให้กระบวนการเผาไหม้เกิดได้อย่างต่อเนื่อง

การสลายตัวทางความร้อนเป็นกระบวนการดูดความร้อนที่ต้องการพลังงานสูงเพียงพอในการทำให้เกิดการแตกพันธะ ซึ่งพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลต่างกัน ช่วงอุณหภูมิในการสลายตัวก็จะแตกต่างกัน ซึ่งการเติมสารต่างๆ สามารถทำให้ช่วงอุณหภูมิดังกล่าวเปลี่ยนแปลงไป

การลุกติดไฟเกิดจากสารผลิตภัณฑ์ที่สามารถติดไฟได้ หรือเชื้อเพลิงที่เกิดจากสลายตัวของพอลิเมอร์รวมกันปริมาณออกซิเจนที่อยู่ในบรรยากาศอย่างเพียงพอ จึงสามารถเกิดการลุกไฟได้เนื่องจากการได้รับความร้อนจากภายนอกหรือการติดไฟได้เองเมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงพอ โดยทั่วไปแล้ว

การลุกติดไฟขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ปริมาณออกซิเจน อุณหภูมิ สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของพอลิเมอร์ การลุกติดไฟเป็นกระบวนการคายความร้อน ความร้อนที่ได้จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานที่ทำให้เกิดการสลายตัวของพอลิเมอร์ที่เป็นกระบวนการดูดความร้อน ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นที่ให้เกิดการลามไฟ

การลามไฟเกิดขึ้นเมื่ออัตราการสลายตัวของพอลิเมอร์ถูกเร่งโดยความร้อนที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ ทำให้ปริมาณเชื้อเพลิงที่สามารถติดไฟได้เพิ่มขึ้น นำไปสู่การลามไฟที่มีบริเวณพื้นผิวของวัสดุพอลิเมอร์ เหตุการณ์ดังกล่าวจะถูกควบคุมโดยปริมาณความร้อนในการเผาไหม้ (Heat of combustion) ของพอลิเมอร์ชนิดนั้นๆ ยิ่งปริมาณความร้อนดังกล่าวมีค่ามากขึ้น ความร้อนที่ถูกส่งกลับไปทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องก็จะเพิ่มขึ้น

7.1 กระบวนการหน่วงไฟ

ในอุตสาหกรรมพลาสติกและสิ่งทอ ประเด็นสำคัญที่ควรคำนึงถึงเกี่ยวกับการป้องกันการติดไฟและความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจะเริ่มตั้งแต่การพิจารณาว่า ทำอย่างไรจึงจะสามารถลดความสามารถในการติดไฟของพอลิเมอร์หรือสามารถหน่วงการติดไฟของวัสดุให้นานที่สุดและถ้าวัสดุเกิดการติดไฟแล้ว ทำอย่างไรจึงจะทำให้กระบวนการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นมีประสิทธิภาพต่ำสุด การลดความสามารถในการติดไฟของพอลิเมอร์ประกอบด้วยสามแนวทาง คือ

1) เลือกใช้พอลิเมอร์ที่มีสมบัติหน่วงไฟในตัวเอง เช่น พอลิเตตระฟลูออโรเอททิลีน พอลิอิไมด์ พอลิออกซาโซลเป็นต้น

2) ปรับปรุงโครงสร้างทางเคมีของพอลิเมอร์ที่มีอยู่โดยการเตรียมพอลิเมอร์ร่วม

3) โดยการเติมสารหน่วงไฟ ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและสะดวกที่สุดซึ่งสามารถลดอัตราการเผาไหม้ด้วยแนวทางต่างๆ ดังนี้

- ลดปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นเพื่อลดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง
- ปรับปรุงกระบวนการสลายตัวทางความร้อนของพอลิเมอร์เพื่อลดปริมาณสารระเหยที่สามารถติดไฟได้ง่ายและเพิ่มปริมาณเถ้าซึ่งทนทานการติดไฟ (Char) จะทำหน้าที่เป็นแนวกั้นระหว่างพอลิเมอร์กับเปลวไฟ
- ป้องกันเปลวไฟที่เกิดจากการเผาไหม้สัมผัสกับออกซิเจน
- ใช้สารประกอบที่สามารถปลดปล่อยอะตอมของคลอรีนหรือโบรมีนเมื่อได้รับความร้อนสูงใกล้เคียงอุณหภูมิที่ทำให้เกิดการลุกติดไฟ เนื่องจากอะตอมของคลอรีนสามารถยับยั้งการติดไฟได้

- ลดความร้อนที่ย้อยกลับมาเร่งกระบวนการสลายของพอลิเมอร์โดยการเติมสารเติมแต่งบางชนิด เช่น อะลูมิเนียมออกไซด์ไตรไฮเดรต (ATH, Al(OH)3) ซึ่งจะดูดความร้อนเมื่อเกิดการสลายตัว หรือทำให้เกิดเถ้าปกคลุมผิวของวัสดุที่กำลังเผาไหม้ซึ่งจะช่วยป้องกันการสัมผัสกับความร้อน

- พัฒนาระบบพอลิเมอร์ที่สามารถป้องกันการติดไฟได้ตั้งแต่เริ่มต้น การหน่วงไฟโดยการเติมสารหน่วงไฟนั้นสามารถทำได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ จึงเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมสูง

7.2 ลักษณะการทำงานของสารหน่วงไฟ สามารถแบ่งได้เป็นสองแบบ คือ

1) การหน่วงไฟด้วยกระบวนการทางกายภาพ สามารถทำให้เกิดได้หลายวิธีดังนี้

- การทำให้ชั้นปกคลุมผิว เกิดเมื่อสารหน่วงไฟที่เติมลงไปสามารถทำให้เกิดสารประกอบที่มีค่าการเทความร้อนต่ำปกคลุมพื้นผิวของวัสดุที่เกิดการเผาไหม้ ซึ่งจะช่วยลดประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนแหล่งให้ความร้อนไปยังวัสดุ จึงทำให้อัตราการสลายตัวของพอลิเมอร์และการส่งกลับของความร้อนลดลง ปรากฏการณ์ดังกล่าวถูกนำไปใช้เป็นหลักการทำงานของสารหน่วงไฟแบบพองตัว (Intumescent flame retardant) ซึ่งเกิดขึ้นโดยการสลายตัวของสารประกอบฟอสฟอรัส ได้กรดฟอสฟอริกที่มีเสถียรภาพทางความร้อนสูง และทำหน้าที่เป็นชั้นกั้นความร้อน นอกจากนี้ กลไกการทำงานของสารหน่วงไฟที่ประกอบด้วยกรดบอริก บอเรต หรือซิลิกอน ก็ให้ผลในทำนองเดียวกัน

- การทำให้เย็น เกิดจากการสลายตัวของสารเติมแต่งโดยกระบวนการดูดความร้อน ทำให้ความร้อนของวัสดุที่ถูกเผาไหม้ลดลง และมีค่าต่ำกว่าความร้อนที่ต้องใช้เพื่อให้สามารถเกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างของสารหน่วงไฟประเภทนี้ ได้แก่ อะลูมิเนียมไตรไฮดรอกไซด์ (ATH) ซึ่งประสิทธิภาพในการหน่วงไฟจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนผสมกับพอลิเมอร์ การเจือจางเชื้อเพลิงเกิดจากการทำงานร่วมกันของสารเฉื่อย เช่น ชอล์ก และสารเติมแต่งที่สลายตัวให้ก๊าซเฉื่อย ซึ่งสามารถเจือจางความเข้มข้นของเชื้อเพลิงทั้งที่เป็นของแข็งและก๊าซ

2) การหน่วงไฟด้วยกระบวนการทางเคมี สามารถแบ่งตามปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

- ปฏิกิริยาที่เกิดในส่วนอัดตัวกันแน่น (Condensed phase) ในส่วนอัดตัวกันแน่นนี้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีสองแบบ แบบแรก สารหน่วงไฟจะเร่งให้พอลิเมอร์สลายตัวทำให้สามารถไหลได้ง่ายขึ้น จึงสามารถปรับตัวเป็นทรงกลมและกันเปลวไฟออกไปได้ แบบที่สอง สารหน่วงไฟจะสามารถทำให้เกิดชั้นของเถ้าที่มีโครงสร้างคล้ายเซรามิกหรือแก้วบนพื้นผิวของพอลิเมอร์ได้

- ปฏิกิริยาที่เกิดในส่วนของก๊าซ ปฏิกิริยาที่เกิดในส่วนที่เป็นก๊าซจะเกิดขึ้นเมื่อสารหน่วงไฟหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสลายตัวของสารหน่วงไฟสามารถเข้าไปรบกวนกลไกการเกิดอนุภาคของกระบวนการเผาไหม้ ซึ่งเกิดในส่วนที่เป็นก๊าซจึงสามารถหยุดคายความร้อนจากการเผาไหม้ ทำให้

ระบบเย็นตัวลง นอกจากนี้ยังช่วยลดปริมาณสารที่ติดไฟได้ซึ่งทำหน้าที่เป็นเชื้อเพลิงเอื้อให้เกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงสามารถยับยั้งการลามไฟได้ในที่สุด

ตัวอย่างสารหน่วงไฟในกลุ่มนี้ เช่น ออกไซด์ของโลหะ สำหรับการหน่วงไฟในพอลิเมอร์โดยการเติมสารเติมแต่ง พบว่า ระบบสารหน่วงไฟที่ใช้อาจประกอบด้วยสารหน่วงไฟหนึ่งชนิดหรือมากกว่า โดยการเติมแต่งบางชนิดอาจสนับสนุนให้สารหน่วงไฟสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพขึ้น (Synergistic effect) ซึ่งโดยมากจะทำให้สามารถลดปริมาณการใช้สารหน่วงไฟลงได้

8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

P. Fei และคณะ [8] ได้ศึกษาผลกระทบของผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เฟสรูไทล์ต่อความต้านทานต่อสภาพอากาศของวัสดุคอมโพสิตจากพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงผสมเส้นใยไผ่ ทำการทดสอบโดยใช้เครื่องเร่งสภาวะด้วยการแผ่รังสีซีนอน จากผลการทดสอบพบว่า การเติมผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เฟสรูไทล์ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อสภาพอากาศของวัสดุคอมโพสิต เนื่องจากการเติมผงนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เฟสรูไทล์ไม่เพียงแต่ต้านทานการเสื่อมสภาพที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากแสงแดด ยังช่วยป้องกันการเสื่อมสภาพที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากความร้อนอีกด้วย

I. Turku และ T. Kärki [9] ได้ศึกษาอิทธิพลของสารหน่วงไฟต่อความคงทนของวัสดุทดแทนไม้ที่ทำจากพอลิโพรพิลีนผสมเยื่อกระดาษ โดยสารหน่วงไฟที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ อะลูมินัมไตรไฮเดรต (ATH) ซิงค์บอเรต (ZB) เมลามีน ผงกราไฟต์ และผงไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) พบว่า ผงกราไฟต์ ATH และ TiO_2 ป้องกันการเปลี่ยนสีจากสภาพอากาศของวัสดุได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่การเปลี่ยนสีพบในวัสดุที่เติม ZB จากการวิเคราะห์ FTIR พบการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่พื้นผิวของวัสดุคอมโพสิตหลังจากการทดสอบสภาพอากาศ เนื่องจากการสะสมของสารประกอบที่มีหมู่ไวนิลชนิดไม่อิ่มตัวและหมู่คาร์บอนิล ซึ่งปรากฏกระบวนย่อยสลายอย่างชัดเจน สมบัติเชิงกลภายใต้แรงดึงมีแนวโน้มลดลงระหว่างการเสื่อมสภาพ การแผ่รังสียูวีและน้ำส่งผลต่อการเกิดรอยแตกบนพื้นผิวของวัสดุ

B. K. Deka และ T. K. Maji [13] ได้พัฒนาวัสดุทดแทนไม้โดยใช้พอลิเมอร์เมทริกซ์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) พอลิโพรพิลีน (PP) และพอลิไวนิลครอไรด์ (PVC) ผสมกับผงไม้และพอลิเอทิลีนโคไกลซิดิลเมทาคริเลต (PE-CO-GMA) ซึ่งใช้เป็นสารปรับผิว พบว่าการเติมดินเหนียวและผงไทเทเนียมไดออกไซด์ในวัสดุทดแทนไม้ช่วยลดการดูดซึมน้ำเนื่องจากเส้นทางในการดูดซึมน้ำที่ซับซ้อน และปรับปรุงสมบัติต้านการติดไฟให้ดีขึ้นอีกด้วย

L. M. Matuana และคณะ [14] ได้ศึกษาการทนต่อแสงยูวีของคอมโพสิตที่ผสมกับเส้นใยไม้ โดยศึกษาอิทธิพลการเติมผงไทเทเนียมไดออกไซด์ลงไปส่งผลต่อสมบัติต่างๆ ของคอมโพสิต ซึ่งเตรียมด้วยการผสมแบบแห้งโดยการเขย่าให้เข้ากัน ผสมผ่านเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ ผลการศึกษาพบว่า การเติมผงไทเทเนียมไดออกไซด์ปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ช่วยให้คอมโพสิตเสื่อมสภาพจากแสงยูวีลดลง

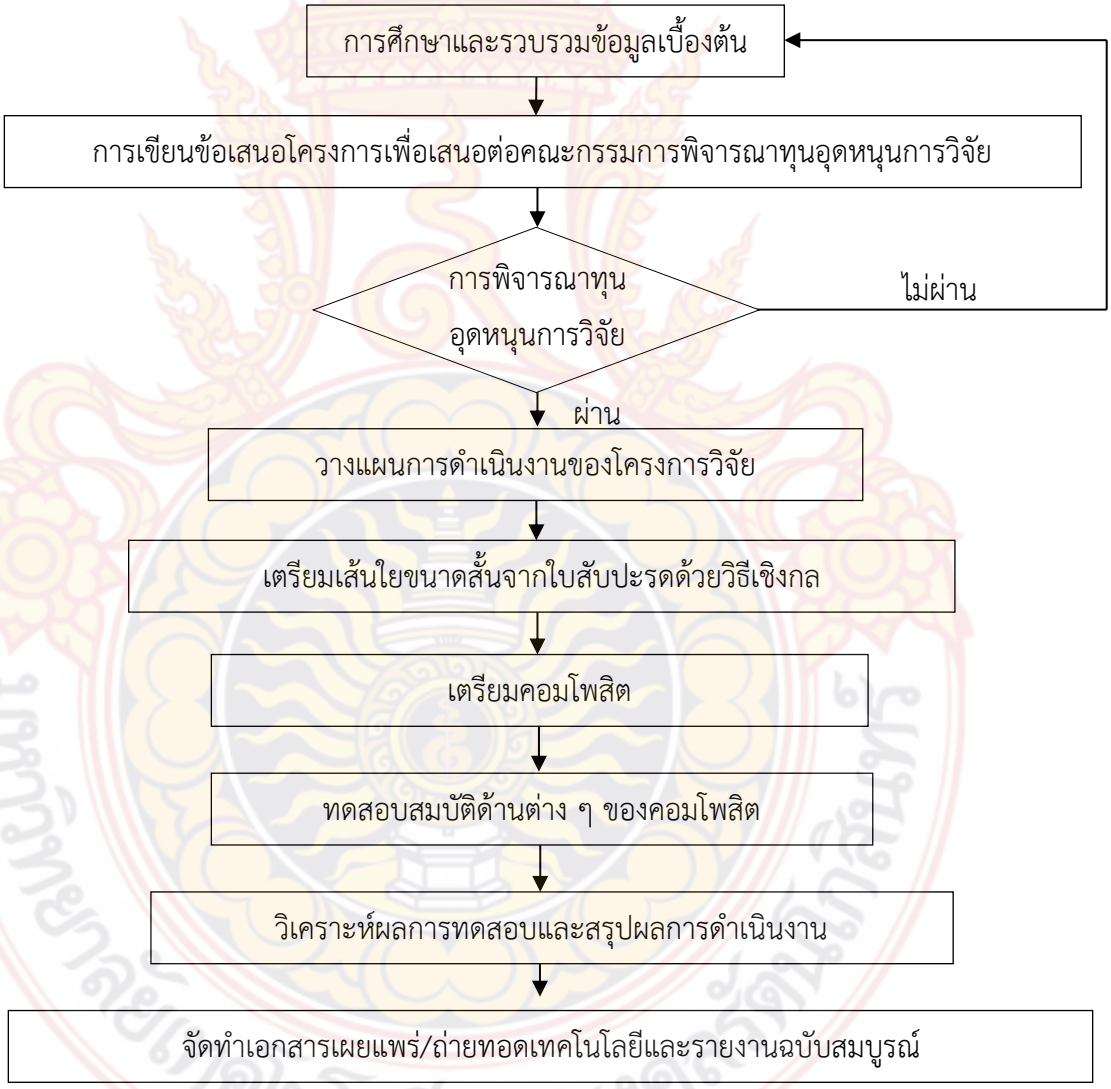
Y. Arao และคณะ [10] ได้ศึกษาผลของการเติมสารหน่วงไฟในพอลิโพรพิลีนผสมผงไม้ เนื่องจากการเติมผงไม้เพื่อช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของเทอร์โมพลาสติก แต่อัตราการเผาไหม้ก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย จึงเติมแอมโมเนียมโพลีฟอสเฟต (APP) เมลามีนฟอสเฟต (MPP) และอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ เพื่อปรับปรุงสมบัติการติดไฟของคอมโพสิตไม้เทียม จากการทดสอบพบว่า การเติมแอมโมเนียมโพลีฟอสเฟตที่ปริมาณ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ลงในพอลิโพรพิลีนเมทริกซ์ไม่สามารถทำให้พอลิโพรพิลีนดับไฟเองได้ ในขณะที่การเติมแอมโมเนียมโพลีฟอสเฟตที่ปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในคอมโพสิตผสมผงไม้ทำให้คอมโพสิตสามารถดับไฟเองได้ และพบว่าการเติมสารหน่วงไฟทำให้ความแข็งแกร่งและมอดูลัสภายใต้แรงดึงลดลง

