

166 03
166 03
166 03 (2)
166 03

การทดลองหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการทำวัสดุแผ่นทดแทนไม้
จากวัสดุปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ถ้ำกลบ ปูนขาว
และใยมะพร้าว หรือใยผักตบชวา

ปริญญานิพนธ์

ของ

วิวัฒน์ คลังวิจิตร

19 ก.ค. 2536

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา

ตุลาคม 2535

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

184701

วันที่ ๑ เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2535

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยความเมตตาการณาให้คำปรึกษาแนะนำอย่างดียิ่งจาก ดร.อุปวิทย์ สวคันธกุล ประธานคณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ อาจารย์สุดใจ เหง้าสีไพร กรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ และ ดร.กัญญา ทองฉิม ที่กรุณาร่วมเป็นกรรมการสอบ พร้อมทั้งให้ข้อเสนอแนะต่าง ๆ เพื่อให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ คุณอวัช จิรายุส นักวิชาการป่าไม้ 7 คุณสมชัย เญจชัย นักวิชาการป่าไม้ 4 กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้ ที่กรุณาให้ข้อมูล และเสนอแนะแนวทางการวิจัย ทำให้การวิจัยดำเนินไปด้วยความเรียบร้อย

ขอขอบคุณ ข้าราชการและเจ้าหน้าที่ ฝ่ายคอนกรีตและวัสดุก่อสร้าง กองวิจัยคอนกรีต กรมชลประทาน ที่กรุณาช่วยเหลือในการทดสอบเพื่อเก็บข้อมูล และอนุเคราะห์ให้ยืมเครื่องมือทดสอบ จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางเขน และวิทยาลัยครูพระนครทุกท่านที่ให้คำปรึกษา และกำลังใจ ทำให้การวิจัยดำเนินไปอย่างราบรื่น

ขอขอบคุณ คุณมาลินี แซ่เตี๋ย ที่กรุณาให้คำปรึกษาทางภาษา การเขียนปริญญานิพนธ์ให้กำลังใจ และช่วยควบคุมการพิมพ์ จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ เพื่อน และพี่น้องนิสิตปริญญาโทอุตสาหกรรมศึกษาที่ให้กำลังใจ ซึ่งมีความสำคัญมากในระหว่างการทำปริญญานิพนธ์

นอกจากนี้ยังมีบุคคลอื่นอีกหลายท่านที่ไม่สามารถกล่าวนามได้ทั้งหมดที่มีส่วนช่วยเหลือให้การสนับสนุน และให้กำลังใจในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุกท่านมา ณ โอกาสนี้

และสุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอน้อมรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา ครูบาอาจารย์ ญาติพี่น้อง ที่ให้ความรู้ ให้กำลังใจและกำลังทรัพย์ สนับสนุนการศึกษาของผู้วิจัยตลอดมา อันพระคุณนี้หาที่เปรียบมิได้

วิวัฒน์ คลังวิจิตร

กันยายน 2535

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
คำนำ	1
ความมุ่งหมายของการค้นคว้า	3
ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า	3
ขอบเขตการศึกษา	4
นิยามศัพท์เฉพาะ	7
สมมติฐาน	9
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
ความรู้เกี่ยวกับแผ่นไม้อัดสารแร่	11
ความหมายของแผ่นไม้อัดสารแร่	11
กระบวนการผลิตแผ่นไม้อัดสารแร่	11
การหาสัดส่วนของการนำวัสดุแผ่นทดแทนไม้	11
ประเภทของแผ่นไม้อัดสารแร่	12
วัตถุดิบที่นำมาใช้ทำแผ่นวัสดุทดแทนไม้หรือแผ่นไม้อัดสารแร่	13
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	13
เถ้าแกลบ	25
ปูนขาว	30
เส้นใยพืช (ไผ่มะพร้าวและใยผักตบชวา)	31
น้ำ	34

บทที่	หน้า
คุณสมบัติของวัสดุแผ่นทดแทนไม้ที่กำหนดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ..	35
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	38
3 วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า	48
ศึกษาแหล่งข้อมูล	48
จัดทำวัสดุ เครื่องมือ และอุปกรณ์การทดลอง	51
ทำการทดลองผลิตวัสดุแผ่นทดแทนไม้ตามสัดส่วนที่กำหนด	52
ทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุแผ่นทดแทนไม้	53
วิเคราะห์ข้อมูล	60
ทดสอบสัดส่วนวัสดุแผ่นทดแทนไม้ที่เหมาะสม	62
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	63
การวิเคราะห์คุณสมบัติวัสดุแผ่นทดแทนไม้จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	
ปอชโซลานากับใยมะพร้าว	63
การวิเคราะห์คุณสมบัติวัสดุแผ่นทดแทนไม้จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	
ปอชโซลานากับใยผักตบชวา	66
5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	70
ความมุ่งหมายของการวิจัย	70
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	71
การดำเนินการวิจัย	71
การวิเคราะห์ข้อมูล	72
สรุปผลการวิจัย	72

บทที่	หน้า
อภิปรายผล	75
ข้อเสนอแนะ	77
บรรณานุกรม	79
ภาคผนวก	
ตอน ก	83
ตอน ข	96
ตอน ค	109
ประวัติผู้วิจัย	122

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	สัดส่วนของส่วนผลสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานา กับโยมะนร้าว และน้ำประปาที่ใช้ผสมในการทำวัสดุแผ่นทดแทนไม้	5
2	สัดส่วนของส่วนผลสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานา กับโยผักตบชวา และน้ำประปาที่ใช้ผสมในการทำวัสดุแผ่นทดแทนไม้	6
3	ปริมาณส่วนประกอบพื้นฐานของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แต่ละชนิด	15
4	ลักษณะของปฏิกิริยาซึ่งเกิดกับสารประกอบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	17
5	ข้อกำหนดความต้องการสำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตามมาตรฐานสมาคมทดสอบ และวัสดุของอเมริกา	18
6	คุณสมบัติของปูนซีเมนต์ตราช้าง ตราเฮอร์วัล ตราเสือ ตราเพชร และ ตรานกอินทรี	19
7	การเปรียบเทียบกรรมวิธีการผลิต การลงทุน การใช้งาน และราคาระหว่าง ปูนซีเมนต์ปอชโซลานา กับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	21
8	การเปรียบเทียบของค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้ากลบ ..	26
9	ค่าความหนาแน่นของเถ้ากลบและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราช้าง	28
10	ผลการทดสอบการรับแรงของปูนสอ ที่ทำจากเถ้ากลบชนิดต่าง ๆ ผสมกับ ปูนขาว	30
11	องค์ประกอบทางเคมีของกามมะพร้าว	32
12	องค์ประกอบทางเคมีของผักตบชวาแห้ง	35
13	การเปรียบเทียบกระบวนการผลิตและอัตราส่วนผลสมระหว่างแผ่นซีเมนต์อัดซีเมนต์ แผ่นซีเมนต์ผสมโยพิช แผ่นโยปาล์มซีเมนต์และแผ่นวัสดุทดแทนไม้	43

14	สัดส่วนของส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซิโซลานา กับโยมะพร้าว และน้ำประปาที่ใช้ผสมในการทำวัสดุแผ่นทดแทนไม้	49
15	สัดส่วนของส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซิโซลานา กับโยผักตบชวา และน้ำประปาที่ใช้ผสมในการทำวัสดุแผ่นทดแทนไม้	50
16	ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุแผ่นทดแทนไม้ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปอซิโซลานากับโยมะพร้าว	62
17	การวิเคราะห์คุณสมบัติของแผ่นทดแทนไม้ที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปอซิโซลานากับโยมะพร้าว	61
18	การวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุแผ่นทดแทนไม้จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปอซิโซลานากับโยผักตบชวา	68
19	ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุแผ่นทดแทนไม้ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปอซิโซลานากับโยมะพร้าว สูตรที่ 6 (ทดสอบซ้ำ)	76
20	การเปรียบเทียบผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่ใช้เส้นโยมะพร้าว เป็นส่วนผสมกับค่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	84
21	การเปรียบเทียบผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่ใช้เส้นโยผักตบชวา เป็นส่วนผสมกับค่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	85
22	การเปรียบเทียบผลการทดสอบค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ใช้เส้นโยมะพร้าวเป็น ส่วนผสมกับค่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	86
23	การเปรียบเทียบผลการทดสอบค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ใช้เส้นโยผักตบชวา เป็นส่วนผสมกับค่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	87
24	การเปรียบเทียบผลการทดสอบค่าการบองตัวเมื่อแช่น้ำของผลิตภัณฑ์ที่ใช้เส้นโย มะพร้าวเป็นส่วนผสมกับค่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	88
25	การเปรียบเทียบผลการทดสอบค่าการบองตัวเมื่อแช่น้ำของผลิตภัณฑ์ที่ใช้เส้นโย ผักตบชวาเป็นส่วนผสมกับค่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	89

ตาราง

หน้า

26	การเปรียบเทียบผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงค้ำของผลิตภัณฑ์ที่ใช้เส้นใย มะพร้าวเป็นส่วนผสมกับค่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	90
27	การเปรียบเทียบผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงค้ำของผลิตภัณฑ์ที่ใช้เส้นใย ผักตบชวาเป็นส่วนผสมกับค่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	91
28	การเปรียบเทียบผลการทดสอบค่ามอดุลลียืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์ที่ใช้เส้นใยมะพร้าว กับค่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	92
29	การเปรียบเทียบผลการทดสอบค่ามอดุลลียืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ใยผักตบชวา เป็นส่วนผสมกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	93
30	การเปรียบเทียบผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้เส้นใยมะพร้าวเป็นส่วนผสมกับค่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรม	94
31	การเปรียบเทียบผลการทดสอบค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ ที่ใช้ใยผักตบชวาเป็นส่วนผสมกับค่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	95

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 ตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาว และความหนาของชิ้นทดสอบหน่วยเป็น มิลลิเมตร	55
2 แสดงการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น	58
3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับการแอ่นตัว	60
4 แสดงตำแหน่งและขนาดชิ้นทดสอบ	63
5 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นของสูตรสัดส่วนผสมที่ 1 ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ป่อซิโซลานากับไยมะพร้าว	97
6 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นของสูตรสัดส่วนผสมที่ 2 ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ป่อซิโซลานากับไยมะพร้าว	98
7 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นของสูตรสัดส่วนผสมที่ 3 ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ป่อซิโซลานากับไยมะพร้าว	99
8 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นของสูตรสัดส่วนผสมที่ 4 ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ป่อซิโซลานากับไยมะพร้าว	100
9 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นของสูตรสัดส่วนผสมที่ 5 ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ป่อซิโซลานากับไยมะพร้าว	101
10 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นของสูตรสัดส่วนผสมที่ 6 ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ป่อซิโซลานากับไยมะพร้าว	102
11 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นของสูตรสัดส่วนผสมที่ 7 ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ป่อซิโซลานากับไยมะพร้าว	103
12 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นของสูตรสัดส่วนผสมที่ 8 ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ป่อซิโซลานากับไยมะพร้าว	104

ภาพประกอบ	หน้า
13 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงคดและมอดุลลียิตหยุ่นของสูตรลัดส่วนผสมที่ 6 ทดสอบใหม่ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ป่อซิโซลานากับไยมะพร้าว	105
14 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงคดและมอดุลลียิตหยุ่นจากสูตรลัดส่วนผสมที่ 1 ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ป่อซิโซลานากับไยผักตบชวา	106
15 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงคดและมอดุลลียิตหยุ่นจากสูตรลัดส่วนผสมที่ 5 ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ป่อซิโซลานากับไยผักตบชวา	107
16 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงคดและมอดุลลียิตหยุ่นจากสูตรลัดส่วนผสมที่ 7 ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ป่อซิโซลานากับไยผักตบชวา	108
17 แสดงเส้นไยมะพร้าวกับไยผักตบชวา	109
18 แสดงส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ป่อซิโซลานา	109
19 แสดงเครื่องมือที่ใช้ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ป่อซิโซลานาและแบบพิมพ์ที่จะเท ขึ้นทดลอง	110
20 แสดงการใส่ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ป่อซิโซลานาลงในกะเบยผสมปูน ..	110
21 แสดงการคลุกเคล้าส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ป่อซิโซลานา	111
22 แสดงส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ป่อซิโซลานาที่คลุกเคล้า	111
23 แสดงการใส่ไยมะพร้าวหรือไยผักตบชวาลงในส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ป่อซิโซลานา	112
24 แสดงการคลุกเคล้าไยมะพร้าวกับส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ป่อซิโซลานา..	112
25 แสดงส่วนผสมทั้งหมดที่คลุกเคล้าตามสัดส่วนที่กำหนด	113
26 แสดงการใส่ส่วนผสมตามสัดส่วนลงในแบบพิมพ์	113
27 แสดงการอัดส่วนผสมในแบบพิมพ์ด้วยลูกกลิ้ง	114
28 แสดงการปาดตกแต่งชิ้นงานในแบบพิมพ์	114
29 แสดงการเติมส่วนผสมลงในแบบพิมพ์จากกะเบยผสมปูน	115
30 แสดงการปาดตกแต่งชิ้นงานในแบบพิมพ์	115

ภาพประกอบ	หน้า
31 แสดงชิ้นงานทดลองในแบบพิมพ์ที่เรียบร้อยแล้ว	116
32 แสดงสถานที่ที่นำชิ้นทดลองไปทดสอบ	116
33 แสดงเครื่องมือที่ใช้ทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดัดและมอดุลลัสยืดหยุ่นความ ต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า	117
34 แสดงการเตรียมชิ้นทดลองและอุปกรณ์ทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดัด และ มอดุลลัสยืดหยุ่น	117
35 แสดงสเกลของแรงกดที่หาค่าความต้านทานแรงดัดและมอดุลลัสยืดหยุ่น	118
36 แสดงสเกลของระยะการแอ่นตัวที่หาค่ามอดุลลัสยืดหยุ่น	118
37 แสดงรอยหักที่ชิ้นทดลองสามารถที่จะรับความต้านทานแรงดัด และมอดุลลัสยืดหยุ่น .	119
38 แสดงรอยหักบนชิ้นทดลอง	119
39 แสดงการเตรียมชิ้นทดลองบนเครื่องที่ใช้ทดสอบความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับ ผิวหน้า	120
40 แสดงหน้าปัทม์สเกลเครื่องทดสอบความต้านทานแรงดัด และความต้านทานแรงดึง ตั้งฉากกับผิวหน้า	120
41 แสดงชิ้นทดลองที่เตรียมหาค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า	121
42 แสดงรอยฉีกขาดของชิ้นทดลองในการหาค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับ ผิวหน้า	121
43 แสดงหน้าปัทม์สเกลเครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า	122
44 แสดงรอยฉีกขาดของชิ้นทดสอบความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า	122

บทที่ 1

บทนำ

คำนำ

ที่อยู่อาศัยเป็นปัจจัยพื้นฐานสำคัญอย่างหนึ่งในการดำรงชีพของมนุษย์ และการก่อสร้างที่อยู่อาศัยต้องใช้วัสดุก่อสร้าง เงินทุน แรงงาน และเทคนิคความรู้ทางช่างก่อสร้าง (การพัฒนาการอยู่อาศัย. 2530 : 4-6) โดยเฉพาะวัสดุก่อสร้างนับว่ามีความสำคัญที่จะส่งผลกระทบต่อเงินทุน ปริมาณแรงงานที่ใช้ เทคนิคการออกแบบ และการควบคุมงานก่อสร้าง ถ้าวัสดุก่อสร้างมีราคาสูงขึ้น เงินทุนก็เพิ่มขึ้น ปริมาณแรงงานที่ใช้ก็ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้สร้างอาคาร เช่น การสร้างอาคารโดยใช้ไม้เป็นวัสดุ แรงงานก็ใช้น้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับอาคารที่สร้างโดยใช้คอนกรีตในการก่อสร้าง เป็นต้น ฉะนั้น วัสดุก่อสร้างที่เลือกใช้ในงานก่อสร้างอาคารต้องพิจารณาถึงหลักเกณฑ์ต่าง ๆ อาทิเช่น เป็นวัสดุที่หาได้ง่ายมีทั่วไปในท้องถิ่น มีราคาถูก มีการผลิตออกจำหน่ายในปริมาณที่เพียงพอ ประกอบเป็นโครงสร้างหรือส่วนอื่น ๆ ได้ง่าย สะดวก และรวดเร็ว มีความแข็งแรง ทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศได้ดี มีขนาดสอดคล้องกับการออกแบบในการใช้งานและมีคุณภาพตามที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดไว้ (มาตรฐานที่อยู่อาศัยประเภทอาคารชุด. 2525 : 18)

กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้ออกพระราชกำหนดปิดป่า เมื่อวันที่ 17 มกราคม 2532 ห้ามตัดไม้และยกเลิกสัมปทานการทำไม้ทั่วประเทศ ส่งผลให้เกิดสภาวะไม้ขาดแคลนและมีราคาสูงขึ้น ต้องสั่งเข้าไม้จากต่างประเทศ จำนวน 3.67 ล้านลูกบาศก์เมตร เพื่อสนองความต้องการใช้ไม้ในประเทศตามข้อมูลที่ได้จากการสำรวจเป็นจำนวนถึง 4.1 ล้านลูกบาศก์เมตร (กรมป่าไม้. 2533 : 19) ส่งผลให้วัสดุก่อสร้างประเภทไม้ขาดแคลน ทำให้ต้องใช้วัสดุที่มีไม้เป็นส่วนประกอบทดแทน เช่น ไม้อัดแผ่นเรียบ เซลโลกริต ชิปบอร์ด แผ่นใยไม้อัดแข็ง เป็นต้น

การทำผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับวัสดุทำฝานึ่งบางประเภทที่ใช้ไม้เป็นวัตถุดิบ ทำให้มีการตัดไม้ทำลายป่า และมีผลกระทบต่อต้นน้ำลำธารโดยส่วนรวม ตลอดจนระบบนิเวศวิทยาในที่สุด เพื่อเป็นการอนุรักษ์ป่าไม้และต้นน้ำลำธารตลอดจนระบบนิเวศวิทยาดังกล่าว จำเป็นต้องหาแนวทาง

แก้ปัญหา โดยการหาผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีสัดส่วนของวัตถุดิบมาเพื่อทดแทนไม้ ได้แก่ แผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ ซึ่งมีชื่อทางการแตกต่างกันไป เช่น ซิปบอร์ด สตาร์มิตบอร์ด เซลโลกริต เป็นต้น และส่วนประกอบหลักแต่เดิมนั้นใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (portland cement) และขึ้นไม้สับหรือเส้นใยไม้ โดยนำไปเป็นส่วนประกอบโครงสร้างของอาคาร เช่น ทำฝ้าผนัง ฝ้าเพดาน อนึ่ง แม้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวไม่มีส่วนประกอบของไม้ แต่ก็ยังพบปัญหาในเรื่องน้ำหนักของวัสดุ และราคาปูนซีเมนต์แพงหรือขาดแคลนในบางช่วงเวลา จึงมีผู้ศึกษาผลิตภัณฑ์แผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ เพื่อลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และหาวัสดุเส้นใยพืชชนิดอื่นที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นมาใช้ทดแทนไม้เพื่อแก้ปัญหา ดังกล่าว เช่น งานวิจัยแผ่นใยปาล์ม-ซีเมนต์ ของ สุทัศน์ สุวรรณสินธุ์ (2532 : 5) ที่ศึกษาโดยนำใยปาล์มที่เหลือใช้จากการทำอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มมาเป็นวัตถุดิบผสมกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าแกลบ และน้ำ เพื่อทดแทนไม้และลดต้นทุนในการผลิต ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้นำมาใช้ทำฝ้าเพดาน ฝ้ากันห้อง เป็นต้น

นอกจากนี้ ชัยรัตน์ สุวพัฒน์ และคนอื่น ๆ (2533 : บทคัดย่อ) ได้ศึกษาวิจัยทดลองเพื่อหาคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของสารประกอบเส้นใยพืชชนิดต่าง ๆ กับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เพื่อหาวัตถุดิบที่จะนำมาเสริมกำลังทำให้มีความเหนียว สามารถรับแรงอัดได้มากขึ้นและมีน้ำหนักเบา เส้นใยพืชที่นำมาทดลองได้แก่ โยมะพร้าว ผักตบชวา กล้วยาคา ฟางข้าว ผลการทดลองพบว่า โยมะพร้าวเป็นตัวเสริมกำลังรับแรงอัดได้ดีกว่าเส้นใยพืชชนิดอื่น ๆ ผักตบชวาถ้ามีปริมาณในส่วนผสมมาก จะทำให้การเสริมกำลังรับแรงอัดไม่ดี เนื่องจากใยผักตบชวามีการยึดเกาะซีเมนต์ไม่ดีเท่าที่ควร ไครนเชล (Krenche1. 1974 : 45-78) กล่าวว่า ถ้านำเส้นใยพืชชนิดเซลลูโลสมาผสมกับปูนซีเมนต์ในอัตราไม่เกินร้อยละ 15-20 ทำให้มีความสามารถรับแรงอัด แรงดัด และลดสภาพการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากความชื้นได้ ฉะนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่า ควรนำผักตบชวามาศึกษาทดลองใหม่เพื่อผลการรับแรงว่า จะมีการเปลี่ยนแปลงส่งผลให้สามารถรับแรงอัดได้ดีขึ้นกว่าเดิมหรือไม่ ส่วนฟางข้าวและกล้วยาคามีคุณสมบัติในการยึดเกาะกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์น้อยมาก ทำให้การเสริมกำลังรับแรงอัดไม่ดี ส่วนการหาวัตถุดิบมาทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จากงานวิจัยของ ปริญญา จินดาประเสริฐ (2529 : 81) พบว่า เถ้าแกลบมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบมากถึงร้อยละ 90 การเผาแกลบที่อุณหภูมิเหมาะสมระหว่าง 600-800 องศาเซลเซียส จะได้เถ้าแกลบสีเทาขาว ซึ่งง่ายต่อการบดให้ละเอียด ส่วนเถ้าแกลบที่ได้จากการเผาเป็นเชื้อเพลิง

ในโรงสีข้าวได้เถ้าแกลบเป็นสีกา ซึ่งเถ้าแกลบทั้งสีเทาขาวและสีดำสามารถนำมาใช้ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้เป็นอย่างดี ผลการทดลองพบว่า สามารถใช้เถ้าแกลบแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้ถึงร้อยละ 50-60 ทำให้ลดต้นทุนการผลิต และผลิตภัณฑ์สามารถรับแรงอัดเท่ากับส่วนผสมซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ส่วนการศึกษาในครั้งนี้ ผู้วิจัยต้องการหาแนวทางทำวัสดุแผ่นทดแทนไม้เพื่อใช้เป็นผลิตภัณฑ์ผ้านั่งชนิดใหม่ โดยศึกษาหาสัดส่วนที่เหมาะสมและใช้วัสดุเสริมกำลังรับแรงอัดขึ้นเพื่อทดแทนไม้ วัสดุทดแทนประเภทเส้นใยพืช ได้แก่ เส้นใยมะพร้าว หรือใยผักตบชวา และวัสดุทดแทนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ได้แก่ เถ้าแกลบ และปูนขาว การศึกษาดังกล่าวนอกจากลดปัญหาวัตถุดิบที่หาได้ยากแล้ว ยังช่วยส่งเสริมให้ประชาชนในชนบทได้นำความรู้ไปสร้างวัสดุแผ่นทดแทนไม้สำหรับใช้เองได้ เนื่องจากกระบวนการผลิตสามารถใช้เครื่องมือที่หาได้ง่าย และสามารถทำได้ด้วยตนเอง เช่น กะบะผสมปูน ลูกกลิ้งสำหรับกดส่วนผสมให้แน่น และแผ่นอิฐขนาด 8 กิโลกรัมกดทับแผ่นชั้นงานนาน 12 ชั่วโมงแทนเครื่องอัดแรงดันสูงที่โรงงานใช้ ซึ่งช่วยลดต้นทุนการผลิต เป็นการพัฒนาเทคโนโลยีระดับชาวบ้าน ส่งเสริมเศรษฐกิจของท้องถิ่นและของประเทศโดยรวม

ความมุ่งหมายของการค้นคว้า

เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการทำวัสดุแผ่นทดแทนไม้จากวัตถุดิบเถ้าแกลบ ปูนขาว ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และใยมะพร้าวหรือใยผักตบชวา โดยให้มีคุณสมบัติด้านการพองตัว การต้านแรงคด มอดุลลัสยืดหยุ่น การต้านแรงดึงตึงฉีกกับผิว ตามมาตรฐานสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า

1. สามารถนำผลงานวิจัยไปผลิตวัสดุแผ่นทดแทนไม้ที่มีคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

2. สามารถนำไปส่งเสริมประชาชนในชนบทให้ผลิตวัสดุแผ่นทดแทนไม้ขึ้นใช้เอง โดยอาศัยวัสดุในท้องถิ่น อันได้แก่ เถ้าแกลบ และไยมะพร้าวหรือไยมักตบขวา

ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการทำวัสดุแผ่นทดแทนไม้จากวัตถุดิบ เถ้าแกลบ ปูนขาว ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และไยมะพร้าวหรือไยมักตบขวา โดยจะควบคุมสัดส่วนของส่วนผสม ไยมะพร้าวหรือมักตบขวา ปูนขาวและน้ำที่ใช้ผสมให้คงที่ทุกสูตรผสม เพื่อให้ได้วัสดุแผ่นทดแทนไม้ที่มีคุณสมบัติทางกายภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ ความหนาแน่นสูงที่มีคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ดังนี้

1. การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ไม่เกินร้อยละ 2
2. ความต้านแรงดัด เมกะพาสคัล (Megapascal) ไม่น้อยกว่า 9
3. มอดุลัสยืดหยุ่น เมกะพาสคัล ไม่น้อยกว่า 3000
4. ความต้านแรงดึงตึงฉากกับผิวหน้า เมกะพาสคัล ไม่น้อยกว่า 0.5 (กระทรวง

อุตสาหกรรม มอก. 2532 : 6-7)

ประชากร

การวิจัยครั้งนี้ จะใช้เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ป่อซิโซลานา (ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกับเถ้าแกลบและปูนขาว) ร้อยละ 94.24 ไยมะพร้าวหรือมักตบขวา 5.76 น้ำร้อยละ 0.8 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ป่อซิโซลานา สัดส่วนทดลองมี 16 สูตร ขึ้นทดลองขนาด 60X 60X2.5 ซม. สูตรละ 1 แผ่น ดังแสดงในตาราง 1 และตาราง 2

ตาราง 1 สัดส่วนของส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โซลานา กับใยมะพร้าว และน้ำ
ประปา ที่ใช้ผสมในการทำวัสดุแผ่นทดแทนไม้

สูตรที่	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซีโซลานา			ใย มะพร้าว	มวลรวม ทั้งหมด	น้ำประปา ที่ใช้ผสม
	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	เถ้าแกลบ	ปูนขาว			
	น้ำหนัก	น้ำหนัก	น้ำหนัก			
	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ			
	ของมวลรวม	ของมวล	ของมวล	ของมวล		
		รวม	รวม	รวม	น้ำหนัก	รวม
1	23.34	42.57	28.37	5.72	100	ร้อยละ 0.8
2	21.84	44.07	28.37	5.72	100	ของน้ำหนัก
3	20.34	45.57	28.37	5.72	100	ปูนซีเมนต์
4	18.84	47.07	28.37	5.72	100	ปอร์ตแลนด์
5	17.34	48.57	28.37	5.72	100	ปอซีโซลานา
6	15.84	50.07	28.37	5.72	100	ทุกสูตรที่
7	14.34	51.57	28.37	5.72	100	ทดลอง
8	12.84	53.07	28.37	5.72	100	

ตาราง 2 สัดส่วนของส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานา กับใยผักตบชวา และ น้ำประปา ที่ใช้ผสมในการทำวัสดุแผ่นทดแทนไม้

สูตรที่	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานา			ใย	มวลรวม	น้ำประปา
	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	เถ้าแกลบ	ปูนขาว	ผักตบชวา	ทั้งหมด	ที่ใช้ผสม
	น้ำหนักร้อยละของ	น้ำหนัก	น้ำหนัก	น้ำหนัก	น้ำหนัก	
	มวลรวม	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	/กก.	
		ของมวล	ของมวล	ของ		
		รวม	รวม	มวลรวม		
1	23.34	42.57	28.37	5.72	100	ร้อยละ 0.8
2	21.84	44.07	28.37	5.72	100	ของน้ำหนัก
3	20.34	45.57	28.37	5.72	100	ปูนซีเมนต์
4	18.84	47.07	28.37	5.72	100	ปอร์ตแลนด์
5	17.34	48.57	28.37	5.72	100	ปอชโซลานา
6	15.84	50.07	28.37	5.72	100	ทุกสูตรที่
7	14.34	51.57	28.37	5.72	100	ทดลอง
8	12.84	53.07	28.37	5.72	100	

ตัวแปรต้น

สัดส่วนของส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานา กับใยมะพร้าวหรือ ใยผักตบชวา โดยกำหนดให้ปริมาณปูนขาวกับใยมะพร้าวหรือใยผักตบชวา และน้ำมีสัดส่วนคงที่ ส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีปริมาณผกผันกับเถ้าแกลบ ดังแสดงในตาราง 1 และตาราง 2

ตัวแปรตาม

คุณสมบัติของวัสดุแผ่นทดแทนไม้ เทียบกับคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ประเภทแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ ความหนาแน่นสูงตามมาตรฐานของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

นิยามศัพท์เฉพาะ

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หมายถึง ปูนซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติตามมาตรฐานปอร์ตแลนด์ และมีจำหน่ายในท้องตลาด ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราช้าง ตราเพชรเม็ดเดียว ตราญานาค สีเขียว

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานา หมายถึง ปูนที่ได้จากการผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทหนึ่งกับสารปอชโซลานา ได้แก่ ปูนขาวรวมกับเถ้ากลบ

ปูนขาว หมายถึง ปูนที่ได้จากการเผาหินปูนแบบปูนขาวสุก มีจำหน่ายในท้องตลาดบรรจุ ถังละ 5.5 กิโลกรัม

เถ้ากลบ หมายถึง ขี้เถ้าที่ได้จากการเผาถ่านตามโรงสีข้าวที่อุณหภูมิ 600-800 องศาเซลเซียส มีลักษณะเป็นสีดำปนเทา แล้วนำมาบดให้ละเอียดประมาณ 150 เมท

เส้นใยพืช หมายถึง เส้นใยที่ได้จากเปลือกหุ้มผลมะพร้าวโดยการทุบด้วยมือหรือเครื่องทุบเส้นใย หรือเส้นใยของผักตบชวาที่ได้จากการผ่าลำต้นผักตบชวาเอาไส้ทิ้ง เหลือแต่เปลือกปนเส้นใย ทำให้แห้งโดยการตากแดด

วัสดุแผ่นทดแทนไม้ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานา กับเส้นใยพืช และใช้น้ำเป็นตัวผสมให้สัดส่วนเข้ากัน

แผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นแผ่น ทำขึ้นจากชั้นไม้สับหรือเส้นใยพืชเซลลูโลสผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1100 ถึง 1300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีคุณสมบัติตามมาตรฐานที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนด (กระทรวงอุตสาหกรรม มอก. 2532 : 6-7)

ขึ้นไม้ หมายถึง ขึ้นหรือส่วนของเนื้อไม้หรือวัสดุกลไกโนเซลลูโลส มีลักษณะต่าง ๆ เช่น เป็นเกล็ด แฉก ขี้กบ แท่ง เม็ด (กระทรวงอุตสาหกรรม มอก. 2532 : 6-7)

สัดส่วน หมายถึง ปริมาณของวัสดุที่นำมาประกอบกันเป็นผลิตภัณฑ์ โดยใช้หน่วยวัดปริมาณเป็นหน่วยน้ำหนักหรือปริมาตรอย่างใดอย่างหนึ่ง และมีหน่วยวัดรวมเท่ากับ 100 เช่น ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ มีน้ำหนัก 26.20 กรัม ผสมกับเถ้าแกลบ 45.43 กรัม และปูนขาว 28.37 กรัม เท่ากับ 100 กรัม

น้ำหนักมวลรวม หมายถึง ปริมาณของมวลของวัสดุที่นำมาผสมกันเป็นวัสดุทดแทนไม้ โดยวัดปริมาณเป็นหน่วยน้ำหนักมวลรวมกัน

