



การพัฒนาเครื่องย่อยเส้นใยคาร์โบไฮเดรตเพื่อบูรณาการร่วมเป็นอิฐดิน
รับแรงนำพลังงานความร้อนต่ำเสริมเส้นใยธรรมชาติชนิดเบาเพื่อการ
พลิกฟื้นด้านสถาปัตยกรรมวัฒนธรรมท้องถิ่นสำหรับบ้านต้นทุนต่ำเชิง
นิเวศน์สิ่งแวดล้อม

**DEVELOPMENT OF THE CELLULOSE GRINDING MACHINE
TOGETHER WITH PRODUCING OF CELLULOSE-SOIL BRICK
COMPOSITES FOR THE LOW COST AND SUSTAINABLE
HOUSE IN LOCAL OF THAILAND**

อาจารย์ ดร.วีรพล นามบุญเรือง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ยอดสุดใจ
อาจารย์ ดร.รัตนกร ระวังกุล
อาจารย์ ดร.ณัฐนันท์ ศุภคณ

งานวิจัยนี้ได้ผ่านการพิจารณาจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ(วช.)
และได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานงบประมาณ ปีงบประมาณ 2556

มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง

พ.ศ. 2556



ใบรับรองงานวิจัย

สถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง

เรื่อง การพัฒนาเครื่องย่อยเส้นใยคาร์โบไฮเดรตเพื่อบูรณาการร่วมเป็นอิฐดินรับแรงนำพลังงานความร้อนต่ำเสริมเส้นใยธรรมชาติชนิดเบาเพื่อการพลิกฟื้นด้านสถาปัตยกรรมวัฒนธรรมท้องถิ่นสำหรับบ้านต้นทุนต่ำเชิงนิเวศน์สิ่งแวดล้อม

Development of the cellulose grinding machine together with producing of cellulose-soil brick composites for the low cost and sustainable house in local of Thailand

หัวหน้าโครงการวิจัย

อาจารย์ ดร.วีรพล นามบุญเรือง

(B.Eng., M.Eng., Ph.D)

ผู้ร่วมวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันชัย ยอดสุดใจ

(B.Eng., M.Eng., D.Eng)

ผู้ร่วมวิจัย

อาจารย์ ดร. รัตนากร ระวังกุล

(B.Eng., M.Eng., Ph.D)

ผู้ร่วมวิจัย

อาจารย์ ดร.ณัฐนันท์ ศุกดล

(B.Eng., M.Eng., Ph.D)

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชญาพร โพธิ์ยสารวรรค์)

ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

งานวิจัย

เรื่อง

การพัฒนาเครื่องย่อยเส้นใยคาร์โบไฮเดรตเพื่อบูรณาการร่วมเป็นอิฐดินรับแรงนำพลังงานความร้อน
ต่ำเสริมเส้นใยธรรมชาติชนิดเบาเพื่อการพลิกฟื้นด้านสถาปัตยกรรมวัฒนธรรมท้องถิ่นสำหรับบ้าน
ต้นทุนต่ำเชิงนิเวศสิ่งแวดล้อม

DEVELOPMENT OF THE CELLULOSE GRINDING MACHINE TOGETHER WITH
PRODUCING OF CELLULOSE-SOIL BRICK COMPOSITES FOR THE LOW COST AND
SUSTAINABLE HOUSE IN LOCAL OF THAILAND

โดย

อาจารย์ ดร.วีรพล นามบุญเรือง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ยอดสุคติใจ
อาจารย์ ดร.รัตนกร ระวังกุล
อาจารย์ ดร.ณัฐนันท์ ศุกดล

เสนอ

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง

พ.ศ. 2556

บทคัดย่อ

ในการศึกษาได้นำดินทองถิ่นจากแหล่งราชบุรี ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปูนขาวทองถิ่นจากแหล่งราชบุรี และเส้นใยเซลลูโลส ซึ่งได้มาจากการบดย่อยของเครื่องบดที่ทำการประดิษฐ์ขึ้น เพื่อพัฒนาเป็นอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรต ผลการศึกษาพบว่ากำลังอัดและกำลังค้ำของอิฐดินผสมซีเมนต์ทุกอัตราส่วนผสมมีแนวโน้มที่ลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย เมื่อพิจารณาอัตราการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรต พบว่าทุกส่วนผสมมีอัตราการซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยเซลลูโลสและระยะเวลาการบ่มที่สูงขึ้น, ค่าหน่วยน้ำหนัก มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณการเพิ่มของปริมาณเส้นใยลดลง อย่างไรก็ตามที่ปริมาณเส้นใยคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 10 ให้ค่ากำลังอัดที่ผ่านมาตรฐานกำแพงอิฐรับแรงคือไม่น้อยกว่า 80 ksc ส่วนการทดสอบด้านการนำความร้อนแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณของเส้นใยคาร์โบไฮเดรต สามารถลดค่าการส่งผ่านความร้อนเนื่องจากความเป็นฉนวนของตัวเส้นใยเซลลูโลสและรูพรุนที่เพิ่มขึ้น และสุดท้ายทดสอบค่าการชะของโลหะ พบว่าการผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ มีเพียงธาตุ Arsenic ซึ่งพบทั่วไปปกติในดินและค่าที่พบยังต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำวัสดุประกอบชิ้นนี้ ไปใช้ในการ สร้างบ้านความร้อนต่ำในชุมชน ซึ่งการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นเป็นไปได้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ABSTRACT

This research studies on the possibility of producing a more sustainable lightweight brick. Natural cellulose fibre produced from leaf and wood aggregates, lime and soil from local area of Thailand were added into the brick with minimizing Portland cement content. Effects of varied amount of cellulose fibre contents typically (10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 and 60 %) on mechanical and thermal properties of bricks are studied. Mechanical performances have been investigated with compressive, flexural strength and thermal conductivity of the samples. Also, the Leachate Extraction Procedure is observed. Results showed that adding more cellulose fibre contents can reduce the thermal conductivity, density including the compressive and flexural strength of the brick. On the other hand, the water absorption increases. It is also shown that the composite bricks can add fiber contents up to 55% by weight that can be used as non-load bearing concrete masonry units considered by the compressive strength. By conclusion, this application may be an interesting solution in order to improve sustainability and energy efficiency of the low cost house in local area of Thailand.

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อยได้ด้วยดีด้วยความกรุณา ร่วมมือและช่วยเหลือจาก ท่านผู้ทรงคุณวุฒิเหล่านี้ ซึ่งใคร่ขอประกาศเกียรติคุณ ไว้ ณ โอกาสนี้ อันดับแรกขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันชัย ยอดสุดใจ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตร-ศาสตร์ บางเขน ซึ่งเป็นที่ปรึกษาฯ จนรายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีขอขอบคุณ ดร.รัต-นากร ระวังกุล และ ดร. ณัฐนันท์ สุขกุล นักวิจัยประจำศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ที่ให้ คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกด้านงานวิจัยด้วยดีตลอดมา งานวิจัยครั้งนี้จะลุล่วงไปไม่ได้ถ้าขาดการ สนับสนุนเงินทุนวิจัยจากสำนักงานงบประมาณโดยการพิจารณาโครงการโดยคณะกรรมการการวิจัย แห่งชาติ(วช.) รวมถึงภาควิชาโยธาและสถาปัตยกรรม และ เจ้าหน้าที่ ตลอดจนนักศึกษาทั้งระดับปริญญาตรี ปริญญาโท และ ปริญญาเอก ที่ร่วมมือร่วมแรง และสติปัญญาอันเป็นเลิศ จึงทำให้สำเร็จ ได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีในรายงานการวิจัยฉบับนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบเป็นกตเวทิตาแก่ บิดา มารดา บุรพจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการอบรมสั่งสอนทั้งวิทยาการ คุณธรรม จริยธรรม จนทำให้คณะผู้วิจัยประสบความสำเร็จและขอส่งผลสำเร็จตลอดจนประโยชน์ ทั้งอนเอนันต์ให้ตกอยู่กับประเทศชาติเพื่อการพัฒนาสืบไป

อาจารย์ ดร. วีรพล นามบุญเรือง., Ph.D

สาขาวิชาโยธาและสถาปัตยกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง

(ในฐานะตัวแทนคณะทีมงานวิจัยฯ)

สารบัญ

Contents

บทคัดย่อ	1
ABSTRACT	2
กิตติกรรมประกาศ	3
สารบัญ	4
สารบัญตาราง	7
สารบัญรูป	8
บทที่ 1	12
บทนำ	12
1.0 คำนำ	12
1.1 วัตถุประสงค์	14
1.1.1 กลุ่มงานด้านวิศวกรรมเครื่องกลและระบบ (Mechanical Engineering & System, ME&S)	14
1.1.2 กลุ่มงานวิศวกรรมวัสดุเชิงประกอบขั้นสูง (Advance Composite Materials -Engineering., ACME)	14
1.1.3 กลุ่มงานด้านวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม (Energy Engineering & Environment., EE&E)	14
1.1.4 กลุ่มงานด้านสถาปัตยกรรมท้องถิ่นและวัฒนธรรม (Rural Architectural & Culture., AR&C)	14
1.2 ขอบเขตการวิจัย	15
1.2.1 กลุ่มงานด้านวิศวกรรมเครื่องกลและระบบ (Mechanical Engineering & System, ME&S)	15
1.2.2 กลุ่มงานด้านวิศวกรรมวัสดุเชิงประกอบขั้นสูง (Advance Composite Materials -Engineering., ACME)	15
1.2.3 กลุ่มงานด้านวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม (Energy Engineering & - Environment., EE&E)	15

1.2.4กลุ่มงานด้านสถาปัตยกรรมท้องถิ่นและวัฒนธรรม (Rural Architectural & Culture., AR&C)	16
บทที่ 2	17
การตรวจเอกสาร	17
2.1 วัสดุเส้นใย	17
2.1.1 เส้นใยจากธรรมชาติ	17
2.2 เส้นใยกึ่งสังเคราะห์	19
2.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	19
2.2.1 ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	20
2.2.2 คุณสมบัติทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	20
2.2.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สำหรับด้านทาทันซัลเฟตและคลอไรด์	24
2.3 ดิน (Soil)	26
2.3.1 ปัจจัยและความสัมพันธ์ของดิน	26
2.3.2 คุณสมบัติทางกายภาพของดิน	28
2.3.3 การจำแนกดิน	29
2.4 ปูนขาว	30
2.5 การถ่ายโอนพลังงานความร้อน	33
2.6 รายงานการวิจัยในต่างประเทศ	35
บทที่ 3	37
วิธีดำเนินการวิจัย	37
3.1การออกแบบและผลิตเครื่องย่อยเศษกิ่งไม้และใบไม้	37
3.2 งานด้านวัสดุวิศวกรรมขั้นสูง (Advance Materials Engineering, AME)	39
โดยการทดสอบและมาตรฐานการทดสอบมีรายละเอียดดังนี้	
3.2.1 ทดสอบคุณสมบัติด้านเคมีของดินท้องถิ่นราชบุรีจากอำเภอปากท่อ โดยใช้มาตรฐานการทดสอบของสหรัฐอเมริกา (ASTM Standards) และ การทดสอบ-วิเคราะห์ ด้วยเครื่องมือขั้นสูงโดย XRF (X-Ray Fluorescence)	41
3.2.2 ทดสอบคุณสมบัติด้านกายภาพของดินท้องถิ่นราชบุรี โดยวิเคราะห์ทดสอบโดยใช้ SEM (Scanning Electron Microscope)	41

3.2.3 ทดสอบคุณสมบัติด้านกำลังอัด (Compressive strength) ASTM C67[35]	
และ กำลังคด (Flexural strength)ASTM C293[36] ของอิฐดินมวลเบาผสมเส้นใย	
คาร์โบไฮเดรตธรรมชาติที่อายุ 3, 7, 14, 28,60, 90, 120, 150 และ 180 วัน	41
3.2.4 ทดสอบหาอัตราการดูดซึมน้ำ (Water absorption) ASTM C67, และ หน่วย	
น้ำหนัก(Unit weight) ของอิฐดินมวลเบาผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ	43
3.2.5 ทดสอบความสามารถในการนำความร้อน(thermal conductivity) ASTM	
C177 ของอิฐดินมวลเบาผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ	43
3.1.6 หาอัตราส่วนที่เหมาะสม(Optimize),ของอิฐดินมวลเบาผสมเส้นใย	
คาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ	44
3.1.7 ทดสอบหาค่าการชะล้างโลหะหนัก (Leachate Extraction Procedure) ที่อายุ	
การบ่ม 28 วัน	44
3.4 แผนผังงานวิจัย	45
บทที่ 4	50
ผลการทดสอบและวิเคราะห์	50
4.1 ออกแบบและผลิตเครื่องย่อยเศษกิ่งไม้และใบไม้	50
4.2.วัสดุเชิงวิศวกรรมขั้นสูง	53
4.2.1 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี (The study of chemical & physical properties)	54
4.2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ (Physical properties of products)	59
4.2.3 คุณสมบัติทางกลศาสตร์ (Mechanical properties)	64
4.2.4 การชะล้างโลหะหนัก (Leachate Extraction Procedure) ของอิฐดินซีเมนต์ผสม	
เส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ	71
4.3. ด้านการวิเคราะห์และออกแบบทางวิศวกรรมและสถาปัตยกรรมประเพณีด้วยวัสดุอิฐ	
ดินผสมเส้นใยเซลลูโลส	72
4.4. การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic analysis)	78
บทที่ 5	78
สรุปผล	77
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	79
ภาคผนวก	83

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1. องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	21
ตารางที่ 2. คุณสมบัติของสารประกอบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	22
ตารางที่ 3. คุณสมบัติทางเคมีและทางฟิสิกส์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลาน	22
ตารางที่ 4. คุณสมบัติทางเคมีและทางฟิสิกส์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลาน(ต่อ)	22
ตารางที่ 5. แสดงผลการประเมินคุณภาพเครื่องย่อยฯ ทั้ง 3 ด้าน	50
ตารางที่ 6. แสดงผลการประเมินคุณภาพด้านโครงสร้างเครื่องย่อยฯ	51
ตารางที่ 7. แสดงผลการประเมินคุณภาพด้านการใช้งานเครื่องย่อยฯ	51
ตารางที่ 8. แสดงผลการประเมินคุณภาพด้านผลลัพธ์และผลิตผลของเครื่องย่อยฯ	52
ตารางที่ 9. แสดงผลด้านประสิทธิภาพของเครื่องย่อยฯ	52
ตารางที่ 10. แสดงผลการทดสอบทางด้านเคมีของดินท้องถิ่นราชบุรี	54
ตารางที่ 11. แสดงผลการทดสอบทางด้านเคมีของดินท้องถิ่นราชบุรี	54
ตารางที่ 12. แสดงผลการทดสอบค่าการชะล้างโลหะหนักของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ	71

สารบัญรูป

รูปที่ 1. แสดงพื้นที่ศึกษานำร่องสำหรับบูรณาการงานวิจัยด้านวิศวกรรมและการพลิกฟื้น	
สถาปัตยกรรมวัฒนธรรมท้องถิ่นของจังหวัดราชบุรี	16
รูปที่ 2. ก้อนหินปูนก่อนทำการย่อยสลายเป็นปูนขาว	30
รูปที่ 3. ปูนขาวที่มีอยู่ในท้องตลาด	31
รูปที่ 4. การขุดหินปูนของจังหวัดราชบุรี(www.ratchaburi.go.th)	33
รูปที่ 5. แสดงขั้นตอนการออกแบบเครื่องย่อยเศษกิ่งไม้และใบไม้	38
รูปที่ 6. แสดงขั้นตอนการสร้างแบบประเมินเครื่องย่อยเศษกิ่งไม้และใบไม้	39
รูปที่ 7. แสดงเส้นใยคาร์โบไฮเดรตที่ได้จากการย่อยเศษไม้และใบไม้จากเครื่องมือย่อยที่ประดิษฐ์ขึ้น	40
รูปที่ 8. แสดงการผสมเศษเส้นมขเซลลูโลสกับดินท้องถิ่นและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	41
รูปที่ 9. แสดงการทดสอบหาค่ากำลังอัดของอิฐดินซีเมนต์	42
รูปที่ 10. แสดงการทดสอบหาค่ากำลังดัดของอิฐดินซีเมนต์	42
รูปที่ 11. แผนภาพแสดงเครื่องมือทดสอบหาค่าการนำความร้อนของแผ่นซีเมนต์	44
รูปที่ 12. แสดงขั้นตอนวิจัยด้านวิศวกรรมเครื่องกลและระบบเพื่อสร้างเครื่องต้นแบบ(Prototype) ย่อยเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติของชุมชนสำหรับใช้เป็นวัสดุผสมธรรมชาติเพื่อพัฒนาร่วมเป็น วิศวกรรมวัสดุเชิงประกอบขั้นสูง (Advance Composite Materials Engineering., ACME)	45
รูปที่ 13. แสดงขั้นตอนที่ 2. และ 3. วิจัยด้านวิศวกรรมพลังงาน-สิ่งแวดล้อมและวัสดุเชิงประกอบขั้นสูงที่ได้จากเครื่องย่อยต้นแบบที่สามารถย่อยใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติของชุมชนสำหรับใช้เป็นวัสดุ ผสมธรรมชาติเพื่อพัฒนาร่วมเป็น อิฐดินรับรแรงนำพลังงานความร้อนต่ำเสริมเส้นใยธรรมชาติชนิดเบา (ต่อ)	47
รูปที่ 14. แสดงขั้นตอนที่ 4. วิจัยด้านสถาปัตยกรรมท้องถิ่นและวัฒนธรรม จากการวิจัยด้าน วิศวกรรม พลังงาน-สิ่งแวดล้อมและวัสดุเชิงประกอบขั้นสูงที่ได้จากเครื่องย่อยต้นแบบที่สามารถย่อยใย คาร์โบไฮเดรตธรรมชาติของชุมชนสำหรับใช้เป็นวัสดุผสมธรรมชาติเพื่อพัฒนาร่วมเป็น อิฐดินรับรแรงนำพลังงานความร้อนต่ำเสริมเส้นใยธรรมชาติชนิดเบา เพื่อออกแบบและเป็นแนวทางก่อสร้าง	48