N. M. Stark และคณะ [11] ได้ศึกษาผลของการเติมสารหน่วงไฟในพอลิเอทิลีนคอมโพสิตเสริมแรงด้วยผงไม้ โดยศึกษาสารหน่วงไฟทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ เดคาโบรโมไดฟีนิลออกไซด์ แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ซิงค์บอเรต เมลามีนฟอสเฟต และแอมโมเนียโพลีฟอสเฟต ซึ่งพบว่าแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์และแอมโมเนียมโพลีฟอสเฟตปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สามารถปรับปรุงสมบัติต้านการติดไฟของคอมโพสิตได้มากที่สุด

บทที่ 3
ระเบียบวิธีการวิจัย

ในโครงการวิจัยจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีลำดับขั้นตอนการดำเนินงานที่ชัดเจน เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการปฏิบัติงานดังต่อไปนี้

1. วิธีการดำเนินการวิจัย



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

2. วัตถุดิบและสารเคมี

พอลิโพรพิลีน เกรด EL-ProTM จากบริษัท ไทยโพลิโพรไพลีน จำกัด มีลักษณะเป็นเม็ดใส มีค่าความหนาแน่น 0.90-0.91 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร อัตราการหลอมไหล 2.5 กรัมต่อนาที และอุณหภูมิหลอมเหลว 140-170 องศาเซลเซียส ผงไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) จาก Sigma-Aldrich Co.LLC มีลักษณะเป็นผงสีขาวละเอียด ไดแอมโมเนียมฟอสเฟต ($(NH4)_2HPO_4$, DAP) จาก Ajax Finechem Pty.Ltd มีลักษณะเกร็ดสีขาว เส้นใยใบสับปะรด (PALF) ได้จากใบสับปะรดสดซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในพื้นที่เพาะปลูกสับปะรดพันธุ์ปัตตาเวียภายภายในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์

3. การเตรียมเส้นใยขนาดสั้นจากใบสับปะรดด้วยวิธีเชิงกล

งานวิจัยนี้ได้เลือกวิธีการใช้ประโยชน์จากใบสับปะรดวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในพื้นที่การวิจัยด้วยการแปรรูปเป็นเส้นใยขนาดสั้นด้วยวิธีเชิงกล มีวิธีการดังนี้

1) นำใบสับปะรดสดมาทำความสะอาดแล้วสับย่อยเป็นชิ้นเล็ก ๆ ด้วยเครื่องสับย่อยใบสับปะรดที่พัฒนาขึ้น

2) บดใบสับปะรดที่ผ่านการผึ่งและอบแห้งแล้วด้วยเครื่องบดลดขนาดอนุภาค

3) คัดแยกเส้นใยใบสับปะรดออกจากผงเนื้อใบสับปะรดด้วยเครื่องเขย่าคัดแยกอนุภาคด้วยตะแกรงร่อน แล้วนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และบรรจุเก็บใส่ถุงซิปล็อคเพื่อรอการศึกษาและใช้งานต่อไป

4. การเตรียมคอมโพสิต

งานวิจัยนี้มุ่งพัฒนาคอมโพสิตจากพอลิโพรพิลีนผสมเส้นใยใบสับปะรดขนาดสั้นที่ปรับแต่งสมบัติด้วยผงไทเทเนียมไดออกไซด์และสารหน่วงไฟชนิดแอมโมเนียมโพลีฟอสเฟต เพื่อส่งเสริมการพัฒนาผลิตภัณฑ์วัสดุทดแทนไม้ในระดับวิสาหกิจชุมชน มีขั้นตอนดังนี้

1) ชั่งเม็ดพอลิเมอร์ เส้นใยใบสับปะรดขนาดสั้น และสารเติมแต่งตามน้ำหนักที่ต้องการโดยปริมาณสัดส่วนการผสมในแต่ละสูตร

2) ผสมสูตรคอมโพสิตที่สัดส่วนต่างๆ ด้วยเครื่องผสมแบบปิด (Internal Mixer)

3) ขึ้นรูปคอมโพสิตที่ผสมแล้วด้วยเครื่องอัดอัตโนมัติ (Hydraulic Compression Molding Machine) ตามรูปแบบและขนาดที่ต้องการ

4) ปล่อยให้คอมโพสิตเย็นตัวตามธรรมชาติแล้วนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ แล้วนำชิ้นงานไปตัดและขัดก่อนนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ

5. การทดสอบและวิเคราะห์สมบัติ

5.1 ลักษณะทางกายภาพ (Morphology)

การศึกษาลักษณะรูปร่างสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย และศึกษาสัณฐานวิทยาของคอมโพสิตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่งกราด (SEM) ยี่ห้อ Jeol รุ่น JSM-6510LV และเทคนิคจุลวิเคราะห์ (SEM/EDS) โดยชิ้นงานตัวอย่างผ่านการอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และฉาบผิวด้วยโลหะผสมระหว่างทองกับพลาเดียม (Au-Pd) ก่อนการศึกษา

5.2 การทดสอบหาความหนาแน่น (Density)

การทดสอบหาความหนาแน่นตามมาตรฐาน ASTM D792 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วยชุดทดสอบความหนาแน่น รุ่น NewClassic MS ขนาดชิ้นงานทดสอบกว้าง 10 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร และยาว 10 มิลลิเมตร จำนวน 5 ชิ้น ทำการวางชิ้นงานลงบนชุดทดสอบความหนาแน่นเพื่ออ่านค่าและหาความหนาแน่นเฉลี่ย

5.3 การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water absorption)

การทดสอบการดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน ASTM D570 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยเตรียมชิ้นงานทดสอบกว้าง 10 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร และยาว 10 มิลลิเมตร ทำการทดสอบแช่น้ำเป็นเวลา 72 ชั่วโมง โดยวางชิ้นทดสอบในระนาบเดียวกับระดับผิวน้ำโดยให้ขอบบนอยู่ใต้ผิวน้ำ และนำชิ้นงานออกจากน้ำโดยใช้ผ้าที่ดูดซับน้ำที่ผิวชิ้นงานจนกระทั่งไม่มีน้ำเคลือบที่ผิวชิ้นงานแล้วชั่งน้ำหนักชิ้นงาน

5.4 การทดสอบแรงดัดโค้ง (Flexural Testing)

การทดสอบสมบัติภายใต้แรงดัดโค้งตามมาตรฐาน ASTM D790 ชิ้นทดสอบกว้าง 10 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร และยาว 80 มิลลิเมตร ทดสอบวิธีใส่แรง 3 จุด (Three-point bending) ด้วยเครื่องทดสอบเชิงกลเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine) รุ่น Instron 5566 โดยปรับระยะห่างระหว่างฐานรองรับ 16 เท่าของความหนาของชิ้นงาน น้ำหนักหัวกด 1 กิโลกรัม ความเร็วของหัวกด 1.33 มิลลิเมตร/นาที ทำการทดสอบอย่างน้อย 5 ชิ้น รายงานค่าเฉลี่ย รายงานผลการทดสอบในรูปของ มอดูลัสภายใต้แรงดัดโค้ง (Flexural Modulus) และเปอร์เซ็นการยืดตัว (%Elongation)

5.5 การทดสอบการลามไฟ (Flammability Testing)

การทดสอบการลามไฟตามมาตรฐาน UL-94 แบบแนวนอน (Horizontal Burning Test, HB) ที่อุณหภูมิปกติ โดยเตรียมชิ้นงานทดสอบกว้าง 13 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร และยาว 125 มิลลิเมตร โดยจะมีการจับยึดชิ้นทดสอบในลักษณะแนวนอนแล้วจุดไฟและจับเวลาการติดไฟ

6. ระยะเวลาทำการวิจัยและแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

กำหนดระยะเวลาการดำเนินงานเริ่มตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2560 ถึง 31 มีนาคม 2562 ซึ่งมีแผนการดำเนินงานตลอดโครงการมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 2 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

กิจกรรม	2560			2561												2562		
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
ศึกษาปัญหาวัสดุเหลือทิ้งในพื้นที่เพาะปลูกสับปะรดภายในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์	X																	
	X																	
ศึกษาข้อมูล/งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและวางแผนการดำเนินงาน	X	X	X	X	X	X	X	X										
	X	X	X	X	X	X	X	X										
เตรียมเส้นใยขนาดสั้นจากใบสับปะรดด้วยวิธีเชิงกล		X	X	X	X													
							X	X	X	X								
เตรียมคอมโพสิต				X	X	X	X	X	X									
									X	X	X							
ทดสอบสมบัติด้านต่าง ๆ ของคอมโพสิต						X	X	X	X									
											X	X	X	X				
วิเคราะห์ผลการทดสอบและสรุปผลการดำเนินงาน									X	X	X							
													X	X	X	X		
เตรียมเอกสารเผยแพร่และถ่ายทอดเทคโนโลยี											X	X						
																X	X	
จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์และปิดโครงการ												X						
																		X

หมายเหตุ

X	แผนงานวิจัย (ตามที่ระบุในข้อเสนอโครงการ)
X	การดำเนินงานที่ปฏิบัติแล้ว

7. งบประมาณของโครงการวิจัย

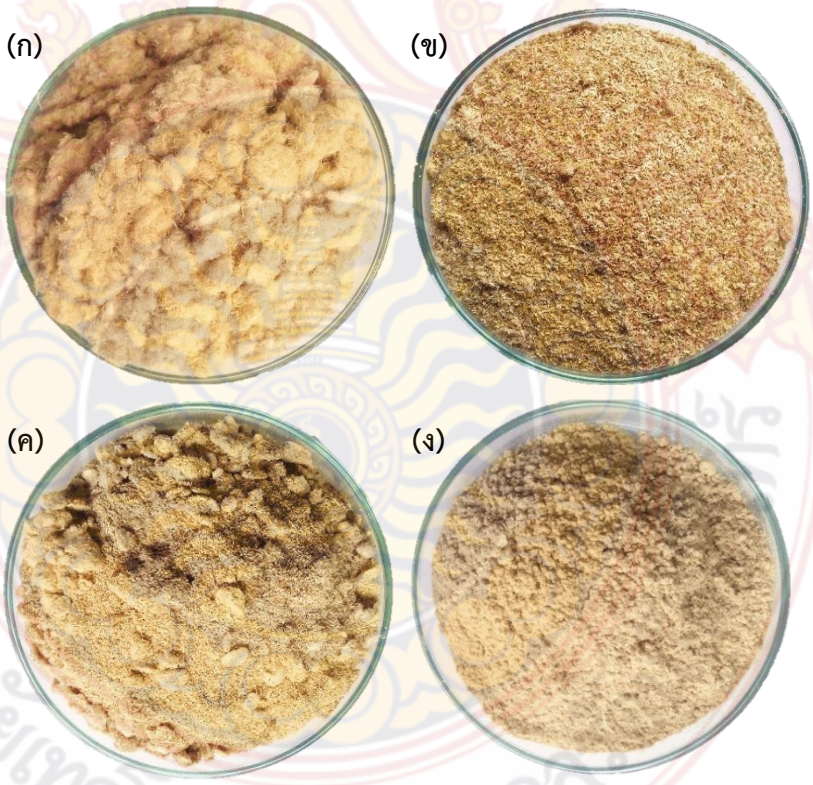
ตารางที่ 3 งบประมาณของโครงการวิจัย

ประเภทงบประมาณ	รายละเอียด	จำนวน (บาท)
งบบุคลากร	- ค่าตอบแทนนักวิจัย (ไม่เกิน 10% ของงบประมาณรวม)	50,500
งบดำเนินงาน : ค่าใช้สอย	- ค่าจ้างขนส่งวัสดุวิจัย	10,000
	- ค่าจ้างสับย่อยใบสับปะรด	25,000
	- ค่าจ้างบดและคัดแยกขนาดเส้นใย	65,000
	- ค่าจ้างออกแบบและทำแม่พิมพ์สแตนเลสสำหรับอัดขึ้นรูป	18,000
	- ค่าจ้างทำชุดอุปกรณ์ทดสอบการลามไฟของวัสดุ	20,000
	- ค่าจ้างผสมสูตรและขึ้นรูปคอมโพสิต	87,500
	- ค่าจ้างทดสอบและวิเคราะห์สมบัติของคอมโพสิต	115,000
	- ค่าวิเคราะห์ SEM/EDS	20,000
	- ค่าจ้างพิมพ์ผลการวิจัยและจัดทำรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์	9,500
	- ค่าจ้างทำเอกสารและสื่อสิ่งพิมพ์ประกอบการเผยแพร่งานวิจัย	8,000
	- ค่าจ้างพิมพ์พร้อมตรวจสอบแก้ไขเอกสารเพื่อการเผยแพร่งานวิจัยหรือส่งตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ	10,000
งบดำเนินงาน : ค่าวัสดุ	- ค่าวัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	30,000
	- ค่าวัสดุสำนักงาน	5,000
ค่าสาธารณูปโภค	- ค่าสาธารณูปโภค จ่ายให้หน่วยงานในอัตราไม่น้อยกว่า 5% ของงบดำเนินงาน	21,400
ค่าดำเนินการเข้ากองทุนสนับสนุนงานวิจัย	- ค่าดำเนินการเข้ากองทุนสนับสนุนงานวิจัย (2% ของงบประมาณที่รับอนุมัติ)	10,100
	รวมตลอดโครงการ	**505,000**