เมท (Math) หมายถึง หน่วยวัดขนาดหรือความละเอียดของมวลของวัสดุซึ่งสามารถลดช่องตะแกรงที่มีจำนวนรูต่อตารางนิ้วเท่าใดมีค่าเท่ากับเท่านั้นเมท

ความหนาแน่น หมายถึง คำนวณน้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรที่ระดับปริมาณความชื้นระดับใดระดับหนึ่ง

ความชื้น หมายถึง ปริมาณของน้ำที่แฝงอยู่ในผลิตภัณฑ์ทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามปริมาณของน้ำที่เปลี่ยนไป

ความพองตัว หมายถึง การที่ผลิตภัณฑ์ดูดความชื้นเข้าไปและมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นมีขนาดโตขึ้นกว่าก่อนได้รับความชื้น

ความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น หมายถึง ความสามารถต้านทานแรงดัดจากภายนอกที่กระทำต่อวัสดุแผ่นทดแทนไม้ในลักษณะทำให้โค้งงอและสามารถยืดหยุ่นได้เท่าใดก่อนจะเกิดการหักหรือแตกร้าว เช่น แผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ต้องสามารถทนแรงดัดไม่น้อยกว่า 9 เมกะพาสคัล ยืดหยุ่นได้ไม่น้อยกว่า 3000 เมกะพาสคัล เป็นต้น

ความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิว หมายถึง ความสามารถทนต่อการดัดในทิศทางตั้งฉากกับผิวหน้าของวัสดุจากแรงภายนอกได้สูงสุดก่อนการฉีกขาดหรือแตกแยกของผิวหน้า เช่น แผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ต้องมีความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้า ไม่น้อยกว่า 0.5 เมกะพาสคัล เป็นต้น

เมกะพาสคัล หมายถึง หน่วยของความต้านแรงดัด ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น ความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวที่ได้จากการคำนวณหาค่าแรงที่ลดต่อพื้นที่มีหน่วยเป็นนิวตัน ตารางด้วยปริมาณของขึ้น

ทดสอบ ค่าของความต้านแรงดัด ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น ความต้านทานแรงดึงตึงฉีกกับผิว มีหน่วยเป็นเมกะพาสคัล

สมมติฐาน

สัดส่วนที่เหมาะสมในการทำวัสดุแผ่นทดแทนไม้ มีคุณสมบัติตามมาตรฐานที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนด

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องจากเอกสารตำรา และงานวิจัย ซึ่งจะเป็ประโยชน์และทำให้การวิจัยครั้งนี้บรรลุจุดมุ่งหมายที่ตั้งไว้ โดยแยกเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

1. ความรู้เกี่ยวกับแผ่นไม้อัดสารแร่ (wood mineral-bonded panel)
 - 1.1 ความหมายของแผ่นไม้อัดสารแร่
 - 1.2 กระบวนการผลิตแผ่นไม้อัดสารแร่
 - 1.3 การหาสัดส่วนของการนำวัสดุแผ่นทดแทนไม้
 - 1.4 ประเภทของแผ่นไม้อัดสารแร่
2. วัตถุดิบที่นำมาใช้ทำแผ่นวัสดุทดแทนไม้หรือแผ่นไม้อัดสารแร่
 - 2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
 - 2.2 เถ้ากลบ
 - 2.3 ปูนขาว
 - 2.4 เส้นใยพืช (ใยมะพร้าว และใยผักตบชวา)
 - 2.5 น้ำ
3. คุณสมบัติของวัสดุแผ่นทดแทนไม้ที่กำหนดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ความรู้เกี่ยวกับแผ่นไม้อัดสารแร่

1.1 ความหมายแผ่นไม้อัดสารแร่ เป็นผลิตภัณฑ์วัสดุแผ่นสำเร็จรูป ซึ่งได้จากการนำไม้ ในรูปของเส้นไม้ ชี้้นไม้ โยไม้ หรือพืชเส้นใยทางเกษตรอื่น ๆ มาผสมกับสารแร่ เช่น ปูนซีเมนต์ หรือยิปซัม และอัดเกาะกันเป็นแผ่น

1.2 กระบวนการผลิตแผ่นไม้อัดสารแร่ ผลิตขึ้นได้โดยนำสารแรมมาผสมกับไม้ หรือพืช เส้นใยทางเกษตร เช่น โยปาล์ม ป่าน ปอ โยมะพร้าว โยผักตบชวา ในสัดส่วนที่เหมาะสมกับน้ำ และนำมาใส่แบบพิมพ์แล้วอัดด้วยแรงดันและใช้ความร้อนช่วยเสริมแล้วนำแผ่นไม้อัดสารแร่ออกจาก แบบพิมพ์ และอัดด้วยแม่แรงทั้งไว้อีก 24 ช.ม. หลังจากนั้นบ่มไว้ประมาณ 10 วัน จึงนำออกมา จำหน่าย (อุตสาหกรรมไม้อัดไม้ประกอบในอนาคต. 2532 : 25)

1.3 การหาสัดส่วนของการทำวัสดุทดแทนไม้ คือ การทดลองหาปริมาณโดยน้ำหนัก ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานากับเส้นใยพืช และน้ำประปาที่ใช้ผสม โดยสัดส่วนมวลรวม ของทั้งหมด (ไม่รวมน้ำที่ใช้ผสม) เท่ากับ 100 หน่วยน้ำหนัก เช่น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 23.34 ก.ก. ถ้ำกลบ 42.57 ก.ก. ปูนขาว 28.37 ก.ก. กับเส้นใยพืช 5.72 ก.ก. รวมกันเป็น 100 ก.ก. (น้ำประปาที่ใช้ผสม ร้อยละ 0.8 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานา) ซึ่ง ในการทดลองจะเปลี่ยนแปลงปริมาณของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในลักษณะที่ผกผันกับปริมาณของ ถ้ำกลบ ส่วนปูนขาวและเส้นใยพืชให้มีปริมาณคงที่ น้ำประปาที่ใช้ผสมมีปริมาณเท่ากับ 0.8 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ถ้ำกลบ และปูนขาว (ซึ่งเรียกว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปอชโซลานา) ซึ่งหากสามารถลดปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ลงได้โดยคุณสมบัติของวัสดุทดแทนไม้ไม่เปลี่ยนแปลงก็จะเป็นการลดต้นทุนการผลิต ซึ่งจากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง พบว่า ถ้ำกลบผสมกับปูนขาวในปริมาณ 3 : 2 โดยน้ำหนักจะทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในส่วน ที่ลดลงได้ ส่วนเส้นใยพืชที่กำหนดให้มีปริมาณคงที่เนื่องจากเป็นส่วนที่จะช่วยเสริมแรงในการรับ แรงอัดแรงคัตและน้ำประปาที่ใช้ผสมกำหนดให้มีปริมาณสัมพันธ์กับปริมาณปูนซีเมนต์ต้องการจะให้ความชื้นในผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากันทุกสูตรที่ใช้ทดลอง ข้อสังเกตเกี่ยวกับสัดส่วนของส่วนผสมจากสูตร ที่หนึ่งจนถึงสูตรที่ 8 ในตาราง 1 และตาราง 2 อีกประการหนึ่ง คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

จะลดลงสู่ระดับประมาณ 1.5 หน่วยน้ำหนัก เพราะต้องการจะลดซิลิกาและแคลเซียมโดยอาศัยซิลิกาจากเถ้าแกลบ และแคลเซียมของปูนขาวทดแทน ส่วนเถ้าแกลบจะเพิ่มขึ้นประมาณ 1.5 หน่วยน้ำหนักเพื่อเพิ่มซิลิกาทดแทนส่วนที่ขาดหายไปอันเนื่องจากการลดปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนขาวที่กำหนดปริมาณคงที่เพราะแคลเซียมที่เติมลงในส่วนผสมจะทดแทนส่วนที่หายไปจากการลดปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แต่ที่ไม่เพิ่มปูนขาวเช่นเดียวกับเถ้าแกลบ เพราะโดยปกติปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมีแคลเซียมส่วนเกินประมาณร้อยละ 40 เมื่อรวมกับซิลิกาของเถ้าแกลบและแคลเซียมในปูนขาวกับแคลเซียมส่วนเกินในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่มีร้อยละ 40 แล้วก็จะทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ส่วนที่หายไปได้

1.4 ประเภทของแผ่นไม้อัดสารแร่ แบ่งเป็น 3 ประเภท คือ

1.4.1 แผ่นไม้อัดซีเมนต์ (wood cement board) ได้แก่ วัสดุแผ่นซึ่งผลิตขึ้นโดยใช้เส้นไม้ ชี้้นไม้ หรือใยไม้ผสมกับปูนซีเมนต์ เช่น แผ่นเส้นไม้อัดซีเมนต์ (wood wool cement board) แผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ (cement bonded particle board) และแผ่นใยไม้อัดซีเมนต์ (cement bonded fiber board) เป็นต้น

1.4.2 แผ่นไม้อัดยิปซัม (wood gypsum board) ได้แก่ วัสดุแผ่นซึ่งผลิตขึ้นโดยใช้แร่ยิปซัมผสมกับชี้นไม้หรือใยไม้ เช่น แผ่นขึ้นไม้อัดยิปซัม (gypsum particle board) และแผ่นใยไม้อัดยิปซัม (gypsum fiber board)

1.4.3 แผ่นไม้อัดสารแร่อื่น ๆ (other wood mineral bonded panel) ผลิตขึ้นโดยใช้สารแร่ เช่น ชี้้นยิปซัมกับชี้นไม้ (อุตสาหกรรมไม้อัดไม้ประกอบในอนาคต. 2532 : 25-26)

ในประเทศไทยมีการผลิตแผ่นไม้อัดสารแร่อยู่ 2 ชนิด คือ

1. แผ่นฝอยไม้อัดซีเมนต์ ชื่อทางการค้าคือ เซลโลกริต ผลิตโดยบริษัทเซลโลกริตไทย จำกัด
2. แผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ ชื่อทางการค้า คือ วิว่าบอร์ด ผลิตโดยบริษัทวิบูลย์พัฒนาอุตสาหกรรม จำกัด

แผ่นไม้อัดสารแร่มีคุณสมบัติการดูดซึมน้ำได้น้อยกว่าไม้ สามารถป้องกันเสียงและอุณหภูมิได้ดีกว่า ทนทานต่อการทำลายของแมลงและเห็ดรา ทนทานต่อการเผาไหม้ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ ยังมีราคาถูก เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์แผ่นไม้ประกอบอื่น ๆ ซึ่งสามารถตอบสนองความต้องการในการสร้างที่อยู่อาศัยแบบราคาประหยัด สำหรับผู้มีรายได้น้อยทั้งในเมืองและชนบท โดยเฉพาะในประเทศที่กำลังพัฒนาและด้อยพัฒนาที่มีอัตราการขาดแคลนที่อยู่อาศัยในระดับสูง (กรมป่าไม้. 2532 : 2)

ส่วนวัสดุแผ่นทดแทนไม้ที่จะทำการวิจัยเป็นแผ่นไม้อัดสารแร่ชนิดหนึ่ง เพราะส่วนผสมที่ใช้ในการทำเป็นการรวมตัวของสารแร่จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้ากลบ ปูนขาว ซึ่งเรียกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานา ผสมกับเส้นใยพืช (ไยมะพร้าว หรือใยผักตบชวา) โดยให้มีคุณสมบัติตามมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ประเภทแผ่นหินไม้อัดซีเมนต์ ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ใช้ทำฝ้าผนัง ฝ้าเพดาน หรือไม้แบบได้ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการผลิต เช่น กะบะผสมปูน แบบพิมพ์ ลูกกลิ้ง เกรียง แผ่นอิฐสำหรับกดกับมวลให้แน่น เป็นต้น จะหาได้ง่ายในท้องถิ่นและชนบท

2. วัตถุดิบนำมาใช้ทำแผ่นวัสดุทดแทนไม้ หรือแผ่นไม้อัดสารแร่

2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (portland cement) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ได้จากการบดปูนเม็ด ซึ่งเป็นส่วนผสมของหินปูน (limestone) กับดินเหนียว (clay) และยังมีสารประกอบของซิลิเนียมออกไซด์ ซิลิกอนออกไซด์ อลูมิเนียมออกไซด์ เหล็ก และยิปซัมอยู่ด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (hydration) เมื่อผสมกับน้ำตามส่วน ทำให้เกิดความร้อนและช่วยในการก่อตัว และมีการให้ความชื้นเพื่อบ่มให้เกิดความแข็งแรงในงานคอนกรีต (วินิต ช่อวิเชียร. 2529 : 5)

กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์คือ นำหินปูนมาผสมกับดินเหนียว และนำไปเผาด้วยความร้อนสูงที่อุณหภูมิ 2,700 องศาเซลเซียส จะได้วัสดุที่กลายเป็นก้อนคล้ายหินก้อนเล็ก ๆ เรียกว่า ปูนเม็ด (klinder) เมื่อเม็ดปูนเย็นตัวลงจะผสมยิปซัม (gypsum) โดยบดรวมกันใน

เครื่องบด (ใส่ยิปซัมประมาณร้อยละ 3 เพื่อให้ทำหน้าที่ควบคุมเวลาของการก่อตัวซีเมนต์ในการผสมกับน้ำ) เมื่อบดเม็ดปูนและส่วนผสมอื่นละเอียดแล้ว จะนำมาร้อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 แล้วจึงนำไปบรรจุถุงประมาณถุงละ 50 กิโลกรัม (พจนานุกรมศัพท์, 2530 : 73-76) หรือถึงเก็บปูนผงที่บรรจุได้ในปริมาณมาก

ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์มีสารประกอบรวมกันอยู่หลายชนิด เช่น ไตรแคลเซียมซิลิเกต (tricalcium silicate หรือ 3CaO SiO_2) ไดแคลเซียมซิลิเกต (dicalcium silicate หรือ 2CaO SiO_2) ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (tricalcium aluminate หรือ $3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$) เฟอไรท์ โซลิด โซลูชัน (Ferrite solid solution หรือ $4\text{CaO Al}_2\text{O}_3 \text{Fe}_2\text{O}_3$) . (Van Oss. 1971 : 99)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มี 5 ชนิด คือ

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (ordinary portland cement) ใช้สำหรับในการก่อสร้างทั่ว ๆ ไป ความร้อนที่เกิดจากการรวมตัวกับน้ำจะไม่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงขั้นอันตราย ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราช้าง ตราพานาคสีเขียว และตราเพชรเม็ดเดียว
2. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (modified portland cement) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีตที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลาง เช่น งานสร้างเขื่อน ตอม่อสะพาน หล่อท่อคอนกรีตขนาดใหญ่ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราพานาคสีเข้ม
3. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งเร็ว (high-early strength portland cement) สำหรับใช้ในงานที่ต้องการกำลังสูงตั้งแต่วัยแรก เช่น งานเสาเข็มคอนกรีต ถนน พื้นและคานที่ต้องถอดแบบเร็ว ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราเอราวัณ ตราพานาคสีแดง ตราสามเพชร
4. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ (low-heat portland cement) สำหรับใช้ในงานก่อสร้างคอนกรีตหนา ได้แก่ เขื่อน อ่างเก็บน้ำ
5. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตได้สูง (sulfate-resistant portland cement) สำหรับใช้ในงานที่ต้องการความต้านทานซัลเฟต เช่น งานคอนกรีตในบริเวณที่มีซัลเฟตทำอันตรายต่อคอนกรีตได้ง่าย ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราปลาฉลาม (วินิต ช่อวิเชียร. 2529 : 11-12)

ตาราง 3 ปริมาณส่วนประกอบพื้นฐานของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แต่ละชนิด

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	ส่วนประกอบร้อยละ				ความละเอียด ตาราง ซม./กรัม
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	
1. แบบธรรมดา	50	24	11	8	1800
2. แบบคัตปลง	42	33	5	13	1800
3. แบบแข็งเร็ว	60	13	9	8	7600
4. แบบเกิดความร้อนต่ำ	26	50	5	17	1900
5. แบบทนซัลเฟตได้สูง	40	40	4	4	1900

ที่มา : พิภพ สุนทรสมัย. 2530 : 78

นอกจากนี้ ยังมีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทอื่น เช่น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานา (portland pozzolana cement) ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ที่ทำขึ้นจากสารส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดากับสารจำพวกปอซโซลานิก (pozzolanic) ปอซโซลานา (pozzolana) ที่ใช้อาจได้มาจากธรรมชาติหรือวัสดุทำเทียมประกอบด้วยซิลิกาเป็นส่วนใหญ่ ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ทำให้คอนกรีตมีการขยายตัวน้อยแต่มีความทนน้ำสูง ความร้อนในการรวมตัวกับน้ำต่ำเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา เกิดความแข็งแรงช้า ต้านแรงอัดได้เท่ากับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (วินิต ช่อวิเชียร. 2529. : 13) กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม (2518 : 2) ผู้ค้นพบปูนปอซโซลานา ศาสตราจารย์ P.K. Mehta แห่งมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย เบิร์กลีย์ ได้นำแกลบเผาในอุณหภูมิที่กำหนดจะได้ แถ่แกลบดำ (reactive black ash) เมื่อเอาไปผสมกับปูนขาวจะได้ซีเมนต์ดำ ซึ่งมีคุณภาพสูงและทนทานต่อการกัดกร่อนของกรด

อนุชิต กิจสวัสดิ์ (2529 : 2-3) พบว่า ปูนปอซโซลานาที่ได้จากการผสมระหว่าง

เถ้าแกลบขบละเอียดกับปูนขาวในอัตราส่วนที่เหมาะสม จะได้ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในงานก่อสร้าง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานา ได้จากการผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับเถ้าแกลบขบละเอียด ส่วนกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของไทยได้ทำการทดลองนำปูนซีเมนต์ปอซโซลานามาผลิตอิฐบล็อก อิฐมอญ โดยใช้ปูนขาวผสมกับเถ้าแกลบในอัตราส่วน 2 : 3 รวมกันเป็นส่วนผสม 1 ส่วนของน้ำหนักมวล ผสมกับทราย 3 ส่วนของน้ำหนักมวล และน้ำประมาณ 0.7 ส่วนของน้ำหนักปูนขาวและเถ้าแกลบคลุกเคล้าให้ดี แล้วอัดลงแบบทิ้งให้แห้งถอดแบบผึ่งทิ้งไว้ 1 เดือน สามารถนำไปใช้งานได้ดี ราคาถูกมากเมื่อเทียบกับราคาที่เกิดจากปูนซีเมนต์ตราเสือ คุณสมบัติของอิฐที่ได้จะมีน้ำหนักเบาและแข็งแรงรับแรงอัดได้สูง แต่มีข้อเสียมากด้านการยึดหดของอิฐ

วัชร ทองเจริญ และคนอื่น ๆ (2529 : 479) ได้ศึกษาคุณสมบัติบางประการของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานา ที่เกิดจากการผสมของเถ้าแกลบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วน 30 : 70 ทำเป็นปูนซีเมนต์มอร์ต้า พบว่า หากทิ้งไว้ 28 วัน จะรับแรงอัดได้ถึง 267.6 กก./ตร.ซม. และถ้าผสมในอัตราส่วน 40 : 60 จะรับแรงอัดได้เร็วขึ้น โดยสามารถรับแรงอัดได้ถึง 237.4 กก./ตร.ซม. ภายใน 7 วัน กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2527 : 6-7) ได้ค้นพบว่า ปูนปอซโซลานามีใช้มานานในยุโรปแต่ไม่แพร่หลาย เพราะมีจุดอ่อนในด้านการใช้งาน ซึ่งต้องมีระยะเวลา 7-28 วัน เมื่อผสมเป็นปูนซีเมนต์ในงานก่อสร้างต้องทิ้งให้เกิดสภาพเกลียวซิลิเกตและแคลเซียม จึงจะสามารถรับแรงอัดหรือรับน้ำหนักได้ดี ต่างจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ผลิตจากหินปูน มีส่วนผสมของเกลียวซิลิเกตและแคลเซียมที่เหมาะสม สามารถทำให้งานคอนกรีตรับแรงอัดได้ทันทีที่ส่วนผสมแห้ง ปูนปอซโซลานา ที่มีคุณภาพดีได้จากการใช้เถ้าแกลบชนิดเทาขาว ซึ่งเถ้าที่อุณหภูมิไม่เกิน 600 องศาเซลเซียส ขบละเอียดเท่ากับปูนซีเมนต์ และนำมาผสมกับปูนขาว ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้จะใช้ปูนประเภทนี้ เพราะในเถ้าแกลบที่มีซิลิกาสูง ปูนขาวมีแคลเซียม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มียิปซัม เหล็ก และอลูมินา ซึ่งคาดว่าเมื่อผสมรวมกันจะใช้ทดแทนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ธรรมดาที่ใช้อยู่ในงานผลิตแผ่นไม้อัดสารแร่ตามปกติได้

ตาราง 4 ลักษณะของปฏิกิริยาซึ่งเกิดกับสารประกอบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ลักษณะของปฏิกิริยาที่เกิด	พฤติการณ์ของการประกอบ			
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
อัตราของปฏิกิริยา (reaction ratio)	ปานกลาง	ช้า	เร็ว	ช้า
ความร้อนต่อหน่วยสารประกอบ	ปานกลาง	เล็กน้อย	มาก	เล็กน้อย
ค่าการยึดติด (cementing) ต่อหน่วยสารประกอบ				
ระยะแรก (early)	ดี	ไม่ดี	ดี	ไม่ดี
ระยะหลัง (ultimate)	ดี	ดี	ไม่ดี	ไม่ดี

ที่มา : นิพนธ์ สุนทรสมัย. 2530 : 78

ตาราง 5 ข้อกำหนดความต้องการสำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตามมาตรฐานสมาคมทดสอบและวัสดุของอเมริกา

เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติทางกายภาพ	ชนิด I	ชนิด II	ชนิด III	ชนิด IV	ชนิด V
ความละเอียด (fineness)	-	-	-	-	-
พื้นที่ผิวจำเพาะ (specific surface)					
ตารางเซนติเมตรต่อกรัม	1,600	1,700	-	1,800	1,800
ค่าต่ำสุดต่อ 1 ตัวอย่าง	1,500	1,600	-	1,700	1,700
ความอยู่ตัว (soundness)					
การขยายตัวโดยวิธีออโตเคลฟว์ (Auto Clave Expansion) สูงสุดร้อยละ	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
ระยะเวลาการก่อตัว (time of setting)					
ทดสอบแบบไวแคต (vicat) เริ่มก่อตัว ไม่น้อยกว่านาที	45	45	45	45	45
แรงอัด (compressive strength)	-	-	-	-	-
แรงอัดของก้อนลูกบาศก์มอร์ต้า (mortar (cube) ตามวิธีทดลอง ASTM C.109 ต้องเท่ากับหรือมากกว่าค่าที่กำหนดตาม เกณฑ์อายุข้างล่างนี้					
1 วัน ในอากาศชื้นหรือ 2 วันในน้ำ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว	1,700	1,000	3,000	-	-
1 วัน ในอากาศชื้นหรือ 6 วันในน้ำ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว	2,100	1,800	-	800	1,500
1 วัน ในอากาศชื้นหรือ 27 วันในน้ำ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว	3,500	3,500	-	3,000	3,000

ที่มา : นิพนธ์ สุนทรสมัย. 2530 : 85

ตาราง 6 คุณสมบัติของปูนซีเมนต์ตราช้าง ตราเอราวัณ ตราเสือ ตราเพชร และตรานกอินทรี

เกณฑ์กำหนดส่วนประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพ	ปอร์ตแลนด์ ตราช้าง	ปอร์ตแลนด์ ตราเอราวัณ (แข็งเร็ว)	ซิลิกา ตราเสือ	ปอร์ตแลนด์ ตราเพชร	ซิลิกา ตรานก อินทรี
ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2)					
ต่ำสุดร้อยละ	21.63	20.48	-	21.25	-
อลูมินัมออกไซด์ (Al_2O_3)					
สูงสุดร้อยละ	50.9	5.55	-	5.77	-
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3)					
สูงสุดร้อยละ	2.02	2.88	-	3.13	-
แมกเนเซียมออกไซด์ (MgO)					
สูงสุดร้อยละ	0.91	1.11	-	1.08	-
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3)					
เมื่อมี $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ร้อยละ 8 หรือน้อยกว่า					
เมื่อมี $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ มากกว่าร้อยละ 8	1.68	2.37	-	2.36	-
การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (Loss on ignition) สูงสุด					
ร้อยละ	0.82	1.29	-	0.71	
กากที่ไม่ละลายในต่าง (insoluble residue) สูงสุดร้อยละ	0.11	0.17	-	0.40	
ไตรแคลเซียมซิลิเกต ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)					
สูงสุดร้อยละ	58.0	54.0	-	58.0	

ตาราง 6 (ต่อ)

เกณฑ์กำหนดส่วนประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพ	พอร์ตแลนด์ ตราช้าง	พอร์ตแลนด์ ตราเอราวัณ (แข็งเร็ว)	ซีลีก้า ตราเสือ	พอร์ตแลนด์ ตราเพชร	ซีลีก้า ตรานก อินทรี
ไตรแคลเซียมอลูมิเนต ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$)					
สูงสุดร้อยละ	8.6	9.8	-	10.0	-
เกณฑ์กำหนดคุณสมบัติทางกายภาพ					
ความละเอียด พื้นผิวจำเพาะ					
ตารางเซนติเมตรต่อกรัม	3,000	4,400	3,700	3,000	3,200
ค่าต่ำสุดต่อ 1 ตัวอย่าง	2,800	4,000	-	2,800	-
ความยู่ตัว					
การขยายตัวโดยวิธีออโตเคลฟว์ (Auto Clave Expansion)					
สูงสุดร้อยละ	0.10	0.10		0.10	
ระยะการก่อตัว					
ทดสอบแบบไวแคต (vicat)	2ชม.	1ชม.	2ชม.	2ชม.	
เริ่มก่อตัว	02 นาที	40 นาที	30 นาที	30 นาที	
(ไม่น้อยกว่า 45 นาที) ก่อตัว	3ชม.	2ชม.	3ชม.	30 นาที	
ครั้งสุดท้าย (ไม่มากกว่า 10 ชม.)	10 นาที	35 นาที	30 นาที		

ที่มา : นิพนธ์ สุนทรสมัย. 2530 : 86)

ตาราง 7 เปรียบเทียบกรรมวิธีการผลิต การลงทุน การใช้งาน และราคาระหว่างปูนซีเมนต์
ปอชโซลานา กับ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ลำดับที่	รายการ	ปูนซีเมนต์ปอชโซลานา	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
1	กรรมวิธีผลิต	ไม่ยุ่งยาก ผลิตได้ง่ายจากการ บดผสมเข้ากันกับปูนขาว ใน อัตราส่วน 3:2 โดยไม่ต้องใช้ ความร้อนเลย	ยุ่งยาก ผลิตได้จากส่วนผสม หินดินดานและอื่น ๆ ในอัตรา ส่วนที่เหมาะสม ผสมกันแล้ว เผาที่อุณหภูมิสูง โดยออกมา เป็นก้อนแล้วค่อยให้ละเอียด
	การลงทุนก่อสร้าง โรงงาน	เป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ใช้ ทุนน้อย	เป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ใช้ทุนมาก
2	การใช้งาน	ใช้งานได้เฉพาะอย่าง อาจทำเป็น วัสดุก่อสร้างเช่น อิฐมวลเบา อิฐบล็อก เป็นต้น เพราะรับแรงกดดันใน ระยะแรกต่ำ เมื่อนำมาใช้งาน จะเกิดเป็นปฏิกิริยาต่อเนื่องกัน สร้างความแข็งแรงให้กับตัวมัน เองได้เรื่อย ๆ	ใช้ในงานการก่อสร้างได้ ทุกชนิด เพราะเกิดปฏิกิริยา ขององค์ประกอบทางเคมีใน ปูนซีเมนต์สมบูรณ์แล้ว

ตาราง 7 (ต่อ)

ลำดับที่	รายการ	ปูนซีเมนต์ปอร์ตโซโซลานา	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
3	ราคา	ราคาถูก	ราคาแพง
(ปี 2527)		ชนิดคุณภาพดีราคาตันละ 780 บาท คุณภาพรองราคาตันละ 506 บาท (อาจจะถูกกว่านี้อีก ถ้าผลิตได้ใน ขั้นอุตสาหกรรม)	ชนิดคุณภาพดีซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ตราช้าง) ตันละ 1,675 บาท ชนิดคุณภาพรอง ซีเมนต์ตราเสือ ตันละ 1,380 บาท
4	การผลิต		
	- ในชนบท	ประชาชนตามชนบทสามารถผลิต ซีเมนต์ชนิดนี้ขึ้นมาใช้เองได้	ประชาชนไม่สามารถผลิตซีเมนต์ ชนิดนี้ขึ้นมาใช้เองได้
	- ในอุตสาหกรรม	สามารถผลิตวัสดุก่อสร้างได้ใน ราคาถูก และประชาชนได้ใช้ วัสดุก่อสร้างในราคาไม่แพง	ผลิตวัสดุก่อสร้างได้ในราคา แพงกว่า

ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์ กระทรวงอุตสาหกรรม. 2527 : 6-7

ความละเอียดของปูนซีเมนต์ (fineness of cement) อัตราการทำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำนอกเหนือไปจากส่วนประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์แล้วยังขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคของปูนซีเมนต์ด้วย ถ้ามีปูนซีเมนต์สองอย่างที่มีน้ำหนักเท่ากันปูนซีเมนต์ชนิดที่มีขนาดอนุภาคหยาบทำปฏิกิริยากับน้ำช้ากว่า ในขณะที่ปูนซีเมนต์ที่ละเอียดสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำได้เร็วกว่า และมีอัตราการก่อตัวและแข็งตัวเร็วกว่า อย่างไรก็ตาม ถ้าปูนซีเมนต์มีอนุภาคละเอียดมากเกินไปผงปูนซีเมนต์จะทำปฏิกิริยากับความชื้นในอากาศก่อน และจับตัวกันเป็นก้อน ซึ่งจะทำให้คุณภาพ

ของปูนซีเมนต์เสียไปได้ (วินิต ช่อวิเชียร. 2529 : 18)

ปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ (hydration of cement) เมื่อผสมปูนซีเมนต์กับน้ำ ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำก็จะเริ่มขึ้น และเรียกปฏิกิริยานี้ว่าไฮเดรชัน (hydration) ยังผลให้เกิดความเหนียวและเกาะแน่นกับวัสดุส่วนผสม ความร้อนที่ได้จากการที่ปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำเรียกว่า "heat of hydration" วัตถุประสงค์ต่อกรัมของปูนซีเมนต์ สำหรับปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ธรรมดาให้ความร้อนประมาณ 85 ถึง 100 แคลอรีต่อกรัม ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเนื้อคอนกรีตมีค่าสูง คอนกรีตอาจเสียความแข็งแรงได้ และความร้อนนี้จะทำให้เกิดหน่วยแรงต่าง ๆ ภายในเนื้อคอนกรีต ซึ่งเป็นผลให้คอนกรีตแตกร้าว ในโครงสร้างคอนกรีตที่บาง ความร้อนจะสามารถถ่ายเทออกไปได้ แต่ในโครงสร้างคอนกรีตขนาดใหญ่และหนา เช่น เขื่อน จะต้องมียูธีโออกแบบให้มีการถ่ายเทความร้อนที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำให้เหมาะสมเพื่อป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีต อีกวิธีหนึ่งอาจทำได้ โดยใช้ปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนของการทำปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำต่ำ

การทำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำจะหยุดเมื่อน้ำหนีออกจากเนื้อปูนซีเมนต์หมดแล้ว ดังนั้นการบ่มจึงเป็นวิธีการป้องกันการสูญเสียน้ำในคอนกรีตจึงนับว่าเป็นสิ่งสำคัญ เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์นั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณของปูนซีเมนต์ในส่วนผสม ชนิดของปูนซีเมนต์ ความละเอียดของปูนซีเมนต์และอุณหภูมิโดยรอบบริเวณ สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต่ำกว่า 0.55 โดยน้ำหนัก จะขึ้นอยู่กับกาให้น้ำจากภายนอกด้วย ถ้าบ่มคอนกรีตที่ใช้กันตามธรรมดาเป็นเวลา 1 เดือน โดยให้อยู่ในสภาวะมาตรฐานของห้องทดลอง จะพบว่าปูนซีเมนต์จะทำปฏิกิริยากับน้ำเกินกว่าร้อยละ 80 อย่างไรก็ตามสภาพในสนาม คอนกรีตจะแห้งภายในเวลาไม่กี่วัน หลังจากนั้นปูนซีเมนต์ยังคงทำปฏิกิริยากับน้ำต่อไปได้โดยอาศัยน้ำที่ซึมจากใต้ดิน หรือจากความชื้นในขณะฝนตกหรือในขณะที่มีความชื้นในอากาศสูง ดังนั้น ภายใต้สภาวะแวดล้อมธรรมดาการทำปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์กับน้ำจะยังคงมีต่อไปอีกหลายปี (วินิต ช่อวิเชียร. 2529 : 19)

