



พัฒนาวัสดุคอมโพสิตเถ้าทิ้งจากการผลิตในอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมเป็นวัสดุก่อสร้าง  
Development of Waste Ash Composite Materials from Industrial and  
Agricultural as Construction Materials

ผู้วิจัย

นายนิโรจน์ เงินพรหม

นายธนนท์ ศัลยวุฒิ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายจ่าย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

## บทคัดย่อ

พัฒนาวัสดุคอมโพสิตเถ้าทิ้งจากการผลิตในอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมเป็นวัสดุก่อสร้าง  
Development of Waste Ash Composite Materials from Industrial and  
Agricultural as Construction Materials

นายนิโรจน์ เงินพรหม, นายธนนท์ ศัลยวุฒิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

จากการทดลองวิจัยพบว่าองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบมีซิลิกอน ออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ), แคลเซียม ออกไซด์ ( $\text{CaO}$ ), โพแทสเซียม ออกไซด์ ( $\text{K}_2\text{O}$ ) เป็น 94.00%, 2.00%, 2.80% ตามลำดับและพบสารประกอบ Silicon Oxide ( $\text{SiO}_2$ ) : Cristobalite เถ้าแกลบมีผลการทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏ มีค่า  $2.24 \text{ g/cm}^3$ , ความถ่วงจำเพาะ 1.43, ค่า Loss on Ignition 7.94 %, การกระจายตัวของขนาดอนุภาค  $53.65 \mu\text{m}$  พื้นที่ผิว Single point BET  $30.07 \text{ m}^2/\text{g}$  พื้นที่ผิว Multi point BET  $30.44 \text{ m}^2/\text{g}$  การขึ้นรูปตามอัตราส่วนของ เถ้าแกลบ - พลาสติก ที่เถ้าแกลบ 100% และ 90 % ไม่สามารถอัดขึ้นรูปได้เนื่องจากเถ้าแกลบมีมวลที่ละเอียด เมื่อขึ้นรูปจะไม่เกิดการยึดเกาะระหว่างมวลกับพลาสติกตั้งรูปในตารางและขึ้นรูปได้แต่ไม่สมบูรณ์ที่ เถ้าแกลบ 80% ส่วนอัตราส่วนเถ้าแกลบตั้งแต่ 70%-0%สามารถขึ้นรูปได้สมบูรณ์ ตัวอย่างทดสอบเถ้าแกลบ-พลาสติกที่มีกำลังอัดน้อยกว่า 70 ksc. ที่อัตราส่วนเถ้าแกลบ 60% ขึ้นไป ตัวอย่างกำลังระหว่าง 70-100 ksc. 2 ตัวอย่างที่อัตราส่วนเถ้าแกลบที่ 40-50% และมากกว่า 100 ksc. ที่อัตราส่วนเถ้าแกลบที่น้อยกว่า 30% โดยสามารถรับกำลังได้สูงสุดที่ 200.79 ksc. เถ้าแกลบผสมพลาสติกเมื่อเพิ่มปริมาณพลาสติกมากขึ้นกำลังรับแรงเพิ่มตามลำดับผู้ใช้ควรเลือกใช้ตามความเหมาะสมกับงาน ปริมาณเถ้าแกลบ 70% ขึ้นไปตัวอย่างจมน้ำและปริมาณ เถ้าแกลบต่ำกว่า 60% ก่อนตัวอย่างทดสอบลอยน้ำ ตัวอย่าง สามารถดูดซึมน้ำได้น้อยกว่า 30% ทุก ตัวอย่างที่สามารถขึ้นรูปได้ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในงานก่อสร้างได้ เถ้าแกลบผสมพลาสติกไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรหรือเกิดน้อยมาก ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีของวัสดุก่อสร้าง จากการทดสอบด้วยกล้องขยายกำลัง 50x พบว่าดินลูกรังสามารถขึ้นรูปได้ด้วยการประสานของพลาสติกโดยยังมีอัตราส่วนของพลาสติกมากยิ่งทำให้มีความสามารถยึดเกาะขึ้นรูปและกำลังได้ดีตามไปด้วย

คำสำคัญ เถ้าแกลบ, เถ้าทิ้ง, วัสดุคอมโพสิต

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้โดยการสนับสนุนจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครและสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ภายใต้การดูแลของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ทำให้สามารถดำเนินงานวิจัยสำเร็จตามวัตถุประสงค์ รวมทั้งที่เล็งเห็นถึงความสำคัญของการพัฒนางานวิจัย รวมทั้งนักศึกษา ครู อาจารย์ และบุคลากรทางการศึกษาทุกท่านที่ให้คำแนะนำในด้านต่างให้การดำเนินงานวิจัยสำเร็จไปได้ด้วยดี



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญการตาราง	ง
สารบัญรูปประกอบ	จ
บทที่	
1 บทนำ	1-2
1.1 ปัญหาและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2 วรสารปริทรรศน์	3-24
2.1 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	3
2.2 วัสดุคอมโพสิต	3
2.3 พลาสติก	14
2.4 วัสดุเถ้าทิ้งจากผลผลิตอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม	15
3 วิธีการและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	25-34
3.1 ศึกษาถึงข้อมูลเบื้องต้นของงานวิจัย	25
3.2 กำหนดแหล่ง เถ้าทิ้งที่จะใช้วิจัย	26
3.3 เก็บตัวอย่าง เถ้าทิ้ง ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง	27
3.4 ทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของ เถ้าทิ้ง	27
3.5 ทำการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของ ดินลูกรัง ทั้งทางคุณภาพและปริมาณ	29
3.6 ออกแบบอัตราส่วนผสม	29
3.7 ขึ้นรูปตัวอย่างตามอัตราส่วนที่กำหนด	29
3.8 ทำการทดสอบกำลังอัด ตามอัตราส่วนผสมที่ออกแบบไว้ เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณเถ้าทิ้งและพลาสติก ต่อกำลังรับแรงอัด	31
3.9 เลือกอัตราส่วนและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม ทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค	33
3.10 ทำการทดสอบการดुकลื่นน้ำ	33

สารบัญต่อ	หน้า
4 ผลการวิจัย	35-42
4.1 ผลการทดสอบหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของถั่วแกลบ	35
4.2 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏ, ความถ่วงจำเพาะ, ค่า Loss on Ignition, การกระจายตัวของขนาดอนุภาคและขนาดรูพรุนของตัวอย่างถั่วแกลบ	35
4.3 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดย X-Ray Diffactometer (XRD) ของตัวอย่างถั่วแกลบ	36
4.4 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏ, ความถ่วงจำเพาะ, ค่า Loss on Ignition, การกระจายตัวของขนาดอนุภาคและขนาดรูพรุนของตัวอย่างดินลูกรัง	37
4.5 ผลการทดสอบความสามารถดูดกลืนน้ำ (Moisture Content; MC %)	40
4.6 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากความชื้น	41
4.7 ผลเลือกอัตราส่วนและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม ทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค	42
5 ผลการวิจัย	43-44
5.1 สรุปผลจากผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ	43
5.2 สรุปผลการผสมตัวอย่างขึ้นรูปตามอัตราส่วน	43
5.3 สรุปผลการทดสอบกำลังอัดพบว่า	43
5.4 สรุปผลการทดสอบการดูดซับน้ำ (Moisture Content; MC %)	43
5.5 สรุปผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากความชื้น	44
5.6 สรุปผลจากการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค	44
5.7 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา	44
เอกสารอ้างอิง	45-47
ภาคผนวก ก ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	48
ภาคผนวก ข เผยแพร่ประชุมสัมมนาถ่ายทอดเทคโนโลยี	49-51
ภาคผนวก ค ประวัติคณะผู้วิจัย	52-53

## สารบัญตาราง

สารบัญตาราง	หน้า
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ	15
2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อยที่มี LOI สูง และ LOI ต่ำ	19
2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมันเปรียบเทียบกับเถ้าแกลบบด	23
3.1 อัตราส่วนผสมของเถ้าทิ้งกับพลาสติก	29
4.1 ผลการทดสอบการทดสอบหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ	35
4.2 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏ , ความถ่วงจำเพาะ , ค่า Loss on Ignition, การกระจายตัวของขนาดอนุภาคและขนาดรูพรุนของตัวอย่างเถ้าแกลบ	35
4.3 ผลการขึ้นรูปตามอัตราส่วนของ เถ้าแกลบ – พลาสติก	37
4.4 ผลการทดสอบกำลังอัดของ เถ้าแกลบ –พลาสติก	39
4.5 ผลการทดสอบความสามารถดูดกลืนน้ำของ เถ้าแกลบ – พลาสติก	40
4.6 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากความชื้น	41
4.7 ผลการทดสอบกำลังอัดของ เถ้าแกลบ –พลาสติก	39
4.8 ผลการทดสอบความสามารถดูดกลืนน้ำของ เถ้าแกลบ – พลาสติก	40
4.9 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากความชื้น	41



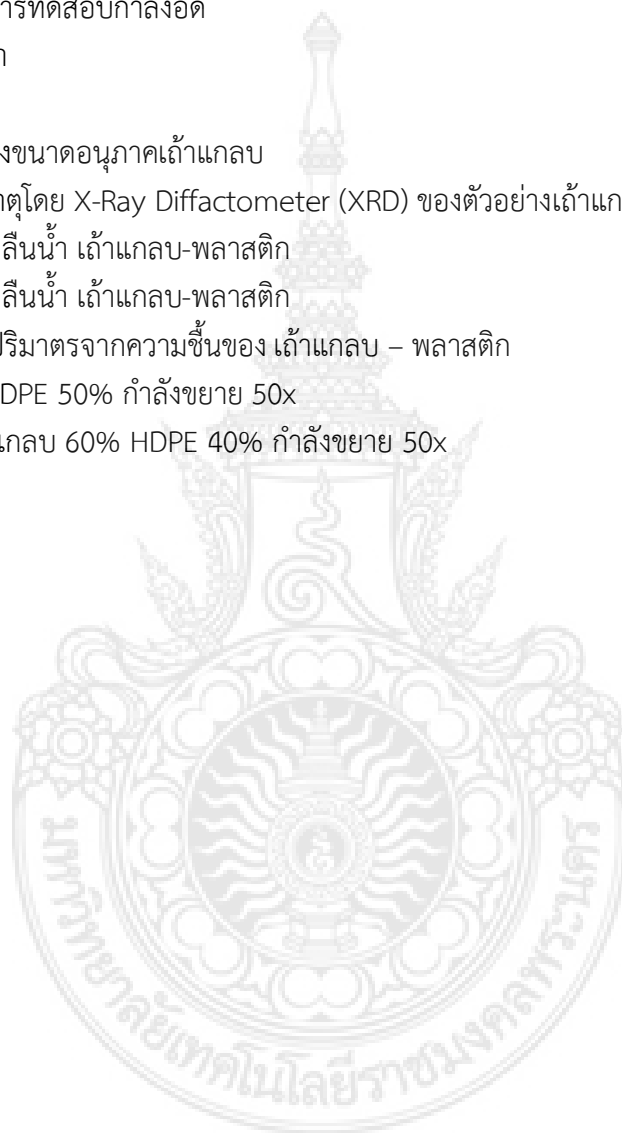
## สารบัญญรูปประกอบ

สารบัญญรูปประกอบ	หน้า
2.1 แสดงประเภทของวัสดุคอมโพสิทโดยแบ่งตามลักษณะของส่วนเสริมแรง	4
2.2 แสดงตัวอย่างคอมโพสิทที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน	5
2.3 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างใน 2 มิติอย่างง่ายของก้อนคอมโพสิท	6
2.4 เป็นภาพตัดของวัสดุผสมเสริมเส้นใย	8
2.5 แสดงลักษณะโซโมเลกุลของเทอร์โมพลาสติกแบบไม่มีผลึก	9
2.6 แสดงลักษณะโซโมเลกุลของเทอร์โมพลาสติกแบบมีผลึกบางส่วน	9
2.7 หน่วยเซลล์เบื้องต้นของสารเสริมแรง	10
2.8 การจัดเรียงแบบสุ่มตัวของหน่วยเซลล์ของสารเสริมแรงในเนื้อของวัสดุคอมโพสิท	10
2.9 เส้นใยเสริมแรงที่ได้จากการเรียงตัวต่อกันของหน่วยเซลล์ของสารเสริมแรงในทิศทางที่มีความแข็งแรงสูง	11
2.10 กระบวนการส่งผ่านภาระแรงดึง	11
2.11 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่มีต่อค่าความเครียดที่เกิดขึ้นรอบๆ เส้นใยเสริมแรง	12
2.12 ค่าความเค้นดึงที่เกิดขึ้นในเส้นใยและมีค่าความเค้นเฉือนที่ผิวหน้าสัมผัสของเส้นใย	12
2.13 ถ้าแกลบ ก) ก่อนบด และ ข) หลังบด	16
2.14 การต้านทานคลอไรด์ของมอร์ตาร์ถ้าแกลบ	17
2.15 การต้านทานซัลเฟตของมอร์ตาร์ถ้าแกลบ	17
2.16 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของมอร์ตาร์ถ้าแกลบ	18
2.17 ขนาดอนุภาคของถ้าชานอ้อยบด	20
2.18 X-ray deflection ของถ้าชานอ้อยบด	21
2.19 องค์ประกอบทางเคมีของถ้าชานอ้อยบด	21
2.20 กำลังอัดของคอนกรีตผสมถ้าชานอ้อยบด	21
3.1 ตัวอย่างถ้าแกลบ	26
3.2 เม็ดพลาสติกชนิด HDPE	27
3.3 เม็ดพลาสติกชนิด HDPE ผ่านการบด	27
3.4 แสดงแผนภูมิขั้นตอนในการวิจัย	28
3.5 นำ ถ้าทิ้ง มาชั่ง	29
3.6 นำ HDPE มาชั่ง	29
3.7 ถ้าทิ้งหลังจากการผสมตามอัตราส่วน	29
3.8 วัสดุหลังผสมตามอัตราส่วนเทเข้าแบบหล่อ	30
3.9 นำตัวอย่างเข้าอบขึ้นรูป	30
3.10 ตัวอย่างหลังอบขึ้นรูป	31
3.11 ลักษณะผิวของตัวอย่างหลังอบขึ้นรูป	31

สารบัญรูปประกอบ

หน้า

3.12	ตัวอย่างหลังอบขึ้นรูปพร้อมทดสอบคุณสมบัติต่อไป	31
3.13	ตัวอย่าง ใ้ก้าทั้งผสม HDPE มาทดสอบกำลังอัด	32
3.14	เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด	32
3.15	ตัวอย่างหลังกดทดสอบ	32
3.16	ตัวอย่าง ก่อนกดการทดสอบกำลังอัด	32
3.17	ตัวอย่างขณะแช่น้ำ	33
3.18	ตัวอย่างหลังแช่น้ำ	33
4.1	การกระจายตัวของขนาดอนุภาคใ้ก้าแกลบ	36
4.2	ผลการวิเคราะห์ธาตุโดย X-Ray Diffractometer (XRD) ของตัวอย่างใ้ก้าแกลบ	36
4.3	ความสามารถดูดกลืนน้ำ ใ้ก้าแกลบ-พลาสติก	39
4.4	ความสามารถดูดกลืนน้ำ ใ้ก้าแกลบ-พลาสติก	40
4.5	การเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากความชื้นของ ใ้ก้าแกลบ – พลาสติก	41
4.6	ใ้ก้าแกลบ 50% HDPE 50% กำลังขยาย 50x	42
4.7	รอยแตกของ ใ้ก้าแกลบ 60% HDPE 40% กำลังขยาย 50x	42





## บทที่ 1 บทนำ

โครงการวิจัย พัฒนาวัสดุคอมโพสิตเถ้าทิ้งจากการผลิตในอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมเป็นวัสดุก่อสร้าง (Development of Waste Ash Composite Materials from Industrial and Agricultural as Construction Materials)

### 1.1 ปัญหาและที่มาของงานวิจัย

"...วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นปัจจัยสำคัญในการสร้าง ความเจริญของบ้านเมือง จึงควรสนับสนุนให้ มีการค้นคิดเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับภาวะ และหาความต้องการของประเทศ ขึ้นใช้เองอย่างจริงจังถ้าสามารถค้นคิดได้ มากเท่าไร จะเป็นการประหยัดและช่วยให้สามารถ นำไปใช้ในงานต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง ยิ่งขึ้นเท่านั้น..." พระราชดำรัส พระราชทานเนื่องในงานสัปดาห์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ 1 สิงหาคม 2531

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมและมีจำนวนประชากรที่ขยายตัวเพิ่มขึ้นตลอดเวลาทำให้ต้องการใช้ทรัพยากรธรรมชาติเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้มีการพัฒนาและการขยายตัวของภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรมเพิ่มปริมาณมากขึ้นซึ่งส่งผลให้มีปริมาณกากของเสียจากกระบวนการผลิตจากภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรมซึ่งมลพิษสิ่งแวดล้อมเหล่านี้มีมากขึ้นตามไปด้วย เป็นผลสืบเนื่องมาจากความเฉลียวฉลาดของมนุษย์ [1] ที่ต้องการมากขึ้นทำให้ส่งผลต่อสภาวะแวดล้อมสิ้นเปลืองพื้นที่การฝังกลบ และเกิดปัญหาในด้านการจัดการทำลายกากของเสียเหล่านี้จึงมีแนวคิดที่จะนำกากของเสียจากกระบวนการผลิตจากภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรมมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ในงานก่อสร้างซึ่งนำกากของเสียจากกระบวนการผลิตจากภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะวัสดุเถ้าทิ้ง จากกากอ้อยหรือชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงงานน้ำตาล, จากแกลบ-เปลือกไม้เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้แกลบ 2 ส่วน และเปลือกไม้ 1 ส่วนเป็นเชื้อเพลิงเถ้าทิ้งจากกระบวนการผลิตดังกล่าวประมาณ 300,000 ตันต่อปี ซึ่งไม่ได้ใช้ประโยชน์ ในโรงงานผลิต และจากแกลบในโรงงานสีข้าวจากการเผาทิ้ง ซึ่งเป็นกากของเสียที่มีปริมาณมากทำให้ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมโดยงานวิจัยนี้จะนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดและคุ้มค่าตามพระบรมราโชวาทที่ว่า "...เทคโนโลยี นั้น โดยหลักการ คือ การทำให้สิ่ง ที่มีอยู่ให้เกิด เป็นสิ่ง ที่นำมาใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้น เทคโนโลยีที่ดีสมบูรณ์ จึงควร จะ สร้างสิ่งที่จะใช้ประโยชน์ได้อย่างคุ้มค่า และมีความสูญเสียเปล่าหรือความเสียหายที่เกิดขึ้นน้อยที่สุด..." พระบรมราโชวาท ในพิธีพระราชทานปริญญาบัตรของ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ณ อาคารใหม่ สวนอัมพร 18 ตุลาคม 2522

รวมทั้งหากนำเถ้ากากของเสียจากกระบวนการผลิตก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมแก่ชุมชนใกล้เคียง ดังนั้นหากสามารถสร้างทางเลือกใหม่ที่จะนำเถ้าเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ จะเป็นการป้องกันและลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากเถ้าถ่านดังกล่าว และยังเป็น การเพิ่มมูลค่าแก่เถ้ากากของเสียจากกระบวนการผลิตจากภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรม และทำให้เพิ่มรายได้จากการขายเถ้าที่เป็นผลพลอยได้ และเปลี่ยนวัสดุ เหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรมที่ไม่มีมูลค่า เป็นวัสดุเหลือทิ้งที่มีราคาในตัวเองได้อย่างยั่งยืน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาและพัฒนาเถ้าทิ้งเพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุ คอมโพสิต เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีในการนำเถ้าทิ้งไปใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพและทำให้เกิดความมั่นใจแก่อุตสาหกรรมก่อสร้างไทยที่จะนำเอาเถ้าทิ้งไปใช้งาน ทั้งยังช่วยลดปัญหามลภาวะและปัญหาสิ่งแวดล้อมจากวัสดุกากของเสียจากกระบวนการผลิตและลดพื้นที่การกำจัดทิ้ง ดังนั้นวัสดุประสานหรือวัสดุปอซโซลานจากเถ้าทิ้งจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ที่สามารถลดปริมาณของเสียจากอุตสาหกรรม และเพิ่มศักยภาพการใช้ประโยชน์จากของเสียในเชิงพาณิชย์ได้ต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 นำวัสดุเก่าทิ้ง จากจากแกลบในภาคเกษตรใช้ในการทำวัสดุคอมโพสิต