รูปที่ 15. แสดงประสิทธิผลของเป้าหมายงานวิจัย ด้านสถาปัตยกรรมท้องถิ่นและวัฒนธรรม ด้านวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม และ ด้านวิศวกรรมวัสดุเชิงประกอบขั้นสูง เพื่อนำไปสู่ “ การพลิกฟื้น ด้านสถาปัตยกรรมท้องถิ่นสำหรับธุรกิจท่องเที่ยวและบ้านต้นทุนต่ำเชิงนิเวศน์สิ่งแวดล้อม ”	49
รูปที่ 16. แสดงเครื่องย่อยเศษไม้และใบไม้	53
รูปที่ 17. แสดงอนุภาคขยายของดินท้องถิ่นอำเภอปากท่อ จ.ราชบุรี	56
รูปที่ 18. แสดงอนุภาคขยายของปูนขาวท้องถิ่นราชบุรี	57
รูปที่ 19. ภาพถ่ายอนุภาคขยายโดยใช้ Scanning Electron Microscope ของอิฐมวลเบาผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตที่ปริมาณต่างๆ	58
รูปที่ 20. หน่วยน้ำหนักของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ที่ปริมาณ 0, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60 โดยน้ำหนัก	60
รูปที่ 21. แสดงค่าหน่วยน้ำหนักของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ที่อายุการบ่ม 3, 7, 14, 28, 60, 90, 120, 150, และ 180 วัน	61
รูปที่ 22. ค่าการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ที่ปริมาณ 0, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60 โดยน้ำหนัก	63
รูปที่ 23. ค่าการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ที่อายุการบ่ม 3, 7, 14, 28, 60, 90, 120, 150, และ 180 วัน	63
รูปที่ 24. ค่ากำลังอัดของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ที่ปริมาณ 0, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60 โดยน้ำหนัก	65
รูปที่ 25. ค่ากำลังอัดของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ที่อายุการบ่ม 3, 7, 14, 28, 60, 90, 120, 150, และ 180 วัน	66
รูปที่ 26. ค่ากำลังคัดของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ที่ปริมาณ 0, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60 โดยน้ำหนัก	67
รูปที่ 27. ค่ากำลังคัดของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ที่อายุการบ่ม 3, 7, 14, 28, 60, 90, 120, 150, และ 180 วัน	68
รูปที่ 28. ค่าการนำความร้อนของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ที่ปริมาณ 0, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60 โดยน้ำหนัก	69
รูปที่ 29. แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักและค่าการนำความร้อนของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ที่อายุการบ่ม 28 วัน	70

รูปที่ 30. แสดงค่าการนำความร้อนของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ที่อายุการ บ่ม 3, 7, 14, 28, 60, 90, 120, 150, และ 180 วัน	70
รูปที่ 31. แสดงแบบแปลนบ้านมอญ	73
รูปที่ 32. แสดงแบบแปลนบ้านประหยัดพลังงานในชุมชน	74
รูปที่ 33. แสดงรูปตัดด้านในของบ้านประหยัดพลังงานสำหรับชุมชน	74
รูปที่ 34. แสดงรูปแปลนคาน-ฐานราก บ้านประหยัดพลังงานสำหรับชุมชน	74
รูปที่ 33. แสดงรูปแบบวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างผนังแบบต่างๆ โดย(ก) คือ อิฐมวลเบา (ข) คืออิฐ แดง (ค) คือ อิฐซีเมนต์บล็อก และ (ง) คือ อิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรต	77

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

CF	=	Cellulose fiber
Pozzolanic Reaction	=	ปฏิกิริยาปอซโซลานิก
Soil Cement Bricks	=	อิฐดินซีเมนต์
CFB	=	Cellulose fiber brick
Hydration Reaction	=	ปฏิกิริยาไฮเดรชัน
XRF	=	X-Ray Fluorescence

บทที่ 1

บทนำ

1. คำนำ

จังหวัดราชบุรีเป็นจังหวัดที่ทางภาคตะวันตกของไทยที่มีความสำคัญทางประวัติศาสตร์มาช้านานซึ่งประกอบด้วยชาติพันธุ์ที่หลากหลาย อาทิเช่น ลาว, เขมร และมอญ เป็นต้น ซึ่งมาก่อตั้งรกราก-ปักฐานที่จังหวัดราชบุรีมาเป็นระยะเวลามากกว่า 200 ปี ด้วยความหลากหลายทางเชื้อชาติทำให้เกิดประเพณี, วัฒนธรรม, วิถีชีวิตความเป็นอยู่ตามที่ได้รับสืบทอดจากบรรพบุรุษนั้นๆ รวมถึงรูปแบบการสร้างที่อยู่อาศัยทางด้าน“สถาปัตยกรรมวัฒนธรรมท้องถิ่น”ที่เป็นเอกลักษณ์แห่งการดำรงวิถีของชาติพันธุ์ของตัวเองไว้อย่างสอดคล้องเหนียวแน่น เช่นเดียวกันร้อยละ 80 ประกอบอาชีพเกษตรกรรม และอีกร้อยละ 20 เป็นอุตสาหกรรมขนาดกลางและเล็กโดยอาจกล่าวได้ว่าจังหวัดราชบุรีเป็น Green zoning อีกพื้นที่หนึ่งของประเทศไทยเลยทีเดียวได้โดยมีทรัพยากรป่าไม้และทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่ค่อนข้างสมบูรณ์

ดังนั้นโจทย์แนวคิดที่จะบูรณาการ-ประยุกต์ หลักการทางวิศวกรรมศาสตร์(Engineering), ชีววิทยาสังแวดล้อม(E-co Environmental), หลักการด้านพลังงาน(Energy) และ ด้านวัฒนธรรม (Cultural) เพื่อตอบโจทย์นำไปสู่“พลิกฟื้นด้านสถาปัตยกรรมท้องถิ่นสำหรับบ้านดินทุนต่ำเชิงนิเวศสิ่งแวดล้อม” โดยยึดหลักการด้านต้นทุนต่ำ, เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม(Environmental Friendly) และยังคงวิถีของวัฒนธรรมท้องถิ่นซึ่งนับวันจะเสี่ยงต่อการสาบสูญ ซึ่งประกอบด้วยหัวใจหลักที่จะรักษาให้คงอยู่ไว้ได้ดังต่อไปนี้ 1). กลุ่มงานด้านวิศวกรรมเครื่องกลและระบบ (Mechanical Engineering & System, ME&S) ซึ่งเป็นกลุ่มงานที่สำคัญสำหรับผลิตเครื่องย่อย Celluloses Fiber,(CF) อันได้แก่เศษใบไม้-กิ่งไม้ ขนาดเล็ก ที่นอกเหนือจากชุมชนในท้องถิ่นจะใช้ในการผลิตปุ๋ยชีวภาพแล้วยังสามารถใช้เครื่องย่อยนี้ย่อยเส้นใยธรรมชาติเพื่อเป็นหนึ่งวัสดุหลักในการเป็นส่วนผสมเพื่อผลิตเป็นชิ้นส่วนรับแรงร่วมกับวัสดุอื่นในท้องถิ่นโดยจะนำไปสู่ กลุ่มงานวิศวกรรมวัสดุเชิงประกอบขั้นสูง (Advance Composite Materials Engineering., ACME) โดยหลักการศึกษาออกแบบเครื่องต้นแบบ(Prototype)ให้มีความเหมาะสมกับท้องถิ่นและมีราคาที่ถูกลง 2). กลุ่มงานวิศวกรรมวัสดุเชิงประกอบขั้นสูง (Advance Composite Materials Engineering., ACME) กล่าวคือ กลุ่มทางด้านวิศวกรรมนี้จะนำ Celluloses Fiber, (CF) ที่ได้จากขบวนการออกแบบจากกลุ่มงานด้านวิศวกรรมเครื่องกลและระบบทำการวิจัยและพัฒนาพร้อมกับดินท้องถิ่น

ปูนขาวที่มีราคาถูกในจังหวัดราชบุรีและซีเมนต์เพียงเล็กน้อยเพื่อสำหรับพัฒนาเป็นอิฐดินรับแรงเสริมเส้นใยธรรมชาติชนิดเบาคุณภาพสูงที่มีคุณสมบัติด้านความคงทน(Durability)และมีมาตรฐานที่เพียงพอ ที่ได้จากวัสดุท้องถิ่นของชุมชนเองโดยยึดหลักการใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ให้น้อยที่สุด

ด้านวิจัยพลังงาน (Energy) และประสิทธิภาพการการนำพลังงานความร้อนที่ต่ำ (Low Thermal Conductivity) ของวัสดุขึ้นส่วนรับแรงชนิดเบานี้ เพื่อประกอบเป็นปัจจัยในการออกแบบด้าน Comfortableซึ่งในกลุ่มงานด้านสถาปัตยกรรมท้องถิ่นและวัฒนธรรม (Rural Architectural & Culture., RA&C) จะใช้ร่วมเป็นปัจจัยในการพิจารณา 4). กลุ่มงานด้านสถาปัตยกรรมท้องถิ่นและวัฒนธรรม (Rural Architectural & Culture., RA&C) กลุ่มงานนี้เป็นหัวใจหลัก ในการพิจารณาถึงการนำทั้งปัจจัยด้านหลักการทางวิศวกรรมศาสตร์(Engineering),

ในการศึกษาได้นำหลักการด้านพลังงานและชีววิทยาสีสิ่งแวดล้อม(Energy & E-co Environmental) มาร่วมออกแบบที่อยู่อาศัยเชิงวัฒนธรรม(Cultural Residence)และอีกทั้งยังใช้สำหรับประกอบเป็นทางเลือกสำหรับธุรกิจการท่องเที่ยวท้องถิ่นอีกทางหนึ่ง ซึ่งหลักการนี้จะทำการศึกษาด้านศิลปวัฒนธรรมและวิถีความเป็นอยู่ของกลุ่มชนชาติพันธุ์เพื่อออกแบบด้านสถาปัตยกรรม(Architectural design)ให้สอดคล้องกับวัฒนธรรม(Cultural), ระบบนิเวศสิ่งแวดล้อม (E-co environment), ด้านการอยู่อาศัย(Comfortable), ต้นทุนที่ต่ำ(Low-cost scale)และมีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม(Environmentally Friendly) ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญอย่างยิ่ง

บทนิยามที่ตั้งมั่นของงานวิจัยนี้ก็คือการได้เห็นวิถีของวัฒนธรรมที่งดงาม วิธีการดำรงชีวิตของชาติพันธุ์ซึ่งสะท้อนออกมาในรูปของการบูรณาการ(Integration) งานวิจัย ความคาดหวังและความตั้งใจนี้อาจเป็นส่วนและวิธีหนึ่งที่จะยังคงไว้ซึ่งเอกลักษณ์ทางศิลปวัฒนธรรมด้านหนึ่งเท่านั้น แต่คณะผู้วิจัยมีความสุขปลาบปลื้มและเป็นสุขใจอย่างยิ่งที่จะได้มีส่วนร่วมแห่งการคงไว้ดังกล่าวนี้อย่างไร ซึ่งประโยชน์เหล่านี้จะส่งผลแก่ท้องถิ่นราชบุรีโดยแท้ และประโยชน์ในทางอ้อมที่จะทำให้ชุมชนระลึกถึงคุณงามความดีของบรรพชนในอดีตเพื่อเป็นการสะท้อนและต่อยอดในการทำคุณงามความดีต่อประเทศชาติสืบไป งานวิจัยชิ้นนี้ได้ศึกษาคุณสมบัติของการนำเส้นใยเซลลูโลสจากธรรมชาติมาผสมกับอิฐดินซีเมนต์ท้องถิ่น เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวัสดุที่ประดิษฐ์ขึ้นมาใหม่มาใช้ประโยชน์กับชนบทของไทย ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าเมื่อนักวิจัยหลายท่านพยายามนำเส้นใยจากธรรมชาติมาผสมกับซีเมนต์เพื่อนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ[1-33] นั่นคือที่มาและแนวทางที่สอดคล้องกับแรงบันดาลใจของการศึกษาในครั้งนี้

1.1 วัตถุประสงค์

จุดประสงค์ของงานวิจัยชิ้นนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ด้านดังนี้

1.1.1 กลุ่มงานด้านวิศวกรรมเครื่องกลและระบบ (Mechanical Engineering & System, ME&S)

1.1.1.1 ศึกษาด้านประสิทธิภาพและราคาของเครื่องย่อยเส้นใยธรรมชาติที่เหมาะสมแก่ชุมชน

1.1.1.2 เพื่อออกแบบเครื่องย่อยเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติที่มีความเหมาะสมกับท้องถิ่น

1.1.2 กลุ่มงานวิศวกรรมวัสดุเชิงประกอบขั้นสูง (Advance Composite Materials -Engineering, ACME)

1.1.2.1 ศึกษาคุณสมบัติทางด้านเคมีและฟิสิกส์ ของดินท้องถิ่น, เส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ และปูนขาวท้องถิ่น

1.1.2.2 ศึกษาคุณสมบัติด้านวิศวกรรม(Engineering Properties)ของวัสดุเชิงประกอบ

1.1.3 กลุ่มงานด้านวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม (Energy Engineering & Environment, EE&E)

1.1.3.1 ศึกษาการนำพลังงานความร้อน(Thermal conductivity) และการชะของสารโลหะหนัก (Leachate Extraction Procedure, LXP) อิฐดินผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติของวัสดุเชิงประกอบ

1.1.4 กลุ่มงานด้านสถาปัตยกรรมท้องถิ่นและวัฒนธรรม (Rural Architectural & Culture, AR&C)

1.1.4.1 ศึกษาด้านศิลปะและวัฒนธรรมและนิเวศน์สิ่งแวดล้อมที่อยู่อาศัยของชุมชนชาติพันธุ์ เพื่อออกแบบทางด้านสถาปัตยกรรมวัฒนธรรมท้องถิ่นชุมชนชาติพันธุ์ โดยใช้อิฐดินผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ

1.2 ขอบเขตการวิจัย

แบ่งได้เป็น 4 ประเภท ตามจุดประสงค์ดังนี้

1.2.1 กลุ่มงานด้านวิศวกรรมเครื่องกลและระบบ (Mechanical Engineering & System, ME&S)

สร้างเครื่องย่อยต้นแบบเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ 1 เครื่องและเผยแพร่เทคโนโลยีถึงผู้ชุมชนในรูปของการสาธิตและการทำงานที่เหมาะสม (สามารถพิจารณารายละเอียดจาก Research Chart)

1.2.2 กลุ่มงานด้านวิศวกรรมวัสดุเชิงประกอบขั้นสูง (Advance Composite Materials - Engineering., ACME)

1.2.2.1 วัสดุประกอบ(Raw materials) จะใช้จากแหล่ง อำเภอมอบบิงสำหรับ Natural celluloses fiber, Local soil จากแหล่งอำเภอบักท้อ และปูนขาว(Local lime) จากแหล่งอำเภอมือง จังหวัดราชบุรี

1.2.2.2 พิจารณาคุณสมบัติด้านวิศวกรรมของอิฐดินผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติที่อายุ 3, 7, 14, 28, 60, 90, 120, 150 และ 180 วัน

1.2.2.3 การทดสอบคุณสมบัติจะใช้มาตรฐาน ASTM Standards เพื่อการทดสอบและวิเคราะห์ผล (สามารถพิจารณารายละเอียดจาก Research Chart)-

1.2.3 กลุ่มงานด้านวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม (Energy Engineering & - Environment., EE&E)

