



การใช้ประโยชน์จากเส้นใยผักตบชวาในผลิตภัณฑ์แผ่นใยอัดซีเมนต์ภายนอก  
อาคารสำหรับวิสาหกิจชุมชน

Utilization of Water Hyacinth Fiber in Outdoor  
Cement-bonded Fiberboard for Community Enterprises



ตฤณ ดิษฐล่ำภู  
กิตติพงษ์ สุวีโร

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณรายจ่าย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ 2561  
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

การใช้ประโยชน์จากเส้นใยผักตบชวาในผลิตภัณฑ์แผ่นใยอัดซีเมนต์ภายนอก  
อาคารสำหรับวิสาหกิจชุมชน



งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณรายจ่าย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ 2561  
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้เส้นใยต้นผักตบชวา เป็นแผ่นใยไม้อัดซีเมนต์ความหนาแน่นสูง โดยใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์: ทรายละเอียด: เส้นใยต้นผักตบชวา: น้ำ: สารเร่งการก่อตัวของปูนซีเมนต์ (อลูมิเนียมซัลเฟต ( $Al_2(SO_4)_3$ ), แคลเซียมคลอไรด์ ( $CaCl_2$ ), โซเดียมซิลิเกต ( $Na_2SiO_3$ )) เท่ากับ 1: 0.2: 0.075: 0.3: 0.03 โดยมีตะแกรงเหล็กเสริมภายในแผ่นซีเมนต์ ขึ้นรูปโดยการอัดส่วนผสมลงในแบบหล่อที่อุณหภูมิปกติ (30 - 35 องศาเซลเซียส) จากผลการทดสอบ พบว่า อัตราส่วน B4 เป็นอัตราส่วนเหมาะสมจากการทดสอบในงานวิจัยปีที่ 1 นำมาทำแผ่นซีเมนต์และตะแกรงเหล็กขนาด  $\varnothing 0.81\text{mm} \#0.5$  มีความเหมาะสมน้ำหนักเบาสามารถผ่านมาตรฐาน มอก.878-2537 เรื่องแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูง และมีสมบัติทางกายภาพสมบัติทางกล และความฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี โดยสารเร่งการก่อตัวของปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมที่สุด คือ แคลเซียมคลอไรด์ ( $CaCl_2$ )

**คำสำคัญ:** แผ่นใยไม้อัดซีเมนต์ เส้นใยต้นผักตบชวา, ฉนวนป้องกันความร้อน

## Abstract

This research aims to study the water hyacinth fiber inside high-density fiber cement board. By using ratio components among cement : fine sand : water hyacinth fiber : water : catalyst accelerated the formations of cement (aluminum sulfate ( $Al_2(SO_4)_3$ ), calcium chloride ( $CaCl_2$ ), sodium silicate ( $Na_2SiO_3$ )) on the ratio 1: 0.2: 0.075: 0.3: 0.03 by weight of total water hyacinth fiber with the steel grating inside. By compressing, the mixture cast machine at normal temperature (30 - 35 °C). From the test results, the ratio of B4 is the appropriate ratio from the 1<sup>st</sup> year research result to produce the high-density fiber cement board with the steel grating inside  $\varnothing 0.81\text{mm} \#0.5$ . It can pass the TIS 878-2537 standard of Cement Board and good based-on high density and physical properties, mechanical properties and thermal insulation. Accelerate the formation of the most suitable cement is calcium chloride ( $CaCl_2$ ).

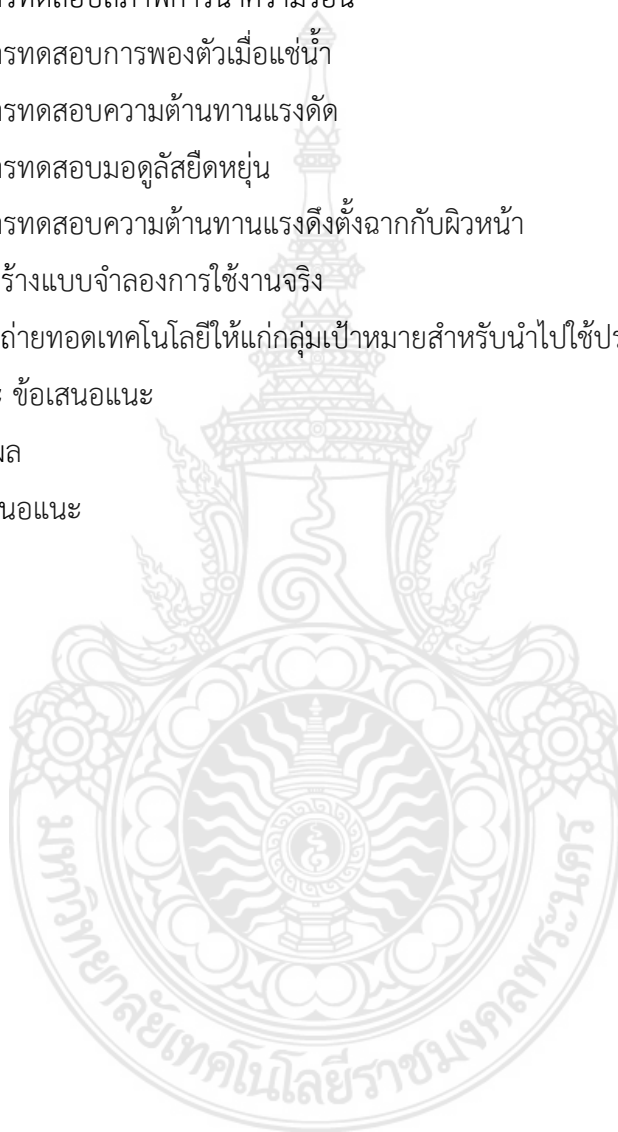
**Keywords:** Cement-bonded fiberboard, Water Hyacinth fiber, Thermal insulation

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
สารบัญ	ข
สารบัญรูป	ง
สารบัญตาราง	ฉ
กิตติกรรมประกาศ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 แผ่นซีเมนต์บอร์ด	5
2.2 ประเภทของแผ่นซีเมนต์บอร์ด	5
2.3 มาตรฐานแผ่นซีเมนต์บอร์ด	8
2.4 เส้นใยธรรมชาติ	9
2.5 ผักตบชวา	10
2.6 ปัญหาของผักตบชวา	13
2.7 เฟอร์โรซีเมนต์	14
2.8 กรอบแนวคิด	15
2.9 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง	16
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินงานวิจัย	22
3.2 การออกแบบอัตราส่วนผสม	27
3.3 การเตรียมเส้นใย	28
3.4 การขึ้นรูป	30
3.5 การทดสอบสมบัติ	32
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1 ผลการทดสอบลักษณะทั่วไป	36

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.2 ผลการทดสอบความหนาแน่น	38
4.3 ผลการทดสอบความชื้น	39
4.4 ผลการทดสอบสภาพการนำความร้อน	39
4.5 ผลการทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำ	40
4.6 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัด	41
4.7 ผลการทดสอบมอดูลัสยืดหยุ่น	42
4.8 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า	43
4.9 การสร้างแบบจำลองการใช้งานจริง	44
4.10 การถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่กลุ่มเป้าหมายสำหรับนำไปใช้ประโยชน์	45
บทที่ 5 สรุป และ ข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผล	46
5.2 ข้อเสนอแนะ	47
เอกสารอ้างอิง	48
ภาคผนวก	51



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	1
2.1	7
2.2	11
2.3	14
2.4	16
3.1	22
3.2	22
3.3	23
3.4	23
3.5	24
3.6	24
3.7	24
3.8	25
3.9	25
3.10	26
3.11	26
3.12	27
3.13	29
3.14	29
3.15	29
3.16	30
3.17	31
3.18	31
3.19	31
3.20	32
3.21	32
3.22	33

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.23 การแช่น้ำแผ่นใยอัดซีเมนต์จากเส้นใยต้นผักตบชวาและตะแกรงเหล็ก	33
3.24 การทดสอบความต้านทานแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นใยอัดซีเมนต์จากต้นผักตบชวาด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (UTM)	34
3.25 การทดสอบความต้านทานและมอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นใยอัดซีเมนต์จากต้นผักตบชวาด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (UTM)	34
3.26 การทดสอบติดตั้ง	35
3.27 การเทส่วนผสมในแบบทำแผ่นซีเมนต์ขนาด 60x120x1.5	35
4.1 การวัดความหนาของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาและตะแกรงเหล็ก	36
4.2 การวัดขนาดของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาและตะแกรงเหล็ก	36
4.3 แผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาขนาด 60x120x1.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร	37
4.4 ผลการทดสอบความหนาแน่นของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาและตะแกรงเหล็ก	38
4.5 ผลการทดสอบปริมาณความชื้นของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาตะแกรงเหล็ก	39
4.6 ผลการทดสอบสภาพนำความร้อนของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาตะแกรงเหล็ก	40
4.7 ผลการทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาตะแกรงเหล็ก	41
4.8 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดของแผ่นใยซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาตะแกรงเหล็ก	42
4.9 ผลการทดสอบมอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาตะแกรงเหล็ก	43
4.10 ผลการทดสอบแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาและตะแกรงเหล็ก	44

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณลักษณะที่ต้องการอื่นๆ ของแผ่นซีดีรอม (สมอ., 2537)	9
2	พื้นที่ปลูกพืชเส้นใยทางเกษตร ปี 2530/31 (ไร่)(สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2530)	10
3	แสดงองค์ประกอบทางเคมีของต้นฝักตบชวาแห้ง	12
4	อัตราส่วนของน้ำหนักของแผ่นใยอัดซีดีรอมจากฝักตบชวา	28
5	ผลการทดสอบลักษณะทั่วไปของแผ่นใยอัดซีดีรอมเส้นใยต้นฝักตบชวาและตะแกรงเหล็ก	37





## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วช. สถาบันวิจัยและพัฒนา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยและสถานที่ในการดำเนินงานไว้ ณ ที่นี้



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

การใช้ประโยชน์จากเส้นใยผักตบชวาในผลิตภัณฑ์แผ่นใยอัดซีเมนต์ภายนอกอาคารสำหรับวิสาหกิจชุมชนเป็นโครงการวิจัยที่ให้ความสำคัญในการใช้ผักตบชวา เป็นพืชน้ำที่สามารถขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว จนก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบนิเวศน์ ใน 1 เดือน ผักตบชวาเพียง 1 ต้น อาจขยายพันธุ์ได้มากถึง 1,000 ต้น แม่น้ำจะแห้งจนต้นตายแต่เมล็ดของมันก็ยังมีชีวิตต่อไปได้นานถึง 15 ปี และทันทีที่เมล็ดได้รับน้ำที่เพียงพอ มันก็จะแตกหน่อเป็นต้นใหม่ต่อไป (วิกิพีเดีย, 2557) กลายเป็นปัญหาทางน้ำเดินเรือลำบาก น้ำเน่าเสียทวีความรุนแรงจนเป็นปัญหาระดับประเทศ ทำให้รัฐบาลต้องเสียงบประมาณในการกำจัดผักตบชวาจำนวนมาก เนื่องจากมีผลกระทบต่อกระแสน้ำกลายเป็นปัญหาน้ำท่วมรัฐบาลของ พล.อ.ประยุทธ์ จันทร์โอชา ได้กล่าวในรายการเดินหน้าประเทศไทย ประจำวันที่ 23 กันยายน 2557 ให้ทหารช่าง ทุกทัพบกภาค ขุดลอกคลอง กำจัดผักตบชวา พัฒนาแหล่งน้ำ ใน 20 จังหวัด ตลอดจนจัดโครงการจ้างงานเกษตรกรในท้องที่ ให้มาช่วยกันขุดลอกคูคลอง โดยทุ่มงบกว่า 20,000 ล้านบาท เพื่อป้องกันปัญหาน้ำท่วม



รูปที่ 1.1 ผักตบชวาที่ลอยเต็มตลิ่ง

แม้หน่วยงานและองค์กรต่าง ๆ ได้เข้ามาช่วยเหลือในการกำจัด เช่น นำไปผลิตเป็นของใช้ อาหารสัตว์ และทำปุ๋ย แต่ก็ยังมี การขยายพันธุ์อยู่อย่าง มาก และไม่มีแนวโน้มว่าจะลดลง การนำผักตบชวาไปใช้ประโยชน์ จึงเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดในการกำจัดและสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับพืชน้ำชนิดนี้ เส้นใย

ผักตบชวา เป็นเส้นใยที่มีลักษณะเช่นเดียวกับเส้นใยธรรมชาติ โดยมีส่วนประกอบของเส้นใยเซลลูโลส (Cellulose fibers) เป็นวัสดุหลัก เป็นโมเลกุลสายยาวซ้ำ ยึดเกาะด้วยพันธะ C-O-C ในหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จับกับหมู่ธาตุอื่นๆ เรียงตัวเป็นระเบียบ (Crystalline) และระหว่างสายโมเลกุลมีการยึดด้วยพันธะไฮโดรเจน เป็นระยะๆ มีความเหนียว แข็งแรง และน้ำหนักเบา (บวร และคณะ, 2555)

แผ่นใยไม้อัดซีเมนต์ (cement-bonded fiber board) เป็นผลิตภัณฑ์ไม้อัดซีเมนต์เช่นเดียวกับแผ่นซีเมนต์ไม้อัดซีเมนต์ แต่มีการใช้เส้นใยทดแทนซีเมนต์ กระบวนการผลิตเริ่มจากการนำเส้นใยมาบดย่อยและผสมกับปูนซีเมนต์ ผสมน้ำยาเคมี แล้วอัดด้วยแรงกดสูง ให้แรงกดค้างไว้เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง (บริษัท วิบูลย์วัฒนอุตสาหกรรม จำกัด, 2553) มีสมบัติพิเศษจากการรวมกันของไม้และซีเมนต์ คือเป็นแผ่นไม้อัดที่มีความทนน้ำ ทนไฟ ทนปลวกและแมลง สามารถตกแต่งได้ เช่น การตัด การเจาะ ได้เช่นเดียวกับไม้ โดยไม่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษ การฉาบผิวของผลิตภัณฑ์ไม้อัดซีเมนต์ทำได้โดยวิธีธรรมดา เช่น การลงแล็กเกอร์ การฉาบผิวด้วยสี หรือน้ำมันต่างๆ การปะหน้าด้วยพีวีซี หรือแผ่นไม้บางวีเนียร์ เป็นต้น อีกทั้งยังสามารถใช้เครื่องมือธรรมดาตกแต่งได้ จึงสามารถนำไปใช้ทำบังใบ มนขอบทำลิ้นใต้ (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2544) แผ่นใยไม้อัดซีเมนต์จึงเป็นที่ต้องการของชุมชน เพราะสามารถใช้ก่อสร้างเป็นผนังภายนอกอาคารได้ และมีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับกับการก่ออิฐฉาบปูนทั่วไป

การใช้ประโยชน์จากเส้นใยผักตบชวาในผลิตภัณฑ์แผ่นใยไม้อัดซีเมนต์ภายนอกอาคารสำหรับวิสาหกิจชุมชน เป็นการนำเส้นใยผักตบชวาที่เป็นปัญหาในแม่น้ำลำคลองอย่างมาก มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างที่ได้รับความนิยมมากที่สุดชนิดหนึ่ง จากปริมาณของผักตบชวา ความต้องการแผ่นใยไม้อัดซีเมนต์ และลักษณะที่เหมาะสมของเส้นใยผักตบชวา ทำให้มั่นใจได้ว่า แผ่นใยไม้อัดซีเมนต์จากเส้นใยผักตบชวา สามารถผลิต จำหน่าย และใช้งานเป็นผลิตภัณฑ์ของวิสาหกิจชุมชนได้อย่างดี แผ่นใยไม้อัดซีเมนต์จากเส้นใยผักตบชวา มีความทนทานแตกต่างจากแผ่นไม้อัดทั่วไป ทนแดด ทนน้ำ ต้นทุนต่ำ ใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย กระบวนการผลิตแผ่นใยไม้อัดซีเมนต์จากเส้นใยผักตบชวา สามารถใช้เครื่องจักรขนาดเล็กเพียง 1 เครื่อง และไม่ต้องค้ำน้ำหนักไว้ แตกต่างกับกระบวนการผลิตแผ่นใยไม้อัดซีเมนต์หรือแผ่นซีเมนต์ไม้อัดซีเมนต์ทั่วไป ที่ยุ่งยากและลงทุนสูงมาก หากมีถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตแผ่นใยไม้อัดซีเมนต์นี้ จะมีผลทำให้ชุมชนลดการเผาทำลายเส้นใยผักตบชวา มาเป็นการสร้างงาน สร้างรายได้ และเพิ่มมูลค่าให้กับวัชพืชน้ำชนิดนี้ ได้อย่างเป็นรูปธรรม

ผักตบชวาเป็นวัชพืชรุกรานที่หาง่ายและมีอยู่ทั่วไปตามแม่น้ำลำคลองและสามารถขยายพันธุ์ได้ง่ายจนมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและกลายเป็นวัชพืชเกิดเป็นอุปสรรคกีดขวางการระบายน้ำตามแม่น้ำลำคลองจนปัจจุบันมีผู้สังเกตเห็นประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่นการทำเครื่องจักรสาน เพอร์นิเจอร์ ตลอดจนการนำมาเป็นส่วนผสมใยผักตบชวากับซีเมนต์จากสถานการณ์ปัจจุบันในด้านภาวะโลกร้อน(ขวัญชัย, 2549; โชติชัย, 2550; ประชาชาติธุรกิจ, 2550; สยามรัฐสัปดาห์วิจารณ์, 2550) การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและป่าไม้ คุณสมบัติและความต้องการของผลิตภัณฑ์แผ่นใยไม้อัดซีเมนต์ ปัญหาวัตถุดิบอุตสาหกรรมไม้อัด

ไม้ประกอบ คุณสมบัติเส้นใยธรรมชาติของ กากมะพร้าว เส้นใยจากต้นข้าวโพด เส้นใยผักตบ มีอยู่มากมาย ในท้องถิ่น มาประยุกต์ใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุก่อสร้างคือ วัสดุประกอบทดแทนไม้ในแผ่นใยไม้อัดซีเมนต์ที่เป็นการพัฒนาความรื้อนที่อาศัยเส้นใยจากพืชที่หาได้จากธรรมชาติ จึงนับเป็นแนวความคิดที่มีประโยชน์ และบูรณาการการใช้วัสดุที่มีเหลือใช้จากการเกษตรจำนวนมากในท้องถิ่นเพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ป่าไม้ พลังงาน เพื่อเพิ่มการมูลค่า ช่วยลดปัญหาการขาดดุลการค้า เพื่อการส่งเสริมให้ชุมชนและบริษัทฯ ขนาดเล็กได้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์วัสดุประกอบทดแทนไม้ในแผ่นใยไม้อัดซีเมนต์ให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จริง ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยที่อนุรักษ์พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและราคาถูก ทั้งยังเป็นการสร้างงานและเพิ่มรายได้ให้กับท้องถิ่นได้เป็นอย่างดีอีกด้วย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาผลิตภัณฑ์แผ่นใยไม้อัดซีเมนต์โดยใช้ เส้นใยจากผักตบชวา เป็นวัสดุผสมเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อน
- 2) เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้วัสดุผสม สำหรับทำแผ่นใยไม้อัดซีเมนต์ ที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทรายละเอียด เส้นใยผักตบชวา

## 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1) ใช้เส้นใยผักตบชวา (แบ่งเป็นส่วนใบ และส่วนก้าน) เป็นเส้นใยในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แผ่นใยอัดซีเมนต์ จากคลองชลประทานในเขตพื้นที่ภาคกลาง และกรุงเทพมหานคร
  - 2) ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท1 เป็นสารเชื่อมประสานในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แผ่นใยอัดซีเมนต์
  - 3) ใช้ทรายละเอียด เป็นมวลรวมในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แผ่นใยอัดซีเมนต์
  - 4) ใช้สารละลายอลูมิเนียมซัลเฟต ( $Al_2(SO_4)_3$ ), แคลเซียมคลอไรด์ ( $CaCl_2$ ) และโซเดียมซิลิเกต ( $Na_2SiO_3$ ) ในปริมาณไม่เกิน 500 ppm หรือ 0.5 กรัมต่อลิตร เป็นสารเร่งการก่อตัวในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แผ่นใยอัดซีเมนต์
  - 5) ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นสารปรับปรุงเส้นใยผักตบชวา
  - 6) ใช้เครื่องอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ขนาด 30 x 30 x 1.5 เซนติเมตร และ 60 x 60 x 1.5 เซนติเมตร ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แผ่นใยอัดซีเมนต์ สำหรับการทดสอบสมบัติต่างๆ โดยไม่ต้องให้น้ำหนักค้างไว้ (แผ่นใยไม้อัดซีเมนต์ทั่วไปต้องให้น้ำหนักค้างไว้ ไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง ซึ่งไม่สะดวกต่อการผลิตในรูปแบบวิสาหกิจชุมชน)
  - 7) ใช้แบบหล่อขนาด 60 x 120 x 1.5 เซนติเมตร พร้อมชุดอุปกรณ์ให้แรงอัด ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แผ่นใยอัดซีเมนต์ สำหรับทดสอบใช้งานจริง
- 7.1 ใช้ตะแกรงเหล็ก ขนาดและความถี่ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แผ่นใยอัดซีเมนต์ชนิดความต้านทานแรงดัดสูง (ปีที่ 2)

## 7.2 ปีที่ 2 แผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยผักตบชวาชนิดความแข็งแรงสูง

- 1) ชนิดและขนาดของเหล็กตะแกรงที่เหมาะสมสำหรับเสริมความแข็งแรงให้กับแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยผักตบชวาจากผลการวิจัยในปีที่ 1
- 2) ตำแหน่งการเสริมเหล็กตะแกรงที่เหมาะสมของแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยผักตบชวาจากผลการวิจัยในปีที่ 1
- 3) ผลทดสอบการใช้งานจริงของแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยผักตบชวา ชนิดความแข็งแรงสูง และชนิดทั่วไป (จากผลการวิจัยในปีที่ 1) ปฏิบัติการคงรูปของแผ่นไม้อัดซีเมนต์และช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกล

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับเส้นใยผักตบชวาตามแม่น้ำลำคลอง
- 2) สามารถกำจัดผักตบชวาตามแม่น้ำลำคลอง
- 3) ทราบความเหมาะสมในการที่จะนำ เส้นใยจากผักตบชวามาใช้ในการป้องกันความร้อนในแผ่นใยไม้อัดซีเมนต์และสามารถนำไปเป็นองค์ความรู้ที่ได้ไปใช้เป็นวัสดุประกอบในงานวัสดุก่อสร้างได้
- 4) สามารถให้ความรู้ในการใช้ เส้นใยผักตบชวาเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนในแผ่นใยไม้อัดซีเมนต์กับภาคธุรกิจ และชุมชน ภายในพื้นที่เป้าหมาย
- 5) ได้วัสดุก่อสร้างชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อนที่ดีและมีราคาถูก
- 6) เขียนบทความเผยแพร่ในวารสารวิชาการที่เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางในสาขาวิชา ทั้งในประเทศและต่างประเทศ
- 7) เข้าร่วมบรรยายในงานประชุมสัมมนาของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
- 8) สามารถสร้างความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และองค์กรการปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) ในการบูรณาการงานวิจัยร่วมกันตามยุทธศาสตร์ของประเทศ

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โครงการวิจัยการใช้ประโยชน์จากเส้นใยผักตบชวาในผลิตภัณฑ์แผ่นใยอัดซีเมนต์เพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนในแผ่นใยอัดซีเมนต์ สามารถใช้งานจริงในการผลิตแผ่นใยอัดซีเมนต์ได้อย่างปลอดภัยและเหมาะสม โดยมีรายละเอียดทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดในด้านการอนุรักษ์พลังงาน คุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกล ความแข็งแรง มาตรฐานของวัสดุและผลิตภัณฑ์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