1.2.2 ศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตผสมวัสดุเก่าทิ้งจากแกลบในภาคเกษตร

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ใช้วัสดุพลาสติกชนิดความหนาแน่นสูง

ใช้วัสดุเหลือเก่าทิ้ง จากแกลบ ในผลิตเกษตรกรรม

ศึกษาสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมี ของวัสดุเก่าทิ้ง จากแกลบในภาคเกษตร  
ใช้ในการทำวัสดุคอมโพสิต

ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่าง เก้าทิ้ง,พลาสติก,สารผสมเพิ่ม

## 1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

**วิธีการดำเนินการวิจัย** เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการทดลอง โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและทำการทดสอบโดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

- 1) ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
- 2) กำหนดแหล่ง เก้าทิ้งที่จะใช้วิจัย และจัดหาวัสดุอุปกรณ์ ครุภัณฑ์
- 3) เก็บตัวอย่าง เก้าทิ้ง ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง เก้าทิ้งดังกล่าว
- 4) ทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของ เก้าทิ้ง
- 5) ทำการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของ เก้าทิ้ง ทั้งทางคุณภาพและปริมาณ
- 6) ออกแบบอัตราส่วนผสม
- 7) ขึ้นรูปตัวอย่างตามอัตราส่วนที่กำหนด
- 8) ทำการทดสอบกำลังอัด ตามอัตราส่วนผสมที่ออกแบบไว้ เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณเก้าทิ้ง และพลาสติก ต่อกำลังรับแรงอัด
- 9) เลือกอัตราส่วนและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม ทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค
- 10) ทำการทดสอบการดูดกลืนน้ำ
- 11) ทำการประมวลผล วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบรายละเอียดเชิงลึกของผลการทดสอบ
- 12) จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์และถ่ายทอดเทคโนโลยี

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 นำเก้าทิ้งจากทดลองวิจัยไปผลิตเป็นวัสดุคอมโพสิต

1.5.2 เป็นการบริหารสิ่งเหลือใช้ให้เป็นประโยชน์ สร้างความสมดุลของสังคมและสิ่งแวดล้อม ลดขยะอุตสาหกรรม เกษตรกรรม ทำให้มีคุณค่าจากปัจจุบันสู่นาคต

1.5.3 ผลงานวิจัยสามารถตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ

1.5.4 จดสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร

1.5 งานวิจัยนี้เป็นการกระตุ้นเศรษฐกิจชุมชนหรือวิสาหกิจชุมชนได้เป็นอย่างดีเนื่องจากเก้าแกลบและขานอ้อยเป็นทรัพยากรจากธรรมชาติมีในประเทศสามารถ ทำให้เป็นวัตถุดิบผลิตเป็นสินค้าชุมชนส่งเสริมระบบเศรษฐกิจท้องถิ่นอย่างยั่งยืน

## บทที่ 2 วัสดุสารพริทรรคน์

### 2.1 ทฤษฎี สมบัติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

พื้นที่สำหรับการทิ้งวัสดุเหลือทิ้งจากผลผลิตด้านอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมเป็นปัญหาใหญ่ในด้านสิ่งแวดล้อมเพราะถ้าทิ้งดังกล่าวไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ ดังนั้นการ ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุวัสดุเหลือทิ้งและ ถ้ำทิ้ง จากกากอ้อยหรือขานอ้อยในโรงงาน , จากเกลบในภาคเกษตรเพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อมและลดพื้นที่สำหรับการทิ้งของเสียจากถ้ำทิ้งดังกล่าวอีกทั้งเมื่อนำวัสดุเหล่านี้ไปผลิตเป็นวัสดุคอมโพสิทจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ และนำไปใช้ในงานก่อสร้าง รวมทั้งสามารถเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรอุตสาหกรรมหรือหน่วยงานในการผลิตวัสดุคอมโพสิทใช้ในงานต่างๆ

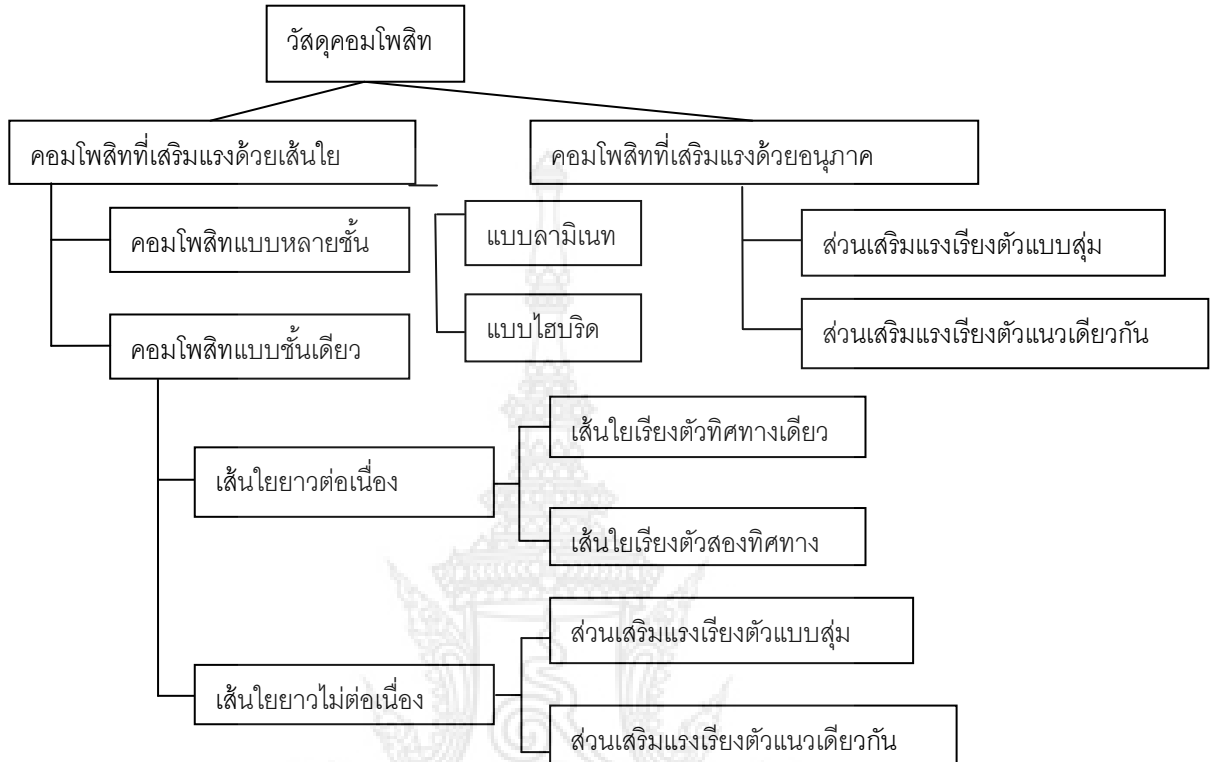
คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุทางธรรมชาติมีความสำคัญต่อการเรียนรู้เพื่อที่จะนำไปใช้ให้ถูกต้องเหมาะสมกับงานที่ทำ คุณสมบัติที่ทนต่อแรงดึง หมายถึง คุณสมบัติของวัสดุที่สามารถทนต่อแรงกระทำไปในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางเรียงตัวของเส้นใยธรรมชาติ โมดูลัสยืดหยุ่น หมายถึง อัตราส่วนระหว่างหน่วยแรงกับหน่วยยืดหดตัว ความแข็ง หมายถึง ความต้านทานต่อการเสียรูปอย่างถาวรที่เกิดขึ้นจากการขีดข่วน คุณสมบัติของการขยายตัว หมายถึง ความสามารถของวัสดุที่ทนต่อการยืดขยายตัวเมื่ออยู่ในสภาพความชื้นสูง ๆ ซึ่งจะมีความสำคัญมาก พลาสติกหรือพอลิเมอร์เป็นวัสดุที่เหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์มาก ซึ่งได้มาจากการสังเคราะห์จากก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบ คุณสมบัติเด่นของพลาสติกและพอลิเมอร์ที่จะใช้ในโครงการนี้คือ ความเป็นฉนวนกันน้ำ ซึ่งจะมีประโยชน์อย่างมากสำหรับวัสดุใหม่นี้

การนำเอาถ้ำทิ้งมาผสมผสานกับพลาสติกแล้วขึ้นรูปเพื่อให้ได้ชิ้นงานตามความเหมาะสม ซึ่งการเตรียมชิ้นงานจะมีความสำคัญมากในเรื่องสัดส่วนการผสมระหว่าง ถ้ำทิ้งและพลาสติก แต่ละสัดส่วน แต่ละชนิดของถ้ำทิ้งและพลาสติกจะให้ผลของกลสมบัติที่แตกต่างกัน ในงานวิจัยชิ้นนี้เป็นการศึกษา การใช้ถ้ำทิ้งเหลือใช้จากของเสียอุตสาหกรรมและการเกษตรผ่านกระบวนการปรับสภาพขนาด นำมาพัฒนามาเป็นวัสดุคอมโพสิทถ้ำทิ้งผสมพลาสติกเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างเพื่อเพิ่ม มูลค่าให้กับตัววัสดุและเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรได้อย่างยั่งยืนต่อไป รวมทั้งเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างเป็นสินค้าชนิดใหม่

### 2.2 วัสดุคอมโพสิท

“วัสดุคอมโพสิท” เป็นวัสดุทางวิศวกรรมที่นำเอาวัสดุที่มีคุณสมบัติต่างกันตั้งแต่ 2 ชนิดหรือมากกว่ามาประกอบกัน สร้างเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างใหม่ซึ่งมีคุณสมบัติทางด้านวัสดุศาสตร์ที่เหนือกว่าวัสดุพวกโลหะ เช่น ค่าความแกร่งและแข็งสูง ความถ่วงจำเพาะต่ำ นำมาซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบา สามารถ ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้ง่าย ทนทานต่อการกัดกร่อนจากสารเคมีและสภาพอากาศมีความยืดหยุ่นตัวสูง และมีคุณสมบัติทางกลที่ดีโดยคุณสมบัติที่โดดเด่นของวัสดุคอมโพสิทนี้ทำให้วัสดุคอมโพสิทมีความน่าสนใจและมีความได้เปรียบกว่าวัสดุชนิดอื่น นอกจากนี้ วัสดุคอมโพสิทยังประกอบด้วยตัวเสริมแรง (reinforce phase) และเนื้อประสาน (matrix) เช่น พอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ซึ่งทำหน้าที่ในการประสานเชื่อมโยงโครงสร้างระหว่างตัวเสริมแรงเพื่อทำให้เกิดโครงข่าย 3 มิติ (crosslinking) เพื่อช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางกลให้แก่วัสดุคอมโพสิท ทั้งนี้

ด้วยคุณสมบัติของวัสดุ คอมโพสิตที่กล่าวมาข้างต้น ส่งผลให้วัสดุคอมโพสิตถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมก่อสร้างและโครงสร้าง อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์และวัสดุทางการแพทย์ [2] จึงมีการแบ่งประเภทของวัสดุคอมโพสิตตามการใช้งานและวัสดุผสมดังรายละเอียดตามรูปที่ 2.1 ดังนี้



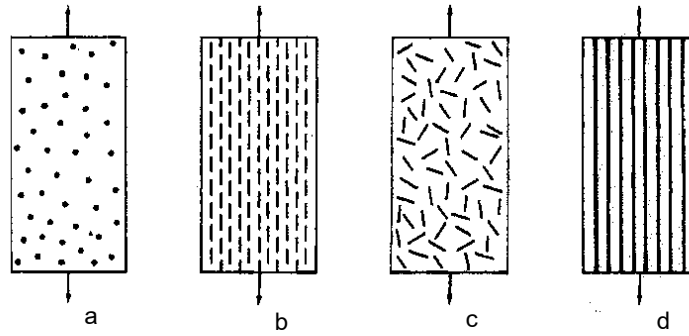
รูปที่ 2.1 แสดงประเภทของวัสดุคอมโพสิตโดยแบ่งตามลักษณะของส่วนเสริมแรง [3],[4]

### 2.2.1 ส่วนเสริมแรง (Reinforcement Phase)

ส่วนเสริมแรงมีลักษณะรูปร่างได้หลายแบบ อาจเป็นแผ่น เส้นใย หรืออนุภาคเล็กๆ ก็ได้ ดังตัวอย่างรูปที่ 2 ตัวเสริมแรงที่นิยมใช้ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นเส้นใย (Fiber) อาจจะเป็นเส้นใยต่อเนื่อง หรือเส้นใยสั้น ตัวอย่างเส้นใยที่ใช้เสริมแรงในพอลิเมอร์คอมโพสิต เช่น เส้นใย แก้วเคฟลาร์ หรือเส้นใยธรรมชาติต่างๆ

คุณสมบัติของเส้นใยที่เหมาะสมสำหรับใช้เสริมแรง ควรมีลักษณะดังนี้ [5]

1. เส้นใยควรมีโมดูลัสยืดหยุ่นสูง เพื่อประสิทธิภาพในการเสริมแรง
2. เส้นใยควรมีความแข็งแรงสูง
3. ความแข็งแรงของเส้นใยแต่ละเส้นใยไม่ควรแตกต่างกันมาก
4. เส้นใยควรเสถียรและรับความแข็งแรง ขณะจัดเก็บและขึ้นรูปได้
5. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และพื้นผิวของเส้นใย ควรมีลักษณะเหมือนกัน



รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างคอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน [3],[4]

- (a) ส่วนเสริมแรงเป็นอนุภาค จัดเรียงตัวแบบสุ่ม
- (b) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยสั้น จัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน
- (c) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยสั้น จัดเรียงตัวแบบสุ่ม
- (d) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยยาว จัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน

ปัจจัยสำคัญของเส้นใยที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิต ได้แก่ [6]

1. เส้นผ่าศูนย์กลาง
2. ความยาวของเส้นใย
3. ปริมาตรของเส้นใย
4. ลักษณะรูปร่างของเส้นใย
5. การจัดเรียงตัวของเส้นใยในคอมโพสิต

### 2.2.2 ผิวสัมผัสระหว่างเส้นใยเสริมแรงกับเนื้อประสาน

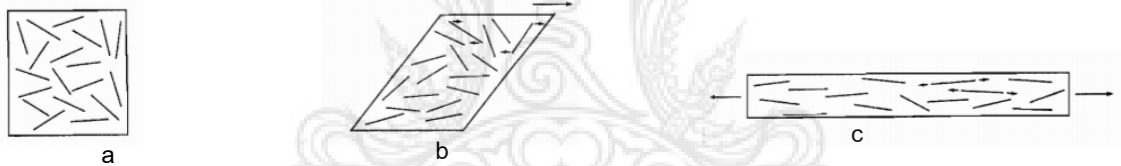
ภาระที่กระทำบนเนื้อประสานที่จะถูกส่งผ่านไปยังตัวเสริมแรงโดยผ่านทางผิวหน้าสัมผัส ดังนั้นเส้นใยเสริมแรงจะต้องถูกเชื่อมต่อดีกับเนื้อประสานเพื่อทำให้วัสดุคอมโพสิตมีความแข็งแรง (Strength) และความแข็งแกร่ง (Stiffness) สูง ลักษณะของการแตกหักเสียหายก็ขึ้นกับ ความแข็งแรงของหน้าสัมผัสเช่นกัน หน้าสัมผัสที่ไม่แข็งแรงจะส่งผลให้วัสดุคอมโพสิตมีความแข็งแรงและความแข็งแกร่งน้อยลงและจะมีความต้านทานในการแตกหักน้อยลง นอกจากนี้ ลักษณะของหน้าสัมผัสก็มีผลต่อสมบัติอื่นๆ ของวัสดุคอมโพสิต เช่น ความต้านทาน การคืบ (Creep) การล้า (Fatigue) และการเสื่อมเนื่องจากสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

หน้าสัมผัสระหว่างเส้นใยเสริมแรงกับเนื้อประสานมีความสำคัญ ทั้งในกรณีของเส้นใยสั้นเส้นใยยาว หรือแม้แต่สารเสริมแรงที่มีลักษณะเป็นอนุภาค ลักษณะต่างๆ ของผิวหน้าสัมผัสมีอิทธิพลต่อสมบัติของวัสดุคอมโพสิต เช่นกัน ปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงของหน้าสัมผัส มีดังนี้

### 2.2.3 การจัดเรียงตัวของเส้นใย

ปัจจัยที่มีความสำคัญเท่าๆ กับความยาวของเส้นใยเสริมแรง ก็คือ การจัดเรียงตัวของเส้นใยซึ่งจะขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตวัสดุคอมโพสิต ในวัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยยาวสามารถที่จะควบคุมความยาวของเส้นใยและสามารถคาดเดาสมบัติของคอมโพสิต เช่น ความแข็งแรง (Stiffness) และความแข็งแรง (Strength) ได้ แต่ในทางตรงกันข้ามเมื่อขนาดของเส้นใยสั้นลงและกระบวนการผลิตวัสดุคอมโพสิตที่มีการเหนียวน้ำให้มีการไหลของวัสดุในแม่พิมพ์ ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงตัวของเส้นใยในแม่พิมพ์อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เมื่อมีความหนาและส่วนประกอบย่อยในแม่พิมพ์ฉีดยามากจะทำให้สามารถคาดเดาสมบัติของวัสดุคอมโพสิตได้ยากมาก ทั้งนี้สมบัติของวัสดุคอมโพสิตในแต่ละจุดก็อาจจะมีแตกต่างกันด้วย

การเปลี่ยนแปลงของการจัดเรียงตัวของเส้นใยมีความสัมพันธ์กับหลายปัจจัย เช่น ลักษณะรูปร่างของเส้นใย สมบัติความหนืดของเนื้อประสานเมื่อมีการเติมเส้นใย การออกแบบแม่พิมพ์และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุเนื่องจากการผลิตที่แตกต่างกันในหลายกระบวนการผลิตการหลอมของพอลิเมอร์หรือการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ภายใต้การไหลอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Elongation) และแรงเฉือน (Shear Force) ผลกระทบเนื่องจากกระบวนการไหลต่อการจัดเรียงตัวของเส้นใยที่เกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 2.3 ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างใน 2 มิติอย่างง่าย



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างใน 2 มิติอย่างง่ายของก้อนคอมโพสิต เนื่องจากผลกระทบจากกระบวนการไหล [6] (a) การกระจายตัวแบบสุ่ม (b) การหมุนของเส้นใยเสริมแรง ระหว่างการไหลเนื่องจากแรงเฉือน และ (c) การจัดเรียงเส้นใยระหว่างการไหลเนื่องจากการยืด

ในระหว่างกระบวนการฉีดขึ้นรูปวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิต การไหลของเส้นใยจะหมุนไปตามทิศทางของการดึงทำให้เกิดการจัดเรียงตัวไปในทิศทางเดียวกันของเส้นใยบางส่วนและแรงเฉือนจะทำให้เส้นใยเกิดการหมุนในลักษณะเดียวกันในทิศทางเดียวกับแรงเฉือน ความหนืดของเนื้อประสานจะส่งผลในการเรียงตัวของเส้นใยโดยมีอิทธิพลจากการไหลเข้าสู่แม่พิมพ์

แม้แต่ในแม่พิมพ์ที่มีความซับซ้อนน้อยที่สุดของแม่พิมพ์แบบฉีด ก็ถูกค้นพบว่าการกระจายและการจัดเรียงตัวของเส้นใยที่แตกต่างกันในแต่ละจุด ดังนั้นการพิจารณาสมบัติทางกล เช่น ความแข็งแรง และความแข็งแรงของวัสดุคอมโพสิตก็จะแตกต่างกันไปในแต่ละจุด ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวและการจัดเรียงตัวของเส้นใย ดังนั้นการที่แม่พิมพ์มีความซับซ้อนมากขึ้นก็จะยิ่งทำให้คาดคะเนการจัดเรียงตัวของเส้นใยในวัสดุคอมโพสิตรวมไปถึงสมบัติทางกลต่างๆ ได้ยากยิ่งขึ้นด้วยแต่ทั้งนี้จะมีความนิยมการใช้วัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใยสั้น โดย

การขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดมากเนื่องจากมีแนวโน้มของค่าใช้จ่ายในการผลิตที่ต่ำกว่าและแนวโน้มในการผลิตเชิงปริมาณ ได้รวดเร็วกว่าคอมโพสิทเสริมแรงเส้นใยยาวจึงยังคงมีการศึกษา และพัฒนาเกี่ยวกับวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิทเสริมเส้นใยสั้นเพื่อสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับวัสดุเมื่อนำมาใช้งานได้

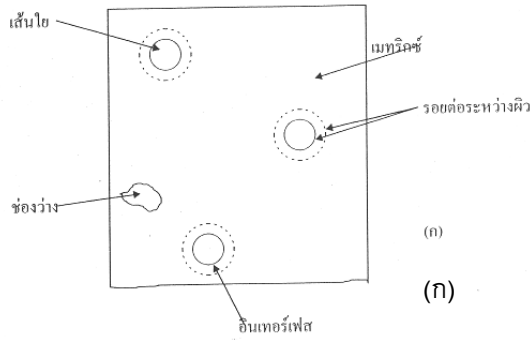
## 2.2.4 พอลิเมอร์เมทริกซ์ (Polymer Matrix)

เมทริกซ์หรือเนื้อประสานเป็นส่วนที่ช่วยหล่อหุ้มและยึดส่วนเสริมแรงเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งโดยทั่วไปเมทริกซ์มักมีความเหนียวสูง แต่มีความแข็งแรงและโมดูลัสต่ำกว่าส่วนเสริมแรงพอลิเมอร์คอมโพสิทแต่ละชนิดที่ประกอบด้วยเมทริกซ์หรือสารเสริมแรงที่แตกต่างกันจะมีสมบัติต่างกัน โดยขึ้นกับปัจจัยต่างๆ Bledzki A.K. และคณะ [5] ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบสารเสริมแรง 3 ชนิด ได้แก่ ผงไม้ (WF) เส้นใยเซลลูโลส (BW.40) และหนังสือพิมพ์เก่า (ONP) พบว่า ความทนแรงดึงเพิ่มขึ้นเมื่อเติมสารเสริมแรงเหล่านี้ใน PP และ HDPE โดยเฉพาะเส้นใยเซลลูโลส และหนังสือพิมพ์เก่าจะเพิ่มสมบัติด้านความทนแรงดึงดีกว่าผงไม้ สารตัวเติมจะช่วยให้เพิ่มความทนแรงกระแทกของ PP แต่จะลดลงใน HDPE อาจเนื่องมาจากสารช่วยยึดติดที่ใช้เข้ากับ PP ได้ดีกว่า HDPE

ตามที่ทราบกันแล้ววัสดุผสมประกอบด้วยวัสดุหลายอย่าง ประกอบด้วยส่วนผสมหลักเส้นใยและพอลิเมอร์เรซิน คือมีสารเติมต่างๆ เพื่อปรับสมบัติที่ต้องการ เช่นไบเดอร์ ฟิลเลอร์ เม็ดสี ตัวเร่ง และสารลดการติดไฟ เป็นต้น เมื่อนำมาผสมกันก็จะเกิดรอยต่อระหว่างผิวหน้า (interfaces) ซึ่งเป็นผิวหน้าที่ฟอร์มพื้นที่หรือขอบเขตคล้ายๆ ขอบเกรนระหว่างส่วนประกอบ 2 ชนิดในสารเนื้อเดียว อินเทอร์เฟส (interphase) เป็นบริเวณที่ฟอร์มอยู่ระหว่างผิวหน้า (รูปที่ 2.4)

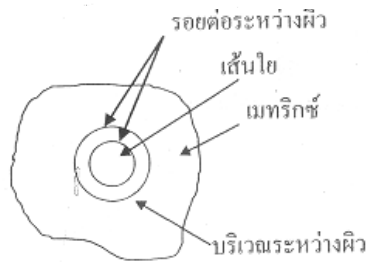
หน้าที่ของเมทริกซ์ในพอลิเมอร์คอมโพสิท ได้แก่ [7]

1. รักษาความเสถียรในรูปร่าง และขนาดของวัสดุคอมโพสิท
2. รักษาการกระจายตัวของเส้นใย และแยกไม่ให้เป็นมารวมกัน
3. ทำให้วัสดุคอมโพสิทสามารถทนต่อการเสียดสีรภาพ ภายใต้อุณหภูมิหรือแรงที่ระดับหนึ่งๆ
4. สามารถกระจายส่งถ่ายแรงที่ได้รับจากภายนอกไปยังเส้นใยได้
5. ช่วยให้ทนทานต่อสภาพแวดล้อมและมีความเสถียรในตัวกลางต่างๆ

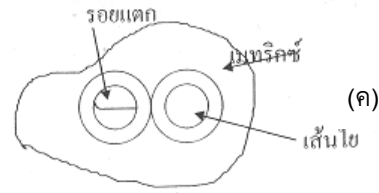


(ก)

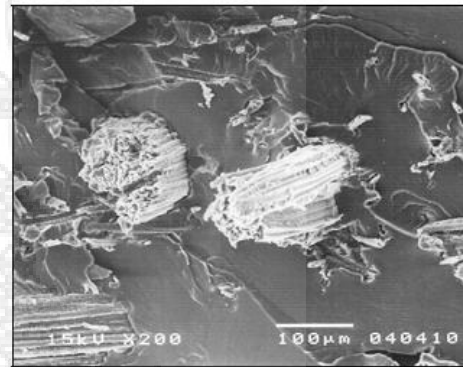
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 2.4 เป็นภาพตัดของวัสดุผสมเสริมเส้นใย

ก) ภาพตัดขวางการเสริมเส้นใยในเมทริกซ์ [8]

ข) เส้น ที่ถูกเคลือบประมึรอยต่อขอบเกรนและป้องกันการแตกร้าว [8]

ค) เส้นใย 2 เส้นที่ติดกันเพื่อหยุดยั้งรอยแตก [8]

ง) สัณฐานวิทยาของการยึดติดกันระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 200 เท่า [9]

**พอลิเมอร์เมทริกซ์ที่ใช้โดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่**

1 เทอร์โมเซต (Thermoset) [10]

พอลิเมอร์กลุ่มนี้เมื่อผ่านกรรมวิธีการผลิตจะมีรูปทรงถาวร ผลผลิตที่ได้นำไปหลอมอีกไม่ได้ และไม่ละลายในตัวทำละลาย คือ ไม่เกิดกระบวนการย้อนกลับ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ เพราะว่า ก่อนผ่านกระบวนการเตรียม โครงสร้างของพอลิเมอร์ยังไม่เป็นร่างแห แต่เมื่อผ่านกระบวนการโดยให้ความร้อนหรือความดันเข้าไป จะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในโครงสร้างเกิดการเชื่อมโยง (Cross-Linking) ระหว่างสายโซ่โมเลกุล มีลักษณะเป็นระบบสามมิติ มีการสร้างพันธะโควาเลนต์ระหว่างสายโซ่โมเลกุล ทำให้ผลผลิตที่ได้มีความคงทนไม่หลอมไม่ละลาย ถ้าให้ความร้อนมากๆ จะไหม้เกรียม และสมบัติเปลี่ยนไปจากเดิม

เทอร์โมเซตที่ใช้เป็นเมทริกซ์ส่วนใหญ่ ได้แก่ อีพอกซี พอลิเอสเทอร์ และไวนิลเอสเทอร์ เมื่อเทอร์โมเซตเรซินที่หลอมเหลวเริ่มแข็งตัว จะเกิดการเชื่อมโยงขึ้น ซึ่งทำให้เกิดรอยต่อที่แน่นของโครงสร้างสามมิติ



การเกิดการเชื่อมโยงทำให้พอลิเมอร์แข็งตัว มีความแข็งแรงสูง มีความต้านทานการละลาย มี เสถียรภาพทางความร้อน และต้านทานการเกิดออกซิเดชันได้ดี สมบัติเหล่านี้สัมพันธ์โดยตรงกับความหนาแน่นของการเกิดการเชื่อมโยงและน้ำหนักโมเลกุลของสายโซ่ระหว่างการเชื่อมโยง ถ้าเกิดการเชื่อมโยงมากจะส่งผลให้เมทริกซ์มีความแข็งแรงมาก หรือมีโมดูลัสยืดหยุ่นสูง แต่ถ้าเกิดการเชื่อมโยงมากแล้ว น้ำหนักโมเลกุลของสายโซ่ระหว่างการเชื่อมโยงจะลดลง ซึ่งจะทำให้การเคลื่อนที่ของโมเลกุลเกิดได้ยาก เกิดความเปราะ มีความเครียดต่ำ ความต้านทานต่อแรงกระแทกน้อย และไม่เหนียว

## 2 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) [11]

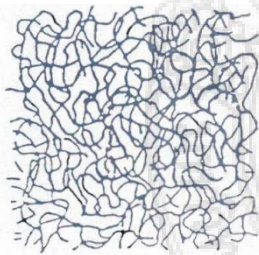
เทอร์โมพลาสติกจะละลายได้ดี ในตัวทำละลายบางชนิด เมื่อถูกความร้อนสามารถหลอมตัวได้ และเมื่อเย็นลงจะแข็งตัวสามารถทำให้หลอมและแข็งตัวหลายๆ ครั้ง โดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีเปลี่ยนแปลง อาจแยกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มเทอร์โมพลาสติกอสัณฐาน (Amorphous Thermoplastic) และเทอร์โมพลาสติกที่มีผลึกบางส่วน (Semi-Crystalline Thermoplastic)

### 2.1 เทอร์โมพลาสติกอสัณฐาน (Amorphous Thermoplastic)

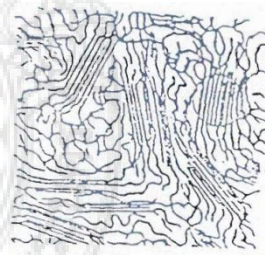
ประกอบด้วยโซ่โมเลกุลเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ โซ่โมเลกุลอยู่ห่างกันทำให้มีความแข็งแรงน้อย ทนความร้อนได้ต่ำเปลี่ยนแปลงขนาดได้น้อยแต่จะใส และยังเป็นพลาสติกที่ไม่มี จุดหลอมเหลว แต่มีเพียงอุณหภูมิที่อ่อนตัวเท่านั้น เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิสไตรีน และพอลิคาร์บอนเนตเป็นต้น ดังรูปที่ 2.5

### 2.2 เทอร์โมพลาสติกแบบมีผลึกบางส่วน (Partially or Semi-crystalline Thermoplastic)

จะมีโซ่โมเลกุลบางส่วนที่มีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ เรียกว่าส่วนที่เป็นผลึกจึงทำให้พลาสติกชนิดนี้ มีความแข็งแรง ทนต่อสารเคมี น้ำมัน และทนต่อความร้อนได้ดีกว่า แต่จะขุ่นและทึบแสง เช่น พอลิโพรพิลีน พอลิเอทิลีน เป็นต้น ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะโซ่โมเลกุลของเทอร์โมพลาสติกแบบไม่มีผลึก [12]

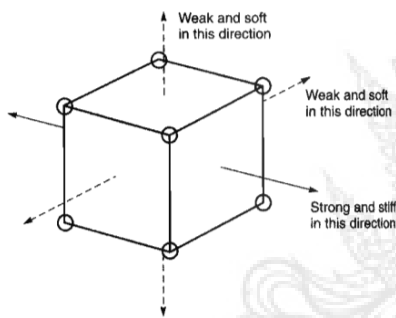


รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะโซ่โมเลกุลของเทอร์โมพลาสติกแบบมีผลึกบางส่วน [12]

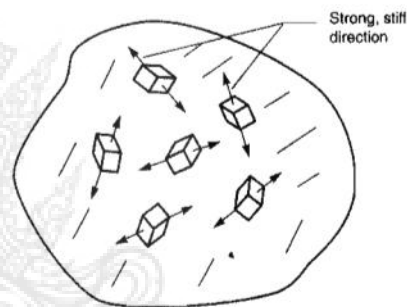
ในเทอร์โมพลาสติกไม่เกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุล ดังนั้นความแข็งแรง และความแข็งแรงของเมทริกซ์ที่ได้นั้นเป็นผลโดยตรงจากสมบัติของมอนอเมอร์และน้ำหนักโมเลกุลที่สูงเทอร์โมพลาสติกอสัณฐานจะมีการพันกันของสายโซ่โมเลกุลซึ่งจะส่งผลคล้ายกับการเกิดการเชื่อมโยง และในพอลิเมอร์ที่สามารถตกผลึกได้ก็จะมีการจัดเรียงตัวที่ดี ทำให้เมทริกซ์มีความแข็งแรงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกจะขึ้นกับอัตราการเกิดผลึก สัณฐานวิทยา และการจัดเรียงตัวของผลึกซึ่งจะขึ้นกับสภาวะในการผลิต

## ความรู้เกี่ยวกับกลศาสตร์ของวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิต

เพื่อความเข้าใจในความสามารถ ของวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิตในขณะที่วัสดุคอมโพสิตมีน้ำหนักเบา รวมถึงสมบัติอื่นๆ ควรที่จะมีความรู้เกี่ยวกับวัสดุศาสตร์และการยึดเกาะกันของโมเลกุลที่สามารถทำให้รวมกันขึ้นเป็นวัสดุได้ จากรูปที่ 2.7 แสดงถึงหน่วยเซลล์เบื้องต้นของสารเสริมแรง (เส้นใยเสริมแรง) ที่แต่ละมุมของหน่วยเซลล์ คือ อะตอมหรือโมเลกุลที่เกาะกันด้วยแรงยึดเหนี่ยวอะตอมจากรูปแสดงให้เห็นถึงสมบัติของหน่วยเซลล์ที่ขึ้นกับทิศทางอันเนื่องมาจากความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวอะตอมและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลในแต่ละทิศทาง ทิศทางที่มีแรงยึดเหนี่ยวแข็งแรงกว่าก็จะทำให้หน่วยเซลล์มีสมบัติแข็งแรงในทิศทางนั้นๆ ส่วนใหญ่ในหนึ่งหน่วยเซลล์จะมีทิศทางหนึ่งที่มีความแข็งแรงที่สุดและความแข็งแรงของหน่วยเซลล์ในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางที่มีความแข็งแรงมากที่สุดและความแข็งแรงของหน่วยเซลล์ในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางที่มีความแข็งแรงมากที่สุดจะมีความอ่อนแอ นอกจากนี้สมบัติอื่นๆ เช่น สมบัติการนำความร้อนและการนำไฟฟ้าก็อาจจะขึ้นกับทิศทางเช่นกัน

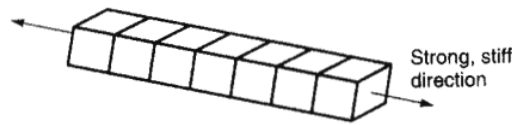


รูปที่ 2.7 หน่วยเซลล์เบื้องต้นของสารเสริมแรง (เส้นใยเสริมแรง) [13]



รูปที่ 2.8 การจัดเรียงแบบสุ่มตัวของหน่วยเซลล์ของสารเสริมแรงในเนื้อของวัสดุคอมโพสิต [13]

เมื่อวัสดุผ่านกระบวนการผลิต หน่วยเซลล์ของสารเสริมแรง (เส้นใยเสริมแรง) จะกระจัดกระจายแบบสุ่มอยู่ทั่วไปในปริมาตรของวัสดุ ดังรูปที่ 2.8 เนื่องจากการจัดเรียงตัวของเส้นใยเสริมแรงเป็นแบบสุ่มทำให้สมบัติรวมของวัสดุคอมโพสิตเหมือนกันในทุกๆ ทิศทาง (Isotropic Properties) และเมื่อเรียงหน่วยเซลล์ต่อกันโดยให้ทิศทางที่มีความแข็งแรงเป็นไปในทิศทางเดียวกันก็จะได้เซลล์ยาวขึ้น และมีความแข็งแรงสูงในทิศทางที่แข็งแรงนั้น แห่งที่เกิดจากการเรียงต่อกันของหน่วยเซลล์จนได้ความยาวที่เหมาะสมค่าหนึ่ง ถูกเรียกว่าเส้นใยเสริมแรง ดังรูปที่ 2.9

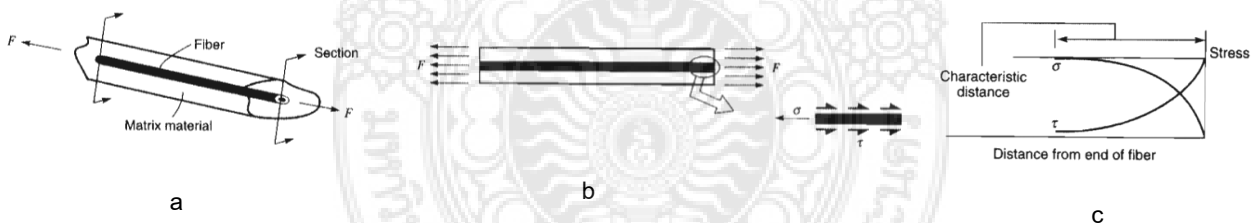


รูปที่ 2.9 เส้นใยเสริมแรงที่ได้จากการเรียงตัวต่อกันของหน่วยเซลล์ของสารเสริมแรง  
ในทิศทางที่มีความแข็งแรงสูง [13]

### ความแข็งแรงของเส้นใยเสริมแรง

จากการเรียงตัวต่อกันของหน่วยเซลล์ย่อยๆ จนเกิดเป็นเส้นใย การที่จะทำให้เส้นใยมีประสิทธิภาพในการเสริมแรงเมื่อผสมอยู่ในเนื้อของวัสดุ เส้นใยเสริมแรงจะต้องวางตัวอยู่ในทิศทางขนานกับภาระ จากนั้นการจะถูกส่งผ่านไปบนเส้นใยและเส้นใยจะยังคงตัวอยู่ได้ภายใต้ภาระที่กระทำนี้ ใน รูปที่ 2.10 แสดงกระบวนการส่งผ่านภาระแรงดึง ( $F$ ) ที่กระทำกับวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใยเสริมแรง

เส้นใยเสริมแรงจะถูกเคลือบหรือปกคลุมด้วยเนื้อประสาน ดังรูปที่ 2.10 (a) วัสดุที่เป็นเนื้อประสานจะส่งถ่ายภาระไปยังเส้นใยเสริมแรงในรูปของความเค้นเฉือน (Shear Stress) ดังรูปที่ 2.10 (b) พิจารณาตามแนวความยาวของเส้นใย แรงดึง ( $F$ ) ที่กระทำจะทำให้เกิดความเค้นดึง (Tensile Stress) ขึ้นในเส้นใย บริเวณใกล้ๆ กับปลายของเส้นใยความเค้นเฉือนบนผิวของเส้นใยจะมีค่าสูงขึ้น ความเค้นเฉือนก็จะมีค่าลดลงและความเค้นดึงจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจนถึงความยาวเจาะจงค่าหนึ่ง (Characteristic Distance) ที่ทำให้ความเค้นเฉือนมีค่าน้อยมาก ๆ และความเค้นดึงมีค่าสูงสุดที่ตรงกลางความยาวของเส้นใยโดยทั่วไปค่าความยาวเจาะจงนี้ควรจะมีค่าน้อยกว่าความยาวของเส้นใยจึงจะสามารถเสริมแรงให้กับวัสดุได้