1.2.3.1 ทดสอบการนำพลังงานความร้อน(Thermal conductivity)อิฐดินผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติที่อายุการบ่ม 28, 60, 90, 120, 150 และ 180 วัน

1.2.3.2 ทดสอบการชะของสารโลหะหนัก (Leachate Extraction Procedure, LXP) ของอิฐดินผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติที่เหมาะสมสำหรับการผลิตผู้ชุมชน ที่อายุการบ่ม 28 วัน

1.2.3.3 การทดสอบคุณสมบัติจะใช้มาตรฐาน ASTM Standards เพื่อการทดสอบและวิเคราะห์ผล(สามารถพิจารณารายละเอียดจาก Research Chart)

1.2.4 กลุ่มงานด้านสถาปัตยกรรมท้องถิ่นและวัฒนธรรม (Rural Architectural & Culture., AR&C)

1.2.4.1 ศึกษาด้านศิลปะและวัฒนธรรมและนิเวศน์สิ่งแวดล้อมที่อยู่อาศัยของชุมชนชาติพันธุ์ของจังหวัดราชบุรีสำหรับเป็นแนวทางการออกแบบทางด้านสถาปัตยกรรม



รูปที่1. แสดงพื้นที่ศึกษานำร่องสำหรับบูรณาการงานวิจัยด้านวิศวกรรมและการพลิกฟื้นสถาปัตยกรรมวัฒนธรรมท้องถิ่นของจังหวัดราชบุรี

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

จุดประสงค์ของงานวิจัยชิ้นนี้คือการนำวัสดุเหลือใช้ในธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ในการประยุกต์ใช้สำหรับการผลิตอิฐมวลเบา ซึ่งเป็นส่วนประกอบระหว่างเส้นใยเซลลูโลสจากธรรมชาติ ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนขาว และดินจากแหล่งจังหวัดราชบุรี

2.1 วัสดุเส้นใย

2.1.1 เส้นใยจากธรรมชาติ

เส้นใยธรรมชาติที่นำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายคือเซลลูโลส ซึ่งได้จากส่วนต่าง ๆ ของพืช ได้แก่ เส้นใยหุ้มเมล็ดฝ้าย นุ่น ใยมะพร้าว เส้นใยจากเปลือกไม้ เช่น ลิ้นจี่ ปอ กล้วยา เส้นใยจากใบ เช่น สับปะรด ทรนารายณ์ เส้นใยจากฝ้ายเป็นเซลลูโลสบริสุทธิ์ นำมาใช้ประโยชน์มากที่สุดถึง 50% ของเส้นใยทั้งหมด เส้นใยที่ได้จากสัตว์เป็นเส้นใยโปรตีน เช่น ขนแกะ ขนแพะ และเส้นใยจากรังไหม เส้นใยเหล่านี้มีสมบัติทั่วไปคล้ายโปรตีนอื่น ๆ คือเมื่อเปียกน้ำจะมีความเหนียวและความแข็งแรงลดลง ถ้าถูกแสงแดดเป็นเวลานานจะสลายตัวหรือกรอบ

เซลลูโลส มีส่วนประกอบทางเคมีพวกคาร์โบไฮเดรต (สารพวกเดียวกับแป้งและน้ำตาล) โมเลกุลใหญ่ ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลเดี่ยวที่สูญน้ำไป ๑ โมเลกุล ($C_6H_{10}O_5$) เชื่อมต่อกันหลาย ๆ โมเลกุล ย่อยสลายตัวได้ยาก โมเลกุลของเซลลูโลสเรียงตัวกันในผนังเซลล์ของพืช เป็นหน่วยเส้นใยขนาดเล็กมากเกาะจับตัวกันเป็นเส้นใยในพืชบางชนิดนั้นเส้นใยเป็นผนังเซลล์เซลล์เดียวของพืช เช่น ใยฝ้ายเป็นขนจากชั้นของเปลือกหุ้มเมล็ดชั้นนอกสุดเมื่อพิจารณาจากส่วนของพืชที่ให้เส้นใยที่นำไปใช้ประโยชน์ก็แบ่งได้ ดังนี้

1. ขนที่เมล็ดหรือผนังด้านในของผล เช่น ฝ้าย รัก นุ่น และจิว
2. เส้นใยในเนื้อเยื่อด้านในของเปลือกของลำต้น เช่น ปอแก้ว ปอกระเจา ปอกล้วยา ป่าน ลิ้นจี่ และป่านรามิ เส้นใยที่ได้จากเนื้อเยื่อส่วนเปลือกของลำต้นนั้นส่วนใหญ่เรียกว่า "ปอ" ส่วนที่ได้จากเนื้อเยื่อของใบเรียกว่า "ป่าน" อย่างไรก็ตาม ก็ไม่ได้เรียกแยกกันอย่างชัดเจน เช่น รามิและลิ้นจี่ ให้เส้นใยจากลำต้นแต่เรียกกันว่า ป่านรามิและป่านลิ้นจี่ ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะให้เส้นใยที่เหนียว แข็ง หรือมักใช้ทอผ้าเนื้อบางหรือทอด้วยด้ายเส้นเล็กหรือละเอียดก็ได้

3. เส้นใยจากใบ ซึ่งเป็นส่วนท่อน้ำท่ออาหารของใบ เช่น ป่านศรนารายณ์ ลับประดกกล้วย มีส่วนที่ใช้ประโยชน์ได้ตั้งแต่ตัวใบ เส้นกลางใบ ก้านใบ และกาบใบ

4. เส้นใยที่เป็นเนื้อไม้ของต้นไม้ เป็นส่วนเนื้อเยื่อของท่อน้ำท่ออาหาร ใช้ในการทำกระดาษเป็นส่วนใหญ่ เช่น ยูคาลิปตัส สนสามใบหรือสนเกลียวปอแก้วปอสา และต้นพีชล้มลุก โดยใช้กระบวนการที่เหมาะสมแยกเส้นใยจากเนื้อไม้แล้วนำเส้นใยนี้ไปใช้ประโยชน์ทางด้านสิ่งทอได้ เช่น ผลิตเส้นใยเรยองหรือไหมเทียม (หมายรวมถึงเส้นใยที่ได้จากเซลลูโลสและอนุพันธ์ของเซลลูโลส) จากไม้ยูคาลิปตัส

5. เส้นใยจากส่วนอื่น ๆ เช่น ทางหรือก้านใบประกอบของต้นปาล์ม ใช้ทำแปรง ส่วนเปลือกของผล (กาบมะพร้าว) หรือแม้กระทั่งรากมะพร้าวใช้ทำเชือก เป็นต้น เราอาจแบ่งพืชเส้นใยได้อย่างคร่าว ๆ เนื่องจากไม่สามารถแบ่งแยกได้อย่างชัดเจนเพราะมีลักษณะที่คาบเกี่ยวกัน จึงอาจแบ่งตามลักษณะการนำวัตถุดิบของพืชเส้นใยไปใช้งานดังนี้

1. ใช้ทำสิ่งทอ โดยปั่นเป็นเส้นด้ายแล้วนำไปทอเป็นผืนผ้า เช่น ฝ้าย ป่านรามิ ปอกระเจา และป่านลินิน

2. ใช้ทำเชือก เช่น ป่านศรนารายณ์ ปอแก้ว กล้วย และมะพร้าว

3. ใช้ยัดที่นอน ฝ้ายห่ม หมอน เบาะ เก้าอี้นุ่ม เครื่องครัวภัณฑ์ เช่น นุ่น จีว รักฝ้าย และมะพร้าว

4. ใช้ทำกระดาษ ซึ่งอาจใช้วิธีการง่าย ๆ หรือกรรมวิธีทางอุตสาหกรรม ใช้กับพืชหลายชนิด เพราะพืชให้เซลลูโลสที่นำไปใช้ทำกระดาษได้ เช่น พวกไม้เนื้ออ่อน สนบางชนิด ยูคาลิปตัส ฟาง ข้าว กล้วยาจรจบ หรือต้นพีชล้มลุกอื่น ๆ แม้กระทั่งเส้นใยที่ใช้ในสิ่งทอ เช่น เส้นใยฝ้ายสั้น ๆ ที่ไม่อาจนำไปปั่นทอได้ดี

5. ใช้ทำแปรงและสานหรือทอเป็นผืนแบบเสื่อ เช่น มะพร้าว ป่านศรนารายณ์และกก

6. ใช้ทำสิ่งของอื่น ๆ ได้แก่ ตะกร้า หมวก เช่น กล้วยให้กาบใบ และส่วนอื่นสำหรับประดิษฐ์สิ่งของต่างๆ ผักตบชวาใช้ผลิตแปดแขวนและภาชนะอย่างอื่น ย่านลิเภาซึ่งเป็นพวกเถาวัลย์ใช้สานทำภาชนะได้อย่างสวยงาม กกใช้ทอเสื่อและสิ่งประดิษฐ์อื่น ฝัที่เอามาจักหรือผ่าเป็นเส้นใช้สานหรือทอและต้นหวายซึ่งก็เป็นพืชตระกูลปาล์มที่ใช้ประโยชน์ด้านอุตสาหกรรมและหัตถกรรมได้กว้างขวางมาก

2.2 เส้นใยกึ่งสังเคราะห์

เป็นเส้นใยที่ได้จากการนำสารจากธรรมชาติ มาปรับปรุงโครงสร้างให้เหมาะกับการใช้งาน เช่นการนำเซลลูโลสจากพืชมาทำปฏิกิริยากับสารเคมีบางชนิด เส้นใยกึ่งสังเคราะห์ นำมาใช้ประโยชน์ได้มากกว่าเส้นใยธรรมชาติ ตัวอย่างเส้นใยกึ่งสังเคราะห์ เช่น วิสคอสเรยอง แอมเบอร์เกร ของ เป็นต้น

ในปัจจุบันมีการคำนึงถึงการลดการใช้พลังงานเป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงมีผู้เล็งเห็นสมบัติบางประการของเส้นใยเซลลูโลสซึ่งมีค่าการนำความร้อนต่ำ ดังนั้นเมื่อนำมาทำเป็นส่วนผสมในวัสดุก่อสร้างจึงมีคุณสมบัติต้านทานความร้อนเพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนส่งผ่านเข้าในบ้าน[4] นอกจากนี้เส้นใยธรรมชาติยังมีค่าแรงดึงเพียงพอต่อการเสริมแรงจึงทำให้แผ่น วัสดุก่อสร้างที่ทำมาจากเส้นใยธรรมชาติทนต่อแรงดัด และไม่เปราะ ด้วยเทคโนโลยีดังกล่าว จึงสามารถสร้างผนังเส้นใยซีเมนต์ และหลังคาแผ่นเส้นใยซีเมนต์ ซึ่งมีค่าการนำความร้อนต่ำ จึงทำหน้าที่เหมือนเป็นฉนวนกันความร้อน ป้องกันและหน่วงความร้อนให้ผ่านเข้าในบ้านได้น้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุที่ใช้ทั่วไปในท้องตลาด แต่ในขณะเดียวกันคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพก็ยังอยู่ในมาตรฐานเส้นใยซีเมนต์แผ่นเรียบ เพื่อใช้กับงานก่อสร้างผนัง จากแนวคิดที่ผ่านมา ทางคณะผู้วิจัยจึงมีความคิดต่อยอดที่จะพัฒนาเครื่องจักรช่วยย่อยเศษไม้และพืชต่างๆ เพื่อใช้ในการผลิตเส้นใยเซลลูโลส นำไปใช้ในการผลิตอิฐมวลเบากันความร้อน ซึ่งเป็นการผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ดินท้องถิ่น ราชบุรี รวมถึงปูนขาวท้องถิ่น ผสมกับเส้นใยเซลลูโลสที่ผลิตได้จากเครื่องบดย่อยที่ประดิษฐ์ขึ้น

2.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

วัตถุดิบนี้พบครั้งแรกที่เมืองปอร์ตแลนด์ ในประเทศอังกฤษ ปูนซีเมนต์แลนด์ ประกอบด้วย หินปูน (Limestone) และดินเหนียว (clay) เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ก็มีเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) และโคโลไมต์ (MgCO_3) เป็นจำนวนเล็กน้อย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาในบ้านเราที่ใช้กันทั่วไป (ตราเสือ ตราช้าง ตรางูเห่า) ปกติจะมีสีเทาแกมเขียว (greenish gray) และมันน้ำหนักประมาณ 92 ปอนด์/ฟุต³ เมื่อเผาวัตถุดิบของปูนซีเมนต์ซึ่งได้แก่สารออกไซด์ของธาตุแคลเซียมซิลิกอน อลูมิเนียม และ เหล็ก สารเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากันทางเคมีและรวมตัวกันเป็นสารประกอบอยู่ในปูนเม็ด ในรูปของผลึกที่ละเอียดมาก

2.2.1 ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

โดยสมาคมทดสอบวัสดุอเมริกัน (ATM.C.150)(type I-V) และสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของประเทศไทย (ม.อ.ก.15) แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ 5 ประเภทคือ

2.2.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Normal Portland Cement) ใช้สำหรับลักษณะงานธรรมดาที่ไม่ต้องการคุณสมบัติพิเศษ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราช้าง ตราพญานาคสีเขียว และตราเพชรเม็ดเดียว

2.2.1.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีตที่ต้องการลดอุณหภูมิเนื่องจากสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิสูง งานคอนกรีตเหลา หรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลาง เช่น งานสร้างเขื่อนคอนกรีต กำแพงดินหนา ๆ หรือท่อคอนกรีตขนาดใหญ่ ๆ ต่อม่อ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราพญานาคเจ็ดเศียร

2.2.1.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ความแข็งแรงสูงโดยเร็ว (High-Early-Strength-Portland Cement) หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนซีเมนต์ให้กำลังสูงในระยะแรกมีเนื้อเป็นผงละเอียดกว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา มีประโยชน์สำหรับคอนกรีตที่จะต้องใช้งานเร็ว หรือรีบแบบได้เร็ว เช่น เสาเข็มคอนกรีต ถนน พื้น และงานที่ต้องถอดแบบเร็ว เป็นต้น ปูนประเภทนี้ ได้แก่ ปูนตราเอราวัณ ตราพญานาคสีแดง และตราสามเพชร

2.2.1.4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดเกิดความร้อนต่ำ (Low-Heat Portland Cement) สามารถลดปริมาณความร้อนเนื่องจากการรวมตัวของปูนซีเมนต์กับน้ำซึ่งจะสามารถลดการขยายตัวและหดตัวของคอนกรีตภายหลังการแข็งตัว ใช้มากในการสร้างเขื่อน เนื่องจากอุณหภูมิของคอนกรีตต่ำกว่างานชนิดอื่นไม่เหมาะสำหรับโครงสร้างทั่วไปเพราะแข็งตัวช้า

2.2.1.5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดทนซัลเฟตได้สูง (Sulfate-Resistant Portland Cement) ใช้ในบริเวณที่น้ำหรือดิน มีค่าค่าสูง มีระยะการแข็งตัวช้า และมีการกระทำของซัลเฟตอย่างรุนแรง ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราปลาฉลาม

2.2.2 คุณสมบัติทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

2.2.2.1 องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบออกไซด์หลัก (Major Oxide) ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซิลิกา (SiO_2) อลูมินา (Al_2O_3) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) ออกไซด์ทั้ง 4 นี้รวมกันได้ร้อยละกว่า 90 ของปูนซีเมนต์ส่วนที่เหลือเป็นออกไซด์รอง (Minor Oxide) ซึ่งได้แก่ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ออกไซด์ของอัลคาไล (Na_2O และ K_2O) และซัลเฟอร์ไตร

ออกไซด์ (SO_3) และมีส่วนประกอบของออกไซด์อื่นอยู่บ้าง เช่น ไทเทเนียมออกไซด์ (TiO_2) และ ฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์ (P_2O_5) นอกจากนี้ยังมีสิ่งแปลกปลอมและส่วนประกอบอื่นซึ่งจะจัดอยู่ในรูปของการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (Loss On Ignition) และกากที่ไม่ละลายในกรดและด่าง (Insoluble Residue) ออกไซด์เหล่านี้จะทำปฏิกิริยากันและรวมตัวกันอยู่ในรูปของสารประกอบที่สำคัญมี 4 อย่างดังนี้

ก. ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium Silicate) องค์ประกอบทางเคมีคือ $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ อักษรย่อ C_3S

ข. ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium Silicate) องค์ประกอบทางเคมีคือ $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ อักษรย่อ C_2S

ค. ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (Tricalcium Aluminate) องค์ประกอบทางเคมีคือ $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ อักษรย่อ C_3A

ง. เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ (Tetracalcium Aluminoferrite) องค์ประกอบทางเคมีคือ $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ อักษรย่อ C_4AF