การก่อตัวและการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ (setting and hardening process) เมื่อปูนซีเมนต์ผสมกันกับน้ำจะได้ซีเมนต์เหลว (pasted cement) มีลักษณะนุ่มเหลวปั้นง่าย ถ้าปล่อยทิ้งไว้โดยไม่รบกวน ในไม่ช้าซีเมนต์เหลวจะสูญเสียความชื้นตัว และถึงสถานะที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้โดยปราศจากการแตกหัก การเปลี่ยนภาวะนั้นเรียกว่า "การก่อตัวและการแข็งตัว" ของปูนซีเมนต์ ตามปกติการก่อตัวเป็นก้อนแข็งมีขึ้นภายในเวลาสองสาม ชั่วโมง ซึ่งจะเกิดการแข็งตัวตามมาโดยอาจใช้เวลาเป็นเดือนหรือปี ขึ้นอยู่กับการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ

ระยะเวลาการก่อตัว (time of setting) หมายถึง เวลาที่ส่วนผสมของปูนซีเมนต์และน้ำใช้ในการเปลี่ยนจากสภาพเหลวไม่คืนตัว (plastic state) เป็นก้อนแข็ง แบ่งออกเป็นสองอย่างคือ ระยะเวลาเริ่มก่อตัวหรือการก่อตัวระยะต้น และระยะเวลาก่อตัวเสร็จ (เริ่มแข็งตัว) หรือการก่อตัวระยะปลาย การหาระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เหลวนี้เป็นสิ่งจำเป็น ทั้งนี้เพื่อให้ทราบถึงระยะเวลาที่จะต้องทำงานให้เสร็จ ได้แก่ การเท การเขย่า และการตบแต่ง เป็นต้น ก่อนที่ซีเมนต์เหลวหรือคอนกรีตนั้นจะแข็งตัว การทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัว (ระยะต้นและระยะปลาย) อาจทำได้โดยการทดสอบแบบกิลมอร์ (gillmore test) หรือใช้การทดสอบแบบไวแคต (วินิต ช่อวิเชียร. 2529 : 20)

การอยู่ตัวของปูนซีเมนต์ (soundness) เมื่อผลิตปูนซีเมนต์ถูกวิธี การแข็งตัวของปูนซีเมนต์จะเกิดขึ้นโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรมากนัก อีกนัยหนึ่งคือ ปูนซีเมนต์จะคงตัวหรืออยู่ตัวดีนั่นเอง ความไม่อยู่ตัว (unsoundness) ของปูนซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้ว จะทำให้เกิดการขยายตัวในเนื้อคอนกรีต เนื่องมาจากการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับผลึกในส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ เป็นไปอย่างช้า ๆ หรือถูกหน่วงให้ช้า ทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวและชำรุดเสียหาย โดยปกติเกิดจากการที่มียิบซัมหรือปูนขาวอิสระ (free lime) หรือแมกนีเซีย (magnesia) ในปูนซีเมนต์มากเกินไป ระยะเวลาในการเผาปูนซีเมนต์มากเกินไปจะทำให้เกิดส่วนของเยื่อบาง ๆ หุ้มรอบเม็ดซีเมนต์ ซึ่งเป็นการหน่วงปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนขาวอิสระในซีเมนต์ให้ช้าลง ขบวนการเกิดปฏิกิริยานี้จะเป็นไปอย่างช้า ๆ แม้ว่าปูนซีเมนต์จะแข็งตัวแล้วจึงเป็นผลให้เกิดการขยายตัวและขัดขวางการยึดจับของเนื้อคอนกรีตจนทำให้เกิดผลเสียหายดังกล่าวข้างต้น

เมื่อมีแมกนีเซียมออกไซด์ในปูนซีเมนต์มากเกินไปกว่าร้อยละ 5 ก็เป็นสาเหตุหนึ่งของความไม่ยู่ตัว ในกรณีนี้ความไม่ยู่ตัวจะสังเกตเห็นได้ภายหลังเวลานาน เพราะแมกนีเซียมที่ถูกเผาด้วยความร้อนสูงจะคงเหลือเป็นเวลานานก่อนจะรวมกับน้ำ (วินิต ช่อวิเชียร. 2529 : 21)

ความแข็งแรง (strength) ความแข็งแรงของปูนซีเมนต์เป็นเครื่องชี้ถึงลักษณะกำลังรับแรงของคอนกรีต แต่ไม่สามารถใช้คาดหมายถึงกำลังแข็งแรงของคอนกรีต ทั้งนี้ เพราะกำลังความแข็งแรงของคอนกรีตขึ้นอยู่กับองค์ประกอบมากมาย

ความแข็งแรงของปูนซีเมนต์มักจะทดสอบจากแท่งมอร์ตาร์ ซึ่งทำขึ้นโดยการผสมระหว่างทรายกับปูนซีเมนต์ เพื่อตรวจสอบว่าปูนซีเมนต์ที่จะนำไปใช้มีคุณภาพตามมาตรฐานหรือไม่ ความแข็งแรงของปูนซีเมนต์ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารประกอบที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์ และความละเอียดของผงปูนซีเมนต์ การทดสอบจะมีทั้งการทดสอบหาความต้านทานต่อแรงอัด และต่อแรงดึง (วินิต ช่อวิเชียร. 2529 : 22)

2.2 เถ้าแกลบ (ash) การศึกษาเปรียบเทียบการแยกสารในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับสารที่มีอยู่ในเถ้าแกลบ สารที่ผสมกันเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และเถ้าแกลบคล้ายคลึงกัน ผิดกันแต่ปริมาณเท่านั้น ในซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีปูนขาว (lime) เหลืออยู่ ซึ่งเมื่อคิดคำนวณให้หินปูนทำปฏิกิริยากับซิลิกา เป็นแคลเซียมซิลิเกต (CaSiO_3) หรือเป็นผลึกเกลือ (complex salt) CaSiO_3 , $\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_3$ ยังมีหินปูนเหลืออีกเกือบร้อยละ 40 ส่วนเถ้าแกลบนั้นมีปริมาณ SiO_2 เป็นส่วนมาก ซึ่งเมื่อนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มาผสมกับเถ้าแกลบแล้วจะมีปฏิกิริยา pozzolanic reaction เกิดขึ้นและได้แคลเซียมซิลิเกต ปฏิกิริยานี้จะค่อยเป็นค่อยไป นอกจากนี้อาจทำปฏิกิริยาเป็นเกลือเชิงซ้อนตัวอื่น ๆ ได้อีกเช่น เหล็กออกไซด์ แมกนีเซียมออกไซด์ เป็นต้น เถ้าแกลบมีลักษณะพรุนซึ่งดีกว่าทราย ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับหินปูนจึงน่าจะดีกว่าทรายที่ลดยืดเท่ากันและผสมลงไปในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วย

ตาราง 8 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้ากลบ

องค์ประกอบทางเคมี	ส่วนผลสมต่อร้อยละ	
	ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	เถ้ากลบ
ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2)	21.6	94.5
อลูมินัมไดออกไซด์ (Al_2O_3)	4.6	traces
เฟอร์ริกไดออกไซด์ (Fe_2O_3)	2.8	traces
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	62.8	0.23
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	3.2	0.23
ซัลเฟต (Sulphate)	2.1	1.13
การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (Ignition loss)	1.5	-
กากที่ไม่ละลายในด่าง (Insoluble residue)	0.1	-
แคลเซียมออกไซด์อิสระ (Free CaO)	1.2	-
โซเดียมออกไซด์ (Na_2O)	0.41	0.78
โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O)	0.24	0.10
ผลรวมสารประกอบระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์กับ		
ไฮโดรคาร์บอเนต (Total Alkalites $\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$)	0.57	-

ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2523 : 23; อ้างอิงมาจาก rice products utilization Vol.1 1974 : 6)

การหาคุณสมบัติของแก้วกลบ การเผาแก้วที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน จะได้แก้วกลบที่มีสีและคุณสมบัติต่างกัน แก้วกลบขาวได้จากการคั่ว ๆ เเผาแก้วที่อุณหภูมิต่ำโดยมีความชื้นพอประมาณ หรือได้จากการเผาแก้วที่อุณหภูมิต่ำ จนได้เป็นสีเทา แล้วคั่ว ๆ เเผาที่อุณหภูมิสูงประมาณ 100 องศาเซลเซียส จนเปลี่ยนเป็นสีขาว ส่วนแก้วกลบเทาได้จากการเผาแก้วที่อุณหภูมิไม่เกิน 500 องศาเซลเซียส และแก้วกลบดำได้จากการเผาแก้วที่อุณหภูมิก่อนข้างสูงแต่ไม่เกิน 1200 องศาเซลเซียส ได้แก่ การเผาแก้วเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงสีข้าว

แก้วกลบที่ได้จากการเผาโดยใช้อุณหภูมิต่ำและมีความชื้นพอประมาณ ซิลิกาจะอยู่ในรูปของอสัณฐาน (amorphous) แต่ถ้าได้จากการเผาที่อุณหภูมิต่ำ แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิสูงอีกครั้งหนึ่ง จะอยู่ในรูปของอสัณฐานเป็นจำนวนน้อย และอยู่ในรูปของสัณฐานผลม (crystallite) มาก ส่วนแก้วกลบเทาจะอยู่ในรูปของอสัณฐาน และแก้วกลบดำจะอยู่ในรูปของอสัณฐานผลมเป็นส่วนใหญ่ (crystallite เป็น poly amorphous ซึ่งมี quartz, tridymite, coesite และ stishovite)

จากการหาถ่วงความหนาแน่น (bulk density) แก้วกลบขาวจะมีความหนาแน่นน้อยกว่าแก้วกลบเทาและแก้วกลบเทาจะมีความหนาแน่นน้อยกว่าแก้วกลบดำ

ตาราง 9 ค่าความหนาแน่นของเถ้ากลบและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราช้าง

	ความหนาแน่น(g/ml)
เถ้ากลบขาวสุพรรณบุรี เเผที่อุดหุมิต่ำ	0.5876
เถ้ากลบขาว เเผที่อุดหุมิต่ำจนเป็นสีเทาแล้วจึงปรับหุมให้สูง	0.8226
เถ้ากลบเทา เเผเองที่อุดหุมิไม่เกิน 600 องศาเซลเซียส	0.7573
เถ้ากลบดำ ได้จากโรงสีข้าวที่รังสิต	0.8837
ปูนซีเมนต์ตราช้าง	1.4950

ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2523 : 34

การศึกษาปฏิกิริยาของเถ้ากลบกับปูนขาวและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ เถ้ากลบทั้งสีขาว เทา และดำ ประกอบด้วยซิลิกาเป็นส่วนใหญ่ และมีความพรุน ฉะนั้น เมื่อบดให้ละเอียดและผ่านตะแกรงเบอร์ 200 แล้วผสมกับปูนขาวในอัตราส่วนเถ้ากลบต่อปูนขาวเท่ากับ 2 : 1 ส่วน บดให้เข้ากันดีด้วยเครื่องบด แล้วนำมาผสมกับทราย เติมน้ำประมาณ 0.8 เท่าของจำนวนที่ใช้เมื่อผสมปูนซีเมนต์ ทำเป็นปูนหล่อแท่งลูกบาศก์ขนาด $2 \times 2 \times 2$ นิ้ว ส่วนหนึ่งทิ้งไว้ 7 วัน และอีกส่วนหนึ่งทิ้งไว้ 28 วัน นำไปหาแรงกด

ในการศึกษาขั้นต่อมา ใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (CaO) แทนปูนขาว Ca(OH)_2 โดยบดเถ้ากลบละเอียดผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ผสมกับปูนโดยใช้ปูนที่มีปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 86.8 ในอัตราส่วนเถ้ากลบต่อปูนเท่ากับ 3 : 7 ส่วน บดผสมกับเถ้ากลบ ใช้เวลาบดผสม 3 ชั่วโมง แล้วนำส่วนผสมนี้ไปผสมกับทรายในอัตราส่วนซีเมนต์ ต่อทรายเท่ากับ 1 : 3 ส่วน ใช้น้ำร้อยละ .08 ของปูนซีเมนต์ผสม ทำเป็นปูนหล่อแท่งลูกบาศก์ ขนาด $2 \times 2 \times 2$ นิ้ว ทิ้งไว้ให้ครบ 7 วัน และ 28 วัน นำมาหาแรงกด พบว่า ปูนหล่อครบ 7 วัน สามารถรับแรงกดได้ 1762.8 ปอนด์/ตารางนิ้ว และบ่มครบ 28 วัน สามารถรับแรงกดได้ 1975.6 ปอนด์/ตารางนิ้ว

การศึกษาเปรียบเทียบปฏิกิริยาระหว่างเถ้ากลบกับปูนขาวและทรายกับปูนขาว ในอุตสาหกรรมทำปูนซีเมนต์ชนิดที่มีคุณภาพรองลงมาจากมาตรฐานปอร์ตแลนด์ เช่น ปูนซีเมนต์ ทรายลือ ถ้าใช้ปูนซีเมนต์ทรายข้างผสมกับทรายหรือหินที่บดละเอียดอีกประมาณร้อยละ 30 ก็จะได้ปูนซีเมนต์ที่มีคุณภาพรองลงมา กรมวิทยาศาสตร์บริการได้ทดลองใช้เถ้ากลบซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมโรงสีข้าวและมีซิลิกาเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ และซิลิกานี้ มีรูปเป็นอสัณฐาน น่าจะมีปฏิกิริยาดีกว่าทรายหรือหินหรือมีรูปเป็นควอตซ์ (quartz) และไม่ร่วน

ในการทดลองได้ใช้เถ้ากลบดำ จากโรงสีรังสิต เถ้ากลบเทา ได้จากการเผาเถ้ากลบที่อุณหภูมิไม่เกิน 600 องศาเซลเซียส เถ้ากลบขาว ได้จากการเผาเถ้ากลบที่อุณหภูมิต่ำไม่เกิน 600 องศาเซลเซียส จนเป็นสีเทาแล้วเผาที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1000 องศาเซลเซียส จนขาว นำเถ้ากลบดำ เถ้ากลบเทา เถ้ากลบขาว และทราย มาบดผ่านตะแกรงเบอร์ 100 แล้วนำมาผสมกับปูนขาว โดยใช้ปูนขาวร้อยละ 30 เสร็จแล้วนำปูนซีเมนต์นี้มาผสมกับทรายอีกครั้งหนึ่ง โดยใช้อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ต่อทรายเท่ากับ 1 : 3 ส่วน ใช้น้ำ 0.6 เท่าของปูนซีเมนต์ผสมให้เข้ากันแล้วเทลงแบบขนาด 2"x2"x2" ทิ้งไว้ 7 วัน และ 28 วัน แล้วนำไปทดสอบการรับแรงกดได้ผลตาม ตาราง 10

ตาราง 10 ผลการทดสอบการรับแรงกดของปูนสอ ที่ทำจากเถ้ากลบชนิดต่าง ๆ ผสมกับ
ปูนขาว

อันดับ	ซีเมนต์ผสม	อัตราส่วน	แรงกด ปอนด์/ตารางนิ้ว	
			7 วัน	28วัน
1	เถ้ากลบดำ : ปูนขาว	70:30	292.5	633.7
2	เถ้ากลบเทา : ปูนขาว	70:30	1022.7	1272.5
3	เถ้ากลบขาว : ปูนขาว	70:30	923.0	1060.1
4	ทราย : ปูนขาว	70:30	24.6	แตกก่อน

ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์. 2523 : 35

2.3 ปูนขาว (limes) ได้จากการเผาหินปูนขาว (limestone) หรือแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ปูนขาวที่มีแคลเซียมสูง จะทำให้ส่วนผสมสำหรับฉาบและก่อขึ้นเหนียวขึ้น ปูนขาวมี 2 ชนิด คือ

1. ปูนขาวสุก (quicklime) ได้จากการเผาหินปูนขาว ปูนสุกจะแห้งจัด ต้องการผสมน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

2. ปูนขาวที่อมน้ำ ได้จากการนำปูนสุกมาผสมกับน้ำ ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี และเปลี่ยนเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์ นำปูนไปใช้ในงานฉาบผิว งานตกแต่ง หรืองานก่อด้วยมอร์ต้า โดยผสมกับทรายและน้ำ การก่อตัวของปูนขาวเกิดขึ้นจากการนำปูนขาวสุกมาผสมกับน้ำ ทำให้เกิดความร้อนจะได้แคลเซียมออกไซด์ช่วยให้เกิดความชื้นเหนียวในการก่อตัว เมื่อผสมปูนขาวอมน้ำกับทรายและน้ำจะได้แคลเซียมคาร์บอเนตในสภาพมอร์ต้าซึ่งจะค่อย ๆ แข็งตัวอย่างช้า ๆ ใช้ระยะเวลาเป็นเดือนหรือเป็นปี (นิพนธ์ สุนทรสมัย. 2527 : 16-17)

กรมวิทยาศาสตร์ (2517 : 163) พบว่า ในงานคอนกรีต ถ้าเติมสารเจือปนบางอย่างลงไป จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงในงานได้ เช่น ใส่ปูนขาวจะทำให้ค่าของแรงอัดโค้งเพิ่มขึ้น หาก

ใส่ในปริมาณไม่มากเกินไปเหมาะสำหรับไปใช้งานที่ต้องการเพิ่มความแข็งแรงเมื่อผสมปูนขาว ช่วย เช่น การก่อสร้างอาคาร สะพาน หรือถนน (อุตสาหกรรมสาร. 2512 : 45)

2.4 เส้นใยพืช ที่ใช้ทดลองครั้งนี้ คือ โยมะพร้าว และใยผักตบชวา

2.4.1 โยมะพร้าว (coconut fiber) เส้นโยมะพร้าวเป็นเส้นใยที่ได้จากเปลือกที่ห่อหุ้มผลมะพร้าวที่เรียกว่า กาบมะพร้าว เมื่อนำมาแยกออกจะได้เส้นใยยาวร้อยละ 10 เส้นใยสั้นร้อยละ 20 และเศษขี้เลื่อยร้อยละ 70 โดยประมาณ (กองอุตสาหกรรมสิ่งทอ. ม.ป.ป. : 1) เส้นโยมะพร้าว จะมีความยาวประมาณ 15-30 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.0-1.5 มม. เส้นโยมะพร้าวสามารถต่อต้านปฏิกิริยาของน้ำเค็มและแบคทีเรียได้ดี การแยกเส้นโยมะพร้าวทำได้โดยการหมักกาบมะพร้าวเพื่อให้เปลือกย่อยก่อน แล้วจึงนำมาแยก ก่อนหมักจะทุบให้เปลือกแตก แล้วจึงนำไปหมักประมาณ 3-5 วัน นำมาทุบให้เส้นใยแตกตัวออก และล้างทำความสะอาด การแยกเส้นใย ถ้าต้องการความรวดเร็วและทำจำนวนมากจะใช้เครื่องนวดขีบกาบมะพร้าว แล้วนำเข้าเครื่องล้างทำความสะอาด ซึ่งสามารถผลิตได้ถึง 2000 ลูกในเวลา 8 ชม. และได้เส้นใยสั้น (mattress fiber) ประมาณ 204 กก. และใยยาว (bristle fiber) 102 กก. นำเส้นใยที่ได้ไปตากแดดให้แห้ง

องค์ประกอบทางเคมีของกาบมะพร้าว

กาบมะพร้าวมีความชื้นร้อยละ 11.9 และสารที่เป็นของแข็งร้อยละ 88.1 และองค์ประกอบทางเคมีตาม ตาราง 11

ตาราง 11 องค์ประกอบทางเคมีของกามมะพร้าว

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละในกามมะพร้าวเปียก โดยน้ำหนัก	ร้อยละในกามมะพร้าวแห้ง โดยน้ำหนัก
สารอินทรีย์	8.4	9.3
แร่	7.7	8.7
ไขมันและเรซิน	1.6	1.8
เซลลูโลส	30.8	35.0
ลิกนิน (ร้อยละ 72 H_2SO_4 method)	22.2; 29.3	25.2; 33.3
เพนโตซาน	6.5; 9.2	7.5; 10.0
ไนโตรเจน	0.26	0.30
โปรตีน	1.7	1.9
น้ำหนักหลังจากการต้มในน้ำยาโซดาไฟ		
ร้อยละ 1 เวลา 5 นาที	10.6	12.0
โพแทสเซียม (K)	0.66	0.75
โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O)	0.79	0.90
ฟอสฟอรัส (P)	0.02	0.02
ฟอสเฟอรัทแอนไฮไดร (P_2O_5)	0.04	0.05
แคลเซียม (Ca)	0.26	0.29
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	0.35	0.40

ที่มา : กองอุตสาหกรรมสิ่งทอ. ม.ป.ป. : 1

เส้นใยมะพร้าวมีคุณสมบัติคงทนมากในสภาพภูมิอากาศปกติ ได้มีการพยายามผสมใยมะพร้าวในผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ และเผยแพร่ข้อมูลอย่างกว้างขวาง แต่คุณสมบัติของเส้นใยพืชทั่วไป จะมีความอดลึกล้ำ และเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความชื้นอย่างรวดเร็ว จึงเป็นเหตุให้ไม่นิยมนำเส้นใยมะพร้าวมาใช้ให้เป็นประโยชน์ (Hannant. 1978 : 52) และมีการศึกษาพบว่า เส้นใยชนิดเซลลูโลสสามารถผสมในปูนซีเมนต์ได้ไม่เกินร้อยละ 15-20 เพราะมีผลต่อแรงอัด ความชื้น ทำให้คุณภาพต่ำได้เมื่อใส่มาก (KrencheI. 1974 : 45-78)

2.4.2 ใยผักตบชวา (water hyacinth fiber) ชื่อพื้นเมืองของผักตบชวามีหลายชื่อ เช่น ผักปอง ผักตบ ผักบ่ง บัวลอย ลักษณะของเส้นใย เป็นเส้นใยชนิดสั้นความยาวเฉลี่ย 1-3 มิลลิเมตร เป็นพืชลอยน้ำ รากไม่หยั่งลงดิน อยู่เป็นกอใหญ่ ๆ แพร่กระจายตามแหล่งน้ำลำคลองทั่วไป ขยายพันธุ์ได้รวดเร็วมาก ทำให้เกิดปัญหาแก่การสัญจรทางน้ำ ทางชลประทาน ทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน เป็นแหล่งแพร่กระจายของโรคที่เกิดจากสัตว์ จำพวกยุง หอย (สภาวิจัยแห่งชาติ. 2533 : 1-5) แม้ว่าจะมีปัญหาก็มีประโยชน์ในด้านทำอาหารสัตว์ ทำปุ๋ย ทำเห็ดฟางนำมาหมักเพื่อผลิตแก๊สชีวภาพ ทำเชื้อเพลิงชีว วัสดุทำผลิตภัณฑ์พวกกระเป๋าทำรองเท้า ทำหมวก เป็นต้น การเตรียมเส้นใยผักตบชวา ทำโดยตัดลำต้นยาวประมาณ 30-70 ซม. ผ่านแบ่งลำต้นผักตบชวาออกเป็น 8 ส่วน และชุบใส่ในที่เป็นส่วนค่อน้ำออก นำเปลือกที่เป็นเส้นใยไปตากแดดประมาณ 2 วัน เมื่อแห้งสนิทแล้วนำมาเก็บในที่แห้งและสะอาด เพื่อป้องกันการเกิดเชื้อราที่จะทำลายการยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับส่วนผสมอื่น ๆ

ตาราง 12 องค์ประกอบทางเคมีของผักตบชวาแห้ง

องค์ประกอบทางเคมี	น้ำหนักร้อยละ
ความชื้น	9.9
โปรตีน	70.5
ไขมัน	3.7
กาก	15.6
เถา	16.9
คาร์โบไฮเดรต	33.6
แคลเซียม	1.57
ฟอสฟอรัส	0.78

ที่มา : สำนักงานปศุสัตว์ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. 2533 : 58

2.5 น้ำ (water) น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต ต้องสะอาด มีความขุ่นไม่เกิน 2,000 ppm. ปราศจากกรด ด่าง ไขมันและสารอินทรีย์ ที่จะทำอันตรายต่อคอนกรีต โดยปกติจะใช้น้ำประปา และน้ำจืดจากแหล่งน้ำธรรมชาติ น้ำที่ของน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต คือ ทำหน้าที่เคลือบหิน และทราย ให้เปียก เพื่อปูนซีเมนต์ จะเข้าเกาะโดยรอบและแข็งตัวยึดให้ติดกัน ช่วยหล่อลื่นและเข้าผสมปูน ซีเมนต์ทำปฏิกิริยาทางเคมีแล้วเกิดความร้อน เรียกว่า heat of hydration ซึ่งทำให้ผง ซีเมนต์กลายเป็นวัน ประสานผิวระหว่างเม็ดวัสดุผสม ทำให้เกาะยึดกันแน่นเมื่อแข็งตัว (วินิต ช่อวิเชียร. 2529 : 48)

3. คุณสมบัติของวัสดุแผ่นทดแทนไม้ที่กำหนดตามมาตรฐานสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

คุณสมบัติของวัสดุแผ่นทดแทนไม้ใช้มาตรฐานของแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ความหนาแน่นสูง เป็นเกณฑ์ในการหาคุณสมบัติ เพราะผลิตภัณฑ์ทั้งสองมีจุดประสงค์ในการใช้งานด้านทำฝ้าผนัง ฝ้า เพดาน และไม้แบบในงานก่อสร้าง คุณสมบัติที่จะต้องตรวจสอบมีดังนี้ ความหนาแน่น ความชื้น การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ความต้านแรงดัดและมอดุลลัสยืดหยุ่น และความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้า

การตรวจสอบความหนาแน่น คือ การหาค่าน้ำหนักในหนึ่งหน่วยปริมาตรที่ระดับความชื้น ระดับหนึ่งระดับใด ในการหาความหนาแน่นของวัสดุแผ่นทดแทนไม้จะต้องชั่งน้ำหนัก และวัด ปริมาตรไม้ออกมา แล้วนำมาคำนวณหาความหนาแน่น จากสูตร

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

(กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

(กระทรวงอุตสาหกรรม มอก. 2532 : 15)

การหาค่าความชื้น คือ การหาปริมาณของน้ำที่แฝงอยู่ในผลิตภัณฑ์ทำให้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามปริมาณของน้ำที่เปลี่ยนไป ในการหาความชื้นจะชั่งน้ำหนักของวัสดุแผ่นทดแทนไม้ และน้ำหนักหลังจากการนำวัสดุแผ่นทดแทนไม้บดไล่ความชื้น เพื่อหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสมและ สมควรมีได้ ในวัสดุแผ่นทดแทนไม้ คำนวณหาค่าความชื้น จากสูตร

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

(ร้อยละ)

(กระทรวงอุตสาหกรรม มอก. 2532 : 17)

การหาค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำ คือ การหาค่าการดูดความชื้นเข้าไปในช่วงที่มีปริมาณ ความชื้นต่ำกว่าจุดหมากก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์พองตัวขึ้น ซึ่งจะทำให้การเปลี่ยนแปลงขนาดของวัสดุ

แผ่นทดแทนไม้ การคำนวณหาการพองตัวของเนื้อไม้ จากสูตร

$$\text{การพองตัวของเนื้อไม้} = \frac{\text{ความหนาหลังแช่น้ำ (มิลลิเมตร)} - \text{ความหนาก่อนแช่น้ำ}}{\text{ความหนาก่อนแช่น้ำ (มิลลิเมตร)}} \times 100$$

(กระทรวงอุตสาหกรรม มอก. 2532 : 18)

การหาความต้านแรงคด คือ การหาว่าเมื่อน้ำหนักหรือแรงกดจากภายนอกมากระทำต่อพื้นที่ผิวของวัสดุแผ่นทดแทนไม้ โดยการใช้น้ำหนักกดลงบนจุดแบ่งสามจุด และมีจุดรับน้ำหนัก 2 จุด จุดกึ่งกลางเป็นจุดที่มีแรงหรือน้ำหนักที่มากกระทำบนพื้นที่ผิวของวัสดุแผ่นทดแทนไม้ จนเกิดสภาพการคดงอและหัก เพื่อจะดูกำลังต้านทานแรงคดของวัสดุแผ่นทดแทนไม้ ดังเช่น (วินิต ช่อวิเชียร. 2529 : 137)

$$\text{คำนวณได้จากสูตรหาความต้านแรงคด (f)} = \frac{3wl}{2bd^2}$$

- f คือ ความต้านแรงคด หน่วยเป็นเมกะพาสคัล
- w คือ แรงกดสูงสุดที่ขึ้นทดสอบรับได้ หน่วยเป็นนิวตัน
- l คือ ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของแท่นรองรับ หน่วยเป็นมิลลิเมตร
- b คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ หน่วยเป็นมิลลิเมตร
- d คือ ความหนาเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ หน่วยเป็นมิลลิเมตร

(กระทรวงอุตสาหกรรม มอก. 2532 : 21)

การหาค่ามอดุลัสยืดหยุ่น คือ การทดสอบหาสภาพการยืดหยุ่นของวัสดุแผ่นทดแทนไม้ เมื่อน้ำหนักหรือแรงกระทำจนทำให้เกิดการเลี้ยวอย่างถาวรจนชิ้นงานแตกหัก ซึ่งจะเกิดจากหน่วยแรงต่อหน่วยการหดตัวเรียกว่า มอดุลัสยืดหยุ่น การวิจัยครั้งนี้จะทดสอบหาค่ามอดุลัสยืดหยุ่นแบบ initial tangent modulus คำนวณจากความลาดเอียงของเส้นสัมผัส ซึ่งได้จากการลากเส้นให้สัมผัสกับเส้นสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและหน่วยการหดตัว ณ จุดเริ่มต้น (วินิต ช่อวิเชียร. 2529 : 147)

การหาค่ามอดุลัสยืดหยุ่นจากสูตร

$$E = \frac{l^3 \Delta w}{4bd^3 \Delta s}$$

E คือ มอดุลัสยืดหยุ่น หน่วยเป็นเมกะพาสคัล

l คือ ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของแท่งรองรับเป็นมิลลิเมตร

Δw คือ แรงกดที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง หน่วยเป็นนิวตัน

b คือ ความกว้างของชิ้นทดสอบ หน่วยเป็นมิลลิเมตร

d คือ ความหนาเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ หน่วยเป็นมิลลิเมตร

Δs คือ ระยะแอนตัวที่เพิ่มขึ้น ในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง หน่วยเป็นมิลลิเมตร

การหาค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า คือ การหาว่า ถ้ามีแรงที่มาดึงผิวหน้าในลักษณะตั้งฉากแล้ว วัสดุแผ่นทดแทนไม้จะมีความต้านแรงดึงเท่าใด การทดสอบจะกระทำโดยนำวัสดุแผ่นทดแทนไม้ติดกาวยีนกับวัสดุไม้ผิวหน้าเรียบทั้ง 2 ด้าน ซึ่งจะใช้แรงดึงผิวหน้าจนชิ้นทดสอบเกิดการแตกหัก จะต้องเกี่ยวข้องกับแรงดึงสูงสุดกับความกว้างความยาวของชิ้นทดสอบ และนำมาคำนวณหาค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (วินิจ ช่อวิเชียร. 2529 : 135) จากสูตร

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

(กระทรวงอุตสาหกรรม มอก. 2532 : 23)