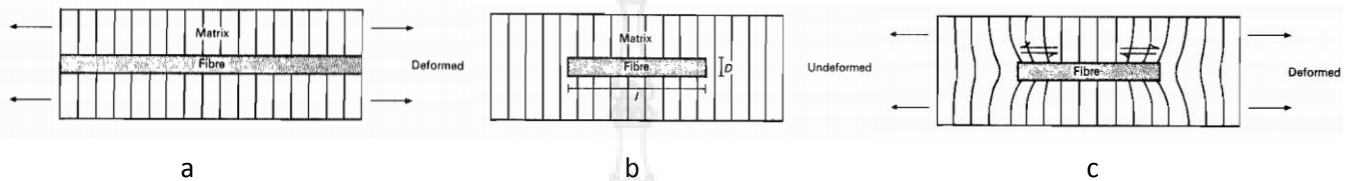


รูปที่ 2.10 กระบวนการส่งผ่านภาระแรงดึง ( $F$ ) ที่กระทำกับวัสดุคอมโพสิตเสริมแรง [13]

### การกระจายความเค้นและความเครียดบนเส้นใย

การวิเคราะห์ความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นบนเส้นใยเสริมแรงแบบต่อเนื่อง (Continuous Fiber) จะไม่พิจารณาผลกระทบเนื่องจากปลายเส้นใยเนื่องจากอิทธิพลของความเค้นเฉือนมีค่าน้อยมาก แต่เมื่ออัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลาง (Aspect Ratio :  $l/D$ ) ของเส้นใยเสริมแรงลดลงผลกระทบเนื่องจากปลายเส้นใยจะเพิ่มมากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพของเส้นใยในการเสริมแรงให้กับวัสดุคอมโพสิตลดลงทั้งด้านความแข็งแรงและความยืดหยุ่น ในกรณีของเส้นใยสั้นผลกระทบจากปลายเส้นใยจะมีบทบาทอย่างมากต่อการแตกหักของวัสดุคอมโพสิต เมื่อพิจารณาเส้นใยที่มีความยาวหนึ่งหน่วยในเนื้อประสาน วางตัวอยู่ใน

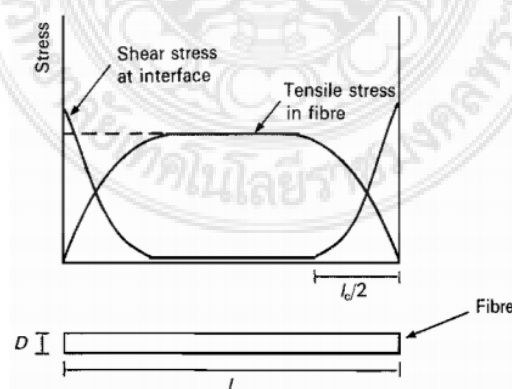
ทิศทางขนานกันกับภาระกำหนดให้การยึดเกาะระหว่างเนื้อประสาน และเส้นใยเสริมแรงเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ความเค้นที่เกิดขึ้นในเนื้อประสานจะถูกส่งผ่านหน้าสัมผัสไปยังเส้นใยเสริมแรง ความเครียดที่เกิดขึ้นกับเนื้อประสานและเส้นใยจะมีค่าแตกต่างกันเนื่องจากวัสดุทั้งสองมีค่าโมดูลัสแตกต่างกัน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วค่าโมดูลัสของเนื้อประสานจะมีค่าน้อยกว่าโมดูลัสของเส้นใยเสริมแรง ดังนั้นในบริเวณปลายเส้นใยค่าความเครียดที่เกิดขึ้นในเส้นใยเสริมแรงจะน้อยกว่าความเครียดที่เกิดขึ้นกับเนื้อประสาน ดังแสดงในรูปที่ 2.11 (ก)



รูปที่ 2.11 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่มีต่อค่าความเครียดที่เกิดขึ้นรอบๆ เส้นใยเสริมแรง  
(a) เส้นใยความยาวต่อเนื่อง (b) เส้นใยสั้น (c) เส้นใยสั้นเมื่อถูกภาระภายนอกกระทำ [3]

เนื่องจากผลของความแตกต่างของความเครียดนี้ทำให้เกิดความเค้นเฉือนขึ้นรอบ ๆ เส้นใยในทิศทางตามแกนเส้นใยและเกิดแรงดึงในเส้นใยดังที่ได้กล่าวมาแล้ว และจะทำให้ค่าความแข็งแรงเฉือนของหน้าสัมผัสระหว่างเส้นใยและเนื้อประสานมีค่าต่ำลง อย่างไรก็ตามพื้นที่ผิวสัมผัสของเส้นใยที่มีค่ามากพอและมีความยาวที่เหมาะสมจะทำให้เส้นใยสามารถรับภาระได้ในระดับหนึ่งจนกระทั่งถึงค่าภาระที่ทำให้เกิดการแตกหักเสียหายของเส้นใย

การวิเคราะห์การกระจายความเค้นดังกล่าวข้างต้นได้ถูกแสดงไว้ ดังรูปที่ 2.12 ซึ่งแสดงการกระจายความเค้นดึงและความเค้นเฉือนตามความยาวของเส้นใยที่วางตัวขนานกันกับทิศทางของภาระ



รูปที่ 2.12 ค่าความเค้นดึงที่เกิดขึ้นในเส้นใยและมีค่าความเค้นเฉือนที่ผิวหน้าสัมผัสของเส้นใย [3]

สมมติฐานหลักของการวิเคราะห์นี้ คือ ทั้งเส้นใยและเนื้อประสานมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงยืดหยุ่น (Elastic) เท่านั้น หน้าสัมผัสระหว่างเส้นใยกับเนื้อประสานบางมากและมีการเชื่อมประสานกันอย่างสมบูรณ์ จากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าความเค้นเฉือนจะไปเสริมให้เกิดความเค้นดึงในเส้นใย [4] ที่ปลายของเส้นใยเสริมแรงความเค้นเฉือนระหว่างหน้าสัมผัสจะมีค่าสูงสุดและมีค่าลดลงจนมีผลน้อยมากที่กลางความยาวของเส้นใยและลดลงอย่างมากที่ปลายของเส้นใยเสริมแรง สำหรับในเส้นใยยาวค่าความเค้นเฉือนจะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ที่ในส่วนตรงกลางเส้นใย

การวิเคราะห์ในทางทฤษฎีและผลจากการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าบริเวณที่ใกล้กับปลายของเส้นใยไม่ได้รับการทั้งหมด ดังนั้นความเค้นเฉือนในเส้นใยสั้นจะน้อยกว่าความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในเส้นใยยาวแบบต่อเนื่องเมื่อได้รับภาระภายนอกขนาดเท่ากัน ทำให้เส้นใยยาวแบบต่อเนื่องให้ผลในการเสริมแรงได้ดีกว่า [3] นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการเสริมแรงของเส้นใยต่อวัสดุคอมโพสิตยังขึ้นอยู่กับความแข็งแรงระหว่างหน้าสัมผัสระหว่างเส้นใยกับเนื้อประสาน

เนื่องจากภาระจะถูกส่งผ่านจากเนื้อประสานไปสู่เส้นใย ดังนั้นวัสดุคอมโพสิตจึงต้องการการยึดเกาะระหว่างหน้าสัมผัสของเนื้อประสานกับเส้นใยเสริมแรงที่แข็งแรงเพียงพอเพื่อสามารถรับภาระได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สำหรับค่าความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นที่ปลายของเส้นใยถ้าเกิดขึ้นมากจะทำให้เกิดผลดังนี้

- 1 การแยกออกจากกันของหน้าสัมผัสด้วยแรงเฉือน
- 2 การสูญเสียการยึดเกาะของเนื้อประสานหรือของเส้นใยเสริมแรง
- 3 การเกิดการยึดตัวอย่างถาวรของเนื้อประสาน

ผลต่างๆ ที่กล่าวข้างต้นนี้เป็นสาเหตุของการเกิดความเสียหายของพอลิเมอร์คอมโพสิตโดยที่ค่าความเค้นเฉือนจะมีผลมากขึ้น เมื่อเส้นใยมีขนาดสั้นลงจนกระทั่งถึงขนาดความยาวค่าหนึ่งซึ่งเส้นใยไม่สามารถทำหน้าที่รับภาระได้เนื่องจากผลของความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นมีมาก ดังนั้นความยาวของเส้นใยจึงเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อสมบัติของวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิตเสริมเส้นใยโดยที่เส้นใยเสริมแรงจะต้องมีความยาวอย่างน้อยที่สุดค่าหนึ่งเพื่อให้สามารถทำหน้าที่ในการรับภาระที่ถูกส่งผ่านมาจากเนื้อประสานได้

การใช้ “วัสดุคอมโพสิต” ในอุตสาหกรรมวัสดุคอมโพสิตแบบดั้งเดิม (conventional composite material) เป็นวัสดุคอมโพสิตที่มีการผลิตในประเทศไทยมาเป็นระยะเวลาอันยาวนาน โดยวัตถุดิบส่วนใหญ่ที่นำมาใช้ในการผลิตงานวัสดุคอมโพสิตแบบดั้งเดิม [2] ได้แก่ เส้นใยเสริมแรงชนิดเส้นใยแก้ว และส่วนเนื้อประสานซึ่งใช้เรซินประเภทพอลิเอสเตอร์ โดย ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างและ โครงสร้าง (composite material for construction) ซึ่งวัสดุคอมโพสิตแบบดั้งเดิมนี ได้ถูกนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์แผ่นพื้นสำหรับงานโครงสร้าง ตะแกรงครอบท่อระบายน้ำ ประตูไม้เทียม กรอบโครงหน้าต่าง กระเบื้องปูหลังคา และถังบำบัดน้ำเสีย ทั้งนี้ วัสดุคอมโพสิตดังกล่าวยังได้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรม ยานยนต์ (composite material for automotive) ซึ่งสามารถพบเห็นได้ในผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น กันชน ฝากระโปรงหลังคา และประตูรถ เนื่องจากการใช้วัสดุคอมโพสิตจะทำให้รถ มีน้ำหนักเบากว่ารถที่ใช้วัสดุดั้งเดิม อีกทั้งยังมี

ความแข็งแรงและยืดหยุ่นสูง รวมถึงสามารถออกแบบและขึ้นรูปได้ตามหลักอากาศพลศาสตร์ได้ง่ายวัสดุคอมโพสิตแบบใหม่ ได้เข้ามามีบทบาทในอุตสาหกรรมที่ต้องการวัสดุที่มีความแข็งแรง และมีน้ำหนักเบาโดยใช้เส้นใยธรรมชาติและให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถผลิตได้ด้วยกระบวนการผลิตที่ไม่แตกต่างจากการผลิตคอมโพสิตแบบดั้งเดิม โดยการใช้ตัวเสริมแรงจำพวกเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งเป็นเส้นใยที่มีความแข็งแรงทั้งในด้านแรงดึง แรงกด ทำให้วัสดุคอมโพสิตแบบใหม่สามารถนำไปใช้งานต่างๆได้อย่างหลากหลาย

## 2.3 พลาสติก

### 2.3.1 โครงสร้างของพลาสติก พลาสติกมีหลายชนิดแบ่งตามชนิดและรูปแบบการจับกันของสายโซ่

โครงสร้างของพลาสติก พลาสติกมีหลายชนิดแบ่งตามชนิดและรูปแบบการจับกันของสายโซ่โมเลกุล เนื่องจากพลาสติกแต่ละชนิดมีโครงสร้างทางเคมีแตกต่างกันจึงทำให้สมบัติทางกายภาพและทางเคมีต่างกันไปด้วย ในการเลือกใช้พลาสติกที่จะนำมาใช้ประกอบกับไม้ นั้น นอกจากจะต้องคำนึงถึงสมบัติที่ต้องการแล้วยังต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ในการผลิต และความเข้ากันได้อีกด้วย เพราะเชื่อว่าพลาสติกทุกชนิดสามารถนำมาใช้ประกอบกับไม้ได้เสมอไป ชนิดของพลาสติกที่สามารถนำมา ใช้นั้นขึ้นกับสมบัติของไม้ด้วยเช่นกัน เราไม่สามารถนำ พลาสติกที่มีจุดหลอมตัวสูงกว่าอุณหภูมิที่ไม้จะไหม้มาประกอบกันได้เพราะจะทำให้ไม่สามารถขึ้นรูปได้โดยที่ไม้ไหม้ อีกทั้งยังต้องพิจารณาในด้านการสร้างพันธะระหว่างไม้และพลาสติกที่จะนำมาประกอบด้วยว่าสามารถจับกันได้ดีเพียงใด ตัวอย่างพลาสติกที่สามารถนำมา ใช้ประกอบกับไม้ได้ เช่น Polystyrene (PS), Polyethylene (PE), Poly [vinyl chloride] (PVC) และ Polypropylene (PP) เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้ใช้พลาสติกชนิดโพลีเอธิลีน (polyethylene – PE) ซึ่งเป็นเม็ดพลาสติกที่มีคุณสมบัติแข็งแรง เหนียว ทนทาน ป้องกันความชื้นมิให้ผ่านเข้าออกได้ ทนกรดและด่างอ่อน มีน้ำหนักเบา ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.93 สามารถพับงอได้ดี มีความยืดตัวได้สูง ฉีกขาดยาก เป็นฉนวนไฟฟ้าดีมาก ไม่สามารถทนความร้อนสูง แต่ทนความเย็นได้ถึง  $-100$  องศาฟาเรนไฮต์ เม็ดพลาสติก PE แบ่งได้ตามเกรด เป็น 3 ชนิดคือ

- โพลีเอธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (low-density polyethylene - LDPE) ใช้ผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์และหีบห่อ เช่น กระจสบ ถูเย้น ของใส่ของ ตลอดจนเป็นวัตถุดิบผลิตของเล่นเด็กพลาสติก และฉนวนหุ้มสายไฟ เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ทำวัสดุเคลือบผิว (coating or lamination) และใช้กับงานขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์พลาสติกโดยการเป่า (blow molding) เช่น ขวดพลาสติก คุณสมบัติเด่นของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดนี้คือ มีความเหนียว และคงทน
- โพลีเอธิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (high-density polyethylene - HDPE) ใช้กับงานเป่าขึ้นรูป (blow moulding) โดยใช้ทำเป็นขวดพลาสติกและภาชนะบรรจุประเภทต่างๆ ที่ต้องทนต่อแรงดันและต้องมีแรงต้านทานสูง นอกจากนี้ยังใช้ในงานด้านการฉีดขึ้นรูป (injection) เช่น ผลิตของเล่นเด็ก และเครื่องใช้ต่างๆ ภายในบ้าน ตลอดจนใช้ทำแผ่นฟิล์ม เชือก ฉนวนหุ้มสายไฟ ท่อ และรางน้ำ ทั้งนี้ ท่อที่ทำจาก HDPE สามารถใช้แทนท่อที่ทำจากพีวีซี เนื่องจากมีความทนทานใกล้เคียงกัน แต่มีราคาถูกกว่า

- โพลีเอธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (linear low-density polyethylene - LLDPE) เป็นวัสดุที่ผสมกับ LDPE เพื่อเพิ่มความเหนียวให้กับตัวผลิตภัณฑ์ จะเห็นได้ว่า โพลีเอธิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (high-density polyethylene - HDPE) เหมาะกับการนำไปผลิตขึ้นรูปเป็นวัสดุในงานก่อสร้างในงานวิจัยนี้จึงใช้พลาสติกชนิด

## 2.4 วัสดุเถ้าทิ้งจากผลผลิตอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม

### 2.4.1 เถ้าแกลบ

ข้าวเป็นผลิตผลทางการเกษตรที่สำคัญมาก ในปีหนึ่งจะมีการเก็บเกี่ยวข้าวได้ทั่วโลกประมาณ 600 ล้านตัน ประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกข้าวมากที่สุด มีกำลังการผลิตข้าวปีละประมาณ 25 ล้านตัน ในปีหนึ่งๆ ประเทศไทยได้แกลบจากการสีข้าวประมาณ 5 ล้านตัน ในแต่ละตัน (1,000 กิโลกรัม) ของข้าวเปลือกเมื่อสีแล้วจะมีแกลบอยู่ประมาณ 200 กิโลกรัม และเมื่อนำแกลบไปเผาจะได้เถ้าแกลบ (rice husk ash) ประมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักของแกลบหรือประมาณ 40 กิโลกรัม เนื่องจากเถ้าแกลบมีปริมาณซิลิกา (silica) สูง จึงเป็นผลิตผลทางการเกษตรที่เหมาะสมสำหรับการนำมาพัฒนาทำเป็นวัสดุพอลิซิลาน[14]

#### องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ

องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งพบว่าเถ้าแกลบมี SiO<sub>2</sub> สูงมาก ถึงประมาณร้อยละ 90 [15,16] ทำนองเดียวกัน บุรฉัตร และพิชัย [17] บุรฉัตร และ เชิดพงศ์ [18] และสาโรจน์ และคณะ [19] พบว่าเถ้าแกลบที่เผาในประเทศไทยมี SiO<sub>2</sub> อยู่ร้อยละ 92.28, 95.36, และ 91.84 ตามลำดับ ส่วนที่เหลือเป็นออกไซด์ของโซเดียม โพรแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็กฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ และค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (loss on ignition หรือ LOI) ซึ่งตามปกติมี LOI อยู่ประมาณร้อยละ 2-5 อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาแกลบมีผลต่อค่า LOI เพราะการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะทำให้เถ้าแกลบมี LOI สูงขึ้น LOI ที่อยู่ในเถ้าแกลบส่วนใหญ่จะเป็นธาตุถ่านคุดน้ำสูง และถ้ามีจำนวนมากจะทำให้กำลังของคอนกรีตลดลงได้

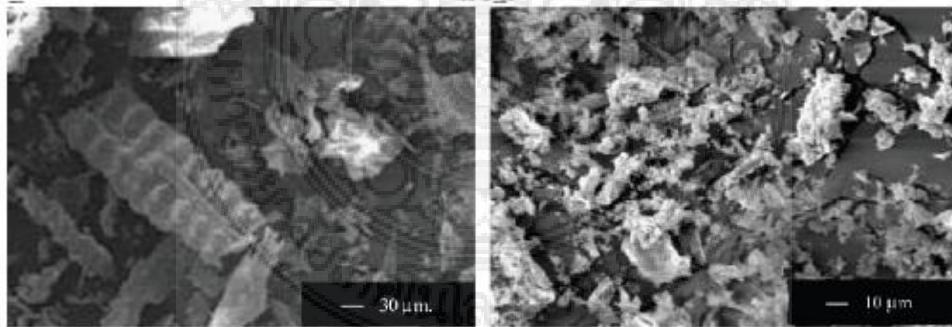
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ [15,16]

สารประกอบ	เถ้าแกลบ [15]	เถ้าแกลบเทาขาว[16]	เถ้าแกลบตำโรงสี[16]
SiO <sub>2</sub>	86.9-97.3	88.33	89.95
K <sub>2</sub> O	0.6-2.5	2.76	1.49
Na <sub>2</sub> O	0-1.5	0.15	0.07
CaO	0.2-1.5	0.52	0.50

สารประกอบ	เถ้าแกลบ [15]	เถ้าแกลบเทาขาว[16]	เถ้าแกลบดำโรงสี[16]
MgO	0.12-1.96	0.28	0.23
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0-0.6	3.37	1.89
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.2-2.9	NA	NA
SO <sub>3</sub>	0.1-1.1	0.12	0.02
Cl	0-0.4	NA	NA
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NA	0.48	0.54
LOI	NA	3.71	4.70