ตารางที่ 1. องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

องค์ประกอบทางเคมี	สัญลักษณ์	ร้อยละโดยน้ำหนัก
CaO	C	60 - 67
SiO_2	S	17 - 25
Al_2O_3	A	3 - 8
Fe_2O_3	F	0.5 - 6
MgO	M	0.1 - 4
Na_2O	N	0.1 - 1.8
K_2O	K	0.1 - 1.8
SO_3	S ⁻	0.5 - 3.
สารประกอบอื่นๆ	-	0.5 - 3.
การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา	LOI	0.1 - 3

ที่มา: ขลประทานซีเมนต์ (2538)

2.2.2.2 คุณสมบัติของสารประกอบหลัก

สารประกอบหลักของปูนซีเมนต์คือ C_3S , C_2S , C_3A และ C_4AF เนื่องจากมีปริมาณมากถึงกว่าร้อยละ 90 จึงเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติและคุณภาพของปูนซีเมนต์ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2. คุณสมบัติของสารประกอบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

คุณสมบัติ	สารประกอบ			
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
อัตราการทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน	เร็ว (ชม.)	ช้า (วัน)	ทันทีทันใด	เร็วมาก(นาที)
การพัฒนากำลัง	เร็ว (วัน)	ช้า (สัปดาห์)	เร็วมาก(วัน)	เร็วมาก(1วัน)
กำลังประลัย	สูง	สูง	ต่ำ	ต่ำ
ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน	ปานกลาง	ต่ำ	สูง	ปานกลาง

ที่มา: ชลประทานซีเมนต์ (2538)

(a) ไตรแคลเซียมอลูมิเนต C_3A

มีอยู่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประมาณร้อยละ 7 ถึง 15 ลักษณะรูปร่างเป็นเหลี่ยม มีสีเทาอ่อน ทำปฏิกิริยากับน้ำมีความรุนแรงมากและทำให้เฟสก่อตัวทันทีที่ความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันมีค่าสูงมากคือ กว่า 800 จูล/กรัม การพัฒนากำลังของ C_3A จะเร็วมากแต่กำลังประลัยที่ได้มีค่าค่อนข้างต่ำมากเมื่อเทียบกับ C_3S หรือ C_2S

(b) ไตรแคลเซียมซilikेट C_3S

มีมากในปูนซีเมนต์ประมาณร้อยละ 45 ถึง 55 มีรูปร่างเป็นเหลี่ยมสีเทาแก่ที่อุณหภูมิในเตาเผา 1250 องศาเซลเซียส C_3S สามารถสลายตัวได้ซึ่งการสลายตัวนี้ค่อนข้างช้า และเมื่ออุณหภูมิลดต่ำกว่า 700 องศาเซลเซียส C_3S จะมีเสถียรภาพและจะไม่เปลี่ยนสภาพ เมื่อผสม C_3S กับน้ำจะเกิดการก่อตัวและแข็งตัวและให้กำลังค่อนข้างดีที่ 7 วันแรก

(c) ไดแคลเซียมซilikेट C_2S

มีมากในปูนซีเมนต์ประมาณร้อยละ 15 ถึง 35 C_2S บริสุทธิ์มีอยู่ 4 รูปแบบคือ $\sim C_2S$ ซึ่งเกิดที่อุณหภูมิในเตาเผา 1450 องศาเซลเซียส และเมื่อเย็นลงจะกลายเป็น $\sim C_2S$ ซึ่งกลายเป็น βC_2S ซึ่งอุณหภูมิต่ำลงจะกลายเป็น C_2S ที่อุณหภูมิปกติ แต่เนื่องจาก C_2S อยู่ในสภาพที่ไม่บริสุทธิ์สารแปลกปลอมอื่นและอัตราการลดลงของอุณหภูมิทำให้แปลงสภาพจาก βC_2S เป็น C_2S ไม่เกิดขึ้น ดังนั้น βC_2S จะมีเสถียรภาพที่อุณหภูมิปกติ C_2S มีลักษณะเป็นเม็ดกลมและแสดงลักษณะทวินนิง

(Twining) เมื่อผสมกับน้ำสามารถทำปฏิกิริยาเกิดความร้อนขึ้น ความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_2S ก่อนข้างต่ำมีค่าประมาณ 250 จูล/กรัม และการพัฒนากำลังของ C_2S ก่อนข้างต่ำและต่ำกว่า C_3S มากคือเริ่มให้กำลังหลังจาก 4 สัปดาห์ขึ้นไป

(d) เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ C_4AF

มีอยู่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 5 ถึง 10 และอยู่ในสภาพสารละลายแข็ง (Solid Solution) เมื่อผสมกับน้ำจะทำปฏิกิริยาและทำให้เฟสก่อตัวอย่างรวดเร็ว ความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันมีค่าปานกลางประมาณ 420 จูล/กรัม โดย C_4AF พัฒนากำลังได้เร็วมาก เช่นเดียวกับ C_3A แต่กำลังอัดประลัยก่อนข้างต่ำและต่ำกว่า C_3A เล็กน้อย

2.2.2.3 คุณสมบัติของสารประกอบรอง

(a) ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์

สุดท้ายของการผลิตปูนซีเมนต์ จะทำการบดปูนเม็ดร่วมกับยิปซัม (Gypsum, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ หรือเขียนเป็น $CaO \cdot SO_3 \cdot 2H_2O$) เพื่อป้องกันการก่อตัวเร็วเกินไปของซีเมนต์เฟสในทางตรงกันข้ามถ้ามีปริมาณยิปซัมมากเกินไปจะทำให้ซีเมนต์เฟสที่แข็งตัวแล้วเกิดการขยายตัวและแตกร้าวได้ ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่าง C_3A กับยิปซัมทำให้เกิดเอททริงไกต์ (Ettringite) ซึ่งมีปริมาตรเพิ่มขึ้นจากเดิม เมื่อยิปซัมผสมผสมอยู่น้อยปฏิกิริยาระหว่าง C_3A กับยิปซัมจะเกิดขึ้นเมื่อซีเมนต์เฟสยังอยู่ในสภาพพลาสติกทำให้การขยายตัวของปริมาตรเกิดขึ้นก่อนการแข็งตัวของซีเมนต์เฟสจึงไม่ก่อให้เกิดอันตราย

(b) ปูนขาวอิสระ CaO

ปูนขาวอิสระ (Free Lime, CaO) อาจเกิดขึ้นเนื่องจากวัตถุดิบที่มีปริมาณปูนขาว (CaO) มากเกินไปสำหรับทำปฏิกิริยากับ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ในเตาเผาหรืออาจเกิดขึ้นเมื่อปริมาณปูนขาวเหมาะสม แต่การทำปฏิกิริยาเป็นปูนเม็ดในระหว่างการเผาไม่สมบูรณ์ทำให้เหลือปูนขาวอิสระ โดยทั่วไปปูนซีเมนต์จะมีปูนขาวอิสระอยู่ประมาณร้อยละ 0.50 ถึง 1.0 เนื่องจากอุณหภูมิการสลายตัวของ $CaCO_3$ ประมาณ 900 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิในการเผาปูนสูงถึง 1400 ถึง 1600 องศาเซลเซียส จะทำให้ปูนขาวถูกเผาจนเกรียม (Hard Burnt) เป็นผลทำให้ปูนขาวอิสระรวมตัวกับน้ำได้อย่างช้าๆ ซึ่งการรวมตัวของปูนขาวอิสระกับน้ำจะเกิดขึ้นหลังจากซีเมนต์เฟสก่อตัวแล้ว การรวมตัวดังกล่าวทำให้เกิดสารแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีปริมาณมากขึ้น ถ้าปูนขาวอิสระมีมากพออาจทำให้ซีเมนต์เฟสที่ก่อตัวแล้วขยายตัวและเกิดการแตกร้าวได้

(c) แมกนีเซียมออกไซด์ MgO

วัตถุดิบสำหรับผลิตปูนซีเมนต์มีแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$) ผสมอยู่เล็กน้อย เมื่อทำการเผาวัตถุดิบ $MgCO_3$ จะสลายเป็น MgO แมกนีเซียมออกไซด์บางส่วนจะอยู่ในรูปผลึกอิสระและรวมตัวกับน้ำได้อย่างช้ามากช้ามากและกินเวลานานปี เช่นเดียวกับปูนขาวอิสระการรวมตัวกับน้ำจะเกิดหลังจากซีเมนต์เพสต์ก่อตัวแล้ว การมีแมกนีเซียมออกไซด์อยู่อาจทำให้เกิดความไม่คงตัว (Unsoundness) และเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างแมกนีเซียมออกไซด์กับน้ำช้ามาก ดังนั้นการทดสอบเพื่อหาความไม่คงตัวของแมกนีเซียมออกไซด์จะใช้วิธีการทดสอบอโตคลอว์ (Autoclave Test) เพื่อเร่งปฏิกิริยาให้เร็วขึ้นซึ่งเป็นการวัดผลรวมของความไม่คงตัวที่เกิดจาก MgO และ CaO

(d) ออกไซด์ของอัลคาไล

ออกไซด์ของอัลคาไล K_2O และ Na_2O มีอยู่ประมาณร้อยละ 0.50 ถึง 1.30 ในปูนซีเมนต์แต่จะมีบทบาทสำคัญในกรณีที่มวลรวม ซึ่งได้แก่ทรายและหิน สามารถทำปฏิกิริยากับอัลคาไลมวลรวมประเภทนี้เป็นพวกซิลิกาที่มีความว่องไวและทำปฏิกิริยากับออกไซด์อัลคาไลได้ จึงเรียกปฏิกิริยานี้ว่า “ปฏิกิริยาอัลคาไลซิลิกา” จะทำให้เกิดอัลคาไลซิลิกาเจล ซึ่งทำให้เกิดการขยายตัวและทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวได้

(e) ฟอสเฟอรัสเพนทอกไซด์ P_2O_5

มีอยู่ในวัตถุดิบที่ใช้ทำปูนซีเมนต์บางแหล่ง ส่วนมากมาจากหินปูนและมักมีอยู่ไม่เกินร้อยละ 0.10 ถึง 0.20 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ สารนี้ทำให้ปูนซีเมนต์แข็งตัวช้าเนื่องจาก P_2O_5 ทำให้ C_2S กับ CaO นอกจากนี้ถ้ามี P_2O_5 มากพออาจทำให้เกิดการไม่คงตัวเพราะปูนขาวอิสระเกิดเพิ่มมากขึ้น ถ้ามีปริมาณ P_2O_5 ผสมอยู่มากควรที่จะลดปริมาณปูนขาวโดยการลดปริมาณหินปูนจากวัตถุดิบลง

2.2.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สำหรับด้านงานซัลเฟตและคลอไรด์

2.2.3.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน (Portland Pozzolan Cement)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน (Portland Pozzolan Cement) ได้จากการผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับวัสดุปอซโซลาน (Pozzolan Materials) วัสดุปอซโซลานคือวัสดุที่มีซิลิกา หรือซิลิกาและอลูมินาที่ละเอียด โดยตัวมันเองจะไม่มีคุณสมบัติเชื่อมประสาน แต่เมื่อทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide) และน้ำ ที่อุณหภูมิปกติจะได้สารที่มีลักษณะเชื่อมประสาน วัสดุปอซโซลานได้แก่ ดินเหนียวเผา เถ้าถ่านหิน (Fly Ash) ซิลิกาฟุ้ง (Silica Fume) และเถ้าแกลบบดละเอียดเป็นต้น

ซิลิกาในวัสดุปอซโซลานต้องอยู่ในรูปอสัณฐาน (Amorphous) คือไม่เป็นผลึก เพราะถ้าเป็นผลึกซิลิกาจะเฉื่อยในการทำปฏิกิริยา การผสมวัสดุปอซโซลานลงในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ส่วนมากจะทำให้ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันลดลง กำจัดระยะแรกลดลง เพิ่มความสามารถในการต้านทานซัลเฟต ลดปฏิกิริยาอัลคาไลซิลิกา (Alkali-Silica Reaction) ปริมาณวัสดุปอซโซลานที่ใช้ อยู่ระหว่างร้อยละ 15 – 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน การใช้วัสดุปอซโซลานนอกจากยังเป็นการรักษาสีสิ่งแวดล้อมยังช่วยให้ราคาของคอนกรีตลดลงอีกทางหนึ่งด้วย

ตารางที่ 3. คุณสมบัติทางเคมีและทางฟิสิกส์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน

SPECIFICATION FOR PORTLAND - POZZOLAN CEMENT	TIS 849-2532	ASTM C595
CHEMICAL REQUIREMENTS		
MAGNESIUM OXIDE (MgO) , % Max	5.0	5.0
SULFUR TRIOXIDE (SO ₃) , % Max	4.0	4.0
LOSS ON IGNITION , % Max	5.0	5.0

ตารางที่ 4. คุณสมบัติทางเคมีและทางฟิสิกส์ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน (ต่อ)

SPECIFICATION FOR PORTLAND - POZZOLAN CEMENT	TIS 849-2532	ASTM C595
PHYSICAL REQUIREMENTS		
FINENESS		
Specific surface, air permeability test , volume_% optional	-	-
SOUNDNESS		
Autoclave expansion , % Max	0.5	0.5
Autoclave contraction , % Max	0.2	0.2
TIME OF SETTING		
Vicat test , Minutes Min	45.0	7.0
Initial Set , Hours Max	7.0	7.0
AIR CONTENT OF MORTAR , volume_% Max	12.0	12.0
COMPRESSIVE STRENGTH		
Mortar cube		
1 day in moist air , 2 days in water , Kg/cm ² Min	85	85
2 day in moist air , 6 days in water , Kg/cm ² Min	150	350

ที่มา: ชลประทานซีเมนต์ (2538)

2.3 ดิน (Soil)

ดิน (soils) หมายถึง เทพวัตถุทางธรรมชาติ (natural body) ที่เกิดจากการสลายตัวของหินและแร่ธาตุต่างๆ ผสมคลุกเคล้ากับอินทรีย์วัตถุซึ่งปกคลุมผิวโลกอยู่เป็นชั้นบางๆ เป็นวัตถุที่คำนวณการเจริญเติบโตและการทรงตัวของพืช มีการแบ่งชั้น (horizon) ที่สามารถสังเกตเห็นได้จากตอนบนลงไปตอนล่าง มีอาณาเขตและลักษณะประจำตัวของมันเองซึ่งมนุษย์สามารถแบ่งแยกดินออกเป็นชนิดต่างๆ ได้อันประกอบด้วยแร่ธาตุที่เป็นของแข็ง อินทรีย์วัตถุ น้ำ และอากาศที่มีสัดส่วนแตกต่างกันออกไป การเกิดขึ้นของดินเป็นผลสืบเนื่องมาจากการกระทำร่วมกันของปัจจัยต่างๆ เช่น สภาพภูมิอากาศ พืช และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ต่อวัตถุดิบกำเนิดของดินในสภาพพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง ตลอดช่วงระยะเวลาหนึ่ง ดังนั้น “ดิน” ในที่แห่งหนึ่งจึงอาจเหมือนหรือต่างไปจากดินในที่อีกแห่งหนึ่งได้ ขึ้นอยู่กับอิทธิพลของปัจจัยเหล่านี้ซึ่งมีความมากน้อยแตกต่างกันไปในแต่ละบริเวณส่งผลให้ดินมีลักษณะเด่นเฉพาะตัว และเมื่อปัจจัยเปลี่ยนไป ดินจะมีลักษณะหรือสมบัติต่างๆ เปลี่ยนแปลงไปด้วย

2.3.1 ปัจจัยและความสัมพันธ์ของดิน

2.3.1.1 สภาพภูมิอากาศ (Climate)

สภาพภูมิอากาศที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของดินหรือทำให้ดินมีลักษณะแตกต่างกันได้แก่ อุณหภูมิ และ ปริมาณน้ำฝน ซึ่งทั้งสองอย่างนี้มีอิทธิพลต่ออัตราการสลายตัวของหินแร่ ทั้งในด้านกายภาพและเคมี (physical and chemical weathering) ทั้งยังมีอิทธิพลต่ออัตราความเร็วของการเคลื่อนย้ายและการสะสมใหม่ของหินและแร่ที่ถูกแปรสภาพโดยตัวการสำคัญๆ มาเป็นวัตถุดิบกำเนิดของดิน ในเขตร้อน หิน แร่จะสลายตัวมาเป็นดินได้เร็วกว่าในเขตอบอุ่นหรือเขตหนาว เนื่องจาก ในเขตร้อนมีอุณหภูมิสูง และมีปริมาณฝนตกมากกว่าเขตหนาวการผุพังสลายตัวต่างๆ จึงดำเนินไปอย่างรวดเร็วเกิดการชะล้างธาตุอาหารพืชออกไปได้มาก จึงมักทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ

2.3.1.2 วัตถุดิบกำเนิดของดิน (parent material)