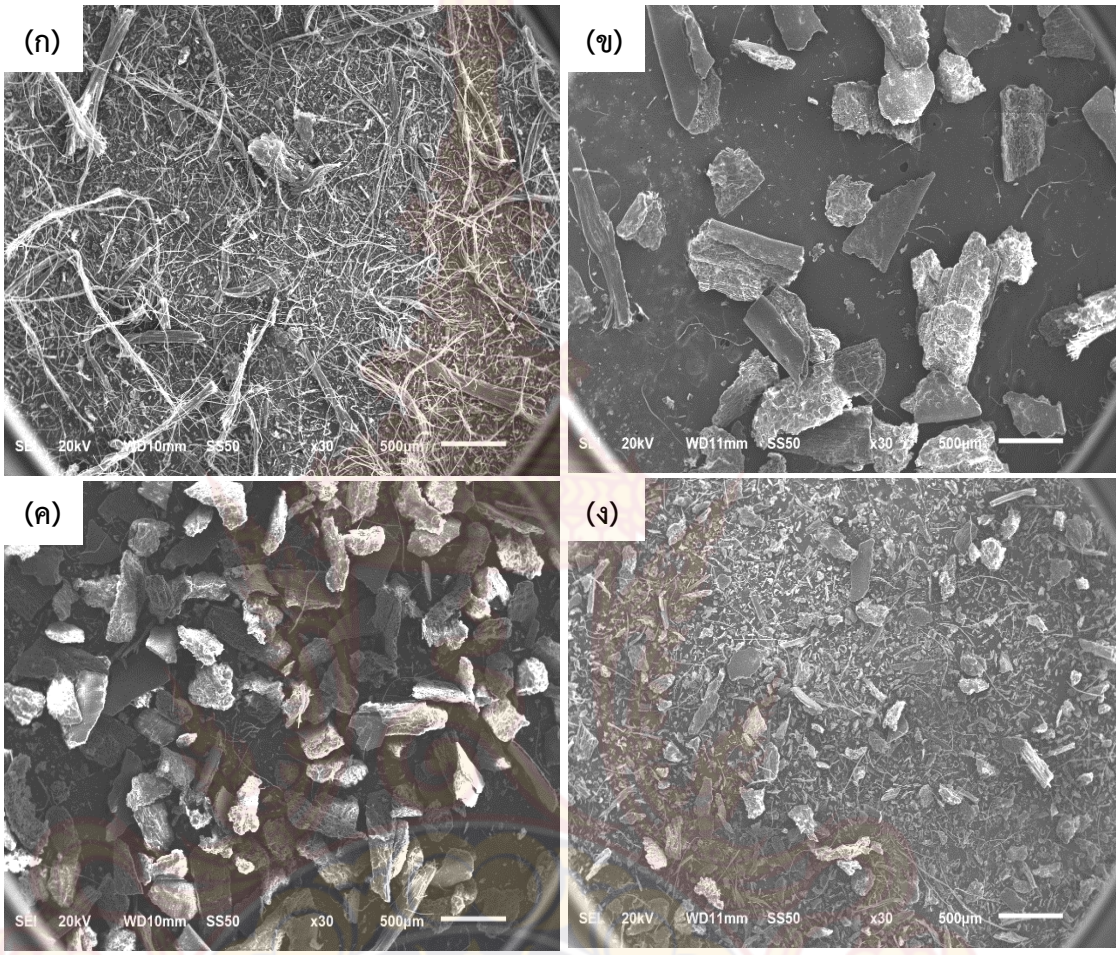
บทที่ 4
ผลการวิจัยและผลการวิเคราะห์

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการประยุกต์ใช้ใบสับปะรดวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรภายในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์สำหรับการพัฒนาวัสดุทดแทนไม้ผสมเส้นใยใบสับปะรดขนาดสั้น เพื่อเพิ่มมูลค่าให้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ลดการเผาทำลายวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ลดการตัดต้นไม้เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมผลิตแผ่นไม้ ซึ่งเป็นการอนุรักษ์ป่าไม้และความหลายทางชีวภาพอย่างสร้างสรรค์ โดยศึกษาผลของการเติมเส้นใยใบสับปะรดขนาดสั้นร่วมกับสารหน่วงไฟชนิดไดแอมโมเนียมฟอสเฟตและผงไทเทเนียมไดออกไซด์ต่อสมบัติด้านต่าง ๆ ของวัสดุคอมโพสิต ซึ่งผลการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนดังระบุไว้ข้างต้นมีรายละเอียดดังนี้

1. สัณฐานวิทยาของเส้นใยสับปะรดขนาดสั้น



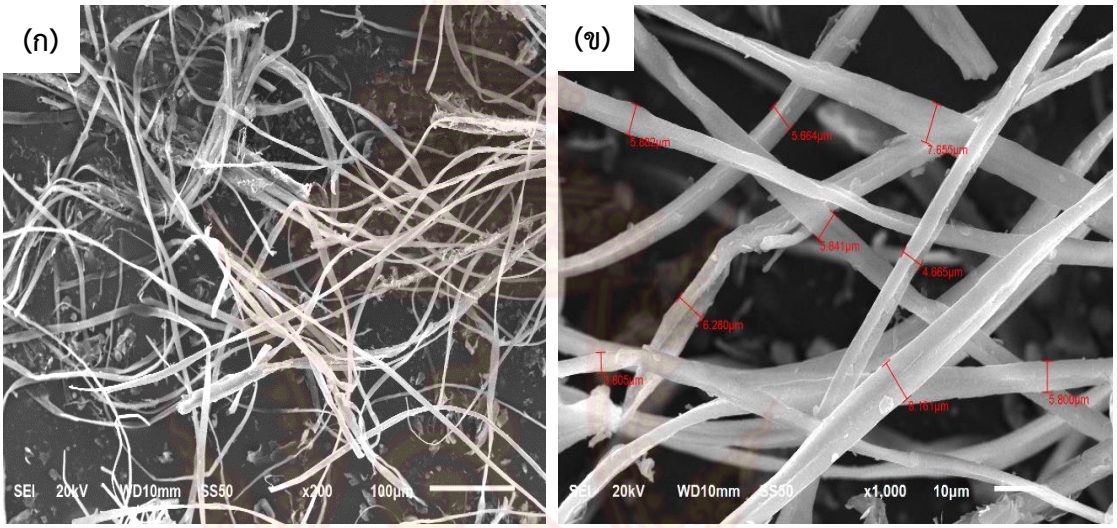
ภาพที่ 2 ลักษณะผงใบสับปะรดหลังกระบวนการบดแยกตามขนาดตะแกรงร่อน : (ก) 20 เมช (ข) 40 เมช (ค) 60 เมช และ (ง) 100 เมช



ภาพที่ 3 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดที่กำลังขยาย 30 เท่า ของใบสับปะรดบดละเอียดแยกตามขนาด: (ก) 20 เมช (ข) 40 เมช (ค) 60 เมช และ (ง) 100 เมช

เมื่อนำผงใบสับปะรดบดละเอียดมาคัดแยกด้วยเครื่องผ่านตะแกงร่อนขนาดต่าง ๆ สามารถแบ่งวัสดุที่ได้ออกเป็น 4 กลุ่ม ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยวัสดุขนาด 20 เมช มีลักษณะเป็นเส้นใยฟูนุ่ม น้ำหนักเบา สีน้ำตาลอ่อน เส้นใยมีความยาวสูงสุดไม่เกิน 5 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 2(ก) วัสดุที่มีขนาด 40 และ 60 เมช มีลักษณะเป็นเกร็ดเล็ก ๆ สีน้ำตาล ส่วนวัสดุที่มีขนาด 100 เมช ขึ้นไป มีลักษณะเป็นผงละเอียด สีน้ำตาล ภาพที่ 3 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของผงวัสดุขนาดต่างๆ ในระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 30 เท่า ทำให้ทราบว่าวัสดุขนาด 60-100 เมช เป็นวัสดุส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นผงเนื้อใบสัดปะรดซึ่งมีลักษณะเป็นเกร็ดเล็กๆ รูปร่างไม่แน่นอน ผิวด้านหนึ่งขรุขระ ผิวอีกด้านหนึ่งเรียบมีรูเล็ก ๆ บนผิว ในขณะที่วัสดุ

ส่วนที่เป็นเส้นใยจะพบว่าในวัสดุขนาด 20 เมช ดังแสดงในภาพที่ 3(ก) เมื่อศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยใบสับปะรดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยายมากขึ้น พบว่าเส้นใยใบสับปะรดที่ได้ผิวค่อนข้างเรียบและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 3-250 ไมโครเมตร ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ลักษณะเส้นใยใบสับปะรดจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดที่กำลังขยาย (ก) 200 เท่า และ (ข) 1000 เท่า

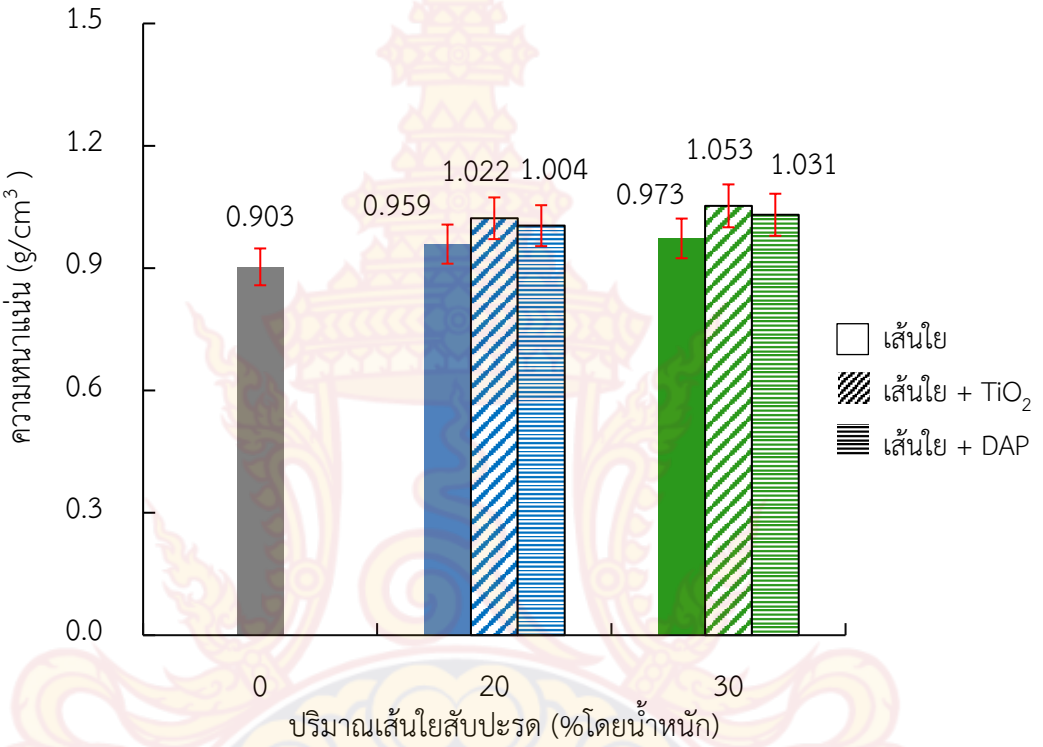
2. สมบัติทางกายภาพของคอมโพสิต

2.1 ความหนาแน่น

ความหนาแน่นของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยใบสับปะรด ดังแสดงในภาพที่ 5 จะเห็นได้ว่า ค่าความหนาแน่นของคอมโพสิตเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อปริมาณเส้นใยใบสับปะรดเพิ่มขึ้น โดยค่าความหนาแน่นของคอมโพสิตเท่ากับ 0.959 และ 0.973 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อเติมเส้นใย 20 และ 30% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ โดยพอลิเอทิลีน หรือ PP บริสุทธิ์ มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 0.903 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

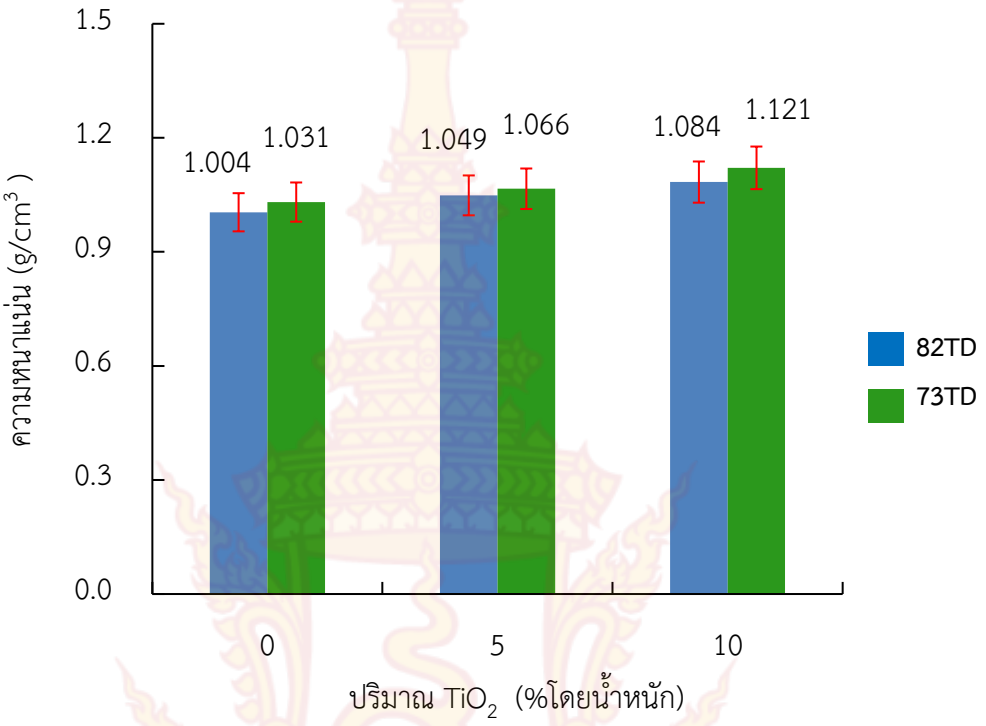
เมื่อพิจารณาผลการเติมเส้นใยใบสับปะรดร่วมกับผง TiO_2 หรือสารหน่วงไฟ DAP 10% โดยน้ำหนัก พบว่าค่าความหนาแน่นของคอมโพสิตเพิ่มขึ้นตามที่คาดหมาย เนื่องจากผง TiO_2 และสารหน่วงไฟ DAP มีค่าความหนาแน่นมากกว่า PP แต่ที่น่าสังเกตคือ คอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยร่วมกับสารหน่วงไฟ DAP นั้นมีค่าความหนาแน่นต่ำกว่าคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยร่วมกับผง TiO_2 อาจเป็นผลมาจากสมบัติความชอบน้ำของสารหน่วงไฟ DAP ในขณะที่ PP ไม่ชอบน้ำ ส่งผลให้แรง

กระทำระหว่างผิวสัมผัส (Interfacial interaction) ไม่ดีนัก จึงเกิดช่องว่างที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างเนื้อพลาสติกและสารตัวเติม ดังจะเห็นได้ว่าชิ้นงานของ 82D และ 73D จะมีช่องว่างในเนื้อคอมโพสิต



ภาพที่ 5 ความหนาแน่นของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยใบสับปะรดที่ปริมาณต่างๆ ร่วมกับการเติมผงไทเทเนียมไดออกไซด์หรือสารหน่วงไฟ DAP ที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก

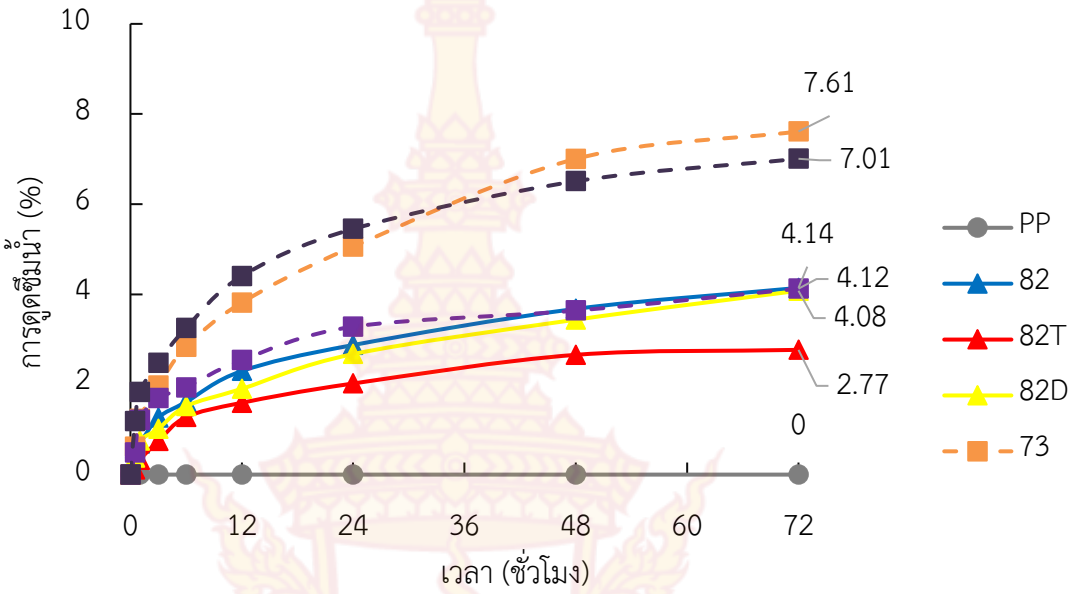
จากภาพที่ 6 ซึ่งแสดงค่าความหนาแน่นของคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยสารหน่วงไฟ DAP 10%โดยน้ำหนัก ร่วมกับเส้นใยใบสับปะรดและผง TiO_2 ในปริมาณต่างๆ เมื่อพิจารณาคอมโพสิตที่มีปริมาณสารหน่วงไฟ DAP และเส้นใยเท่ากัน แต่ปริมาณผง TiO_2 ต่างกัน จะพบว่า เมื่อเติมปริมาณผง TiO_2 มากขึ้น ค่าความหนาแน่นก็มากขึ้นด้วย เพราะค่าความหนาแน่นของผง TiO_2 สูงกว่าของ PP นั่นเอง และถ้าพิจารณาที่ปริมาณผง TiO_2 และสารหน่วงไฟ DAP เท่ากัน การเสริมแรงด้วยเส้นใยใบสับปะรดในปริมาณมากกว่า จะทำให้คอมโพสิตมีความหนาแน่นมากกว่า ได้แก่ 73TD11 > 82TD11 และ 73TD12 > 82TD12 เนื่องจากปริมาณเส้นใยที่มากกว่าจะเข้าไปกีดขวาง จำกัดการเคลื่อนที่และการขยายตัวของสายโซ่พอลิเมอร์ เมื่อสายโซ่พอลิเมอร์เคลื่อนที่และขยายตัวได้น้อย ค่าความหนาแน่นของคอมโพสิตก็จะมาก