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การที่ราคาวัสดุก่อสร้างในท้องตลาดอันได้แก่ เหล็กเส้น ปูนซีเมนต์ อิฐ หิน ทราาย ไม้ กระเบื้องเซรามิกส์ และกระเบื้องแผ่นเรียบสำหรับทำฝ้าเพดาน ผนังกันห้อง ได้มีราคาสูงขึ้น และมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นไปอีกเรื่อย ๆ ทำให้สถาบันการศึกษาตื่นตัวทำการวิจัย ค้นคว้า หากกรรมวิธี ลดต้นทุนในการผลิตวัสดุก่อสร้างชนิดต่าง ๆ โดยยังรักษาคุณภาพและคุณสมบัติที่ดีให้คงอยู่ เช่น งานวิจัยแผ่นใยปาล์ม-ซีเมนต์ ของ สุกัญ์ สุวรรณสินพันธ์ (2532 : 5-7) วัตถุประสงค์ของงานวิจัยมุ่งจะใช้ประโยชน์จากเส้นใยปาล์มจากโรงงานหีบน้ำมันปาล์มมาใช้ทำวัสดุก่อสร้างประเภทฝ้า กันห้อง ฝ้าเพดาน โดยศึกษาทดสอบคุณสมบัติทางกลศาสตร์ และทางฟิสิกส์ของแผ่นใยปาล์ม-ซีเมนต์ เปรียบเทียบกับแผ่นใยไม้-ซีเมนต์ ที่มีขายในท้องตลาด วัสดุที่นำมาใช้ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผสมกับเถ้าแกลบ ในอัตราส่วน 30:70 โดยน้ำหนักและผสมเส้นใยปาล์ม วิธีการผลิต นำวัสดุเส้นใยปาล์ม ปูนซีเมนต์กับเถ้าแกลบ และน้ำ ผสมกันในอัตราส่วน 3:10:8 โดยน้ำหนัก โดยจะให้แผ่นเส้นใยปาล์มมีขนาด 60x60x25 ซม. ใช้ใยปาล์ม 1,800 กรัม ซีเมนต์กับเถ้าแกลบ 6,000 กรัม และน้ำ 4,860 กรัม (4.8 ลิตร) ผลการวิจัยพบว่า แผ่นใยปาล์ม-ซีเมนต์ ที่มีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ และทางกลศาสตร์เทียบเท่ากับแผ่นใยไม้-ซีเมนต์ แต่ราคาจะต่ำกว่า

นอกจากนี้ยังมีการวิจัยเพื่อหาคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของสารประกอบเส้นใยพืชชนิดต่าง ๆ กับซีเมนต์ จากงานวิจัยเรื่อง แผ่นซีเมนต์ผสมใยพืช ของ ชัยรัตน์ สุวพันธ์ และคนอื่น ๆ (2533 : บทคัดย่อ) ได้ศึกษาซีเมนต์ผสมใยพืชเป็นการแสดงการทดลองเพื่อหาคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของสารประกอบใยพืชชนิดต่าง ๆ กับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยใยพืชที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้แก่ ใยมะพร้าว ใยผักตบชวา กล้วยาคา ฟางข้าว และซีเมนต์ผงประเภท 1 (ตราช้าง ตราพญานาคเขียว หรือตราเพชร) เป็นตัวยึดประสาน ส่วนใยพืชใช้เป็นวัตถุเพื่อเสริมกำลังทำให้มีความเหนียวสามารถรับแรงได้มากขึ้นและมีน้ำหนักเบา ซึ่งมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในลักษณะต่าง ๆ กัน และมีการทดลองเกี่ยวกับคุณสมบัติทางกล คุณลักษณะที่ทดสอบได้แก่ คุณสมบัติในการรับแรงอัด แรงดัด และการดูดซึมน้ำ ตัวแปรหลักที่ใช้ในการทดลองนี้ได้แก่ อัตราส่วนของใยพืชต่อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

และน้ำหนักต่อหน่วยของสารประกอบ สูตรตาราง 13 ทั้งนี้ จุดประสงค์หลักคือ ต้องการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดของใยพืชต่อซีเมนต์ เพื่อนำไปใช้ในงานก่อสร้าง เช่น ทำเป็นผนัง ไม้แบบหรือผ้าเปดาน จากการทดสอบพบว่า สามารถที่จะนำใยมะพร้าวมาใช้เป็นวัสดุเสริมกำลังในสารประกอบซีเมนต์ได้อย่างดี และสามารถผสมใยมะพร้าวลงไปปริมาณมากพอสมควร - ซึ่งทำให้มีน้ำหนักเบา ส่วนใยพืชผักตบชวามีข้อจำกัดคือ สามารถใส่เส้นใยลงไปปริมาณที่จำกัด เนื่องจากใยผักตบชวากับซีเมนต์มีการยึดเกาะไม่ดีเท่าที่ควร ส่วนหญ้าคาและฟางข้าว แทบจะไม่มีคุณสมบัติยึดเกาะกับซีเมนต์เลย ทำให้ไม่มีคุณสมบัติทางกลที่จะสามารถนำไปใช้ได้ อาจเป็นเพราะเส้นใยมีลักษณะใหญ่เกินไป มีความแข็งและตรง ทำให้ยึดเกาะกันไม่ดีเท่าที่ควร

งานวิจัยที่มีส่วนสำคัญต่อการลดต้นทุนในการผลิต โดยการนำเถ้าแกลบมาผสมปูนซีเมนต์ เพื่อลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ในการผลิตแผ่นใยไม้-ซีเมนต์ เช่น งานวิจัยปูนซีเมนต์เถ้าแกลบของ ปริญญา จินดาประเสริฐ (2529 : 81) เถ้าแกลบมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบมากถึงร้อยละ 90 การเผาเถ้าแกลบที่อุณหภูมิที่เหมาะสมระหว่าง 600-800 องศาเซลเซียส จะได้เถ้าแกลบเทาขาวซึ่งง่ายต่อการบดให้ละเอียด เถ้าแกลบที่ได้จากการเผาเป็นเชื้อเพลิงในโรงสีจะมีสีดำ ซึ่งเถ้าแกลบทั้งสองชนิดสามารถนำมาใช้ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาได้ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สามารถใช้เถ้าแกลบแทนปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ได้ถึง 50-60 เปอร์เซ็นต์ โดยที่กำลังรับแรงอัดเท่ากับส่วนผสมซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

จากแนวคิดในการทดลองวัสดุแผ่นทดแทนไม้ ใช้วัตถุดิบจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าแกลบ ปูนขาว เส้นใยมะพร้าว หรือใยผักตบชวา

สาเหตุที่ผู้วิจัยเลือกศึกษาแผ่นวัสดุทดแทนไม้ เพราะว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ชาวบ้านนำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้มากกว่าอย่างอื่น เช่น ใช้ทำฝาผนังบ้านทั้งภายในและภายนอก ผ้าเปดานทำไม้แบบในงานคอนกรีต ใช้ทำผนังอ่างเก็บน้ำ แผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ที่มีขายในท้องตลาดเรียกว่า เซลโลกริต ชิปปอร์ต มีปัญหาด้านน้ำหนักที่ยังมีมาก เพราะยังใช้เส้นใยไม้ 1 ส่วนกับปูนซีเมนต์ 2 ส่วน ถ้าเซลโลกริตมีขนาด 100X200X2.5 เซนติเมตร มีน้ำหนัก 22 กก.

หรือขนาด 100X200X3.75 เซนติเมตร มีน้ำหนัก 28 กก. ซึ่งน้ำหนักที่มีมากจะต้องเพิ่มภาระในการใส่เหล็กเส้นเพื่อยึดในงานโครงสร้างของอาคารที่ทำจากคอนกรีต ถ้าสามารถศึกษาและลดน้ำหนักแผ่นวัสดุทดแทนไม้ลงได้ จะทำให้ลดเหล็กเส้นเท่ากับลดเงินลงทุนในการก่อสร้างอาคารด้วย นอกจากนั้นวัตถุดิบประเภทปูนซีเมนต์และไม้ บางช่วงเวลาในท้องตลาดเกิดการขาดแคลนและมีราคาสูงขึ้น ทำให้โรงงานถึงกับต้องหยุดชงัก ทำให้กระทบต่อเศรษฐกิจและงานก่อสร้าง ผู้วิจัยจึงต้องการจะศึกษาหาสิ่งที่ทดแทนไม้ และจากการศึกษาเอกสารงานวิจัยและเส้นใยพืชบางชนิด เช่น เส้นใยมะพร้าว ผักตบชวา เห็นว่า เส้นใยมีคุณสมบัติทนต่อแรงดึงและอาจจะใช้ทดแทนใยไม้ที่เป็นตัวเสริมแรงในแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ โดยเฉพาะใยมะพร้าว ซึ่งมีลักษณะเส้นใยคล้ายเส้นใยปาล์มเพราะจัดเป็นพืชตระกูลเดียวกัน และผลงานวิจัยของ สุทัศน์ สุวรรณสินธุ์ ที่ได้ทำการศึกษาแผ่นใยปาล์ม-ซีเมนต์ พบว่า ถ้าใช้เถ้าแกลบกับปูนขาวในอัตราส่วน 1:2 หรือ 2:1 สามารถลดการใช้พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ลงได้ ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตเพราะค่าใช้จ่ายปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ตราช้าง 1 กก. ราคา 2.00 บาท ถ้าขึ้นไม้อัดซีเมนต์ขนาด 120X240X2.5 จะใช้ปูนซีเมนต์ 34.98 กิโลกรัม ราคา 69.96 บาท แต่ถ้าใช้ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ตราช้างร้อยละ 26.20 เถ้าแกลบร้อยละ 45.43 ปูนขาวร้อยละ 28.37 ทดแทนปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ 34.98 กก. ที่ใช้อยู่เดิม จะเสียค่าใช้จ่าย 42.31 บาท คิดค่าปูนซีเมนต์ร้อยละ 26.20 ราคา 16.8 บาท เถ้าแกลบร้อยละ 45.43 ราคา 12.74 ปูนขาวร้อยละ 28.37 ราคา 12.77 บาท (ปูนซีเมนต์ 1 กิโลกรัม ราคา 2.00 บาท ราคาปี 2535) และในงานวิจัยที่ได้ศึกษายังพบว่า เถ้าแกลบมี ซิลิกาเป็นส่วนประกอบร้อยละ 90 ถ้านำปูนขาวที่มีแคลเซียมออกไซด์ส่งมาผสมกับเถ้าแกลบ จะได้คุณสมบัติเท่ากับปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ สูตรทางเคมีของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์พื้นฐานประกอบด้วย ไตรแคลเซียมซิลิเกต ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) หรือ ไดแคลเซียมซิลิเกต ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) ซึ่งถ้านำเถ้าแกลบผสมกับปูนขาวก็จะได้ $3\text{Ca} \cdot \text{SiO}_2$

(กรมวิทยาศาสตร์.2523:32-35) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาหาสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการทำวัสดุแผ่นทดแทนไม้จากวัตถุดิบได้แก่ โยมะพร้าวหรือใยผักตบชวา ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าแกลบ ปูนขาว เพื่อแก้ไขปัญหาน้ำหนักของผลิตภัณฑ์เดิมที่มีน้ำหนักมาก ลดต้นทุนการผลิต หาวัตถุดิบอื่นมาทดแทนเส้นใยไม้ลดการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ตาราง 13 การเปรียบเทียบกระบวนการผลิตและอัตราส่วนผสมระหว่างแผ่นซีเมนต์
แผ่นซีเมนต์ผสมใยพืช แผ่นใยปาล์มซีเมนต์ และแผ่นวัสดุทดแทนไม้

ชนิดผลิตภัณฑ์	วัสดุที่ใช้ทำ	อัตราส่วนผสม และราคาต้นทุน	กระบวนการผลิต
เซลโลกริต* (จากโรงงานเซล โลกริต จำกัด)	1. ปูนซีเมนต์ตราภูเขา 2. เส้นไม้หรือชิ้นไม้ ผสมงสบ	ซีเมนต์: ชิ้นไม้: น้ำ 2: 1: ใช้น้ำร้อยละ 0.5 ของซีเมนต์ ผสม ขนาด 100x 200x2.5 ซม. ใช้ ปูนซีเมนต์ 17.5 กก. ชิ้นไม้แห้ง 8 กก. น้ำที่ใช้ผสม 3.5 กก. มีน้ำหนักเมื่อ แห้ง 22 กก. ทุน 76.95 บาท	1. นำไม้เข้าเครื่องสับ 2. ซีเมนต์กับชิ้นไม้และน้ำ ผสมในเครื่องผสมปูน 3. ชั่งให้ได้น้ำหนักตาม กำหนด 4. เคลือบส่วนผสมในแบบ 5. นำเข้าเครื่องอัดให้ได้ ขนาดความหนาตามที่กำหนด 6. ยึดแบบไว้กับเครื่องยึด 7. ถอดแบบออกและทิ้งให้ แข็งตัว 12 ชม. 8. ผึ่งลมในที่ร่มประมาณ 10 วัน จึงออกจำหน่าย

*บริษัท เซลโลกริต ให้ความสำคัญวิเคราะห์ข้อมูลในการผลิตเป็นเอกสารที่ไม่เผยแพร่

ตาราง 13 (ต่อ)

ชนิดผลิตภัณฑ์	วัสดุที่ใช้ทำ	อัตราส่วนผสม และราคาต้นทุน	ขบวนการผลิต
แผ่นซีเมนต์ผสมใย พืช (งานวิจัยของ ชัยรัตน์ สวณัฒน์และ คนอื่น ๆ)	1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ตราช้าง 2. เส้นใยพืชได้แก่ ใย มะพร้าว ใยผักตบ ชวา หญ้าคา ฟาง ข้าว	ที่ผ่านการทดสอบ ก. ซีเมนต์: ใยพืช: น้ำ 4.94:1 ใช้น้ำร้อยละ 0.2 ของซีเมนต์ ผสม ขนาดแผ่นทดลอง 50x50x2.5 ซม. ส่วนผสม ปูนซีเมนต์ 7.5 กก. ใยมะพร้าว 1.58 กก. น้ำ 3.9 กก. ทุน 26 บาท ข. ซีเมนต์: ใยพืช: น้ำ 10:1 ใช้น้ำร้อยละ 0.5 ของซีเมนต์ผสม ส่วนผสมปูนซีเมนต์ 10.67กก. ใยมะพร้าว 1.60 กก. น้ำ 5.34 กก. ทุน 32.52 บาท	1. เตรียมเส้นใยพืช 2. นำส่วนผสมต่าง ๆ ด้วย ไม้ผสมคอนกรีต 3. เทส่วนผสมลงในแบบ 4. ทิ้งให้ก่อตัวแล้วบ่มไว้ 5 วัน 5. ถอดแบบออกและนำไป ผึ่งในร่มประมาณ 7 วัน จึงนำไปทดสอบคุณสมบัติ ด้านต่าง ๆ

ตาราง 13 (ต่อ)

ชนิดผลิตภัณฑ์	วัสดุที่ใช้ทำ	อัตราส่วนผสม และราคาต้นทุน	ขบวนการผลิต
แผ่นซีเมนต์ผสม ไฮฟิช	ค. ซีเมนต์:ไฮฟิช:น้ำ 10:1 ใช้น้ำร้อยละ 0.5 ของซีเมนต์ผสม ปูนซีเมนต์ 16.81 กก. ไฮมะพร้าว 1.68 กก. น้ำ 8.4 กก. ทุน 47.06 บาท	ง. ซีเมนต์:ไฮฟิช:น้ำ 10:1 ใช้น้ำร้อยละ 1.5 ของซีเมนต์ผสม ปูนซีเมนต์ 14.09 กก. ไฮผักตบชวา 1.41 กก. น้ำ 7.04 กก. ทุน 32.42 บาท	

ตาราง 13 (ต่อ)

ชนิดผลิตภัณฑ์	วัสดุที่ใช้ทำ	อัตราส่วนผสม และราคาต้นทุน	ขบวนการผลิต
แผ่นใยปาล์มซีเมนต์ (งานวิจัยผู้ค้น สุวรรณสินพันธุ์)	1. ปูนซีเมนต์ปอร์ต แลนด์ ตราช้าง 2. แก้วกลบ 3. เส้นใยปาล์ม	ที่ใช้ในงานทดลอง ซีเมนต์+แก้วกลบ: ใย ปาล์ม: น้ำ 3:1 ใช้น้ำ ร้อยละ 0.8 ของซีเมนต์ ผสม ขนาดแผ่นทดลอง 60x60x2.5 ซม. ส่วนผสมปูนซีเมนต์ 4.2 กก. เส้นใยปาล์ม 1.8 น้ำ 4.86 กก. ทน 19.59 บาท	1. เตรียมเส้นใยปาล์ม และบดแก้วกลบ 2. นำวัสดุที่ใช้ทำแผ่นใย ปาล์มซีเมนต์ ในกะบะ ผสมปูนคลุกเคล้า ส่วน ผสมจนใช้ได้ 3. ใส่วัสดุผสมในแบบเพียง ครึ่งเดียว แล้วเกลี่ย ให้กระจายทั่วแบบ เส้น ใยต้องไม่เกาะเป็นก้อน เต็มส่วนที่เหลือให้เต็ม แบบ 4. ใช้แผ่นไม้ทับและขันนอต ยึดให้แน่นประมาณ 24 ชม. 5. ถอดแบบพิมพ์และนำแผ่น ใยปาล์มซีเมนต์ไปผึ่งใน ร่มประมาณ 3-7 วัน จึง นำมาทดสอบ

ตาราง 13 (ต่อ)

ชนิดผลิตภัณฑ์	วัสดุที่ใช้ทำ	อัตราส่วนผสม และราคาต้นทุน	ขบวนการผลิต
แผ่นวัสดุทดแทนไม้ (ในงานวิจัยครั้งนี้)	1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 2. เถ้าแกลบ 3. ปูนขาว 4. เส้นใยมะพร้าว ใยผักตบชวา	ใช้ในงานทดลอง ซีเมนต์: เถ้าแกลบ + ปูนขาว: เส้นใยพืช : น้ำ 1.5:3:31: ใช้น้ำร้อยละ 0.8 ของปูนซีเมนต์ซีเมนต์ ขนาดแผ่นทดลอง 60x60x2.50 ซม. ส่วนผสม: ปูนซีเมนต์ 1750 กรัม เถ้าแกลบ 3193 กรัม ปูนขาว 2129 กรัม ใยพืช 432 กรัม น้ำ 3454 กรัม ทุน 14.25บาท ปูนซีเมนต์ตราช้าง 1750 กรัม=2.55 บ. ใยมะพร้าว 432 กรัม =2.37 บาท ใยผัก	1. เตรียมเส้นใยมะพร้าว, ผักตบชวา 2. ผสมวัสดุต่าง ๆ ด้วยมือใน กะบะผสมโดยผสมปูนซีเมนต์ เถ้าแกลบ ปูนขาว น้ำ ให้ ส่วนผสมเข้ากันดี จึงเติม ใยมะพร้าว ใยผักตบชวา ตามที่กำหนด 3. ใส่วัสดุในแบบเพียงครึ่งเดียว แล้วเกลี่ยให้กระจายทั่วแบบ เส้นใยต้องไม่เกาะเป็นก้อน เติมส่วนที่เหลือให้เต็มแบบ ใช้ลูกกลิ้งกดทับส่วนผสมให้ แน่น 4. นำแผ่นอิฐที่มีน้ำหนัก ประมาณ 8 กก. ขนาดเท่า แผ่นทดลองกดทับแบบไว้ ประมาณ 12 ซม. 5. ถอดแบบและนำแผ่นวัสดุ

ตาราง 13 (ต่อ)

ชนิดผลิตภัณฑ์	วัสดุที่ใช้ทำ	อัตราส่วนผสม และราคาต้นทุน	ขบวนการผลิต
		ตบชวา 432 กรัม = 3.38 บาท (ราคาวัตถุดิบปี 2535 ปูนซีเมนต์ ทรายข้าง 1 กก.= 2 บ. ปูนขาว 1 กก.=1.20 บ. เถ้าแกลบ 1 กก.=.80 บาท โยมะพร้าว 1 กก. =5.50 บาท โยมักตบ ชวา 1 กก.= 8 บาท	ทดแทนไม้ ฟุ้งในที่ร่ม ประมาณ 3-7 วัน จึง นำมาทดสอบหาคุณสมบัติ ด้านต่าง ๆ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษาค้นคว้า

การดำเนินการศึกษาทดลองหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตวัสดุแผ่นทดแทนไม้ จากวัสดุที่นำมาผสมกันระหว่าง เถ้าแกลบ ปูนขาว ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และใยมะพร้าวหรือใยผักตบชวา มีขั้นตอนในการดำเนินการศึกษา ดังนี้

1. ศึกษาแหล่งข้อมูล
2. จัดทำวัสดุ เครื่องมือ และอุปกรณ์การทดลอง
3. ทำการทดลองผลิตวัสดุแผ่นทดแทนไม้ตามสัดส่วนที่กำหนด
4. ทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุแผ่นทดแทนไม้
5. วิเคราะห์ข้อมูล
6. ทดสอบสัดส่วน วัสดุแผ่นทดแทนไม้ที่เหมาะสม

1. ศึกษาแหล่งข้อมูล

ประชากร ได้แก่ วัสดุแผ่นทดแทนไม้จากการผสมระหว่างเถ้าแกลบ ปูนขาว ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และใยมะพร้าวหรือใยผักตบชวา ขนาด 60X60X2.5 ซม. จำนวน 16 แผ่น สัดส่วนที่จะใช้ทดสอบมี จำนวน 16 สูตร ตามตาราง 14 และตาราง 15

ตาราง 14 สัดส่วนของส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โซลانا กับใยมะพร้าว และน้ำ
ประปา ที่ใช้ผสมในการทำวัสดุแผ่นทดแทนไม้

สูตรที่	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โซลانا			ใย	มวลรวม	น้ำประปา
	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	ถ่านกลบ	ปนขาว	มะพร้าว	ทั้งหมด	ที่ใช้ผสม
	น้ำหนักร้อยละของ	น้ำหนัก	น้ำหนัก	น้ำหนัก	น้ำหนัก	
	มวลรวม	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	/ก.ก.	
		ของมวล	ของมวล	ของ		
		รวม	รวม	มวลรวม		
1	23.34	42.57	28.37	5.72	100	ร้อยละ 0.8
2	21.84	44.07	28.37	5.72	100	ของน้ำหนัก
3	20.34	45.57	28.37	5.72	100	ปูนซีเมนต์
4	18.84	47.07	28.37	5.72	100	ปอร์ตแลนด์
5	17.34	48.57	28.37	5.72	100	โซลانا
6	15.84	50.07	28.37	5.72	100	ทุกสูตรที่
7	14.34	51.57	28.37	5.72	100	ทดลอง
8	12.84	53.07	28.37	5.72	100	

ตาราง 20 สัดส่วนของส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โซลานา กับโยมะพร้าว และน้ำ
ประปา ที่ใช้ผสมในการทำวัสดุแทนทดแทนไม้

สูตรที่	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โซลานา			โย	มวลรวม	น้ำประปา
	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	ถ้ากลบ	ปูนขาว	ผักตบชวา	ทั้งหมด	ที่ใช้ผสม
	น้ำหนักร้อยละของ	น้ำหนัก	น้ำหนัก	น้ำหนัก	น้ำหนัก	
	มวลรวม	ร้อยละ	ร้อยละ	ร้อยละ	/ก.ก.	
		ของมวล	ของมวล	ของ		
		รวม	รวม	มวลรวม		
1	23.34	42.57	28.37	5.72	100	ร้อยละ 0.8
2	21.84	44.07	28.37	5.72	100	ของน้ำหนัก
3	20.34	45.57	28.37	5.72	100	ปูนซีเมนต์
4	18.84	47.07	28.37	5.72	100	ปอร์ตแลนด์
5	17.34	48.57	28.37	5.72	100	ปอชโซลานา
6	15.84	50.07	28.37	5.72	100	ทุกสูตรที่
7	14.34	51.57	28.37	5.72	100	ทดลอง
8	12.84	53.07	28.37	5.72	100	

2. จัดทำ วัสดุ เครื่องมือ และอุปกรณ์การทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลองและการเตรียม ประกอบด้วยเส้นใยมะพร้าว ใยผักตบชวา
 ถ้ำกลบขบดละเอียดประมาณ 150 เมท ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ใช้ปูนตราช้าง น้ำใช้น้ำประปา
 หรือน้ำคลองที่สะอาดมีความขุ่นไม่เกิน 2,000 ppm. ปราศจากกรด ด่าง น้ำมัน สารอินทรีย์
 ปูนขาวสุก

เส้นใยมะพร้าว เตรียมจากเปลือกของผลมะพร้าว โดยนำเปลือกของมะพร้าวมา
 ทบเพื่อให้เส้นใยแตก และนึ่งก่อนจะนำไปแช่น้ำ และทิ้งไว้ประมาณ 3-4 วัน เมื่อครบกำหนด
 นำมาทบอีกครั้งหนึ่งเพื่อให้เส้นใยแตกละเอียด เหลือแต่เส้นใยยาวและสานด้วยหวีสางให้เส้น
 ใยสะอาด นำไปตากแดดให้แห้งสนิท แล้วเก็บใส่ถุงไว้

เส้นใยผักตบชวา เตรียมเส้นใยจากลำต้นผักตบชวาที่มีขนาดยาวประมาณ 30.70 ซม.
 นำมาผ่าแบ่งเป็น 8 ส่วน ขุดไส้ในออกเหลือแต่เปลือก นำไปตากแดดให้แห้งสนิทแล้วจึงเก็บใส่ถุง

ถ้ำกลบ ถ้ำกลบที่เผาด้วยอุณหภูมิประมาณ 600-800 องศาเซลเซียส นำมาบด
 ด้วยหม้อบดในงานเซรามิกส์ ให้มีความละเอียดประมาณ 150 เมท นำไปเก็บไว้ในถุง

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ใช้ปูนตราช้างของบริษัทปูนซีเมนต์ไทย ชนิดบรรจุถุงละ 50 กก.

น้ำ ใช้น้ำประปาที่มีใช้ตามบ้านทั่วไป

ปูนขาว ใช้ปูนที่ได้จากการเผาเปลือกหอย หรือปูนขาวจากแหล่งหินปูนทั่วไปที่มีขาย
 ในท้องตลาด บรรจุถุงละ 5.5 กก.

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผสม ทำผ่านวัสดุทดแทนไม้ ประกอบด้วย

1. เครื่องผสมคอนกรีตใช้ผสมวัตถุดิบตามสัดส่วนสูตรที่กำหนดไว้
2. แบบพิมพ์ใช้อัดให้แผ่นชิ้นไม้อัดซีเมนต์มีความหนาแน่นมีขนาด 60X60X2.5 ซม.
3. เลื่อยวงเดือนชนิดฟันละเอียดใช้ตัดแผ่นชิ้นทดลอง

สถานที่และระยะเวลาที่ทำการทดลอง

สถานที่ทำการทดลอง ในการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เตรียมวัสดุเก่าแก่อยู่ที่ภาควิชาเครื่องปั้นดินเผา คณะวิชาอุตสาหกรรมศึกษา วิทยาลัยครุพระนคร กรุงเทพมหานคร ทดลองทำวัสดุแผ่นทดแทนไม้ ที่ภาควิชาก่อสร้าง คณะวิชาอุตสาหกรรมศึกษา วิทยาลัยครุพระนคร กรุงเทพมหานคร สถานที่ทดสอบคุณสมบัติ ความต้านแรงดัดและมอดุลลัสยืดหยุ่น ความต้านแรงดึงตึงฉากผิวหน้า ที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และที่ กองงานวิจัยผลิตผล ของกรมป่าไม้ สังกัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เขตบางเขน ฝ่ายคอนกรีตและวัสดุก่อสร้าง กองวิจัยคอนกรีต กรมชลประทาน

ระยะเวลาที่ทำการทดลอง การทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยเตรียมและดำเนินการทดลองตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ.2535 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2535

3. ทำการทดลองผลิตวัสดุทดแทนไม้ตามสัดส่วนที่กำหนด

การทดลองผลิตวัสดุทดแทนไม้จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ป่อซิโซลานา และใยมะพร้าวหรือใยผักตบชวา มีขั้นตอนดังนี้

- 3.1 นำส่วนผสมทั้งหมดของสูตรที่ 1 มาผสมกับเครื่องผสมคอนกรีต
- 3.2 เทส่วนผสมที่ได้ลงในแบบพิมพ์ขนาด 60X60X2.5 ซม. ที่เตรียมไว้
- 3.3 ใส่ส่วนผสมในแบบเพียงครึ่งหนึ่งของความสูงของขอบแบบ แล้วเกลี่ยให้กระจายทั่วแบบ เส้นใยต้องไม่เกาะเป็นก้อน และเติมส่วนที่เหลือให้เต็มแบบ ใช้ลูกกลิ้งกดทับส่วนผสมให้แน่น

3.4 นำแผ่นอิฐที่มีน้ำหนักประมาณ 8 กก. ที่มีขนาดเท่ากับแผ่นทดลองทับไว้ประมาณ 12 ชม.