เป็นปัจจัยควบคุมการเกิดดินที่สำคัญและมองเห็นได้ค่อนข้างชัดเจนที่สุด และมีอิทธิพลต่อองค์ประกอบของดิน เช่น สีเนื้อดิน โครงสร้าง และสมบัติทางเคมีของดินโดยทั่วไปดินที่เกิดจากวัตถุดิบกำเนิดที่สลายตัวมาจากหินพวกที่มีปฏิกิริยาเป็นด่าง (basic rock) มักจะเป็นดินเนื้อละเอียด

สึกล้า ความอุดมสมบูรณ์สูงส่วนดินที่เกิดจากหินพวกที่มีปฏิกิริยาเป็นกรด (acid rock) มักจะเป็นดินเนื้อหยาบสีจาง ความอุดมสมบูรณ์ และความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกต่ำ เป็นต้น

2.3.1.3 สภาพภูมิประเทศ (relief)

ในที่นี้หมายถึงความสูงต่ำหรือระดับที่ไม่เท่ากันของสภาพพื้นที่และความลาดชันของพื้นที่ที่เกี่ยวข้องกับระดับน้ำใต้ดินซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีอิทธิพลต่อการเกิดลักษณะชั้นต่างๆ ในหน้าตัดดิน ความลึกของดินสี ความชื้นสัมพัทธ์ในดิน และความรุนแรงของการชะล้าง เป็นต้น ตัวอย่างเช่นดินที่เกิดในที่ที่มีความลาดชันสูง มักจะเป็นดินตื้น มีชั้นดินน้อยมีการชะล้างหน้าดินมาก ชั้นดินบนจะบาง หรืออาจจะไม่มีชั้นดินบนเลยก็ได้ตรงกันข้ามกับดินที่เกิดในที่ราบลุ่มที่มักจะมีชั้นดินบนที่หนากว่าเนื่องจากเป็นแหล่งทับถมของตะกอน เนื้อดินละเอียดกว่าเพราะมีการเคลื่อนย้ายอนุภาคขนาดดินเหนียวจากดินชั้นบนลงไปสะสมอยู่ในดินล่าง

2.3.1.4 ปัจจัยทางชีวภาพ(organism)

ได้แก่สิ่งมีชีวิตต่างๆซึ่งประกอบด้วยพืชและสัตว์ แต่มักจะเน้นที่พืชพรรณต่างๆ ที่ขึ้นปกคลุมบนผิวดินซึ่งมีอิทธิพลต่อ ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน และองค์ประกอบทางเคมีของดินดินที่เกิดภายใต้สภาพพืชพันธุ์ที่เป็นทุ่งหญ้าจะมีอินทรีย์วัตถุและธาตุที่เป็นอาหารพืชมากกว่าดินบริเวณป่าสนหรือป่าไม้เนื้อแข็ง เป็นต้น

2.3.1.5 เวลา(time)

อิทธิพลของเวลาในแง่ของการเกิดดินนั้น หมายถึงช่วงหนึ่งของเวลาที่ต่อเนื่องกันไปโดยไม่มีเหตุการณ์รุนแรงขัดจังหวะการพัฒนาตัวของดินเวลาที่เป็นศูนย์สำหรับดินชนิดหนึ่งๆ ก็คือจุดที่ได้มีเหตุการณ์ที่รุนแรงอย่างหนึ่งทางดินเกิดขึ้นถือว่าเป็นจุดสิ้นสุดของเวลาในการสร้างตัวของดินและจะเป็นจุดเริ่มต้นของช่วงเวลาในการสร้างตัวของดินช่วงต่อไปเหตุการณ์รุนแรงดังกล่าวอาจหมายถึง การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิประเทศ ระดับน้ำใต้ดินการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในทันทีทันใด หรือ การเปลี่ยนแปลงของวัตถุดิบกำเนิดดิน เช่นมีการทับถมอย่างรุนแรงของตะกอนใหม่ เป็นต้น

2.3.2 คุณสมบัติทางกายภาพของดิน

สมบัติทางกายภาพของดินได้แก่เนื้อดิน โครงสร้างของดิน ความหนาแน่น ความพรุน อุณหภูมิ และสีของดิน เป็นต้น ซึ่งเป็นปัจจัยร่วมที่สำคัญกับธาตุอาหารในดินเพื่อเพิ่มผลผลิตของพืชมนุษย์รู้จักปรับปรุงเปลี่ยนแปลงสถานะที่ไม่เหมาะสมทางกายภาพให้สามารถเพิ่มผลผลิตมานานแล้วเช่นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของดิน โดยวิธีการไถพรวนทำการปรับปรุงดินเหนียวให้สามารถถ่ายเทอากาศและระบายน้ำได้ดีด้วยกลบในทางวิศวกรรมมนุษย์ได้อาศัยสมบัติทางกายภาพมาใช้ในการสร้างถนน หรือสร้างอาคารโดยการเลือกดินที่เหมาะสม ซึ่งใช้ดินที่ไม่หดรัดหรือขยายตัวมากเกินไปถ้าจำเป็นต้องใช้ต้องมีการตอกเสาเข็มเพื่อป้องกันการเสียหาย

ในส่วนของเนื้อดินนั้นเราพิจารณาเฉพาะส่วนที่เป็นอนินทรียสารเท่านั้นซึ่งมีประมาณไม่เกิน 96 เปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบที่เป็นของแข็งส่วนที่ควบคุมเนื้อดินก็คือสัดส่วนระหว่างอนุภาคทราย (sand) ดินทรายแป้ง (silt) และ ดินเหนียว (clay) นิยมพิจารณาอนุภาคอนินทรียสารที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 2 มิลลิเมตรเนื้อดินไม่มีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชเนื้อดินมีผลทางอ้อมเนื่องจากเป็นตัวควบคุมสมบัติอื่นๆที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่นการดูดน้ำ การดูดซับไอออนและการแลกเปลี่ยนก๊าซเป็นต้น

อนุภาคของดิน คือ ชิ้นส่วนของหินและแร่ ที่สลายตัวหรือผุกร่อนเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยทั้งทางด้านกายภาพและทางด้านเคมี พวกที่ขนาดเล็กโดยวัดเส้นผ่าศูนย์กลางสมมูลย์ไม่เกิน 2 มิลลิเมตร เรียกว่า ดินผง (fine earth) อนุภาคของดินแบ่งเป็นกลุ่มได้ดังนี้

1. กลุ่มขนาดทราย (sand separate)
2. กลุ่มขนาดทรายแป้ง (silt separate)
3. กลุ่มขนาดดินเหนียว (clay separate)

2.3.3 การจำแนกดิน

ดินเป็นวัสดุที่ประกอบขึ้นด้วยสิ่งต่างๆ หลายอย่าง เช่น กรวด, ทราย, ดินเหนียว, อินทรีย์สาร เป็นต้น ทั้งนี้ เนื่องจากอิทธิพลของหินต้นกำเนิด, การกัดกร่อนผุพัง, การพัฒนาและการตกตะกอนทับถมเพื่อที่จะจัดหมวดหมู่ของดินที่มีคุณสมบัติเฉพาะคล้ายกันเข้าอยู่ในพวกเดียวกันตามวัตถุประสงค์ในการใช้งานการจำแนกประเภทของดินจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งเนื่องจากมีผู้เกี่ยวข้องกับดิน

เนื่องจากมีผู้เกี่ยวข้องกับดินอยู่หลายสาขาด้วยกันการจำแนกประเภทดินจึงแตกต่างกันออกไป แล้วแต่วัตถุประสงค์ในการใช้งานในแต่ละสาขาเช่นทางด้านเกษตรศาสตร์จะจำแนกดินตามความอุดมสมบูรณ์ของธาตุสารที่พืชจะนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านธรณีวิทยา อาศัยลักษณะหินต้นกำเนิดและการกัดกร่อนผุพัง เป็นปัจจัยในการจำแนกสำหรับทางวิศวกรรมโยธาพิจารณาคุณสมบัติทางฟิสิกส์และกลศาสตร์ของดินเป็นหลัก เช่นขนาดของเม็ดดิน, แรงยึดเกาะของมวลดิน เป็นต้นทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับประโยชน์ใช้สอยทางวิศวกรรมแต่ละหมวดหมู่ของดินที่จัดเข้าไว้จะมีอักษรย่อเฉพาะซึ่งจะเป็นที่เข้าใจได้โดยง่ายในหมู่วิศวกรหรือนักคนที่เกี่ยวข้องในวงการวิศวกรรมโยธา การจำแนกดินมีหลายระบบขึ้นอยู่กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและประโยชน์ใช้สอย เช่น งานด้านถนนใช้ระบบ AASHO Classification ซึ่งจัดแบ่งดินตามความเหมาะสมในการใช้เป็นวัสดุก่อสร้างถนน, งานสนามบินใช้ระบบของ FAA Classification และระบบ Unified Soil Classification ซึ่งใช้กับงานวิศวกรรมทั่วไปและนิยมแพร่หลายกว่าระบบอื่นๆ

1. การจำแนกโดยระบบ Unified Soil Classification

ใช้อักษรย่อ 2 ตัว ทำให้จดจำง่ายและมีความหมายในตัวเอง เช่น G = Gravel (กรวด), S = Sand (ทราย), M = Silt (ดินทราย), C = Clay (ดินเหนียว), W = Well Graded (เม็ดคละ), P = Poorly Grade (เม็ดไม่คละ), H = High Liquid Limit (L.L. มีค่าสูง), L = Low Liquid Limit (L.L. มีค่าต่ำ) หรือ O = Organic (ดินมีอินทรีย์สารปนมาก ดังแสดงในรูปที่ 1 และตารางที่ 1

2. การจำแนกโดยระบบ AASHO Classification

ใช้อักษรย่อจาก A-1 ถึง A-7 โดยที่เรียงลำดับจากความเหมาะสมในการใช้เป็นวัสดุก่อสร้างทาง คือ A-1 ถึง A-3 เหมาะสมมาก ส่วน A-4 ถึง A-7 พอใช้ถึงใช้ไม่ได้ นอกจากนั้นยังมีการ

แบ่งย่อยลงไปอีกสำหรับ กรุป A - 1, A - 2, A - 7 เช่น A - 1 - a, A - 1 - b, A - 2 - 4, A - 2 - 7, A - 7 - 5 เป็นต้นดังแสดงในตารางที่ 2 ขั้นตอนในการจำแนกอาจทำได้ดังนี้

2.1. แบ่งตามการกระจายของเม็ดดิน

2.2. แบ่งตามค่า Atterberg's Limits

2.3. แบ่งตามค่า Group Index (G.I.)

เมื่อถึงขั้นตอนสุดท้ายจะมีอักษรต่อ 2 หรือ 3 และมีวงเล็บต่อท้ายด้วยค่า Group Index เช่น A - 1 - a (0), A - 3 (0), A - 7 - b (12)

2.4 ปูนขาว

ปูนไลม์ (Lime) หมายถึงปูนสุก (Quicklime: CaO) ปูนขาว (Hydrated lime: Ca(OH)_2) และปูนไลม์ไฮดรอลิกซึ่งอยู่ในรูปลักษณะต่าง ๆ กันทั้งทางเคมีและกายภาพส่วนหินปูน (Limestone) หมายถึงหินชั้นหรือหินตะกอนที่ประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) เป็นส่วนใหญ่เมื่อนำหินปูนมาเผาจะได้ปูนสุกที่มีขนาดต่างๆ ขึ้นกับชนิดหินปูนเตาเผาที่ใช้และวิธีปฏิบัติต่อการเผา เมื่อนำปูนสุกมาทำปฏิกิริยากับน้ำจะได้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ส่วนที่เป็นผงแห้งก็คือปูนขาวและส่วนที่เป็นสารแขวนลอยก็คือน้ำปูนไลม์ (Milk of lime)

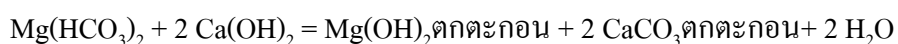
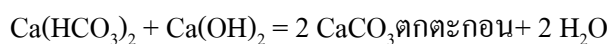


รูปที่ 2. ก้อนหินปูนก่อนทำการย่อยสลายเป็นปูนขาว

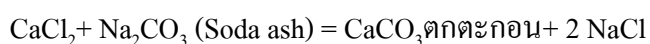
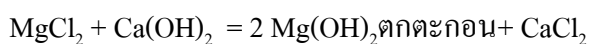


รูปที่ 3. ปูนขาวที่มีอยู่ในท้องตลาด

ปูนไลม์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายด้านเช่นด้านการเกษตรปูนไลม์ช่วยปรับค่าความเป็นกรด-ด่างในดินทำให้แบคทีเรียบางชนิดในดินเปลี่ยนไนโตรเจนให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้และช่วยยับยั้งจุลินทรีย์ที่ทำให้พืชซึ่งชอบเจริญในดินกรดรวมทั้งช่วยปรับโครงสร้างดินให้ร่วนไถพรวนได้ง่ายขึ้นมาตรฐานปูนไลม์ที่ใช้ในการเกษตรคือมอก. 223-2520[34]เรื่องวัสดุพวกปูนไลม์เพื่อการเกษตรด้านการบำบัดน้ำช่วยแก้ปัญหาน้ำกระด้างโดยปูนไลม์เข้าไปทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่เป็นสาเหตุให้เกิดน้ำกระด้างกลายเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำตกตะกอนออกมาตามสมการดังนี้กรณีน้ำกระด้างชั่วคราวที่เกิดจากไบคาร์บอเนตของแคลเซียมและแมกนีเซียม



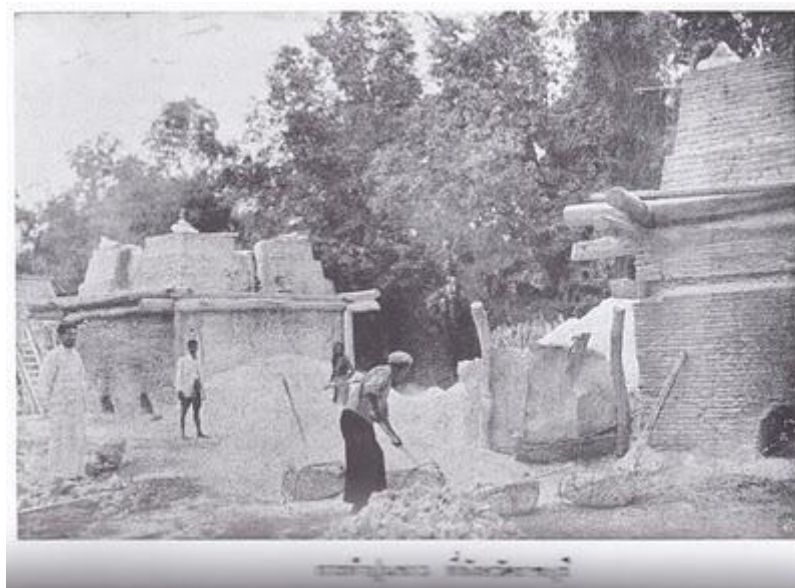
กรณีน้ำกระด้างถาวรที่เกิดจากสารประกอบคลอไรด์สารประกอบซัลเฟตและสารประกอบไนเตรตของแคลเซียมและแมกนีเซียม



อุตสาหกรรมก่อสร้าง (Building and Construction) หินปูนและปูนไลม์นำไปใช้ในการก่อสร้างโดยตรงเช่นการสร้างถนนใช้เป็นสารตัวเติมในยางแอสฟัลต์สำหรับลาดถนนใช้ผสมทรายทำปูนฉาบปูนสอสำหรับงานก่อใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์มีมาตรฐานกำหนดคุณสมบัติของปูนไลม์ที่ให้อยู่หลายมาตรฐานทั้งในและต่างประเทศเช่นมอก. 241-2520 ปูนไลม์เพื่อการก่อสร้าง British Standard 890-1972 เรื่อง Specification for Building Limes อุตสาหกรรมกระดาษปูนไลม์ใช้ในการผลิตสารที่ใช้ในการผลิตเช่นใช้ผลิต Sodium hydroxide (โซดาไฟ) ที่ใช้ในกระบวนการย่อยใช้ผลิตสารฟอกขาว (Bleaching liquor) โดยเติมคลอรีนผสมกับน้ำปูนไลม์ใช้ผลิต Satin White โดยผสม Aluminium sulfate กับน้ำปูนไลม์และใช้ผลิต Precipitated chalk หรือ Precipitated calcium carbonate (PPC) ที่ใช้เคลือบกระดาษโดยการเติมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในน้ำปูนไลม์ อุตสาหกรรมเคมี

ปูนไลม์ถูกใช้ในกระบวนการผลิตสารเคมีหลายชนิดเช่นโซดาไฟ (Sodium hydroxide) จาก Lime-soda process โดยปูนไลม์ทำปฏิกิริยากับโซดาแอช (Sodium carbonate) ได้โซดาไฟและแคลเซียมคาร์บอเนตชนิดตกตะกอน แคลเซียมคาร์ไบด์ได้จากการผสมปูนขาวกับถ่านโค้กแล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 2000°C การทำให้กรดซิตริกบริสุทธิ์ขึ้นโดยเติมปูนขาวในสารละลายกรดซิตริกที่กรองแล้วทำให้ Calcium citrate ตกตะกอนออกมา นำตะกอนนั้นไปทำปฏิกิริยากับ Sulfuric acid อีกทีหนึ่งผลิตโซดาแอช (Sodium carbonate) ซึ่งเป็นสารที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตแก้ว สิ่งทอ และสารเคมี โดย Solvay or Ammonia-soda process