#### 2.1 แผ่นซีเมนต์บอร์ด

แผ่นผนังเทียมที่มีส่วนผสมจากเศษและปูนซีเมนต์ หรือที่เรียกว่า แผ่นซีเมนต์อัดซีเมนต์ หรือ แผ่นซีเมนต์บอร์ด และแผ่นอัดซีเมนต์ (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2544)ถือกำเนิดมาจากแนวความคิดที่จะใช้ประโยชน์จากเศษที่เหลือจากอุตสาหกรรมอัดและการตัดซุงจากป่าออกมาใช้ประโยชน์จะมีเศษ ปลายเหลือไว้ในป่าอย่างน้อยครึ่งหนึ่งของปริมาณที่ตัดออกมา และเมื่อนำซุงมาแปรรูปในโรงเลื่อยก็จะเหลือปริมาณแปรรูปประมาณ ร้อยละ 50 ของซุงที่เข้าแปรรูป จึงได้คิดวิธีที่นำเศษจำนวนมากเหล่านี้มาเป็นวัตถุดิบ โดยงานวิจัยแผ่นอัดสารแร่ กลุ่มวิจัยพัฒนาอุตสาหกรรมได้ค้นคว้าวิจัยเพื่อหาแนวทางในการนำเศษและโตเร็ว โดยเฉพาะยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า “แผ่นวัสดุที่ทำจาก Wood Base Panel” ซึ่งได้แก่ อัด(Plywood) แผ่นอัด (Particle Bord) แผ่นซีเมนต์(Fiber Board) บล็อกบอร์ด(Block Board) และผลิตภัณฑ์อัดสารแร่(Mineral Bonded Panel Products) ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ออกได้วัตถุดิบและสารเชื่อม ประเภทที่ได้จากสารแร่ (Inorganic Binder) หลายชนิดด้วยกัน เช่น แผ่นอัดยิปซัม เป็นต้น สำหรับผลิตภัณฑ์อัดซีเมนต์นั้น มีคุณสมบัติพิเศษร่วมกันทั้งของและซีเมนต์กล่าวคือ ทนน้ำทนไฟ ทนปลวกและแมลง สามารถตกแต่งได้เช่น การตัด การเจาะ ได้เช่นเดียวกับ โดยต้องใช้เครื่องมือพิเศษ การฉาบผิวของผลิตภัณฑ์อัดซีเมนต์กระทำโดยวิธีธรรมดา เช่น การลงแล็กเกอร์ การฉาบผิวด้วยสี หรือน้ำมันต่างๆ การปะหน้าด้วยพีวีซี หรือแผ่นบางวีเนียร์ เป็นต้น อีกทั้งยังสามารถใช้เครื่องมือธรรมดาตกแต่งได้ จึงสามารถนำไปใช้ทำบังใบมณฑลทำลื่นได้ นอกจากนี้ บริษัท Bison Werke จำกัด ในสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมันได้พัฒนาวิธีที่เรียกว่า “การพับ” (Folding) โดยใช้ใบมีดของเครื่องจักรเซาะผลิตภัณฑ์อัดซีเมนต์เป็นร่อง ให้ตัวร่องเป็นมุมฉากแล้วหักพับเป็นมุมเหลี่ยมต่างๆ ได้ เช่นในลักษณะตัว L,ตัว C,ตัว U,และตัว T เป็นต้น โดยการใช้กาวอีพ็อกซีให้แน่นซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างได้กว้างมากขึ้น(กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2539)

#### 2.2 ประเภทของแผ่นซีเมนต์บอร์ด

ประเทศต่างๆ ได้ให้ความสนใจกับผลิตภัณฑ์อัดซีเมนต์กันอย่างมากโดยผลิตภัณฑ์นี้เข้ามามีบทบาทอย่างสำคัญในการก่อสร้างบ้านสำเร็จรูปและใช้เป็นส่วนประกอบของบ้านเรือน ซึ่งทำให้ต้นทุน

ทางด้านวัสดุก่อสร้างถูกลงอย่างมาก อุตสาหกรรมสำหรับผลิตภัณฑ์อัดซีเมนต์ แบ่งได้เป็น 3 ชนิด (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2544) คือ

1) อุตสาหกรรมแผ่นเส้นอัดซีเมนต์ หรือมีชื่อเรียกกันในวงการป่าว่า Wood-Wood Board หรือว่า Wood-Wood Cement Slabs ซึ่งเขียนเป็นตัวย่อว่า W.W.S. และมีชื่อเรียกตามมาตรฐาน มอก.442-2525 ว่า “แผ่นฝอยอัดซีเมนต์ชนิดใช้งานทั่วไป”(สมอ.,2525)อุตสาหกรรมประเภทนี้เกิดขึ้นในประเทศไทยมารวม 26 ปีเศษแล้ว โดยมีวิธีการผลิตจากการนำท่อน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นท่อนซุงที่มีลักษณะดีงาม และกลมหาท่อนเป็นท่อนสั้นๆ ประมาณ 40-50 ซม. ฝาท่อนนั้นเป็น 2 ซีก แล้วซูดซีกของท่อนซุงด้วยเครื่องทำฝอย (Wood-Wood Machine) ฝอยที่ซูดออกมาจะเป็นลักษณะซี่กับบางๆ ความกว้างประมาณ 4-5 มิลลิเมตร ความหนาประมาณ 0.2-1 มิลลิเมตร ความยาวประมาณ 50 มิลลิเมตร ต่อจากนั้นนำไปผสมกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ วัตถุประสงค์บางอย่างจะนำไปเข้าแบบอัดเป็นแผ่น มีความหนาตั้งแต่ 0.5 นิ้วถึง 4 นิ้ว ส่วนความกว้าง ความยาวของแผ่นเส้นฝอยอัดซีเมนต์นั้น โดยมากใช้ขนาดมาตรฐาน 1x2 เมตร นำไปฝังให้ซีเมนต์แห้งจะมีความยืดหดตัวน้อย สามารถกันเสียง และเป็นฉนวนกันความร้อนความหนาวได้ดีเหมาะสำหรับทำฝ้าเพดาน และฝ้ากันห้อง คุณสมบัติพิเศษคือสามารถฉาบปูนได้เนื่องจากมีผิวที่มีความหยาบสามารถยึดเกาะปูนฉาบได้ดี จึงสามารถนำไปทำฝ้าห้องได้ทั้งภายนอกและภายในอาคาร แต่สิ่งที่ควรระวังคือที่นำมาซูดทำเส้น(Wood-Wood) จะต้องมีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะยึดเกาะซีเมนต์ได้ โดยที่เหล่านี้นั้นจะต้องไม่มีปริมาณสารแทรกเช่น น้ำตาล ไขมัน น้ำมัน (Resin) เป็นต้น เพราะสารเหล่านี้จะเป็นตัวการขัดขวางปฏิกิริยาแข็งตัวของซีเมนต์ ที่เหมาะจะนำมาเป็นวัตถุดิบได้แก่ ก่อ มะพร้าว อินทนิล สน และยูคาลิปตัส ฯลฯ สำหรับในต่างประเทศในแถบทวีปยุโรปสามารถนำเนื้ออ่อนชนิดต่างๆ มาผลิตแผ่นฝอยอัดซีเมนต์ โดยใช้ยายาเคมีช่วย อย่างไรก็ตามแผ่นเส้นอัดซีเมนต์ในประเทศไทยยังไม่ก้าวหน้าเท่าที่ควร เนื่องจากต้นทุนการดำเนินงานยังสูง วัตถุดิบหลักคือซีเมนต์และ ต้องเลือกชนิดยึดเกาะกับซีเมนต์ และเลือกท่อนโตตรง เพื่อจะซูดได้ฝอยเส้นยาว ทำให้วัตถุดิบมีราคาสูง ซึ่งผู้ประกอบการสามารถแก้ไขปัญหาได้โดยปลูกสร้างสวนป่าเอง เพื่อจะมีชนิดที่ต้องการมาป้อนเป็นวัตถุดิบอย่างสม่ำเสมอและร่วมทุนกับบริษัทที่ผลิตปูนซีเมนต์ปัจจุบันนี้เป็นที่นิยมใช้กันมากในประเทศออสเตรเลียและสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน (บริษัท วิบูลย์พัฒนาอุตสาหกรรม จำกัด, 2553)องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติได้ทำการสำรวจพบว่า ในปี 21 ทัวโลกมีปริมาณการผลิตแผ่นเส้นอัดซีเมนต์ราว 7.6 ล้านลูกบาศก์เมตร และคาดคะเนต่อไปว่าอัตราการใช้แผ่นเส้นอัดซีเมนต์ของโลกจะเติบโตสูงขึ้นถึง 15.0 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยที่แผ่นเส้นอัดซีเมนต์จะเป็นที่นิยมนำมาใช้ทำองค์ประกอบอาคารทั่วไปและอาคารสำเร็จรูปมากขึ้นในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนา การคาดคะเนนี้อาศัยพื้นฐานจากการคาดการณ์ว่าบรรดาบ้านราคาถูกละสำหรับผู้มีรายได้น้อยทั่วโลกจะเพิ่มขึ้นราวปีละ 1 ล้านหลังทุกปี และบ้านเหล่านี้จะหันมาใช้แผ่นเส้นอัดซีเมนต์กันมากขึ้น เพราะมีราคาถูกและยังมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการคือ ทนไฟ ทนปลวก เชื้อรา สามารถฉาบตกแต่งได้ และมีความทนทานสูงอีกด้วย โดยส่วนประกอบของแผ่นเส้นอัดซีเมนต์ใน 1 ลูกบาศก์เมตรประกอบด้วยเส้น 120-140 กิโลกรัม ซีเมนต์ 240-250 กิโลกรัม น้ำ 120-140 ลิตร และเกลือ 3-35 กิโลกรัม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นเส้นอัดซีเมนต์ที่ใช้จะต้องเป็นซีเมนต์ชนิดปอร์ต

แลนด์ 350 หรือ 450 ทั้งนี้ควรใช้น้ำสะอาดและเกลือจะเป็นตัวเร่งให้แผ่นเส้นอัดซีเมนต์แห้งเร็วขึ้นปกติแผ่นฝอยอัดซีเมนต์แผ่นหนึ่งจะมีขนาดมาตรฐานตามที่ระบุไว้ใน มอก. 422-2530 เรื่องสั๊กแปรรูป (สมอ.,2530)



รูปที่ 2.1 แผ่นซีเมนต์บอร์ด

2) อุตสาหกรรมแผ่นขึ้นอัดซีเมนต์ (Cement-Bonded Particle-Boards) ขึ้นสับ (Wood Chip) ที่ใช้เป็นวัตถุดิบ สำหรับอุตสาหกรรมนี้เป็นวัตถุดิบเช่นเดียวกับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแผ่นปาร์ติเคิลบอร์ด โดยทั่วไป คุณสมบัติของที่ใช้คือจะต้องเป็นสับที่บางและยาว ซึ่งจะทำให้แผ่นผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีขึ้น ขนาดของแผ่นขึ้นอัดซีเมนต์ โดยทั่วไปมี 2 ขนาดคือ 1,250x2,240 มม. และขนาด 1,250x2,800 มม. ส่วนความหนาแน่นมีตั้งแต่ 8-40 มม.(Density) สูงสุด 1,250 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ถ้าส่วนผสมระหว่างขึ้นสับกับซีเมนต์เป็นอัตราส่วน 1:2:75 โดยน้ำหนัก การจะลดความหนาแน่นให้ต่ำลงสามารถทำได้ด้วยการลดอัตราส่วนผสมของซีเมนต์ลง แต่จะทำให้อัตราการทนไฟต่ำลงและทำให้การพองตัวเมื่อถูกน้ำเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามแผ่นขึ้นสับอัดซีเมนต์ที่ลดความหนาแน่นโดยวิธีลดอัตราส่วนผสมของซีเมนต์นั้นอาจนำไปใช้ทำผนังกันห้องทำเพดานและทำส่วนประกอบของสิ่งก่อสร้างที่ต้องการความทนไฟสูง และมีมาตรฐาน มอก. 878-2537 เรื่องแผ่นขึ้นอัดซีเมนต์ความหนาแน่นสูง (สมอ.,2537)

3) อุตสาหกรรมแผ่นใยอัดซีเมนต์ (Cement-Bonded Fiber Board) อุตสาหกรรมประเภทนี้เป็นเรื่องที่น่าสนใจจะศึกษาค้นคว้าผลผลิตออกมาเป็นรูปแบบอุตสาหกรรม เพราะมีกรรมวิธีการผลิต เช่นเดียวกับแผ่นขึ้นอัดซีเมนต์ มีข้อแตกต่างเพียงใช้เส้นใยจากแทนที่จะเป็นขึ้น การผลิตควรจะสร้างเป็นโรงงานผนวกกับโรงงานอัดแผ่นใย (Fiber-Board) เนื่องจากอุตสาหกรรมวัตถุดิบสำคัญของอุตสาหกรรมนี้ คือเส้นใย ซึ่งโรงงานไฟเบอร์บอร์ดต้องผลิตอยู่แล้ว ในอนาคตเส้นใยที่ได้จากยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิล และพืชการเกษตรจะมีความสำคัญมากดังเช่น ปาล์มน้ำมันอาจเป็นสิ่งทดแทนเส้นใยที่ได้จากแร่ใยหิน (Asbestos) เพราะได้มีกฎหมายห้ามใช้ในผลิตภัณฑ์ก่อสร้างเนื่องจากมลพิษในสภาพแวดล้อม และอุตสาหกรรมนี้ยัง



ไม่มีผลผลิตออกมาเป็นสินค้าจึงเป็นเรื่องที่น่าศึกษาทดลอง ตลอดจนถึงการศึกษาการผลิตอิฐบล็อกด้วยไฟเบอร์ผสมซีเมนต์และขึ้นสับผสมซีเมนต์ด้วย

## 2.3 มาตรฐานแผ่นขึ้นอัดซีเมนต์

แผ่นขึ้นอัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูง มีการควบคุมด้วยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.878-2537 (สมอ., 2537) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

### 1) ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐาน

1.1) แผ่นขึ้นอัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูง หรือแผ่นขึ้นอัดซีเมนต์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นแผ่น ทำจากขึ้นและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 1,100 ถึง 1,300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

1.2) ขึ้น หมายถึง ขึ้นหรือส่วนของเนื้อหรือวัสดุลิกโนเซลลูโลส (lingo-cellulosic material) อื่นๆ ที่ถูกย่อยด้วยเครื่องจักร ขึ้นอาจมีลักษณะต่างๆ อย่างไม่อย่างหนึ่ง ดังนี้

- เกล็ด (flake) หมายถึง ขึ้นบางๆ มีทิศทางของเส้นขนานกับผิว ได้จากการใช้ใบมีดตัดขนานกับแนวของเส้น แต่ทำมุมกับแนวแกนของเส้นใย

- เกล็ดใหญ่ (wafer) หมายถึง ขึ้นที่มีลักษณะเช่นเดียวกับเกล็ด แต่มีความกว้างและความหนามากกว่า

- แถบ (strand) หมายถึง ขึ้นที่มีลักษณะเช่นเดียวกับเกล็ด แต่มีความยาวมากเมื่อเทียบกับความกว้าง และมีความหนาสม่ำเสมอตลอดความยาวของแถบ

- ชีบกบ (planer shaving) หมายถึง ขึ้นที่มีรูปร่างเป็นแผ่นขนาดเล็ก มีความหนาไม่เท่ากัน คือ หนาที่ปลายด้านหนึ่ง ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะบาง มีลักษณะเป็นแฉกขนนก และมักโค้งงอด้วย ซึ่งได้จากการไสด้วยเครื่องไสชนิดหัวตัดหมุน (rotary cutterhead)

- แท่ง (splinter or sliver) หมายถึง ขึ้นที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมเมื่อมองทางหน้าตัด และมีความยาวตามแนวเส้นไม่น้อยกว่า 4 เท่าของความหนา

- เม็ด (granule) หมายถึง ขึ้นที่มีลักษณะคล้ายขี้เลื่อย ซึ่งมีความกว้าง ความยาว และความหนาเกือบเท่ากัน

- ลักษณะอื่นๆ ซึ่งเหมาะสำหรับทำแผ่นขึ้นอัดซีเมนต์

1.3) วัสดุลิกโนเซลลูโลส หมายถึง วัสดุที่มีเซลลูโลสและลิกนินเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น และพืชต่างๆ ได้แก่ ชานอ้อย ป่าน ปอ เป็นต้น

### 2) ส่วนประกอบและการทำ

#### 2.1) ส่วนประกอบ

- ขึ้นปูนซีเมนต์ ควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 1 ข้อกำหนดคุณภาพ มาตรฐานเลขที่ มอก.15 เล่ม1

2.2) การทำ ใช้เครื่องจักรย่อยออกเป็นชิ้น แยกชิ้นให้ได้ขนาดตามต้องการ นำไปผสมกับปูนซีเมนต์ แล้วนำไปโรยและอัดเป็นแผ่นโดยทิ้งไว้ให้ปูนซีเมนต์ก่อตัวแล้วจึงถอดแบบออก ทารใส่สารผสมเพิ่มเติมไม่ทำให้ความแข็งแรงหรือความคงทนของแผ่นขึ้นอัดซีเมนต์เสียไป

3) คุณลักษณะที่ต้องการ

3.1) ลักษณะทั่วไป

แผ่นขึ้นอัดซีเมนต์ต้องมีความหนา ความแน่น และความเรียบสม่ำเสมอทั้งหมดทั้งแผ่น ขอบจะต้องตั้งได้ฉากกับระนาบผิว

3.2) ความหนาแน่น

ความหนาแน่นเฉลี่ยต้องอยู่ในช่วง 1,100 ถึง 1,300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

3.3) ความชื้น

ความชื้นเฉลี่ยต้องอยู่ในช่วงร้อยละ 9 ถึงร้อยละ 15

3.4) สภาพนำความร้อน

ต้องมีค่าเฉลี่ยไม่เกิน 0.155 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน (ทดสอบตาม BS 874)

3.5) คุณลักษณะที่ต้องการอื่นๆ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะที่ต้องการอื่นๆ ของแผ่นขึ้นอัดซีเมนต์ (สมอ., 2537)

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด
1	การพองตัวเมื่อแช่น้ำ	ไม่เกิน ร้อยละ 2
2	ความต้านทานแรงดัด	ไม่น้อยกว่า 9 เมกะพาสคัล
3	มอดุลัสยืดหยุ่น	ไม่น้อยกว่า 3,000 เมกะพาสคัล
4	ความต้านทานแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้า	ไม่น้อยกว่า 0.5 เมกะพาสคัล

## 2.4 เส้นใยธรรมชาติ

เส้นใยธรรมชาติแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ เส้นใยจากพืชหรือเส้นใยเซลลูโลส เส้นใยจากสัตว์หรือเส้นใยโปรตีน เส้นใยแร่ โลหะ เส้นใยเซลลูโลสเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งเกิดจากเซลลูโลสยึดเกาะกันด้วยพันธะเคมีเป็นโมเลกุลใหญ่มีสูตรเป็น  $(C_6H_{10}O_5)_x$  โครงสร้างและการยึดเกาะของโมเลกุลแสดงในภาพประกอบ โครงสร้างเคมีของเซลลูโลสมีความสำคัญต่อคุณสมบัติของเส้นใย กล่าวคือในโมเลกุลเซลลูโลสจะเกิดจากหน่วยโมเลกุลซ้ำ (Repeat units) ยึดจับกันเป็นสายยาว หน่วยโมเลกุลซ้ำ คือ เซลโลไบโอส (Cellobiose) เกิดจากบีต้า กลูโคส 2 โมเลกุลยึดเกาะกันด้วยพันธะ C-O-C ในโมเลกุลเซลลูโลสจะ

มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) อยู่มากมายจะทำหน้าที่ดึงดูดน้ำ หรือเกิดปฏิกิริยาจับกับหมู่ธาตุอื่นๆ การจัดเรียงตัวของโมเลกุลเซลลูโลสมีความเป็นระเบียบ (Crystalline) ค่อนข้างมากคือ 85 – 95 % และระหว่างสายโมเลกุลจะมีการยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) เป็นระยะๆ ซึ่งมีผลทำให้เส้นใยเซลลูโลสมีความเหนียวแข็งแรงค่อนข้างสูง จากข้อมูลคุณสมบัติทางโครงสร้างโมเลกุลของเส้นใยธรรมชาติจะเห็นว่าสามารถนำมาเป็นส่วนประกอบของคอนกรีตได้ ดังนั้นแนวความคิดในการนำเส้นใยธรรมชาติมาผสมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจึงมีความเป็นไปได้อย่างยิ่ง และสมควรนำมาทำการศึกษาวิจัยอย่างเป็นจริงจัง เพื่อที่จะได้มีวัสดุก่อสร้างชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีและมีราคาถูกกว่าวัสดุฉนวนชนิดอื่นที่มีจำหน่ายในท้องตลาดต่อไป(สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2530)

ตารางที่ 2 พื้นที่ปลูกพืชเส้นใยทางเกษตร ปี 2530/31 (ไร่) (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2530)

ชนิด	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	ภาคเหนือ	ภาคกลาง	ภาคใต้	รวม**
ข้าวนาปี	25,950,364	12,590,919	11,752,901	3,615,859	53,910,043
ข้าวนาปี้ง	361,559	854,327	3,136,422	211,682	4,583,990
ข้าวฟ่าง	39,438	533,752	532,114	-	1,105,304
มันสำปะหลัง	5,926,308	720,463	3,232,588	-	9,879,69
อ้อย	532,091	613,231	2,518,327	-	3,663,649
ปอแก้ว	960,787	-	44,668	-	1,005,455
ฝ้าย	41,164	227,689	143,414	-	412,26
ถั่วลิสง	201,877	425,186	102,063	33,493	762,619
ถั่วเหลือง	323,840	1,693,467	243,084	-	2,260,391
ถั่วเขียว	223,317	2,318,959	325,667	31,980	2,899,923
ปาล์มน้ำมัน	*	*	*	*	615,000
มะพร้าว	*	*	*	*	2,545,000
ละหุ่ง	*	*	*	*	263,400
สับปะรด	*	*	*	*	395,000

หมายเหตุ \* = ไม่มีข้อมูล \*\* = พื้นที่เก็บเกี่ยว

## 2.5 ผักตบชวา

ผักตบชวามีชื่อสามัญว่า Water Hyacinth เป็นพืชที่เจริญอยู่บนน้ำ จัดเป็นประเภทลอยน้ำ (floating) โดยปกติรากจะไม่ยึดกับพื้นดินจึงถูกกระแสน้ำหรือน้ำพัดพาได้ไกล ๆ แต่ถ้าน้ำตื้นแล้วรากจะหยั่งยึดติดกับพื้นดินได้ ลักษณะทรงต้น ประกอบด้วยกลุ่มใบเรียงกันเป็นกระจุกในต้นหนึ่งๆ จะมีใบตั้งแต่

สองใบขึ้นไป ที่โคนก้านใบจะมีกาบใบ (sheath) ลักษณะเป็นเยื่อบาง ๆ สีขาวแกมเขียวอ่อนๆ แต่เมื่อมีอายุมากขึ้นก็จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลบริเวณของกาบใบเป็นสีน้ำตาลแกมเขียวอ่อนๆ แต่เมื่อมีอายุมากขึ้นก็จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลบริเวณของกาบใบเป็นสีน้ำตาลแกมม่วงจะเชื่อมติดต่อกันโดยมีน้ำไหล (stolon) ซึ่งเป็นลำต้นที่ทอดไปตามผิวน้ำช่วยในการขยายตัวของผักตบชวาให้เพิ่มขึ้นต้นหนึ่งๆ ของผักตบชวาจะมีไหลแตกออกไปได้หลายอัน เมื่อไหลแตกออกไปแล้ว ก็จะเจริญขึ้นเป็นต้นใหม่แต่ยังติดกับต้นเดิมอยู่และเกิดกอขึ้นพร้อมทั้งมีรากเกิดขึ้น รากและผักตบชวาเป็นแบบรากฝอย (fibrous root) คือมีรากย่อย ๆ เป็นกระจุก รากที่แทงออก จะมีลักษณะอวบ สีขาว เมื่อมีอายุมากขึ้นจึงจะมีรากขนอ่อน (root hair) ที่มีน้ำตาลอ่อนและเมื่อแก่ รากขนอ่อนนี้จะเป็นสีน้ำตาลแก่จนถึงสีดำ ความยาวของรากจะแตกต่างกันไป บางเส้นก็ยาวเกือบถึงหนึ่งเมตร (60-90 ซม.)<sup>2</sup>