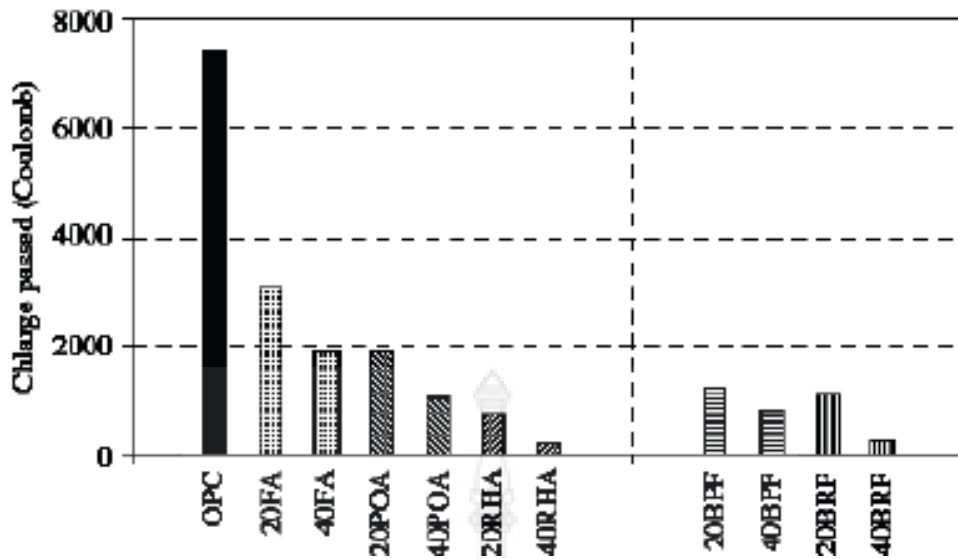
### งานวิจัยเกี่ยวกับเถ้าแกลบ

งานวิจัยของ Chindapasirt และคณะ [20] ใช้เถ้าแกลบเป็นวัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เพื่อศึกษากำลังอัดและการต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ตาร์ พิจารณาในรูปที่ 2.13 พบว่าเถ้าแกลบก่อนบดมีขนาดใหญ่มีค่าความพรุนสูง หลังจากบดเถ้าแกลบพลว่ามีขนาดเล็กกลวงและความพรุนลดลง อย่างไรก็ตามความพรุนอาจยังเหลืออยู่บ้างในอนุภาคของเถ้าแกลบ ในรูปที่ 2.14 แสดงให้เห็นว่าเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบบดละเอียด ในอัตราร้อยละ 20 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน สามารถต้านทานคลอไรด์ได้ดีเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ผสมด้วยปูนซีเมนต์ล้วน เนื่องจากผลของปริมาณซิลิกาในเถ้าแกลบ[20,21]



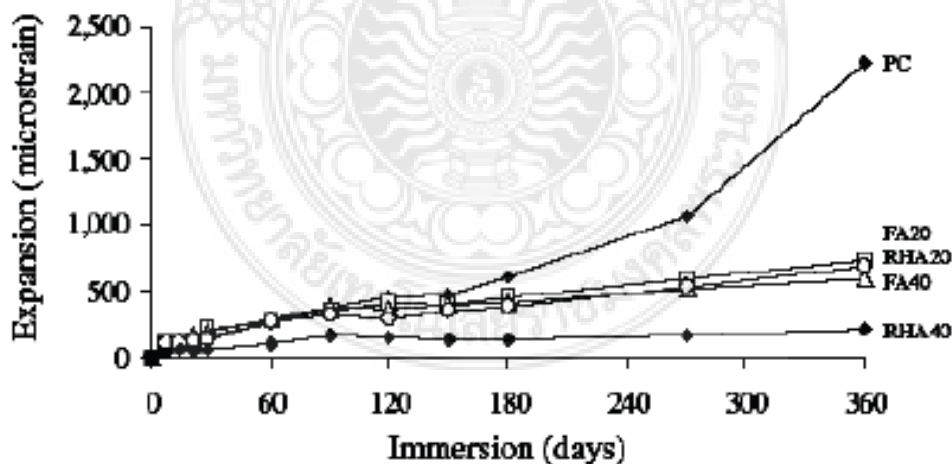
รูปที่ 2.13 เถ้าแกลบ ก) ก่อนบด และ ข) หลังบด



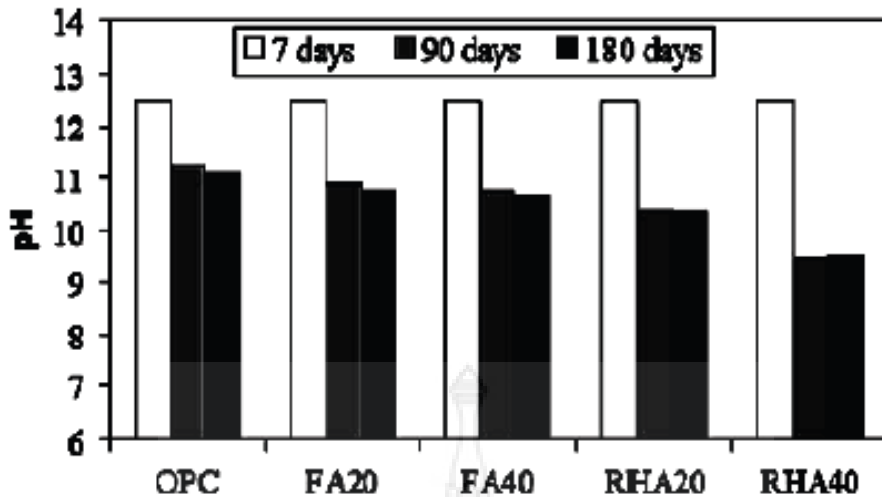


รูปที่ 2.14 การต้านทานคลอไรด์ของมอร์ตาร์เถ้าแกลบ [20]

งานวิจัยของ Chindaprasirt และคณะ [22] ศึกษาเถ้าแกลบบดละเอียดในด้านทนซัลเฟต โดยนำเถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราร้อยละ 20 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ทดสอบด้วยการแช่ตัวอย่างมอร์ตาร์ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 5 วัดการขยายตัวและความเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง (PH) ในรูปที่ 2.15 การต้านทานซัลเฟตให้ผลในทางที่ดีเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบในปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน สำหรับรูปที่ 2.16 แสดงให้เห็นว่าอายุการทดสอบ 7 วัน เท่ากัน ค่า pH เปลี่ยนแปลงไม่มาก ขณะอายุทดสอบ 90 วัน และ 180 วัน ค่า pH ลดลง การแทนที่เถ้าแกลบ ในปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุ ประสาน ค่า pH ต่ำสุด เมื่อเทียบกับมอร์ตาร์อื่นๆ



รูปที่ 2.15 การต้านทานซัลเฟตของมอร์ตาร์เถ้าแกลบ



รูปที่ 2.16 การเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงต่างของมอร์ตาร์เถ้าแกลบ[22]

#### 2.4.2 เถ้าชานอ้อย

เถ้าชานอ้อย (bagasse ash) เป็นวัสดุพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล ซึ่งใช้ชานอ้อย และใบอ้อย เผาเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะนำไปใช้สำหรับอุตสาหกรรมภายในโรงงานและส่วนที่เหลือสามารถขายให้แก่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ปี พ.ศ.2545 พบว่าประเทศไทยมีผลผลิตอ้อยทั้งหมดประมาณ 74 ล้านตัน [23] และหลังจากกระบวนการผลิตน้ำมันตาลมีกากอ้อยประมาณ 21 ล้านตัน และหลังจากการเผากากอ้อยเหล่านี้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าแล้วพบว่าได้เถ้าชานอ้อยประมาณ 0.8 ล้านตัน เถ้าชานอ้อยที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้ามีการนำไปใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อย เช่น เกษตรกรนำไปใช้เป็นปุ๋ยเพื่อปรับสภาพดินในงานเกษตรกรรม แต่ส่วนใหญ่ของเถ้าชานอ้อยต้องนำไปทิ้งโดยไม่เกิดประโยชน์

#### ลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของเถ้าชานอ้อย

เถ้าชานอ้อยมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุม ไม่แน่นอน ผิวขรุขระ และมีรูพรุนสูง โดยมีขนาดของอนุภาคใหญ่กว่า 30 ไมครอนขึ้นไป เมื่ออบเถ้าชานอ้อยให้มีความละเอียดเพิ่มขึ้นลักษณะอนุภาคคล้ายกันกับเถ้าแกลบหรือเถ้าปาล์มน้ำมันหลังผ่านการบดทั่วไป คือ เป็นเหลี่ยมมุม รูปร่างไม่แน่นอน อนุภาคมีขนาดและความพรุนลดลงเมื่อเทียบกับเถ้าชานอ้อยก่อนอบ สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อยพบว่าเถ้าชานอ้อยมี  $\text{SiO}_2$  เป็นองค์ประกอบหลักเหมือนกับเถ้าแกลบบดละเอียดและเถ้าปาล์มน้ำมันโดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 65-75 มีปริมาณ  $\text{SO}_3$  ต่ำ แต่มีปริมาณของ LOI ค่อนข้างสูงซึ่งอาจสูงถึงร้อยละ 20-30 การที่ LOI ของเถ้าชานอ้อยมีค่าค่อนข้างสูงมักเกิดขึ้นเช่นเดียวกับเถ้าชีวมวลทั่วไป ตารางที่ 2.2 เป็นองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อยในประเทศไทย ที่มี LOI สูง และ LOI ต่ำ หากเถ้าชานอ้อยมี LOI สูง มักจะมี  $\text{SiO}_2$  ต่ำกว่าเถ้าชานอ้อยที่มี LOI ต่ำ [24]

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อยที่มี LOI สูง และ LOI ต่ำ [24]

องค์ประกอบทางเคมี (%)	เถ้าชานอ้อย LOI ต่ำ	เถ้าชานอ้อย LOI สูง
SiO <sub>2</sub>	76.80	67.10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.40	5.69
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.04	2.54
CaO	5.44	2.93
MgO	0.94	0.45
SO <sub>3</sub>	0.09	0.03
LOI	3.28	20.36

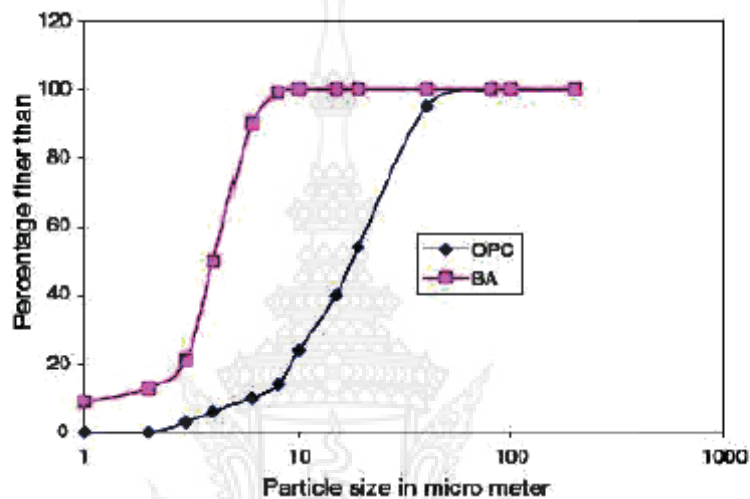
อย่างไรก็ตาม LOI ที่ค่อนข้างสูงของเถ้าชานอ้อยไม่ได้เป็นคาร์บอน (หรือกากชานอ้อยที่เผาไหม้ไม่หมด) แต่เป็นสารประกอบอื่นที่สลายภายใต้การเผาที่อุณหภูมิสูง เพราะการทดสอบ LOI ใช้อุณหภูมิในการเผาตัวอย่างที่ 750 องศาเซลเซียส ดังนั้น LOI ที่ค่อนข้างสูงของเถ้าชานอ้อยหากไม่ใช่กากชานอ้อยที่เผาไหม้ไม่หมดแล้ว พบว่า LOI ที่มีค่าสูงไม่ได้ส่งผลอย่างรุนแรงต่อการลดกำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าชานอ้อยมากนัก

#### งานวิจัยเกี่ยวกับเถ้าชานอ้อย

ปัจจุบันได้มีการนำวัสดุพอลิโพรพิลีนจากผลพลอยได้ในโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้เป็นวัสดุประสานแทนที่ปูนซีเมนต์ เช่น แก้วกันหิน เป็นต้น อย่างไรก็ตามยังมีวัสดุเหลือทิ้งจากผลพลอยได้ในเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมอีกจำนวนหนึ่งที่นักวิจัยเริ่มนำมาศึกษาเพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุประสานแทนปูนซีเมนต์ เช่น เถ้าแกลบ เถ้าชานอ้อย เป็นต้น [25,26,27] โดยพิจารณาถึงองค์ประกอบทางเคมี กล่าวคือ วัสดุพอลิโพรพิลีนต้องมียังมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นซิลิกา [28] และเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C618 [29] ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีดังกล่าวทำปฏิกิริยาเพิ่มเติมจากปฏิกิริยาไฮเดรชันคือปฏิกิริยาพอลิโพรพิลีนได้ผลผลิตเป็นโซเดียมซิลิเกตไฮเดรต [30]

ประเทศไทยมีโรงงานน้ำตาลอยู่ทั่วไป และประชาชนส่วนหนึ่งมีอาชีพปลูกอ้อยเพื่อส่งผลิตเป็นน้ำตาล ผลผลิตที่ได้จากการผลิตดังกล่าวคือชานอ้อยซึ่งเป็นส่วนที่เหลือจากการบีบน้ำตาล โดยทั่วไปแล้วชานอ้อย

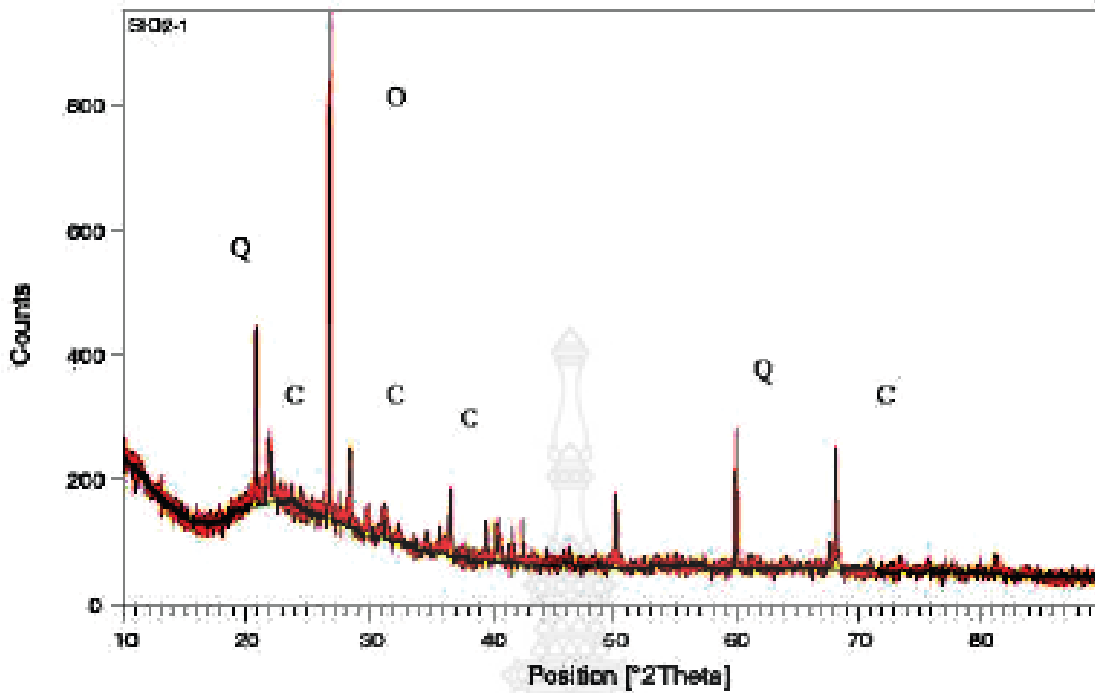
ไม่ได้ใช้ประโยชน์ใดๆ ดังนั้นจึงมีการใช้ชานอ้อยเพื่อเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนในการผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงงานขนาดเล็ก จากนั้นส่วนที่เหลือเป็นเถ้าชานอ้อยส่งผลกระทบต่อพื้นที่ใกล้เคียงและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการกำจัดทิ้งหากมีการนำเอาเถ้าชานอ้อยมาใช้ประโยชน์ในการผลิตคอนกรีตโดยเป็นส่วนผสมแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนหรือทั้งหมดสำหรับอุตสาหกรรมการก่อสร้างจะทำให้ประหยัดการใช้ปูนซีเมนต์ อีกทั้งกระบวนการเผาสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ในรูปที่ 2.17 [31] เป็นขนาดอนุภาคของชานอ้อย ที่เผาด้วยการควบคุมอุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส ภายใน 1 ชั่วโมง ผลการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคพบว่า เมื่อบดเถ้าชานอ้อยให้มีความละเอียดมากขึ้น (BA) ส่งผลให้อนุภาคเล็กลงเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ (OPC)



รูปที่ 2.17 ขนาดอนุภาคของเถ้าชานอ้อยบด งานวิจัยของ Canesan และคณะ [31]

ในรูปที่ 2.18 เป็นผลทดสอบ X-ray deflection ของเถ้าชานอ้อยบด งานวิจัยของ Canesan และคณะ [31]

พบว่าองค์ประกอบหลักเป็นซิลิกา สอดคล้องกับมาตรฐาน ASTM C618 [29] จึงถือว่าเป็นวัสดุปอซโซลานชนิดหนึ่ง สอดคล้องกับรูปที่ 2.19 ซึ่งเป็นผลทดสอบองค์ประกอบเคมีของเถ้าชานอ้อยด้วย X-ray deflection ส่วนในรูปที่ 2.20 เป็นผลทดสอบกำลังอัดคอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยบดละเอียดในปริมาณร้อยละ 5 10 15 20 25 และ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ตามลำดับ ทดสอบกำลังอัดที่อายุ 7 14 28 และ 90 วัน ผลการทดสอบพบว่า ผลการทดสอบพบว่ากำลังอัดคอนกรีตมีค่าสูงที่การแทนที่เถ้าชานอ้อยในปริมาณร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ที่อายุ 7 วัน กำลังอัดคอนกรีตผสมเถ้าชานอ้อยมีค่าสูงกว่าคอนกรีตปูนซีเมนต์ล้วนในส่วนผสม ที่อายุ 28 วัน การแทนที่ปูนซีเมนต์ ด้วยเถ้าชานอ้อยในปริมาณร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีค่าสูงกว่าคอนกรีตปูนซีเมนต์ล้วน เช่นเดียวกับอายุการทดสอบ 90 วัน ที่ อายุ 14 28 และ 90 วัน การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยในปริมาณร้อยละ 25 และ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีน้ำหนักต่ำกว่าปูนซีเมนต์ล้วน การที่คอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ ด้วยเถ้าชานอ้อยมีกำลังอัดสูงอาจเนื่องมาจากความละเอียดของเถ้าชานอ้อย และองค์ประกอบทางเคมีของซิลิกาที่ส่งผลให้ ให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดี [30]

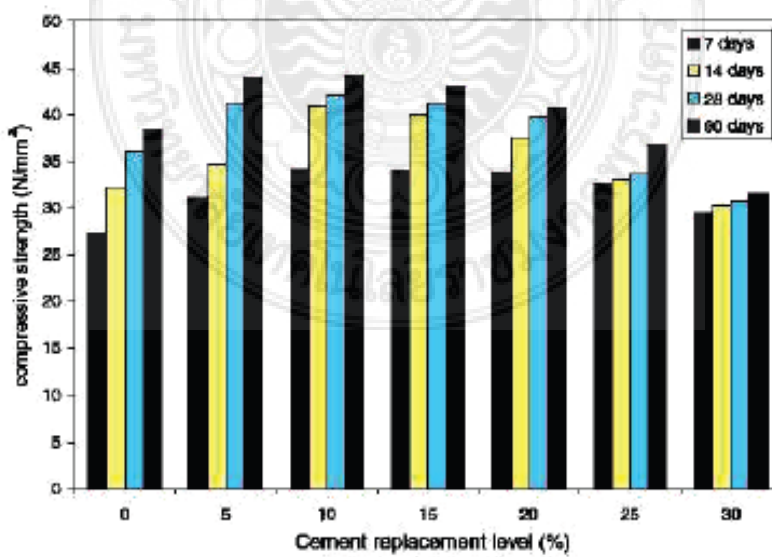


รูปที่ 2.18 X-ray deflection ของเถ้าขานอ้อยบด งานวิจัยของ Canesan และคณะ [31]

Chemical composition of OPC and BA (%)

Materials	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Loss on ignition
OPC	19.25	5.04	3.16	63.61	4.56	0.08	0.51	3.12
BA	64.15	9.05	5.52	8.14	2.85	0.92	1.35	4.90

รูปที่ 2.19 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าขานอ้อยบด งานวิจัยของ Canesan และคณะ [31]



รูปที่ 2.20 กำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าขานอ้อยบด งานวิจัยของ Canesan และคณะ [31]