อุตสาหกรรมอาหารยาเครื่องสำอาง ปูนไลม์เข้าไปมีบทบาททั้งทางตรงและทางอ้อมใช้ปูนขาวดูดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่หมักและผลไม้สดปล่อยออกมาเพื่อยืดอายุการเก็บการผลิตน้ำตาล เติมน้ำปูนไลม์ลงในน้ำเชื่อมเพื่อสะเทินกรดทำให้สิ่งเจือปนที่ละลายในน้ำเชื่อมตกตะกอน ใช้ผลิตสารที่ใช้เติมในผลิตภัณฑ์เช่น Calcium phosphate ที่เป็น food additive Calcium lactate, Calcium mandelate ที่ใช้ผลิตยา ปูนไลม์ที่ใช้ต้องมีความบริสุทธิ์สูงตามมาตรฐานที่กำหนดเช่น British Pharmacopoeia อุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าต้องใช้ปูนไลม์ที่มีความบริสุทธิ์สูงเป็นตัวช่วยดึงสารเจือปนต่างๆ เพื่อผลิตเหล็กคุณภาพสูง นอกจากนี้ยังมีอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่ปูนไลม์เข้าไปเกี่ยวข้อง เช่น ปูนไลม์เป็นสาร intermediates ในการผลิตสี ย้อมเป็นสารตัวเติมในอุตสาหกรรมยาง เซรามิกส์ เป็นต้น



รูปที่ 4. การขุดหินปูนของจังหวัดราชบุรี (www.ratchaburi.go.th)

2.5 การถ่ายโอนพลังงานความร้อน

การถ่ายเทความร้อนเป็นการศึกษาถึงอัตราการถ่ายเทพลังงานในรูปของความร้อนที่เกิดขึ้นในระบบซึ่งอาจเกิดขึ้นระหว่างระบบสองระบบหรือระหว่างระบบหนึ่งและสิ่งแวดล้อมเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิโดยไม่มีการเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานรูปอื่นเมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิในระบบจะทำให้พลังงานในรูปความร้อนถ่ายเทจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าหรือกล่าวได้ว่าเกิดความลาดเอียงของอุณหภูมิ (Temperature Gradient) ขึ้นในระบบซึ่งหาได้จากค่าการกระจายของอุณหภูมิ (Temperature Distribution) เมื่อเราทราบการกระจายของอุณหภูมิก็สามารถหาอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ได้ การถ่ายโอนพลังงานความร้อนเป็นการถ่ายเทพลังงานความร้อนระหว่างที่สองแห่งที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันวิธีการถ่ายโอนพลังงานความร้อนแบ่งได้เป็น 3 วิธี ดังนี้

2.5.1 การถ่ายโอนความร้อนโดยการนำความร้อน (Conduction)

เป็นการถ่ายโอนความร้อนโดยความร้อนจะเคลื่อนที่ไปตามเนื้อของวัตถุจากตำแหน่งที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่ตำแหน่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าโดยที่วัตถุที่เป็นตัวกลางในการถ่ายโอนความร้อนไม่ได้เคลื่อนที่ เช่นการนำแผ่นอะลูมิเนียมมาเผาไฟโมเลกุลของแผ่นอะลูมิเนียมที่อยู่ใกล้เปลวไฟจะ

ร้อนก่อนโมเลกุลที่อยู่ไกลออกไปเมื่อได้รับความร้อนจะสั่นมากขึ้นจึงชนกับโมเลกุลที่อยู่ติดกัน และทำให้โมเลกุลที่อยู่ติดกันสั่นต่อเนื่องกันไปความร้อนจึงถูกถ่ายโอนไปโดยการสั่นของโมเลกุลของแผ่นอะลูมิเนียมโลหะต่างๆ เช่น เงิน ทอง อะลูมิเนียม เหล็กเป็นวัสดุที่นำความร้อนได้ดี จึงถูกนำมาทำภาชนะในการหุงต้มอาหารวัสดุที่นำความร้อนไม่ดีจะถูกนำมาทำฉนวนกันความร้อน เช่น ไม้ พลาสติก แก้วกระเบื้อง เป็นต้น

กฎของฟูเรียร์

$$Q_x = -kA \frac{\partial T}{\partial X} \quad (1)$$

$$q_x = -k \frac{\partial T}{\partial X} \quad (2)$$

2.5.2 การถ่ายโอนความร้อนโดยการพาความร้อน (Convection)

เป็นการถ่ายโอนความร้อนโดยวัตถุที่เป็นตัวกลางในการพาความร้อนจะเคลื่อนที่ไปพร้อมกับความร้อนที่พาไปตัวกลางในการพาความร้อนจึงเป็นสารที่โมเลกุลเคลื่อนที่ได้ง่ายได้แก่ของเหลวและแก๊สลมบกลมทะเลเป็นการเคลื่อนที่ของอากาศที่พาความร้อนจากบริเวณหนึ่งไปยังอีกบริเวณหนึ่งการต้ม การนึ่ง และการทอดอาหารเป็นการทำให้อาหารสุกโดยการพาความร้อน

กฎการเย็นตัวของนิวตัน (Newton's Law of Cooling)

$$Q = hA(T_w - T_\infty) \quad (3)$$

2.5.3 การถ่ายโอนความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

เป็นการถ่ายโอนความร้อนโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง เช่นการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์มายังโลกการแผ่รังสีความร้อนจากเตาไฟไปยังอาหารที่ปิ้งย่างบนเตาไฟ เป็นต้นสมดุลความร้อน

กฎของ Stefan-Boltzmann

$$Q = \varepsilon \sigma A T^4 \quad (4)$$

$$Q_b = \sigma A T^4 \quad (5)$$

$$Q_{rad} = \varepsilon \sigma A (T_k^4 - T_s^4) \quad (6)$$

2.6 รายงานการวิจัยในต่างประเทศ

Joseph Khedari , Pornnapa Watsanasathaporn and Jongjit Hirunlabh , (2005)[11] ได้ศึกษาอิทธิพลสมเส้นใยมะพร้าวสำหรับพัฒนาเป็นอิฐสื่อความร้อนต่ำจากการศึกษาพบว่า การเพิ่มของเส้นใยที่มากจะทำให้กำลังอัด การยืดเกาะ และ ความหนาแน่นของอิฐมีแนวโน้มที่ลดลง อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณเส้นใยที่ร้อยละ 10 , 15 และ 20 ของน้ำหนักซีเมนต์ พบว่าอัตราส่วนที่ดีที่สุดของอิฐคือ 5.75:1.25:2 อัตราส่วนเส้นใยมะพร้าว ที่ร้อยละ 20 ปริมาณซีเมนต์ที่ 0.80 กก./ก้อน และคุณสมบัติการสื่อความร้อน ที่ 0.6510 W/Mk, Ismail Demir , M.Serhat Baspinar and Mehmet Orhan , (2004)[7] ได้ศึกษาการนำส่วนที่เหลือจากการผลิตในส่วนของเยื่อกระดาษและเส้นใย Cellulose ขนาด 5 และ 20 ไมครอน เพื่อทำผลิตภัณฑ์อิฐดินเหนียว โดยทำการศึกษา กำลังอัด กำลังคั ด , Plasticity , การดูดซึมน้ำ หน่วยน้ำหนัก และ ความพรุน (Porosity) จากการศึกษพบว่า ปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนเดียวกันกับปริมาณของผงเยื่อกระดาษ การเพิ่มเส้นใย Cellulose สามารถลดการหดตัวและเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณผงเยื่อกระดาษร้อยละ 5 และที่ ร้อยละ 10 ไม่พบความเป็นไปได้ในการเพิ่มปริมาณของเยื่อกระดาษเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของการหดตัว กำลังคั ดมีแนวโน้มที่ดีตามอายุ แต่กำลังอัดลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของผงเยื่อกระดาษ อย่างไรก็ตาม ค่าของกำลังอัดก็มากกว่ามาตรฐาน TS705

E.Custodio-Garcia , P.J Sebastian , Campos-Alvarez , Carlos G. Trevino-Palacios , Esteban Andres Zarate , Quintiliano A. Cordova and Hugo de la O-Leon , (2005)[5] ได้ศึกษาการนำความร้อน, การแผ่ความร้อน ของแสงอาทิตย์ต่ออิฐดินเหนียวเผา (แบบความร้อนปานกลาง , type B) โดยใช้ตัวอย่างเป็นอิฐตันขนาดกว้าง 125 มม. ยาว 250 มม. และหนา 50 มม. ทำการเปรียบเทียบกับอิฐที่ใช้ในการพาณิชย์ทั่วไปขนาดกว้าง 200 มม. ยาว 400 มม. และหนา 100 มม. โดย การทดสอบเป็นลักษณะของกำแพงอิฐและปิดด้วยโฟมทั้ง 2 ด้าน จากการศึกษพบว่าอุณหภูมิต่อ

อิฐบล็อก มีค่ามากกว่าอิฐดินเหนียวเผาทั้งส่วนที่เป็นตำแหน่ง บนและล่างของผนังทดสอบ (Upper and Lower) ทางด้านการพิจารณาปัจจัยทางด้านมูลค่าวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างพบว่าอิฐดินเผา มีต้นทุนมากกว่าอิฐบล็อก ร้อยละ 14., K.Al Rim , A.Ledhem , O.Douzane , R.M Dheilly and M.Queneudec , (1999)[1] ได้ศึกษาปัจจัยทางด้านส่วนผสมและคุณสมบัติความร้อนของวัสดุเชิงประกอบของ ดินเหนียว-ซีเมนต์และไม้ โดยได้นำไม้ที่มีขนาดไม่เกิน 20 มม. เป็นวัสดุมวลหยาบ แทนที่ร้อยละ 10 , 20 , 30 และ 40 ดินเหนียวร้อยละ 70 , 60 , 50 และ 40 และ ซีเมนต์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ทำการศึกษาด้านกำลังอัด กำลังดัด โมดูลัสยืดหยุ่น และการนำความร้อน จากการศึกษาพบว่าเมื่อมีการเพิ่มไม้ในส่วนผสมของดินเหนียวคอนกรีต (Clayey concrete) ช่วยเพิ่มคุณสมบัติการเป็นฉนวนของวัสดุที่ศึกษา คุณสมบัติทางกลนั้นลดลง และชัดเจนมากขึ้นในลักษณะการเสียรูปที่เพิ่มขึ้น, K. Ghavami, R.D. Toledo Filho, N.P. Barbosa[9](1998) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการพฤติกรรมของการผสมเส้นใยมะพร้าวและเส้นใยสัปะรดลงใน ส่วนประกอบของดินที่ใช้ในการก่อสร้าง ซึ่งพบว่า เส้นใยของสัปะรดและเส้นใยมะพร้าว สามารถลดการแตกร้าวของก้อนดินได้เนื่องจากสามารถดูดซับน้ำได้ดี อย่างไรก็ตามก็ตีค่าการต้านทานแรงกดยังต่ำกว่าก้อนดินแบบไม่ผสมเส้นใยไฟเบอร์, Pierre Tittlein, Alain Cloutier b, Benoît Bissonnette[15](2012) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการทดแทนยิบซัมบอร์ดโดยใช้ ซีเมนต์เนื่องจาก ไฟเบอร์จากการย่อยเศษไม้ บอร์ด-คุณสมบัติที่ไม่ดีของยิบซัมบอร์ดคือ แตกหักง่าย ไม่ต่อความชื้นและการแตกร้าวสูงเนื่องจากการถอนสกรู ผลการทดสอบพบว่า บอร์ดที่ทำจาก วัสดุเชิงประกอบระหว่าง ซีเมนต์และเศษไม้ให้ค่าความต้านทานแรงดัดสูงสุดและแรงต้านทานการถอนสกรู สูงกว่ายิบซัมบอร์ดอย่างชัดเจน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยของงานชิ้นนี้ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ

3.1 การออกแบบและผลิตเครื่องย่อยเศษกิ่งไม้และใบไม้

ในการออกแบบและสร้างเครื่องย่อยเศษกิ่งไม้และใบไม้ผู้ศึกษาได้ทำการศึกษาตามขั้นตอนต่างๆดังนี้

3.1.1. กลุ่มตัวอย่างและประชากร

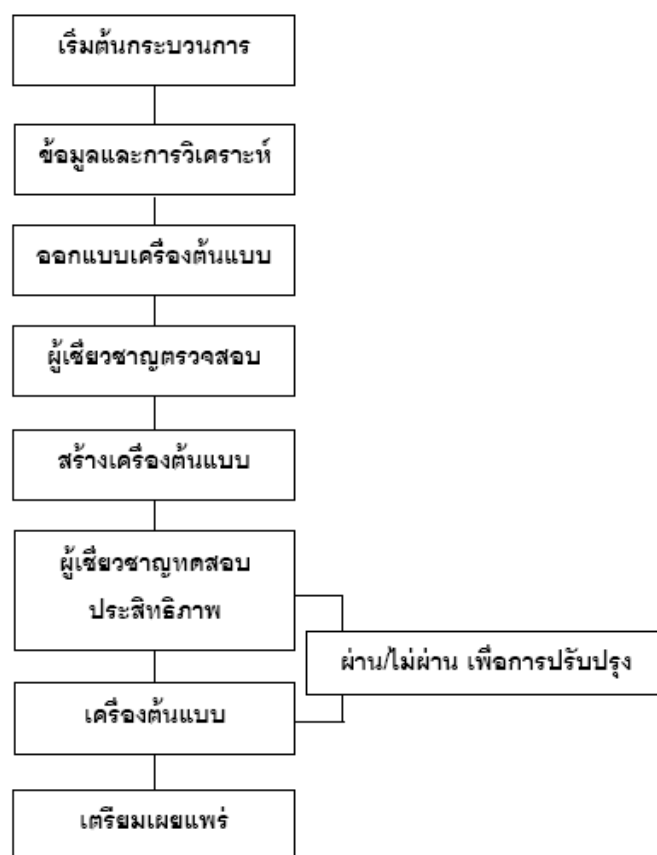
ประชากรที่ใช้ในการวิจัยมี 2 กลุ่มคือ

3.1.1.1 ผู้เชี่ยวชาญหรือเป็นผู้มีประสบการณ์งานวิจัยและด้านการสอนใน 4 สาขาวิศวกรรมหลักได้แก่ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, วิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ และ สาขาวิศวกรรมการผลิตทั้งสิ้น 4 ผู้เชี่ยวชาญ

3.1.1.2 เกษตรกรอาชีพหลักทำสวนในพื้นที่ที่ทำการศึกษารวมทั้งสิ้น 3 ท่าน

3.1.2 ระบบเครื่องมือที่ใช้สำหรับการวิจัย

การออกแบบเครื่องย่อยเศษกิ่งไม้และใบไม้ประกอบด้วยดัง Flow chart ดังนี้



รูปที่ 5. แสดงขั้นตอนการออกแบบเครื่องย่อยเศษกิ่งไม้และใบไม้

การสร้างแบบประเมินประสิทธิภาพเครื่องย่อยเศษกิ่งไม้และใบไม้ จากรูปที่ 6. ทำการจำแนกแบบประเมินออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. ประเมินเป็นแบบมาตราส่วนเพื่อประมาณค่า (Rating scale) ซึ่งประเมิน 3 ด้าน คือ ด้านรูปแบบ-โครงสร้างเครื่องย่อยฯ, การใช้งาน และ ผลลัพธ์
2. ประเมินแบบคำถามแบบเปิด (Open ended question) โดยผู้ประเมินทำการประเมินเครื่องย่อยฯแสดงความคิดเห็นทั้ง 3 ด้าน



รูปที่ 6. แสดงขั้นตอนการสร้างแบบประเมินเครื่องย่อยเศษกิ่งไม้และใบไม้

3.2 งานด้านวัสดุวิศวกรรมขั้นสูง(Advance Materials Engineering, AME)