ผักตบชวา เป็นพืชน้ำล้มลุกอายุหลายฤดู สามารถอยู่ได้ทุกสภาพน้ำ มีถิ่นกำเนิดในแถบลุ่มน้ำอะเมซอน ประเทศบราซิล ในทวีปอเมริกาใต้ มีดอกสีม่วงอ่อน คล้ายช่อดอกกล้วย และแพร่พันธุ์ได้อย่างรวดเร็วจนกลายเป็นวัชพืชที่ร้ายแรงในแหล่งน้ำทั่วไป มีชื่อเรียกในแต่ละท้องถิ่น เช่น ผักปอด, สวะ, ผักโรค, ผักตบชวา, ผักยะวา, ผักอีโยก และผักปอง เป็นต้น

ใบ เป็นแบบใบเดี่ยว (simple leaf) ประกอบด้วย แผ่นใบ (blade) และก้านใบ (petiole) แผ่นใบลักษณะคล้ายรูปไต (reniform) หรือคล้ายรูปหัวใจ (cordate) มักมีความกว้างมากกว่ายาว หรือเกือบจะเรียบ อวบน้ำถ้าต้นผักตบชวาเจริญอยู่ห่าง ๆ กัน ลำต้นจะเล็กและก้านใบมักจะพองออกเป็นท่อนลอยน้ำ (ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า buoyancy leaf) แต่ถ้าผักตบชวาเจริญอยู่ในที่เบียดชิดกันมากโดยเฉพาะในน้ำนิ่ง ก้านใบจะไม่พอง นอกจากนั้น ก้านใบยังยาวมาก บางแห่งจะพบว่ายาวถึงหนึ่งเมตรก็จะเกิดใบอ่อนจะเกิดตรงกลางกอ โดยแผ่นใบอ่อนจะม้วนหุ้มรอบโคนก้าน ใบใกล้เคียง และมีกาบใบบาง ปลายก้านใบนี้ จะมีลักษณะคอดแล้งบาน ขอบหยักเล็กน้อยเป็นเยื่อบาง ๆ เมื่อเยื่อบางๆ เมื่อใบอ่อนโตขึ้นก้านใบก็ขยายขึ้น ต้นใบที่ห่อหุ้มนั้นออก แผ่นใบก็จะค่อยๆ คลี่เป็นอิสระจากโคนก้านใบเดิมในระยะแรกใบจะมีสีเขียวอ่อน ต่อไปจะมีสีเขียวเข้มขึ้น กาบใบนั้นก็จะคงติดอยู่ตรงโคนก้านใบ



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะทั่วไปของผักตบชวา

### 2.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของผักตบชวา

ต้นผักตบชวา 100 กิโลกรัม หลังจากตากให้แห้งจะมีน้ำหนักเหลือประมาณ 5 กิโลกรัม คิดเป็นน้ำหนักของกากแห้งเฉลี่ยร้อยละ 5 ของน้ำหนักทั้งหมดจากการวิเคราะห์องค์ประกอบผักตบชวา พบว่าผักตบชวาประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน และธาตุอื่นๆ (อมรรัตน์ สีสุกงองและคณะ, “การสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากวัชพืชท้องถิ่นในจังหวัดนนทบุรี หน้า 10”)

**ตารางที่ 3** แสดงองค์ประกอบทางเคมีของผักตบชวาแห้ง

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละโดยน้ำหนัก
ลิกนิน	12-13
เซลลูโลส	43-44
เพนแซน	14-15
เถ้า	20-21
คาร์บอน	32-35
ไฮโดรเจน	5.4-5.8
ไนโตรเจน	2.8-3.5
โซเดียม	1.5-2.5
โปแตสเซียม	2.0-3.5
แคลเซียม	0.6-1.3

ที่มา : อมรรัตน์ สีสุกงองและคณะ, “การสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากวัชพืชท้องถิ่นในจังหวัดนนทบุรี” (เอกสารประกอบการวิจัยโปรแกรมวิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต,2551),10

ผักตบชวาสามารถอยู่ได้ทุกสภาพน้ำทั้งในน้ำสกปรกและน้ำสะอาด เจริญเติบโตได้ดีที่ pH4-10 และอุณหภูมิของน้ำไม่สูงกว่า 34 C และในต้นพืชจะมีน้ำเฉลี่ยร้อยละ95ในใบร้อยละ89 และในก้านใบ 96.7 ผักตบชวาช่วยในการบำบัดน้ำเสียโดยอาศัยคุณสมบัติทำหน้าที่เป็นตัวกรอง ผักตบชวาที่ขึ้นอยู่อย่างหนาแน่นเปรียบได้กับวัสดุซึ่งกรองน้ำไหลผ่านกอผักตบอย่างช้าๆ จึงทำให้ของแข็งแขวงลอยต่าง ๆ ที่ปนอยู่ในน้ำถูกสกัดกั้นนอกจากนั้นระบบรากที่มีจำนวนมากช่วยกรองสารอินทรีย์ที่ละเอียดและจุลินทรีย์ที่อาศัยเกาะอยู่ที่รากช่วยดูดสารอินทรีย์ไว้ด้วยอีกทางหนึ่งรากผักตบชวาจะดูดสารอาหารที่อยู่ในน้ำลำเลียงไปยัง

ใบเพื่อสังเคราะห์แสงไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสียจึงถูกกำจัดไปอย่างไรก็ตามไนโตรเจนในน้ำเสียนั้นส่วนมากจะอยู่ในสารประกอบทางเคมี เช่น สารอินทรีย์ไนโตรเจน แอมโมเนีย ไนโตรเจน และไนเตรทไนโตรเจน พบว่าผักตบชวาสามารถดูด ไนโตรเจนได้ทั้ง 3 ชนิด แต่ในปริมาณที่แตกต่างกัน คือ ผักตบชวาสามารถดูดอินทรีย์ไนโตรเจนได้สูงกว่าไนโตรเจนในรูปอื่น ๆ คือประมาณร้อยละ 95 ขณะที่ไนโตรเจนและแอมโมเนียไนโตรเจนจะลดลงประมาณร้อยละ 80 และร้อยละ 77 ตามลำดับ แต่การใช้ผักตบชวาบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสสูงจะส่ง ผลให้ผักตบชวาเจริญเร็วขึ้นและปกคลุมพื้นที่ผิวน้ำมากขึ้น จึงควรมีการดูแลระบบเก็บต้นผักตบชวาที่เจริญเต็มที่ขึ้นจากน้ำอย่างสม่ำเสมอซึ่งเมื่อน้ำผักตบชวาตายจะเน่าอยู่ในน้ำ ทำให้น้ำเสียนั้นมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้น ส่วนของรากผักตบชวามีแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนแกรมลบ คือ *Azospirillum spp.* และคุณสมบัติพิเศษสามารถตรึงไนโตรเจนได้ประมาณ 2.5 กิโลกรัม/เฮกเตอร์/วัน การที่ผักตบชวาเป็นพืชที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและเกิดขึ้นอย่างเดิยวล้วน ๆ ทำให้ลู่ทางในการนำไปใช้ประโยชน์มากขึ้น

#### 2.5.2 ประวัติของผักตบชวาในประเทศไทย

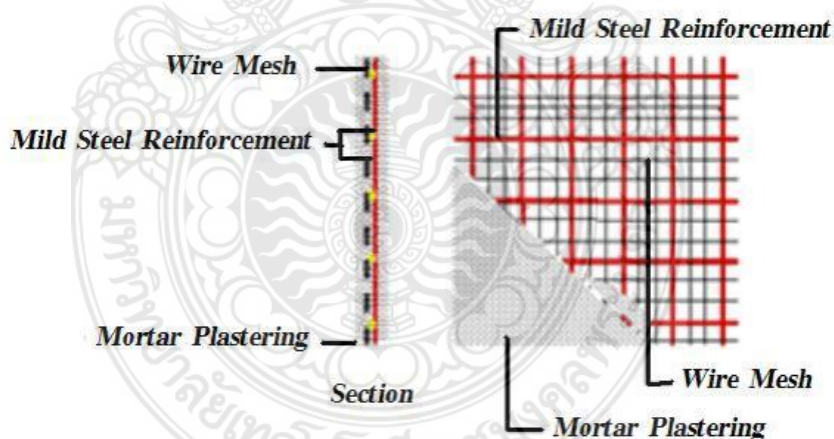
ผักตบชวาถูกนำเข้ามาในประเทศไทยในปี.ศ.พ2444 ในสมัยรัชกาลที่ 5 โดยนำเข้ามาจากประเทศอินโดนีเซียในฐานะเป็นประดับสวยงาม โดยเจ้านายฝ่ายในที่ตามเสด็จประพาสประเทศอินโดนีเซีย ได้เห็นพืชชนิดนี้มีดอกสวยงาม จึงนำกลับมาปลูกในประเทศไทย และใส่อ่างดินเลี้ยงไว้หน้าสนามวังสระปทุม จนกระทั่งเกิดน้ำท่วมวังสระปทุมขึ้น ทำให้ผักตบชวาหลุดลอยกระจายไปตามแม่น้ำลำคลองทั่วไป และแพร่พันธุ์อย่างกว้างขวางในปัจจุบัน

### 2.6 ปัญหาของผักตบชวา

ผักตบชวาจัดเป็น "เอเลี่ยน สปีชีส์" หรือ "ชนิดพันธุ์ต่างถิ่น" ที่เข้ามาแพร่ระบาดรุกรานจนก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบนิเวศในประเทศไทย มีการแพร่ขยายพันธุ์อย่างรวดเร็ว ใน 1 เดือน ผักตบชวาเพียง 1 ต้นอาจขยายพันธุ์ได้มากถึง 1,000 ต้น ถึงแม้ว่าจะแห้งจนต้นตายแต่เมล็ดของมันก็ยังมีชีวิตต่อไปได้นานถึง 15 ปีและทันทีที่เมล็ดได้รับน้ำที่เพียงพอมันก็จะแตกหน่อเป็นต้นใหม่ต่อไปจนกลายเป็นปัญหาทางน้ำและทวีความรุนแรงจนเป็นปัญหาระดับประเทศ ทำให้รัฐบาลต้องเสียงบประมาณในการกำจัดผักตบชวาจำนวนมาก ซึ่งไม่เพียงแต่ประเทศไทยเท่านั้นอีกกว่า 50 ประเทศทั่วโลกก็เจอปัญหาเช่นเดียวกัน จะมีก็แต่ประเทศในแถบยุโรปเท่านั้นที่ปลอดการรบกวน และบริเวณที่ถูกผักตบชวาคุกคามมากที่สุดคือ ทะเลสาบวิกตอเรีย ประเทศไทยเองเริ่มมีการกำจัดผักตบชวามาตั้งแต่สมัยรัชกาลที่ 6 ถึงขนาดมีการออกพระราชบัญญัติสำหรับกำจัดผักตบชวา พ.ศ.2456 ปัจจุบันมีหน่วยงานและองค์กรต่างๆ ได้เข้ามาช่วยเหลือในการกำจัด เช่น นำไปผลิตเป็นของใช้ อาหารสัตว์ ทำปุ๋ย ฯลฯ และมีการนำแมลงมวนผักตบชวาจากแหล่งกำเนิดที่ทวีปอเมริกาใต้ เข้ามาทดลองปล่อยในประเทศไทย เพื่อควบคุมจำนวนประชากรของผักตบชวา

## 2.7 เฟอร์โรซีเมนต์

โครงสร้างเฟอร์โรซีเมนต์ (Ferrocement) มีใช้มาตั้งแต่ปี ค.ศ.1840 ได้รับการพัฒนา โดย Nervi ซึ่งเป็นผู้ริเริ่มศึกษาค้นคว้าคุณสมบัติของเฟอร์โรซีเมนต์ ประกอบด้วย ตะแกรงหลายๆ ชั้น หุ้มด้วยมอร์ตาร์ ในเวลาต่อมาก็มีการออกแบบและสร้างหลังคาโค้ง (shell roof) และเรือเฟอร์โรซีเมนต์ โดยอาศัยการทดลองของ Nervi ดังกล่าว American concrete Institute (ACI) ได้นิยามว่า “ เฟอร์โรซีเมนต์ คือ โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กผิวบาง ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับวัสดุเสริมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็ก และต่อเนื่องกันเป็นตะแกรง ซึ่งตะแกรงนี้อาจเป็นโลหะหรือแร่อนที่ใช้ทำเป็นตะแกรงได้ ” นั่นคือ เฟอร์โรซีเมนต์เป็นวัสดุก่อสร้างอย่างหนึ่งที่ประกอบด้วยซีเมนต์ วัสดุผสม (Aggregate) และวัสดุเสริม (Reinforcement) โดยที่เฟอร์โรซีเมนต์ (Ferrocement) ถือว่าเป็นโครงสร้างเปลือกบางชนิดหนึ่งที่ทำขึ้นด้วยมอร์ตาร์ (Mortar) และลวดตะแกรง (Wire Mesh) โดยที่มอร์ตาร์จะใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ทราเยละเอียด และน้ำเป็นส่วนผสม ส่วนลวดตะแกรงอาจใช้ลวดตะแกรงเหล็กกลม (หรือที่เรียกกันว่า ลวดกรงไก่) หรือลวดตะแกรงสี่เหลี่ยมก็ได้ ซึ่งลวดตะแกรงนี้จะทำหน้าที่ยึดเกาะมอร์ตาร์ให้เข้าด้วยกัน แต่ก็อาจจะมีการใช้ เหล็กเสริม (Mild Steel Reinforcement) ที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป ช่วยขึ้นรูปโครงสร้างหรือช่วยยึดตั้งโครงสร้างไว้ และบางครั้งจะใช้รับกำลังได้อีกด้วย (ครองศักดิ์ และคณะ,2553)



รูปที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างของเฟอร์โรซีเมนต์ (ครองศักดิ์ และคณะ,2553)

โครงสร้างเฟอร์โรซีเมนต์นี้ จึงคล้ายกับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป แต่จะมีขนาดที่บางกว่ามาก และสามารถดัดขึ้นรูปต่างๆ ได้ง่ายตามความต้องการ ซึ่งเหมาะกับประเทศที่กำลังพัฒนา เพราะสามารถใช้แรงงานต่างๆ ไปในการผลิต และมีราคาถูก โดยมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ สามารถต้านทานการแตกร้าวได้ดีกว่าคอนกรีตทั่วไป ส่วนความสามารถในการรับกำลังจะขึ้นอยู่กับกำลังและคุณสมบัติของมอร์ตาร์ ลวดตะแกรง เหล็กเสริม ความหนาของโครงสร้าง และการออกแบบ

ดังนั้น เฟอร์โรซีเมนต์ จึงสามารถทำโครงสร้างได้หลากหลายประเภท เช่น อาคารขนาดเล็ก เรือ สะพาน สระว่ายน้ำ ถังเก็บน้ำ ฯลฯ รวมทั้งยังสามารถนำเฟอร์โรซีเมนต์ไปใช้ในงานซ่อมแซมหรือเสริมกำลัง โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กได้อีกด้วย โดยหลักการสร้างหรือทำโครงสร้างเหล่านี้ จะทำการขึ้นโครงก่อน ด้วยเหล็กเสริม (หรือใช้ไฟเบอร์แทนเหล็กเสริม) แล้วทา การหุ้มโครงด้วยลวดตะแกรง เสร็จแล้วจะทำการฉาบ ด้วยมอร์ตาร์ จากการที่มีการศึกษาเฟอร์โรซีเมนต์ พบว่า เฟอร์โรซีเมนต์ มีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ ดังนี้

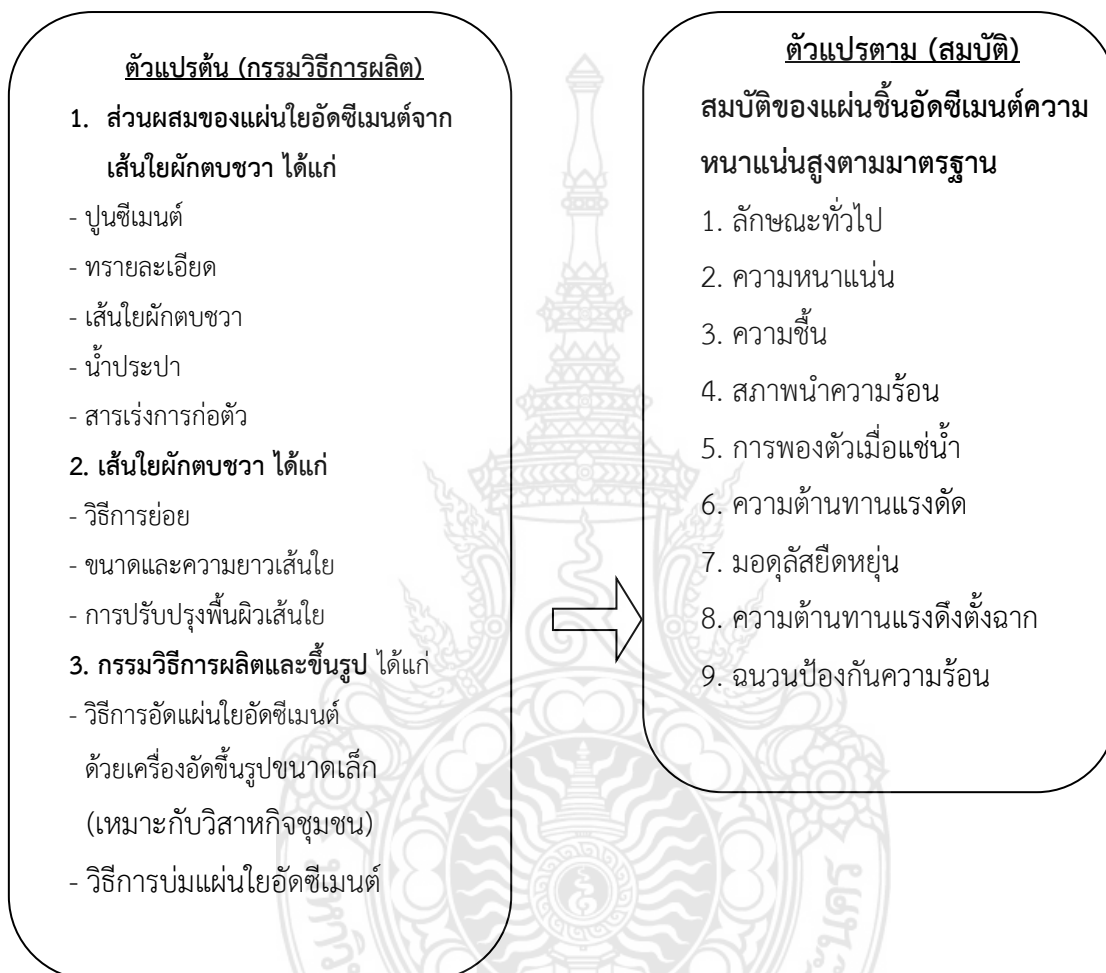
- 1) เป็นโครงสร้างที่ไม่ต้องใช้แบบจึงง่ายต่อการก่อสร้าง ช่างปูนทั่วไปสามารถสร้างได้
- 2) เป็นโครงสร้างผิวบางจึงทำให้ประหยัดค่าวัสดุก่อสร้าง และลดน้ำหนักของโครงสร้าง
- 3) ความสามารถรับแรงดึง (Tension) ก่อนร้าวสูงกว่าคอนกรีตเสริมเหล็ก
- 4) มีพฤติกรรมเป็นวัสดุเนื้อเดียว (Homogeneous elastic material)
- 5) ความทนทาน (Durability) สูง
- 6) ความกว้างของรอยแตกร้าวเล็กมาก
- 7) สามารถทนทานต่อแรงกระแทกได้ดี

โครงสร้างเฟอร์โรซีเมนต์นี้ ได้เคยมีการนำมาใช้อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในภาคพื้นเอเชีย ตะวันออกเฉียงใต้ โดยใช้ทำ เรือ , ถังเก็บเมล็ดพืช, ถังน้ำ และส่วนประกอบของบ้าน ซึ่งเฟอร์โรซีเมนต์นี้ นอกจากจะมีคุณสมบัติในการรับแรงดีแล้ว ยังใช้เวลาในการก่อสร้างไม่มากทำให้ประหยัดค่าแรงในการก่อสร้าง

## 2.8 กรอบแนวคิด

กรอบแนวความคิดของการพัฒนาแผ่นใยอัดซีเมนต์จากเส้นใยผักตบชวา เป็นการศึกษและพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นใยอัดซีเมนต์หรือแผ่นขึ้นอัดซีเมนต์ที่มีเส้นใยผักตบชวา ผสมรวมกับปูนซีเมนต์ ทราโยลอะไซด์ สารเร่งการก่อตัว และตะแกรงเหล็ก (เฉพาะชนิดความแข็งแรงสูง) เน้นให้มีการศึกษา ทดลอง และปรับปรุงเพื่อหาอัตราส่วนและกระบวนการที่ทำให้แผ่นใยอัดซีเมนต์ มีคุณสมบัติตามต้องการ และสามารถผ่านการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกล ตามมาตรฐาน มอก. 878-2537 เรื่องแผ่นขึ้นอัดซีเมนต์ความหนาแน่นสูงได้ (สมอ., 2537) สามารถขึ้นรูปได้ด้วยเครื่องจักรขนาดเล็ก และไม่ต้องค้ำน้ำหนักไว้ภายหลังการอัด ซึ่งสะดวกต่อการผลิตใช้งานจริงโดยวิสาหกิจชุมชน





รูปที่ 2.4 กรอบแนวความคิดของแผ่นใยอัดซีเมนต์จากเส้นใยผักตบชวา

## 2.9 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยและสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้เส้นใยธรรมชาติสำหรับผลิตเป็นแผ่นเทียม ทั้งชนิดอัดกาว และชนิดซีเมนต์ ซึ่งทำการรวบรวมมาพอสังเขป สามารถสรุปได้ ดังนี้

ธวัช จิรายุส (2535) ศึกษาการจับยึดพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ของยูคาลิปตัสและทดลองทำแผ่นอัดซีเมนต์จากยูคาลิปตัส คามาลเลน เริ่มจากการนำยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิสที่ได้มาจากสถานีทดลองปลูกพรรณหายาก จังหวัดศรีสะเกษ ที่ใช้ทดลองอายุประมาณ 20 ปี นำมาตัดเป็นแท่งเล็กๆ ขนาด 200 x 15 x 5 ลูกบาศก์มิลลิเมตร เลือกลงแท่งที่มีเส้นตรงไม่บิด และส่วนปลายปราศจากตำหนิเช่น ตา, รอยแตก ร้าว ฯลฯ แช่แท่งทดสอบที่คัดดีแล้วในน้ำกลั่น และน้ำกลั่นที่มีสารเคมีผสมอยู่ ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก สาร