### 2.4.3 เถ้าปาล์มน้ำมัน

เถ้าปาล์มน้ำมัน (palm oil fuel ash) เป็นวัสดุพลอยได้จากการนำกากของผลปาล์มน้ำมันได้แก่ เศษกะลา เส้นใย และทลายปาล์มเปล้าของผลปาล์ม เผาเป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อกำเนิดไอน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า มีคุณสมบัติที่ใช้ในการเผาไหม้ประมาณ 800-900 องศาเซลเซียส ข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรและสหกรณ์ [19] พบว่าในปี พ.ศ.2544 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกปาล์มประมาณ 1,457,000 ไร่ และมีผลผลิตเป็นอันดับ 4 ของโลกประมาณ 4,089,000 ตันต่อปี ทำให้กากของผลปาล์มน้ำมันที่เกิดขึ้นมีปริมาณสูงถึง 107,000 ตัน 2,147,000 ตันต่อปี และหลังจากการเผาพบว่าเถ้าปาล์มน้ำมันที่เกิดขึ้นมีปริมาณสูงถึง 107,000 ตันต่อปี เถ้าปาล์มน้ำมันมีลักษณะเป็นผงฝุ่นน้ำหนักเบาสามารถฟุ้งกระจายได้ง่าย เถ้าปาล์มน้ำมันที่เกิดขึ้นมีการนำมาใช้ประโยชน์น้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณที่เกิดขึ้นในแต่ละปี ส่วนใหญ่ต้องนำไปทิ้ง ทำให้เกิดปัญหาในเรื่องการกำจัดทิ้งตามมา เช่น ปัญหาทางด้านสภาวะแวดล้อม เป็นต้น

นอกจากนี้นโยบายของรัฐที่จะนำน้ำมันปาล์มมาใช้เป็นพลังงานทดแทน เช่น เป็นไบโอดีเซล ซึ่งทำให้ต้องมีการขยายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้น ซึ่งคาดว่าจะใช้พื้นที่ในการปลูกปาล์มน้ำมันถึง 10 ล้านไร่ จึงจะเพียงพอต่อการนำมาใช้ในไบโอดีเซลได้ ซึ่งหากโครงการดังกล่าวเป็นไปตามแผนงานที่ตั้งไว้จะส่งผลให้เกิดเถ้าปาล์มน้ำมันจำนวนมากขึ้นกว่าปัจจุบันถึง 6 เท่าต่อปี และย่อมสร้างปัญหาในเรื่องของการกำจัดทิ้งให้มากยิ่งขึ้น ดังนั้นการศึกษาเถ้าปาล์มน้ำมัน ซึ่งเป็นผลพลอยได้ชนิดหนึ่งของโรงไฟฟ้าชีวมวล จึงเป็นเรื่องที่จำเป็นอย่างยิ่งและทวีความสำคัญมากขึ้นในอนาคตอันใกล้

#### องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมัน

องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมัน พบว่ามีปริมาณ  $\text{SiO}_2$  เป็นองค์ประกอบหลักเช่นเดียวกับเถ้าแกลบและเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ แต่มีปริมาณที่น้อยกว่า คือประมาณร้อยละ 60-70 มีผลรวมของ  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  และ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ประมาณร้อยละ 70 มีปริมาณ  $\text{SO}_3$  ต่ำกว่าร้อยละ 4 และปริมาณ LOI ร้อยละ 10 ซึ่งถือว่าค่อนข้างสูง (ดูตารางที่ 2) ซึ่งปริมาณ LOI ที่สูงนี้อาจเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไม่สูงมาก และระยะเวลาที่ใช้ในการเผาที่สั้น เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมันตามมาตรฐาน ASTM C618 [20] พบว่าเถ้าปาล์มน้ำมันมีองค์ประกอบทางเคมีที่ตรงกับข้อกำหนดของวัสดุปอซโซลาน Class N ได้ แม้ว่าเถ้าปาล์มน้ำมันจะถือได้ว่าเป็นวัสดุปอซโซลานสังเคราะห์ (เพราะได้จากการเผากากของผลปาล์มน้ำมัน) ซึ่งแตกต่างจาก ASTM C618 (2001) [20] ที่ระบุว่าวัสดุปอซโซลาน Class N เป็นวัสดุปอซโซลานจากธรรมชาติ

องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมันจาก 2 แหล่งผลิตในประเทศไทยแสดงในตารางที่ 2 มีค่าแตกต่างกันน้อยมาก และในแต่ละแหล่งจะมี LOI ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง คือประมาณร้อยละ 10 ซึ่ง LOI ที่อยู่ในเถ้าปาล์มน้ำมันส่วนใหญ่จะเป็นถ่านที่ติดน้ำมาก ทำให้ต้องการน้ำในส่วนผสมคอนกรีตหรือมอร์ตาร์มากขึ้น และหาก LOI มากๆ (มากกว่าร้อยละ 20) จะส่งผลให้คอนกรีตที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันมีการรับกำลังต่ำลงได้

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมันเปรียบเทียบกับเถ้าแกลบสด [21]

องค์ประกอบทางเคมี(%)	เถ้าแกลบสด	เถ้าปาล์มน้ำมัน	
		จาก จังหวัดชุมพร	จาก จังหวัดกระบี่
Silicon Dioxide (SiO <sub>2</sub> )	91.6	57.7	65.3
Aluminium Oxide (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0.4	4.5	2.5
Iron Oxide (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0.6	3.3	1.9
Calcium Oxide (CaO)	0.8	6.5	6.4
Magnesium Oxide (MgO)	0.2	4.2	3.0
Sodium Oxide (Na <sub>2</sub> O)	-	0.5	0.3
Potassium Oxide (K <sub>2</sub> O)	3.0	8.2	5.7
Sulfur Trioxide (SO <sub>3</sub> )	2.2	0.2	0.4
Loss On Ignition (LOI)	3.4	10.5	10.0

งานวิจัยที่ผ่านมามีการใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วนเพื่อปรับปรุงคุณภาพและคุณสมบัติของเพสต์ มอร์ตาร์ หรือคอนกรีต และงานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาเถ้าทิ้งจากผลผลิตอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมเป็น วัสดุคอมโพสิต ประกอบไปด้วย เถ้าแกลบ ทำการศึกษาความสามารถของวัสดุคอมโพสิตจากเถ้าแกลบโดยทดสอบคุณสมบัติความสามารถรับกำลังทั้งนี้ เพื่อความเชื่อมั่นในการใช้วัสดุคอมโพสิตจากเถ้าแกลบและพัฒนาต่อเพื่อใช้เป็นวัสดุในอุตสาหกรรมก่อสร้างต่อไป

นอกจากนี้ยังสามารถนำผลงานวิจัยเผยแพร่บทความวิชาการเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ นอกจากนี้ยังเป็นการบริหารสิ่งที่เหลือใช้ให้เป็นประโยชน์ สร้างความสมดุลของสังคมและสิ่งแวดล้อม ลดพลังงาน ลดขยะ ลดสภาวะโลกร้อน ทำให้มีคุณค่าจากปัจจุบันสู่นาคต สร้างช่องทางจำหน่ายเถ้าแกลบได้อีกหนึ่งช่องทาง ซึ่งงานวิจัยนี้จะพัฒนาและใช้งานเถ้าแกลบให้เกิดประโยชน์ และเพิ่มมูลค่าหรือเปลี่ยนจากของไม่มีมูลค่าให้มีมูลค่าขึ้น

ผลงานวิจัยนี้จะเกิดแนวทางการใช้ประโยชน์ทั้งในด้านอุตสาหกรรมและเชิงพาณิชย์โดยเฉพาะการนำเถ้าทิ้งไปใช้ประโยชน์ในงานวัสดุคอมโพสิตสร้างความมั่นคงในการจำหน่ายเถ้าทิ้งและเป็นการสร้างทางเลือกให้แก่ผู้ประกอบการที่สนใจเป็นการเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งได้ และเมื่อคำนึงถึงความเป็นไปได้ในเชิงพาณิชย์และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการพัฒนาขึ้นใช้งานจริงในตลาดก่อสร้าง พบว่ากระบวนการผลิต วัสดุคอมโพสิตจาก เถ้าทิ้งจะใช้ต้นทุนต่ำ เนื่องจากใช้ของเหลือทิ้งทางอุตสาหกรรมทำให้ได้ใช้วัสดุอย่างเต็ม

ประสิทธิภาพ ดังนั้นวัสดุคอมโพสิตจากเถ้าทิ้งจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับงานก่อสร้างที่สามารถลดปริมาณของเสียจากอุตสาหกรรม และเพิ่มศักยภาพการใช้ประโยชน์จากของเหลือทิ้งในเชิงพาณิชย์ได้





### บทที่ 3 วิธีการและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

#### 3 ขั้นตอนและวิธีในการวิจัยมีดังนี้

**วิธีการดำเนินการวิจัย** เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการทดลอง โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและทำการทดสอบโดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

- 1) ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
- 2) กำหนดแหล่ง แก่ที่ที่จะใช้วิจัย และจัดหาวัสดุอุปกรณ์ ครุภัณฑ์
- 3) เก็บตัวอย่าง แก่ที่ ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง แก่ที่ตั้งกล่าว
- 4) ทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของ แก่ที่
- 5) ทำการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของ แก่ที่ ทั้งทางคุณภาพและปริมาณ
- 6) ออกแบบอัตราส่วนผสม
- 7) ขึ้นรูปตัวอย่างตามอัตราส่วนที่กำหนด
- 8) ทำการทดสอบกำลังอัด ตามอัตราส่วนผสมที่ออกแบบไว้ เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณแก่ที่ และพลาสติก ต่อกำลังรับแรงอัด
- 9) เลือกอัตราส่วนและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม ทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค
- 10) ทำการทดสอบการดูดกลืนน้ำ
- 11) ทำการประมวลผล วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบรายละเอียดเชิงลึกของผลการทดสอบ
- 12) จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์และถ่ายทอดเทคโนโลยี

#### 3.1 ศึกษาถึงข้อมูลเบื้องต้นของงานวิจัย

จากการศึกษาในบทที่ 2 พบว่าคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ WPC โดยจะมุ่งไปในทางคุณสมบัติ แรงกด แรงกด ค่าความแข็งซึ่งคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุทางธรรมชาติมีความสำคัญต่อการเรียนรู้เพื่อที่จะนำไปใช้ให้ถูกต้องเหมาะสมกับงานที่ทำ พลาสติกหรือพอลิเมอร์เป็นวัสดุที่เหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์มาก ซึ่งได้มาจากการสังเคราะห์จากก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบ คุณสมบัติเด่นของพลาสติกและพอลิเมอร์ที่จะใช้ในโครงการนี้คือ ความเป็นฉนวนกันน้ำ ซึ่งจะมีประโยชน์อย่างมากสำหรับวัสดุใหม่นี้

## 3.2 กำหนดแหล่ง ให้นำที่จะใช้วิจัย

### 3.2.1 ให้นำที่จากแกลบ

ให้นำที่จากแกลบที่ใช้ มาจากโรงงานบริษัท เค วี ดี อินดัสเทรียล จำกัด อ.ไทรน้อย จ.นนทบุรี ซึ่งใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนแทนแก๊สและน้ำมันทำให้ได้วัสดุเหลือทิ้งเป็นให้นำที่แกลบดังรูปที่ 3.1

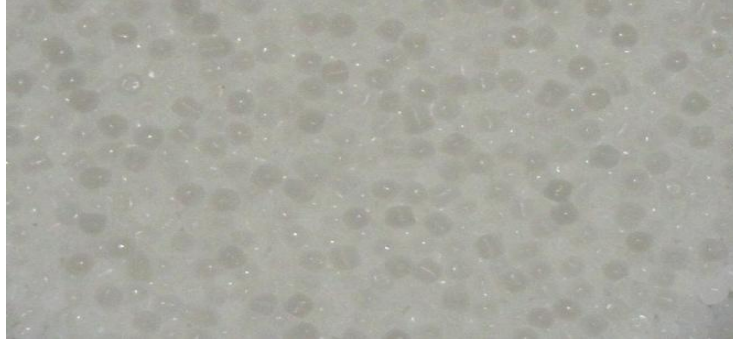


รูปที่ 3.1 ตัวอย่างให้นำที่แกลบ

### 3.2.2 พลาสติก

ในงานวิจัยนี้ใช้พลาสติกชนิดโพลีเอทิลีน (polyethylene - PE) ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งเป็นเม็ดพลาสติกที่มีคุณสมบัติแข็งแรง เหนียว ทนทาน ป้องกันความชื้นมิให้ผ่านเข้าออกได้ ทนกรดและด่างอ่อน มีน้ำหนักเบา ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.93 สามารถพับงอได้ดี มีความยืดตัวได้สูง ฉีกขาดยาก เป็นฉนวนไฟฟ้าดีมาก ไม่สามารถทนความร้อนสูง แต่ทนความเย็นได้ถึง -100 องศาฟาเรนไฮต์ เม็ดพลาสติก PE แบ่งได้ตามเกรดเป็น 3 ชนิดคือ

- โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (low-density polyethylene - LDPE) ใช้ผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์และหีบห่อ เช่น กระจอบ ถุงเย็น ซองใส่ของ ตลอดจนเป็นวัสดุผลิตของเล่นเด็ก พลาสติกและฉนวนหุ้มสายไฟ เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ทำวัสดุเคลือบผิว (coating or lamination) และใช้กับงานขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์พลาสติกโดยการเป่า (blow molding) เช่น ขวดพลาสติก คุณสมบัติเด่นของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดนี้คือ มีความเหนียว และคงทน
- โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (high-density polyethylene - HDPE) ใช้กับงานเป่าขึ้นรูป (blow moulding) โดยใช้ทำเป็นขวดพลาสติกและภาชนะบรรจุประเภทต่างๆ ที่ต้องทนต่อแรงดันและต้องมีแรงต้านทานสูง นอกจากนี้ยังใช้ในงานด้านการฉีดขึ้นรูป (injection) เช่น ผลิตของเล่นเด็ก และเครื่องใช้ต่างๆ ภายในบ้าน ตลอดจนใช้ทำแผ่นฟิล์ม เชือก ฉนวนหุ้มสายไฟ ท่อ และรางน้ำ ทั้งนี้ ท่อที่ทำจาก HDPE สามารถใช้แทนท่อที่ทำจากพีวีซี เนื่องจากมีความทนทานใกล้เคียงกัน แต่มีราคาถูกกว่า
- โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (linear low-density polyethylene - LLDPE) เป็นวัสดุใช้ผสมกับ LDPE เพื่อเพิ่มความเหนียวให้กับตัวผลิตภัณฑ์



รูปที่ 3.2 เม็ดพลาสติกชนิด HDPE

จะเห็นได้ว่าโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (high-density polyethylene - HDPE) เหมาะกับการนำไปผลิตขึ้นรูปเป็นวัสดุในงานก่อสร้างในงานวิจัยนี้จึงใช้พลาสติกชนิด HDPE ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2



รูปที่ 3.3 เม็ดพลาสติกชนิด HDPE ผ่านการบด

หลังจากนำวัสดุ โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (high-density polyethylene - HDPE) จากรูปที่ 3.6 มาผ่านการบดด้วยเครื่องบดแล้วดังรูปที่ 3.3 เพื่อใช้ในขั้นตอนการผสมทำให้วัสดุสามารถผสมเข้ากันได้ง่ายขึ้น

### 3.3 เก็บตัวอย่าง แก๊สทิ้ง ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง แก๊สทิ้งดังกล่าว

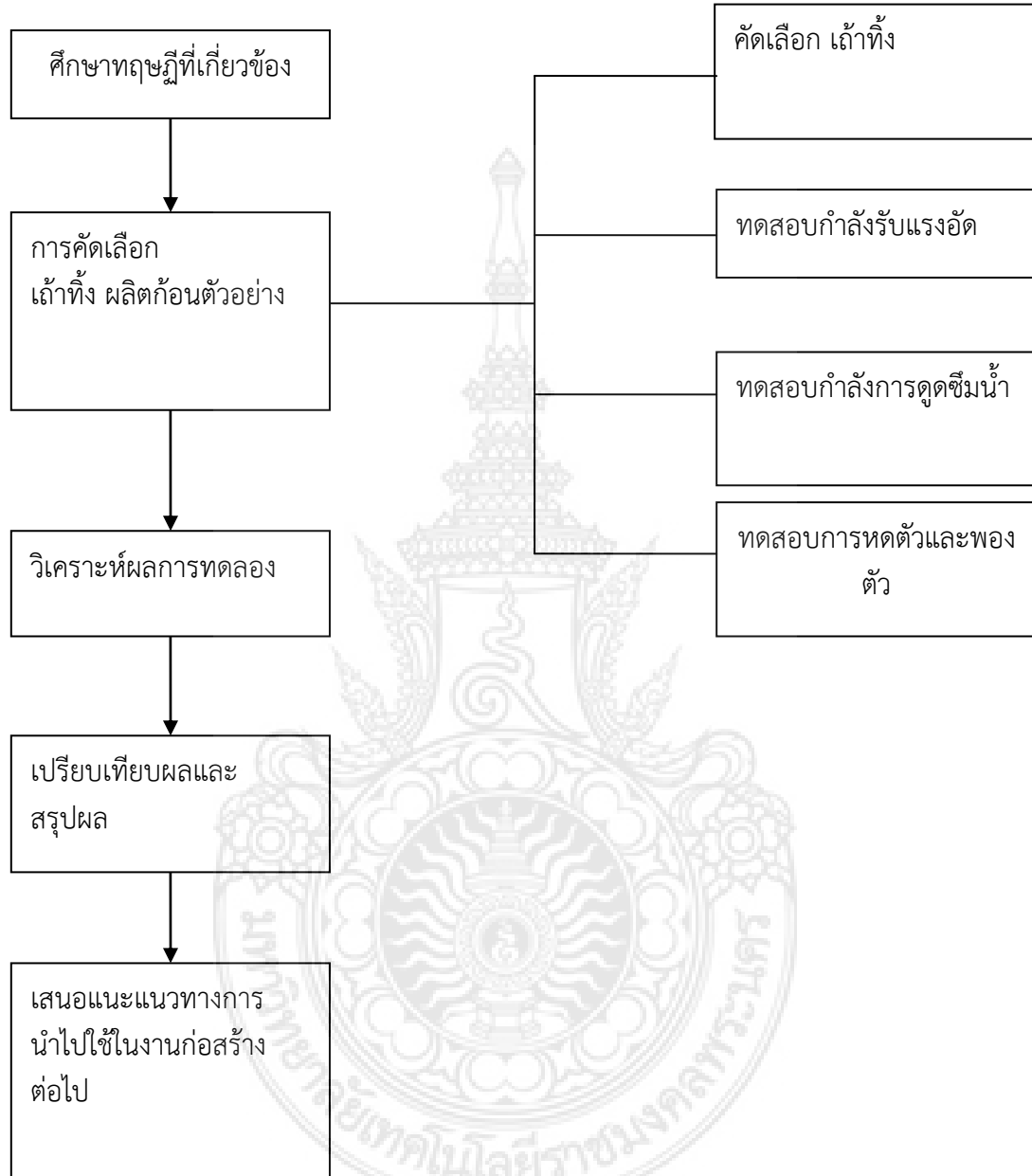
เก็บตัวอย่างจากแหล่งแก๊สทิ้งนำมาทำการร่อนปรับปรุงคุณสมบัติให้มีขนาดเล็กและตากให้แห้งในสภาวะอุณหภูมิปกติ แล้วทำตามกระบวนการดังรูปที่ 3.4

### 3.4 ทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของ แก๊สทิ้ง

- 3.4.1 ทดสอบแก๊สทิ้งเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบโดย X-Ray Fluorescence (XRF)
- 3.4.2 ทดสอบแก๊สทิ้งเพื่อวิเคราะห์หาความหนาแน่นปรากฏโดย Density Meter
- 3.4.3 ทดสอบแก๊สทิ้งเพื่อวิเคราะห์หาความถ่วงจำเพาะโดย Specific Gravity by Pycnometer
- 3.4.4 ทดสอบแก๊สทิ้งเพื่อวิเคราะห์หาค่า Loss on Ignition โดย Loss on Ignition