งานวิจัยชิ้นนี้ได้นำดินท้องถิ่นจาก อำเภอบางท้อ จ.ราชบุรี ผสมกับปูนขาวท้องถิ่น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และเส้นใยคาร์โบไฮเดรต ซึ่งคือเศษกิ่งไม้และใบไม้ย่อยโดยใช้เครื่องย่อยที่ประดิษฐ์ขึ้นเพื่อผลิตเป็นอิฐมวลเบานำความร้อนต่ำซึ่งสามารถใช้ในการก่อสร้างบ้านประหยัดพลังงานในท้องถิ่น รวมถึงการประยุกต์ใช้ทรัพยากรที่มีในท้องถิ่นให้เกิดประโยชน์มากที่สุด โดยทำการศึกษาคุณสมบัติด้านเคมีและฟิสิกส์ (Chemical and physical properties), คุณสมบัติด้านกลศาสตร์(The mechanics investigations) ซึ่งประกอบด้วย ด้านกำลังอัดและดัด (Compressive and flexural strength properties) โดยใช้ชิ้นงานทดสอบขนาด 115×225×60 มิลลิเมตรด้านคุณสมบัติด้านกายภาพของอิฐประกอบด้วย การดูดซึมน้ำ (Water absorption), หน่วยน้ำหนัก(Unit weight) สมบัติการนำความร้อน (Thermal conductivity) ที่อายุ 3, 7, 14, 28, 60, 90, 120, 150, และ 180 วัน และการชะของสารโลหะหนัก (Leachate Extraction Procedure, LXP) ที่ปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 คงที่ร้อยละ 2 ปริมาณปูนขาวท้องถิ่น คงที่ ร้อยละ 10 และเศษเส้นใยคาร์โบไฮเดรตซึ่งได้จากการย่อยเศษไม้และใบไม้ โดยผ่านตะแกรงเบอร์ 9 มีขนาดเฉลี่ย 5 มิลลิเมตร ร้อยละ 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60 ส่วนปริมาณดินท้องถิ่นราชบุรีแปร

ผันตามปริมาณอัตราส่วนเส้นใยคาร์โบไฮเดรตที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงทั้งหมด (w/p) 0.2354, 0.2468, 0.2367, 0.2778, 0.291, 0.3041, 0.3247, 0.3477, 0.3567, 0.3876 และ 0.3977 ตามลำดับ เปรียบเทียบกับอิฐดินท้องถิ่นราชบุรีผสมปูนซีเมนต์ที่ปริมาณคงที่ร้อยละ 2 และปูนขาวร้อยละ 10 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงทั้งหมด (w/p) 0.1547 ผลการทดสอบจะถูกเปรียบเทียบถึงอิทธิพลของเส้นใยคาร์โบไฮเดรตต่อคุณสมบัติต่างๆของอิฐดินซีเมนต์เชิงประกอบ รวมถึงประเมินความเป็นไปได้ในการนำมาผลิตเป็นอิฐมวลฉนวนกันความร้อนมวลเบา และสามารถก่อสร้างจริงเป็นบ้านทดสอบ ตัวอย่าง



รูปที่ 7. แสดงเส้นใยคาร์โบไฮเดรตที่ได้จากการย่อยเศษไม้และใบไม้จากเครื่องมือย่อย



รูปที่ 8. แสดงการผสมเศษเส้นมยเซลลูโลสกับดินท้องถิ่นและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

โดยการทดสอบและมาตรฐานการทดสอบมีรายละเอียดดังนี้

- 3.2.1 ทดสอบคุณสมบัติด้านเคมีของดินท้องถิ่นราชบุรีจากอำเภอปากท่อ โดยใช้มาตรฐานการทดสอบของสหรัฐอเมริกา (ASTM Standards) และ การทดสอบ-วิเคราะห์ ด้วยเครื่องมือขั้นสูงโดย XRF (X-Ray Fluorescence)
- 3.2.2 ทดสอบคุณสมบัติด้านกายภาพของดินท้องถิ่นราชบุรี โดยวิเคราะห์ทดสอบโดยใช้ SEM (Scanning Electron Microscope)
- 3.2.3 ทดสอบคุณสมบัติด้านกำลังอัด (Compressive strength) ASTM C67[35] และ กำลังดัด (Flexural strength) ASTM C293[36] ของอิฐดินมวลเบาผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติที่อายุ 3, 7, 14, 28, 60, 90, 120, 150 และ 180 วัน



รูปที่ 9. แสดงการทดสอบหาค่ากำลังอัดของอิฐดินซีเมนต์



รูปที่ 10. แสดงการทดสอบหาค่ากำลังดัดของอิฐดินซีเมนต์

3.2.4 ทดสอบหาอัตราการดูดซึมน้ำ (Water absorption) ASTM C67, และ หน่วยน้ำหนัก (Unit weight) ของอิฐดินมวลเบาผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ

การทดสอบเริ่มจาก นำตัวอย่างอิฐดินมวลเบาผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติทั้งหมด ส่วนผสมละ 5 ก้อน ไปเข้าเตาอบความร้อน 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่ง น้ำหนัก ซึ่งถือว่าเป็นน้ำหนักแห้ง จากนั้นนำอิฐดินมวลเบาผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ไปแช่ในน้ำสะอาด ให้ผิวน้ำท่วมขึ้นทดสอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อให้เกิดการอิมมิด จากนั้นนำอิฐดินมวลเบาผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติขึ้นมาจากน้ำวางทิ้งไว้ 1 นาที แล้วจึงซับผิวน้ำ ของอิฐดินมวลเบาผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติให้แห้ง โดยไม่ให้มีฟิล์มน้ำเหลืออยู่ แล้วทำการชั่งน้ำหนักทันที จะได้น้ำหนักเปียก โดยการชั่งนี้ต้องกระทำในเวลา 3 นาที หลังจากนำขึ้นจาก น้ำ ทั้งนี้เพื่อมิให้สูญเสียความชื้น จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาค่าอัตราการดูดซึมน้ำโดย ใช้ สมการที่ 1

$$\text{Absorption} = \frac{W_{\text{wet}} - W_{\text{dry}}}{W_{\text{dry}}} \times 100 \quad (7)$$

โดยที่ Absorption = อัตราการดูดซึมน้ำ (%)

W_{wet} = น้ำหนักเปียก (g)

W_{dry} = น้ำหนักแห้ง (g)

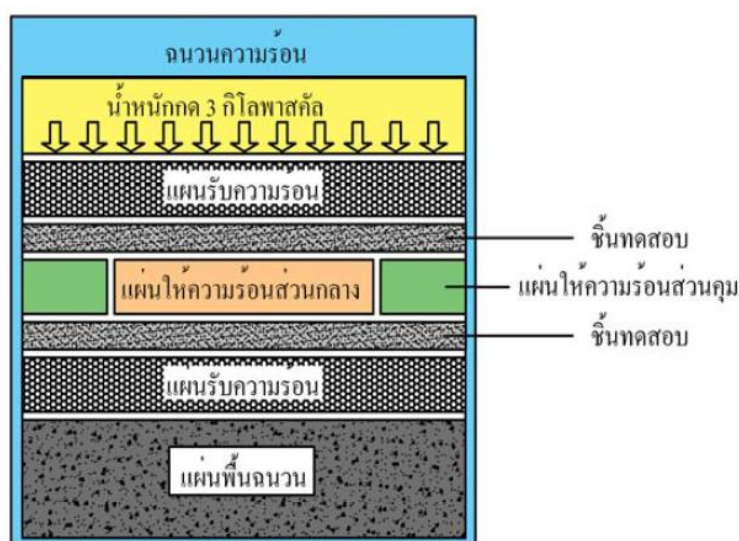
3.2.5 ทดสอบความสามารถในการนำความร้อน (thermal conductivity) ASTM C177 ของอิฐดินมวลเบาผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ

การทดสอบสภาพการนำความร้อนของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยจากธรรมชาติ มีวิธีการทดสอบดังนี้ วิธีการทดสอบแต่ละส่วนประกอบจะหล่อขึ้นงานทดสอบกว้าง 305 มม. ยาว 305 มม. และลึก 25 มม. จำนวน 2 ชิ้น หลังจากนั้นทำการวัดขนาดน้ำหนัก เพื่อคำนวณหาความหนาแน่น และวางแผ่นขึ้นงานลงบนเครื่องมือทดสอบ (guarded-hot-plate apparatus) ตามมาตรฐาน AAC 11.2 ดังแสดงในรูป 11 หลังจากนั้นทำการปรับค่าอุณหภูมิของแผ่นให้ความร้อน ทั้งบนและล่างให้มีขนาดเท่ากัน ทำการวัดอุณหภูมิทุกๆ 2 ซม. หลังจากนั้นทำการคำนวณค่าการนำความร้อนโดยสมการที่ 2

$$R = \frac{Q}{2A} \times \frac{D}{dt} \quad (7)$$

โดย R คือค่าการนำความร้อน (W/mK), Q คือ กำลังเฉลี่ยของเครื่องทดสอบ (W), D คือ ความหนาของชั้นทดสอบ (เมตร), dt คือความแตกต่างของอุณหภูมิด้านที่ให้ความร้อนและด้านวัด , A คือพื้นที่หน้าสัมผัส(ตารางเมตร)

โดยการทดสอบได้รับการอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยโลหะและวัสดุแห่งชาติ ทำการทดสอบ



รูปที่ 11. แผนภาพแสดงเครื่องมือทดสอบหาค่าการนำความร้อนของแผ่นซีเมนต์

3.2.6 หอ้ตราส่วนที่เหมาะสม(Optimize),ของอิฐดินมวลเบาผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ

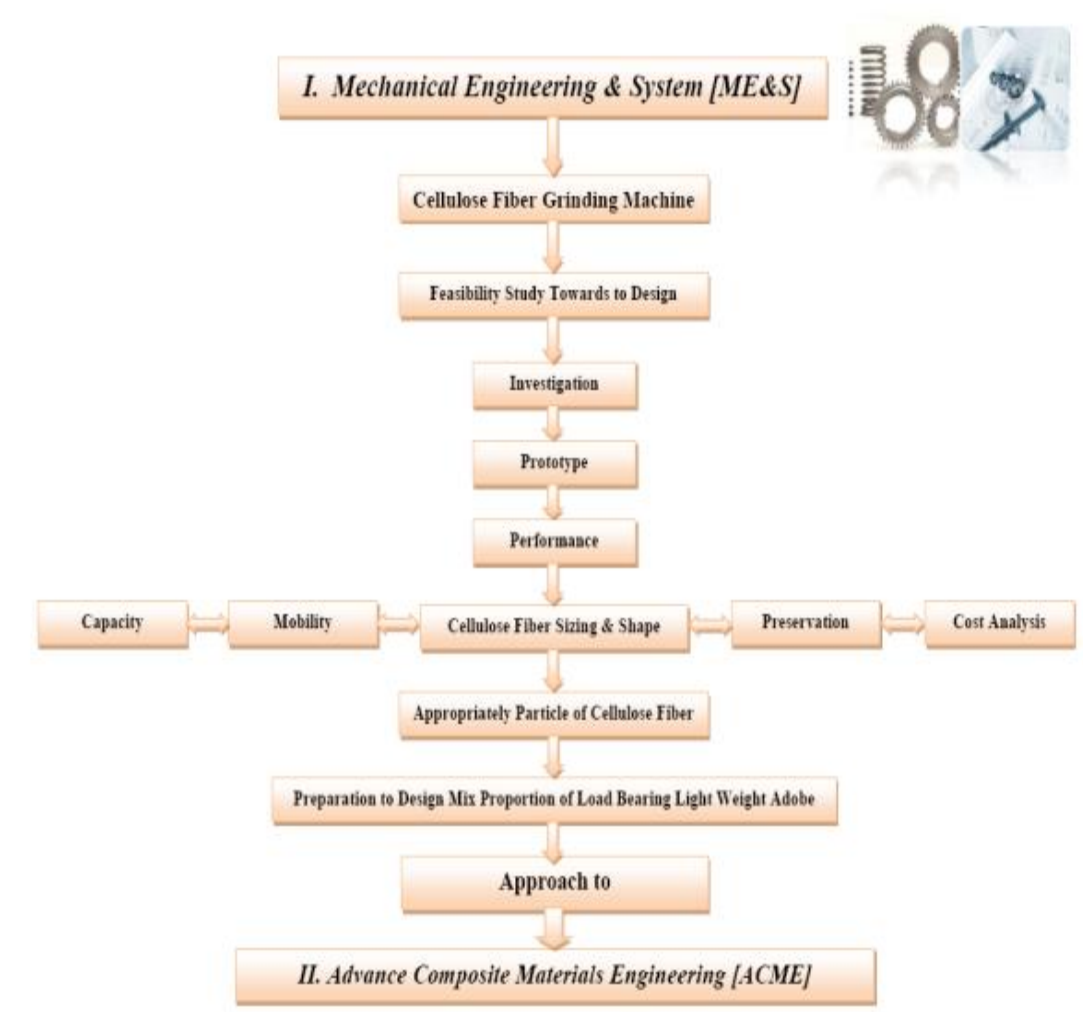
3.2.7 ทดสอบหาค่าการชะล้างโลหะหนัก (Leachate Extraction Procedure) ที่อายุการบ่ม 28 วัน

วิธีที่ใช้คือ วิธี TCLP ตามมาตรฐาน US EPA SW-846 Method 1311 (TCPL) โดยเริ่มจากนำตัวอย่างของดินราชบุรี ปูนขาวและเศษไม้บดที่เป็นของแข็งแห้ง (100% solid) มาบดให้เป็นผง แล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 9.5 มิลลิเมตร จากนั้นเติมสารละลายสกัดในอัตราส่วนของเหลวต่อของแข็งเท่ากับ 20 ต่อ 1 โดยสารละลายสกัดสำหรับวิธีนี้ คืออะซิเตทบัฟเฟอร์พีเอชเท่ากับ 4.93 แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแบบหมุนด้วยความเร็ว 30 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 18 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส จากนั้นนำสารละลายที่ได้มาทำการกรองด้วยกระดาษกรองใยแก้ว (Borosilicate

Glass Fiber Filter) ที่มีขนาดรูพรุน 0.7 ไมโครเมตร สำหรับของเหลวที่ผ่านการกรองได้นำไปวิเคราะห์หาปริมาณของอะลูมิเนียม แคลเซียม โครเมียม ทองแดง เหล็ก ตะกั่ว แมงกานีส นิเกิล และสังกะสี โดยใช้วิธี AAS