ละลายเคมีที่ใช้เปรียบเทียบมี 3 ชนิด คือ อลูมิเนียมซัลเฟต ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) แคลเซียมคลอไรด์ ( $\text{CaCl}_2$ ) และ โซเดียมซิลิเกต ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) ปักแท่งทดสอบให้จมลงในส่วนผสมของซีเมนต์กับน้ำกลั่นที่เตรียมไว้ โดยมีอัตราส่วนผสมของพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ 400 กรัม และน้ำกลั่น 160 มิลลิลิตร ภายในถ้วยกระดาษขนาด 200 มิลลิลิตร ระยะเวลาที่แช่แท่งในน้ำกลั่นหรือสารละลายประมาณ 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดจึงนำออกมา ชักน้ำผิวหน้าออกให้แห้งพอหมาดๆ แล้วจึงปักลงในถ้วยที่บรรจุส่วนผสมในระดับลึก 50 มิลลิเมตร ให้ตั้งฉากกับผิวหน้าของซีเมนต์แต่ละถ้วย โดยใช้แบบที่ทำขึ้นจากเหล็กแต่ละถ้วย โดยใช้แบบที่ทำขึ้นจากเหล็ก ฉากมีรูเป็นตัวบังคับ หลังปล่อยให้ส่วนผสมซีเมนต์แข็งตัวภายในสภาวะอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จึงนำแบบถ้วยทดลองทั้งหมดไปทำการทดสอบการเกาะยึดระหว่างยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส โดยวิธี stick test method โดยการทดลองใช้สารเคมี 3 ชนิด คือ อลูมิเนียมซัลเฟต, แคลเซียมคลอไรด์, และ โซเดียมซิลิเกต เป็นสารปรับปรุงคุณภาพผิวน้ำและซึมเข้าในเนื้อเพื่อเร่งการแข็งตัวของซีเมนต์ และปรับปรุงการเกาะยึดโดยใช้สภาวะที่ไม่ได้ใช้สารเคมี (ใช้น้ำอย่างเดียว) เป็นการทดลองเปรียบเทียบ สามารถสรุปผลเป็นข้อๆ ได้ว่า การใช้สารเคมีชนิดโซเดียมซิลิเกต และอลูมิเนียมซัลเฟต สามารถให้ค่าความแข็งแรงต้านแรงดึงยึดเหนี่ยวระหว่างและซีเมนต์เฉลี่ยสูงกว่าสภาวะทดลองที่ไม่ใช้สารเคมีเป็นตัวเปรียบเทียบ ตามลำดับ แต่การทดลองใช้สารเคมีชนิดแคลเซียมคลอไรด์ กลับให้ค่าความแข็งแรงเฉลี่ยต่ำกว่าการทดลองเปรียบเทียบที่ไม่ใช้สารเคมี (ใช้น้ำอย่างเดียว) ซึ่งผลที่ได้ยังสามารถสรุปได้ว่า การใช้สารเคมีเพื่อช่วยปรับปรุงการเกาะยึดระหว่างและซีเมนต์ครั้งนี้ ช่วยเพิ่มความแข็งแรงการเกาะยึดได้มาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สารเคมีดังกล่าวช่วยลดอิทธิพลที่ยังต่างๆ ในการจับยึดระหว่างและซีเมนต์ได้ ถึงแม้ว่าในกรณีของสารแคลเซียมคลอไรด์ จะให้ค่าความแข็งแรงที่ต่ำกว่าสภาพธรรมดา ซึ่งไม่ใช้สารเคมีก็ตาม แต่ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณสารแคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้อาจมากเกินไปแทนที่จะช่วยให้และซีเมนต์จับยึดกันดีขึ้น แต่ทำให้กลับลดลงสาเหตุนี้อาจอธิบายได้ว่า สารเคมีชนิดนี้นั้นโดยปกติเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาการแข็งตัวของซีเมนต์ให้เร็วขึ้น แต่การใช้ปริมาณมากไปซีเมนต์ก็จะเกิดการแข็งตัวเร็วเกินไป (flash set) จนและซีเมนต์มีอัตราการเกาะยึดที่น้อยไป อีกสาเหตุหนึ่งก็คือ ความแปรผันภายในที่ใช้ทำการทดลองที่ค่อนข้างสูง โดยพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่แสดงให้เห็นว่า มีความคลาดเคลื่อนของการทดลอง (experimental error) และค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (C.V.) ที่เกิดขึ้นในการทดลองค่อนข้างสูง ซึ่งไม่สามารถทราบเหตุที่แน่นอน อย่างไรก็ตามก็คิดว่าน่าจะเป็นข้อยืนยันที่เพียงพอพิสูจน์ได้ว่า ในการใช้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส จับยึดกับซีเมนต์นั้น หากมีการใช้สารเคมีอนินทรีย์ (mineral chemicals) ผสมกับน้ำด้วยจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงของการยึดจับระหว่างและซีเมนต์ให้สูงขึ้นได้โดยเฉพาะการใช้สารเคมีชนิดโซเดียมซิลิเกต ที่ให้ค่าความแข็งแรงมากกว่าถึง 2 เท่า เทียบกับสภาพธรรมดาเมื่อไม่ใช้สารเคมี

นิคม แหลมสัก (2546) ได้รับอนุสิทธิบัตรเลขที่ 1470 ยื่นคำขอวันที่ 3 ตุลาคม 2546 (หมอดายการคุมครอง) เรื่องกรรมวิธีการทำแผ่นขึ้นอัดจากทางใบปาล์มน้ำมันและแผ่นขึ้นอัดที่ได้จากกรรมวิธีนี้ โดยมีรายละเอียดของการคุมครอง ประกอบด้วย 1.กรรมวิธีการผลิตแผ่นขึ้นอัดจากทางใบปาล์ม น้ำมัน ประกอบด้วย (1) การเตรียมขึ้นทางใบปาล์มน้ำมันโดยการสับ แยกน้ำออก แยกขุย นำไปย่อยให้ เป็นขึ้นขนาดเล็กตั้งแต่ 20-200 mesh หรือย่อยให้เป็นเส้นใย (fiber) โดยใช้วิธีกล ทำการอบ โดยควบคุมความชื้นร้อยละ 0-12 โดยน้ำหนักแห้ง (2) นำขึ้นส่วนทางใบปาล์มน้ำมันขนาดเล็กตั้งแต่ 20-200 mesh หรือเส้นใย หรือ การผสมขึ้นส่วนทางใบปาล์มน้ำมันขนาดเล็กตั้งแต่ 20-200 mesh และเส้นใยจากข้อ (1) ผสมกับกาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ (UF) ร้อยละ 4-20 ของน้ำหนักแห้งทางใบปาล์ม หรือกาวไอโซไซยานาต (IC) ร้อย

ละ 2-10 ของน้ำหนักแห้งทางไบปาล์ม หรือกาฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ (PF) ร้อยละ 3-16 ของน้ำหนักแห้งทางไบปาล์ม ผสมสารปรับปรุงคุณภาพ (additives) (3) การขึ้นรูปแผ่นขึ้นอัดจากทางไบปาล์มน้ำมัน โดยการนำของผสมจากข้อ (2) มาฟอร์มเป็นแผ่นหรือขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ โดยให้ความหนาแน่นของแผ่น 0.25-1.00 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ความหนาตั้งแต่ 6-100 มิลลิเมตร (4) นำแผ่นขึ้นอัดจากทางไบปาล์มน้ำมัน (3) ไปรับสถานะความชื้น (Conditioning) โดยทิ้งไว้ที่สภาวะปกติ 2.กรรมวิธีตามข้อถือสิทธิ 1 ที่ซึ่งสารปรับปรุงคุณภาพที่ใช้ คือ สารกันน้ำและความชื้น (Sizings) สารหน่วงไฟ (Fire retardants) และสารกันเชื้อราและแมลง (Preservatives) ผสมในอัตราส่วนตั้งแต่ร้อยละ 0.01-3 ของน้ำหนักทางไบปาล์มแห้ง และ 3.แผ่นขึ้นอัดจากทางไบปาล์มน้ำมันที่ผลิตขึ้นตามกรรมวิธีของข้อถือสิทธิ 1 หรือ 2

ชญชัย ปศุณรรกิจ และคณะ (2549) ได้ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติความเป็นฉนวนของวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรระหว่างฉนวนที่ผลิตจากขี้ข้าวโพดกับฉนวนที่ผลิตจากต้นมันสำปะหลัง ในระดับความหนาแน่นที่ต่างกัน เพื่อหาความหนาแน่นที่สามารถลดการถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุด ซึ่งพบว่าฉนวนที่มีความหนาแน่นน้อยจะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำกว่าฉนวนชนิดเดียวกันที่มีความหนาแน่นมาก โดยฉนวนต้นมันสำปะหลัง ความหนาแน่น 200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หนา 10 มิลลิเมตร จะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน เท่ากับ 0.059 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน ซึ่งสามารถลดอุณหภูมิภายในให้ต่ำลงประมาณ 2.3 องศาเซลเซียส จึงมีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้เป็นฉนวนอาคาร โดยเฉพาะบ้านเรือนในชนบท เนื่องจากมีต้นทุนต่ำและใช้วัสดุในท้องถิ่น นอกจากนี้เมื่อนำแผ่นที่ทำจากต้นมันสำปะหลัง ความหนาแน่น 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หนา 10 มิลลิเมตร มาทำแผ่นผนังภายในแทนการใช้ฉนวน พบว่า สามารถลดความร้อนเข้าสู่อาคารได้ดีกว่าฉนวน 3.03 องศาเซลเซียส และมีต้นทุนวัสดุที่ถูกกว่ามาก อย่างไรก็ตาม ฉนวนและแผ่นผนังที่ทำจากต้นมันสำปะหลังยังต้องได้รับการพัฒนาในเรื่องคุณสมบัติทางกายภาพการป้องกันแมลง การควบคุมการผลิต รวมไปถึงการพัฒนาจากการศึกษาวิจัยไปสู่การใช้งานจริง ซึ่งปัจจุบันมีฉนวนจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอีกมากที่มีการศึกษาวิจัย เช่น ฟางข้าว หญ้าแฝก เป็นต้น ซึ่งเป็นการเพิ่มคุณค่าแก่วัสดุเหลือใช้ เพราะสามารถลดปริมาณขยะ ลดมลพิษอันเกิดจากการเผาทำลาย สร้างรายได้ให้กับชุมชนและยังสะท้อนอัตลักษณ์ทางสถาปัตยกรรมพื้นถิ่นได้อีกด้วย

ประชุม คำพุ่ม และคณะ (2552) ได้ศึกษาสมบัติของมอร์ตาร์น้ำหนักเบา โดยการใช้เส้นใยจากขยะเปลือกทุเรียนเป็นวัสดุผสมเพิ่ม ออกแบบส่วนผสมของมอร์ตาร์ให้มีอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 : ทรายละเอียดร้อนค้ำตะแกรงเบอร์ 200 เท่ากับ 1 : 2.75 โดยน้ำหนัก และกำหนดอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ในสัดส่วนประมาณ 0.83 ซึ่งจะใช้เส้นใยเปลือกทุเรียนแทนที่ปูนซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 0, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10 และ 0.12 โดยน้ำหนัก นำไปหล่อก้อนตัวอย่างมอร์ตาร์ทดสอบ โดยขนาด 5 x 5 x 5 ลบ.ซม. สำหรับทดสอบกำลังอัด ขนาด 4 x 4 x 16 ลบ.ซม. สำหรับทดสอบกำลังค้ำ น้ำตัวอย่างทั้ง 2 ขนาด มาหาค่าการดูดซึมน้ำและความหนาแน่นของมอร์ตาร์ ที่อายุมอร์ตาร์ 7, 14 และ 28 วัน ผลการทดสอบพบว่า เมื่อผสมเส้นใยเปลือกทุเรียนแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มอร์ตาร์มีกำลังค้ำและการดูดซึมน้ำสูงขึ้น ส่วนกำลังค้ำและความหนาแน่นจะต่ำลง ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วสามารถนำเส้นใยจากขยะเปลือกทุเรียนไปพัฒนาใช้ในงานคอนกรีตน้ำหนักเบาได้ต่อไป

ณัฐนันท์ รัตนไชย และประชุม คำพุ่ม (2552) ได้ศึกษาแนวทางแยกเส้นใยไผ่จากไผ่ เพื่อส่งเสริมให้มีการผลิตเป็นสินค้าส่งออกของกลุ่มจังหวัดภาคกลางตอนบน โดยกรรมวิธีในการแยกเส้นใยไผ่

สามารถแบ่งตามกระบวนการได้ 2 วิธีหลักๆ คือ การแยกโดยวิธีทางกล และการแยกโดยวิธีทางเคมี ซึ่งผลจากการแยกเส้นใยดังกล่าวพบว่า การแยกเส้นใยด้วยวิธีทางกล จะได้เส้นใยที่มีความยาวประมาณ 10 - 15 เซนติเมตร ลักษณะภาคตัดขวางเป็นทรงรีค่อนข้างกลม มีรูพรุนหรือโพรงอากาศกลางเส้นใย ลักษณะตามยาวหรือผิวนอกเป็นร่อง ขรุขระไม่เรียบ ตลอดความยาวของเส้น ส่วนการแยกเส้นใยด้วยวิธีทางเคมี ก็จะได้เส้นใยไฟที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน แต่ผิวของเส้นใยจะมีความเรียบมากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการแยกโดยวิธีทางเคมี จะสามารถกำจัดสารเชื่อมประสาน หรือลิกนินออกไปได้มากกว่าการแยกโดยวิธีทางกล ส่วนผลจากการทดสอบความต้านทานแรงดึง และอัตราการดูดซึมน้ำ จะได้ว่า เส้นใยที่แยกโดยวิธีทางกล จะมีค่าความต้านทานแรงดึง และอัตราการดูดซึมน้ำที่สูงกว่าเส้นใยที่แยกโดยวิธีทางเคมี โดยเส้นใยไฟทั้งหมดสามารถนำไปผลิตเป็นสินค้าต่างๆ ได้หลายชนิด ได้แก่ ใยขัดตัว เส้นด้าย ผ้าทอ วัสดุก่อสร้าง และวัสดุตกแต่ง เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งของการใช้ประโยชน์จากต้นไผ่ เพื่อสร้างงาน สร้างอาชีพ และผลักดันเศรษฐกิจไทยให้ขับเคลื่อนไปข้างหน้าอย่างยั่งยืนได้ต่อไป

อมเรศ บกสุวรรณ และประชุม คำพุ่ม (2552) ได้ศึกษาสมบัติวัสดุผสมจากโพลีเอทิลีนกับเส้นเปลือกทุเรียน โดยมีส่วน ผสมของโพลีเอทิลีนต่อเส้นใยเปลือกทุเรียน เท่ากับ 90: 10, 80: 20, 70: 30, 60: 40 และ 50: 50 โดยน้ำหนัก ผสมเส้นใยทุเรียนด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง ทำการอัดขึ้นรูปแผ่นวัสดุผสมขนาด  $30 \times 30 \times 0.5$  ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยวิธีการอัดร้อน และทดสอบสมบัติทางกลของแผ่นวัสดุผสมตามมาตรฐาน ASTM จากผลการทดสอบพบว่าวัสดุผสมที่มีปริมาณของโพลีเอทิลีนที่สูงขึ้นจะทำให้วัสดุผสมมีความต้านทานการรับแรงดึง และแรงกระแทกสูงกว่า ส่วนปริมาณเส้นใยเปลือกทุเรียนที่เพิ่มขึ้นทำให้ความต้านทานการรับแรงดัด และความแข็งที่ผิวสูงขึ้น ผลการวิจัยมีแนวโน้มที่จะนำไปพัฒนาเป็นแผ่นวัสดุตกแต่งผนังอาคารเนื่องจากมีสีผิวและลวดลายของวัสดุผสมที่สวยงาม

ก้องนภา ถิ่นวัฒนากุล และคณะ (2553) ได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของการนำเส้นใยเปลือกทุเรียน เส้นใยต้นข้าวโพด และกากมะพร้าว มาผสมกับกากดินขาว ขึ้นรูปเป็นอิฐบล็อกกากดินขาวผสมเส้นใยต่างๆ โดยกำหนดอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ต่อกากดินขาว 1 : 60 โดยน้ำหนัก ผสมเส้นใยร้อยละ 1.67, 3.33 และ 5 ทำการขึ้นรูปตัวอย่างขนาด  $6.9 \times 39 \times 19$  ลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก นำมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลตามมาตรฐาน มอก. 58-2530 เรื่องคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ผลการทดสอบพบว่า การใส่เส้นใยในปริมาณมากทำให้ความหนาแน่นของอิฐบล็อกมีค่าน้อยลง แต่การเปลี่ยนแปลงความยาวและร้อยละการดูดซึมน้ำจะเพิ่มมากขึ้น ส่วนค่าความต้านทานแรงอัดจะมีค่าน้อยลง โดยอิฐบล็อกกากดินขาวที่ไม่ผสมเส้นใยจะมีค่า 20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เท่ากับมาตรฐาน มอก. ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้เส้นใยธรรมชาติมาเป็นวัสดุผสมเพิ่มเพื่อลดน้ำหนักของอิฐบล็อกกากดินขาวให้น้อยลงแต่ ควรใส่ในปริมาณที่ไม่มาก เพื่อที่ค่าความต้านทานแรงอัดจะได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

ครองศักดิ์ ลุนหล้า และคณะ (2553) ได้ทำการศึกษา พฤติกรรมการรับแรงอัดตามแนวแกนสำหรับตัวอย่างคอนกรีตที่เสริมกำลังด้วยเฟอร์โรซีเมนต์ การศึกษานี้พิจารณาผลการเพิ่มของกำลังรับแรงอัดตามแนวแกนเปรียบเทียบกับชิ้นส่วนตัวอย่างที่เป็นคอนกรีตล้วน จากการทดสอบชิ้นส่วนคอนกรีตที่หุ้มด้วยเฟอร์โรซีเมนต์ขนาด  $15 \times 15 \times 30$  ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำการเปรียบเทียบกับชิ้นส่วน

ตัวอย่างที่เป็นคอนกรีตล้วนซึ่งมีหน้าตัดเดียวกัน สามารถรับกำลังอัดตามแนวแกนได้น้อยกว่าชิ้นส่วน ตัวอย่างที่เป็นคอนกรีตล้วน แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบตัวอย่างคอนกรีตล้วนที่มีหน้าตัด  $15 \times 15$  ตารางเซนติเมตร เป็นตัวอย่างคอนกรีตล้วน ซึ่งมีหน้าตัด  $12 \times 12$  ตารางเซนติเมตร พบว่า ตัวอย่างที่หุ้มด้วยวัสดุเฟอร์โรซีเมนต์นั้น สามารถรับแรงอัดตามแนวแกนได้มากกว่าตัวอย่างคอนกรีตล้วนที่ถูกเปรียบเทียบมาเป็นหน้าตัด  $12 \times 12$  ตารางเซนติเมตร แต่อย่างไรก็ตาม พบว่า ยังมีปัญหาเรื่องการล่อในภายหลัง ซึ่งไม่สามารถรับกำลังอัดตามแนวแกนได้มากพอ ซึ่งองค์ประกอบของวัสดุเฟอร์โรซีเมนต์ก็มีผลต่อกำลังรับน้ำหนักตามแนวแกนของตัวอย่างที่นำมาเสริมกำลัง โดยหากนำมอร์ตาร์กำลังสูงมาใช้เป็นวัสดุเฟอร์โรซีเมนต์จะทำให้ตัวอย่างคอนกรีตสามารถรับกำลังอัดได้สูงขึ้น ส่วนลวดตะแกรงที่นำมาใช้เป็นวัสดุเฟอร์โรซีเมนต์นั้น จะเป็นตัวช่วยให้มอร์ตาร์ด้านนอกและตัวแกนคอนกรีตล้วนตรงกลางสามารถยึดเกาะกันได้ดีขึ้น แต่ลวดตะแกรง จะมีผลช่วยรับกำลังให้เพิ่มขึ้นของตัวคอนกรีตล้วนตรงกลาง ได้น้อยมาก เพราะลวดตะแกรงที่นำมาใช้นั้น สามารถยึดตัวได้มาก ตัวอย่างคอนกรีตที่เป็นแกนกลางจึงวิบัติก่อนที่ลวดตะแกรงจะช่วยในการโอบรัด

จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา สามารถแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นใยอัดซีเมนต์จากผักตบชวาสำหรับชุมชนท้องถิ่น โดยเส้นใยผักตบชวาเป็นเส้นใยธรรมชาติชนิดหนึ่งที่เหมาะกับปูนซีเมนต์ได้ดี ส่วนงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากเส้นใยผักตบชวา สามารถสรุปได้ดังนี้

วรรณิ เอกศิลป์ และชัยรัตน์ บุญถนอมวงศ์ (2557) ได้ทำการศึกษาการนำวัสดุชีวมวลที่มีความเป็นฉนวนกันความร้อน ราคาถูก สามารถหาได้ง่ายมีอยู่ทั่วไปมาผสมทำอิฐบล็อก โดยการนำผักตบชวาหรือขี้เลื่อยมาผลิตเป็นฉนวนกันความร้อนในรูปแบบของอิฐบล็อก ทำการผลิตอิฐบล็อกที่มีส่วนผสมระหว่าง ผักตบชวา : หินฝุ่นและขี้เลื่อย : หินฝุ่น ในอัตราส่วนต่างๆ นำอิฐบล็อกที่ได้มาศึกษาถึงความเหมาะสมในด้านการใช้งานโดยใช้ปัจจัย ความแข็งแรง และคุณสมบัติความเป็นฉนวนกันความร้อนเป็นตัวชี้วัด จากการศึกษาพบว่า การใช้ผักตบชวามาผสมกับวัสดุที่ผลิตอิฐบล็อกในอัตราส่วน ผักตบชวา : หินฝุ่น 1: 9 มีความแข็งแรงครึ่งหนึ่งของอิฐบล็อกมาตรฐาน และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ของอิฐบล็อกมาตรฐานและอิฐบล็อกในอัตราส่วน ผักตบชวา : หินฝุ่น 1: 9 ส่วน มีค่า 0.188 และ 0.105 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน ตามลำดับ ส่วนอิฐบล็อกที่มีส่วนผสม หินฝุ่น และ ขี้เลื่อย ไม่มีความแข็งแรงพอที่จะนำมาทำเป็นวัสดุก่อสร้างที่รับแรง

พิชามญชุ์ เข้าวังศ์พาณิชย์, ประมุข โอศิริ, รัชภาคย์ จิตต์อารี และธนาศรี สีหะบุตร (2553) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุดูดซับเสียงที่สร้างขึ้นจากผักตบชวา โดยนำชิ้นส่วนผักตบชวาที่ตากแห้งและสับเรียบร้อยแล้ว ผสมกาวไคไฟนิลมีเทน ไดไอโซไซยานเนต ร้อยละ 10 ในเครื่องผสมกาว เมื่อผสมให้เข้ากันแล้ว นำไปใส่ในบล็อกแล้วอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก ด้วยแรงอัด 35 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 140-150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที โดยใช้เครื่องมือตรวจคลื่นนิ่ง (Standing wave apparatus) ที่สร้างขึ้นตามมาตรฐาน ASTM C 384 - 04 โดยขั้นตอนแรก จะทำการตรวจวัดความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุดูดซับเสียงผักตบชวา ขนาด 1 นิ้ว ที่มีความหนาแน่น 0.25, 0.30, 0.35 และ 0.40 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อหาความหนาแน่นที่เหมาะสม ที่ทำ

ให้เกิดการดูดซับเสียงสูงสุดที่ความถี่ 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz หลังจากนั้นจะทำการศึกษาลักษณะการดูดซับเสียงของฝักตบชวาที่ความหนาแน่นดังกล่าว โดยการตัดแผ่นวัสดุให้มีรูปทรงแตกต่างกัน 3 แบบ คือ ทรงกรวย ทรงกลม และทรงกระบอก และแต่ละรูปทรงมีความหนา  $\frac{3}{4}$  นิ้ว 1 นิ้ว และ  $1\frac{1}{2}$  นิ้ว ผลการทดลองพบว่า ความหนาแน่นของวัสดุดูดซับเสียงของฝักตบชวาที่ดูดซับเสียงได้ดีที่สุด คือ 0.30 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ทุกความถี่ และเมื่อศึกษาความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุที่มีความหนา และรูปทรงแตกต่างกันแล้วพบว่า วัสดุดูดซับเสียงที่ความหนา  $\frac{3}{4}$  นิ้ว 1 นิ้ว และ  $1\frac{1}{2}$  นิ้ว รูปทรงกลมดูดซับเสียงได้ดีที่สุด และวัสดุดูดซับเสียงรูปทรงกรวย ทรงกลม และทรงกระบอกที่มีความหนา  $1\frac{1}{2}$  นิ้ว ดูดซับเสียงได้ดีที่สุด โดยที่วัสดุดูดซับเสียงที่ทำขึ้นดูดซับเสียงได้ดีที่สุดที่ความถี่ต่ำ

บวร อิศรางกูร ณ อยุธยา, ปรีดา จันทวงษ์ และโยธิน อึ้งกุล (2555) ศึกษาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำแบบผสมเส้นใยของฝักตบชวา (AAC-WHF) ได้แก่ ความต้านแรงดัด ความต้านแรงอัด ความหนาแน่น และอัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาโดย มีการใช้เส้นใยของฝักตบชวาเพื่อเป็นส่วนผสมแทนที่ทราย ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต คอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำแบบผสมเส้นใยของฝักตบชวา มีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วย เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เซลลูโลส (cellulose) และ ลิกนิน (lignin) รวมทั้งมีน้ำหนักรวม จึงได้ทดลองนำมาแทนที่ปูนทราย ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10 ผลการศึกษาพบว่า ส่วนผสมการแทนที่ทรายในอัตราส่วนที่เหมาะสม มีส่วนช่วยให้ความต้านแรงดัด และความต้านแรงอัดเพิ่มมากขึ้น ผลการเปรียบเทียบกับทรายที่มีปริมาณอัตราส่วนผสมเท่ากัน และหากเปรียบเทียบ ผลการทดสอบกับ ค่าตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 1505 – 2541 พบว่าสัดส่วนผสมแทนที่ทรายร้อยละ 7.5 ผ่านเกณฑ์โดยจัดอยู่ในชั้น คุณภาพ 4 ชนิด 0.70 และ AAC-WHF มีคุณสมบัติเป็นวัสดุของอาคารสีเขียว