3.5 เริ่มผสมสูตรที่ 2 และดำเนินการตั้งแต่ข้อ 3.2 ถึง 3.4 จนได้แผ่นขึ้นทดลองครบทั้ง 16 สูตร

3.6 เมื่อบ่มแผ่นขึ้นทดลองประมาณ 7 วัน นำแผ่นขึ้นทดลองมาตัดแบ่งตามขนาดที่จะใช้ทดสอบหาคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ที่กำหนดไว้

3.7 ส่งเข้าห้องปฏิบัติการของสถาบันที่รับรองมาตรฐานการตรวจสอบทางวิชาการหาคุณสมบัติของแผ่นขึ้นทดลองทั้ง 16 สูตร ตามมาตรฐานการทดสอบของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

3.8 สรุปผลการทดลองแผ่นขึ้นทดลองของวัสดุแผ่นทดแทนไม้

4. ทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุแผ่นทดแทนไม้

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพด้านต่าง ๆ ของวัสดุแผ่นทดแทนไม้ตามมาตรฐานของการทดสอบที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดไว้สำหรับการทดสอบแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ชนิดที่มีความหนาแน่นสูง ได้แก่ การทดสอบความหนาแน่น ความชื้น การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น และความต้านแรงดัดค้ำฉากกับผิวหน้า

การทดสอบความหนาแน่น ของวัสดุแผ่นทดแทนไม้ มีขั้นตอนดังนี้
เครื่องมือ

1. เครื่องชั่ง ที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
2. ไมโครมิเตอร์ ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร

วิธีทดสอบ

1. ชั่งขึ้นทดสอบให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.1 กรัม
2. วัดความกว้างและความยาวของขึ้นทดสอบขนานกับขอบอย่างละเอียด ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร ตามภาพประกอบ 1 แล้วหาค่าเฉลี่ย

วิธีคำนวณ

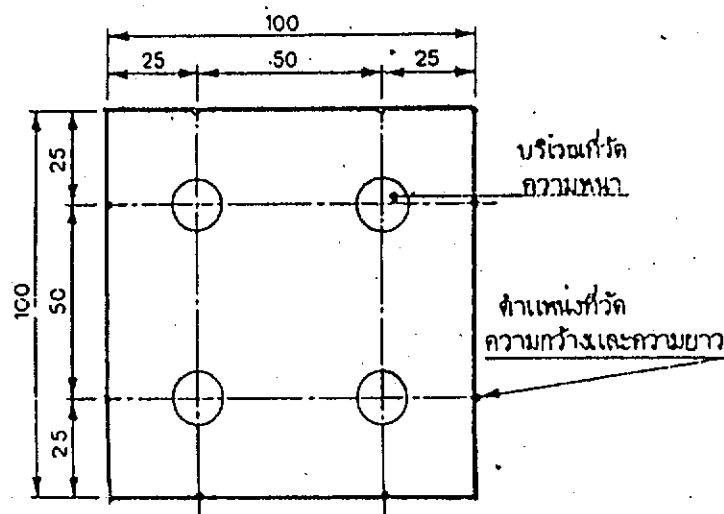
หาค่าความหนาแน่นจากสูตร

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

(กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

การรายงานผล

รายงานค่าความหนาแน่นของขึ้นทดสอบแต่ละชิ้นและค่าเฉลี่ย



ภาพประกอบ 1 ตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาว และความหนาของขึ้นทดสอบ หน่วยเป็น มิลลิเมตร

การหาค่าความชื้น ของวัสดุแผ่นทดแทนไม้ มีขั้นตอนดังนี้

เครื่องมือ

1. เครื่องชั่งชนิด ที่ชั่งได้ละเอียด ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.01 กรัม
2. เตาอบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 103 ± 2 องศาเซลเซียส
3. เดซิเคเตอร์

วิธีทดสอบ

1. ชั่งชิ้นทดสอบซึ่งผ่านการทดลองความหนาแน่นแล้ว ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.01 เป็นน้ำหนักก่อนอบ
2. อบชิ้นทดสอบใช้เตาอบที่อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่ คือ น้ำหนักชิ้นทดสอบที่ชั่ง 2 ครั้งห่างกัน 6 ชั่วโมง ต่างกันไม่เกินร้อยละ 0.1
3. นำมาใส่ในเดซิเคเตอร์ ปลอ่ยไว้ให้เย็น
4. ชั่งชิ้นทดสอบ เป็นน้ำหนักอบแห้ง

วิธีคำนวณ

หาค่าความชื้นจากสูตร

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

รายงานผล

รายงานค่าความชื้นของชิ้นทดลองแต่ละชิ้นและค่าเฉลี่ย

การหาค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำ

เครื่องมือ

ไมโครมิเตอร์ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร

วิธีทดสอบ

1. ทำเครื่องหมายตำแหน่งที่วัดความหนาตามภาพประกอบ 1 วัดความหนาของชิ้นทดสอบ 4 ตำแหน่ง แล้วหาค่าเฉลี่ยเป็นความหนาก่อนแช่น้ำ

2. แช่น้ำทดสอบในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิห้อง โดยตั้งให้แต่ละชิ้นห่างจากกันให้ขอบบนอยู่ใต้ระดับผิวน้ำประมาณ 25 มิลลิเมตร ชิ้นทดสอบต้องตั้งได้ฉากกับผิวน้ำ และห่างจากผนังและกันภาชนะที่ใส่น้ำไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร

3. เมื่อแช่น้ำทดสอบครบ 24 ชั่วโมง นำชิ้นทดสอบขึ้นจากน้ำ ซับน้ำที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาดแล้วปล่อยให้ชิ้นทดสอบแห้งที่อุณหภูมิห้อง โดยวางให้ขอบด้านใดด้านหนึ่งอยู่บนแผ่นวัสดุที่ไม่ดูดซับน้ำ เช่น พลาสติก กระดาษ

4. เมื่อปล่อยให้ชิ้นทดสอบไว้นาน 2 ชั่วโมงแล้ว นำชิ้นทดสอบมาวัดความหนาตามตำแหน่งเดิม แล้วหาค่าเฉลี่ยเป็นความหนาหลังแช่น้ำ

วิธีคำนวณ

หาค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำจากสูตร

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

การรายงานผล

รายงานค่าเฉลี่ยการพองตัวเมื่อแช่น้ำเป็นร้อยละ

การหาค่าความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น ของวัสดุแผ่นทดแทนไม้ มีขั้นตอนดังนี้

เครื่องมือ

1. เครื่องกด ซึ่งวัดแรงกดได้ละเอียดถึง 5 นิวตัน หรือร้อยละ 5 ของแรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ หัวกดต้องมีปลายส่วนที่หักดัดเป็นรูปครึ่งวงกลมมีรัศมี 10 ถึง 30 มิลลิเมตร และมีความยาวไม่น้อยกว่าความกว้างของชิ้นทดสอบ

2. แท่นรองรับ ต้องมีลักษณะหน้าตัดเป็นรูปวงกลม หรือรูปครึ่งวงกลมมีรัศมี 10 ถึง 30 มิลลิเมตร ความยาวไม่น้อยกว่าความกว้างของชั้นทดสอบ

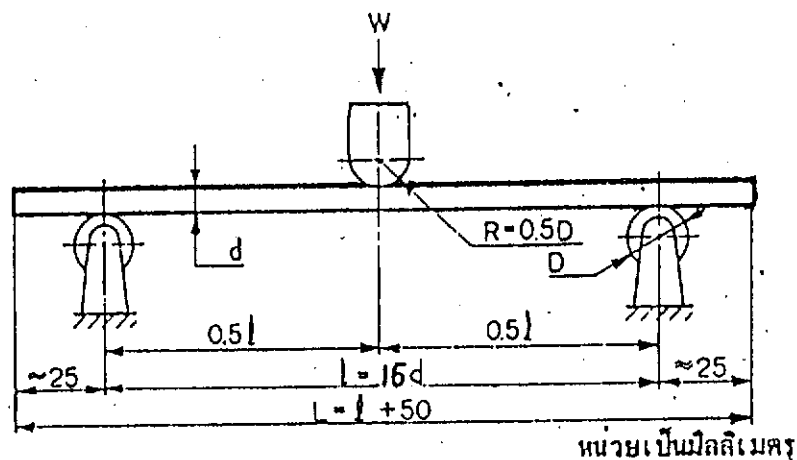
3. มาตรการแอ่นตัว ซึ่งอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร

วิธีทดสอบ

1. วางชั้นทดสอบลงบนแท่นรองรับซึ่งมีระยะห่าง 16 เท่าของความหนาของชั้นทดสอบ (ตัวเลขที่ได้ให้ปัดเป็นเลขจำนวนเต็มของ 10 มิลลิเมตรที่ใกล้เคียง) ตามภาพประกอบ 2 ให้ปลายชั้นทดสอบยื่นออกไปจากจุดที่รองรับประมาณข้างละ 25 มิลลิเมตรเท่า ๆ กัน

2. ให้แรงกดบนจุดกึ่งกลางของชั้นทดสอบ โดยมีอัตราการเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มกดจนกระทั่งชั้นทดสอบหัก ต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที และไม่เกิน 120 วินาที

3. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับค่าการแอ่นตัว



ภาพประกอบ 2 แสดงการทดสอบความต้านแรงค้ำและมอดุลัสยืดหยุ่น

วิธีคำนวณ

1. หาค่าความต้านแรงคัต จากสูตร

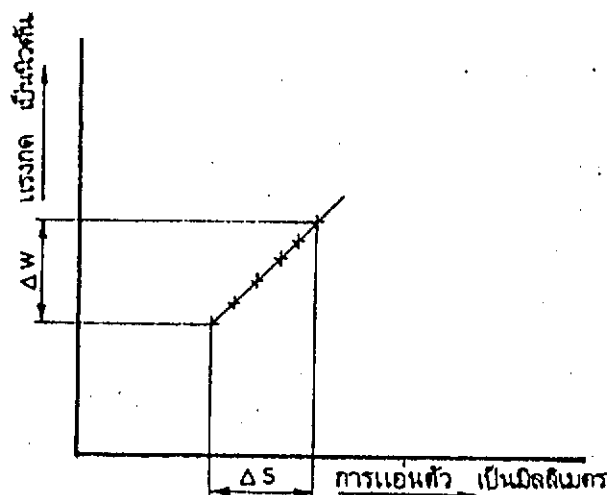
$$f = \frac{3wl}{2bd^2}$$

- เมื่อ f คือ ความต้านแรงคัต หน่วยเป็นเมกะพาสคัล
 w คือ แรงกดสูงสุดที่ชั้นทดสอบรับได้ หน่วยเป็นนิวตัน
 l คือ ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของแท่นรองรับ หน่วยเป็นมิลลิเมตร
 b คือ ความกว้างของชั้นทดสอบ หน่วยเป็นมิลลิเมตร
 d คือ ความหนาเฉลี่ยของชั้นทดสอบ หน่วยเป็นมิลลิเมตร

2. หาค่ามอดุลัสยืดหยุ่น จากสูตร

$$E = \frac{l^3 \Delta w}{4bd^3 \Delta s}$$

- เมื่อ E คือ มอดุลัสยืดหยุ่น หน่วยเป็นเมกะพาสคัล
 l คือ ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของแท่นรองรับ หน่วยเป็นมิลลิเมตร
 Δw คือ แรงกดที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง ตามภาพประกอบ 3 หน่วยเป็นนิวตัน
 b คือ ความกว้างของชั้นทดสอบ หน่วยเป็นมิลลิเมตร
 d คือ ความหนาเฉลี่ยของชั้นทดสอบ หน่วยเป็นมิลลิเมตร
 Δs คือ ระยะแอนตัวที่เพิ่มขึ้น ในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรงตามภาพประกอบ 3 หน่วยเป็นมิลลิเมตร



ภาพประกอบ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับการแอ่นตัว

การรายงานผล

รายงานค่าเฉลี่ยของความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น

การหาค่าความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้า ของวัสดุแผ่นทดแทนไม้ มีขั้นตอนดังนี้

เครื่องมือ

1. เครื่องดัด ซึ่งสามารถใช้แรงดัดเพื่อยกขึ้นทดสอบออกในเวลาไม่น้อยกว่า 30 วินาทีและไม่เกิน 120 วินาที
2. แผ่นดัดซึ่งทำด้วยไม้หรือโลหะที่เหมาะสม ขนาดไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร x 50 มิลลิเมตร ความหนาตามความเหมาะสม

วิธีทดสอบ

1. ติดผิวหน้าทั้งสองของชิ้นทดสอบกับแผ่นดัด โดยใช้การสังเคราะห์ที่มีแรงยึดมากกว่าแรงยึดในตัวชิ้นทดสอบ
2. นำชิ้นทดสอบที่เตรียมได้แล้วนี้ไปเข้าเครื่องดัด ดัดให้ชิ้นทดสอบแยกออกจากกัน ซึ่งปกติจะแยกในชั้นไส้ อัตราการเพิ่มแรงดัดต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มดัดจน

กระทั้งขึ้นทดสอบแยกออกจากกันต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที และไม่เกิน 120 วินาที

วิธีคำนวณ

หาค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า จากสูตร

$$\text{ความต้านทานแรงดึงตั้งฉาก} = \frac{\text{แรงดึงสูงสุด (นิวตัน)}}{\text{กับผิวหน้าเมกะพาสคัล} \quad \text{ความกว้าง (มิลลิเมตร) X ความยาว (มิลลิเมตร)}}$$

การรายงานผล

รายงานค่าเฉลี่ยของความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

(กระทรวงอุตสาหกรรม มอก. 2532 : 15-23)

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำผลผลิตที่ได้จากการทดลองผลิตภัณฑ์วัสดุแผ่นทดแทนไม้จากสัดส่วนตัวต่าง ๆ และนำมาทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพด้านต่าง ๆ ตามมาตรฐานสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ แล้วนำผลมาเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสัดส่วนตัวต่าง ๆ ที่นำมาทดสอบหาคุณสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ ความหนาแน่น ความชื้น การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ความต้านแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

ผลสรุปที่ได้จากการทดสอบที่ห้องปฏิบัติการของหน่วยงานที่มีมาตรฐานในการทดสอบและได้รับการรับรองมาตรฐานทางวิชาการ โดยจะแสดงผลเปรียบเทียบด้วยตาราง ดังนี้

ตาราง 16 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุแผ่นทดแทนไม้ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
ปอชโซลานากับใยมะพร้าวหรือใยผักตบชวา

สูตรที่	ความหนาแน่น	ความชื้น	การพองตัว เมื่อแช่น้ำ	ความต้านทาน แรงดัด	มอดุลัสยืดหยุ่น	ความต้านทาน แรงดึงตั้งฉาก กับผิวหน้า
	(กก./ม ³)	(ร้อยละ)	(ร้อยละ)	(เมกะพาสคัล)	(เมกะพาสคัล)	(เมกะพาสคัล)
1	X	X	.	X	X	X
2	X	X	.	X	X	X
-	.	.	.	.	.	.
-	.	.	.	.	.	.
6	X	X	.	X	X	X
-	.	.	.	.	.	.
-	.	.	.	.	.	.
16	X	X	.	X	X	X

ที่มา : กระทรวงอุตสาหกรรม มอก. 2532 : 15-23)

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองผลิตผลิตภัณฑ์ตามกระบวนการที่กำหนดไว้ และทำการตรวจสอบคุณสมบัติหาค่าความหนาแน่น ความชื้น การบองตัวเมื่อแช่น้ำ ความต้านทานแรงดึง และมอดูลัสยืดหยุ่น ความต้านแรงดึงตึงฉีก กับผิวหน้า ของวัสดุแผ่นทดแทนไม้ที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานา กับใยมะพร้าวจากสูตรทดลองที่มีสัดส่วนผสมต่าง ๆ กัน จำนวน 8 สูตร และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานากับใยผักตบชวา จากสูตรทดลองที่มีสัดส่วนผสมต่าง ๆ กัน จำนวน 8 สูตร โดยทดสอบและตรวจสอบตามวิธีการทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์ ของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเสร็จแล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลในรายรายละเอียดโดยแยกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุแผ่นทดแทนไม้ที่ผลิตขึ้นจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานากับใยมะพร้าว

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุแผ่นทดแทนไม้ที่ผลิตขึ้นจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานากับใยผักตบชวา

การวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุแผ่นทดแทนไม้จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานากับใยมะพร้าว

การทดลองหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการทำวัสดุแผ่นทดแทนไม้จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานาและใยมะพร้าว จากการทดลองผลิตและทดสอบคุณสมบัติตามวิธีการทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์จากสูตรทดลองที่มีสัดส่วนผสมที่ต่างต่างกัน จำนวน 8 สูตร ปรากฏผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ ตามตาราง 16

ตาราง 17 การวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุแผ่นทดแทนไม้ที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
ปอชโซลานากับโยมะพร้าว

สูตรที่	ความหนาแน่น	ความชื้น	การพองตัว เมื่อแช่น้ำ	ความต้านทาน แรงดัด	มอดุลลัสยืดหยุ่น	ความต้านทาน แรงดึงดึงฉาก กับผิวหน้า
	(กก./ม ³)	(ร้อยละ)	(ร้อยละ)	(เมกะพาสคัล)	(เมกะพาสคัล)	(เมกะพาสคัล)
1	1043.40	4.16	0.00	65.33	159.01	1.57
2*	1200.00	8.33	0.62	65.33	13.89	1.57
3	1050.00	0.00	12.50	43.56	31.80	1.57
4	956.50	4.54	0.00	43.56	318.02	1.57
5	923.00	4.16	0.00	65.33	79.50	1.57
6**	1409.00	6.45	0.62	76.22	318.01	3.14
7	1000.00	4.76	12.50	54.45	66.25	1.57
8	1050.00	4.76	0.00	32.67	11.78	1.57

* ค่าคุณสมบัติที่ดี สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุแผ่นทดแทนไม้ได้

** ค่าคุณสมบัติที่ดีที่สุด สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุแผ่นทดแทนไม้ได้ดี

จากตาราง 17 สามารถวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุแผ่นทดแทนไม้จากปูนซีเมนต์
ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานากับโยมะพร้าว ด้านต่าง ๆ ดังนี้

ความหนาแน่น ข้อมูลจากตารางแสดงว่า ความหนาแน่นใน 2 สูตร คือ

สูตรที่ 2 มีค่าความหนาแน่น 1200 กก./ม³

สูตรที่ 6 มีค่าความหนาแน่น 1409 กก./ม³

อยู่ในช่วงที่มีเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด คือ 1100-1300 กก./ม³ แสดงว่า มีคุณสมบัติด้านความหนาแน่นผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนสูตรอื่น ๆ ความหนาแน่นจะต่ำกว่ามาตรฐาน

ความชื้น ข้อมูลจากตารางแสดงว่า ทุกสูตรสัดส่วนผสมมีค่าความชื้น ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ซึ่งไม่เกินร้อยละ 9-15 ผลที่ได้จากการทดสอบค่าความชื้นของทุกสูตรสัดส่วนผสมอยู่ในระหว่างร้อยละ 0.00-8.33

การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ข้อมูลจากตารางแสดงว่า สูตรที่ใช้ทดลองส่วนใหญ่มีค่าการพองตัวผ่านเกณฑ์มาตรฐาน เพราะมีค่าอยู่ในระหว่างร้อยละ 0.00-0.62 ยกเว้นสูตรที่ 3 และสูตรที่ 7 มีค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำเกินร้อยละ 2

ความต้านทานแรงดัด ข้อมูลจากตารางแสดงว่า ทุกสูตรสัดส่วนผสมผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ซึ่งไม่น้อยกว่า 9 เมกะพาสคัล ผลที่ได้จากการทดสอบความต้านทานแรงดัดของทุกสูตรสูงกว่ามาตรฐาน มีค่าอยู่ในระหว่าง 32.67 เมกะพาสคัล

มอดุลัสยืดหยุ่น ข้อมูลจากตารางแสดงว่า ทุกสูตรสัดส่วนผสมไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดคือ ไม่น้อยกว่า 3000 เมกะพาสคัล ผลที่ได้จากการทดสอบมอดุลัสยืดหยุ่นของทุกสูตรต่ำกว่ามาตรฐานมีค่าอยู่ในระหว่าง 11.78-318.02 เมกะพาสคัล

ความต้านทานแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้า ข้อมูลจากตารางแสดงว่า ทุกสูตรสัดส่วนผสมมีความต้านทานแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้าผ่านตามที่เกณฑ์มาตรฐานกำหนด ซึ่งไม่น้อยกว่า 0.5 เมกะพาสคัล และทุกสูตรมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน คือ ระหว่าง 1.57-3.14 เมกะพาสคัล

จากผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุแผ่นทดแทนไม้จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ป้อชโซลานา กับใยมะพร้าว พบว่า ค่าคุณสมบัติของสูตรสัดส่วนผสมที่ 6 ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของคุณสมบัติความหนาแน่นมีค่า 1409.00 กก./ม³ สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ คือ 1100-1300

กก./ม³ ความชื้น มีค่าร้อยละ 6.45 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด คือ ไม่เกินร้อยละ 9-15 การพองตัวเมื่อแช่น้ำ มีค่าร้อยละ 0.62 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด คือ ไม่เกินร้อยละ 2 ความต้านทานแรงดึง มีค่า 76.22 เมกะพาสคัล สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด คือ ต้องมีค่าความต้านทานแรงดึงไม่น้อยกว่า 9 เมกะพาสคัล มอดุลัสยืดหยุ่น มีค่า 318.01 เมกะพาสคัล ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน คือ ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 3000 เมกะพาสคัล ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้ามีค่า 3.14 เมกะพาสคัล สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด คือ จะต้องต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 0.5 เมกะพาสคัล และพบว่า คุณสมบัติที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน คือ มอดุลัสยืดหยุ่น อย่างไรก็ตาม ความยืดหยุ่นนี้แม้จะมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานก็จะไม่ส่งผลต่อการนำไปใช้งาน เพราะเมื่อนำไปใช้ทำฝامنัง คุณสมบัติที่ต้องการมากที่สุด คือ ความต้านทานแรงดัด มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานเช่นกัน

ส่วน สูตรที่ 2 จากการวิเคราะห์แต่ละสูตรยังพบอีกว่า ยังมีสูตรที่มีค่าความหนาแน่น 1200.00 กก./ม³ ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มีค่าความชื้นร้อยละ 8.33 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน แต่ชิ้นงานมีความชื้นสูงกว่าสูตรที่ 6 การพองตัวเมื่อแช่น้ำ มีค่าร้อยละ 0.62 ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ความต้านทานแรงดัด มีค่า 65.33 เมกะพาสคัล สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน แต่มีค่าต่ำกว่าสูตรที่ 6 ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า มีค่า 1.57 สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน แต่ต่ำกว่าสูตรที่ 6

สรุปผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุแผ่นทดแทนไม้จากปุนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานากับโยมะพร้าว ตามสูตรสัดส่วนผสมที่ 6 เป็นสูตรที่ดีที่สุด

การวิเคราะห์คุณสมบัติวัสดุแผ่นทดแทนไม้จากปุนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานากับผักตบชวา

การทดลองหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการทำวัสดุแผ่นทดแทนไม้จากปุนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานากับโยผักตบชวา จากการทดลองผลิตผลิตภัณฑ์และตรวจสอบตามวิธีการทดสอบ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์จากสูตรสัดส่วนผสมที่ทดสอบ จำนวน 8 สูตร ปรากฏผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุแผ่นทดแทนไม้จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ป่อซิโซลานากับใยผักตบชวา ตามตาราง 18

ตาราง 18 การวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุแผ่นทดแทนไม้จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ป่อซิโซลานากับใยผักตบชวา

สูตรที่	ความหนาแน่น	ความชื้น	การบองตัว เมื่อแช่น้ำ	ความต้านทาน แรงดัด	มอดุลลียิตหยุ่น	ความต้านทาน แรงดึงตึงฉาก กับผิวหน้า
	(กก./ม ³)	(ร้อยละ)	(ร้อยละ)	(เมกะพาสคัล)	(เมกะพาสคัล)	(เมกะพาสคัล)
1	846.10	4.54	0.00	21.78	79.50	0.00
2	769.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	814.80	4.54	0.00	0.00	0.00	0.00
4	1200.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	1050.00	4.76	0.00	21.78	39.75	0.00
6**	966.60	0.00	0.00	21.78	0.00	0.78
7	769.20	5.00	0.00	21.78	13.83	0.00
8	1050.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

** ค่าคุณสมบัติที่ตีพ้อที่จะนำไปพัฒนาต่อไป

จากตาราง 18 สามารถวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติของวัสดุแผ่นทดแทนไม้จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ป่อซิโซลานากับใยผักตบชวา ด้านต่าง ๆ ดังนี้

ความหนาแน่น ข้อมูลจากตารางแสดงว่า สูตรสัดส่วนผสมที่ 4 มีค่าความหนาแน่น อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด คือ 1200.00 กก./ม^3 ส่วนสูตรอื่น ๆ มีความหนาแน่น ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งกำหนดไว้ระหว่าง $1100-1300 \text{ กก./ม}^3$

ความชื้น ข้อมูลจากตารางแสดงว่า ทุกสูตรสัดส่วนผสมมีค่าความชื้นอยู่ในเกณฑ์ มาตรฐานที่กำหนด คือ ชื้นงานมีค่าความชื้นอยู่ในระหว่างร้อยละ $0.00-5.00$ ซึ่งเกณฑ์ มาตรฐานกำหนดไว้ไม่เกินร้อยละ $9-15$

การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ข้อมูลจากตารางแสดงว่า ทุกสูตรส่วนผสมอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ที่กำหนด คือ ชื้นงานไม่มีการพองตัวเมื่อแช่น้ำ ร้อยละ 0.00 ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ ไม่เกินร้อยละ 2

ความต้านทานแรงดัด ข้อมูลจากตารางแสดงว่า มี 4 สูตรสัดส่วนผสม ที่มีค่าความ ต้านทานแรงดัดเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด คือ สูตรที่ 1, 5, 6, และ 7 มีค่า 21.78 เมกะพาสคัล ส่วนสูตรอื่น ๆ มีค่า 0.00 เมกะพาสคัล ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานกำหนดไว้ ไม่น้อยกว่า 9 เมกะพาสคัล

มอดุลัสยืดหยุ่น ข้อมูลจากตารางแสดงว่า ทุกสูตรสัดส่วนผสมมีค่าคุณสมบัติไม่อยู่ในเกณฑ์ มาตรฐานที่กำหนด คือ มีค่าความยืดหยุ่นอยู่ในระหว่าง $0.00-79.50$ เมกะพาสคัล ซึ่งเกณฑ์ มาตรฐานกำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 3000 เมกะพาสคัล

ความต้านทานแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้า ข้อมูลจากตารางแสดงว่า สูตรที่ 6 มีค่าความ ต้านทานแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้า 0.78 เมกะพาสคัล ซึ่งอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด ส่วนสูตร อื่น ๆ มีค่าความต้านทานแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้า 0.00 เมกะพาสคัล ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ที่กำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 0.5 เมกะพาสคัล

จากการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุแผ่นทดแทนไม้จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซิโซลานา กับใยผักตบชวา พบว่า สูตรสัดส่วนผสมที่ 6 มีค่าความหนาแน่น 966.60 กก./ม^3 ต่ำกว่าเกณฑ์ มาตรฐาน ความชื้นร้อยละ 0 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน การพองตัวเมื่อแช่น้ำร้อยละ 0 อยู่ในเกณฑ์

มาตรฐาน ความต้านทานแรงดัด 21.78 เมกะพาสคัล สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน มอคูลัสยืดหยุ่น 0 เมกะพาสคัล ความต้านทานแรงดัดตั้งฉากผิวหน้า 0.78 เมกะพาสคัล จึงเป็นสูตรสัดส่วนผสมที่สามารถนำไปใช้งานทำฝาน้ำทิ้งต่อไปได้

สำหรับสูตรสัดส่วนผสมที่ 4 ที่ 5 และที่ 8 มีค่าความหนาแน่นสูงกว่าสูตรอื่น ๆ แต่ค่าความต้านทานแรงดัด ความต้านทานแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้าเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาความเหมาะสมในการพัฒนาและนำมาใช้ อนึ่ง สูตรสัดส่วนผสมที่ 4 ที่ 5 และที่ 8 มีค่าความต้านทานแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน สำหรับสูตรที่ 4 และสูตรที่ 8 ค่าความต้านทานแรงดัดไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การทดลองเพื่อศึกษาหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการทำวัสดุแผ่นทดแทนไม้จากวัตถุดิบ
เถาวัลย์ ปูนขาว ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และใยมะพร้าวหรือใยผักตบชวา ได้ดำเนินการ
ดังต่อไปนี้

ความมุ่งหมายของการวิจัย

เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการทำวัสดุแผ่นทดแทนไม้จากวัตถุดิบเถาวัลย์ ปูนขาว
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และใยมะพร้าวหรือใยผักตบชวา โดยให้มีคุณสมบัติด้านการรองรับ
การต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น การต้านแรงดึงตึงฉีกกับผิวหน้า ตามมาตรฐานสำนักงาน
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ประชากร

การวิจัยครั้งนี้จะใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานา (ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสม
กับเถาวัลย์และปูนขาว) ร้อยละ 94.24 กับใยมะพร้าวหรือใยผักตบชวา ร้อยละ 5.76
น้ำ ร้อยละ 0.8 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานา สัดส่วนทดลองมี 16 สูตร
ชั้นทดลองขนาด 60x60x2.5 ซม. สูตรละ 1 แผ่น รวม 16 แผ่น ดังแสดงในตาราง 1
และตาราง 2

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง คือ การทดลองหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการทำวัสดุแผ่นทดแทนไม้จากวัตถุดิบ เถ้าแกลบ ปูนขาว ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และใยมะพร้าวหรือใยผักตบชวา ดังนั้น เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย จึงใช้กะบะผสมปูนและเครื่องมือผสมตามสัดส่วนที่กำหนด ในตาราง 1 และตาราง 2 แบบพิมพ์ที่ใช้อัดแผ่นวัสดุทดแทนไม้ ลูกกลิ้ง แผ่นปูนกดทับส่วนผสม เลื่อยวงเดือนชนิดฟันละเอียด

การดำเนินการวิจัย

การทดลองผลิตวัสดุแผ่นทดแทนไม้ตามสัดส่วนที่กำหนดมีขั้นตอน ดังนี้

1. ผู้วิจัยนำส่วนผสมทั้งหมดของสูตรที่ 1 มาผสมด้วยกะบะผสมปูน และเครื่องมือที่ใช้ผสม แต่ในการทดลองผลิตวัสดุแผ่นทดแทนไม้นี้ ถ้าใช้เครื่องผสมคอนกรีตทำให้ส่วนผสมคลุกเคล้ากับใยมะพร้าวหรือใยผักตบชวาไม่ได้ดีเท่าที่ควร เพราะเส้นใยจับกันเป็นก้อนไม่กระจาย และส่วนผสมที่ใช้ทดลองมีจำนวนน้อย ถ้าใช้ในเครื่องผสมคอนกรีตส่วนผสมตกค้างภายในเครื่องผสมมาก ผู้วิจัยจึงเลือกใช้กะบะผสมปูนและเครื่องมือที่ใช้ผสม
2. ขั้นตอนต่อไปเทส่วนผสมที่ใช้ได้ลงในแบบพิมพ์ขนาด 60x60x2.5 ซม. ที่เตรียมไว้
3. ต่อจากนั้นใส่ส่วนผสมในแบบเพียงครึ่งหนึ่งของความสูงของขอบแบบ แล้วเกลี่ยให้กระจายทั่วแบบ เส้นใยต้องไม่เกาะเป็นก้อน และเติมส่วนที่เหลือให้เต็มแบบ ใช้ลูกกลิ้งกดทับส่วนผสมให้แน่น
4. ผู้วิจัยนำแผ่นอิฐที่มีน้ำหนักประมาณ 8 กก. ที่มีขนาดเท่ากับแผ่นทดลองทับไว้ประมาณ 12 ชม.
5. เมื่อเริ่มผสมสูตรที่ 2 และดำเนินการตั้งแต่ข้อ 2 ถึง 4 จนได้แผ่นขึ้นทดลองครบทั้ง 16 สูตร
6. จากนั้นนำขึ้นทดลองมาบ่มประมาณ 7 วัน แล้วนำแผ่นขึ้นทดลองมาตัดแบ่งตามขนาดที่ใช้ทดสอบหาคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ที่กำหนดไว้

7. นำแผ่นขึ้นทดลองส่งเข้าห้องปฏิบัติการ เพื่อทดสอบหาค่าคุณสมบัติของแผ่นขึ้นทดลองทั้ง 16 สูตรลัดส่วนผสมตามมาตรฐานการทดสอบของสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
8. สรุปผล การทดสอบคุณสมบัติแผ่นขึ้นทดลองของวัสดุแผ่นทดแทนไม้

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำแผ่นขึ้นทดลองที่ได้จากการทดลองผลิตวัสดุแผ่นทดแทนไม้จากสูตรลัดส่วนผสมต่าง ๆ กันและนำมาทดสอบหาค่าสมบัติทางกายภาพด้านต่าง ๆ ตามมาตรฐานที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ ด้วยเครื่องมือทดสอบของฝ่ายคอนกรีตและวัสดุก่อสร้าง กองงานวิจัยคอนกรีต กรมชลประทาน แล้วนำผลมาเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างลัดส่วนต่าง ๆ ที่นำมาทดสอบหาค่าสมบัติต่าง ๆ อันได้แก่ ความหนาแน่น ความชื้น การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ความต้านทานแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น ความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้า จากการทดสอบของผู้วิจัยที่หาความหนาแน่น ความชื้น การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ส่วนความต้านทานแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น ความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้า

สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพระหว่างลัดส่วนผสมต่าง ๆ ของวัสดุแผ่นทดแทนไม้ที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานากับไยมะพร้าว และใยผักตบชวา พบว่าค่าความหนาแน่น ของสูตรลัดส่วนผสมที่ 6 ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไยมะพร้าวเป็นส่วนผสมมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน คือ มีค่า 1409.00 กก./ม³ ผลิตภัณฑ์ตามสูตรผลิตส่วนผสมที่ 2 มีค่าตามเกณฑ์มาตรฐาน คือ 1200.00 กก./ม³ ส่วนสูตรอื่น ๆ มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน

ส่วนค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ที่ใช้โยผักตบชวาเป็นส่วนผสม พบว่า ผลิตภัณฑ์ตามสูตรสัดส่วนผสมที่ 4 มีค่า 1200.00 กก./ม³ ส่วนสูตรอื่น ๆ มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน

ค่าความชื้น ของสูตรสัดส่วนผสมที่ 2 ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้โยมะพร้าวเป็นส่วนผสม มีค่าร้อยละ 8.33 และสูตรสัดส่วนผสมที่ 6 มีค่าร้อยละ 6.45 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนสูตรอื่น ๆ มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.00-4.76 ส่วนความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ใช้โยผักตบชวาเป็นส่วนผสมสูตรที่ 7 มีค่าร้อยละ 5.00 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนสูตรอื่น ๆ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.00-4.76 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเช่นกัน

ค่าการพองตัวเมื่อแช่น้ำ ของสูตรสัดส่วนผสมที่ 3 และที่ 7 ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้โยมะพร้าวเป็นส่วนผสม มีค่าร้อยละ 12.50 ไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนสูตรอื่น ๆ มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.00-0.62 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนการพองตัวเมื่อแช่น้ำของผลิตภัณฑ์ที่ใช้โยผักตบชวาเป็นส่วนผสมทุกสูตรมีค่าร้อยละ 0.00 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

ค่าความต้านทานแรงดัด ของสูตรสัดส่วนผสมที่ 6 ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้โยมะพร้าวเป็นส่วนผสม มีค่า 76.22 เมกะพาสคัล มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและมากที่สุด สูตรที่ 1, 2, 5 มีค่า 65.33 เมกะพาสคัลมีค่ารองลงมาและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน สูตรอื่น ๆ มีค่าอยู่ในช่วง 32.67-54.45 เมกะพาสคัล และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนความต้านทานแรงดัดของผลิตภัณฑ์ที่ใช้โยผักตบชวา สูตรที่ 1, 5, 6, 7 มีค่า 21.78 เมกะพาสคัล ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและสูงสุด สูตรอื่น ๆ มีค่า 0.00 เมกะพาสคัลไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