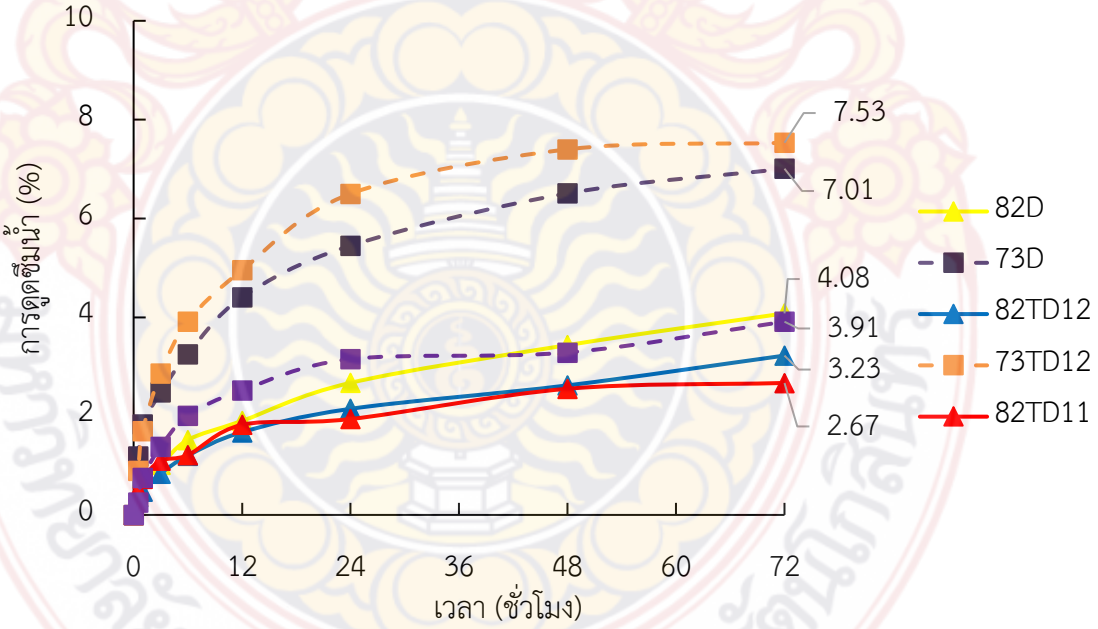
ภาพที่ 6 ความหนาแน่นของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยสับปะรดผสมผงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ปริมาณต่าง ๆ ร่วมกับสารหน่วงไฟ DAP 10% โดยน้ำหนัก

2.3 การดูดซึมน้ำ

ผลจากการทดสอบการดูดซึมน้ำของคอมโพสิตที่เวลาต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 7 พบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยสับปะรดมากขึ้น คอมโพสิตจะดูดซึมน้ำในปริมาณที่มากขึ้น ในขณะที่ PP บริสุทธิ์แทบจะไม่ดูดซึมน้ำ เนื่องจากเส้นใยใบสับปะรดเป็นเส้นใยเซลลูโลสธรรมชาติจะมีหมู่ไฮดรอกซิล –OH เยอะ ซึ่งจะยึดจับกับโมเลกุลของน้ำได้ดี เมื่อนำชิ้นงานไปแช่น้ำเป็นเวลา 72 ชั่วโมง คอมโพสิตสูตร 82 และ 73 มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเท่ากับ 4.14 และ 7.61 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลของการเติมผง TiO_2 หรือสารหน่วงไฟ DAP ที่ปริมาณ 10%โดยน้ำหนัก ร่วมกับการเติมเส้นใยใบสับปะรด ดังแสดงในภาพที่ 7 พบว่า เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของคอมโพสิตสูตร 82D และ 73D จะลดลงเล็กน้อย เนื่องจากสารหน่วงไฟ DAP มีความว่องไวต่อความชื้น เพราะมีสมบัติความชอบน้ำ แต่การเติมผง TiO_2 ร่วมกับเส้นใยนั้น ทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำลดลงอย่างชัดเจน โดยสูตร 82T และ 73T มีการดูดซึมน้ำลดลงร้อยละ 33.09 และ 45.86 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยเพียงอย่างเดียว เนื่องจากผง TiO_2 เข้าไปกีดขวางการเคลื่อนที่อย่างอิสระของโมเลกุลน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [13]



ภาพที่ 7 การดูดซึมน้ำของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยใบสับปะรดร่วมกับการเติมผงไทเทเนียมไดออกไซด์หรือสารหน่วงไฟ DAP ในปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก

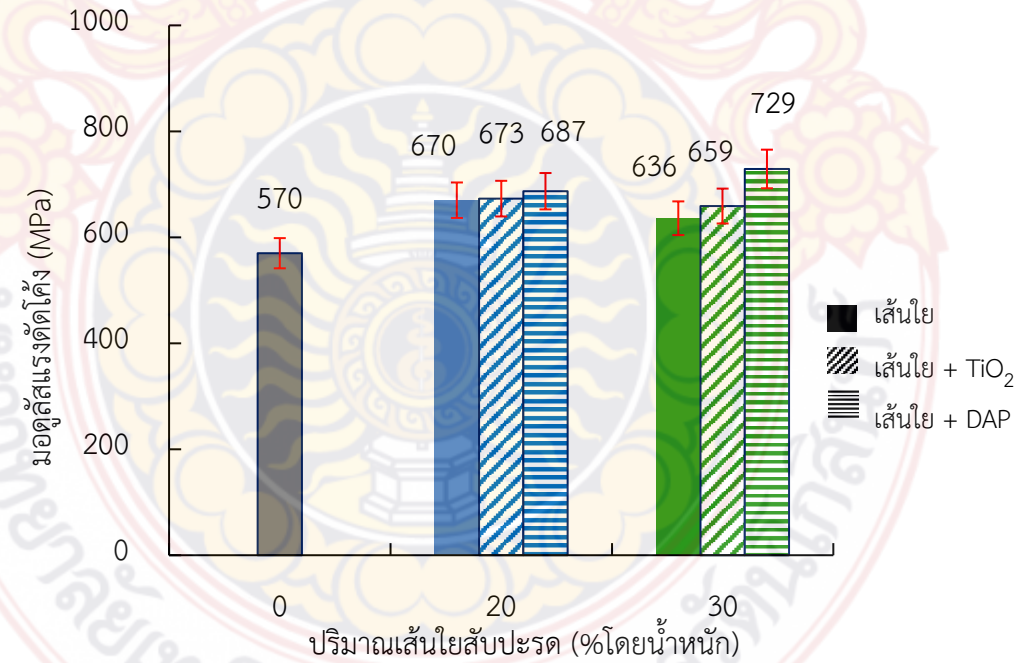


ภาพที่ 8 การดูดซึมน้ำของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยใบสับปะรดร่วมกับการเติมผงไทเทเนียมไดออกไซด์และสารหน่วงไฟ DAP

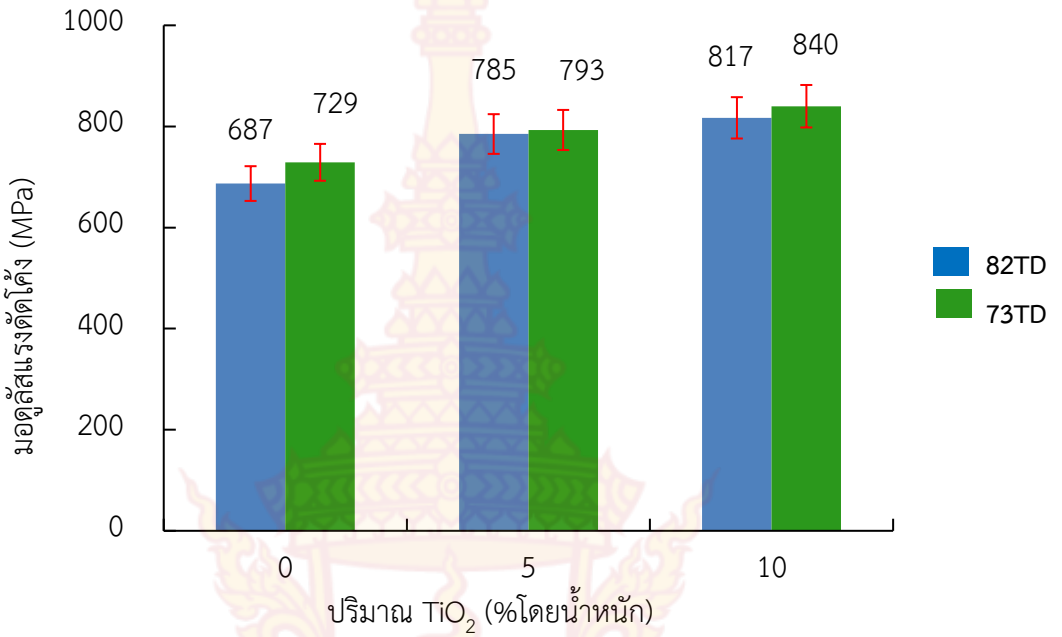
เมื่อศึกษาผลของการเติมสารหน่วงไฟ DAP 10% โดยน้ำหนักร่วมกับเส้นใยใบสับปะรดและผง TiO_2 ที่ปริมาณต่างๆ กัน ดังแสดงในภาพที่ 8 พบว่าการเติมผง TiO_2 และสาร DAP ที่อัตราส่วน 1:1 จะทำให้การดูดซึมน้ำของคอมโพสิตลดลงอย่างมาก เนื่องจากการเรียงตัวของอนุภาคของสารเติมแต่งและเส้นใยใบสับปะรดที่มีความซับซ้อนนั้นเป็นตัวขัดขวางการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำ ทำให้โมเลกุลน้ำแพร่เข้าสู่คอมโพสิตยากลำบากขึ้น โดยสูตร 82TD11 มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำต่ำสุดคือ 2.67 เท่านั้น ที่เวลาแช่น้ำเท่ากับ 72 ชั่วโมง

3. สมบัติเชิงกลภายใต้แรงดัดโค้ง

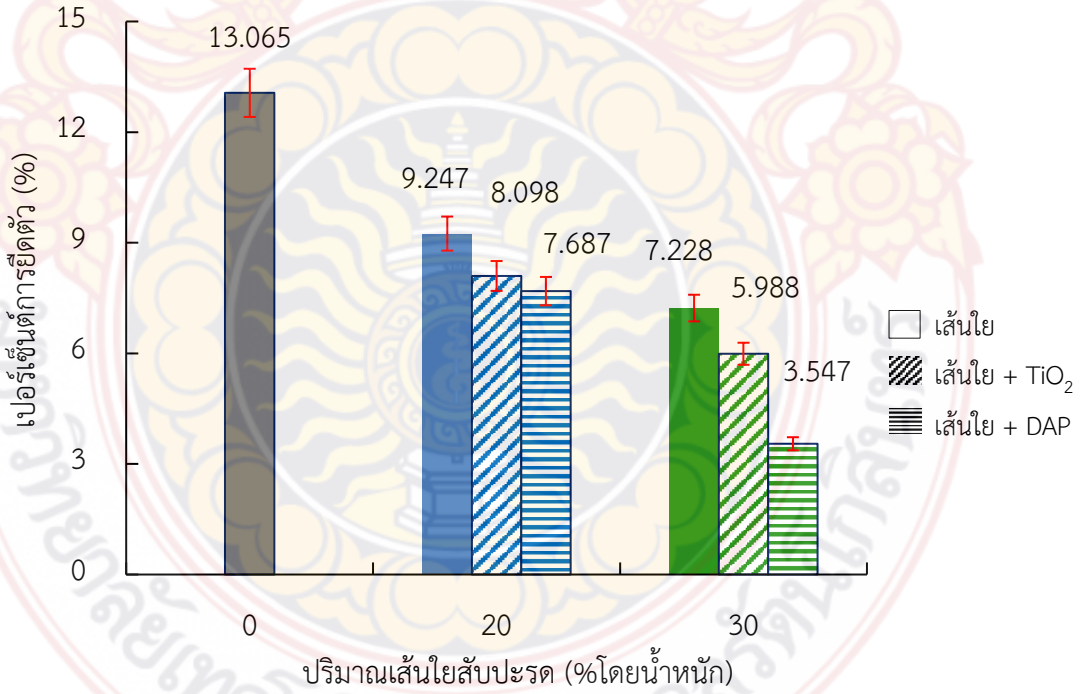
จากภาพที่ 9 แสดงผลการทดสอบสมบัติของคอมโพสิตที่ตอบสนองต่อแรงดัดโค้งที่มากระทำ พบว่า การเติมเส้นใยใบสับปะรด 20%โดยน้ำหนัก ทำให้ค่ามอดูลัสแรงดัดโค้งเพิ่มขึ้นเท่ากับ 670 MPa ในขณะที่ PP บริสุทธิ์มีค่ามอดูลัสแรงดัดโค้งเท่ากับ 570 MPa แต่การเติมเส้นใยใบสับปะรด 30%โดยน้ำหนัก ลงในเนื้อ PP พบว่าทำให้ค่ามอดูลัสแรงดัดโค้งลดลงเหลือ 636 MPa อาจเป็นผลมาจากแรงที่กระทำที่ผิวสัมผัสระหว่างเนื้อพลาสติกและเส้นใยมีน้อย เพราะไม่มีการปรับสภาพผิวของเส้นใยและเส้นใยอาจเกิดการกระจายตัวไม่ดีและรวมกลุ่มกัน



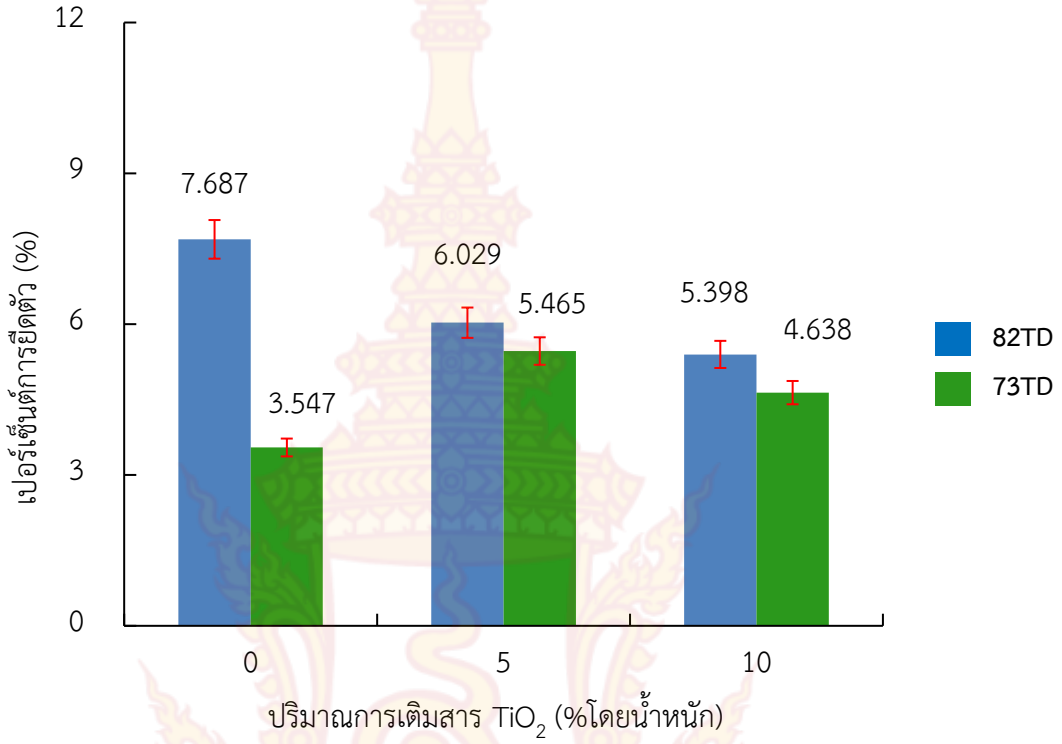
ภาพที่ 9 มอดูลัสแรงดัดโค้งของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยใบสับปะรดร่วมกับการเติมผงไทเทเนียมไดออกไซด์หรือสารหน่วงไฟ DAP ที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 10 มอดูลัสแรงดัดโค้งของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยสับปะรดและผงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ปริมาณต่างๆ ร่วมกับสารหน่วงไฟ DAP ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 11 เปอร์เซ็นต์การยืดตัวของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยใบสับปะรดที่ปริมาณต่างๆ ร่วมกับการเติมผงไทเทเนียมไดออกไซด์หรือสารหน่วงไฟที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก



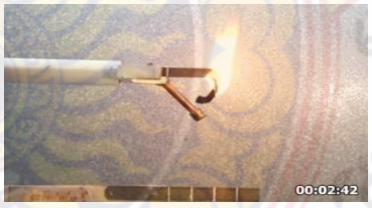
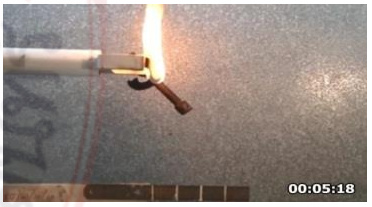
ภาพที่ 12 เปอร์เซ็นต์ของคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยใบสับปะรดผสมสารหน่วงไฟ DAP ปริมาณ 10% โดยน้ำหนัก ร่วมกับผงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ปริมาณต่าง ๆ

เมื่อเติมผง TiO_2 หรือสารหน่วงไฟ DAP ร่วมด้วย พบว่าค่ามอดูลัสแรงดัดโค้งสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่มีการพัฒนาคอมโพสิตเสริมแรงด้วยสารตัวเติมตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปผสมกัน (Hybrid fillers) โดย Pongsa และคณะ [15] ได้รายงานว่าคอมโพสิตเสริมแรงด้วยอนุภาคอนินทรีย์ของซิลิกอนไนไตรด์ (Si_3N_4) และท่อคาร์บอนนาโน มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งพฤติกรรมนี้สังเกตเห็นได้ชัดเจนมากขึ้นเมื่อเติมผง TiO_2 และสารหน่วงไฟ DAP ร่วมกับเส้นใย ดังแสดงรูปภาพที่ 10 โดยสูตร 73TD11 ให้ค่ามอดูลัสแรงดัดโค้งมากที่สุดเท่ากับ 840 MPa ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 47.37 อาจเป็นเพราะความหนาแน่นอัดเรียงตัว (Packing density) ของสารตัวเติมมีค่าสูง แต่อย่างไรก็ตาม การเติมผง TiO_2 สารหน่วงไฟ DAP และเส้นใยใบสับปะรดลงในเนื้อพลาสติกนั้น ทำให้วัสดุยืดหยุ่นน้อยลง มีความแข็งเกร็งมากขึ้น โดยจะเห็นได้จากการลดลงของเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของคอมโพสิต ดังแสดงในภาพที่ 11 และ 12

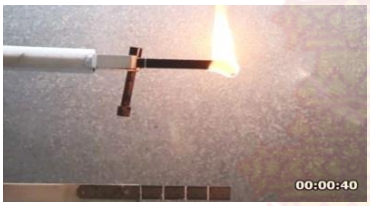
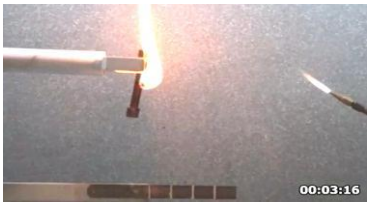
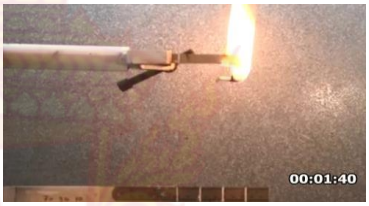
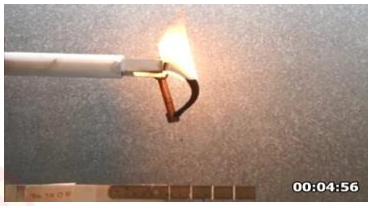
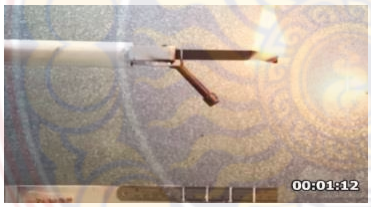
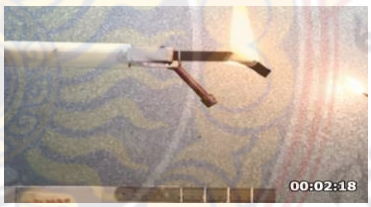
4. การติดไฟของคอมโพสิต

จากการทดสอบการเผาไหม้ตามมาตรฐาน UL-94 แบบแนวนอน ซึ่งผลแสดงดังตารางที่ 4 พบว่าอัตราการเผาไหม้เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยใบสับปะรดเพิ่มขึ้น เพราะโดยปกติเส้นใยเซลลูโลสธรรมชาติมีความเสถียรทางความร้อนต่ำกว่าพลาสติก PP โดยอัตราการเผาไหม้ของ PP บริสุทธิ์เท่ากับ 20.16 มิลลิเมตรต่อนาที เมื่อ PP ลุกติดไฟจะเกิดการลามไฟอย่างรวดเร็ว พบการหลอมเหลวและไหลหยดของเนื้อพลาสติกและไม่มีเถ้าเกิดขึ้น แต่เมื่อเติมเส้นใยลงไป พบว่ามีเถ้าเกิดขึ้นขณะเผาไหม้การหลอมเหลวของเนื้อพลาสติกน้อยลง เมื่อเติมผง TiO_2 10%โดยน้ำหนัก ร่วมกับเส้นใยใบสับปะรด พบว่าการลามไฟช้าลงในระยะ 25 มิลลิเมตร เพราะว่าผง TiO_2 ทำหน้าที่เป็นแนวกันความร้อนจากเปลวไฟและช่วยเพิ่มปริมาณเถ้า ส่งผลให้อัตราการเผาไหม้ของ 82T และ 73T ลดลงเหลือ 24.75 และ 27.77 มิลลิเมตรต่อนาที ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [16] ในขณะที่การเติมสารหน่วงไฟ DAP 10% โดยน้ำหนัก ร่วมกับเส้นใย ทำให้อัตราการเผาไหม้ของคอมโพสิตลดลงอย่างเด่นชัด โดยมีค่าเท่ากับ 18.95 มิลลิเมตรต่อนาที สำหรับสูตร 82D และ 18.54 มิลลิเมตรต่อนาที สำหรับสูตร 73D โดยการลามไฟช้าลง มีเถ้าปริมาณมากและมีคุณภาพสูงเกาะตัวกันดี เนื่องจากสารหน่วงไฟ DAP จะเข้าไปรวมตัวกับสารประกอบคาร์บอนแล้วเกิดเป็นเถ้าปกคลุมซึ่งเป็นชั้นที่มีความเป็นฉนวนทางความร้อน ทนทานการติดไฟ ทำให้คอมโพสิตสลายตัวช้าลง [10, 11] นอกจากนี้เมื่อเติมสารหน่วงไฟ ผง TiO_2 และเส้นใยร่วมกันทำให้อัตราการเผาไหม้ต่ำกว่าค่าของคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยเพียงอย่างเดียว แต่สูงกว่าค่าของคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยร่วมกับสารหน่วงไฟ DAP ทั้งนี้อาจจะเป็นผลมาจากการเกาะตัวเป็นก้อนของสารเติมแต่ง เนื่องจากไม่มีการปรับสภาพผิวของวัสดุเลยทำให้ความสามารถในการหน่วงไฟลดลงนั่นเอง

ตารางที่ 4 การทดสอบการเผาไหม้ตามมาตรฐาน UL-94 แบบแนวนอน

สูตร	ลักษณะการเผาไหม้ที่ระยะต่างๆ		
	25 มิลลิเมตร	50 มิลลิเมตร	100 มิลลิเมตร
PP			
82			
82T			
82D			
82TD11			
82TD12			

ตารางที่ 4 การทดสอบการเผาไหม้ตามมาตรฐาน UL-94 แบบแนวนอน (ต่อ)

สูตร	ลักษณะการเผาไหม้ที่ระยะต่างๆ		
	25 มิลลิเมตร	50 มิลลิเมตร	100 มิลลิเมตร
73			
73T			
73D			
73TD11			
73TD12			

บทที่ 5
สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

1. สรุปผลการวิจัย

ใบสับปะรดวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเป็นแหล่งชีวมวลทางเลือกใหม่ที่มีศักยภาพ สามารถนำมาผลิตเป็นเส้นใยใบสับปะรด (PALF) ซึ่งมีผิวค่อนข้างเรียบและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 3-250 ไมโครเมตร เส้นใยใบสับปะรดมาพัฒนาเป็นสารเสริมแรงในได้ศึกษาผลการเติมเส้นใยใบสับปะรดต่อสมบัติของคอมโพสิตพอลิโพรพิลีน (PP) ร่วมกับการผสมผงไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ที่เป็นสารเติมแต่ง และสารหน่วงไฟชนิดสารไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP) พบว่าคอมโพสิตมีค่ามอดูลัสแรงดัดโค้งเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามอดูลัสแรงดัดโค้งของ PP แต่อย่างไรก็ตาม ค่าการดูดซึมน้ำของคอมโพสิตเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เส้นใยใบสับปะรดเป็นสารเสริมแรง ในขณะที่การเติมผง TiO_2 และสาร DAP ร่วมด้วย ค่าการดูดซึมน้ำของคอมโพสิตลดลง จากผลการทดสอบการเผาไหม้ตามมาตรฐาน UL-94 แบบแนวนอน พบว่า PP ลุกติดไฟจะเกิดการลามไฟอย่างรวดเร็ว เกิดการหลอมเหลวและไหลหยดของเนื้อพลาสติกขณะเผาไหม้ และไม่มีเถ้าเกิดขึ้น เมื่อเติมเส้นใยสับปะรดลงไป พบว่ามีเถ้าเกิดขึ้นขณะเผาไหม้ การหลอมไหลของเนื้อพลาสติกน้อยลง การเติมผง TiO_2 และสาร DAP ร่วมเส้นใยใบสับปะรด ช่วยให้การลามไฟช้าลงและอัตราการเผาไหม้ของคอมโพสิตลดลงอย่างเด่นชัด จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเส้นใยใบสับปะรดเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจสำหรับการประยุกต์ใช้ในการพัฒนาและผลิตวัสดุคอมโพสิตทดแทนไม้จริงได้

2. การอภิปรายผล

จากผลการศึกษาสมบัติของคอมโพสิตพอลิโพรพิลีน (PP) เสริมแรงด้วยเส้นใยใบสับปะรดร่วมกับการผสมผงไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ที่เป็นสารเติมแต่ง และสารหน่วงไฟชนิดสารไดแอมโมเนียมฟอสเฟต (DAP) พบว่าคอมโพสิตมีค่ามอดูลัสแรงดัดโค้งเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สูตร 73TD11 ที่มีค่ามอดูลัสแรงดัดโค้งเท่ากับ 840 MPa เพิ่มขึ้นร้อยละ 47.37 เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามอดูลัสแรงดัดโค้งของ PP แต่อย่างไรก็ตาม ค่าการดูดซึมน้ำของคอมโพสิตเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เส้นใยใบสับปะรดเป็นสารเสริมแรง เนื่องจากสมบัติความชอบน้ำของเส้นใยใบสับปะรด ในขณะที่การเติมผง TiO_2 และสาร DAP ร่วมกับเส้นใยใบสับปะรด ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำของคอมโพสิตลดลง เนื่องจากอนุภาคสารเติมแต่งและสารหน่วงไฟผสมกับเส้นใยใบสับปะรดทำให้เกิดเส้นทางที่ซับซ้อนในเนื้อพลาสติกซึ่งจำกัดการเคลื่อนที่อย่างอิสระของโมเลกุลน้ำ จากผลการทดสอบการเผาไหม้ตามมาตรฐาน UL-94 แบบแนวนอน พบว่าชิ้นงานทดสอบสูตร PP ลุกติดไฟจะเกิดการลามไฟอย่าง

รวดเร็ว สังเกตเห็นการหลอมเหลวและไหลหยดของเนื้อพลาสติกอย่างชัดเจน และไม่มีเถ้าเกิดขึ้น เมื่อเติมเส้นใยสับปะรดลงไป มีเถ้าเกิดขึ้นขณะเผาไหม้และการหลอมเหลวของเนื้อพลาสติกน้อยลง การเติมเส้นใยใบสับปะรดร่วมกับผง TiO_2 พบว่าการลามไฟช้าลง เพราะผง TiO_2 ทำหน้าที่เป็นแนวกันความร้อนจากเปลวไฟและช่วยเพิ่มปริมาณเถ้า ในขณะที่การเติมสาร DAP ร่วมกับเส้นใยใบสับปะรดส่งผลให้อัตราการเผาไหม้ของคอมโพสิตลดลงอย่างเด่นชัด การลามไฟช้าลง มีเถ้าปริมาณมากและมีคุณภาพสูงเกาะตัวกันดี เนื่องจากสารหน่วงไฟจะเข้าไปรวมตัวกับสารประกอบคาร์บอนแล้วเกิดเป็นเถ้าปกคลุมซึ่งเป็นชั้นที่มีความเป็นฉนวนทางความร้อน ทนทานการติดไฟ ทำให้คอมโพสิตสลายตัวช้าลง

3. ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาผลของการปรับสภาพผิวของเส้นใยใบสับปะรดด้วยวิธีการทางเคมีและทดสอบสมบัติในสภาวะการใช้งานจริงของวัสดุทดแทนไม้จริงเพิ่มเติมในงานต่อไป

บรรณานุกรม

[1] ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2559) สับปะรดโรงงาน : ผลพยากรณ์การผลิต ปี 2559 รายจังหวัด. วารสารการพยากรณ์ผลผลิตการเกษตร. หน้า 130-131.

[2] สำนักงานจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ กลุ่มงานยุทธศาสตร์การพัฒนาจังหวัด, "แผนพัฒนาจังหวัด พ.ศ.2558-2561 จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ", 2556, 57-59.

[3] สุมน โพธิ์จันทร์. (2555) การใช้ผลพลอยได้จากสับปะรดเป็นอาหารโคเนื้อ-โคนม. วารสารข่าวปศุสัตว์. หน้า 27-30.

[4] คณะกรรมการจัดทำยุทธศาสตร์ชาติ, "ร่างกรอบยุทธศาสตร์ชาติ ระยะ 20 ปี (พ.ศ.2560-2579) : สรุปย่อ/คณะกรรมการจัดทำยุทธศาสตร์ชาติ," กรุงเทพฯ: คณะกรรมการจัดทำยุทธศาสตร์ชาติ, 2559.

[5] ทีมเศรษฐกิจ, "ไขรหัส ประเทศไทย 4.0 สร้างเศรษฐกิจใหม่ ก้าวข้ามกับดักรายได้ปานกลาง," หนังสือพิมพ์ไทยรัฐ [ออนไลน์] 2559.

[6] K. L. Pickering, M. G. A. Efendy, and T. M. Le, "A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing,* vol. 83, pp. 98-112, 2016.

[7] S. Kalia, B. S. Kaith, and I. Kaur, "Pretreatments of natural fibers and their application as reinforcing material in polymer composites-A review," *Polymer Engineering & Science,* vol. 49, pp. 1253-1272, 2009.

[8] P. Fei, H. Xiong, J. Cai, C. Liu, D. Zia ud, and Y. Yu, "Enhanced the weatherability of bamboo fiber-based outdoor building decoration materials by rutile nano-TiO_2," *Construction and Building Materials,* vol. 114, pp. 307-316, 2016.

[9] I. Turku and T. Kärki, "Accelerated weathering of fire-retarded wood–polypropylene composites," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing,* vol. 81, pp. 305-312, 2016.

[10] Y. Arao, S. Nakamura, Y. Tomita, K. Takakuwa, T. Umemura, and T. Tanaka, "Improvement on fire retardancy of wood flour/polypropylene composites using various fire retardants," *Polymer Degradation and Stability,* vol. 100, pp. 79-85, 2014.

[11] N. M. Stark, R. H. White, S. A. Mueller, and T. A. Osswald, "Evaluation of various fire retardants for use in wood flour–polyethylene composites," *Polymer Degradation and Stability,* vol. 95, pp. 1903-1910, 2010.

[12] ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย และ นันทยา เก่งเขต, "ใบสับปะรด: แหล่งเส้นใยธรรมชาติที่ไม่ควรมองข้าม Pineapple leaf: Source of natural fiber that should not be ignored," วารสารวิทยาศาสตร์ มศว, ฉบับที่ 30, 2557.