สรุป จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา สามารถแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นใยอัดซีเมนต์จากฝักตบชวาสำหรับชุมชนท้องถิ่น โดยใช้เส้นใยฝักตบชวาเป็นเส้นใยธรรมชาติ ชนิดหนึ่งที่เหมาะกับปูนซีเมนต์ได้ดี ส่วนงานวิจัยนี้เราได้ศึกษา กรรมวิธีการปรับปรุงเส้นใยฝักตบชวาเพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นซีเมนต์บอร์ด ขนาดและความยาวของเส้นใยฝักตบชวาที่เหมาะสมสำหรับผลิตแผ่นซีเมนต์บอร์ด ชนิดสารเร่งการก่อตัวของแผ่นซีเมนต์บอร์ดที่เหมาะสมกับการผสมเส้นใยฝักตบชวา กรรมวิธีการผลิตแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยฝักตบชวาที่เหมาะสม อัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับผลิตแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยฝักตบชวา

### บทที่ 3

#### วิธีการวิจัย

โครงการ“การใช้ประโยชน์จากเส้นใยผักตบชวาในผลิตภัณฑ์แผ่นใยอัดซีเมนต์ภายนอกอาคารสำหรับวิสาหกิจชุมชน” เป็นการศึกษาเชิงปฏิบัติโดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

#### 3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินงานวิจัย

- 1) ต้นผักตบชวาจากคลองชลประทานในเขตพื้นที่ภาคกลางและกรุงเทพมหานคร



รูปที่ 3.1 ลักษณะลำต้นภายในและผักตบชวาที่ตากแห้ง

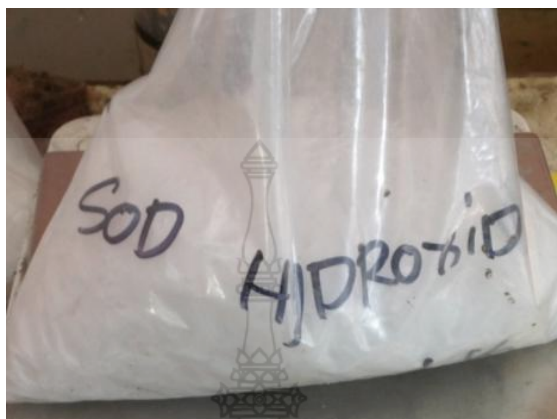
- 2) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ตาม มอก. 15 เล่ม 1 (สมอ., 2547)



รูปที่ 3.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1

3) ทรายละเอียด

4) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโซดาไฟ



รูปที่ 3.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

5) อลูมิเนียมซัลเฟต ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ )



รูปที่ 3.4 อลูมิเนียมซัลเฟต ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ )

6) แคลเซียมคลอไรด์ ( $\text{CaCl}_2$ )





รูปที่ 3.5 แคลเซียมคลอไรด์ ( $\text{CaCl}_2$ )

7) โซเดียมซิลิเกต ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )



รูปที่ 3.6 โซเดียมซิลิเกต ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )

8) น้ำประปา

9) อ่างผสม

10) เครื่องผสม



รูปที่ 3.7 เครื่องผสม

11) เครื่องอัดแผ่นอัดซีเมนต์



รูปที่ 3.8 เครื่องอัดแผ่นอัดซีเมนต์

12) ตะแกรง (Sieve) สำหรับร่อนวัสดุผสม



รูปที่ 3.9 ตะแกรงสำหรับร่อนวัสดุ

13) เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล

14) แบบหล่อ ขนาด 30 x 30 x 1.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร



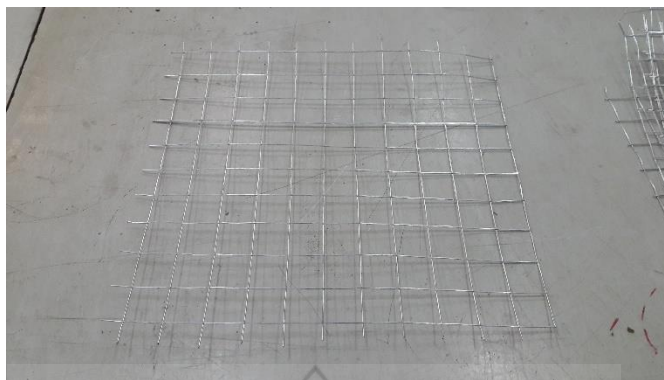
รูปที่ 3.10 แบบหล่อ ขนาด 30 x 30 x 1.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร

- 15) อุปกรณ์กดอัดแผ่นคอนกรีต
- 16) ชุดทดสอบหาค่าความหนาแน่น ความชื้น และการดูดซึมน้ำ
- 17) เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine)
- 18) เครื่องทดสอบสภาพนำความร้อน ตาม BS 874 Part 2 หรือ ASTM C 177 (ASTM, 2010)
- 19) กรรไกรตัดเส้นใย
- 20) น้ำมันเครื่อง
- 21) อุปกรณ์วัดขนาด เช่นไมโครมิเตอร์ และเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์



รูปที่ 3.11 ไมโครมิเตอร์

- 22) แผ่นตะแกรงเสริมภายใน



รูปที่ 3.12 ตัวอย่างตะแกรงที่ใช้เสริมในแผ่นอัดซีเมนต์

### 3.2 การออกแบบอัตราส่วนผสม

การออกแบบส่วนผสมโดยใช้การปรับปรุงเส้นใยผักตบชวาทดแทนด้วยสารเคมีเพิ่มการยึดติดระหว่างเส้นใยผักตบชวาทดแทนกับซีเมนต์รวมทั้งการผสมสารเคมีเพิ่มเติมเพื่อช่วยเร่งปฏิกิริยาการคงรูปของแผ่นอัดซีเมนต์และช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกล ซึ่งสามารถสรุปรายละเอียดได้ ดังนี้

1) การปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การปรับสภาพด้วยโคโรนา (Corona Treatment), การปรับสภาพด้วยพลาสมา (Plasma Treatment), การปรับสภาพด้วยซิลเลน (Silane Treatment), และการปรับสภาพด้วยอัลคาไลน์ (Alkaline Treatment) เป็นต้น แต่วิธีที่ง่ายและใช้ต้นทุนต่ำ คือ วิธีการปรับสภาพเส้นใยด้วยวิธีโซดา (Soda Process) โดยการต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น ร้อยละ 12 ใช้อัตราส่วนเส้นใยต่อสารละลาย เท่ากับ 1: 10 ต้มในระบบเปิดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 – 2 ชั่วโมง เพื่อย่อยสารจำพวกกลีโคลินเฮมิเซลลูโลส และสารแทรกอื่นๆ เช่น สารระเหย, กรดไขมัน, ไซสารพวก Mono และ Poly Sacharides และสารประกอบที่เป็นวง (Aromatic Compounds) เป็นต้น เนื่องจากมีผลต่อสมบัติและส่วนประกอบของเส้นใยดังนั้น การปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใย จึงใช้วิธีการต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งกล่าวอีกครั้งโดยละเอียดในหัวข้อ 3.3 การเตรียมเส้นใย

2) การใช้สารเร่งปฏิกิริยาการคงรูป เพิ่มการยึดเกาะระหว่างปูนซีเมนต์และเส้นใยเซลลูโลสในขั้นตอนการผสมซึ่งเป็นการปรับปรุงคุณภาพด้วยการฉาบผิวและซึมเข้าในเนื้อ เพื่อเร่งการแข็งตัวของซีเมนต์ และปรับปรุงการเกาะยึดให้ดีขึ้นกว่าสภาวะที่ไม่ใช้สารเคมี (ใช้น้ำอย่างเดียว) สารละลายที่นิยมนำมาใช้ เช่น สารละลายอลูมิเนียมซัลเฟต ( $Al_2(SO_4)_3$ ), สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ( $CaCl_2$ ), และสารละลายโซเดียมซิลิเกต ( $Na_2SiO_3$ ) เป็นต้น

การดำเนินการออกแบบอัตราส่วนแผ่นใยอัดซีเมนต์จากเส้นใยต้นผักตบชวา(ใบและก้าน)ที่มีการผสมสารเคมีเร่งปฏิกิริยาการคงรูปหรือการก่อตัว จำนวน 20 อัตราส่วน ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 4 อัตราส่วนโดยน้ำหนักของแผ่นใยอัดซีเมนต์จากผักตบชวา

อัตราส่วน	ปูนซีเมนต์	ทราย	เส้นใย				
			ผักตบชวา	น้ำ	สาร	สาร	สาร
				ประปา	$Al_2(SO_4)_3$	$CaCl_2$	$Na_2SiO_3$
A1	1	0.2	0.000	0.3	-	-	-
A2	1	0.2	0.025	0.3	0.03	-	-
A3	1	0.2	0.05	0.3	0.03	-	-
A4	1	0.2	0.075	0.3	0.03	-	-
A5	1	0.2	0.100	0.3	0.03	-	-
B1	1	0.2	0.000	0.3	-	0.03	-
B2	1	0.2	0.025	0.3	-	0.03	-
B3	1	0.2	0.05	0.3	-	0.03	-
B4	1	0.2	0.075	0.3	-	0.03	-
B5	1	0.2	0.100	0.3	-	0.03	-
C1	1	0.2	0.000	0.3	-	-	0.03
C2	1	0.2	0.025	0.3	-	-	0.03
C3	1	0.2	0.05	0.3	-	-	0.03
C4	1	0.2	0.075	0.3	-	-	0.03
C5	1	0.2	0.100	0.3	-	-	0.03
D1	1	0.2	0.000	0.3	-	-	-
D2	1	0.2	0.025	0.3	-	-	-
D3	1	0.2	0.05	0.3	-	-	-
D4	1	0.2	0.075	0.3	-	-	-
D5	1	0.2	0.100	0.3	-	-	-

### 3.3 การเตรียมเส้นใย

- 1) แยกใบและรากออกจากต้นผักตบชวา และนำไปตากแดดให้แห้ง
- 2) ตัดลำต้นผักตบชวาให้มีความยาว ไม่เกิน 5 เซนติเมตร ก่อนนำไปปรับปรุงให้เหลือแต่เส้นใย เซลลูโลสด้วยวิธีทางเคมี
- 3) ปรับปรุงเส้นใยต้นผักตบชวาโดยการต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น ร้อยละ 12 โดยใช้อัตราส่วนเส้นใยต่อสารละลาย เท่ากับ 1: 10 ทำการต้มในระบบเปิดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 – 2 ชั่วโมง

4) อบเส้นใยต้นผักตบชวาที่ปรับปรุงเส้นใยแล้ว ในเตาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้เส้นใยต้นผักตบชวาสำหรับนำไปใช้ขึ้นรูปแผ่นใยอัดซีเมนต์



รูปที่ 3.13 การชั่งน้ำหนักโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) สำหรับเตรียมสารละลาย



รูปที่ 3.14 การต้มน้ำประปาสำหรับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)



รูปที่ 3.15 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น ร้อยละ 12

### 3.4 การขึ้นรูป

- 1) เตรียมส่วนผสม ชั่งน้ำหนักและละลายสารเคมีต่างๆ ในน้ำประปาตามอัตราส่วนที่กำหนด
- 2) แยกเส้นใยให้ออกจากกัน เพื่อป้องกันการจับตัวกันขณะขึ้นรูปเป็นแผ่นใยอัดซีเมนต์ พร้อมเติมน้ำประปาบางส่วนที่ผสมสารเคมีลงในเส้นใย
- 3) ผสมส่วนผสมทั้งหมดด้วยมือในอ่างผสมจนเข้ากันดีโดยสามารถใช้มือกำส่วนผสมเป็นก้อนได้ หากผสมส่วนผสมในปริมาณมากๆ ให้ใช้เครื่องผสมคอนกรีต
- 4) ขึ้นรูปส่วนผสมในแบบหล่อและอัดด้วยเครื่องอัดแผ่นอัดซีเมนต์ โดยควบคุมให้มีความหนาแน่น 75 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- 5) เมื่อแผ่นใยอัดซีเมนต์คงตัวแล้ว นำไปบ่มในที่ร่มตามอายุการบ่มที่ต้องการ



รูปที่ 3.16 ชั่งน้ำหนักส่วนผสมสำหรับขึ้นรูปแผ่นใยอัดซีเมนต์ลงในอ่างผสม



รูปที่ 3.17 การผสมส่วนผสมสำหรับขึ้นรูปแผ่นใยอัดซีเมนต์ลงในอ่างผสม



รูปที่ 3.18 ส่วนผสมที่พร้อมสำหรับขึ้นรูปแผ่นใยอัดซีเมนต์



รูปที่ 3.19 การเทส่วนผสมลงในเครื่องอัดแผ่นอัดซีเมนต์





รูปที่ 3.20 แผ่นใยอัดซีเมนต์จากเส้นใยต้นผักตบชวาและตะแกรงเหล็ก



รูปที่ 3.21 แผ่นใยอัดซีเมนต์จากเส้นใยต้นผักตบชวาที่พร้อมนำไปทดสอบ

### 3.5 การทดสอบสมบัติ

การทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของแผ่นใยอัดซีเมนต์จากผักตบชวาในปีที่2 ยังคงทดสอบตามมาตรฐาน มอก.878-2537 เรื่องแผ่นขึ้นอัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูง (สมอ., 2537)การวิเคราะห์ผลจากการเติมสารเร่งการก่อตัวเพิ่มเติม ทั้งนี้ใช้ตัวอย่างทดสอบจำนวน 20 ตัวอย่างต่ออัตราส่วนต่อการทดสอบ ซึ่งประเภทของการทดสอบประกอบด้วย

- 1) ลักษณะทั่วไป ที่อายุการบ่ม 28 วัน
- 2) ความหนาแน่นที่อายุการบ่ม 28 วัน
- 3) ความชื้นที่อายุการบ่ม 28 วัน
- 4) สภาพนำความร้อนที่อายุการบ่ม 28 วัน
- 5) การพองตัวเมื่อแช่น้ำที่อายุการบ่ม 28 วัน

- 6) ความต้านทานแรงดัดที่อายุการบ่ม 28 วัน
- 7) มอดูลัสยืดหยุ่นที่อายุการบ่ม 28 วัน
- 8) ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ที่อายุการบ่ม 28 วัน



รูปที่ 3.22 การชั่งน้ำหนักแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาและตะแกรงเหล็ก



รูปที่ 3.23 การแช่น้ำแผ่นใยอัดซีเมนต์จากเส้นใยต้นผักตบชวาและตะแกรงเหล็ก



รูปที่ 3.24 การทดสอบความต้านทานแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นใยอัดซีเมนต์จากผักตบชวา  
ด้วยเครื่องทดสอบแรงกด (UTM)



รูปที่ 3.25 การทดสอบความต้านทานแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นใยอัดซีเมนต์จาก  
ต้นผักตบชวากับด้วยเครื่องทดสอบแรงกด (UTM)



รูปที่ 3.26 การทดสอบติดตั้ง



รูปที่ 3.27 การเทส่วนผสมในแบบทำแผ่นซีเมนต์ขนาด 60x120x1.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

ผลสมการทดสอบสมบัติทางกายภาพสมบัติทางกล และสภาพนำความร้อนของแผ่นใยอัดซีเมนต์ตามมาตรฐาน มอก.878-2537 เรื่องแผ่นขึ้นอัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูง (สมอ., 2537) สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังต่อไปนี้

#### 4.1 ผลการทดสอบลักษณะทั่วไป

เมื่อพิจารณาลักษณะทั่วไปของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาด้วยวิธีการสังเกตและการวัดขนาดโดยรวม สามารถนำมาประกอบเป็นผลการทดสอบลักษณะทั่วไป



รูปที่ 4.1 การวัดความหนาของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาและตะแกรงเหล็ก



รูปที่ 4.2 การวัดขนาดของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาและตะแกรงเหล็ก



**รูปที่ 4.3** แผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาขนาด 60x120x1.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร

สำหรับลักษณะทั่วไปของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาอัตราส่วนต่างๆ พบว่า มีลักษณะใกล้เคียงกันทุกสูตรโดยทั้งหมดสามารถนำไปใช้งานจริงได้จึงได้วิเคราะห์และเลือกผลจากการทดลองในปีที่ผ่านมาโดยพิจารณาจากความพองตัวเมื่อแช่น้ำ มอดูลัสยืดหยุ่น ความหนาแน่นของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมผักตบชวาด้วยการใช้สูตร B4 และใช้ร่วมกับตะแกรงเหล็กขนาดต่าง ๆ ดังตารางที่ 5

**ตารางที่ 5** ผลการทดสอบลักษณะทั่วไปของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาและตะแกรงเหล็ก

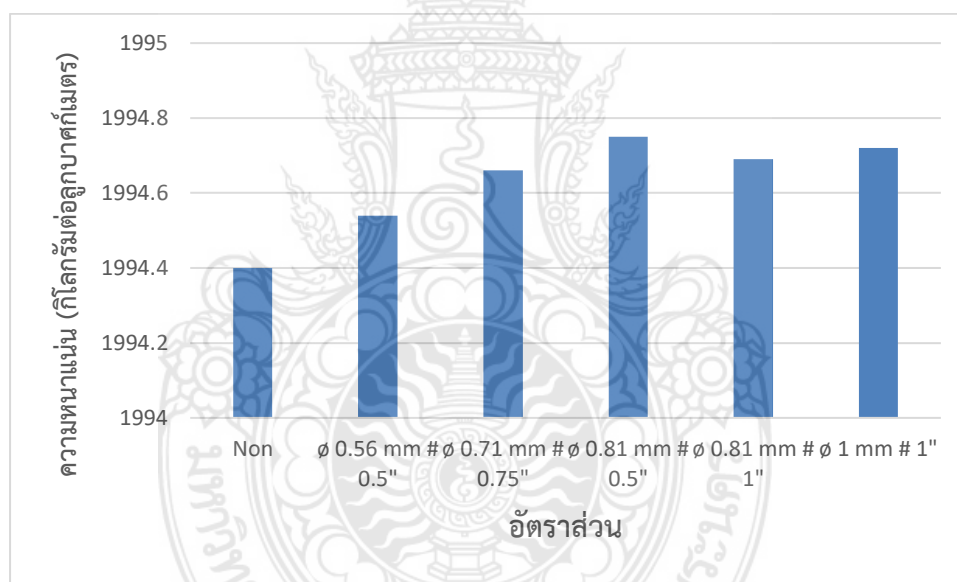
สูตร	ลักษณะทั่วไป
(มอก. 878-2537)	ความหนา ความแน่น และความเรียบสม่ำเสมอ ขอบต้องตั้งฉากกับระนาบผิว
Non	ผ่าน
Ø0.56 mm #0.5"	ผ่าน
Ø0.71 mm #0.75"	ผ่าน
Ø0.81 mm #0.5"	ผ่าน
Ø0.81 mm #1"	ผ่าน
Ø 1 mm # 1"	ผ่าน

ผลมตารางที่ 5 พบว่าทุกสูตรของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวา ขนาดเส้นใยผักตบชวามีขนาดเล็ก มีลักษณะอ่อนนิ่มจะประสานตัวกับวัสดุอื่นได้ดี โดยลักษณะผ่านตามที่มาตรฐาน มอก.878-2537 เรื่องแผ่นขึ้นอัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูง(สมอ., 2537) กำหนดคือ ขอบและผิวหน้าของแผ่นใยอัดซีเมนต์ทั้งหมดมีความเรียบและได้ฉาก ทั้งนี้เป็นผลมาผสมปริมาณของเส้นใยที่ผสมไม่มาก

จนเกินไป ทำให้ปูนซีเมนต์สามารถยึดเกาะและเชื่อมประสานผิวของแผ่นใยอัดได้ดี เหล็กตะแกรงที่เสริมในแผ่นใยไม้อัดซีเมนต์มีการเว้นระยะหุ้มไว้ด้านละ 5 มิลลิเมตร ทำให้การเสริมเหล็กตะแกรงดังกล่าวไม่มีผลต่อลักษณะของแผ่นใยไม้อัดซีเมนต์ อย่างไรก็ตามในระยะเวลา 24 ชั่วโมง หลังผสมการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาก็เป็นระยะเวลาที่เพียงพอต่อการแข็งตัวของชิ้นงาน แม้ว่ามีการผสมสารเคมีเร่งการก่อตัวหรือไม่ก็ตาม การผสมสารเร่งการก่อตัวจึงมีผลต่อสมบัติทางกายภาพหรือทางกลมากกว่าระยะเวลาการแข็งตัวของแผ่นใยอัดซีเมนต์

#### 4.2 ผลการทดสอบความหนาแน่น

ความหนาแน่นของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวา ทั้ง 6 แบบทั้งที่มีการใช้เหล็กตะแกรงหรือไม่ใช้เหล็กตะแกรงเป็นวัสดุเสริมความแข็งแรง สามารถสรุปผล โดยมีผลการทดสอบได้ ดังรูปที่ 4.4



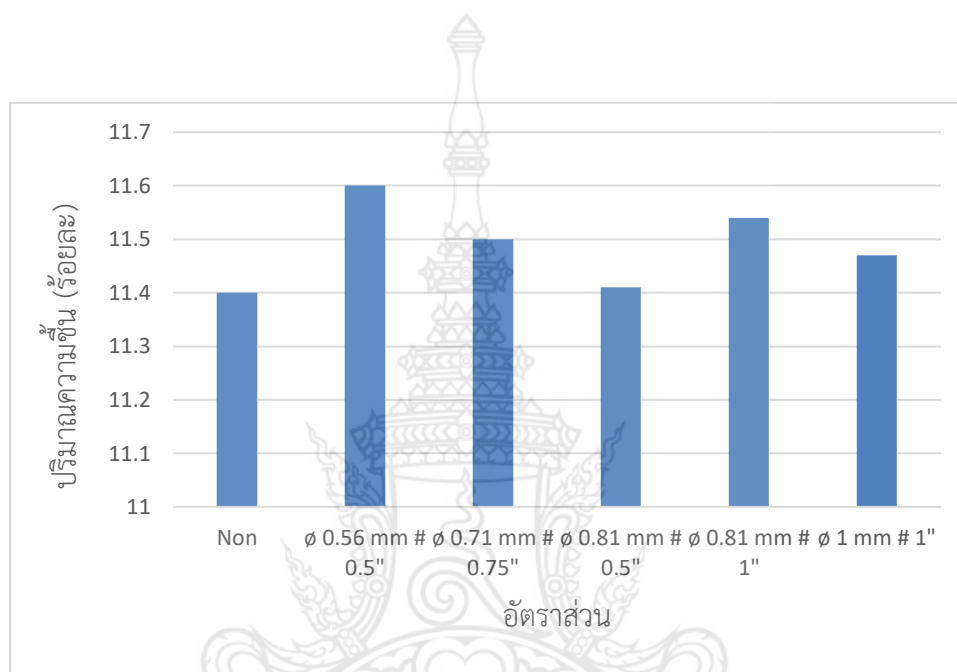
รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบความหนาแน่นของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาและตะแกรงเหล็ก

จากการผสมที่ทดสอบในรูปที่ 4.4 พบว่า ความหนาแน่นแผ่นใยไม้อัดซีเมนต์ความแข็งแรงสูงจากเส้นใยต้นผักตบชวาและตะแกรงเหล็กมีความแตกต่างตามขนาดและความถี่ตะแกรงที่นำมาเสริมภายในแผ่นใยไม้อัดซีเมนต์ เนื่องจากตะแกรงเหล็กมีความหนาแน่นสูง 7,850 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ทักษิณและอัครเวช, 2553) สูงกว่าความหนาแน่นของแผ่นใยไม้อัดซีเมนต์จากเส้นใยผักตบชวามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,994.63 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบว่าเมื่อผสมความแตกต่างของปริมาณเส้นใย มีผลต่อขนาดคละและการเรียงตัวของส่วนผสม (วิจิตร, 2543) 1,994.4 กรณีไม่มีตะแกรงเหล็กมีความหนาแน่นต่ำสุด ส่วนค่าสูงสุดที่ตะแกรงเหล็กช่องห่าง ∅ 0.81mm #0.5" รองลงมาคือช่องห่างตะแกรงเหล็กที่ ∅ 1mm # 1"