มอดุลัสยืดหยุ่น ของสูตรสัดส่วนผสมที่ 4 มีค่า 318.02 เมกะพาสคัล และที่ 6 มีค่า 318.01 เมกะพาสคัล ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้โยมะพร้าวเป็นส่วนผสม มีค่า 318.02 เมกะพาสคัล ซึ่งมากที่สุด แต่ไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน สูตรอื่น ๆ มีค่าอยู่ในระหว่าง 11.78-159.01 เมกะพาสคัล ไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนมอดุลัสยืดหยุ่นของโยผักตบชวา สูตรที่ 1 มีค่า 79.50 เมกะพาสคัลมีค่ามากที่สุด แต่ไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนสูตรอื่นๆ มีค่าอยู่ในระหว่าง 0.00-39.75 เมกะพาสคัล ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ของสูตรสัดส่วนผสมที่ 6 ของโพลิเมอร์ขาวเป็นส่วนผสม มีค่า 3.14 เมกะพาสคัล ซึ่งมากที่สุดและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนสูตรอื่น ๆ มีค่าต่ำกว่าที่ 1.57 เมกะพาสคัล และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ที่ใช้โพลิเมอร์ขาวเป็นส่วนผสม ตามสูตรที่ 6 มีค่า 0.78 เมกะพาสคัล มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานมากที่สุด สูตรอื่น ๆ มีค่าต่ำกว่า 0.00 เมกะพาสคัล อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

จากผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่มีโพลิเมอร์ขาวเป็นส่วนผสม สรุปได้ว่า สัดส่วนผสมที่มีคุณสมบัติได้เกณฑ์มาตรฐานมากที่สุด คือ สูตรที่ 6 เพราะมีความหนาแน่น ความชื้น การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ความต้านทานแรงดัด ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนค่ามอดูลัสยืดหยุ่นไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มีสาเหตุมาจากความต้านทานแรงดัดสูง จึงมีค่ามอดูลัสยืดหยุ่นต่ำ ซึ่งเป็นไปตามธรรมชาติของวัสดุ ที่มีความแข็งสูงจะมีความเปราะมาก และยืดหยุ่นต่ำ สูตรที่มีคุณสมบัติดีพอใช้ คือสูตรที่ 2 เพราะมีความหนาแน่น ความชื้น การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ความต้านทานแรงดัด ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน แต่มีค่ามอดูลัสยืดหยุ่นไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนสูตรที่ 4 ที่ 5 และที่ 8 มีความชื้น การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ความต้านทานแรงดัด ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน แต่มอดูลัสยืดหยุ่น ความหนาแน่นไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน สูตรที่ 3 และที่ 7 มีความชื้น ความต้านทานแรงดัด ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน แต่ความหนาแน่น การพองตัวเมื่อแช่น้ำ มอดูลัสยืดหยุ่นไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ส่วนสูตรผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานากับโพลิเมอร์ขาว มีเพียงสูตรสัดส่วนที่ 6 ที่มีค่าใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐาน ที่สามารถพัฒนาต่อไปได้ คือ มีความชื้น การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ความต้านทานแรงดัด ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนสูตรที่ 1 ที่ 2 ที่ 3 ที่ 5 และที่ 7 มีความชื้น การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนสูตรที่ 4 และที่ 8 มีความหนาแน่นที่ใกล้เคียงกับมาตรฐาน

สรุปผลสูตรที่มีสัดส่วนเหมาะสมในการทำวัสดุแผ่นทดแทนไม้จากวัตถุดิบ เถ้าแกลบ ปูนขาว เถ้าแกลบ ปูนขาว ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และใยมะพร้าวหรือใยผักตบชวา คือ สูตรที่ 6 ของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโหลานากับใยมะพร้าวเป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งผู้วิจัยได้นำผลิตภัณฑ์จากสูตรสัดส่วนผสมดังกล่าวไปทำการทดสอบตามเกณฑ์มาตรฐานของสำนักงานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมอีกครั้งหนึ่ง สรุปผลการทดสอบ ดังตาราง 19

ตาราง 19 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุแผ่นทดแทนไม้ที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปอชโหลานากับใยมะพร้าว สูตรที่ 6 (ทดสอบซ้ำ)

ความหนาแน่น	ความชื้น	การพองตัว เมื่อแช่น้ำ	ความต้านทาน แรงคัต	มอดุลัสยืดหยุ่น	ความต้านทาน แรงดึงตึงฉีก กับผิวหน้า
(กก./ม ³)	(ร้อยละ)	(ร้อยละ)	(เมกะพาสคัล)	(เมกะพาสคัล)	(เมกะพาสคัล)
1200	8.33	0.62	43.56	26.50	1.57

อภิปรายผล

สรุปผลคุณสมบัติด้านกายภาพของวัสดุแผ่นทดแทนไม้จากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโหลานากับใยมะพร้าวและใยผักตบชวา

ความหนาแน่น มีค่าไม่เท่ากัน สูตรที่ใช้ใยมะพร้าวเป็นส่วนผสม มี 2 สูตรที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนสูตรอื่นไม่อยู่ในเกณฑ์ สูตรที่ใช้ใยผักตบชวามี 1 สูตรที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนสูตรอื่น ๆ ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มีสาเหตุมาจากเส้นใยมีการกระจายตัวไม่ดีพอ ไม่มีแรงกดในการอัดลงในแบบพิมพ์ เกิดความพรุนสูงในสูตรของใยมะพร้าว และโพรงอากาศในสูตรของ

ใยผักตบชวา

ความชื้น มีค่าไม่เท่ากัน สูตรที่ใช้ไยมะพร้าวเป็นส่วนผสม มีค่าความชื้นที่สูงกว่า สูตรที่ใช้ใยผักตบชวา แต่ทุกสูตรของทั้งที่ใช้ไยมะพร้าวและใยผักตบชวผ่านเกณฑ์มาตรฐาน สาเหตุที่มีค่าต่างกันเกิดจากความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ กล่าวคือ ถ้าสูตรใดมีความหนาแน่นสูง มีค่าความชื้นสูง ส่งผลให้น้ำระเหยช้าทำให้ขึ้นทดลองแห้งช้า สูตรใดที่มีความหนาแน่นต่ำ มีความชื้นต่ำ น้ำระเหยได้เร็วทำให้ขึ้นทดลองแห้งเร็ว สูตรที่ใช้ผักตบชวทุกสูตรมีโพรงอากาศมาก ทำให้มีความชื้นอยู่ในตัวน้อย เช่น สูตรที่ 6 ของไยมะพร้าว มีความหนาแน่น 1409.00 กก./ม³ ความชื้น ร้อยละ 6.9

การพองตัวเมื่อแช่น้ำ มีค่าไม่เท่ากัน สูตรที่ใช้ไยมะพร้าวมีการพองตัวสูง สูตรที่ใช้ใยผักตบชวมีการพองตัวน้อย มีสาเหตุมาจากความหนาแน่น ความชื้น ถ้ามีความหนาแน่นต่ำ ความชื้นในตัวน้อย ดูดซับน้ำมาก และถ้าเส้นใยขยายตัวภายในไม่ได้ก็ทำให้เกิดการพองตัว แต่ถ้ามีความหนาแน่นต่ำ ความชื้นในตัวน้อย มีโพรงอากาศสูง ดูดซับน้ำมาก และถ้าเส้นใยขยายตัวภายในได้ก็ไม่เกิดการพองตัว เช่น สูตรที่ 3 ที่ใช้ไยมะพร้าว ความหนาแน่นต่ำ มีค่า 1050.00 กก./ม³ ความชื้น ร้อยละ 0.00 การพองตัวเมื่อแช่น้ำ ร้อยละ 12.50 สูตรที่ 2 ที่ใช้ใยผักตบชว มีความหนาแน่น 769.90 กก./ม³ ความชื้น 0.00 การพองตัวเมื่อแช่น้ำ 0.00

ความต้านทานแรงดัด มีค่าไม่เท่ากัน สูตรที่ใช้ไยมะพร้าว มีความต้านทานแรงดัดสูง สูงกว่าสูตรที่ใช้ใยผักตบชวา สาเหตุมาจาก ความหนาแน่นสภาพภายในขึ้นทดลองเป็นโพรงอากาศมากหรือน้อย ใยผักตบชวมีความหนาแน่นต่ำกว่าไยมะพร้าว สภาพภายในขึ้นทดลองที่ใช้ใยผักตบชวมีโพรงอากาศมาก จึงเป็นเหตุให้รับแรงดัดได้น้อย และผ่านเกณฑ์มาตรฐานบางสูตร เช่น สูตรที่ 1 ที่ใช้ใยผักตบชว มีความหนาแน่น 846.10 กก./ม³ ความต้านทานแรงดัด 21.78 เมกะพาสคัล สูตรที่ 1 ที่ใช้ไยมะพร้าว 1043.40 กก./ม³ ความต้านทานแรงดัด 65.33 เมกะพาสคัล

มอดุลัสยืดหยุ่น มีค่าที่ต่ำมากทุกสูตรทั้งที่ใช้ไยมะพร้าว และใยผักตบชวา สาเหตุมาจาก มีความต้านทานแรงดัดสูง เส้นใยกระจายตัวไม่ตึงพอ เช่น สูตรที่ 5 ของไยมะพร้าวมีความต้านทานแรงดัด 65.33 เมกะพาสคัล มอดุลัสยืดหยุ่น 79.50 เมกะพาสคัล สูตรที่ 5 ของใยผักตบชว ความต้านทานแรงดัด 21.78 เมกะพาสคัล มอดุลัสยืดหยุ่น 39.75 เมกะพาสคัล

ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า มีค่าสูงในสูตรที่ใช้โয়มะพร้าว แต่ที่ใช้โয়ผักตบชวา มีค่าต่ำจนถึงไม่มีค่าเลย สาเหตุมาจาก การกระจายตัวของเส้นโয় ความพรุนภายในโয়มะพร้าว โครงอากาศที่มีสูงในผักตบชวา เช่น สูตรที่ 6 ของโয়มะพร้าว ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า 3.14 เมกะพาสคัล สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน สูตรที่ 3 ที่ใช้โয়มะพร้าว ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า 1.57 เมกะพาสคัล สูตรที่ 6 ที่ใช้โয়ผักตบชวา ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า 0.78 เมกะพาสคัล สูตรที่ 3 ที่ใช้โয়ผักตบชวา ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า 0.00 เมกะพาสคัล

ข้อเสนอแนะ

1. การพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพื่อให้ได้คุณสมบัติตามต้องการที่เป็นการเพิ่มเติมจากกระบวนการวิจัยนี้ อาจทำได้โดย

- 1.1 ตัดเส้นโয়ให้ยาวประมาณ 1 ซม. และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กที่สุด
- 1.2 นำเส้นโয়ไปแช่น้ำให้อิ่มตัวก่อนการผสม
- 1.3 ขจัดสารบางอย่างที่มีในเส้นโয় โดยใช้คลอรีนหรือโซดาไฟและล้างออกให้

สะอาด

- 1.4 เพิ่มแรงกดต่อชิ้นงานขณะทำการเทลงในแบบพิมพ์ และเขย่าให้เข้ากัน
- ทั้งนี้ เพื่อให้ได้ส่วนผสมที่เข้ากันดีและได้คุณสมบัติ ด้านแรงดัด แรงดึงตั้งฉาก

ความหนาแน่น การพองตัวเมื่อแช่น้ำตามที่ต้องการในที่สุด

2. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ควรศึกษาวิจัยและพัฒนาปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานากับโয়ผักตบชวา โดยการนำเส้นโয়ผักตบชวามายบดหรือหุบเส้นโয়ก่อนนำไปผสม

2.2 ควรศึกษาวิจัยกระบวนการผลิตที่เป็นระบบอุตสาหกรรม

2.3 ควรศึกษาอัตราส่วนของเส้นโয়ที่ใช้ผสมเพื่อให้เกิดมอดุลลัสยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น

ในวัสดุแผ่นทดแทนไม้

2.4 ควรศึกษาเส้นโয়ชนิดอื่นที่มีคุณลักษณะที่ดีเมื่อนำมาผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ป๋อชโหลนาแล้วผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

2.5 ควรศึกษาวิจัยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ป๋อชโหลนา กับเส้นใยพืช และทรายหยาบปานกลาง เพื่อทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- การพัฒนาการอยู่อาศัย. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
2530.
- "การทำซีเมนต์จากเถ้าแกลบ," ใน รายงานกิจกรรมกรมวิทยาศาสตร์บริการ เล่ม 38. หน้า
32-35. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภา ลาดพร้าว, 2523.
- เคหะแห่งชาติ. การ. มาตรฐานที่อยู่อาศัยประเภทอาคารชุด. กรุงเทพฯ : กองวิจัยและ
แบบก่อสร้าง ฝ่ายการวิจัยและก่อสร้าง, 2525.
- ชัยรัตน์ สุวัฒน์ และคนอื่น ๆ. แผ่นซีเมนต์ผสมใยพืช. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. กรุงเทพฯ :
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี, 2533. ถ่ายเอกสาร.
- ปริญญา จินดาประเสริฐ. "ปูนซีเมนต์เถ้าแกลบ," วารสารวิชาการที่อยู่อาศัย. 3(1):81-91;
กันยายน 2529.
- ปลัดจังหวัดพระนครศรีอยุธยา, สำนักงาน. ผักตบชวา. พระนครศรีอยุธยา : สำนักงาน
ปลัดจังหวัดพระนครศรีอยุธยา, 2533.
- ป่าไม้, กรม. สถิติการป่าไม้ ปี 2533. กรุงเทพฯ : กรมป่าไม้, 2532.
- _____. การใช้ประโยชน์ผลิตภัณฑ์แผ่นไม้อัดสารแร่. กรุงเทพฯ : กรมป่าไม้, 2532.
- "ปูนขาว," อุตสาหกรรมสาร. 12(6):45; มิถุนายน 2512.
- "ปูนซีเมนต์โปซโซลาน่า," ข่าวกรมวิทยาศาสตร์. 9(104): 6-7; มกราคม 2527.
- พิภพ สุนทรสมัย. วัสดุวิศวกรรมการก่อสร้าง. กรุงเทพฯ : เอช-เอนการพิมพ์, 2530.
- _____. ช่างปูนก่อสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : การเคหะแห่งชาติ, 2525.
- วัชร ทองเจริญ และคนอื่น ๆ. "การผลิตและการทดสอบคุณสมบัติบางประการของซีเมนต์
เถ้าแกลบ," วารสารสงขลานครินทร์. 8(4): 2529.
- วินิต ช่อวิเชียร. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : ห้างฯป.สัมพันธ์พาณิชย์,
2529.
- วิทยาศาสตร์, กรม. รายงานกิจกรรมของกรมวิทยาศาสตร์. กรุงเทพฯ : กรมวิทยาศาสตร์,
2517.
- ส่งเสริมอุตสาหกรรม, กรม. การเพิ่มผลผลิต. กรุงเทพฯ : กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม,
2518.
- สุทัศน์ สุวรรณสินธุ์. "แผ่นใยปาล์ม-ซีเมนต์," ใน ข่าวเทคโนโลยีสำหรับชาวชนบท. หน้า
5-7. กรุงเทพฯ : ศูนย์บริการเอกสารการวิจัยแห่งประเทศไทย, 2532.
- สภาวิจัยแห่งชาติ. "ประวัติผักตบชวา," อุตสาหกรรม. 33: มกราคม 2533.

- อนันต์ กิจสวัสดิ์. วิทยาศาสตร์สำหรับประชาชน ครั้งที่ 411. กรุงเทพฯ : กรมวิทยาศาสตร์
บริการ, 2529.
- อุตสาหกรรมสิ่งทอ, กอง. เส้นใยมะพร้าวและการทำผลิตภัณฑ์. กรุงเทพฯ : งานปอและ
เส้นใยพืช กองอุตสาหกรรมสิ่งทอ กระทรวงอุตสาหกรรม, ม.ป.ป.
- "อุตสาหกรรมไม้อัดไม้ประกอบในอนาคต," ใน อนุสารไม้อัดบางนา. หน้า 25-26. กรุงเทพฯ
: 2532.
- อุตสาหกรรม, กระทรวง. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่น
สูง มอก. 878-2532. กรุงเทพฯ : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
กระทรวงอุตสาหกรรม, 2532.
- Honnant, D.J. Fibre Cements and Fibre Concretes. Copyright(c).
New York : Unwin Brothers Ltd, 1978.
- Krenchel, H. Fibre reinforced matrix materials. Fibre reinforced
Concrete, A.C.I. Publication S.P. 44.
- Van Oss, J.F. Materials and Technology. 2nd ed. Amsterdam: De Bussy
Ellerman Harms M.V. 1971.

ภาคผนวก

ภาคผนวก

ตอน ก.

ตาราง 20 การเปรียบเทียบผลการทดสอบค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ใช้เส้นใยมะพร้าว
เป็นส่วนผสมกับค่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ตัวอย่างที่

ใช้ทดสอบ 0 2 4 6 8 10 12 14 16 (ร้อยละ)

เกณฑ์ %%%%%%%%%%

สูตรที่ 1 GGGGGGGG

สูตรที่ 2 GGGGGGGGGGGGGGGGGG

สูตรที่ 3

สูตรที่ 4 GGGGGGGGGG

สูตรที่ 5 GGGGGGGG

สูตรที่ 6 GGGGGGGGGGGGGGGG

สูตรที่ 7 GGGGGGGGGG

สูตรที่ 8 GGGGGGGGGG

%%%%%%%%%

ค่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

GGGGGGGG

ค่าจากการทดสอบผลิตภัณฑ์ที่ทดลองผลิต

ตาราง 21 การเปรียบเทียบผลการทดสอบค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ใช้เส้นใยผักบรเว
เป็นส่วนผสมกับค่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ตัวอย่างที่

ใช้ทดสอบ 0 2 4 6 8 10 12 14 15 (ร้อยละ)

เกณฑ์	
สูตรที่ 1	GGGGGGGG
สูตรที่ 2	
สูตรที่ 3	GGGGGGGG
สูตรที่ 4	
สูตรที่ 5	GGGGGGGG
สูตรที่ 6	
สูตรที่ 7	GGGGGGGGGG
สูตรที่ 8	

XXXXXXXX

ค่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

GGGGGGGG

ค่าจากการทดสอบผลิตภัณฑ์ที่ทดลองผลิต

ตาราง 23 การเปรียบเทียบผลการทดสอบค่าการพองตัวของเม็ดน้ำของผลิตภัณฑ์ที่ใช้
เส้นใยผักตบชวาเป็นส่วนผสมกับค่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ตัวอย่างที่	
ใช้ทดสอบ	0 2 4 6 8 10 12 14 15 (ร้อยละ)
เกณฑ์	%%%
สูตรที่ 1	
สูตรที่ 2	
สูตรที่ 3	
สูตรที่ 4	
สูตรที่ 5	
สูตรที่ 6	
สูตรที่ 7	
สูตรที่ 8	

%%%%%%%%

ค่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

GGGGGGGG

ค่าจากการทดสอบผลิตภัณฑ์ที่ทดลองผลิต

ตาราง 25 การเปรียบเทียบผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงค้ำของผลิตภัณฑ์ที่ใช้
เส้นใยผักตบชวากับค่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ตัวอย่างที่	(เมกะพาสคัล)
ใช้ทดสอบ	0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75
เกณฑ์	XXXX
สูตรที่ 1	GGGGGGGGGGGGGGGG
สูตรที่ 2	
สูตรที่ 3	
สูตรที่ 4	
สูตรที่ 5	GGGGGGGGGGGGGGGG
สูตรที่ 6	GGGGGGGGGGGGGGGG
สูตรที่ 7	GGGGGGGGGGGGGGGG
สูตรที่ 8	

ค่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

GGGGGGGGG คำจากการทดสอบผลิตภัณฑ์ที่ทดลองผลิต

ตาราง 26 การเปรียบเทียบผลการทดสอบค่ามอดุลลียิตหยุ่นของผลิตภัณฑ์ที่ใช้เส้นใย
ผักตบชวากับค่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ตัวอย่างที่ (เมกะพาสคัล)	
ใช้ทดสอบ	0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 2000 3000
เกณฑ์	%%%%%%%%%
สูตรที่ 1	GGGGG
สูตรที่ 2	G
สูตรที่ 3	G
สูตรที่ 4	GGGGGGGGGG
สูตรที่ 5	GG
สูตรที่ 6	GGGGGGGGGG
สูตรที่ 7	GG
สูตรที่ 8	G

%%%%%%%%%

ค่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

GGGGGGGG

ค่าจากการทดสอบผลิตภัณฑ์ที่ทดลองผลิต

ตาราง 27 การเปรียบเทียบผลการทดสอบค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์ที่ใช้โดยนักบวช
เป็นส่วนผสมกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ตัวอย่างที่ (เมกะพาสคัล)

ใช้ทดสอบ 0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 2000 3000

เกณฑ์	%%%%%%%%%
สูตรที่ 1	GG
สูตรที่ 2	
สูตรที่ 3	
สูตรที่ 4	
สูตรที่ 5	G
สูตรที่ 6	
สูตรที่ 7	C
สูตรที่ 8	

%%%%%%%%%

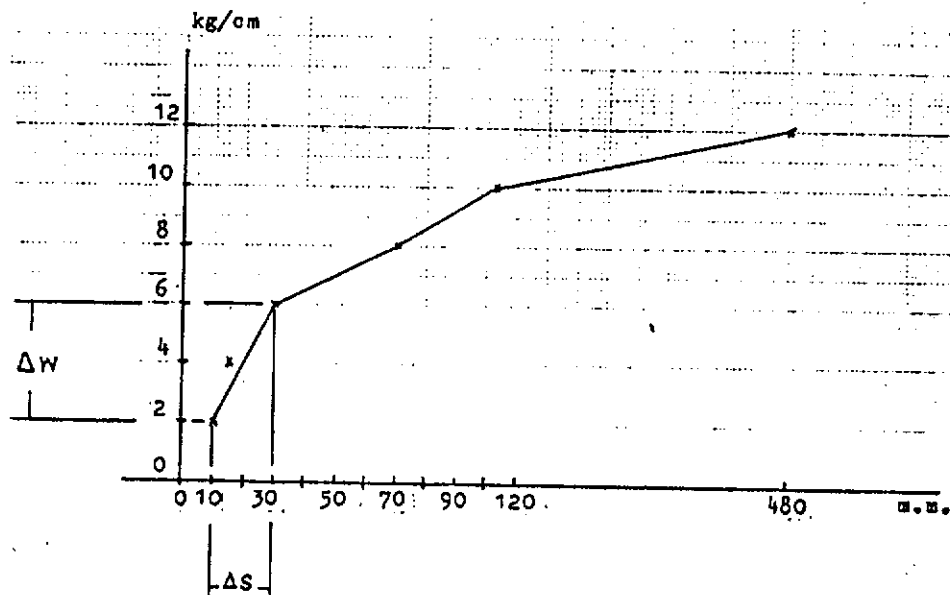
ค่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

GGGGGGGG

ค่าจากการทดสอบผลิตภัณฑ์ที่ทดลองผลิต

ภาคผนวก

ตอน ข.



$$\Delta w = 6 - 2 = 4 \text{ Kg/cm}$$

$$\Delta s = 30 - 10 = 20 \text{ m.m.}$$

$$3 w l = 13066.92$$

$$2 b d^2 = 200$$

$$I^3_{\Delta w} = 1987623.72$$

$$4 b d^3 \Delta s = 12500$$

$$f = \frac{13066.92}{200}$$

$$= 65.33 \text{ เมกะพาสคัล}$$

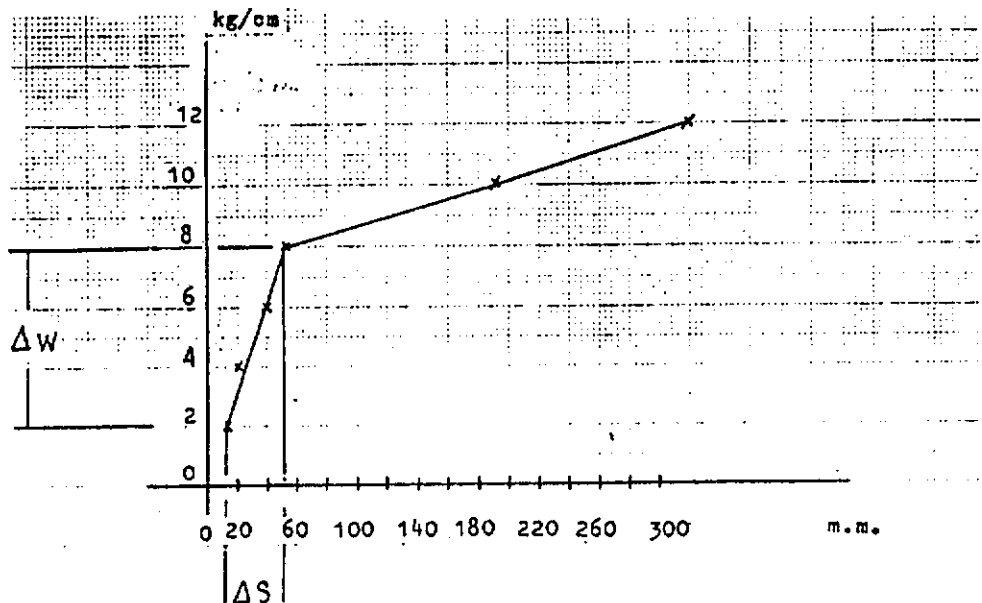
$$200$$

$$E = \frac{1987623.72}{12500}$$

$$= 157.01 \text{ เมกะพาสคัล}$$

$$12500$$

ภาพประกอบ 5 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น ของสูตรลัดส่วน
ผสมที่ 1 ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานากับใยมะพร้าว



$$\Delta W = 8 - 2 = 6 \text{ kg/cm.}$$

$$\Delta S = 50 - 15 = 35 \text{ m.m.}$$

$$3Wl = 13066.92$$

$$2bd^2 = 200$$

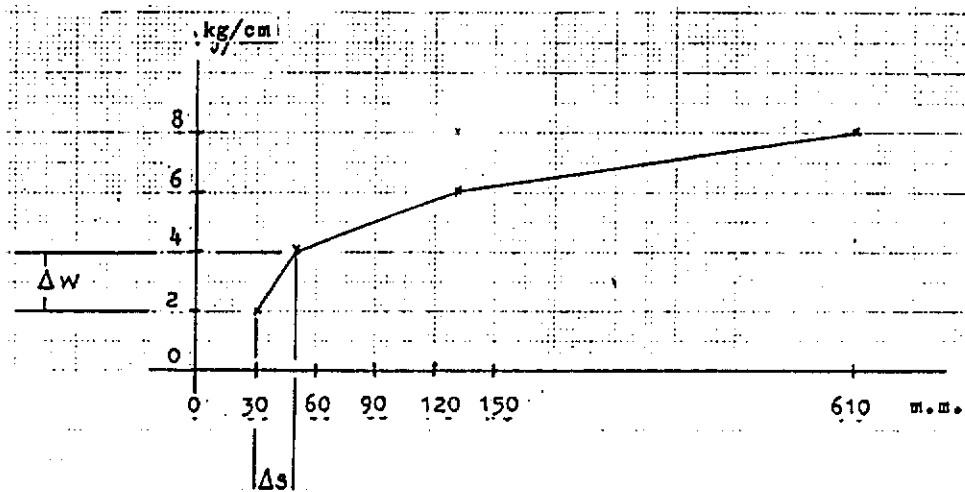
$$I_{\Delta W} = 303918$$

$$4bd^3 \Delta S = 21875$$

$$f = \frac{13066.92}{200} = 65.33 \text{ เมกะพาสคัล}$$

$$E = \frac{303918}{21875} = 13.89 \text{ เมกะพาสคัล}$$

ภาพประกอบ 6 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงคดและมอดุลลียืดหยุ่น ของสูตรลัดส่วน
ผสมที่ 2 ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอร์โซลานากับใยมะพร้าว



$$\Delta w = 4 - 2 = 2 \text{ kg/cm.}$$

$$\Delta s = 80 - 30 = 50 \text{ mm.}$$

$$3wI = 8711.28$$

$$2bd^2 = 200$$

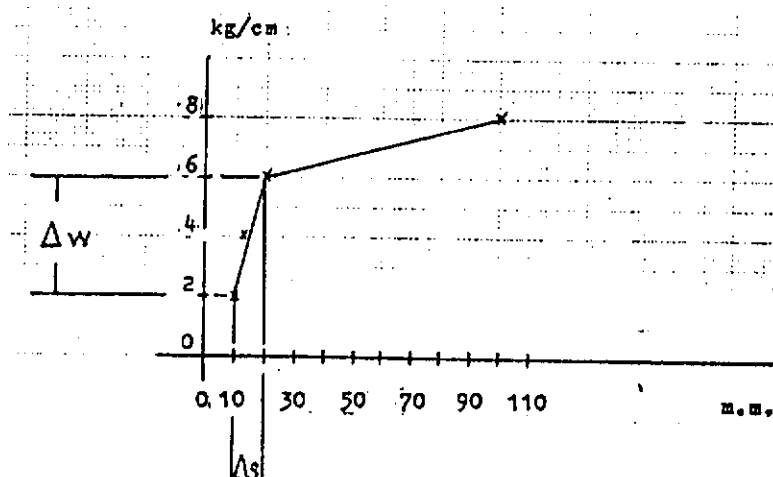
$$I^3_{\Delta w} = 993811.86$$

$$4bd^3_{\Delta s} = 31250$$

$$f = \frac{8711.28}{200} = 43.56 \text{ เมกะพาสคัล}$$

$$E = \frac{993811.86}{31250} = 31.80 \text{ เมกะพาสคัล}$$

ภาพประกอบ 7 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดและมอดุลัสยืดหยุ่น ของสูตรสัณฐาน
ผลที่ 3 ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซิโซลานากับใยมะพร้าว



$$\Delta w = 6 - 2 = 4 \text{ kg/cm.}$$

$$\Delta s = 20 - 10 = 10 \text{ m.m.}$$

$$3wI = 8711.28$$

$$2bd^2 = 200$$

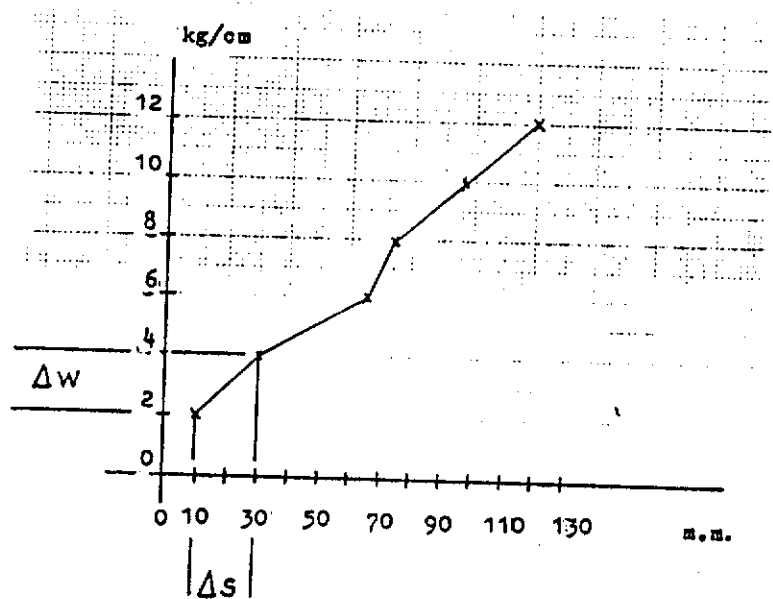
$$I^3_{\Delta w} = 1987623.72$$

$$4bd^3_{\Delta s} = 6250$$

$$f = \frac{8711.28}{200} = 43.56 \text{ เมกะพาสคัล}$$

$$E = \frac{1987623.72}{6250} = 318.02 \text{ เมกะพาสคัล}$$

ภาพประกอบ 8 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดและโมดูลัสยืดหยุ่น ของสูตรลัดส่วน
ผลมที่ 4 ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ป่อชโหลานากับโยมะพร้าว