3.4.5 ทดสอบเก้าอี้เพื่อวิเคราะห์หาค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาค โดย X-Ray Diffractometer (XRD)

3.4.6 ทดสอบเก้าอี้เพื่อวิเคราะห์หาค่า Particle Size Distribution



รูปที่ 3.4 แสดงแผนภูมิขั้นตอนในการวิจัย

**3.5 ทำการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของ แก้วทิ้ง ทั้งทางคุณภาพและปริมาณ**  
นำผลการทดสอบจากข้อ 3.4 มา ทำการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของ แก้วทิ้ง ทั้งทางคุณภาพและปริมาณ

### 3.6 ออกแบบอัตราส่วนผสม

ซึ่งจะผสมผสานกันตามอัตราส่วนดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมของแก้วทิ้งกับพลาสติก

MIX	แก้วทิ้ง(%น้ำหนัก)	พลาสติก(%น้ำหนัก)	รวม
1	100	0	100%
2	90	10	100%
3	80	20	100%
4	70	30	100%
5	60	40	100%
6	50	50	100%
7	40	60	100%
8	30	70	100%
9	20	80	100%
10	10	90	100%
11	0	100	100%

โดยในงานวิจัยการพัฒนาวัสดุคอมโพสิตผสมแก้วทิ้งเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่จะขึ้นรูปดังตารางที่ 3.1

### 3.7 ขึ้นรูปตัวอย่างตามอัตราส่วนที่กำหนด

นำส่วนผสมมาผสมตามอัตราส่วนดังข้อ 3.6 ตาราง 3.1 โดยนำวัสดุที่ใช้ เช่น แก้วทิ้งและ HDPE ผสมในอัตราส่วน 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 ตามอัตราส่วนที่ต้องการ การเตรียมชุดทดสอบในการศึกษานี้ ใช้ แก้วทิ้งผสม HDPE จำนวน 11 ตัวอย่างโดยตาม ใช้ ตัวอย่างทรงลูกบาศก์ขนาด 5x5x5 cm

#### ขั้นตอนการผสม

1. นำวัสดุมาใส่ภาชนะตวงเพื่อชั่งหาค่าตามอัตราส่วนผสมที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.1



รูป 3.5 นำ แก้วทิ้ง มาชั่ง



รูป 3.6 นำ HDPE มาชั่ง



รูป 3.7 เถ้าทิ้งหลังจากการผสมตามอัตราส่วน



รูป 3.8 วัสดุหลังผสมตามอัตราส่วนเทเข้าแบบหล่อ



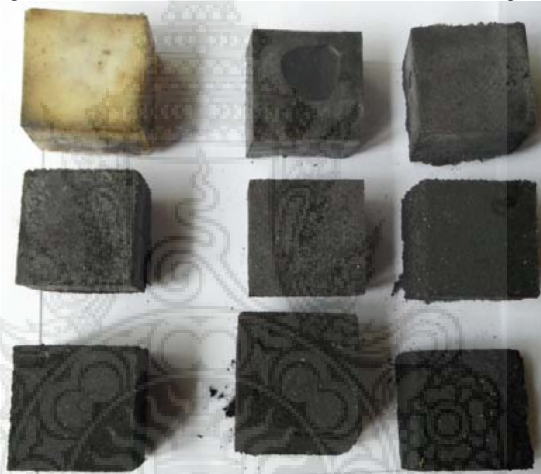
รูป 3.9 นำตัวอย่างเข้าอบขึ้นรูป



รูป 3.10 ตัวอย่างหลังอบขึ้นรูป



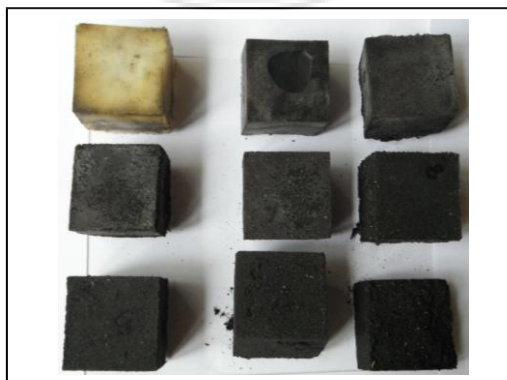
รูป 3.11 ลักษณะผิวของตัวอย่างหลังอบขึ้นรูป



รูป 3.12 ตัวอย่างหลังอบขึ้นรูปพร้อมทดสอบคุณสมบัติต่อไป

3.8 ทำการทดสอบกำลังอัด ตามอัตราส่วนผสมที่ออกแบบไว้ เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณ  
เถ้าทิ้งและพลาสติก ต่อกำลังรับแรงอัด

ทำการทดสอบกำลังอัด ตามอัตราส่วนผสมที่ออกแบบไว้ เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณ HDPE  
และเถ้าทิ้งต่อกำลังรับแรงอัด ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ตัวอย่าง เถ้าทิ้งผสม HDPE มาทดสอบกำลังอัด

จากรูปที่ 3.13 นำตัวอย่างมาทดสอบกำลังอัดกับเครื่องทดสอบกำลังอัด (universal testing machine) สังเกตการณ์วิบัติของก้อนตัวอย่างดังรูปที่ 3.20 และจดบันทึก

$$\text{กำลังรับแรงอัด} = \frac{\text{น้ำหนักกดสูงสุด}}{\text{พื้นที่หน้าตัดรับแรงอัด}}$$



รูปที่ 3.14 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด



รูปที่ 3.15 ตัวอย่างหลังกดทดสอบ

ทดสอบกำลังอัดตามมาตรฐาน ASTM109 และความหนาแน่นตามมาตรฐาน ASTM134 จำนวน 3 ตัวอย่างเพื่อทำการเปรียบเทียบ กำลังอัดแต่ละส่วนผสม ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1505-2541 ชั้นคุณภาพ 4 ความหนาแน่น 710 ถึง 800กก./ลบ.ม. กำลังรับแรงอัดไม่ต่ำกว่า 40 กก./ตร.ซม. โดยในแต่ละการตรวจสอบ 3 ซ้ำและหาค่าเฉลี่ย



รูป 3.16 ตัวอย่าง ก่อนกดการทดสอบ กำลังอัด



### 3.9 เลือกอัตราส่วนและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม ทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค

#### 3.10 ทำการทดสอบการดูดกลืนน้ำ

##### 3.10.1 ทำการทดสอบการดูดกลืนน้ำ

การทดสอบการดูดซึมน้ำ เป็นการทดสอบความสามารถในการดูดซับความชื้นของตัวอย่างทดสอบ

$$\text{ร้อยละการดูดกลืนน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง} - \text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}}{\text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}} \times 100$$



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างขณะแช่น้ำ



รูปที่ 3.18 ตัวอย่างหลังแช่น้ำ

##### 3.10.2 ทำการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากการดูดความชื้น

ทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากการดูดความชื้นโดยการวัดขนาดปริมาตรของก้อนตัวอย่างทดสอบแล้วเปรียบเทียบ

การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวด้วยน้ำ

$$= \frac{\text{ปริมาตร } V \text{ หลังแช่น้ำ} - \text{ปริมาตร } V \text{ ก่อนแช่น้ำ}}{\text{ปริมาตร } V \text{ ก่อนแช่น้ำ}} \times 100$$

3.11 ทำการประมวลผล วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบรายละเอียดเชิงลึกของผลการทดสอบ

3.12 จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์และถ่ายทอดเทคโนโลยี



## บทที่ 4 ผลการวิจัย

ผลการดำเนินงานวิจัยมีผลดังนี้

### 4.1 ผลการทดสอบหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

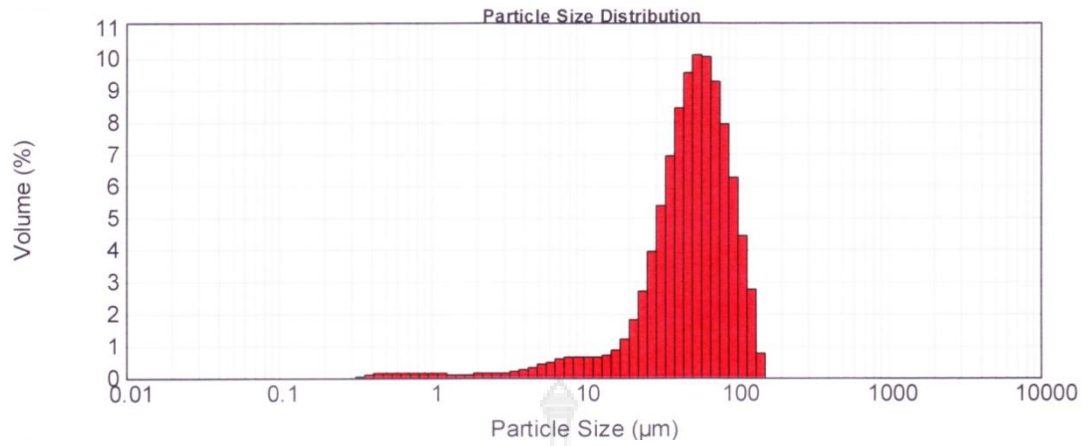
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการทดสอบหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ

องค์ประกอบทางเคมี		ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (%)
1	ซิลิกอน ออกไซด์ (SiO <sub>2</sub> )	94.00
2	แคลเซียม ออกไซด์ (CaO)	2.00
3	โพแทสเซียม ออกไซด์ (K <sub>2</sub> O)	2.80
4	ไอรอน ออกไซด์ (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0.39
5	แมกนีเซียม ออกไซด์ (MgO)	0.42
6	ไทเทเนียม ออกไซด์ (TiO <sub>2</sub> )	0.03
7	แมงกานีส ออกไซด์ (MnO)	0.25
8	แบเรียม ออกไซด์ (BaO)	0.02

### 4.2 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏ, ความถ่วงจำเพาะ, ค่า Loss on Ignition, การกระจายตัวของขนาดอนุภาคและขนาดรูพรุนของตัวอย่างเถ้าแกลบ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏ, ความถ่วงจำเพาะ, ค่า Loss on Ignition, การกระจายตัวของขนาดอนุภาคและขนาดรูพรุนของตัวอย่างเถ้าแกลบ

คุณสมบัติ	ผลการวิเคราะห์	หมายเหตุ
ความหนาแน่นปรากฏ (g/cm <sup>3</sup> )	2.24	-
ความถ่วงจำเพาะ	1.43	-
ค่า Loss on Ignition (%)	7.94	-
ค่ากลางเฉลี่ยของอนุภาค (μm)	53.65	ดังรูปที่ 4.1
พื้นที่ผิว Single point BET (m <sup>2</sup> /g)	30.07	-
พื้นที่ผิว Multi point BET (m <sup>2</sup> /g)	30.44	-



รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคแก้วเคลือบ

#### 4.3 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดย X-Ray Diffactometer (XRD) ของตัวอย่างแก้วเคลือบ ดังรูปที่ 4.2





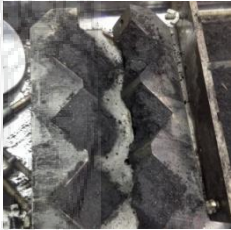

รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดย X-Ray Diffactometer (XRD) ของตัวอย่างแก้วเคลือบ



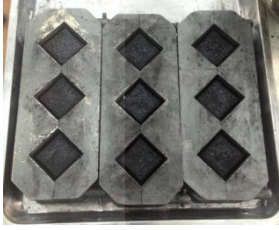




จากรูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดย X-Ray Diffactometer (XRD) ของตัวอย่างแก้วเคลือบ พบสารประกอบ Silicon Oxide (SiO<sub>2</sub>) : Cristobalite

#### 4.4 ผลการผสมตัวอย่างขึ้นรูปตามอัตราส่วนดังตาราง 3.1 และรูป 3.4

4.4.1 ผลการขึ้นรูปตามอัตราส่วนของ ulla-พลาสติก ดังตาราง 4.6 ซึ่งพบว่าดินลูกรัง 100% และ 90 % ไม่สามารถอัดขึ้นรูปได้เนื่องจากดินมีมวลที่ละเอียดเมื่อขึ้นรูปจะไม่เกิดการยึดเกาะระหว่างมวลกับพลาสติกดังรูปในตารางและขึ้นรูปได้แต่ไม่สมบูรณ์ที่ ดินลูกรัง 80% ส่วนอัตราส่วน ulla-ตั้งแต่ 70%-0% สามารถขึ้นรูปได้สมบูรณ์

ตาราง 4.3 ผลการขึ้นรูปตามอัตราส่วนของ ulla-พลาสติก

MIX	ulla (%น้ำหนัก)	พลาสติก(% น้ำหนัก)	ความสามารถ ในการขึ้นรูป	รูปการขึ้นรูปและผิวหน้า
1	100	0	ไม่สามารถขึ้นรูปได้	
2	90	10	ไม่สามารถขึ้นรูปได้	
3	80	20	สามารถขึ้นรูปได้ แต่ไม่สมบูรณ์	
4	70	30	สามารถขึ้นรูปได้	

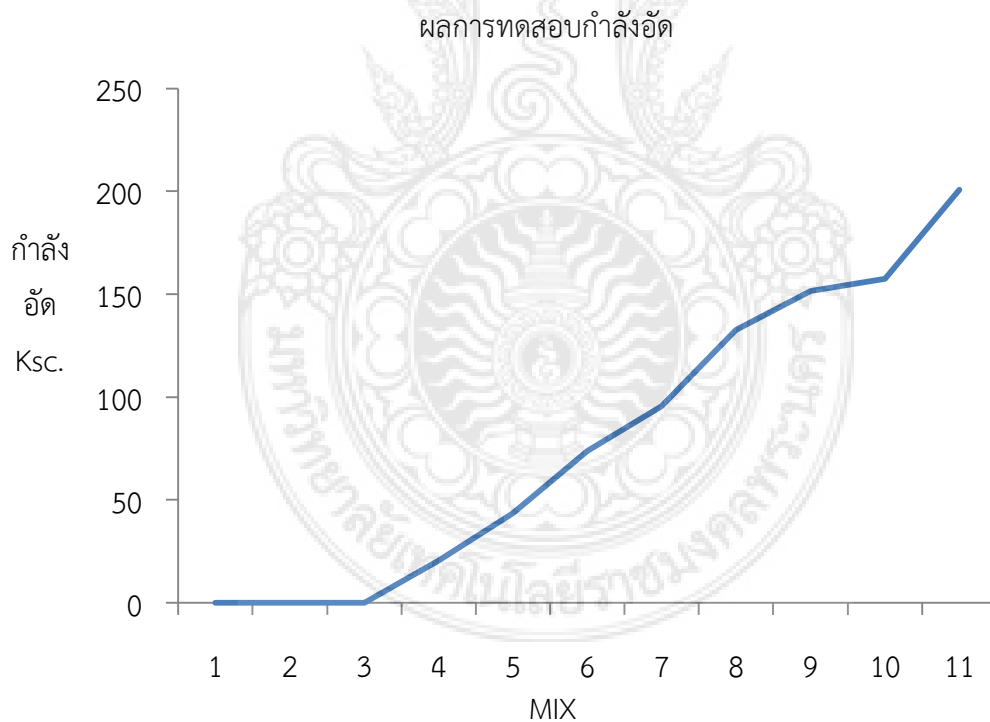
5	60	40	สามารถขึ้นรูป ได้	
6	50	50	สามารถขึ้นรูป ได้	
7	40	60	สามารถขึ้นรูป ได้	
8	30	70	สามารถขึ้นรูป ได้	
9	20	80	สามารถขึ้นรูป ได้	
10	10	90	สามารถขึ้นรูป ได้	
11	0	100	สามารถขึ้นรูป ได้	

ผลการทดสอบกำลังอัดตามอัตราส่วนผสม ดังรูปที่ 3.5 และ 4.7

ผลการทดสอบกำลังอัดของ เถ้าแกลบ –พลาสติก

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบกำลังอัดของ เถ้าแกลบ –พลาสติก

MIX	เถ้าแกลบ(%น้ำหนัก)	พลาสติก(%น้ำหนัก)	ผลการทดสอบกำลังอัด
1	100	0	NA
2	90	10	NA
3	80	20	NA
4	70	30	20.52
5	60	40	43.55
6	50	50	73.88
7	40	60	95.57
8	30	70	132.54
9	20	80	151.52
10	10	90	157.58
11	0	100	200.79



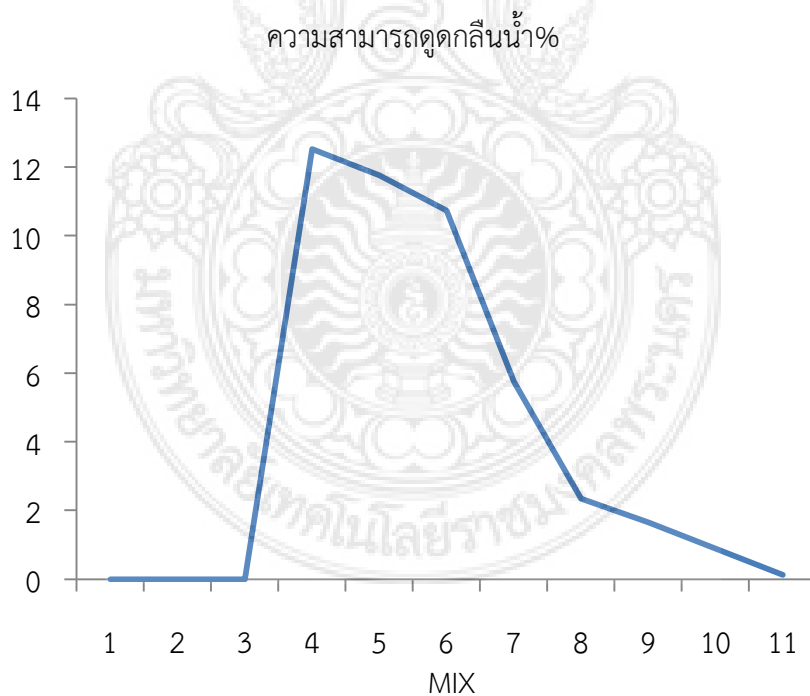
รูปที่ 4.3 ความสามารถดูดกลืนน้ำ เถ้าแกลบ-พลาสติก

#### 4.5 ผลการทดสอบความสามารถดูดกลืนน้ำ (Moisture Content; MC %)

##### 4.5.1 ผลการทดสอบความสามารถดูดกลืนน้ำของ ใ้้าแกลบ – พลาสติก ตาราง 4.8

ตาราง 4.8 ผลการทดสอบความสามารถดูดกลืนน้ำของ ใ้้าแกลบ – พลาสติก

MIX	ใ้้าแกลบ (%น้ำหนัก)	พลาสติก(%น้ำหนัก)	ความสามารถดูดกลืนน้ำ%	หมายเหตุ
1	100	0	NA	NA
2	90	10	NA	NA
3	80	20	NA	NA
4	70	30	12.52	จมน้ำ
5	60	40	11.75	ลอยน้ำ
6	50	50	10.74	ลอยน้ำ
7	40	60	5.76	ลอยน้ำ
8	30	70	2.34	ลอยน้ำ
9	20	80	1.65	ลอยน้ำ
10	10	90	0.89	ลอยน้ำ
11	0	100	0.12	ลอยน้ำ



รูปที่ 4.4 ความสามารถดูดกลืนน้ำ ใ้้าแกลบ-พลาสติก



#### 4.6 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากความชื้น

4.6.1 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากความชื้นของเก้า้แกลบ – พลาสติกตาราง 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากความชื้น

MIX	เก้า้แกลบ (%น้ำหนัก)	พลาสติก(%น้ำหนัก)	การเปลี่ยนแปลงปริมาตร จากความชื้น %	หมายเหตุ
1	100	0	NA	NA
2	90	10	NA	NA
3	80	20	NA	NA
4	70	30	NA	จมน้ำ
5	60	40	3.11	จมน้ำ
6	50	50	2.12	จมน้ำ
7	40	60	1.45	ลอยน้ำ
8	30	70	1.78	ลอยน้ำ
9	20	80	1.10	ลอยน้ำ
10	10	90	0	ลอยน้ำ
11	0	100	0	ลอยน้ำ