โดยเฉลี่ยของกราฟเห็นได้ว่ามีความหนาแน่นอยู่ในช่วงมาตรฐาน คือ ระหว่าง 1,994.63 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (สมอ., 2537)

#### 4.3 ผลการทดสอบความชื้น

สำหรับปริมาณความชื้นของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยผักตบชวาที่ขึ้นรูป สามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังนี้



#### รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบปริมาณความชื้นของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาตะแกรงเหล็ก

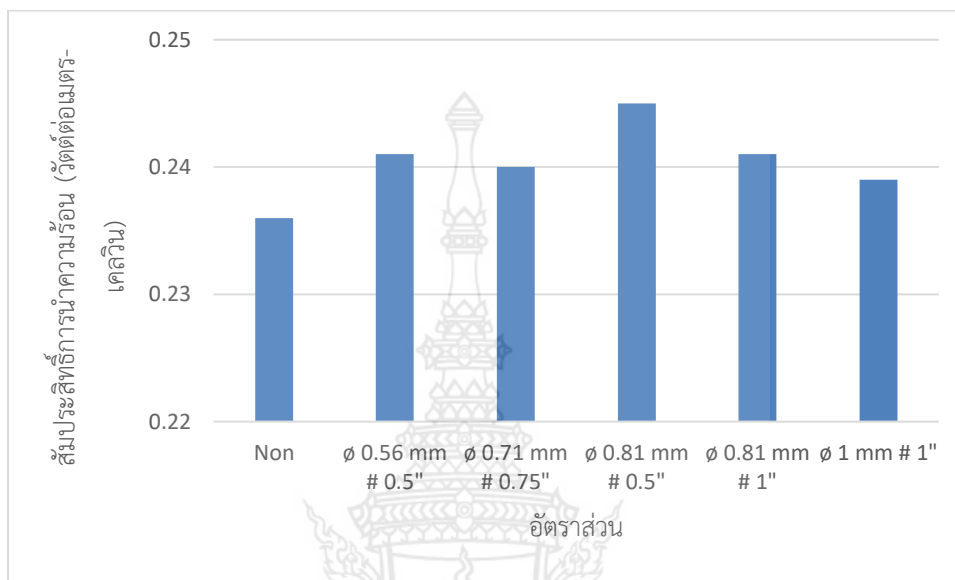
พบว่า ผสมสูตรปริมาณความชื้นของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาที่แสดงในรูปที่ 4.5 แผ่นใยอัดซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาที่มีความชื้นจากการผสมเส้นใยต้นผักตบชวา เนื่องจากโดยธรรมชาติผักตบชวามีปริมาณน้ำภายในเมื่อลอยบนผิวน้ำ โดยปริมาณความชื้นของแผ่นใยอัดซีเมนต์ทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกัน และอยู่ในช่วงที่มาตรฐาน มอก.878-2537 เรื่องแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูง (สมอ., 2537) กำหนด คือ อยู่ระหว่างร้อยละ 9 ถึง 15 โดยแผ่นใยอัดที่ขึ้นรูปทั้งหมดมีค่าปริมาณความชื้นอยู่ระหว่าง ร้อยละ 11.4 ถึง 11.6 เนื่องจากเส้นใยต้นผักตบชวามีพื้นผิวที่ดูดซับความชื้นขณะทำการขึ้นรูปแผ่นใยอัดซีเมนต์ได้ แต่โดยเฉลี่ยค่าทดสอบที่ได้อยู่ที่ 11.49 (ร้อยละ) อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

#### 4.4 ผลการทดสอบสภาพการนำความร้อน

สภาพนำความร้อน หรือเรียกอีกอย่างว่า สัมประสิทธิ์การนำความร้อน เป็นสมบัติที่แสดงถึงความสามารถในการถ่ายเทอุณหภูมิของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาหากแผ่นใยอัดซีเมนต์มี



สภาพนำความร้อนต่ำ แสดงว่ามีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี แต่ถ้ามีสภาพนำความร้อนสูง ก็แสดงว่าแผ่นใยอัดซีเมนต์มีการนำความร้อนที่ดี หรือไม่มีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนซึ่งผลการทดสอบสภาพนำความร้อนของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาที่มีตะแกรงเหล็กภายในสามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.6

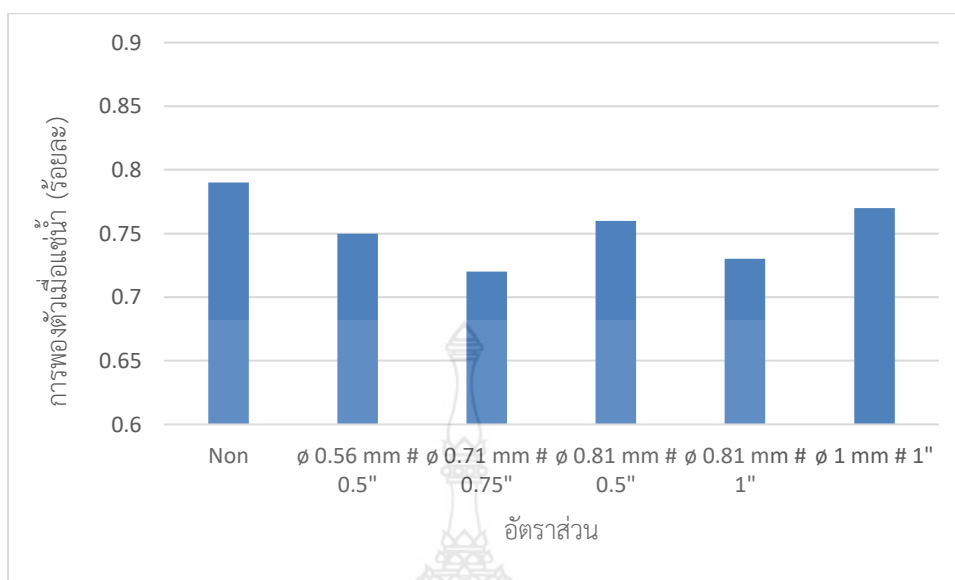


รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบสภาพนำความร้อนของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาและตะแกรงเหล็ก

สภาพการนำความร้อนของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวา ตามรูปที่ 4.6 พบว่า ค่าสภาพค่าสภาพการนำความร้อนหรือสัมประสิทธิ์การนำความร้อนทั้งหมด มีความใกล้เคียงกันและมีค่าต่ำกว่าที่มาตรฐาน มอก.878-2537 เรื่องแผ่นซีเมนต์อัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูง (สมอ., 2533) กำหนด คือไม่เกิน 0.25 วัดต่อเมตร-เคลวิน ทั้งนี้ค่าสภาพการนำความร้อนที่ได้ แปรผันตรงตามความหนาแน่น โดยแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยผักตบชวาที่มีความหนาแน่นต่ำ มีค่าสภาพการนำความร้อนต่ำ ส่วนที่มีความหนาแน่นสูง ก็มีค่าสภาพการนำความร้อนเช่นเดียวกัน (กิตติศักดิ์, 2544) เป็นผลมาจากเส้นใยต้นผักตบชวาเป็นวัสดุที่มีค่าสภาพการนำความร้อนที่ต่ำมาก ตลอดจนการเรียงตัวของกากและเส้นใยในการขึ้นรูปแผ่นใยอัดซีเมนต์ ยิ่งก่อให้เกิดช่องว่างภายในเนื้อวัสดุ ซึ่งช่วยเพิ่มความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้อีก ซึ่งสรุปได้ว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

#### 4.5 ผลการทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำ

การพองตัวของของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาเมื่อแช่น้ำนั้น เป็นสมบัติที่มีความสำคัญต่อการใช้งาน เนื่องผสมแผ่นใยอัดซีเมนต์นิยมนำมาติดตั้งบริเวณภายนอกอาคาร ซึ่งต้องสัมผัสฝนและความชื้นค่อนข้างมาก ซึ่งผลการทดสอบการพองตัวของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาและตะแกรงเหล็กเมื่อแช่น้ำสามารถสรุปได้ในรูปที่ 4.7 ดังนี้

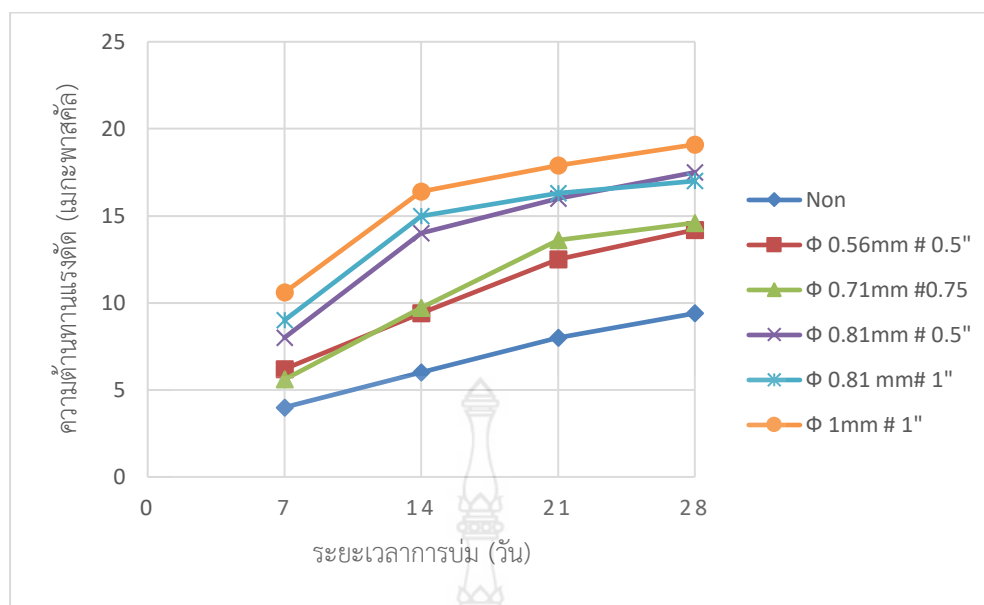


**รูปที่ 4.7** ผลการทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาและตะแกรงเหล็ก

การพองตัวเมื่อแช่น้ำของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวามีตะแกรงเหล็กรูปที่ 4.7 พบว่า แผ่นใยอัดซีเมนต์ทั้งหมดมีการพองตัวเมื่อแช่น้ำตามมาตรฐาน มอก.878-2537 เรื่องแผ่นขึ้นอัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูง (สมอ., 2537) ทั้งนี้การพองตัวเมื่อแช่น้ำของแผ่นใยอัดซีเมนต์ทั้งหมด มีค่าใกล้เคียงกัน และอยู่ในช่วงที่มาตรฐานกำหนด คือ การพองตัวต้องมีค่าไม่เกิน ร้อยละ 2 เนื่องจากแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาภายในเสริมด้วยตะแกรงเหล็กมีปริมาณของปูนซีเมนต์ที่มากเพียงพอในการยึดเหนี่ยวเนื้อของแผ่นใยอัดซีเมนต์ไม่ให้พองตัวมากเมื่อมีการแช่น้ำได้ส่วนสารเคมีเร่งการก่อตัวไม่มีผลต่อการพองตัวเมื่อแช่น้ำเช่นเดียวกับสมบัติทางกายภาพอื่นๆ

#### 4.6 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัด

ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาซึ่งเป็นสมบัติทางกลที่สำคัญในการแสดงถึงความสามารถในการรับแรงดัดขณะใช้งานโดยสามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังรูปที่ 4.8

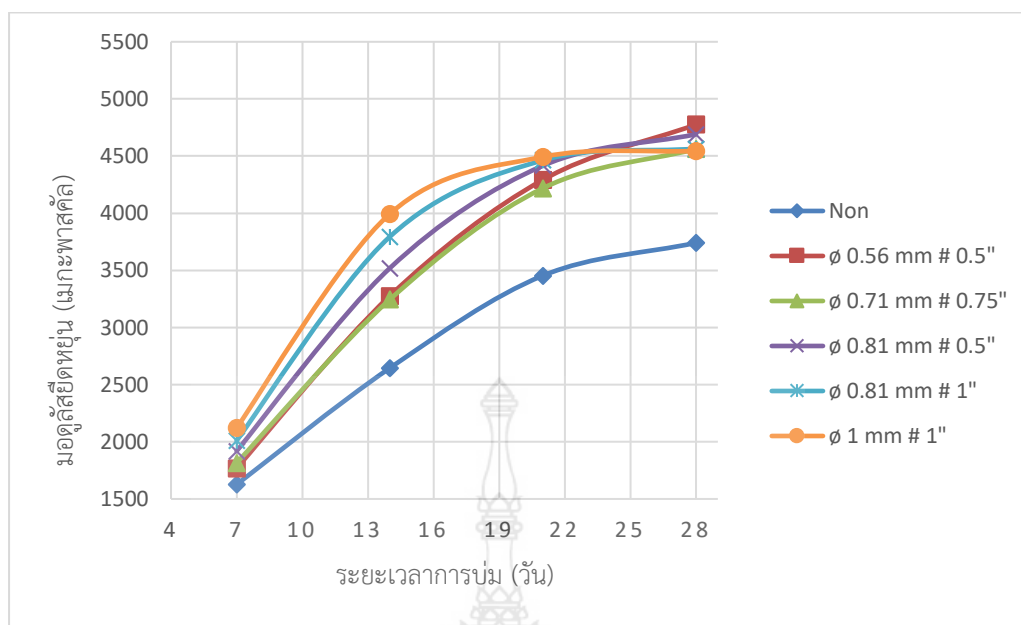


รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาตะแกรงเหล็ก

จากรูปที่ 4.8 พบว่า ความต้านทานแรงดึงของแผ่นใยอัดซีเมนต์จากการผสมเส้นใยต้นผักตบชวาทุกอัตราส่วนมีความแตกต่างกัน เป็นผลจากความแข็งแรงเฉพาะตัว รูปร่างลักษณะ ความสามารถในการยึดเหนี่ยว ตลอดจนการเรียงตัวของเส้นใยต้นผักตบชวา อีกทั้งมีตะแกรงเหล็กเสริมความแข็งแรงอยู่ภายใน มีความต้านทานแรงดึงที่สูงที่สุด  $\varnothing 1\text{mm} \#1$  รองลงมาคือ  $\varnothing 0.81\text{mm} \#0.5$  สูตร เป็นอัตราส่วนที่มีความต้านทานแรงดึงต่ำที่สุด ตามลำดับ เมื่อเทียบกับมาตรฐาน มอก.878-2537 เรืองแผ่นซีเมนต์อัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูง (สมอ., 2537) ที่กำหนดความต้านทานแรงดึง ต้องไม่น้อยกว่า 9 เมกะพาสคัล เห็นได้ชัดว่าที่สามารถผ่านตามมาตรฐานกำหนดได้ ทั้งนี้ความต้านทานแรงดึงเป็นค่าที่มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่น กล่าวคือ แผ่นใยอัดซีเมนต์ที่มีความหนาแน่นสูงมีพื้นที่รับแรงมาก ทำให้สามารถรับแรงได้มาก ส่วนแผ่นใยอัดซีเมนต์ที่มีความหนาแน่นต่ำก็มีพื้นที่รับแรงน้อยและสามารถรับแรงได้น้อยตามไปด้วย (Odozi et al., 1986) สำหรับผลกระทบของชนิดสารเร่งการก่อตัวที่ใช้ สอดคล้องกับการใช้สารเดียวกันนี้ในการผลิตแผ่นซีเมนต์อัดซีเมนต์จากต้นยูคาลิปตัส สายพันธุ์ I. Eucalypts (Dwight et al., 2000) และสายพันธุ์ E. pellita (Cabangon et al., 1998) ซึ่งแคลเซียมคลอไรด์ ( $\text{CaCl}_2$ ) มีความต้านทานแรงดึงสูงกว่าการใช้อลูมิเนียมซัลเฟต ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) และที่ไม่มีการใช้สารเร่งการก่อตัว

#### 4.7 ผลการทดสอบมอดูลัสยืดหยุ่น

สำหรับผลการทดสอบมอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นชวา สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.8

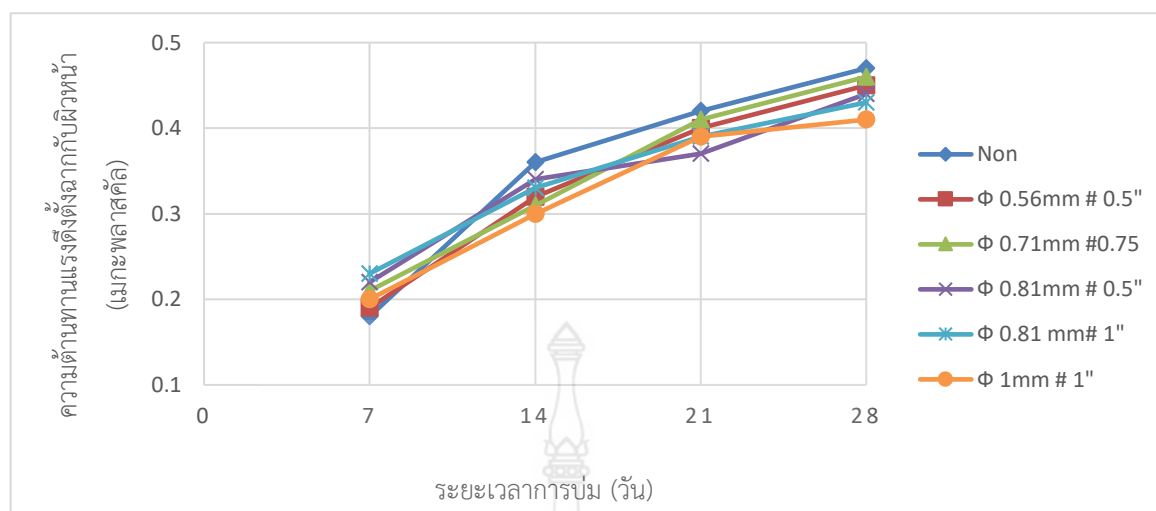


รูปที่ 4.9 ผลการทดสอบมอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวา

ส่วนรูปที่ 4.9 พบว่า ผลการทดสอบมอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาและตะแกรงเหล็ก มีมอดูลัสยืดหยุ่นมากที่สุดที่บ่ม 28 วันของตะแกรงเหล็กขนาด  $\varnothing 0.56\text{mm}$  #0.5” รองลงมาคือ  $\varnothing 0.81\text{mm}$  #0.5” และ  $\varnothing 1\text{mm}$  #1” เป็นสูตรที่มีมอดูลัสความยืดหยุ่นน้อยที่สุด ตามลำดับ ที่มีค่ามอดูลัสยืดหยุ่นไม่น้อยกว่า 3,000 เมกะพาสคัล ซึ่งผ่านตามที่มาตรฐาน มอก.878-2537 เรื่องแผ่นขึ้นอัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูง กำหนด (สมอ., 2537) นอกจากนี้ มอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวามีความสอดคล้องในทิศทางเดียวกับสมบัติอื่นๆ ที่แสดงถึงความแข็งแรง ได้แก่ ความต้านทานแรงดัด และความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (Bledzki and Gassan, 1999) ก็คงสอดคล้องกับการผลิตแผ่นขึ้นอัดซีเมนต์ผสมต้นยูคาลิปตัส สายพันธุ์ I. Eucalypts (Dwight et al., 2000) และสายพันธุ์ E. pellita (Cabangon et al., 1998)

#### 4.8 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า เป็นสมบัติทางกลของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมผสมเส้นใยต้นผักตบชวาที่มีความสำคัญเช่นเดียวกับความต้านทานแรงดัด เพราะเป็นสมบัติที่บ่งบอกความทนทานและความแข็งแรงของผิวหน้า ซึ่งสามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังนี้



**รูปที่ 4.10** ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาและตะแกรงเหล็ก

ตามมาตรฐาน มอก.878-2537 กำหนดให้แผ่นใยไม่อัดซีเมนต์จาก ต้องมีความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าสูงกว่า 0.4 เมกะพาสคัล (สมอ., 2537) โดยมีผลการทดสอบดังรูปที่ 4.10 พบว่า การขึ้นรูปเป็นแผ่นใยไม่อัดซีเมนต์ใช้ตะแกรงเหล็กขนาดต่าง ๆ เป็นผลให้แผ่นใยไม่อัดซีเมนต์ที่ได้มีความต้านทานแรงดึงที่ลดลงแตกต่างกัน เป็นผลมาจากความแข็งแรง รวมทั้งการกระจายตัวและช่องว่างภายในแผ่นใยไม่อัดซีเมนต์เช่นเดียวกับความต้านทานแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น (วิจิตรรา, 2543) จากผลการทดสอบที่ได้มีความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเกาะกลุ่มกัน โดยเฉพาะขนาดเส้นตะแกรงเหล็กที่เล็กกับช่วงห่างของช่องตะแกรง ส่วนเส้นตะแกรงเหล็กที่  $\text{Ø}1\text{mm} \# 1''$  เป็นอัตราส่วนที่มีความต้านทานแรงดึงต่ำที่สุดตามลำดับ นอกจากนี้ และแผ่นใยไม่อัดที่ไม่ใช้สารเร่งการก่อตัวมีแนวโน้มความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าต่ำที่สุด ตามลำดับ เช่นเดียวกับความต้านทานแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น

#### 4.9 การสร้างแบบจำลองการใช้งานจริง

แผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาและตะแกรงเหล็ก  $\text{Ø}0.81\text{mm} \#0.5''$  เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาใช้ก่อสร้างผนัง เนื่องจากมีสมบัติทางกายภาพและทางกลตามมาตรฐาน มอก. 878-2537 (สมอ., 2537) เป็นอัตราส่วนที่มีปริมาณเส้นใยต้นผักตบชวา คือ ร้อยละ 75 ของน้ำหนักเส้นใยทั้งหมด ทำการเร่งการก่อตัวด้วยแคลเซียมคลอไรด์ ( $\text{CaCl}_2$ ) ซึ่งผลการสร้างแบบจำลองการใช้งานจริงพบว่า แผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาและตะแกรงเหล็กมีความเหมาะสมแม้ว่าค่าการทดสอบบางกรณีจะอยู่ประมาณกลาง แต่โดยรวมแล้วสามารถยึดติดกับโครงคร่าวได้ดี น้ำหนักเบา และใช้งานเป็นผนังได้เช่นเดียวกับแผ่นอัดซีเมนต์ทั่วไป

#### 4.10 การถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่กลุ่มเป้าหมายสำหรับนำไปใช้ประโยชน์

ผลผสมการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ได้ผสมโครงการ “การใช้ประโยชน์ผสมเส้นใยผักตบชวาในผลิตภัณฑ์แผ่นใยอัดซีเมนต์ภายนอกอาคารสำหรับวิสาหกิจชุมชน” ให้แก่กลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ หน่วยงานภาครัฐ หน่วยงานภาคเอกชน ชุมชน บริษัท และห้างร้านต่าง ๆ นั้น พบว่า มีกลุ่มเป้าหมายในส่วนผู้ประกอบการสนใจรับการถ่ายทอดเทคโนโลยี และได้นำไปประยุกต์ใช้เบื้องต้นแล้ว จำนวน 1 ราย คือ บริษัทยูนิค เซอร์วิส จำกัด



## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

โครงการ “การใช้ประโยชน์ผสมเส้นใยผักตบชวาในผลิตภัณฑ์แผ่นใยอัดซีเมนต์ภายนอกอาคารสำหรับวิสาหกิจชุมชน” ในปีที่ 1 เกี่ยวกับการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยทดแทนด้วยสารเคมี การเร่งการก่อตัวของแผ่นอัดซีเมนต์ด้วยสารเคมี และการสร้างแบบจำลองการใช้งานจริง สามารถสรุปผลและข้อเสนอแนะได้ ดังต่อไปนี้

#### 5.1 สรุปผล

สรุปผลการดำเนินงานทั้งหมดของโครงการ สามารถสรุปผลแบ่งตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้ ดังนี้

1) ผลิตภัณฑ์แผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาสามารถผลิตเป็นวัสดุผนังที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนที่ดี โดยสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำที่สุดมีค่าเพียง 0.235 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน นอกจากนี้ส่วนผสมนี้ทุกสูตรยังมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำกว่า 0.25 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน ตามที่มาตรฐาน มอก.878-2537 เรื่องแผ่นขึ้นอัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูงกำหนดไว้

2) ผลการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของแผ่นใยไม้อัดซีเมนต์และเส้นใยต้นผักตบชวา พบว่าที่ใช้กับตะแกรงเหล็ก  $\varnothing 0.81\text{mm} \#0.5$  มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานมากที่สุด โดยมีปริมาณของเส้นใยต้นผักตบชวา ร้อยละ 75 ของน้ำหนักเส้นใยที่ผสมลงในแผ่นใยไม้อัดซีเมนต์ทั้งหมด รวมทั้งมีการใช้แคลเซียมคลอไรด์ ( $\text{CaCl}_2$ ) เป็นสารเร่งการก่อตัว อัตราส่วนดังกล่าวมีสมบัติทางกายภาพและทางกลที่ดีที่สุด และผ่านตามาตรฐาน มอก.878-2537 เรื่องแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูง กำหนด

3) เส้นใยต้นผักตบชวาและสารเร่งการก่อตัว ที่ผสมมีผลต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของแผ่นใยอัดซีเมนต์ โดยปริมาณผสมเส้นใยต้นผักตบชวาที่ทำให้สมบัติทางกายภาพและทางกลดี แต่มีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนต่ำ ส่วนสารเร่งการก่อตัวชนิดแคลเซียมคลอไรด์ ( $\text{CaCl}_2$ ) เป็นสารที่ทำให้แผ่นใยอัดซีเมนต์มีแนวโน้มสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลดีที่สุด รองลงมาคือ อลูมิเนียมซัลเฟต ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ), โซเดียมซิลิเกต ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) และแผ่นใยอัดที่ไม่ใช้สารเร่งการก่อตัวมีแนวโน้มสมบัติทางกายภาพและทางกลต่ำ ตามลำดับ ทั้งนี้เมื่อเทียบกับมาตรฐาน มอก.878-2537 เรื่องแผ่นขึ้นอัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูง ที่ผ่านมาตรฐานดังกล่าว

4) ผลิตภัณฑ์แผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมเส้นใยต้นผักตบชวาเป็นวัสดุผนังป้องกันความร้อนที่มีราคาถูก และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากผสมวัตถุดิบส่วนใหญ่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีปริมาณมาก รวมทั้งกระบวนการผลิตยังไม่แตกต่างผสมการผลิตแผ่นขึ้นอัดซีเมนต์ทั่วไป

5) ผลการทดลองใช้งานจริง พบว่า การนำส่วนผสมเส้นใยต้นผักตบชวามาทดแทนขึ้นวัสดุสำหรับขึ้นรูปเป็นแผ่นใยอัดซีเมนต์นั้น มีความเป็นไปได้สูงทั้งในด้านการใช้งานและการผลิตในเชิงพาณิชย์เนื่องจากส่วนผสมแผ่นใยอัดที่ได้มีสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนตามมาตรฐาน มอก.878-2537 เรื่องแผ่นขึ้นอัดซีเมนต์กำหนด

6) หากมีการนำผลงานวิจัยนี้ไปใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย จะสามารถช่วยสร้างมูลค่าผสมผสานใยต้นผักตบชวาที่มีจำนวนมากในท้องถิ่นได้ดีเพราะผลิตภัณฑ์แผ่นใยอัดซีเมนต์กำลังเป็นที่ต้องการของอุตสาหกรรมการก่อสร้างในปัจจุบัน

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาต่อไป ควรพัฒนาให้แผ่นใยอัดซีเมนต์ผสมใยต้นผักตบชวาสามารถรับแรงดัดได้สูงขึ้น โดยการเสริมเส้นใยหรือเส้นลวดที่มีความแข็งแรง เพื่อให้แผ่นใยอัดดังกล่าวสามารถใช้งานได้หลากหลาย และมีความทนทานสูง





## เอกสารอ้างอิง

- กิตติศักดิ์ บัวศรี, 2544. *การผลิตแผ่นฉนวนป้องกันความร้อนผสมฟางข้าว*, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- กรมการค้าภายใน, 2550. *ผลิตทางการเกษตร ปี 2551*, กรมการค้าภายใน.
- กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์, 2539ก. *การส่งออกข้าวโพดฝักอ่อนสดและกระป๋อง*, ฝ่ายข้อมูลส่งเสริมการเกษตร กองแผนงาน กรมส่งเสริมการเกษตร.
- กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์, 2539ข. *การส่งออกข้าวโพดหวานแช่แข็งและกระป๋อง*, ฝ่ายข้อมูลส่งเสริมการเกษตร กองแผนงาน กรมส่งเสริมการเกษตร.
- กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2539. *อัปเดตซีเมนต์*, กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- ขวัญชัย กุลสันติธำรง, 2549. *สภาวะโลกร้อน: สัญญาณเตือนภัยผสมธรรมชาติก่อนที่โลกจะถึงกาลอวสาน*, Update, ฉบับเดือนพฤศจิกายน 2549, 37 – 43 หน้า.
- จินดา สนิทวงศ์ ณ อยุธยา, 2539. *ข้าวโพดและเศษเหลือผสมข้าวโพดเป็นอาหารสัตว์*, กองอาหารสัตว์ กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 35 หน้า.
- จินดา สนิทวงศ์ ณ อยุธยา และอุเทน รุ่งเรือง, 2534. *การใช้ต้นและเปลือกข้าวโพดฝักอ่อนเป็นอาหารหลักในโคกำลังรีดนม*, วารสารเกษตร, ปีที่ 7 ฉบับที่ 2, 95 – 105 หน้า.
- โชติชัย สุวรรณภรณ์, 2550. *ผลกระทบของ Climate Change ต่อระบบเศรษฐกิจไทย*, หนังสือพิมพ์โพสต์ทูเดย์: การเงิน (มองรอบด้าน), ฉบับวันศุกร์ที่ 18 พฤษภาคม พ.ศ. 2550, หน้า A18.
- ชีวารัตน์ ม่วงพัฒน์, 2550. *เส้นใยธรรมชาติสำหรับวัสดุผนังอาคาร*, คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ธวัช จิรายุส, 2528. *รายงานการทดลองทำแผ่นอัดซีเมนต์ผสมยูคาลิปตัสคามาเลนซิส*, เอกสารวิชาการ เล่มที่ 2 การประชุมป่าประจำปี 2528, หน้า 388 – 345.
- ธวัช จิรายุส, 2535. *การจับยึดปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ของยูคาลิปตัส*, วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ฉบับที่ 7, ประจำเดือนมกราคม – เมษายน 2535, หน้า 85.
- ธวัช จิรายุส, 2551. *ปัญหาวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอัดประกอบ*, สำนักวิชาการป่า กรมป่า.
- บริษัท วิบูลย์วัฒนอุตสาหกรรม จำกัด, 2552. *แผ่นอัดซีเมนต์*, รายงานผลการวิจัยทุนรัชดาภิเษกสมโภช, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ประชาชาติธุรกิจ, 2550. *ไทยระอุ “โลกร้อน” วิกฤตแล้งถล่มอีสาน 22 ล้านไร่*, ประชาชาติธุรกิจ, ฉบับวันที่ 16 – 18 เมษายน 2550, หน้า 1, 17.
- เพ็ญปรีชา ณรงค์, 2551. *มันสำปะหลัง: วัสดุเส้นใยแหล่งใหม่*, กองวิจัยผลิตผลป่า กรมป่า.

- ภาวดี เมธะคานนท์, 2548. สมบัติของแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดผลิตผสมกาวที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.
- วิจิตร เจริญชัย, 2543. การศึกษาการใช้เส้นใยธรรมชาติเป็นวัสดุเสริมแรงในโพลีโพรพิลีน, วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- วรรณ อุ่นจิตติชัย, 2547. เมื่อสารพัดเศษวัสดุเหลือทิ้งกลายร่างเป็น (เสมือน) , *นวัตกรรม*, ปีที่ 5 ฉบับวันที่ 17 มีนาคม 2547.
- วรรณ อุ่นจิตติชัย, 2552. *โลกเกษตร : เส้นทางของเศษฟางข้าว...วัสดุทดแทนที่มีอนาคต*, สำนักวิจัยและการจัดการป่าและผลิตผลป่า กรมป่า.
- ศักดิ์สิทธิ์ ศรีแสง, อุวิทย์ สุวคันชกุล, และสุดใจ เหง้าสีไพร, 2550. การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และเส้นใยมะพร้าว, *วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา*, ปีที่ 1 ฉบับที่ 1, ประจำเดือนมกราคม – มิถุนายน 2550, หน้า 77-87.
- สถาบันคลังสมองของชาติ, 2548. *Policy Brief*, ฉบับประจำเดือนพฤศจิกายน 2548, ปีที่ 2 ฉบับที่ 3.
- สำนักส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (สสอ.), 2550. ฉนวนความร้อน, *กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน*, เข้าถึงได้ผสม <http://www2.dede.go.th/dede/homesafe/book/acc.htm>.
- สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม (สมอ.), 2528. *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมวลผสมคอนกรีต (มอก. 566-2528)*, กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร.
- สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม (สมอ.), 2532. *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 1 ข้อกำหนดคุณภาพ (มอก. 15 เล่ม 1-2532)*, กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร.
- สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม (สมอ.), 2537. *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นขึ้นอัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูง (มอก. 878-2537)*, กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพมหานคร.
- สยามรัฐสัปดาห์วิจารณ์, 2550. ประชุมภาวะโลกร้อนที่บาห์ลี “ไปไม่ถึงดวงดาว” อีกตามเคย, *สยามรัฐสัปดาห์วิจารณ์*, ฉบับวันที่ 14 – 20 ธันวาคม 2550. หน้า 27.
- สุวัฒน์ เทพอารักษ์, 2550. การแก้ไขปัญหาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมตามแนวพระราชดำริ, ฉบับวันที่ 30 พฤศจิกายน - 6 ธันวาคม 2550, *สยามรัฐสัปดาห์วิจารณ์*, หน้า 12-13.
- American Society for Testing and Materials (ASTM), 2010. *Annual Book of ASTM Standard*, Philadelphia.
- Bledzki, A.K. and Gassan, J., 1999. Composites Reinforced with Cellulose based Fibers. *Progress in Polymer Science*, Vol.24, pp. 221 – 274.

- Cabangon, R.J., Eusebio, D.A., Cunningham, R., Donnelly, C. and Evans, P.D., 1998. Eucalypts and acacia differ in their response to the accelerators used in the manufacture of wood wool cement board, *Proceedings of the Fourth Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium*, Bogor, Indonesia, pp. 437 – 445.
- Dwight A. Eusebio, Florence P. Soriano, Rico J. Cabangon and Philip D. Evans, 2000. Manufacture of low-cost wood-cement composites in the Philippines using plantation-grown Australian species: I. Eucalypts. *Wood-cement composites in the Asia-Pacific Region*, Proceedings of a workshop held at Rydges Hotel, Canberra, Australia, 10 December 2000, pp. 105 – 114.
- Odozi, T.O., Akaranta, O., and Ejike, P.N., 1986. Particle boards from Agricultural Wastes, *In Agricultural Wastes*, Vol.16 No.3, pp. 237 – 240.



## ภาคผนวก

ก มาตรฐาน มอก.878-2537 เรื่องแผ่นซีเมนต์อัดขึ้นรูป: ความหนาแน่นสูง





## ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 1999 (พ.ศ. 2537)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. 2511

เรื่อง แก้ไขมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง (แก้ไขครั้งที่ 1)

โดยที่เป็นการสมควรแก้ไขเพิ่มเติมมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง มาตรฐานเลขที่ มอก.878-2532

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง มาตรฐานเลขที่ มอก. 878-2532 ท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1516 (พ.ศ.2532) ลงวันที่ 3 สิงหาคม พ.ศ.2532 ดังต่อไปนี้

1. ให้แก้หมายเลขมาตรฐานเลขที่ “มอก. 878-2532” เป็น “มอก. 878-2537”
2. ให้ยกเลิกความในข้อ 5.2 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

“5.2 การทำ

ใช้เครื่องจักรย่อยไม้ออกเป็นชั้นไม้แยกชั้น ไม้ให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ นำไปผสมกับปูนซีเมนต์ แล้วนำไปโรยและอัดเป็นแผ่นในแบบ โดยทิ้งไว้ให้ปูนซีเมนต์ก่อตัวจึงถอดแบบออก หากใส่สารผสมเพิ่มเติมไม่ทำให้ความแข็งแรงหรือความคงทนของแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์เสียไป”

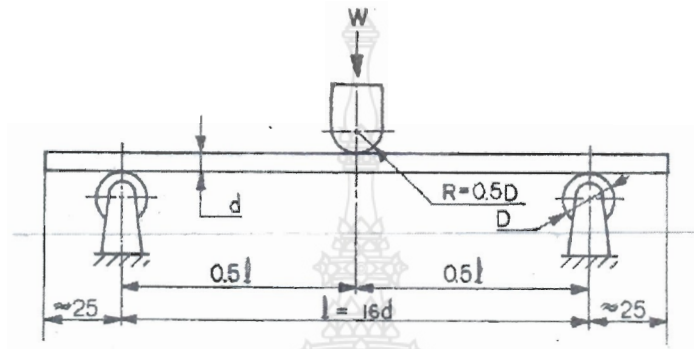
3. ให้ยกเลิกความในข้อ 6.4 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน

“6.4 สภาพนำความร้อน

ต้องมีค่าเฉลี่ยไม่เกิน 0.25 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน

การทดสอบให้ปฏิบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบสมบัติการเป็นฉนวนความร้อน (ในกรณีที่ยังไม่มีการประกาศกำหนดมาตรฐานดังกล่าว ให้เป็นไปตาม BS 874 Part 2 หรือ ASTM C 177)”

4. ให้ยกเลิกความในข้อ 9.3.1.2 และให้ใช้ความต่อไปนี้แทน  
“9.3.1.2 ไมโครมิเตอร์ ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร สำหรับวัดความหนา”
5. ให้เพิ่มความต่อไปนี้เป็นข้อ 9.3.1.3  
“9.3.1.3 เวอร์เนียแคลิเปอร์สที่วัดได้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตรสำหรับวัดความกว้างและความยาว”
6. ให้ยกเลิกรูปที่ 4 และให้ใช้รูปต่อไปนี้แทน



รูปที่ 4 การทดสอบความต้านแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น  
(ข้อ 9.6.1.2)

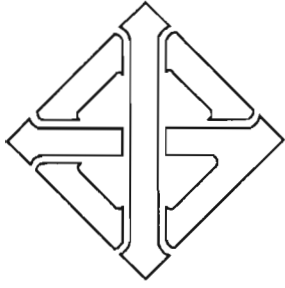
ทั้งนี้ ตั้งแต่วันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ 4 ตุลาคม พ.ศ. 2537

พลตรี สนั่น ขจรประศาสน์

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 111 ตอนที่ 87 ง  
วันที่ 1 พฤศจิกายน พุทธศักราช 2537



มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

THAI INDUSTRIAL STANDARD

มอก. 878 – 2532

แผ่นซีเมนต์อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง

CEMENT BONDED PARTICLEBOARDS : HIGH DENSITY



สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระทรวงอุตสาหกรรม

UDC 691.328.41:674.821

ISBN 974-8126-75-7

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม  
แผ่นซีเมนต์อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง

มอก. 878 – 2532

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม  
กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400  
โทรศัพท์ 0 2202 3300

ประกาศในราชกิจจานุเบกษาเล่ม 106 ตอนที่ 137  
วันที่ 24 สิงหาคม พุทธศักราช 2532



**คณะกรรมการวิชาการคณะที่ 120**  
**มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นอัดสำหรับการก่อสร้าง**

**ประธานกรรมการ**

นายวรรณะ มณี

ผู้แทนสมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์

**กรรมการ**

นายสุธี หาญสงคราม

ผู้แทนกรมป่าไม้

นายสมศักดิ์ พัฒนประภาพันธุ์

ผู้แทนกรมโยธาธิการ

นายยงยุทธ ศรีเมฆรัตน์

ผู้แทนสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

นายสุทธิศักดิ์ สำเร็จประสงค์

ผู้แทนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ

นายอรุณ พุฒยางกูร

ผู้แทนวิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา

นายฝั่งผาย สุนทรภักย์

วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ

นายพลสินธุ์ อาชวาคม

ผู้แทนกรมการค้าต่างประเทศ

นายวิจิตร กฤษณบำรุง

ผู้แทนคณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นายอำนาจ พานิชกุล

ผู้แทนวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

นายอภิรักษ์ รัตนันท์

-

ผู้แทนบริษัท ศรีมหาราชา จำกัด

ร.ต. อุทัย สินธุประมา

ผู้แทนบริษัท ไม้อัดไทย จำกัด

นายวิชัย ภูษิตวิทย์

นายชูชาติ บุญศิริ

ผู้แทนบริษัท ไทยชิปบอร์ด จำกัด

ร.ท. จลอง ขุนพรหม

ผู้แทนบริษัท สตราไมต์บอร์ด จำกัด

นายก่อเกียรติ แยมมีศรี

ผู้แทนบริษัท เซลโลกรีดไทย จำกัด

นายนิสสิต บุญ-หลง

ผู้แทนบริษัท ไทยทักษิณป่าไม้ จำกัด

**กรรมการและเลขานุการ**

นายสมคิด แสงนิล

ผู้แทนสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ปัจจุบันมีการทำแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง ขึ้นได้เองภายในประเทศ โดยนำไปใช้ในงานก่อสร้างทั่ว ๆ ไป และส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศ ดังนั้นเพื่อเป็นการส่งเสริมอุตสาหกรรมประเภทนี้และเพื่อประโยชน์แก่ผู้ใช้ จึงกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง ขึ้น มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ กำหนดขึ้นโดยอาศัยเอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

ISO 8335 : 1987

Cement-bonded particleboards-Boards of Portland or equivalent cement reinforced with fibrous wood particles



คณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้พิจารณามาตรฐานนี้แล้ว เห็นสมควรเสนอรัฐมนตรีประกาศตาม มาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511



**ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม**

**ฉบับที่ 1516 (พ.ศ. 2532)**

**ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม**

**พ.ศ. 2511**

**เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม**

**แผ่นซีดีไม้อัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูง**

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นซีดีไม้อัดซีเมนต์: ความหนาแน่นสูง มาตรฐานเลขที่ มอก. 878-2532 ไว้ ดังมีรายการละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ประกาศ ณ วันที่ 3 สิงหาคม พ.ศ. 2532

บรรหาร ศิลปอาชา

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม



# มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

## แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง

### 1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด แบบและสัญลักษณ์ ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ส่วนประกอบ และการทำ คุณลักษณะที่ต้องการ เครื่องหมายและฉลาก การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน และการทดสอบ แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง ที่ใช้งานก่อสร้างทั่ว ๆ ไป
- 1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมเฉพาะ แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง ที่เป็นแผ่นเรียบ รูปสี่เหลี่ยม แต่ไม่ครอบคลุมถึงแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง ที่มีรูปร่างพิเศษ

### 2. บทพิเศษ

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

- 2.1 แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง ซึ่งต่อไปนี้มีมาตรฐานนี้จะเรียกว่า “แผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์” หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นแผ่น ทำจากซินไม้และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1 100 ถึง 1 300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- 2.2 ซินไม้ หมายถึง ซินหรือส่วนของเนื้อไม้หรือวัสดุลิกโนเซลลูโลส (ligno-cellulosic material) อื่น ๆ ที่ถูกย่อยด้วยเครื่องจักร ซินไม้อาจมีลักษณะต่าง ๆ อย่างใดอย่างหนึ่งดังนี้
  - 2.2.1 เกล็ด (flake) หมายถึง ซินไม้บาง ๆ มีทิศทางของเส้นไม้นานกับผิว ได้จากการใช้มีดตัดขนานกับแนวของเส้นไม้ แต่ทำมุมกับแนวแกนของเส้นใย
  - 2.2.2 เกล็ดใหญ่ (wafer) หมายถึง ซินไม้ที่มีลักษณะเช่นเดียวกับเกล็ด แต่มีความกว้างและความหนามากกว่า
  - 2.2.3 แถบ (strand) หมายถึง ซินไม้ที่มีลักษณะเช่นเดียวกับเกล็ดแต่มีความยาวมากเมื่อเทียบกับความกว้าง และมีความหนาสม่ำเสมอตลอดความยาวของแถบ
  - 2.2.4 ซีกบ (planer shaving) หมายถึง ซินไม้ที่มีรูปร่างเป็นแผ่นขนาดเล็กมีความหนาไม่เท่ากัน คือหนาที่ปลายด้านหนึ่งส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะบาง มีลักษณะเป็นแฉกขนนก และมักจะโค้งงอด้วย ซึ่งได้จากการไสไม้ด้วยเครื่องไสไม้ชนิดหัวตัดหมุน (rotary cutterhead)
  - 2.2.5 แท่ง (splinter or sliver) หมายถึง ซินไม้ที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมเมื่อมองทางหน้าตัด และมีความยาวตามแนวเส้นไม้น้อยกว่า 4 เท่าของความหนา
  - 2.2.6 เม็ด (granule) หมายถึง ซินไม้ที่มีลักษณะคล้ายขี้เลื่อยซึ่งมีความกว้าง ความยาว และความหนาเกือบเท่ากัน
  - 2.2.7 ลักษณะอื่น ๆ ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ทำแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์
- 2.3 วัสดุลิกโนเซลลูโลส หมายถึง วัสดุที่มีเซลลูโลสและลิกนินเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ไม้ และพืชต่าง ๆ ได้แก่ ชานอ้อย ป่าน ปอ เป็นต้น

### 3. แบบและสัญลักษณ์

- 3.1 แผ่นซีเมนต์อัดขึ้นรูป แบ่งออกเป็น 2 แบบ ตามลักษณะพื้นผิว คือ
- 3.1.1 แบบผิวขัดเรียบ มีสัญลักษณ์ SAN
- 3.1.2 แบบผิวไม่ขัด มีสัญลักษณ์ UNS

### 4. ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

- 4.1 ความกว้างและความยาว ให้เป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก โดยจะมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินค่าที่กำหนดในตารางที่ 1
- หมายเหตุ 1. ความกว้างที่แนะนำ คือ 600 900 และ 1 200 มิลลิเมตร  
2. ความยาวที่แนะนำ คือ 1 200 1 800 และ 2 400 มิลลิเมตร
- การวัดให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2
- 4.2 ความหนา ให้เป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลากแต่ต้องไม่น้อยกว่า 6 มิลลิเมตร โดยจะมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินค่าที่กำหนดในตารางที่ 1
- การวัดให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2
- 4.3 ความแตกต่างของเส้นทแยงมุมทั้ง 2 เส้น จะมีได้ไม่เกินร้อยละ 0.25 ของเส้นสั้น
- การวัดให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2
- 4.4 ความตรงของขอบแต่ละด้านจะคลาดเคลื่อนไปจากแนวตรง ได้ไม่เกิน 3.0 มิลลิเมตร
- การวัดให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2

ตารางที่ 1 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน  
(ข้อ 4.1และข้อ 4.2)

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

ความหนา	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน		
	ความกว้าง และความยาว	ความหนา	
		SAN	UNS
ระบุ			
6 ถึง 12			± 1.0
เกิน 12 ถึง 20	± 5	± 0.3	± 1.5
เกิน 20			± 2.0

## 5. ส่วนประกอบและการทำ

### 5.1 ส่วนประกอบ

#### 5.1.1 ชันไม้

#### 5.1.2 ปูนซีเมนต์

ควรเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 1 ข้อกำหนดคุณภาพ มาตรฐานเลขที่ มอก. 15 เล่ม 1

### 5.2 การทำ

ใช้เครื่องจักรย่อยไม้ออกเป็นชันไม้ แยกชันไม้ให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ นำไปผสมกับปูนซีเมนต์ แล้วนำไปโรย และอัดเป็นแผ่นโดยทิ้งไว้ให้ปูนซีเมนต์ก่อตัวจึงถอดแบบออก หากใส่สารผสมเพิ่มเติมไม่ทำให้ความแข็งแรง หรือความคงทนของแผ่นชันไม้อัดซีเมนต์เสียไป

## 6. คุณลักษณะที่ต้องการ

### 6.1 ลักษณะทั่วไป

แผ่นชันไม้อัดซีเมนต์ต้องมีความหนา ความแน่น และความเรียบสม่ำเสมอทั้งแผ่น ขอบจะต้องตั้งได้ จากกับระนาบผิว

การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

### 6.2 ความหนาแน่นความหนาแน่น

ความหนาแน่นเฉลี่ยต้องอยู่ในช่วง 1 100 ถึง 1 300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.3

### 6.3 ความชื้น

ความชื้นเฉลี่ยต้องอยู่ในช่วงร้อยละ 9 ถึงร้อยละ 15

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.4

### 6.4 สภาพนำความร้อน

ต้องมีค่าเฉลี่ยไม่เกิน 0.155 วัตต์ต่อเมตรเคลวิน

การทดสอบให้ปฏิบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อน (ในกรณีที่ยังไม่มีการประกาศกำหนดมาตรฐานดังกล่าว ให้เป็นไปตาม BS 874)

### 6.5 คุณลักษณะที่ต้องการอื่น ๆ

ให้เป็นไปตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณลักษณะที่ต้องการอื่นๆ  
(ข้อ 6.5)

รายการ ที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีทดสอบ ตาม
1	การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ร้อยละ ไม่เกิน	2	ข้อ 9.5
2	ความต้านแรงดัด เมกะพาสคัล ไม่น้อยกว่า	9	ข้อ 9.6
3	มอดุลัสยืดหยุ่น เมกะพาสคัล ไม่น้อยกว่า	3 000	ข้อ 9.6
4	ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า เมกะพาสคัล ไม่น้อยกว่า		ข้อ 9.7

7. เครื่องหมายและฉลาก

- 7.1 ที่แผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ทุกแผ่น อย่างน้อยต้องมีเลข อักษรหรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน
- (1) คำว่า “แผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์”
  - (2) สัญลักษณ์ของแบบ
  - (3) ขนาด (กว้าง × ยาว × หนา) เป็นมิลลิเมตร
  - (4) เดือน ปีที่ทำ หรือรหัสรุ่นที่ทำ
  - (5) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน
- ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น
- 7.2 ผู้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นได้ ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

## 8. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

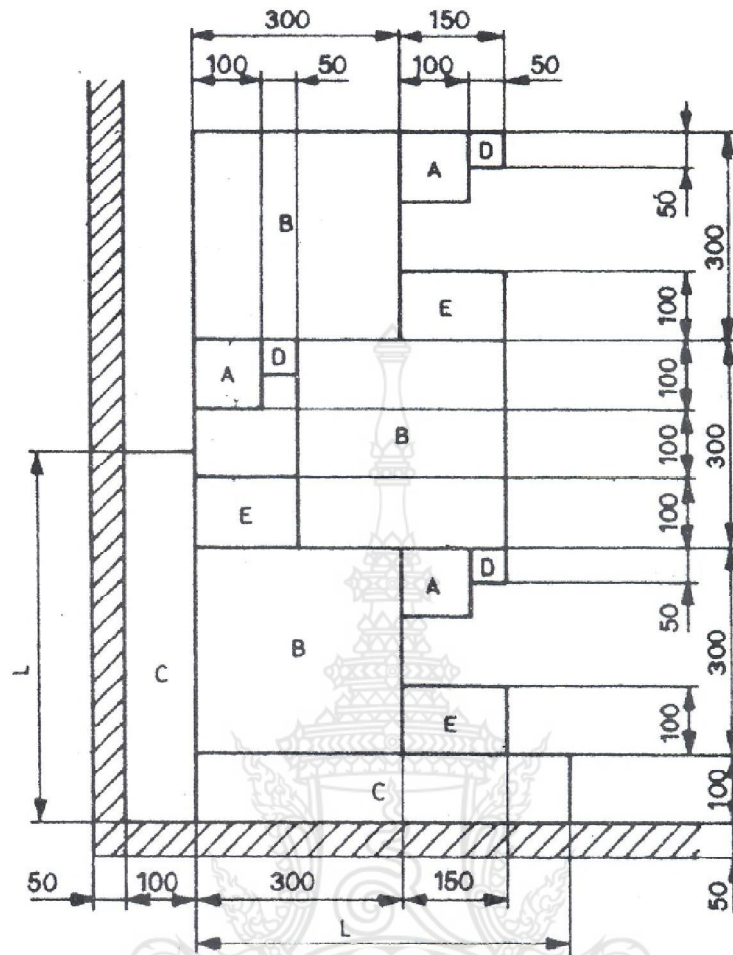
- 8.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ที่มีแบบและความหนาระบุเดียวกัน ทำโดยกรรมวิธีเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน
- 8.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้
- 8.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบขนาด และลักษณะทั่วไป
- 8.2.1.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน ตามจำนวนที่กำหนดในตารางที่ 3
- 8.2.1.2 จำนวนตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามข้อ 4. และข้อ 6.1 ต้องไม่เกินเลขจำนวนที่ยอมรับ ที่กำหนดในตารางที่ 3 จึงจะถือว่าแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์รุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ตารางที่ 3 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบขนาดและลักษณะทั่วไป  
(ข้อ 8.2.1)

ขนาดรุ่น แผ่น	ขนาดตัวอย่าง แผ่น	เลขจำนวน ที่ยอมรับ
ไม่เกิน 150	3	0
151 ถึง 500	13	1
501 ขึ้นไป	20	2

- 8.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบความหนาแน่น ความชื้น สภาพนำความร้อน และคุณลักษณะที่ต้องการอื่น ๆ
- 8.2.2.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่ม จากแผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์ที่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดในเรื่องขนาด และลักษณะทั่วไปแล้ว มาจำนวน 5 แผ่น แต่ละแผ่นให้ตัดเป็นชิ้นทดสอบตามรูปที่ 1
- ชิ้นทดสอบ A สำหรับทดสอบความหนาแน่น และความชื้น จำนวน 3 ชิ้น
  - ชิ้นทดสอบ B สำหรับทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำ จำนวน 3 ชิ้น
  - ชิ้นทดสอบ C สำหรับทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น จำนวน 2 ชิ้น
  - ชิ้นทดสอบ D สำหรับทดสอบความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า จำนวน 3 ชิ้น
  - ชิ้นทดสอบ E สำหรับการทดสอบสภาพนำความร้อน จำนวน 3 ชิ้น





L = 16 เท่าของความหนากระบุ (ตัวเลขที่ได้ให้ปัดเป็นเลขจำนวนเต็มของ 10 มิลลิเมตรที่ใกล้เคียง) บวกด้วย 25 มิลลิเมตร

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 1 ตำแหน่งและการตัดขึ้นทศสอบ  
(ข้อ 8.2.2.1)

8.2.2.2 ตัวอย่างทุกอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 6.2 ข้อ 6.3 ข้อ 6.4 และข้อ 6.5 ทุกรายการ จึงจะถือว่าแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์รูนนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

8.3 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์ต้องเป็นไปตามข้อ 8.2.1.2 และ ข้อ 8.2.2.2 ทุกข้อ จึงจะถือว่าแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์รูนนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

## 9. การทดสอบ

### 9.1 การปรับภาวะขึ้นทดสอบ

ให้นำขึ้นทดสอบที่เตรียมไว้ทดสอบการพองตัวเมื่อแช่น้ำ ความต้านแรงตัด มอดุลัสยืดหยุ่น ความต้านแรงดึง ตั้งฉากกับผิวหน้า และสภาพนำความร้อน ไปปรับภาวะที่อุณหภูมิ  $23 \pm 5$  องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ ร้อยละ  $60 \pm 10$  จนน้ำหนักคงที่ คือ น้ำหนักของขึ้นทดสอบที่ชั่ง 2 ครั้งห่างกัน 24 ชั่วโมง ต่างกันไม่เกิน ร้อยละ 0.5 แล้วทำการทดสอบทันทีที่พ้นจากการปรับภาวะ ส่วนขึ้นทดสอบที่ใช้ทดสอบความหนาแน่นและความชื้นไม่ต้องปรับภาวะ

### 9.2 ขนาด

#### 9.2.1 ความกว้างและความยาว

ใช้สายวัดโลหะที่วัดได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร วัดที่จุดลึกเข้าไปจากขอบของแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ ประมาณ 100 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2

#### 9.2.2 ความหนา

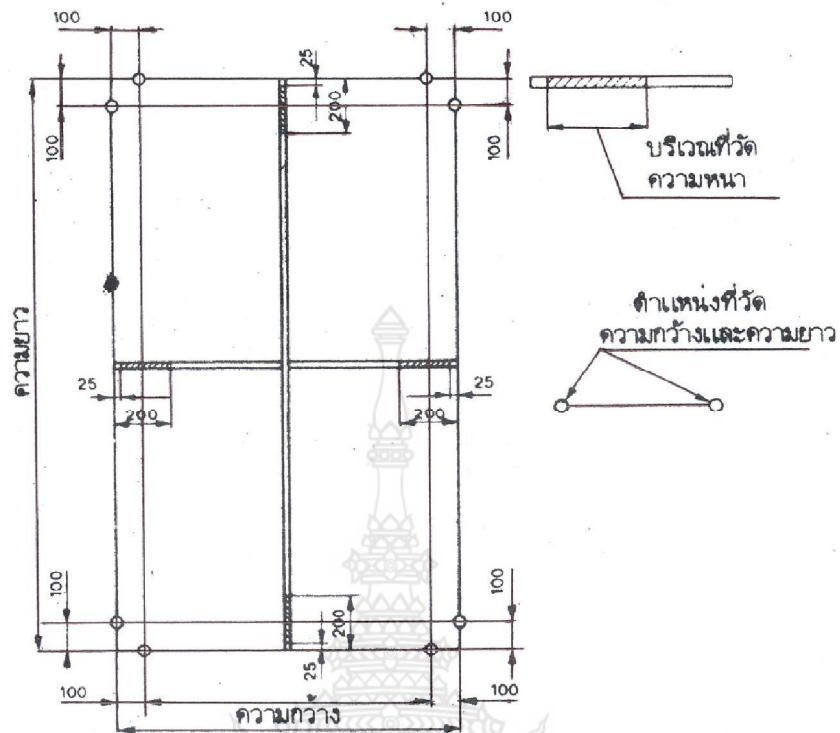
ใช้ไมโครมิเตอร์ ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร ซึ่งมีส่วนของแป้นวัดเรียบและขนานกัน และมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร วัดที่บริเวณกึ่งกลางของขอบของแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ทั้ง 4 ด้าน และให้ลึกเข้าไปจากขอบประมาณ 25 ถึง 200 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2

#### 9.2.3 ความแตกต่างของเส้นทแยงมุม

ใช้สายวัดตามข้อ 9.2.1 วัดหาความแตกต่างของเส้นทแยงมุม

#### 9.2.4 ความตรงของขอบ

ชิงเส้นด้ายให้ตึงระหว่างมุมที่ขอบเดียวกัน ของแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ แล้ววัดระยะที่คลาดเคลื่อนจากแนวเส้นด้ายมากที่สุดของขอบทั้ง 4 ด้าน



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 2 ตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาว และความหนาของแผ่นชั้นไม้อัดซีเมนต์  
(ข้อ 9.2.1 และข้อ 9.2.2)

9.3 ความหนาแน่น

9.3.1 เครื่องมือ

- 9.3.1.1 เครื่องชั่ง ที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
- 9.3.1.2 ไมโครมิเตอร์ ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร

9.3.2 วิธีทดสอบ

- 9.3.2.1 ชั่งชั้นทดสอบให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.1 กรัม
- 9.3.2.2 วัดความกว้างและความยาวของชั้นทดสอบขนาดกับขอบให้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร ตามรูปที่ 3 แล้วหาค่าเฉลี่ย
- 9.3.2.3 วัดความหนา 4 ตำแหน่ง ตามรูปที่ 3 แล้วหาค่าเฉลี่ย

9.3.3 วิธีคำนวณ

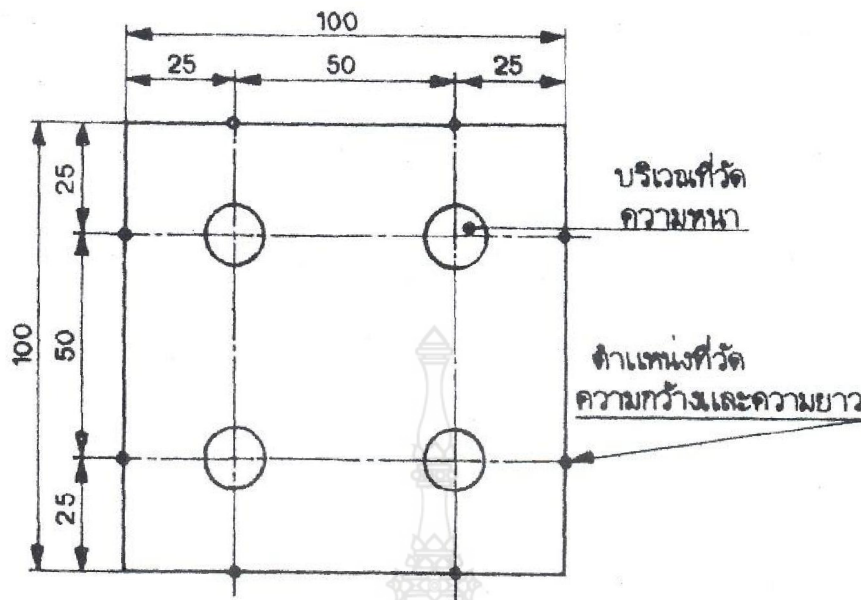
หาค่าความหนาแน่นจากสูตร

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{มวล (กรัม)}}{\text{ปริมาตร (ลูกบาศก์มิลลิเมตร)}} \times 10^6$$

กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

9.3.4 การรายงานผล

รายงานค่าความหนาแน่นของชั้นทดสอบแต่ละชั้นและค่าเฉลี่ย



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 3 ตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาว และความหนาของชิ้นทดสอบ  
(ข้อ 9.3.2.2 ข้อ 9.3.2.3 และข้อ 9.5.2.1)

#### 9.4 ความชื้น

##### 9.4.1 เครื่องมือ

- 9.4.1.1 เครื่องชั่ง ที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม
- 9.4.1.2 เตอบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่  $130 \pm 2$  องศาเซลเซียส
- 9.4.1.3 เดซิกเคเตอร์

##### 9.4.2 วิธีทดสอบ

- 9.4.2.1 ชั่งชิ้นทดสอบซึ่งผ่านการทดสอบตามข้อ 9.3 แล้ว ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนถึง 0.01 กรัม เป็นน้ำหนักก่อนอบ
- 9.4.2.2 อบชิ้นทดสอบในเตอบที่อุณหภูมิ  $103 \pm 2$  องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่ คือน้ำหนักชิ้นทดสอบที่ชั่ง 2 ครั้งห่างกัน 6 ชั่วโมง ต่างกันไม่เกินร้อยละ 0.1
- 9.4.2.3 นำมาใส่ในเดซิกเคเตอร์ ปลอ่ยไว้ให้เย็น
- 9.4.2.4 ชั่งชิ้นทดสอบ เป็นน้ำหนักอบแห้ง

##### 9.4.3 วิธีคำนวณ

หาค่าความชื้นจากสูตร

$$\text{ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)} - \text{น้ำหนักอบแห้ง (กรัม)}}{\text{น้ำหนักอบแห้ง (กรัม)}} \times 100$$

ร้อยละ

##### 9.4.4 การรายงานผล

รายงานค่าความชื้นของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นและค่าเฉลี่ย

9.5 การพองตัวเมื่อแช่น้ำ

9.5.1 เครื่องมือ

ไมโครมิเตอร์ ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร

9.5.2 วิธีทดสอบ

9.5.2.1 ทำเครื่องหมายตำแหน่งที่วัดความหนาตามรูปที่ 3 วัดความหนาของชั้นทดสอบ 4 ตำแหน่ง แล้วหาค่าเฉลี่ยเป็นความหนาก่อนแช่น้ำ

9.5.2.2 แช่ชั้นทดสอบในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง โดยตั้งให้แต่ละชิ้นห่างจากกัน ให้ขอบบนอยู่ใต้ระดับผิวน้ำประมาณ 25 มิลลิเมตร ชั้นทดสอบต้องตั้งได้ฉากกับผิวน้ำ และห่างจากผนังและก้นภาชนะที่ใส่น้ำไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร

9.5.2.3 เมื่อแช่ชั้นทดสอบครบ 24 ชั่วโมง นำชั้นทดสอบขึ้นมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาดแล้วปล่อยให้ชั้นทดสอบแห้งโดยวางให้ขอบด้านใดด้านหนึ่งอยู่บนแผ่นวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำ เช่น พลาสติก กระดาษ

9.5.2.4 เมื่อปล่อยให้ชั้นทดสอบไว้ครบ 2 ชั่วโมงแล้ว นำชั้นทดสอบมาวัดความหนาตามตำแหน่งเดิม แล้วหาค่าเฉลี่ยเป็นความหนาหลังแช่น้ำ

9.5.3 วิธีคำนวณ

หาค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำจากสูตร

$$\begin{aligned} & \text{การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ร้อยละ} \\ & = \frac{\text{ความหนาหลังแช่น้ำ (มิลลิเมตร)} - \text{ความหนาก่อนแช่น้ำ (มิลลิเมตร)}}{\text{ความหนาก่อนแช่น้ำ (มิลลิเมตร)}} \times 100 \end{aligned}$$

9.5.4 การรายงานผล

รายงานค่าเฉลี่ยการพองตัวเมื่อแช่น้ำเป็นร้อยละ

9.6 ความต้านแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น

9.6.1 เครื่องมือ

9.6.1.1 เครื่องกด ซึ่งวัดแรงกดได้ละเอียดถึง 5 นิวตัน หรือร้อยละ 5 ของแรงกดสูงสุดที่ชั้นทดสอบรับได้ หัวกดต้องมีปลายส่วนที่ใช้กดเป็นรูปครึ่งวงกลมมีรัศมี 10 ถึง 30 มิลลิเมตร และมีความยาวไม่น้อยกว่าความกว้างของชั้นทดสอบ

9.6.1.2 แท่นรองรับ ต้องมีลักษณะหน้าตัดเป็นรูปวงกลม หรือรูปครึ่งวงกลม มีรัศมี 10 ถึง 30 มิลลิเมตร ความยาวไม่น้อยกว่าความกว้างของชั้นทดสอบ

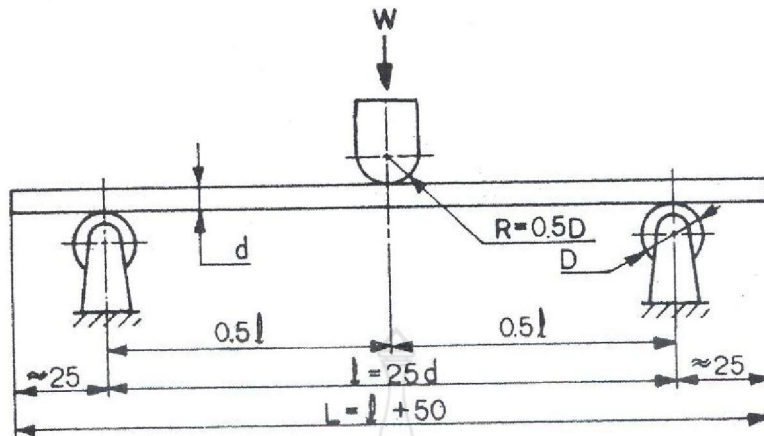
9.6.1.3 มาตรการแอนตัว ซึ่งอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร

9.6.2 วิธีทดสอบ

9.6.2.1 วางชั้นทดสอบลงบนแท่นรองรับซึ่งมีระยะห่าง 16 เท่าของความหนาระบุของชั้นทดสอบ (ตัวเลขที่ได้ให้ปัดเป็นเลขจำนวนเต็มของ 10 มิลลิเมตรที่ใกล้เคียง) ตามรูปที่ 4 ให้ปลายชั้นทดสอบยื่นออกไปจากจุดที่รองรับประมาณข้างละ 25 มิลลิเมตร เท่า ๆ กัน

9.6.2.2 ให้แรงกดบนจุดกึ่งกลางของชั้นทดสอบ โดยมีอัตราการเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มกดจนกระทั่งชั้นทดสอบหัก ต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที และไม่เกิน 120 วินาที

9.6.2.3 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับค่าการแอนตัว



หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 4 การทดสอบความต้านแรงคัตและมอดูลัสยืดหยุ่น  
(ข้อ 9.6.2.1)

### 9.6.3 วิธีคำนวณ

#### 9.6.3.1 หาค่าความต้านแรงคัตจากสูตร

$$f = \frac{3 W \ell}{2 b d^2}$$

เมื่อ  $f$  คือ ความต้านแรงคัต เป็นเมกะพาสคัล

$W$  คือ แรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ เป็นนิวตัน

$\ell$  คือ ระยะห่าง ระหว่างจุดศูนย์กลางของแท่นรองรับ เป็นมิลลิเมตร

$b$  คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

$d$  คือ ความหนาเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

#### 9.6.3.2 หาค่ามอดูลัสยืดหยุ่นจากสูตร

$$E = \frac{\ell^3 \Delta W}{4 b d^3 \Delta S}$$

เมื่อ  $f$  คือ มอดูลัสยืดหยุ่น เป็นเมกะพาสคัล

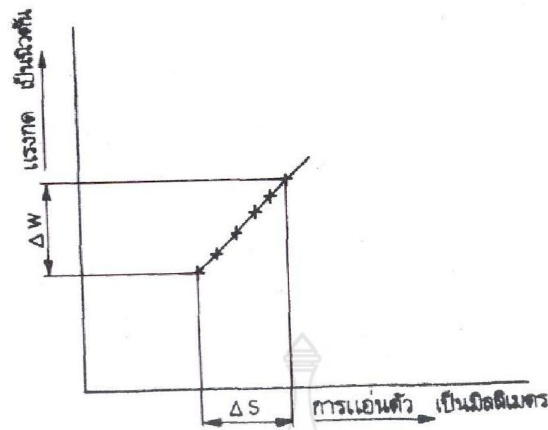
$\ell$  คือ ระยะห่าง ระหว่างจุดศูนย์กลางของแท่นรองรับ เป็นมิลลิเมตร

$\Delta W$  คือ แรงกดที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง ตามรูปที่ 5 เป็นนิวตัน

$b$  คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

$d$  คือ ความหนาเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ เป็นมิลลิเมตร

$\Delta S$  คือ ระยะแอนตัวที่เพิ่มขึ้น ในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง ตามรูปที่ 5 เป็นมิลลิเมตร



รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับการเอนตัว  
(ข้อ 9.6.3.2)

9.6.4 การรายงานผล

รายงานค่าเฉลี่ยของความต้านแรงดึงตัดและมอดูลัสยืดหยุ่น

9.7 ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

9.7.1 เครื่องมือ

9.7.1.1 เครื่องดึง ซึ่งสามารถให้แรงดึงเพื่อแยกชิ้นทดสอบออกในเวลาไม่น้อยกว่า 30 วินาทีและไม่เกิน 120 วินาที

9.7.1.2 แผ่นดึงซึ่งทำด้วยไม้หรือโลหะที่เหมาะสม ขนาดไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร × 50 มิลลิเมตร ความหนาตามความเหมาะสม

9.7.2 วิธีทดสอบ

9.7.2.1 ติดผิวหน้าทั้งสองของชิ้นทดสอบกับแผ่นดึง โดยใช้กาวสังเคราะห์ที่มีแรงยึดมากกว่าแรงยึดในตัวชิ้นทดสอบ

9.7.2.2 นำชิ้นทดสอบที่เตรียมได้แล้วนี้ไปเข้าเครื่องดึง ดึงให้ชิ้นทดสอบแยกออกจากกันซึ่งปกติจะแยกในชั้นไส้ อัตราการเพิ่มแรงดึงต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มดึงจนกระทั่งชิ้นทดสอบแยกออกจากกันต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที และไม่เกิน 120 วินาที

9.7.3 วิธีคำนวณ

หาค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าจากสูตร

$$\text{ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า} = \frac{\text{แรงดึงสูงสุด (นิวตัน)}}{\text{เมกะพาสคัล} \quad \text{ความกว้าง (มิลลิเมตร) } \times \text{ ความยาว (มิลลิเมตร)}}$$

9.7.4 การรายงานผล

รายงานค่าเฉลี่ยของความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า