$$\Delta w = 4 - 2 = 2 \text{ kg/cm.}$$

$$\Delta s = 30 - 10 = 20 \text{ m.m.}$$

$$3wl = 13066.92$$

$$2bd^2 = 200$$

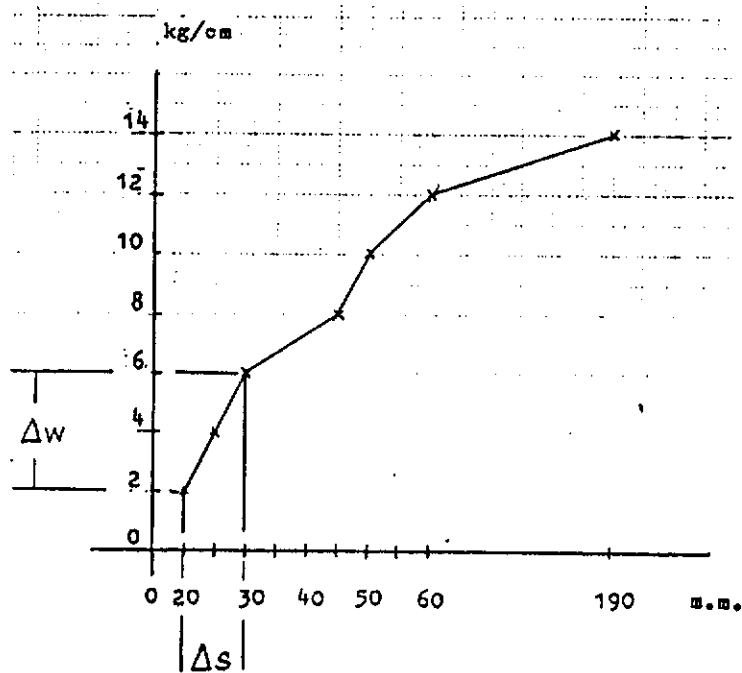
$$l^3 \Delta w = 993811.86$$

$$4bd^3 \Delta s = 12500$$

$$f = \frac{13066.92}{200} = 65.33 \text{ เมกะพาสคัล}$$

$$E = \frac{993811.86}{12500} = 79.50 \text{ เมกะพาสคัล}$$

ภาพประกอบ 9 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น ของสูตรลัดส่วน
ผสมที่ 5 ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานากับใยมะพร้าว



$$\Delta w = 6 - 2 = 4 \text{ kg/cm.}$$

$$\Delta s = 30 - 20 = 10 \text{ mm.}$$

$$3wI = 15244.74$$

$$2bd^2 = 200$$

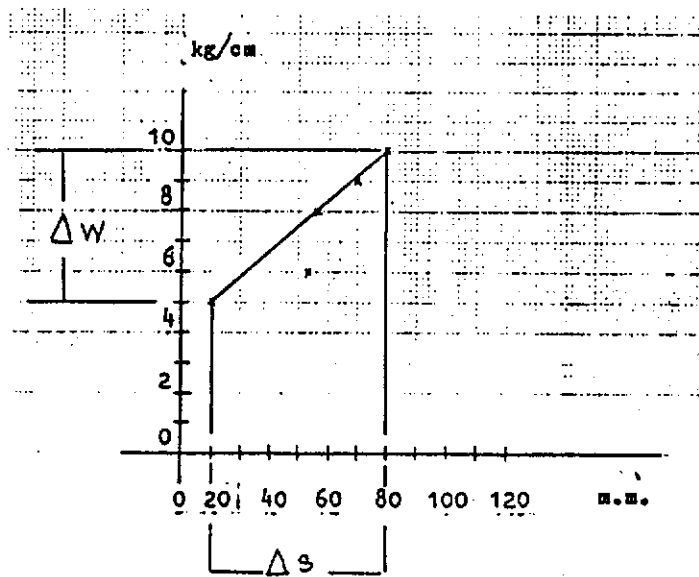
$$I^3_{\Delta w} = 1987623.72$$

$$4bd^3_{\Delta s} = 6250$$

$$f = \frac{15244.74}{200} = 76.22 \text{ เมกะพาสคัล}$$

$$E = \frac{1987623.72}{6250} = 318.01 \text{ เมกะพาสคัล}$$

ภาพประกอบ 10 แสดงผลการทดสอบความต้านแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น ของสูตรสี่ส่วน
ผลสมที่ 6 ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ป้อนโซลานากับไยมะพร้าว



$$\Delta w = 10 - 5 = 5 \text{ kg/cm.}$$

$$\Delta s = 80 - 20 = 60 \text{ m.m.}$$

$$3wl = 10889.1$$

$$2bd^2 = 200$$

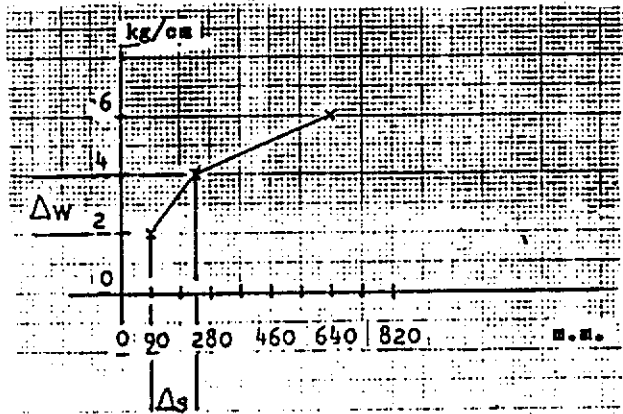
$$l^3 \Delta w = 2484529.65$$

$$4bd^3 \Delta s = 37500$$

$$f = \frac{10889.1}{200} = 54.45 \text{ เมกะพาสคัล}$$

$$E = \frac{2484529.65}{37500} = 66.25 \text{ เมกะพาสคัล}$$

ภาพประกอบ 11 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น จากสูตรสัดส่วน
ผลมที่ 7 ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานากับไยมะพร้าว



$$\Delta w = 4 - 2 = 2 \text{ kg/cm.}$$

$$\Delta s = 225 - 90 = 135 \text{ m.m.}$$

$$3w_1 = 6533.46$$

$$2bd^2 = 200$$

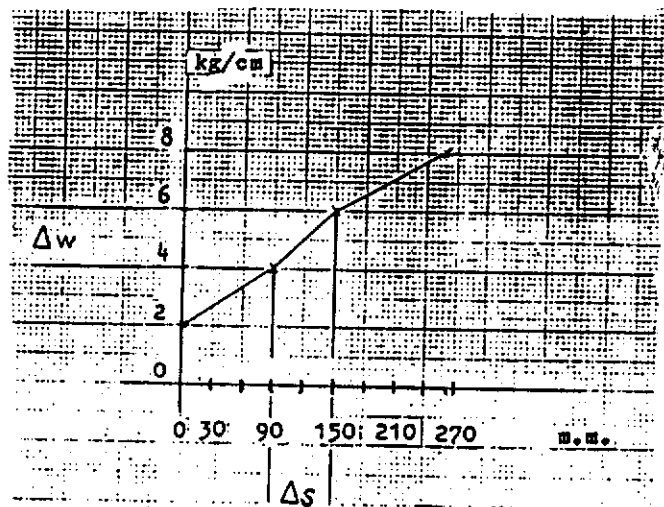
$$I^3_{\Delta w} = 993811.86$$

$$4bd^3_{\Delta s} = 84375$$

$$f = \frac{6533.46}{200} = 32.67 \text{ เมกะพาสคัล}$$

$$E = \frac{993811.86}{84375} = 11.78 \text{ เมกะพาสคัล}$$

ภาพประกอบ 12 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดและมอดุลลียิต์หยุ่น จากสูตรสัดส่วน
ผลสมที่ 8 ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานากับใยมะพร้าว



$$\Delta w = 6 - 4 = 2 \text{ kg/cm.}$$

$$\Delta s = 150 - 90 = 60 \text{ mm.}$$

$$3wl = 8711.28$$

$$2bd^3 = 200$$

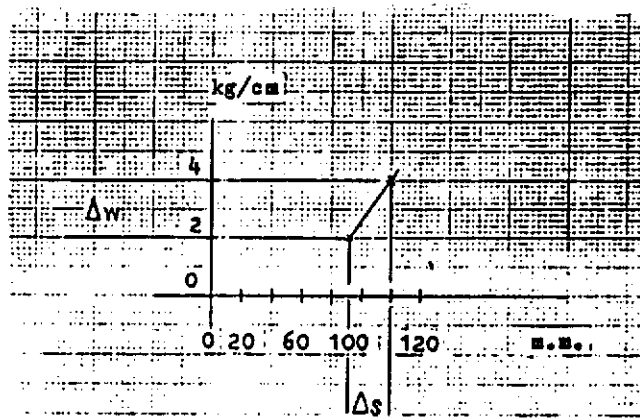
$$I^3_{\Delta w} = 993811.86$$

$$4bd^3_{\Delta s} = 37500$$

$$f = \frac{8711.28}{200} = 43.56 \text{ เมกะพาสคัล}$$

$$E = \frac{993811.86}{37500} = 26.50 \text{ เมกะพาสคัล}$$

ภาพประกอบ 13 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น จากสูตรลัดส่วน
ผลมที่ 6 ทดสอบใหม่ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานากับโยมะพร้าว



$$\Delta w = 4 - 2 = 2 \text{ kg/cm.}$$

$$\Delta s = 110 - 90 = 20 \text{ m.m.}$$

$$3w_1 = 4355.64$$

$$2bd^2 = 200$$

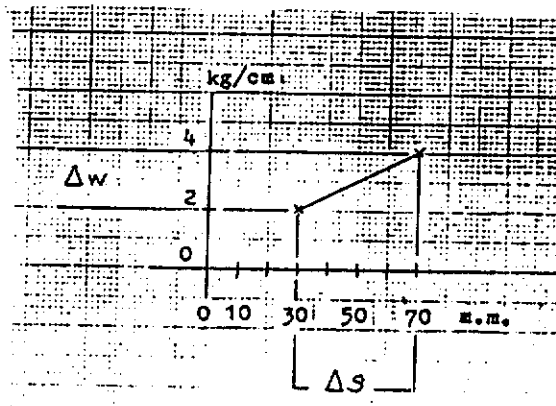
$$I^3_{\Delta w} = 993811.85$$

$$4bd^3_{\Delta s} = 12500$$

$$f = \frac{4355.64}{200} = 21.78 \text{ เมกะพาสคัล}$$

$$E = \frac{993811.85}{12500} = 79.50 \text{ เมกะพาสคัล}$$

ภาพประกอบ 14 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงคดและมอดุลัสยืดหยุ่น จากสูตรสัดส่วน
ผสมที่ 1 ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ป่อซิโซลานากับใยผักตบชวา



$$\Delta w = 4 - 2 = 2 \text{ kg/cm.}$$

$$\Delta s = 70 - 30 = 40 \text{ m.m.}$$

$$3w_1 = 4355.64$$

$$2bd^2 = 200$$

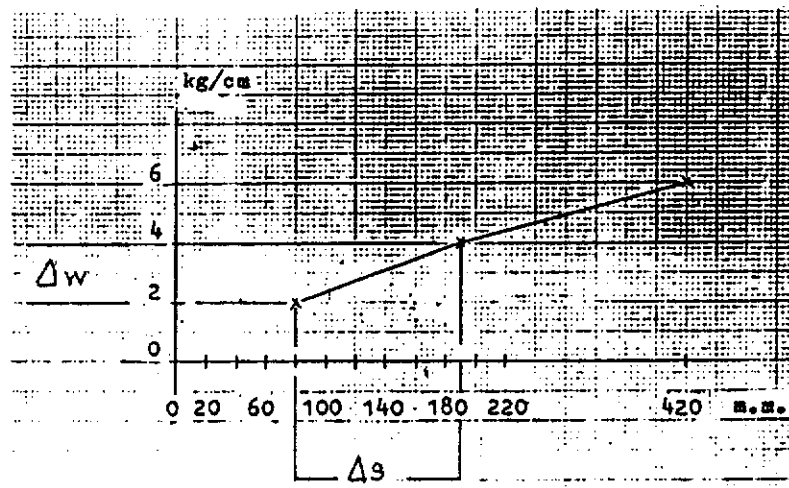
$$l^3 \Delta w = 993811.86$$

$$4bd^3 \Delta s = 25000$$

$$f = \frac{4355.64}{200} = 21.78 \text{ เมกะพาสคัล}$$

$$E = \frac{993811.86}{25000} = 39.75 \text{ เมกะพาสคัล}$$

ภาพประกอบ 15 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น จากสูตรสัดส่วน
ผลมที่ 5 ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานากับใยผักตบชวา



$$\Delta w = 4 - 2 = 2 \text{ kg/cm.}$$

$$\Delta s = 195 - 80 = 115 \text{ m.m.}$$

$$3w1 = 4355.64$$

$$2bd^2 = 200$$

$$I^3_{\Delta w} = 993811.86$$

$$4bd^3 \Delta s = 71875$$

$$f = \frac{4355.64}{200} = 21.78 \text{ เมกะพาสคัล}$$

$$E = \frac{993811.86}{71875} = 13.83 \text{ เมกะพาสคัล}$$

ภาพประกอบ 16 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดและมอดุลลัสยืดหยุ่น จากสูตรสัดส่วน
ผลที่ 7 ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ป่อซิโหลานากับโยนคตบชว

ภาคผนวก

ตอน ค.



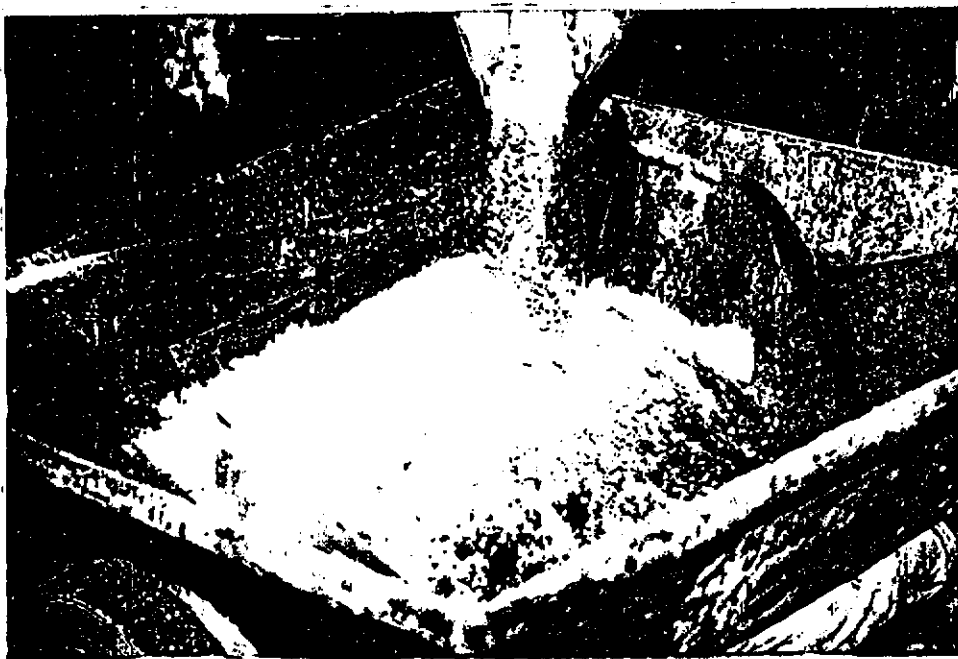
ภาพประกอบ 17 แสดงเส้นใยมะพร้าวกับใยผักตบชวา



ภาพประกอบ 18 แสดงส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานา



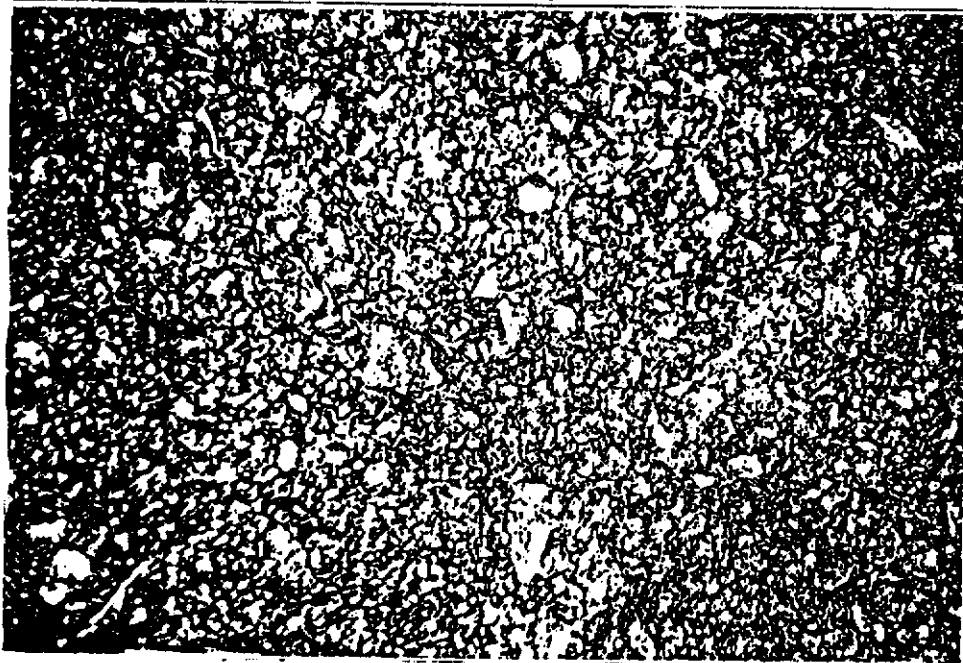
ภาพประกอบ 19 แสดงเครื่องมือที่ใช้ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานาและแบบพิมพ์ที่จะ
เทขึ้นทดลอง



ภาพประกอบ 20 แสดงการใส่ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลานาลงในกะบะผสมปูน



ภาพประกอบ 21 แสดงการคลุกเคล้าส่วนผสมซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานา



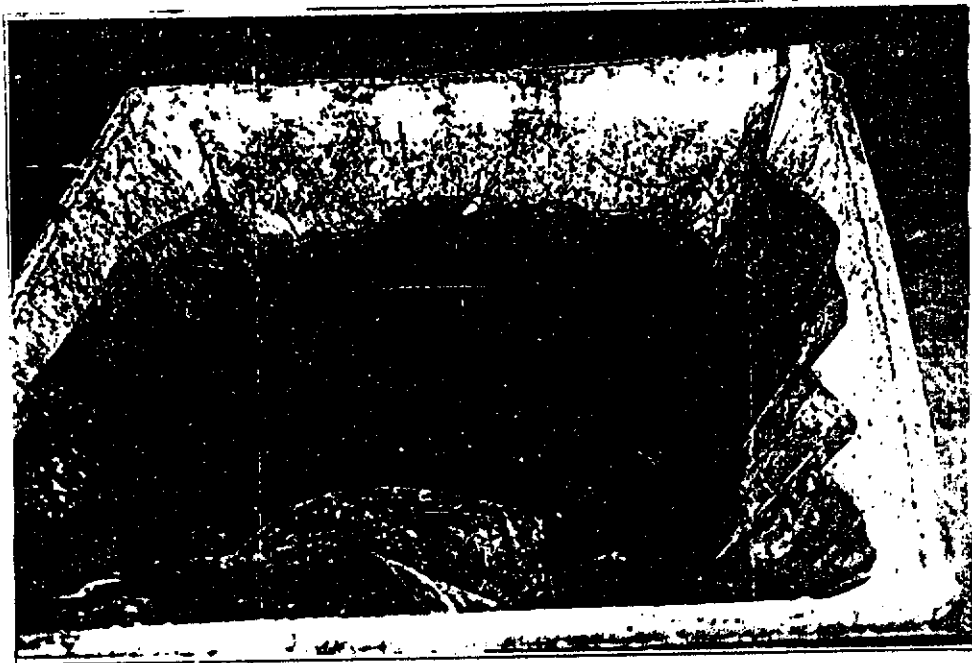
ภาพประกอบ 22 แสดงส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานาที่คลุกเคล้า



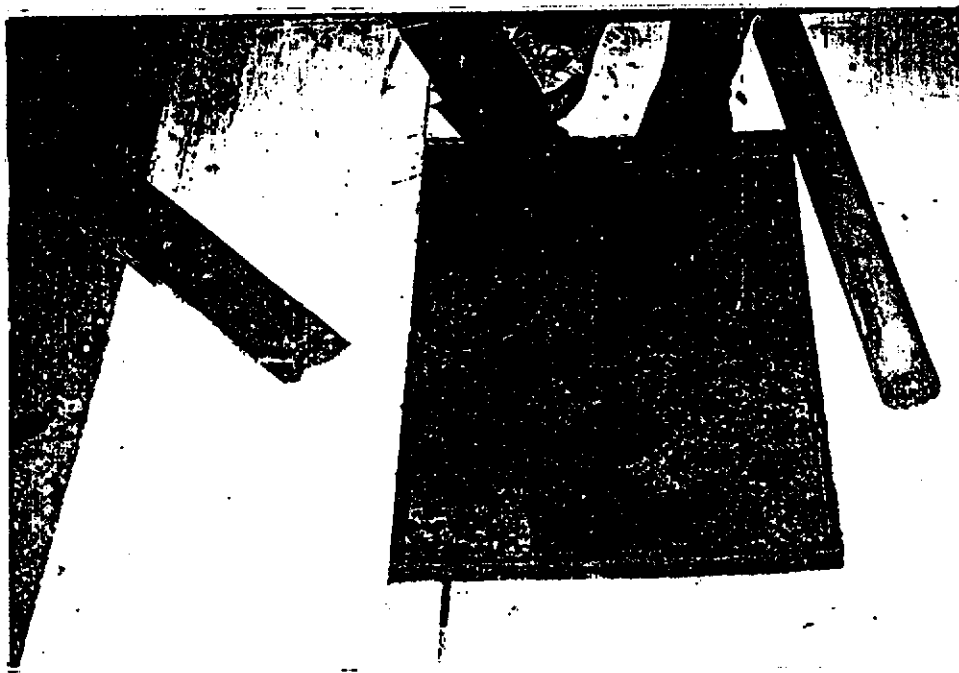
ภาพประกอบ 23 แสดงการใส่ใยมะพร้าวหรือใยผักตบชวาลงในส่วนผสมของปูนซีเมนต์
ปอร์ตแลนด์ป่อชีโซลานา



ภาพประกอบ 24 แสดงการคลุกเคล้าใยมะพร้าวกับส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ป่อชีโซลานา



ภาพประกอบ 25 แสดงส่วนผสมทั้งหมดที่คลุกเคล้าตามสัดส่วนที่กำหนด



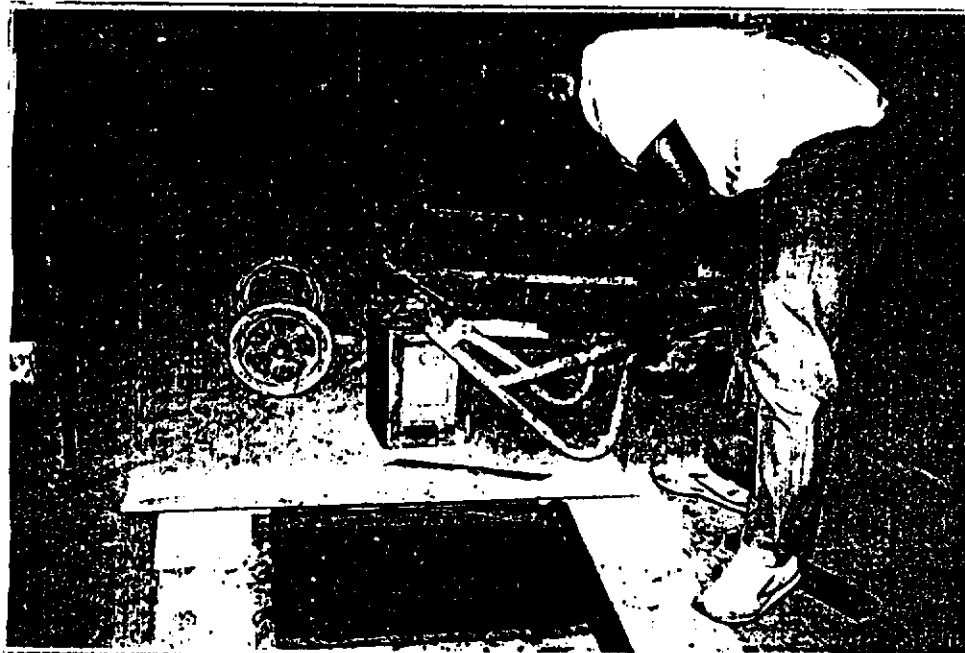
ภาพประกอบ 26 แสดงการใส่ส่วนผสมตามสัดส่วนลงในแบบพิมพ์



ภาพประกอบ 27 แสดงการอัดส่วนผสมในแบบพิมพ์ด้วยลูกกลิ้ง



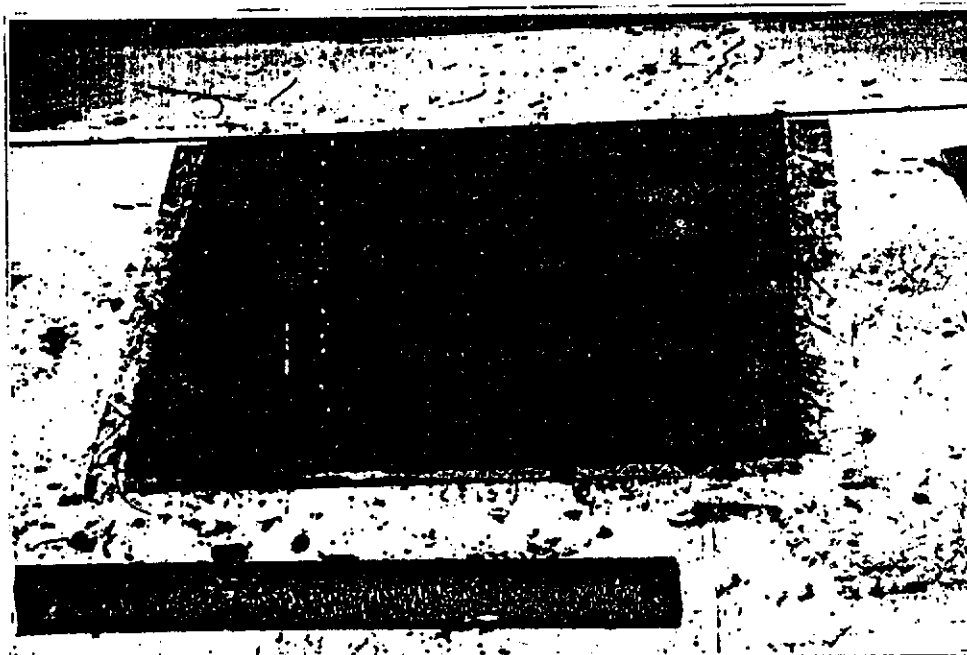
ภาพประกอบ 28 แสดงการปาดตกแต่งชิ้นงานในแบบพิมพ์



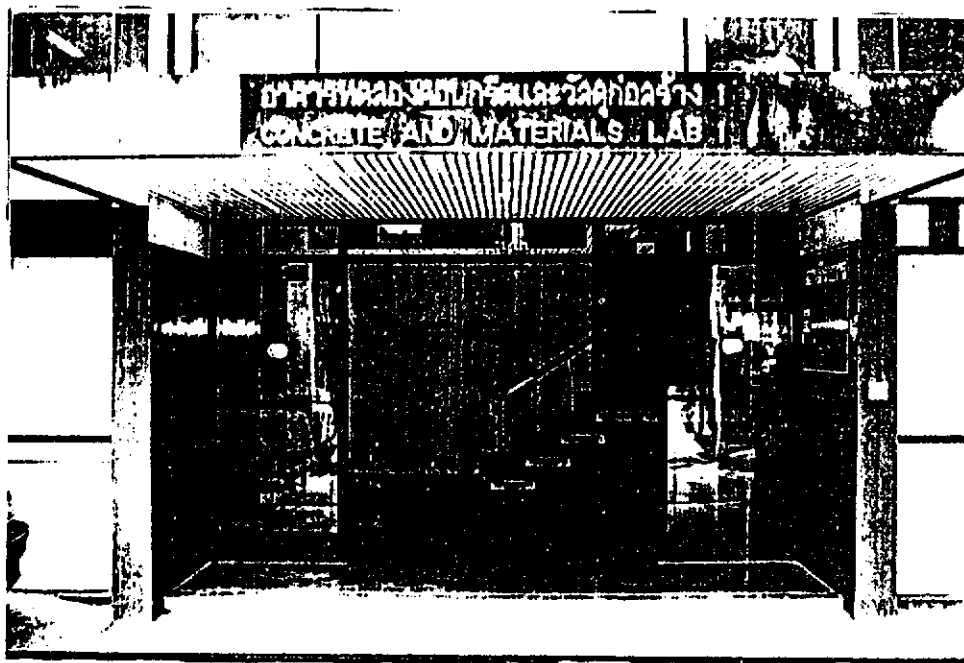
ภาพประกอบ 29 แสดงการเติมส่วนผสมลงในแบบพิมพ์จากกะทะผสมปูน



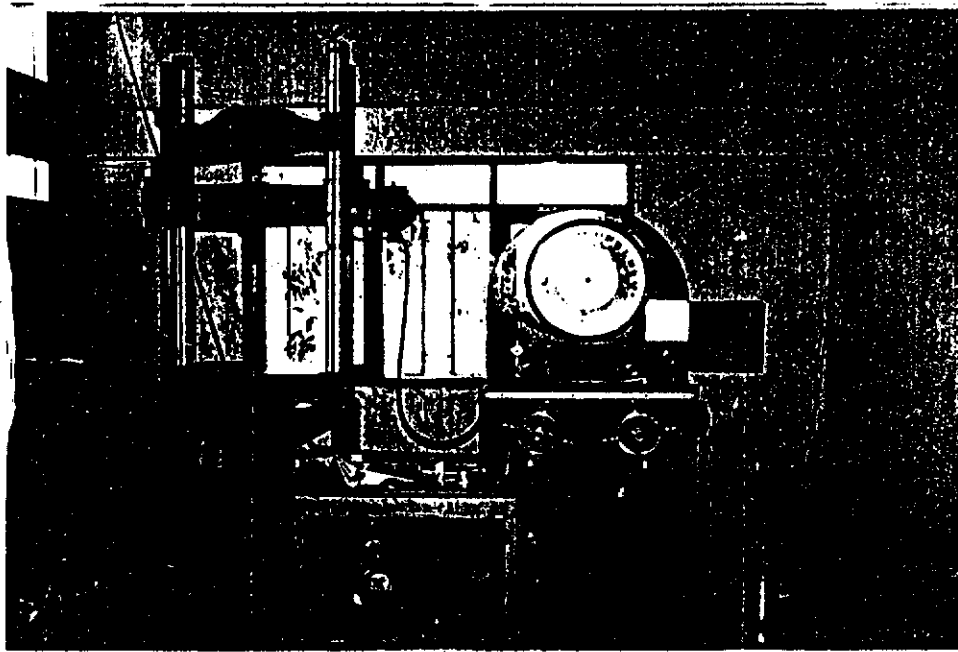
ภาพประกอบ 30 แสดงการปาดตกแต่งชิ้นงานในแบบพิมพ์



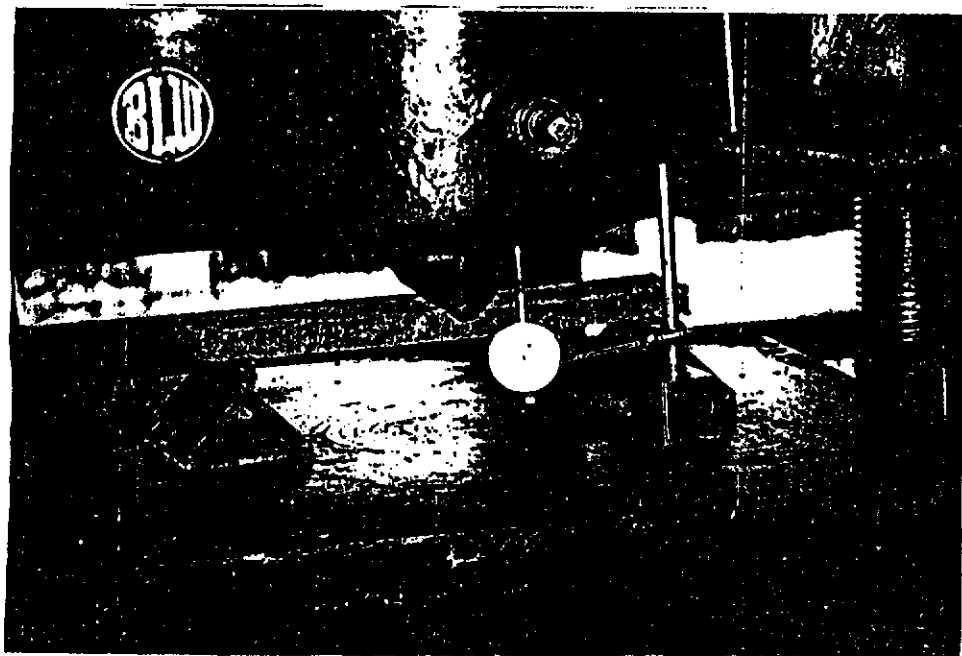
ภาพประกอบ 31 แสดงชิ้นงานทดลองในแบบพิมพ์ที่เรียบร้อยแล้ว