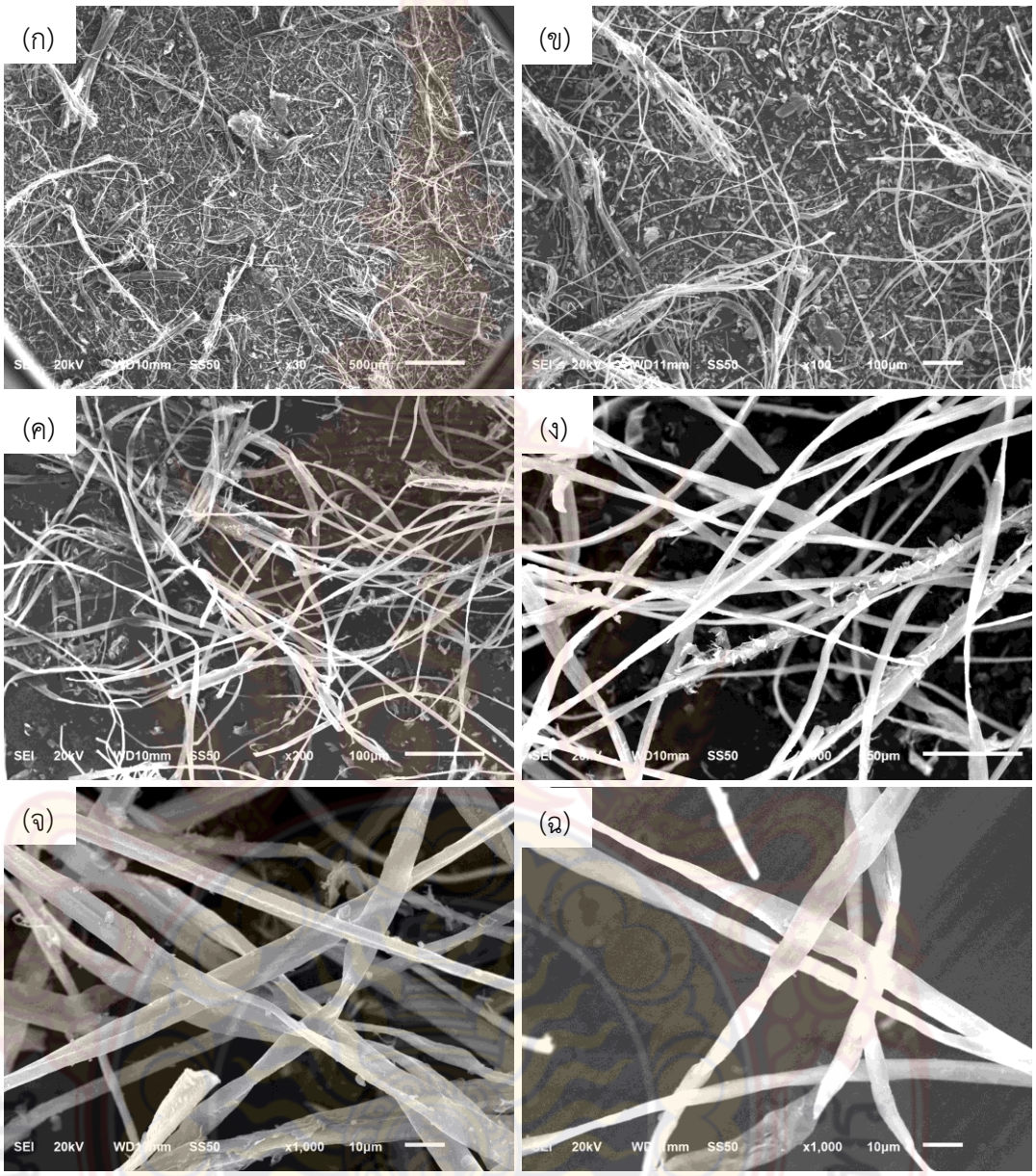
[13] B. K. Deka and T. K. Maji, "Effect of TiO2 and nanoclay on the properties of wood polymer nanocomposite," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing,* vol. 42, pp. 2117-2125, 2011.

[14] L. M. Matuana, D. P. Kamdem, and J. Zhang, "Photoaging and stabilization of rigid PVC/wood-fiber composites," *Journal of Applied Polymer Science,* vol. 80, pp. 1943-1950, 2001.

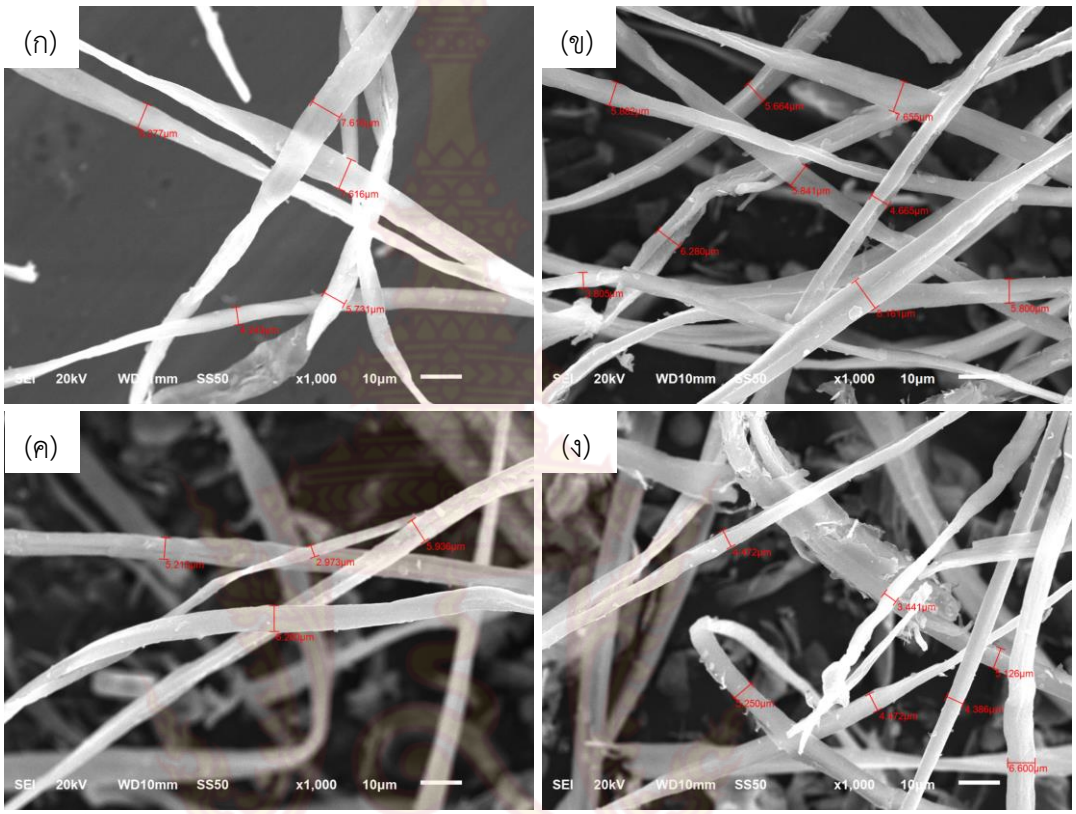
[15] U. Pongsa and A. Somwangthanaroj, "Effective Thermal Conductivity of 3, 5-Diaminobenzoyl-functionalized Multiwalled Carbon Nanotube/Epoxy Composites"*Journal of Applied Polymer Science*, vol.130, pp. 3184-3196, 2013.

[16] H. Lia, Zh. Hua, Sh. Zhanga, X. Gua, H. Wang, P. Jianga, and Q. Zhao "Effects of titanium dioxide on the flammability and char formation ofwater-based coatings containing intumescent flame retardants" *Progress in Organic Coatings*, vol. 78 pp. 318–324, 2015.

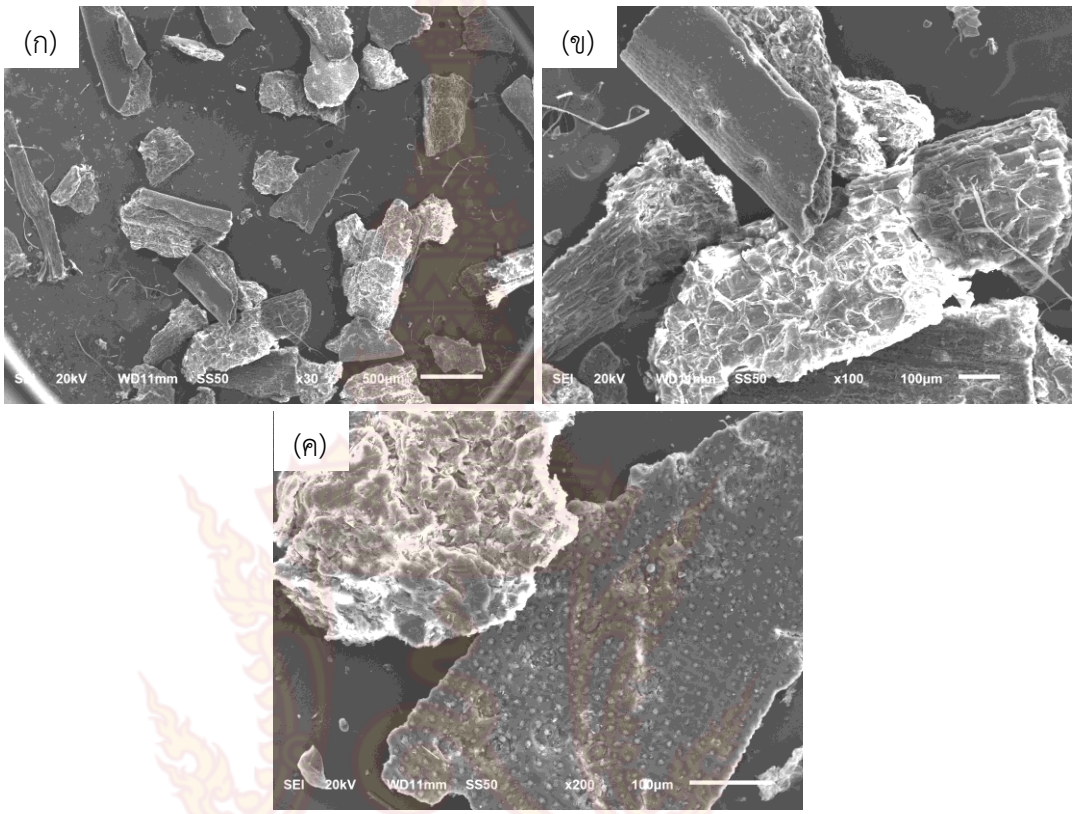
ภาคผนวก ก
โครงสร้างจุลภาคเส้นใยใบสับปะรดและผงใบสับปะรด



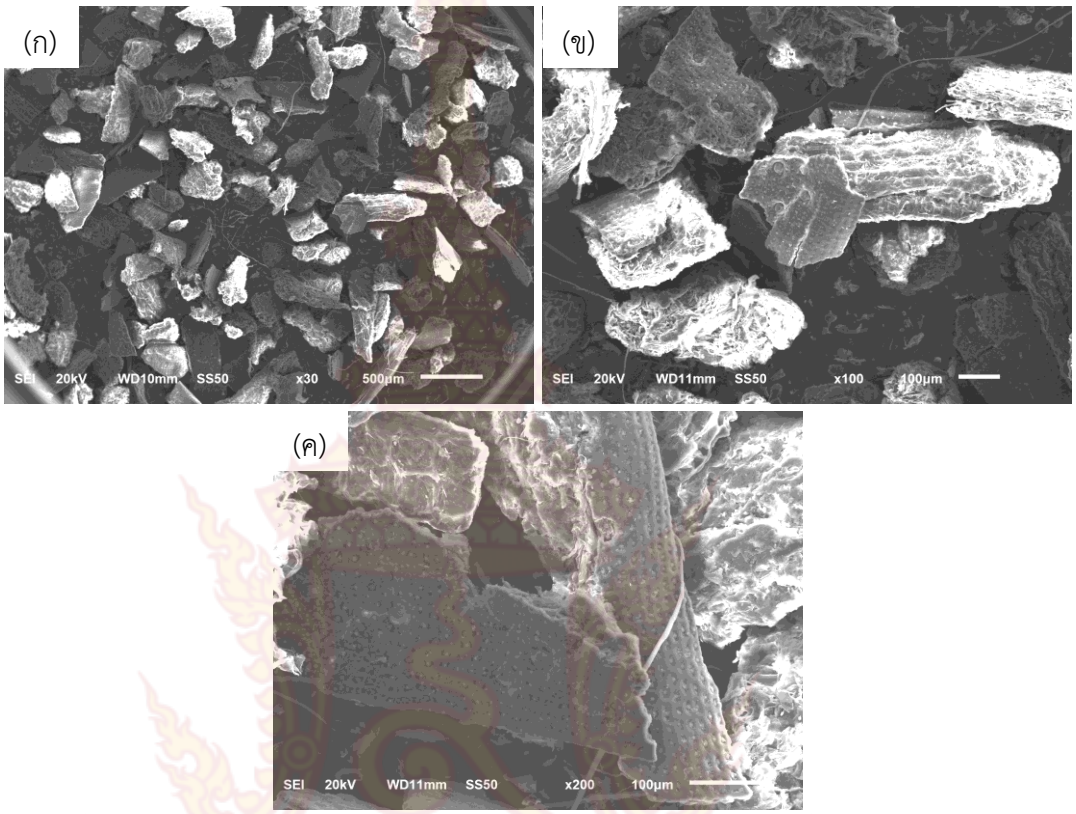
ภาพที่ ก-1 ภาพ SEM แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคเส้นใยสับปะรดที่กำลังขยาย (ก) 30 เท่า (ข) 100 เท่า (ค) 200 เท่า (ง) 500 เท่า และ (จ)-(ฉ) 1000 เท่า



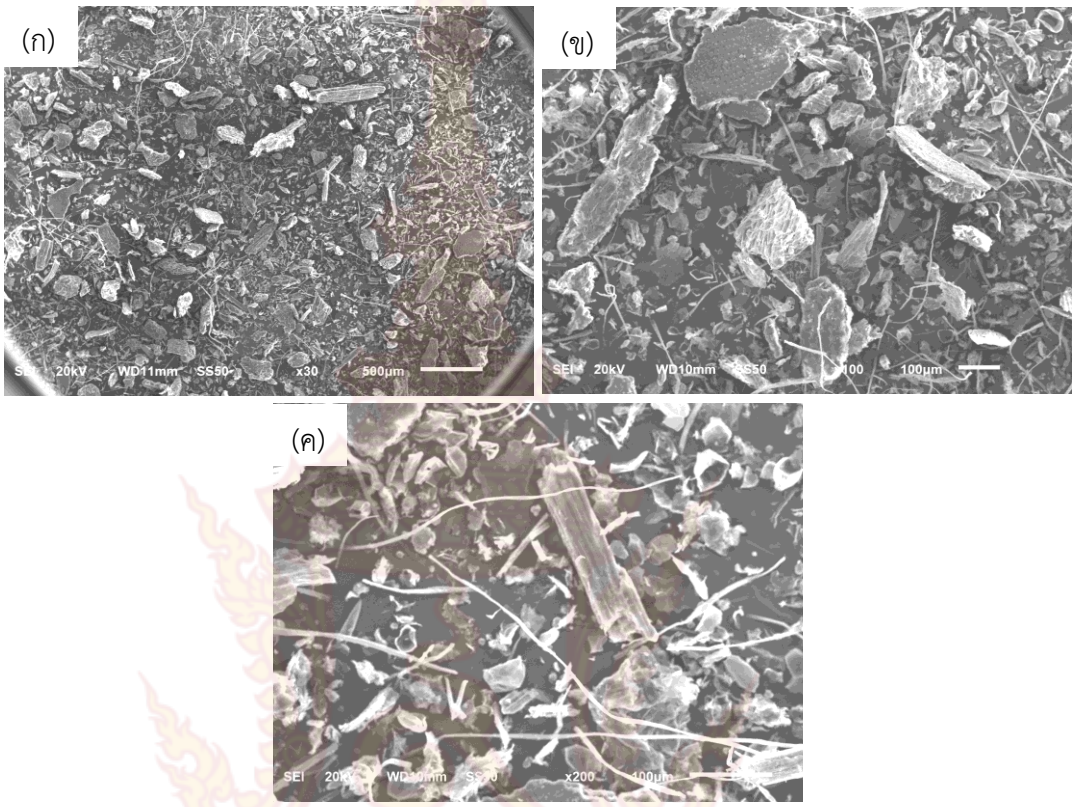
ภาพที่ ก-2 ภาพ SEM แสดงการวัดขนาดเส้นใยสับปะรดที่กำลังขยาย 1000 เท่า



ภาพที่ ก-3 ภาพ SEM แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคผงใบสับปะรดขนาด 40 เมช ที่กำลังขยาย (ก) 30 เท่า (ข) 100 เท่า และ (ค) 200 เท่า