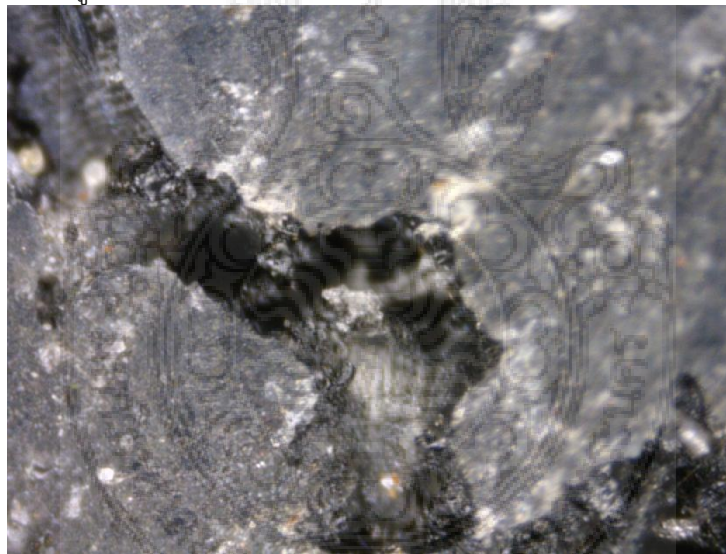
รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากความชื้นของ เก้า้แกลบ – พลาสติก

#### 4.7 ผลเลือกอัตราส่วนและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม ทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค

จากการทดสอบด้วยกล้องขยายกำลัง 50x พบว่า แก้วแกลบสามารถขึ้นรูปได้ด้วยการประสานของพลาสติกโดยยังมีอัตราส่วนของพลาสติกมากยิ่งทำให้มีความสามารถยึดเกาะขึ้นรูปได้ดีตามไปด้วย



รูป 4.6 แก้วแกลบ 50% HDPE 50% กำลังขยาย 50x



รูป 4.7 รอยแตกของ แก้วแกลบ 60% HDPE 40% กำลังขยาย 50x

## บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

### สรุปผล

#### 5.1 สรุปผลจากผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุพบว่า

5.1.1 องค์ประกอบทางเคมี ของแก้วเคลือบมีซิลิกอน ออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ), แคลเซียม ออกไซด์ ( $\text{CaO}$ ), โพแทสเซียม ออกไซด์ ( $\text{K}_2\text{O}$ ) เป็น 94.00%, 2.00%, 2.80% ตามลำดับและพบสารประกอบ Silicon Oxide ( $\text{SiO}_2$ ) : Cristobalite

5.1.2 แก้วเคลือบมีผลการทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏมีค่า  $2.24 \text{ g/cm}^3$ , ความถ่วงจำเพาะ 1.43, ค่า Loss on Ignition 7.94 %, การกระจายตัวของขนาดอนุภาค  $53.65 \mu\text{m}$  พื้นที่ผิว Single point BET  $30.07 \text{ m}^2/\text{g}$  พื้นที่ผิว Multi point BET  $30.44 \text{ m}^2/\text{g}$

#### 5.2 สรุปผลการผสมตัวอย่างขึ้นรูปตามอัตราส่วน

พบว่า การขึ้นรูปตามอัตราส่วนของ แก้วเคลือบ - พลาสติก ที่แก้วเคลือบ 100% และ 90 % ไม่สามารถอัดขึ้นรูปได้เนื่องจากแก้วเคลือบมีมวลที่ละเอียดเมื่อขึ้นรูปจะไม่เกิดการยึดเกาะระหว่างมวลกับพลาสติกดังรูปในตารางและขึ้นรูปได้แต่ไม่สมบูรณ์ที่ แก้วเคลือบ 80% ส่วนอัตราส่วนแก้วเคลือบตั้งแต่ 70%-0% สามารถขึ้นรูปได้สมบูรณ์

#### 5.3 สรุปผลการทดสอบกำลังอัดพบว่า

5.3.1 ตัวอย่างทดสอบ แก้วเคลือบ - พลาสติก ที่มีกำลังอัดน้อยกว่า 70 ksc. ที่อัตราส่วนแก้วเคลือบ 60% ขึ้นไป ตัวอย่างกำลังระหว่าง 70-100 ksc. 2 ตัวอย่างที่อัตราส่วนแก้วเคลือบที่ 40-50% และมากกว่า 100 ksc. ที่อัตราส่วนแก้วเคลือบที่น้อยกว่า 30% โดยสามารถรับกำลังได้สูงสุดที่ 200.79 ksc.

5.3.3 ซึ่งพบว่าแก้วเคลือบผสมพลาสติกเมื่อเพิ่มปริมาณพลาสติกมากขึ้นกำลังรับแรงเพิ่มตามลำดับผู้ใช้ควรเลือกใช้ตามความเหมาะสมกับงาน

#### 5.4 สรุปผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ (Moisture Content; MC %) พบว่า

5.4.1 ปริมาณแก้วเคลือบ 70% ขึ้นไปตัวอย่างจมน้ำและปริมาณ แก้วเคลือบ ต่ำกว่า 60% ก่อนตัวอย่างทดสอบลอยน้ำ

5.4.2 ตัวอย่างสามารถดูดซึมน้ำได้น้อยกว่า 30 % ทุก ตัวอย่างที่สามารถขึ้นรูปได้ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในงานก่อสร้างได้

## 5.5 สรุปผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากความชื้นพบว่า

5.5.1 ถ้าแกลบลผสมพลาสติกไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรหรือเกิดน้อยมาก ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีของวัสดุก่อสร้าง

## 5.6 สรุปผลจากการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค

ผลการทดสอบด้วยกล้องขยายกำลัง 50x พบว่าดินลูกรังสามารถขึ้นรูปได้ด้วยการประสานของพลาสติกโดยยังมีอัตราส่วนของพลาสติกมากยิ่งทำให้มีความสามารถยึดเกาะขึ้นรูปและกำลังได้ดีตามไปด้วย

## 5.7 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

5.7.1 ควรทำการ ทดสอบคุณสมบัติอื่น ๆ เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างหลากหลายเช่น ทดสอบความสามารถในการต้านทานคลอไรด์ การต้านทานการกัดกร่อน



## เอกสารอ้างอิง

- [1] สุกาญจน์ รัตนเลิศนุสรณ์ 2550 ประสิทธิภาพของเชื้อราดินเลนบนซากใบโก่งกางใบเล็กและใบแสมขาวในการย่อยสลายและควบคุมโรคพืชอย่างบูรณาการ วันที่ 28-29 กรกฎาคม 2550 นเรศวรวิจัย ครั้งที่ 3 ความสำเร็จของการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 479-486 หน้า
- [2] พันธพงศ์ ตั้งธีระสุนันท์ วัสดุคอมโพสิต: ทิศทางและแนวโน้มการใช้วัสดุคอมโพสิตในประเทศไทย เอกสารเผยแพร่ สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ กันยายน 2549
- [3] Matthews F.L. and Rawlings R.D. Composite Materials : Engineering and Science. London Chapman & Hall, 1994
- [4] ณัฐสพล เกียรติพานิช, การพัฒนาเทอร์โมพลาสติกเสริมแรงที่เตรียมจากเส้นใยธรรมชาติและการศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติการไหล, วิศวกรรมเคมี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2548
- [5] Bledzki A.K., Reihmane S. and Gassan J. “Thermoplastics Reinforced with Wood Fillers : A Literature Review.” Polymer-Plastics Technology and Engineering. (1998) : 451-468
- [6] Hollaway L. Polymer Composites for Civil and Structural Engineering. London : Chapman & Hall, 1993.
- [7] Trostyanskata, E.B. Polymeric Matrices in Fiber-Reinforced Composite Materials : Polymer Matrix Composites. London : Charman & Hall, 1995
- [8] เล็ก สีคง, วัสดุวิศวกรรม, ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2540
- [9] สุปราณี แสงทอง, การปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติโดยใช้ปฏิกิริยาแอตไมเซลลาพอลิเมอร์ไฮดรอกซีสำหรับวัสดุประกอบ, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549
- [10] Jang B.Z. Advanced Polymer Composites. ASM International New York : John Wiley & Sons, 1994.
- [11] Hull D. and Clyne T.W. An Introduction to Composite Materials 2nd ed. Great Britain : Cambridge University Press, 1996
- [12] วิโรจน์ เตชะวิญญูธรรม “เอกสารประกอบการสอนวิชาเทคโนโลยีพลาสติก”
- [13] Hyer M.W. “Stress Analysis of Fiber-Reinforced Composite Materials.” (1997)

[14] ปริญญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล (2551) ,ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีตพิมพ์ครั้งที่ 5

[15] Luh, B.S., Rice: Production and Utilization, Avi Publishing Company, Westport, Connecticut, 1979.

[16] ปริญญา จินดาประเสริฐ และ อินทรชัย หอวิจิตร, สมนึก ประภาธนาธร, ปูนซีเมนต์เถ้าแกลบ, วรสารวิชาการที่อยู่อาศัย, การเคหะแห่งชาติ, พ.ศ. 2529, ปีที่ 3, เล่มที่ 2 หน้า 81-92

[17] บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ พิชัย นิमितยงสกุล , ผลกระทบของเถ้าแกลบต่อคอนกรีตคุณภาพสูง, เอกสารประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 3, พ.ศ. 2540, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, หน้า MAT5-1 ถึง MAT5-9

[18] บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ เชิดพงศ์ วิสารทานนท์ , ศักยภาพในการใช้คอนกรีตผสมเถ้าแกลบไม่บด, เอกสารประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 7, พ.ศ. 2544, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, หน้า MAT63-68 สมาคมคอนกรีตไทย 381 หน้า

[19] สาโรจน์ ดำรงค์สีล , บุรฉัตร ฉัตรวีระ และวินัย อวยพรประเสริฐ , กำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตผสมเถ้าแกลบ, วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, พ.ศ. 2543, ปีที่ 11, ฉบับที่ 1, หน้า 11-19

[20] Chindaprasirt ,P., Rukzon, .,S., and Sirvivatnanon, V.,2007. “Resistance to chloride penetration of blended Portland cement mortar containing palm oil fuel ash, rice husk ash and fly ash,” Construction and Baterials, 22: 932 – 938.

[21] Neville AM. Properties of concrete. 4 th andfinal Edition. Malaysia: Longman Group Limited; 1995.

[22] Chindaprasirt, P., Kanchanda, P., Sathonsoawaphak, A., Cao, H.T., 2007 . “Sulfate resistance of blended cements containing fly ash and rice husk ash,” construction and Building Materials,21:1356-1361

[23] ศูนย์สารสนเทศการเกษตร , สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร , 2545, สถิติแห่งประเทศไทย ปีเพาะปลูก 2544/45, เล่มที่ 43, 121หน้า

[24] คาวี มณฑการติวงศ์, อเนก ศรีพานิชกร, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และ ไกรวุฒิ เกียรติโกมล , กลังอัดและความร้อนของคอนกรีตผสมเถ้าขานอ้อย, เอกสารประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2548, สมาคมคอนกรีตไทย, หน้า CON-35

[25] Chindaprasirt ,P., Rukzon, .,S.,2008. “Strength, porosity and corrosion resistance of ternary blend Portland cement, rice husk ash fly ash mortar, construction and Building Materials, 22:1601-1606

[26] Gastaldini, A.L.G., Isaia, G.C., Gomes, N.S., Sperb, J.E.K., “Chloride penetration and carbonation in concrete with rice husk ash and chemical activators,” Cement and Concrete

Composites, In press.

[27] Ganesan, K., Raiagopal, K., 2007. “Evaluation of bagassg as supplementary cementitious material,” Cement and concrete Composites,29:515-524.

[28] สำเร็จ รักซ้อน., 2551 “ทฤษฎีและการทดสอบคอนกรีตเทคโนโลยี,”กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[29] ASTM C618., 2001. “Standard Speciation For Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete,” Annual Book of ASTM Standard, 04.02:310-313.

[30] Neville AM. Properties of concrete.4th and Final Edition. Malaysia: Longman Group Limited; 1995

[31] วุฒิชัย วัชรวิทย์เกียรติ (2526),การศึกษาคุณสมบัติและความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของดินลูกรังในประเทศไทย , วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี





## ภาคผนวก ข

## เผยแพร่ประชุมสัมมนาถ่ายทอดเทคโนโลยี

มหกรรมงานวิจัยแห่งชาติ  
**2558** THAILAND RESEARCH  
EXPO 2015  
มหกรรมงานวิจัยแห่งชาติ 2558

Thailand Research Expo 2015

“วิจัยเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิต เศรษฐกิจและสังคมอย่างยั่งยืน”  
(Research for Quality of Life, Sustainable Economy and Society)

พบกับ  
การประชุมหลากหลาย  
ประเด็นมากกว่า  
**100** หัวเรื่อง  
นิทรรศการผลงาน  
วิจัยหลายร้อยผลงาน

ขอเชิญ  
ลงทะเบียนเข้าร่วมการประชุมได้ที่  
[www.researchexpo.nrct.go.th](http://www.researchexpo.nrct.go.th)  
และ [www.nrct.go.th](http://www.nrct.go.th)  
ภายในวันที่ 27 กรกฎาคม 2558

วันที่ 16 - 20 สิงหาคม 2558  
ณ โรงแรมเซ็นทาราแกรนด์  
และบางกอกคอนเวนชันเซ็นเตอร์ เซ็นทรัลเวิลด์ กรุงเทพฯ

NECTEC  
NECT

เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยสู่ประชาชน ร่วมกับ สถาบันงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

รายงานผลการดำเนินงาน ประจำปีเดือนสิงหาคม 2558 [www.ird.rmutp.ac.th](http://www.ird.rmutp.ac.th)



**สถาบันวิจัยและพัฒนา**  
Institute of Research and Development  
**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร**  
399 ถนนสามเสน แขวงจระเข้ยี่บาบอ เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300  
โทรศัพท์ : 0 2665 3777, 0 2665 3888 ต่อ 6093-6094, 3698 โทรสาร : 0 2282 0423



รายงานผลการดำเนินงาน ประจำปีเดือนสิงหาคม 2558 [www.ird.rmutp.ac.th](http://www.ird.rmutp.ac.th)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

## วัสดุคอมโพสิตเถ้าทิ้งจากการผลิตใน อุตสาหกรรมและเกษตรกรรม

เจ้าของผลงาน  
ศิริจณี จินประทุม

### คุณลักษณะของผลงานและการนำไปใช้ประโยชน์

การนำเถ้ากากของเสียจากกระบวนการผลิตก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมแก่ชุมชนใกล้เคียง ดังนั้นหากสามารถสร้างทางลือกใหม่ที่จะนำเถ้าเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ จะเป็นการป้องกันและลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากเถ้าถ่านดังกล่าว และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าแก่เถ้ากากของเสียจากกระบวนการผลิตจากภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรม และทำให้เพิ่มรายได้จากการขายเถ้าที่เป็นผลพลอยได้ และเปลี่ยนวัสดุเหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรมที่ไม่มีมูลค่าเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่มีราคาในตัวมันเองได้อย่างยั่งยืน ดังนั้นงานวิจัยจึงต้องการศึกษาและพัฒนาเถ้าทิ้งเพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุ คอมโพสิต เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีในการนำเถ้าทิ้งไปใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพและทำให้เกิดความมั่นใจแก่อุตสาหกรรมก่อสร้างไทยที่จะนำเถ้าทิ้งไปใช้งาน ทั้งยังช่วยลดปัญหามลภาวะและปัญหาสิ่งแวดล้อมจากวัสดุกากของเสียจากกระบวนการผลิตและลดพื้นที่การกำจัดทิ้ง ดังนั้นวัสดุประสานหรือวัสดุประสานจากเถ้าทิ้งจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถลดปริมาณของเสียจากอุตสาหกรรม และเพิ่มศักยภาพการใช้ประโยชน์จากของเสียในเชิงพาณิชย์ได้ต่อไป

Institute of Research and Development  
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon  
191 Rajabongse Road, Phra Nakhon Si Ayutthaya, Thailand 13120  
Tel: 02-924-1000 Fax: 02-924-1001  
E-mail: irad@rmu.ac.th, www.irad.rmutp.ac.th

## ภาคผนวก ค

## ประวัติคณะผู้วิจัย

## ประวัติคณะผู้วิจัย (1) หัวหน้าโครงการ

1. นายนิโรจน์ เงินพรหม  
Mr. Nirojn Ngenprom
2. ประวัติการศึกษา  
ปริญญา สาขา ชื่อสถาบัน/ประเทศ  
ปริญญาตรี วิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
ประเทศไทย  
ปริญญาโท วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีประเทศ  
ไทย
3. ความเชี่ยวชาญในสาขาวิชา
  - 3.1 Geotechnical Engineering
  - 3.2 Computer Application in Civil Engineering
  - 3.3 Construction Materials
  - 3.4 วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย
4. ผลงานวิจัย/ผลงานวิชาการ
  - 4.1 ชื่อเรื่องการประเมินค่าCBR ของดินลูกรังโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ปีที่ดำเนินการ  
ปีที่ดำเนินการ ปี 2549 หัวหน้าโครงการวิจัย
  - 4.2 ชื่อเรื่องปัจจัยที่ส่งผลต่อความพึงพอใจในงานของข้าราชการสายสนับสนุนและพนักงานใน  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ปี 2551 หัวหน้าโครงการวิจัย
  - 4.3 ชื่อเรื่องการใช้เถ้าทิ้งจากผลผลิตอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมเป็นวัสดุปอซโซลานแทนที่  
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปี 2552 ผู้ร่วมวิจัย
  - 4.4 ชื่อเรื่องคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ผสมดินลูกรังและโคลนปูนจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ  
2552 หัวหน้าโครงการวิจัย
  - 4.5 ชื่อเรื่องคุณสมบัติของดินซีเมนต์ผสมเถ้าเปลือกหอยแมลงภู่ 2552 หัวหน้าโครงการวิจัย
  - 4.6 ชื่อเรื่องการศึกษาทดสอบหาค่ากำลังอัดของอิฐดินดิบที่มีดินลูกรังเถ้าถ่านหินและเถ้าแกลบเป็น  
ส่วนผสม 2552 หัวหน้าโครงการวิจัย  
งานวิจัยที่กำลังทำ ชื่อข้อเสนอการวิจัย
  - 4.7 ชื่อเรื่องการพัฒนาวัสดุอิโพลีเมอร์จากเถ้าแกลบและเถ้าขานอ้อย ปี 2553 ผู้ร่วมวิจัย
5. อื่นๆ ที่สำคัญ
  - 5.1 Received a bachelor's degree scholarship, Civil engineering from Rajamangala  
Institute of Technology, Thailand, year 2005.
  - 5.2 Received scholarships graduate. Master Of Engineering (M.Eng) In the field of Civil  
Engineering from the University of Technology Rajamangala Phra Nakhon, Thailand, year  
2006.
  - 5.3 Award No.1 in graduate faster version (faster end award) year 2007.

## ประวัติคณะผู้วิจัย (2) ผู้ร่วมโครงการวิจัย

1. นายธนันท์ ศัลยวุฒิ  
Mr. Thanan Sanyawuth
2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 3120100570503
3. ตำแหน่งทางวิชาการ อาจารย์
4. สังกัดภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
Email-address (มหาวิทยาลัย) *thanan.sa@rmutp.ac.th*  
Email-address (อื่น) *tanant10@hotmail.com*  
โทรศัพท์มือถือ (66) 0816595411  
โทรศัพท์ที่ทำงาน (66) 022829009-11 ต่อ 6085 , โทรสาร. (66) 022802905  
ที่อยู่ในการจัดส่งเอกสาร 399 กองนโยบายและแผน สำนักอธิการบดี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ถ.สามเสน แขวงวชิรพยาบาล เขตดุสิต กทม. 10300
5. ประวัติการศึกษา
 

ปริญญา สาขา	ชื่อสถาบัน/ประเทศ
ปริญญาตรี สถาปัตยกรรม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังประเทศไทย
ปริญญาโท นวัตกรรม อาคาร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ประเทศไทย
6. ความเชี่ยวชาญในสาขาวิชา
  - 6.1 วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย