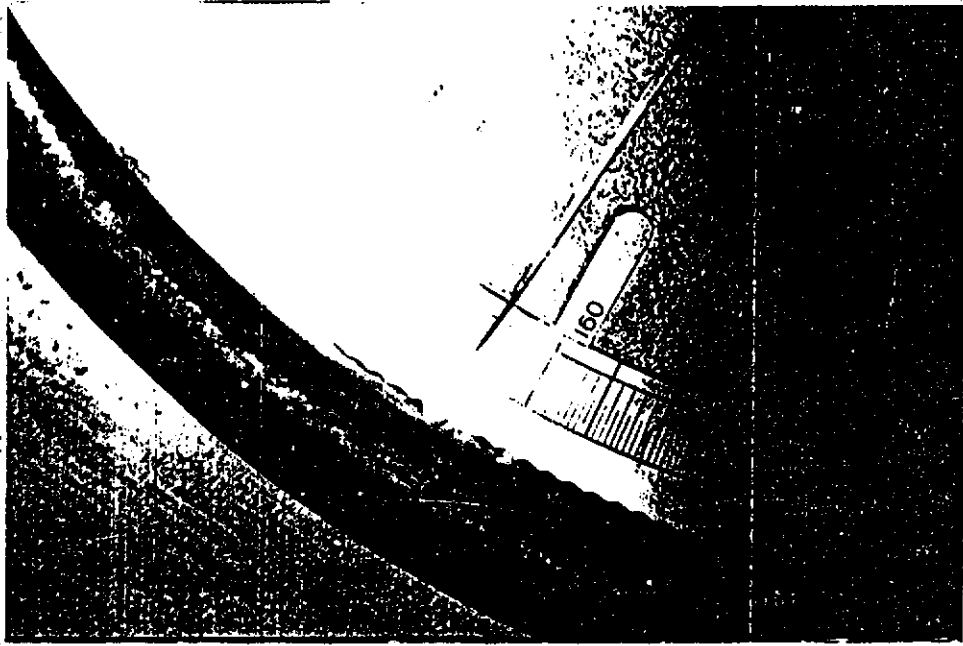
ภาพประกอบ 32 แสดงสถานที่นำชิ้นทดลองไปทดลอง



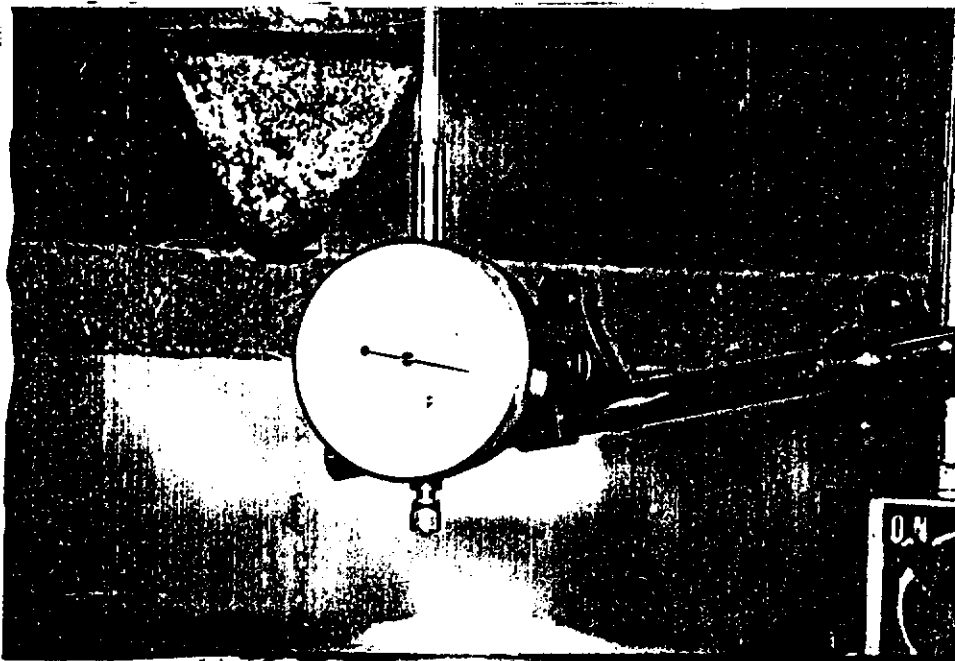
ภาพประกอบ 33 แสดงเครื่องมือที่ใช้ทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึงและมอดุลัสยืดหยุ่น
ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า



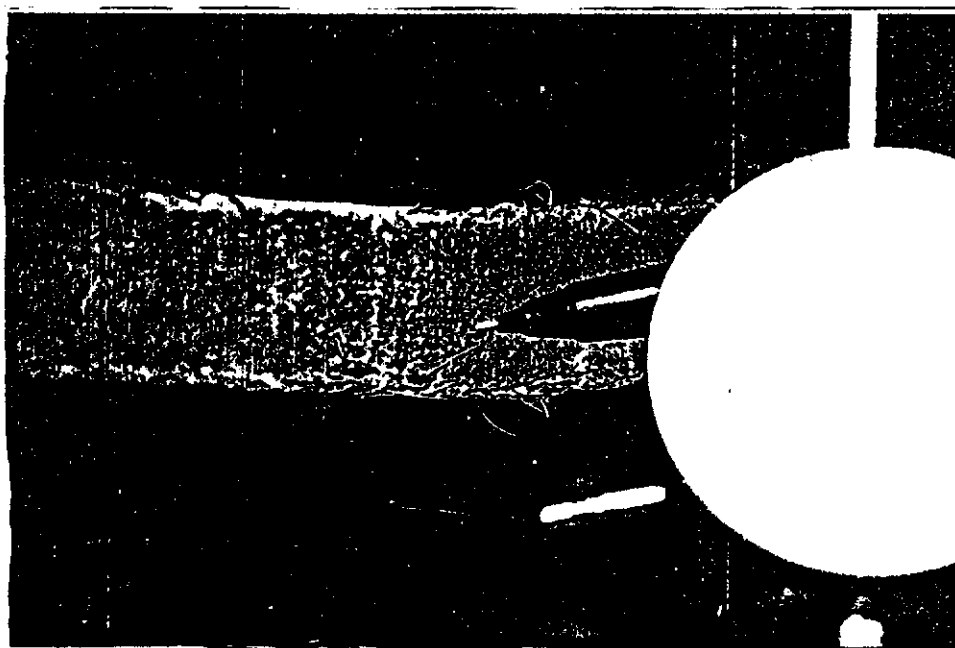
ภาพประกอบ 34 แสดงการเตรียมชิ้นทดลองและอุปกรณ์ทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึง
และมอดุลัสยืดหยุ่น



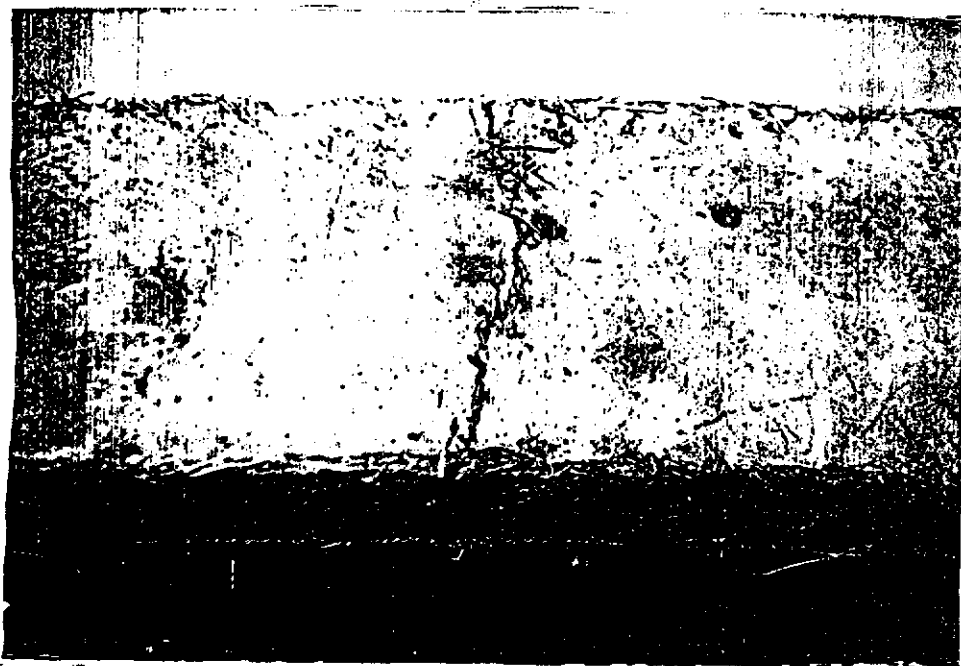
ภาพประกอบ 35 แสดงสเกลของแรงกดที่หาค่าความต้านทานแรงตัดและมอดูลัสยืดหยุ่น



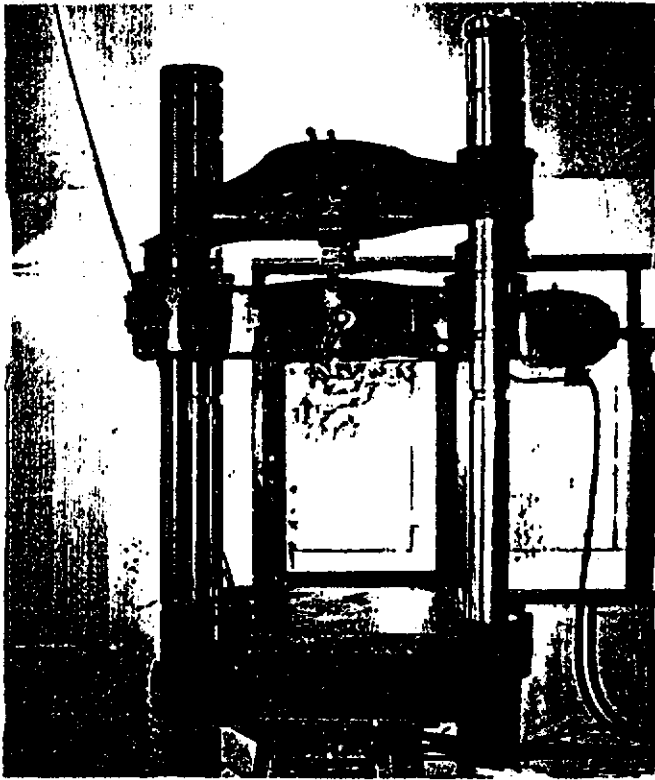
ภาพประกอบ 36 แสดงสเกลของระยะการแอ่นตัวที่หาค่ามอดูลัสที่ยืดหยุ่น



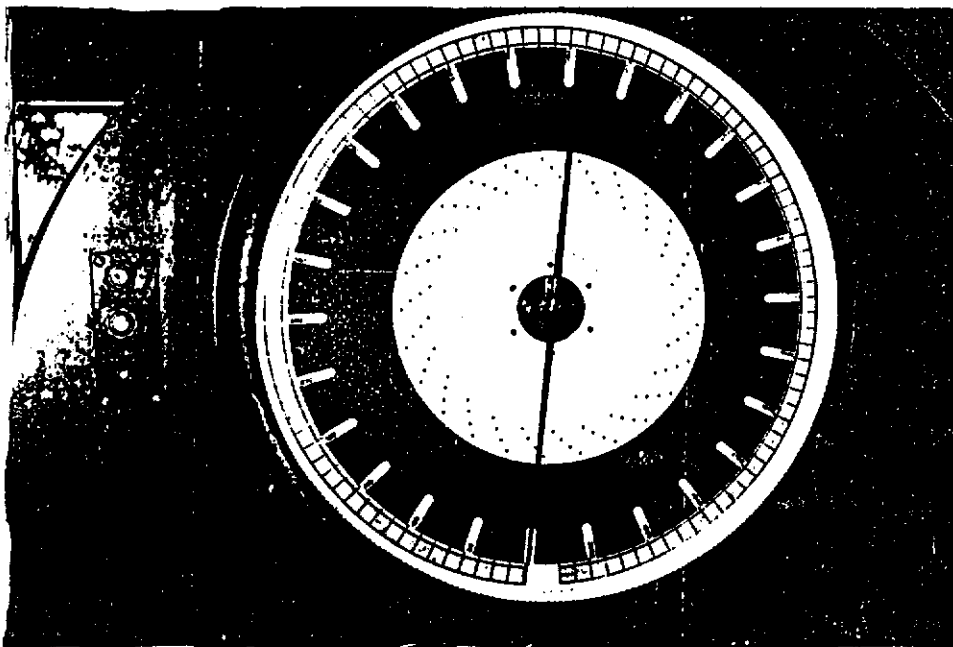
ภาพประกอบ 37 แสดงรอยหักที่ขึ้นทดลองสามารถรับความต้านทานแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น



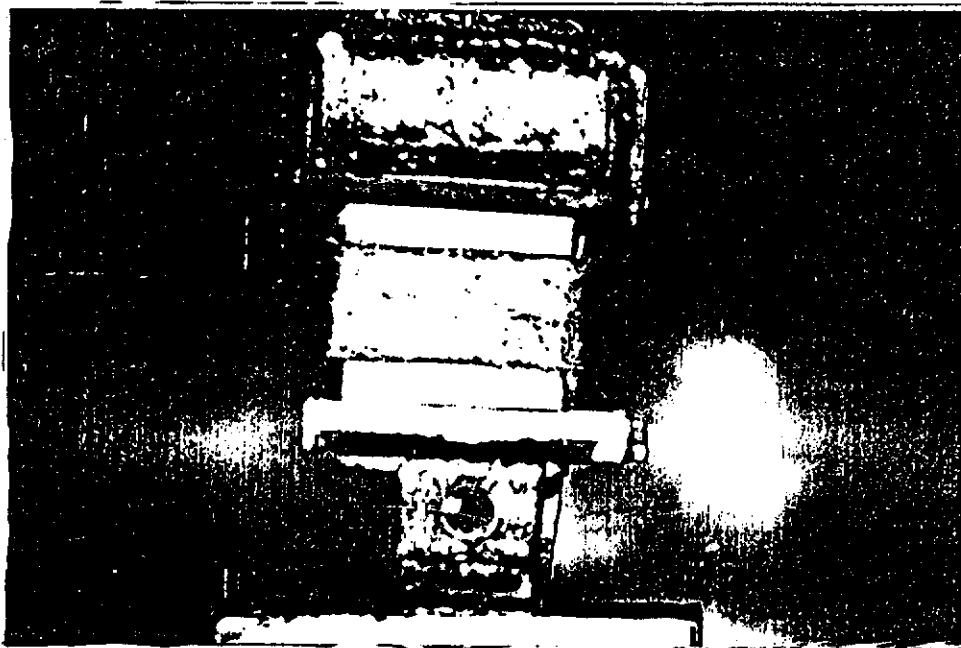
ภาพประกอบ 38 แสดงรอยหักบนขึ้นทดลอง



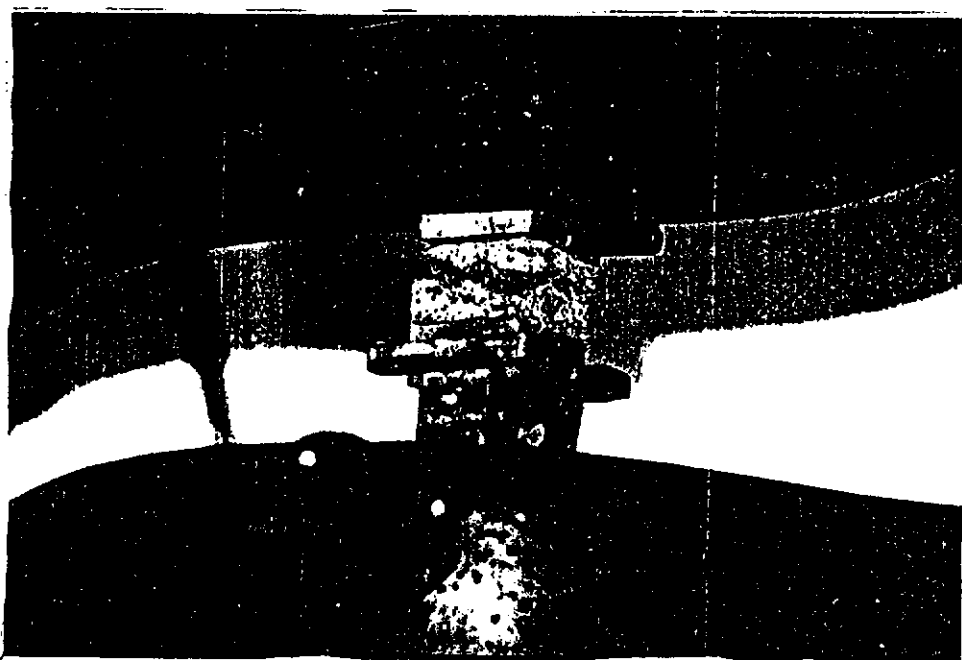
ภาพประกอบ 39
เตรียมขึ้นทดสอบบน
เครื่องที่ใช้ทดสอบ
ความต้านทานแรงดึง
ดึงลากกับผิวหน้า



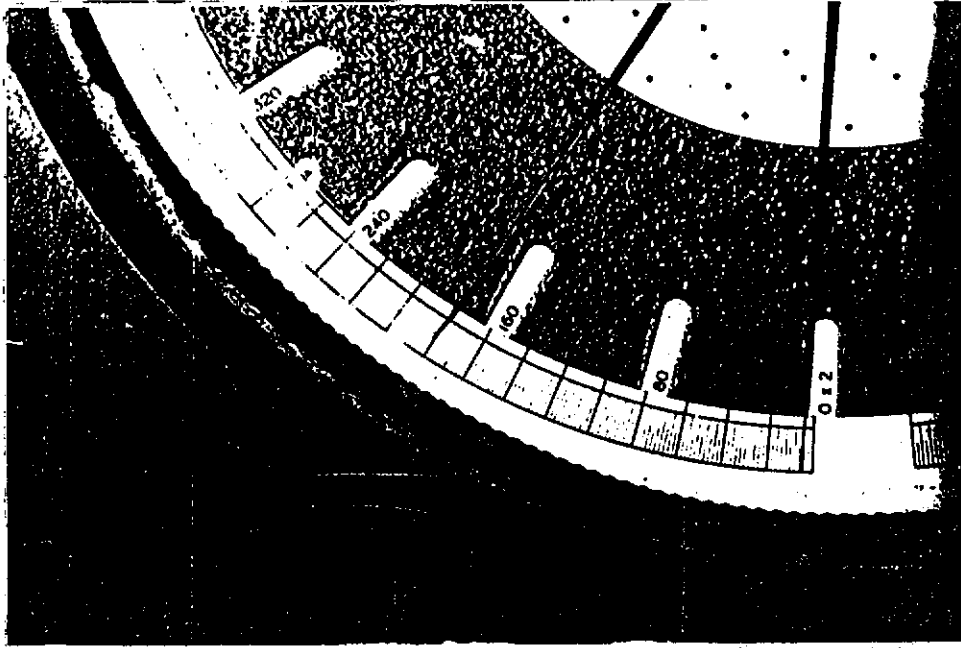
ภาพประกอบ 40 แสดงหน้าปัทม์สเกลเครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึงและความต้านทาน
แรงดึงดึงลากกับผิวหน้า



ภาพประกอบ 41 แสดงขั้นตอนที่เตรียมหาความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า



ภาพประกอบ 42 แสดงรอยฉีกขาดของชิ้นทดลองในการหาความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า



ภาพประกอบ 43 แสดงหน้าปัดสเกลเครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า



ภาพประกอบ 44 แสดงรอยฉีกขาดของชิ้นทดสอบความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

ที่ พม 1012/49

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางเขน
ถนนแจ้งวัฒนะ เขตบางเขน กรุงเทพฯ 10220

/6 เมษายน 2535

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ใช้สถานที่ทำการทดสอบงานวิจัย

เรียน อธิการบดีมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

มหาวิทยาลัยขอรับรองว่า นายวิวัฒน์ คงวิจิตร เป็นนิสิตปริญญาโท สาขาวิชา
อุตสาหกรรมศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางเขน

นิสิตผู้นี้มีความประสงค์จะมาติดต่อขอความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือเพื่อทำปริญญานิพนธ์
เรื่อง "การทดสอบหาชิ้นส่วนที่เหมาะสมในการนำวัสดุแบบทดแทนไม้จาก ปุ๋ยหมักปอรัญและ
ป่านขาว เข้ามาผสม ในเนื้อหัตถ์ หรือใบดกขยขาว" ทั้งนี้ อยู่ในความควบคุมดูแลของ

ดร.อุบลวิทย์ สุวกันทรกุล ประธาน

อาจารย์สุกใจ เหล่าสีไพร กรรมการ

ซึ่งพื้นที่ใช้ใช้ขอความอนุเคราะห์คือ ขออนุญาตใช้เครื่องมือเข้าผสม ของภาควิชา
เครื่องปั้นดินเผา คณะวิชาอุตสาหกรรมศึกษา วิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในระหว่างเดือนเมษายน-เดือน
พฤษภาคม 2535

มหาวิทยาลัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความอนุเคราะห์ในครั้งนี้ และขอขอบคุณ
ในความช่วยเหลือใดๆ ที่ท่านจะโปรดให้แก่อนิสิตผู้นี้

ขอแสดงความนับถือ

16 เม.ย. 35

(นายธานี พันธ์มิต)

รองอธิการบดีมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปฏิบัติราชการแทนอธิการบดีมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

บัณฑิตศึกษา วิทยาเขตบางเขน

โทร. 521-1429

ที่ พม 1012/494

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางเขน

ถนนแจ้งวัฒนะ เขตบางเขน กรุงเทพฯ 10220

// เมษายน 2535

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ใช้สถานที่ทำการทดสอบงานวิจัย

เรียน ผู้อำนวยการกองวิจัยผลิตภัณฑ์ป่าน้ำมัน กรมป่าไม้

มหาวิทยาลัยขอรับรองว่า นายวิวัฒน์ ถังจิตร เป็นนิสิตปริญญาโท สาขาวิชา
อุตสาหกรรมศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางเขน

นิสิตมีความประสงค์จะนำเครื่องทดสอบคุณสมบัติของงาน
วิจัย ซึ่งกำลังทำในการทำวิทยานิพนธ์เรื่อง "การทดสอบหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการทำวัสดุแผ่น
ทดแทนไม้จาก ป่าน้ำมันปอทดแทน ป่านขาว เต้าถั่วไทย มะพร้าว หรือใยสังเคราะห์" ทั้งนี้ อยู่ใน
ความควบคุมดูแลของ

ดร. ชูวิทย์ สุวคันทรุค ประธาน

อาจารย์สุกิจ เสงี่ยมพร กรรมการ

ซึ่งที่นี้ขอใช้เครื่องทดสอบคุณสมบัติของงานวิจัยในห้องทดลองของกอง
วิจัยผลิตภัณฑ์ป่าน้ำมัน กรมป่าไม้ ในการตรวจสอบงานวิจัยเพื่อให้คุณสมบัติตามมาตรฐาน นอก กำหนด
ในทางต่าง ๆ ดังนี้

1. ความต้านทานแรงดึงและแรงฉีกฉีกกัน
2. ความต้านทานแรงดึงฉีกฉีกกัน

มหาวิทยาลัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความร่วมมือในครั้งนี้ และขอขอบคุณในความ
ช่วยเหลืออนุเคราะห์ใด ๆ ที่ท่านจะโปรดให้แก่มหาวิทยาลัย

ขอแสดงความนับถือ

16 เม.ย. 35

(นายธานี ชัยวัฒน์)

รองอธิการบดีมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปฏิบัติราชการแทนอธิการบดีมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

บัณฑิตศึกษา วิทยาเขตบางเขน

โทร. 521-1429

ที่ พณ 1012/493

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางเขน
ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงบางเขน กรุงเทพฯ 10220

// เมษายน 2535

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ใช้สถานที่ทำการทดสอบงานวิจัย

เรียน หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

มหาวิทยาลัยขอรับรองว่า นายวิวัฒน์ คลังวิจิตร เป็นนิสิตปริญญาโท สาขาวิชา
อุตสาหกรรมศึกษา ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางเขน

นิสิตผู้นี้มีความประสงค์จะมาติดต่อขอความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือทดสอบคุณสมบัติของ
งานวิจัย ซึ่งกำลังดำเนินการหาวิทยานิพนธ์เรื่อง "การทดลองหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการทำวัสดุ
แบบทดแทนไม้จาก ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนขาว เถ้าถ่าน ใบมะพร้าว หรือใบยัดขมิ้น" ทั้งนี้
อยู่ในความควบคุมดูแลของ

ดร.อุบลรัตน์ ชูคันธุล ประธาน

อาจารย์สุกิจ เสงี่ยมพร กรรมการ

สิ่งที่นิสิตผู้นี้ได้ขอความอนุเคราะห์คือ ขออนุญาตให้เครื่องมือในห้องทดลองของภาควิชา
วิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการตรวจสอบงานวิจัยเพื่อให้คุณสมบัติ
ตามมาตรฐาน มอก. กำหนดไว้ในทางต่างๆ ดังนี้

1. ความต้านทานแรงดัดและแรงอัดบีบกัน
2. ความต้านทานแรงดึงดึงดัด

มหาวิทยาลัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความร่วมมือในครั้งนี้ และขอขอบคุณในความ
ช่วยเหลืออนุเคราะห์ใด ๆ ที่ท่านจะโปรดให้แก่นิสิตผู้นี้

ขอแสดงความนับถือ



(นายธานี คุ้มใจ)

รองอธิการบดีมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปฏิบัติราชการแทนอธิการบดีมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

บัณฑิตศึกษา วิทยาเขตบางเขน

ที่ นว 1012/1107

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางเขน

แขวงวัดจันทร์ เขตบางเขน กรุงเทพฯ 10220

10 สิงหาคม 2535

เรื่อง ขออนุญาตใช้เครื่องมือทดสอบ

เรียน หัวหน้าหน่วยงานควบคุมการวัดและวัดผลสร้าง

ด้วย นายวิวัฒน์ ทองวิจิตร นิสิตปริญญาโท สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา ของ
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางเขน

นิสิตผู้นี้กำลังมีความประสงค์จะนำปริญญาโทเรื่อง "การทดสอบวัสดุส่วนที่เหมาะสม
ในการนำวัสดุพลาสติกแบบโพรเซสซิ่งมาใช้ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนขาว เถ้าลอย เถ้าอิฐ" ทั้งนี้
อยู่ในความควบคุมของ ดร.ทวีชัย ชูเกียรติกุล ประธาน และอาจารย์สุกิจ เสงส์ไพโร กรรมการ

ซึ่งมีมติอนุมัติให้ขอความอนุเคราะห์ คือ ขออนุญาตใช้เครื่องมือทำการทดสอบหาค่า
แรงดึงทั้งจาก การทดสอบความต้านทานแรงกดและมอดูลัสยืดหยุ่น เพื่อเป็นข้อมูลในการอภิปรายผล
การนำปริญญานี้มาใช้

มหาวิทยาลัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดี และขอ
ขอบพระคุณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

๑๗/๑๐/๓๕

(นายธานี พันธุ์โท)

รองอธิการบดีมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปฎิบัติราชการแทนอธิการบดีมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

บันทึกที่ นว ๖ บางเขน

โทร. 521-1578 ทอ 7

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นายวิวัฒน์ คลังวิจิตร

เกิดวันที่ 7 เดือนตุลาคม พุทธศักราช 2504

สถานที่เกิด อำเภอมหาสารคาม กรุงเทพมหานคร

สถานที่อยู่ปัจจุบัน 39/3 ถนนผาสง ค.สีคิ้ว อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา

ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน อาจารย์ 1 ระดับ 3

สถานที่ทำงานปัจจุบัน โรงเรียนสีคิ้ว "สวัสดีมงคลวิทยา" อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2521 มัธยมศึกษาปีที่ 3 จากโรงเรียนวชิรธรรมสาธิต

เขตพระโขนง กรุงเทพมหานคร

พ.ศ.2524 ปวช.(ไฟฟ้ากำลัง) จาก เทคนิควิทยา

เขตดินแดง-ห้วยขวาง กรุงเทพมหานคร

พ.ศ.2528 ค.บ.(ไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์)

จากวิทยาลัยครูพระนคร กรุงเทพมหานคร

พ.ศ.2535 กศ.ม.(อุตสาหกรรมศึกษา)

จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร กรุงเทพมหานคร

การทดลองหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการทำวัสดุแผ่นทดแทนไม้
จากวัสดุปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้ากลบ ปูนขาว
และใยมะพร้าว หรือใยผักตบชวา

บทคัดย่อ
โดย
วิวัฒน์ คลังวิจิตร

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต วิชาเอกอุตสาหกรรมศึกษา
ตุลาคม 2535

การทดลองหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการทำวัสดุแผ่นทดแทนไม้ จากวัสดุปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ แก้วกลบ ปูนขาว และใยมะพร้าวหรือใยผักตบชวา โดยให้มัลคุณสมบัติทางกายภาพตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ซึ่งมีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แก้วกลบ ปูนขาว เป็นตัวยึดประสาน ส่วนใยมะพร้าวหรือใยผักตบชวาเป็นวัตถุเสริมกำลัง ทำให้มีความเหนียว สามารถรับแรงได้มากขึ้นและมีน้ำหนักเบา คุณสมบัติทางกายภาพตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ต้องตรวจสอบ ได้แก่ ความหนาแน่น ความชื้น การบองตัวเมื่อแช่น้ำ ความต้านทานแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่น ความต้านทานแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้า สัดส่วนของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แก้วกลบ ปูนขาว และใยมะพร้าวหรือใยผักตบชวา พบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมในการทำวัสดุแผ่นทดแทนไม้ คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 15.84 แก้วกลบร้อยละ 50.07 ปูนขาวร้อยละ 28.37 ใยมะพร้าวร้อยละ 5.72 เพราะเป็นส่วนผสมที่มีคุณสมบัติทางกายภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานมากที่สุด โดยมีความหนาแน่นสูงกว่าเกณฑ์ มอดุลัสยืดหยุ่นต่ำกว่าเกณฑ์ ความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้าสูงกว่าเกณฑ์ ส่วนสัดส่วนของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แก้วกลบ ปูนขาว และใยผักตบชวา ไม่มีคุณสมบัติทางกายภาพเพียงพอที่จะใช้งาน คือ ความหนาแน่นต่ำกว่าเกณฑ์ ความชื้นอยู่ในเกณฑ์ การบองตัวเมื่อแช่น้ำอยู่ในเกณฑ์ ความต้านทานแรงดัดอยู่ในเกณฑ์ แต่ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้ใยมะพร้าวเป็นส่วนผสม มอดุลัสยืดหยุ่นต่ำกว่าเกณฑ์ ความต้านทานแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้าอยู่ในเกณฑ์ แต่ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้ใยมะพร้าวเป็นส่วนผสม

AN EXPERIMENTAL STUDY OF THE COMPOSITE WOOD-BOARD MATERIALS
FOR PORTLAND CEMENT, ASH, AND COCONUT FIBER
OR WATER HYACINTH FIBER

AN ABSTRACT
BY
WIWAT KLUNGWIJIT

Present in Partial fulfillment of the requirements for Master
of Education degree in Industrial Educational
at Srinakharinwirot University
October 1992

The purpose of this experimental study was to find appropriated combinations of portland, ash, lime and coconut fiber or water Hyacinth fiber for materials composite wood-board with physical properties conforming to industrial standers.

Protland cement, ash, and lime worke as holding bond while coconut fiber or gyacinth was used as reinforcement making the composition will be lighter and yet stronger. The physical chracteristic of the composite to be tested for confomance to industrial standards were, density, humidity, expansion under water, bending stress and modulus of elasticity, tensile line scene.

The experiment indicated that the composition suitable for wood substitute contained 15.84 percent of portland cement, 50.07 percents of ash, 28.37 percent of lime and 5.72 percent of coconut fiber. These ingredients met he standard requirements most. The density of the product was slightly above the standards, while modulus of elasticity was below, while the humidity, bending stress and expansion under water were on par with standards, but was below that of coconut fiber. Modulus of elasticity was below par while the tensile line scene was also below par but was above of that of coconut fiber.