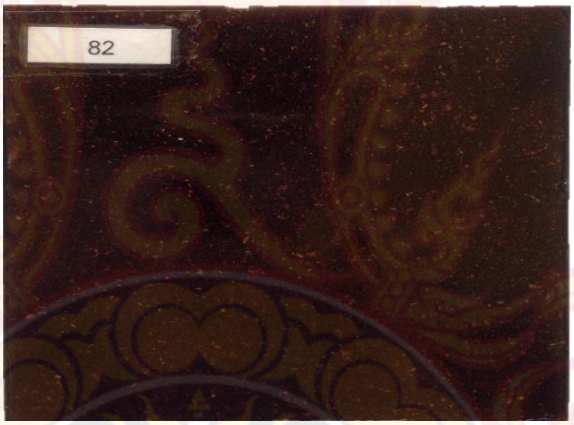
ภาพที่ ก-4 ภาพ SEM แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคผงใบสับปะรดขนาด 60 เมช ที่กำลังขยาย (ก) 30 เท่า (ข) 100 เท่า และ (ค) 200 เท่า



ภาพที่ ก-5 ภาพ SEM แสดงลักษณะโครงสร้างจุลภาคผงใบสับปะรดขนาด 100 เมช ที่กำลังขยาย (ก) 30 เท่า (ข) 100 เท่า และ (ค) 200 เท่า

ภาคผนวก ข
ลักษณะทางภาพของชิ้นงานตัวอย่าง

ภาพที่ ข-1 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างสูตร PP



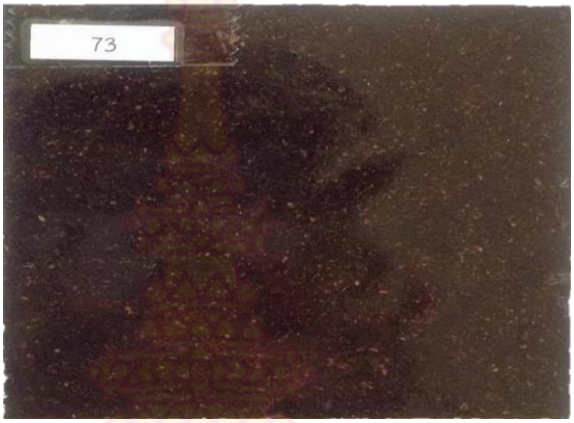
ภาพที่ ข-2 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างสูตร 82

ภาพที่ ข-3 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างสูตร 82T

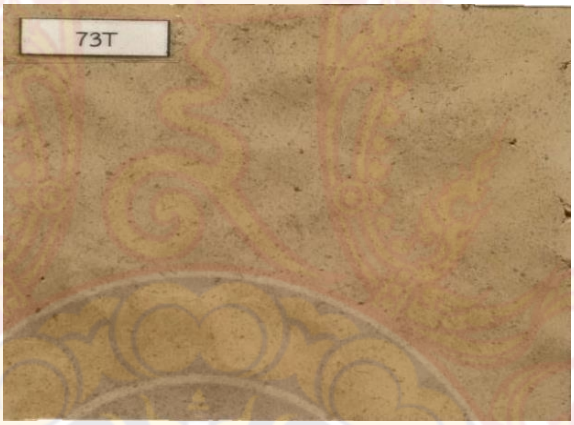
ภาพที่ ข-4 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างสูตร 82D

ภาพที่ ข-5 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างสูตร 82TD11

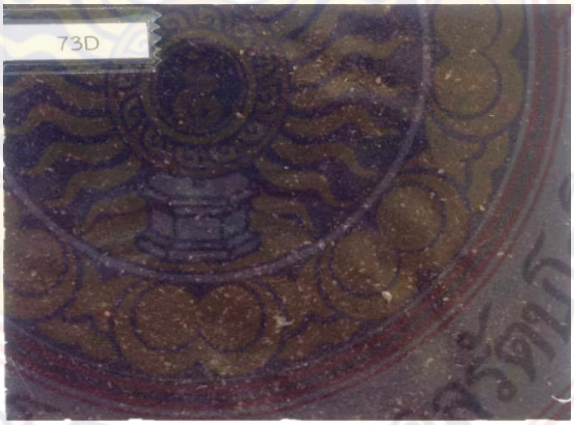
ภาพที่ ข-6 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างสูตร 82TD12



ภาพที่ ข-7 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างสูตร 73



ภาพที่ ข-8 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างสูตร 73T



ภาพที่ ข-9 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างสูตร 73D

ภาพที่ ข-10 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างสูตร 73TD11

ภาพที่ ข-11 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างสูตร 73TD12

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ผู้วิจัยคนที่ 1

1. ชื่อ นางสาวอุไรวรรณ พงสา
2. ตำแหน่งทางวิชาการ อาจารย์
3. ตำแหน่งทางการบริหาร -
4. สังกัด สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการ
   คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
   มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
5. Email-address (มหาวิทยาลัย) uraiwan.pon@rmutr.ac.th
   Email-address (อื่น) ur_pongsa@hotmail.com
6. โทรศัพท์มือถือ 08-41413987
7. โทรศัพท์ที่ทำงาน 032-618500 ต่อ 4047
   โทรสาร 032-618570
8. ที่อยู่ในการจัดส่งเอกสาร คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
   มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
   วิทยาเขตวังไกลกังวล
   ต.หนองแก อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77110
9. กรณีมีผู้ประสานงานสามารถติดต่อได้ที่
   ชื่อ นายจิรายุ ครือเครือ
   โทรศัพท์ 032-618500 ต่อ 4047, 09-9-761-4656
   ที่อยู่ในการจัดส่งเอกสาร สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการ
   คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
   มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
   วิทยาเขตวังไกลกังวล
   ต.หนองแก อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77110

10. ประวัติการศึกษา

ที่	ระดับการศึกษา	ชื่อสถาบันการศึกษา	ปีการศึกษาที่สำเร็จ	วุฒิทางการศึกษา	สาขาวิชา
1	ปริญญาตรี	มหาวิทยาลัยศิลปากร	2551	วศ.บ.	วิศวกรรมเคมี
2	ปริญญาเอก	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	2556	วศ.ด.	วิศวกรรมเคมี

11. ผลงานวิจัย/ผลงานวิชาการ

ปี พ.ศ.	เรื่อง
2560	**ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** Pattaraporn Suttaphadee, Uraiwan Pongsa, Pornnapa Kasemsiri, Patcharapol Posi, Narubeth Lorwanishpaisarn, Anirut Tasai, Nattakan Dulsang, Prinya Chindaprasirt **ชื่อผลงาน** Thermal Energy Storage Properties of Form-Stable Paraffin/Recycle Block Concrete Composite Phase Change Material **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** Journal of Engineering Science and Technology, Vol 12 Issue 3, 2017
2559	**ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** Pornnapa Kasemsiri, Nattakan Dulsang, Uraiwan Pongsa, Salim Hiziroglu, Prinya Chindaprasirt **ชื่อผลงาน** Optimization of Biodegradable Foam Composites from Cassava Starch, Oil Palm Fiber, Chitosan and Palm Oil Using Taguchi Method and Grey Relational Analysis **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** Journal of Polymers and the Environment, pp. 1-13, 2016 **ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** Surachade Ketkaew, Pornnapa Kasemsiri, Uraiwan Pongsa and Salim Hiziroglu **ชื่อผลงาน** Properties of Cassava Starch-Based Foam Composite Containing Sugarcane Fiber and Origanum vulgare L. Essential Oil **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** Key Engineering Materials, vol. 718, pp. 21-25, 2016 **ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** Tanapan Kantasiri, Pornnapa Kasemsiri, Uraiwan Pongsa and Salim Hiziroglu

	ชื่อผลงาน Properties of Light Weight Concrete Containing Crumb Rubber Subjected to High Temperature **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** Key Engineering Materials, vol. 718, pp. 177-183, 2016 **ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** Uraiwan Pongsa, Chavakorn Samthong, Piyasan Praserthdam and Anongnat Somwangthanaroj **ชื่อผลงาน** Influence of diaminobenzoyl-functionalized multiwalled carbon nanotubes on the nonisothermal curing kinetics, dynamic mechanical properties, and thermal conductivity of epoxy–anhydride composites **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** Journal of Applied Polymer Science, Vol. 133, pp. 43567, 2016
2558	**ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** Nattakan Dulsang, Surachade Ketkaew, Uraiwan Pongsa and Pornnapa Kasemsiri **ชื่อผลงาน** Properties of Biodegradable Foam Composite Based on Cassava Starch Reinforced with Bagasse Fiber **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** 2015 International Conference on Environmental Quality Concern, Control and Conservation, May 8-9, 2015, Kaohsiung, Taiwan. **ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** Pattaraporn Suttaphakdee, Uriawan Pongsa, Narubeth Lorwanishpaisarn, Anirut Tasai, Nattakan Dulsang and Pornnapa Kasensiri **ชื่อผลงาน** Thermal Energy Storage Properties of Composite Form-Stable Phase Change Material Paraffin/Recycle Block Concrete (PR/RB) **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** 2015 International Conference on Environmental Quality Concern, Control and Conservation, May 8-9, 2015, Kaohsiung, Taiwan.
2557	**ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** Nappaphan Kunanusont, Uraiwan Pongsa, Apita Bunsiri and Anongnat Somwangthanaroj **ชื่อผลงาน** Effect of Relative Humidity on Oxygen Permeability of Modified Poly(lactic acid) Blown Films

	แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่ the Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON2014) “Moving Towards Innovation in Chemistry”, January 8-10, 2014, Khon Kean, Thailand. **ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** Thawatchai Wongchaichana, Uraiwan Pongsa, Wanchai Lerdwijitjarud, Anongnat Somwangthanaroj **ชื่อผลงาน** Effect of Blown Films Processing on Properties of Poly(lactic acid)/Natural Rubber Film **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** the Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON2014) “Moving Towards Innovation in Chemistry”, January 8-10, 2014, Khon Kean, Thailand. **ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** Nuengruthai Jaitrong, Uraiwan Pongsa, Wanchai Lerdwijitjarud, Anongnat Somwangthanaroj **ชื่อผลงาน** Effect of Poly(lactic acid)/Natural Rubber/Thermoplastic Starch Blown Films on Morphology, Gas Permeability and Mechanical properties **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** the Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON2014) “Moving Towards Innovation in Chemistry”, January 8-10, 2014, Khon Kean, Thailand. **ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** Suporn Pitakthanangkul, Uraiwan Pongsa, Anongnat Somwangthanaroj **ชื่อผลงาน** Curing Characteristics of Low Temperature Fast Cure Epoxy-based Adhesive using Diamine Curing Agents **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** the Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON2014) “Moving Towards Innovation in Chemistry”, January 8-10, 2014, Khon Kean, Thailand.
2556	**ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** Uraiwan Pongsa and Anongnat Somwangthanaroj **ชื่อผลงาน** Effective Thermal Conductivity of 3, 5-Diaminobenzoyl-functionalized Multiwalled Carbon Nanotube/Epoxy Composites

	แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่ Journal of Applied Polymer Science, 130 (2013): 3184-3196. **ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** Uraiwan Pongsa, Chavakorn Samthong, Anongnat Somwangthanaroj **ชื่อผลงาน** Direct Functionalization with 3, 5-Substituted Benzoic Acids of Multiwalled Carbon Nanotube/Epoxy Composites **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** Polymer Engineering and Science, 53(2013): 2194-2204.

12. ความเชี่ยวชาญในสาขาวิชา

12.1) Polymer Engineering

12.2) Composite materials

12.3) Material Science

12.4) Nanotechnology

ผู้วิจัยคนที่ 2

1. ชื่อ นายภูเมศวร์ แสงระยับ
2. ตำแหน่งทางวิชาการ อาจารย์
3. ตำแหน่งทางการบริหาร -
4. สังกัด สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการ
   คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
   มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
5. Email-address (มหาวิทยาลัย) -
   Email-address (อื่น) phoometh.ie@gmail.com
6. โทรศัพท์มือถือ 08-3259-8782
7. โทรศัพท์ที่ทำงาน 032-618500 ต่อ 4047
   โทรสาร 032-618570
8. ที่อยู่ในการจัดส่งเอกสาร คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
   มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
   วิทยาเขตวังไกลกังวล
   ต.หนองแก อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77110
9. กรณีมีผู้ประสานงานสามารถติดต่อได้ที่
   ชื่อ นายจิรายุ ครือเครือ
   โทรศัพท์ 032-618500 ต่อ 4047, 09-9-761-4656
   ที่อยู่ในการจัดส่งเอกสาร สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการ
   คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
   มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
   วิทยาเขตวังไกลกังวล
   ต.หนองแก อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77110
10. ประวัติการศึกษา

ที่	ระดับการศึกษา	ชื่อสถาบันการศึกษา	ปีการศึกษาที่สำเร็จ	วุฒิทางการศึกษา	สาขาวิชา
1	ปริญญาตรี	มทร.รัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล	2555	อส.บ.	เทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการ

2	ปริญญาโท	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2558	วศ.ม.	วิศวกรรมอุตสาหการ

11.ผลงานวิจัย/ผลงานวิชาการ

ปี พ.ศ.	เรื่อง
2558	**ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** ภูเมศวร์ แสงระยับ, กำธร สุขพิมาย และกรรณชัย กัลยาศิริ **ชื่อผลงาน** การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในการแล่นประสานด้วยความต้านทานที่มีต่อรอยต่อระหว่างแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม 316L, วารสาร **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** วิศวสารลาดกระบัง ปีที่ 32 ฉบับที่ 3 กันยายน 2558

12. ความเชี่ยวชาญในสาขาวิชา

12.1) Joining of Materials (Welding and Brazing)

12.2) Non-Traditional Manufacturing Processes

ผู้วิจัยคนที่ 3

1. ชื่อ ผศ. นิวัฒน์ มูเก็ม
2. ตำแหน่งทางวิชาการ อาจารย์
3. ตำแหน่งทางการบริหาร รองคณบดีฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ
4. สังกัด สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการ
   คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
   มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
5. Email-address (มหาวิทยาลัย) niwat.moo@rmutr.ac.th
   Email-address (อื่น) niwat_ie@hotmail.com
6. โทรศัพท์มือถือ 08-1981-2963
7. โทรศัพท์ที่ทำงาน 032-618500 ต่อ 4021
   โทรสาร 032-618570
8. ที่อยู่ในการจัดส่งเอกสาร คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
   มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
   วิทยาเขตวังไกลกังวล
   ต.หนองแก อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77110
9. กรณีมีผู้ประสานงานสามารถติดต่อได้ที่
   ชื่อ นายจิรายุ ครือเครือ
   โทรศัพท์ 032-618500 ต่อ 4047, 09-9-761-4656
   ที่อยู่ในการจัดส่งเอกสาร สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการ
   คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
   มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
   วิทยาเขตวังไกลกังวล
   ต.หนองแก อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77110
10. ประวัติการศึกษา

ที่	ระดับการศึกษา	ชื่อสถาบันการศึกษา	ปีการศึกษาที่สำเร็จ	วุฒิทางการศึกษา	สาขาวิชา
1	ปริญญาตรี	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2551	วศ.บ.	วิศวกรรมอุตาหการ

2	ปริญญาโท	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2553	วศ.ม.	วิศวกรรมอุตาหการ

11. ผลงานวิจัย/ผลงานวิชาการ

ปี พ.ศ.	เรื่อง
2560	**ชื่อข้อเสนอการวิจัย :** The optimization of resistance spot brazing process parameters in AHSS 590 and AISI 304 stainless steel joints using filler metal แหล่งทุน: งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 ตามมติคณะรัฐมนตรี สถานะภาพในการทำวิจัย : อยู่ระหว่างจัดสรรงบประมาณ
2559	**ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** นิวัฒน์ มูเก็ม **ชื่อผลงาน** Dissimilar materials joint between aluminum 1100 and zinc galvanized steel by MIG brazing, วารสาร **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีที่ 24 เล่มที่ 1 มกราคม- เมษายน 2560 (ตอบรับแล้ว อยู่ระหว่างการตีพิมพ์) **ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** นิวัฒน์ มูเก็ม **ชื่อข้อเสนอการวิจัย :** A study on influence of friction welding parameters on the mechanical properties and microstructure in joining between AISI 304 stainless steel and high speed steel แหล่งทุน: งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 ตามมติคณะรัฐมนตรี สถานะภาพในการทำวิจัย : เสร็จแล้ว
2558	**ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** อรจิตร แจ่มแสง, ปิยะวรรณ สูนาสวน, นิวัฒน์ มูเก็ม **ชื่อผลงาน** การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความต้านทานแรงเฉือนระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมและโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว, วารสาร **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี), ปีที่ 7 ฉบับที่ 14, พ.ศ. 2558 หน้า 87-96 **ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** นิวัฒน์ มูเก็ม

	ชื่อผลงาน การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในการแล่นประสานแบบมิกต่อโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลในการเชื่อมประสานอะลูมิเนียมเข้ากับเหล็กชนิดแข็งแรงพิเศษเพื่อประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์, วารสาร **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** วิศวกรรมสารมหาวิทยาลัยนเรศวร, ปีที่ 10 ฉบับที่ 1, พ.ศ. 2558 หน้า 31-39 **ชื่อข้อเสนอการวิจัย :** การต่อวัสดุต่างชนิดระหว่างอลูมิเนียม 1100 และเหล็กเคลือบสังกะสีโดยการแล่นประสานแบบมิก แหล่งทุน: งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 ตามมติคณะรัฐมนตรี สถานะภาพในการทำวิจัย : เสร็จแล้ว **ชื่อข้อเสนอการวิจัย :** การประยุกต์ใช้วัสดุผงสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพการตัดเหล็กกล้าเครื่องมือ AISID2 ด้วยวิธี EDM แหล่งทุน: งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 ตามมติคณะรัฐมนตรี สถานะภาพในการทำวิจัย : เสร็จแล้ว
2557	**ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** นิวัฒน์ มูเก็ม **ชื่อผลงาน** การประยุกต์การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์ในการตัดไทเทเนียม, วารสาร **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, ปีที่ 10 ฉบับที่ 2, พ.ศ. 2557 หน้า 48-59 **ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** นิวัฒน์ มูเก็ม และ อรจิตร แจ่มแสง **ชื่อผลงาน** การศึกษาการเกิดชั้นสารประกอบเชิงโลหะระหว่างโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-0.7Cu และโลหะพื้นต่างชนิดโดยการบัดกรีแบบรีโฟรว์ **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** การประชุมข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี 2557, วันที่ 30-31 ตุลาคม 2557 **ชื่อข้อเสนอการวิจัย** : การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในการแล่นประสานแบบมิกต่อโครงสร้างจุลภาคและคุณสมบัติทางกลในการเชื่อมประสานอลูมิเนียมเข้ากับเหล็กชนิดแข็งแรงพิเศษเพื่อประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ แหล่งทุน: งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 ตามมติคณะรัฐมนตรี

	สถานะภาพในการทำวิจัย : เสร็จแล้ว **ชื่อข้อเสนอการวิจัย** : ปัจจัยที่เหมาะสมในการดึงลวดเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงานสำเร็จ แหล่งเงินทุน : งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 ตามมติคณะรัฐมนตรี สถานะภาพในการทำวิจัย : เสร็จแล้ว
2556	**ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** นิวัฒน์ มูเก็ม **ชื่อผลงาน** การศึกษาผลกระทบของสภาวะการเย็นตัวที่มีต่อโครงสร้างจุลภาค ความแข็งจุลภาคและความต้านทานแรงดึงของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-0.3Ag-0.7Cu, วารสาร **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** วารสารสมาคมส่งเสริมวิจัย, ปีที่ 4 ฉบับที่ 3, พ.ศ. 2556 หน้า 225-233 **ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** Boonchuay, C. Sripriprang, S. Jinatum, C. Tongvongyat, P. Mookam, N. Leetrakul, P. **ชื่อผลงาน** Smart Solar Farm Concept and Implementation for Improving Photovoltaic Power Generation, 2014. **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** The 7th Thailand Renewable Energy for Community Conference (TREC-7). 12-14 November 2014, Thailand **ชื่อข้อเสนอการวิจัย :** การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความต้านทานแรงเฉือนระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมและโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว แหล่งทุน: งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2556 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ สถานะภาพในการทำวิจัย : เสร็จแล้ว
2555	**ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** นิวัฒน์ มูเก็ม, ปิยะวรรณ สูนาสวน. **ชื่อผลงาน** อิทธิพลของตัวแปรในการตัดด้วยวิธี EDM ต่อลักษณะเฉพาะของการตัดเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD 61 **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** การประชุมข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี 2555, วันที่ 17-19 ตุลาคม 2555

	ชื่อข้อเสนอการวิจัย : การศึกษาผลกระทบของสภาวะการเย็นตัวที่มีต่อโครงสร้างจุลภาค ความแข็งจุลภาค และความต้านทานแรงดึงของโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-0.3Ag-0.7Cu แหล่งทุน: งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555 ตามมติคณะรัฐมนตรี สถานะภาพในการทำวิจัย : เสร็จแล้ว
2554	**ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** Niwat Mookam, Kannachai Kanlayasiri **ชื่อผลงาน** Evolution of Intermetallic Compounds between Sn-0.3Ag-0.7Cu Low-silver Lead-free Solder and Cu Substrate during Thermal Aging, 2012, Journal of Materials Science & Technology. Vol 28 No 1, pp 53-59. **ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** Niwat Mookam, Kannachai Kanlayasiri **ชื่อผลงาน** Effect of soldering condition on formation of intermetallic phases developed between Sn-0.3Ag-0.7Cu low-silver lead-free solder and Cu substrate, **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** Journal of Alloys and Compounds. Vol 509 No 21, pp 6276-6279, 2011 **ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** นิวัฒน์ มูเก็ม, ธิติพัทธ์ ลิ่มกุล, กรรณชัย กัลยาศิริ **ชื่อผลงาน** การเกิดปฏิกิริยารอยต่อระหว่างโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่วกลุ่ม SnAgCu และโลหะพื้นทองแดง **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** วารสารการเชื่อมไทย, ฉบับที่ 54 พ.ศ. 2554 หน้า 35-46 **ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** นิวัฒน์ มูเก็ม **ชื่อผลงาน** ผลกระทบของสภาวะการเย็นตัวต่อโครงสร้างจุลภาค โครงสร้างผลึกและชั้นสารประกอบเชิงโลหะระหว่างโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-0.7Cu และ Sn-0.3Ag-0.7Cu กับโลหะพื้นทองแดง. **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** การประชุมข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี 2554, วันที่ 20-21 ตุลาคม 2554

	ชื่อข้อเสนอการวิจัย : ผลกระทบของสภาวะการเย็นตัวต่อโครงสร้างจุลภาค โครงสร้างผลึก และชั้นสารประกอบเชิงโลหะระหว่างโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว Sn-0.7Cu และ Sn-0.3Ag-0.7Cu กับโลหะพื้นทองแดง แหล่งทุน: งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2554 ตามมติคณะรัฐมนตรี สถานะภาพในการทำวิจัย : เสร็จแล้ว

12. ความเชี่ยวชาญในสาขาวิชา

12.1) Design and Analysis of Experiments, Advanced Statistics.

12.2) Joining of Materials (Welding, Soldering and Brazing).

12.3) Non-Traditional Manufacturing Processes.

13. ประสบการณ์พิเศษ

13.1) 2558-ปัจจุบัน ผู้วินิจฉัยสถานประกอบการ ภายใต้โครงการช่วย SMEs (สังกัดสมาพันธ์เอสเอ็มอีไทย)

13.2) 2555-2556 คณะกรรมการร่างวิธีการทดสอบมาตรฐานฝีมือแรงงานแห่งชาติ สาขาอาชีพช่างช่างแม่พิมพ์โลหะ ระดับ 1 และระดับ 2 ให้กับสมาคมอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ไทย

13.3) 2554-2555 ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับวัสดุวิศวกรรมและกระบวนการผลิต กรณีสร้างเครื่องจักรไอน้ำให้กับ บริษัทดีเซลวิศวกรรม

ผู้วิจัยคนที่ 4

1. ชื่อ นายปริญญา กวีกิจบัณฑิต
2. ตำแหน่งทางวิชาการ อาจารย์
3. ตำแหน่งทางการบริหาร -
4. สังกัด สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการ
   คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
   มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
5. Email-address (มหาวิทยาลัย) parinya.kaw@rmutr.ac.th
   Email-address (อื่น) parinya.kawiet@hotmail.com
6. โทรศัพท์มือถือ 08-3340-8777
7. โทรศัพท์ที่ทำงาน 032-618500 ต่อ 4047
   โทรสาร 032-618570
8. ที่อยู่ในการจัดส่งเอกสาร คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
   มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
   วิทยาเขตวังไกลกังวล ต.หนองแก อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77110
9. กรณีมีผู้ประสานงานสามารถติดต่อได้ที่
   ชื่อ นายจิรายุ ครือเครือ
   โทรศัพท์ 032-618500 ต่อ 4047, 09-9-761-4656
   ที่อยู่ในการจัดส่งเอกสาร สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการ คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล
   ต.หนองแก อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77110
10. ประวัติการศึกษา

ที่	ระดับการศึกษา	ชื่อสถาบันการศึกษา	ปีการศึกษาที่สำเร็จ	วุฒิทางการศึกษา	สาขาวิชา
1	ปริญญาตรี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	2549	วศ.บ.	วิศวกรรมอุตสาหการ
2	ปริญญาโท	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	2552	วศ.ม.	วิศวกรรมอุตสาหการ

11. ผลงานวิจัย/ผลงานวิชาการ

ปี พ.ศ.	เรื่อง
2559	**ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** Parinya Kaweegitbundit and Toru Eguchi. **ชื่อผลงาน** Flexible job shop scheduling using genetic algorithm and heuristic rules. **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol.10, No.1 (2016), Paper No.15–00434.
2558	**ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** Parinya Kaweegitbundit and Toru Eguchi. **ชื่อผลงาน** Job Shop Scheduling with Alternative Machines Using Genetic Algorithm Incorporating Heuristic Rules -Effectiveness of Due-Date Related Information . **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** International Conference Advances in Production Management System(APMS 2015) in Tokyo, Japan on 5-9 September 2015
2557	**ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** Parinya Kaweegitbundit and Toru Eguchi. **ชื่อผลงาน** Job Shop Scheduling with Alternative Machines Using Genetic Algorithm Incorporating Heuristic Rules. **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** Japan society of mechanical engineering conference in Tokyo, Japan on 7-8 September 2014.
2556	**ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** อรจิตร แจ่มแสง, ปริญญา กวีกิจบัณฑิต **ชื่อผลงาน** การลดของเสียจากกระบวนการผลิตชุดกันความร้อน กรณีศึกษาโรงงานตัวอย่าง **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** , การประชุมวิชาการระดับชาติ “เครือข่ายวิจัยสถาบันอุดมศึกษาทั่วประเทศ” ประจำปี 2556 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 27 กุมภาพันธ์ – 1 มีนาคม 2556
2555	**ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** Parinya Kaweegitbundit. **ชื่อผลงาน** Memetic Algorithm Approach to Two-Stage Hybrid Flow Shop Scheduling Problem with Identical Parallel Machines. **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** Advance Material Research. Vol. 651. 2012. pp 548-552 **ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** Parinya Kaweegitbundit. **ชื่อผลงาน** Evaluation dispatching rules for two-stage hybrid flow shop scheduling with parallel machines.

	แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่ Applied Mechanics and Materials, Vol. 152-154. 2012. pp 1487-1491 **หัวหน้าโครงการวิจัย :** **ชื่อข้อเสนอการวิจัย** : การศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดตั้งมหาวิทยาลัยประจวบคีรีขันธ์ ” ทุนงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2555 แหล่งทุน: ทุนงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2555 สถานะภาพในการทำวิจัย : เสร็จแล้ว
2554	**ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** Parinya Kaweegitbundit. **ชื่อผลงาน** Comparison of heuristic for flow shop scheduling problems with sequence dependent setup time. **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** Advance Material Research, Vol. 339. 2011. pp 332-335 **ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** Parinya Kaweegitbundit. **ชื่อผลงาน** A single machine scheduling problem with earliness and tardiness penalties using memetic algorithm. **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** Advance Material Research, Vol. 314-316. 2011. pp 2353-2357
2552	**ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** Wisut Supithak, Parinya Kaweegitbundit and Anot Chaimanee. **ชื่อผลงาน** Memetic Algorithm for Flow Shop Scheduling Problems under the Just-In-Time Philosophy. **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** The 10th Asia Pacific Industrial Engineering & Management System Conference (APIEMS) in Kitakyushu, Japan on 14-16 December 2009. **ระบุชื่อเจ้าของผลงาน ปริญญา กวีกิจบัณฑิตและวิสุทธิ์ สุพิทักษ์.** **ชื่อผลงาน การใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในการจัดตารางสำหรับการผลิตแบบไหลเลื่อนในระบบทันเวลาพอดี.** **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่ การประชุมวิชาการด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรมแห่งชาติ ประจำปี 2552 วันที่ 25-26 มิถุนายน 2552 กรุงเทพมหานคร.**

12. ความเชี่ยวชาญในสาขาวิชา

12.1) Operation research and Optimization

12.2) Machine Scheduling

12.3) Production Planning and Control

12.4) Industrial Engineering

ผู้ร่วมวิจัยคนที่ 5

1. ชื่อ นางอรจิตร แจ่มแสง
2. ตำแหน่งทางวิชาการ อาจารย์
3. ตำแหน่งทางการบริหาร -
4. สังกัด สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการ
   คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
   มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
5. Email-address (มหาวิทยาลัย) orajit.pra@at.rmutr.ac.th
   Email-address (อื่น) nid_orajit@hotmail.com
6. โทรศัพท์มือถือ 09-4487-1640
7. โทรศัพท์ที่ทำงาน 032-618500 ต่อ 4021
   โทรสาร 032-618570
8. ที่อยู่ในการจัดส่งเอกสาร คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
   มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
   วิทยาเขตวังไกลกังวล ต.หนองแก อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77110
9. กรณีมีผู้ประสานงานสามารถติดต่อได้ที่
   ชื่อ นายจิรายุ ครือเครือ
   โทรศัพท์ 032-618500 ต่อ 4047, 09-9-761-4656
   ที่อยู่ในการจัดส่งเอกสาร สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหการ คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล
   ต.หนองแก อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77110
10. ประวัติการศึกษา

ที่	ระดับการศึกษา	ชื่อสถาบันการศึกษา	ปีการศึกษาที่สำเร็จ	วุฒิทางการศึกษา	สาขาวิชา
1	ปริญญาตรี	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล	2547	วศ.บ.	วิศวกรรมสิ่งทอ
2	ปริญญาโท	มทร.ธัญบุรี	2553	วศ.ม.	วิศวกรรมอุตสาหการ

11. ผลงานวิจัย/ผลงานวิชาการ

ปี พ.ศ.	เรื่อง
2558	**ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** อรจิตร แจ่มแสง, ปิยะวรรณ สูนาสวน, นิวัฒน์ มูเก็ม **ชื่อผลงาน** การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความต้านทานแรงเฉือนระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมและโลหะบัดกรีไร้สารตะกั่ว, วารสาร **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี), ปีที่ 7 ฉบับที่ 14 ประจำเดือนกรกฎาคม ถึง เดือนธันวาคม 2558 จำนวน 4 เล่ม **ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** ทวี หมัดสัะ, ปิยะวรรณ สูนาสวน, อรจิตร แจ่มแสง **ชื่อผลงาน** อิทธิพลการอบชุบของการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม เหล็กกล้าเครื่องมือ SKD 11 มีผลต่อการพังทลาย **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** การประชุมวิชาการวิศวกรรมอุตสาหการ ณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 11 วันที่ 19-20 ม.ย.58 **ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** อรรถกร จันทร์ชนะ, ดำรงมิตร เหียนขุนทด, อรจิตร แจ่มแสง **ชื่อผลงาน** การศึกษาเปรียบเทียบความแข็งชั้นพอกผิวแข็งบนเหล็กกล้าคาร์บอน JIS-S50C โดยการเชื่อมอาร์กลวดหุ้มฟลั๊กซ์ **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** การประชุมวิชาการวิศวกรรมอุตสาหการ ณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 11 วันที่ 19-20 ม.ย.58
2557	**ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** นิวัฒน์ มูเก็ม, อรจิตร แจ่มแสง **ชื่อผลงาน** การศึกษาการเกิดชั้นประกอบเชิงโลหะระหว่างโลหะบักรีไร้สารตะกั่ว Sn-0.7Cu และโลหะพื้นต่างชนิดโดยบัดกรีแบบรีโฟรว์ **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** การประชุมวิชาการวิศวกรรมอุตสาหการ ณ. รร.โนโวเทล สุวรรณภูมิ จ.สมุทรปราการ วันที่ 30-31 ต.ค.57
2556	**ระบุชื่อเจ้าของผลงาน** อรจิตร แจ่มแสง, ปริญญา กวีกิจบัณฑิต **ชื่อผลงาน** การลดของเสียจากกระบวนการผลิตชุดกันความร้อน กรณีศึกษาโรงงานตัวอย่าง **แหล่งตีพิมพ์เผยแพร่** , การประชุมวิชาการระดับชาติ “เครือข่ายวิจัยสถาบันอุดมศึกษาทั่วประเทศ” ประจำปี 2556 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 27 กุมภาพันธ์ – 1 มีนาคม 2556

12. ความเชี่ยวชาญในสาขาวิชา

12.1) Applied statistics and Quality control

12.2) Operations Research

12.3) Work study and Ergonomic