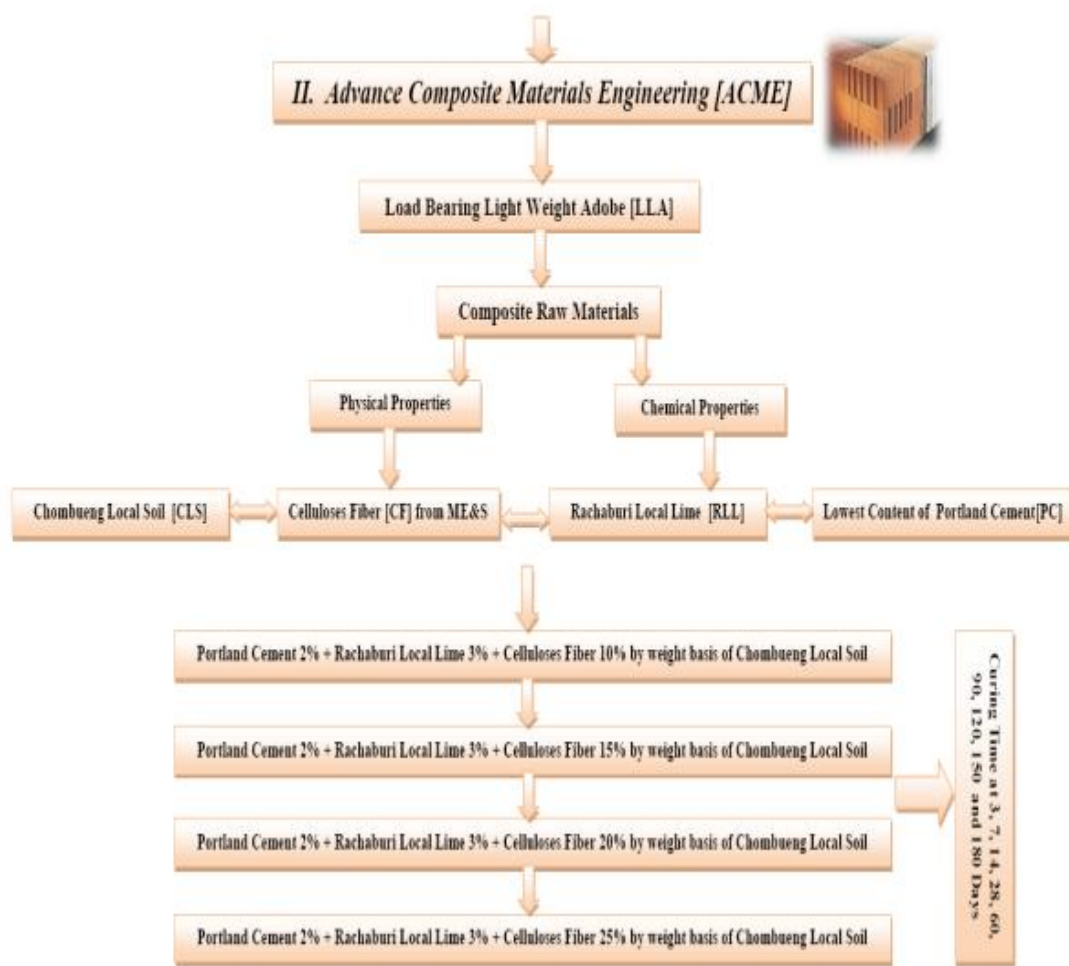
แผนผังงานวิจัย

PROCEDURE & RELATIONSHIP OF ACTIVITIES COMBINATION CHART



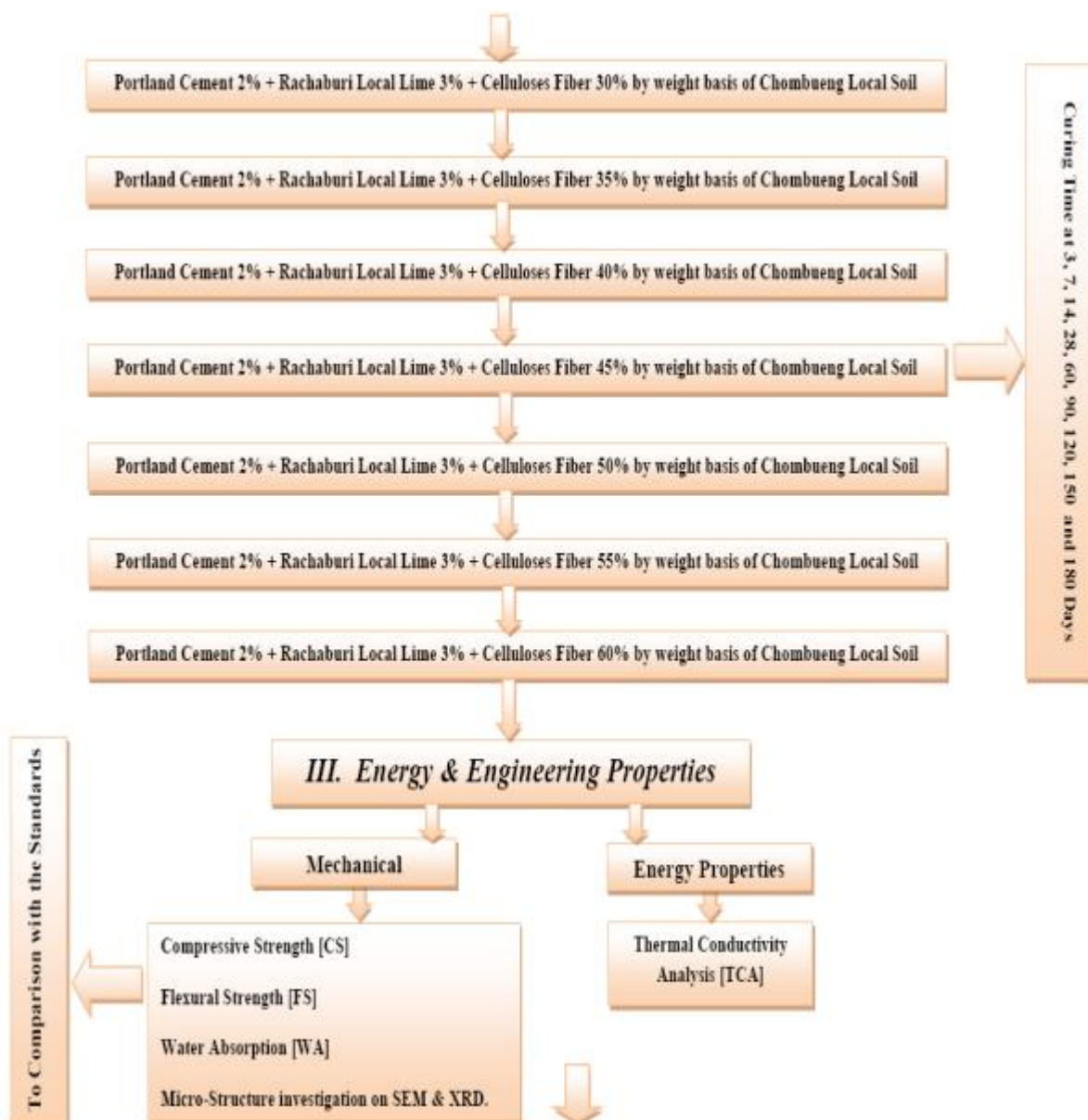
รูปที่ 12. แสดงขั้นตอนวิจัยด้านวิศวกรรมเครื่องกลและระบบเพื่อสร้างเครื่องต้นแบบ(Prototype) ย่อยเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติของชุมชนสำหรับใช้เป็นวัสดุผสมธรรมชาติเพื่อพัฒนาร่วมเป็น วิศวกรรมวัสดุเชิงประกอบขั้นสูง (Advance Composite Materials Engineering., ACME)

PROCEDURE & RELATIONSHIP OF ACTIVITIES COMBINATION CHART (Cont.)



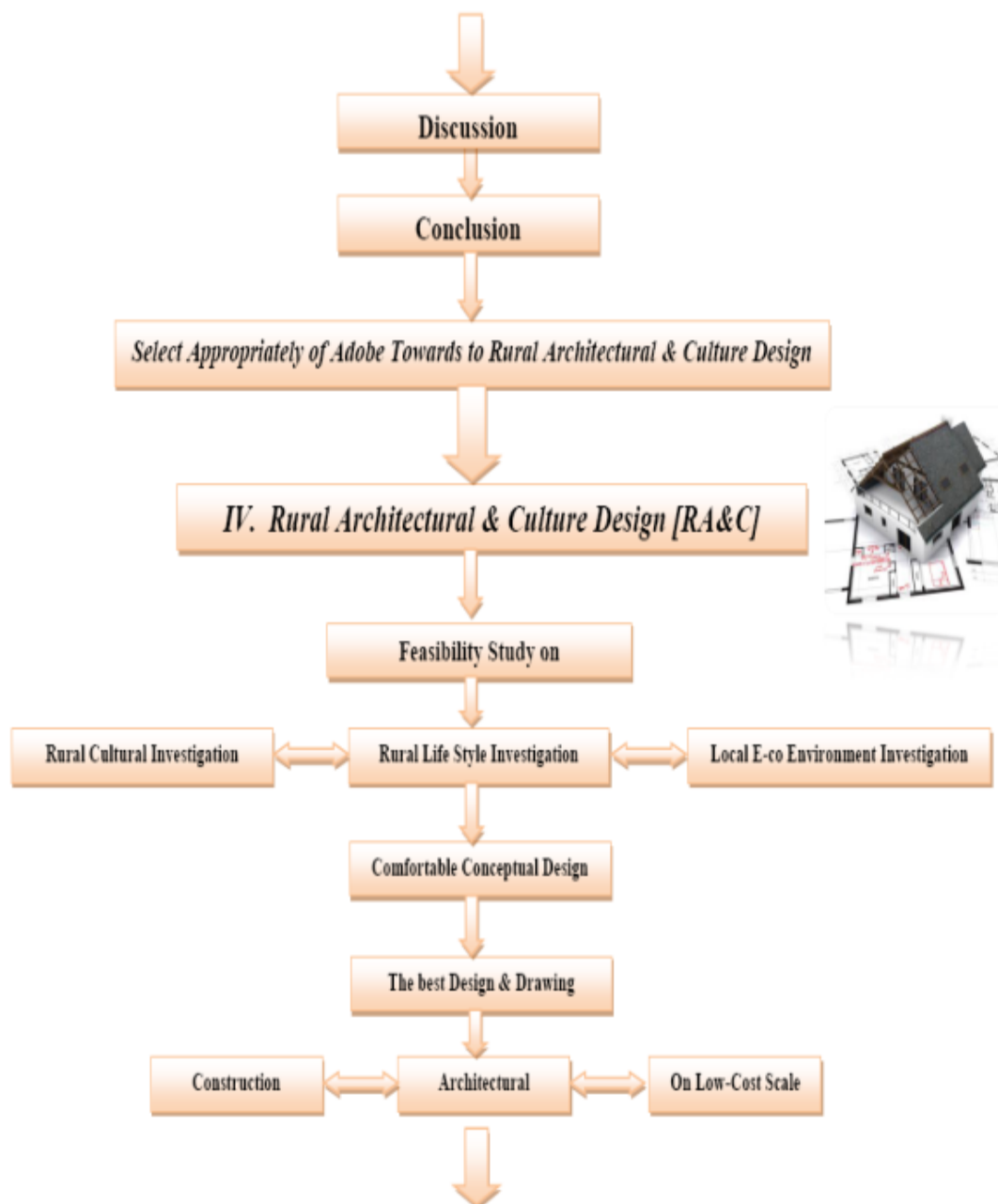
รูปที่ 12. แสดงขั้นตอนที่ 2. และ 3. วิจัยด้านวิศวกรรมพลังงาน-สิ่งแวดล้อมและวัสดุเชิงประกอบขั้นสูงที่ได้จากเครื่องย่อยต้นแบบที่สามารถย่อยใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติของชุมชนสำหรับใช้เป็นใยวัสดุ ผสมธรรมชาติเพื่อพัฒนาร่วมเป็น อิฐดินรับรแรงนำพลังงานความร้อนต่ำเสริมเส้นใยธรรมชาติชนิดเบา (ต่อ)

PROCEDURE & RELATIONSHIP OF ACTIVITIES COMBINATION CHART (Cont.)



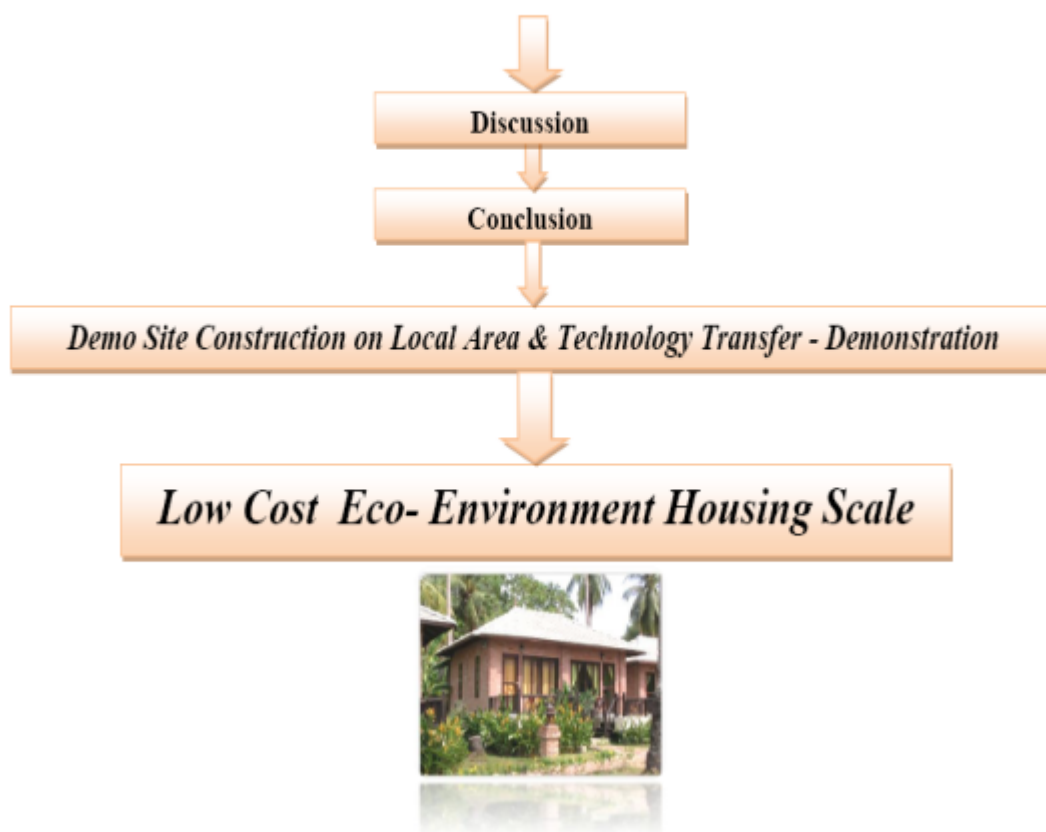
รูปที่ 13. แสดงขั้นตอนที่ 2. และ 3. วิจัยด้านวิศวกรรมพลังงาน-สิ่งแวดล้อมและวัสดุเชิงประกอบขั้นสูงที่ได้จากเครื่องย่อยต้นแบบที่สามารถย่อยใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติของชุมชนสำหรับใช้เป็นใยวัสดุ ผสมธรรมชาติเพื่อพัฒนาร่วมเป็น อิฐดินรับร่งนำพลังงานความร้อนต่ำเสริมเส้นใยธรรมชาติชนิดเบา (ต่อ)

PROCEDURE & RELATIONSHIP OF ACTIVITIES COMBINATION CHART (Cont.)



รูปที่ 14. แสดงขั้นตอนที่ 4. วิจัยด้านสถาปัตยกรรมท้องถิ่นและวัฒนธรรม จากการวิจัยด้านวิศวกรรม พลังงาน-สิ่งแวดล้อมและวัสดุเชิงประกอบขั้นสูงที่ได้จากเครื่องย่อดันแบบที่สามารถย่อยใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติของชุมชนสำหรับใช้เป็นใยวัสดุผสมธรรมชาติเพื่อพัฒนาร่วมเป็นอิฐดินรับแรงนำพลังงานความร้อนต่ำเสริมเส้นใยธรรมชาติชนิดเบา เพื่อออกแบบและแนวทางก่อสร้าง

PROCEDURE & RELATIONSHIP OF ACTIVITIES COMBINATION CHART (Cont.)



รูปที่ 15. แสดงประสิทธิผลของเป้าหมายงานวิจัย ด้านสถาปัตยกรรมท้องถิ่นและวัฒนธรรม ด้านวิศวกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม และ ด้านวิศวกรรมวัสดุเชิงประกอบขั้นสูง เพื่อนำไปสู่ “ การพลิกฟื้น ด้านสถาปัตยกรรมท้องถิ่นสำหรับธุรกิจท่องเที่ยวและบ้านต้นทุนต่ำเชิงนิเวศน์สิ่งแวดล้อม ”

บทที่ 4

ผลการทดสอบและวิเคราะห์

การวิเคราะห์ผลสามารถแยกเป็น 2 ส่วนคือ ออกแบบและผลิตเครื่องย่อยเศษกิ่งไม้และใบไม้ และวัสดุเชิงวิศวกรรมขั้นสูง

4.1 ออกแบบและผลิตเครื่องย่อยเศษกิ่งไม้และใบไม้

การวิเคราะห์ผลการประเมินคุณภาพของการออกแบบและสร้างเครื่องย่อยฯโดยภาพรวมของทั้ง 3 ด้านคือด้านโครงสร้าง ด้านใช้งาน และ ด้านผลผลิต มีผลการวิเคราะห์ปรากฏดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5. แสดงผลการประเมินคุณภาพเครื่องย่อยฯทั้ง 3 ด้าน

รายละเอียดการประเมิน	$\bar{X}$	S.D
ด้านรูปแบบ-โครงสร้าง	3.79	0.47
การใช้งาน	4.12	0.61
ผลลัพธ์	3.88	0.38
ค่าเฉลี่ย	3.93	0.49

ตารางที่3.พิจารณาค่าเฉลี่ยจากความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด (7 ผู้เชี่ยวชาญ) มีค่า 3.93 ซึ่งอยู่ในช่วง 3.50 - 4.49 ซึ่งพบว่าการออกแบบและโครงสร้างของเครื่องย่อยฯมีคุณภาพดี

a) ด้านโครงสร้างได้ออกแบบการประเมินออกเป็น 6 ประเด็นโดยผู้เชี่ยวชาญทั้ง 7 ท่านดังต่อไปนี้

ตารางที่ 6. แสดงผลการประเมินคุณภาพด้านโครงสร้างเครื่องย่อยฯ

รายละเอียดการประเมิน	$\bar{X}$	S.D
ด้านการออกแบบ	4.31	0.50
ด้านอุปกรณ์	4.05	0.59
ด้านวัสดุ	3.98	0.45
ด้านความปลอดภัยกับการใช้งาน	4.44	0.58
รูปร่างและการเคลื่อนย้าย	4.32	0.50
ความคงทนต่อสภาพการใช้งาน	4.37	0.52
ค่าเฉลี่ย	4.25	0.52

จากตารางที่ 4. ด้านโครงสร้างเครื่องย่อยฯ ของผู้ประเมินทั้ง 7 ท่านได้มีค่า 4.25 พบว่าช่วงเกณฑ์ระหว่างค่า 3.50 - 4.49 ซึ่งด้านโครงสร้างของเครื่องย่อยฯนี้มีคุณภาพดี

b) สำหรับการใช้งานกำหนดรายการประเมิน 7 ประเด็นดังนี้

ตารางที่ 7. แสดงผลการประเมินคุณภาพด้านการใช้งานเครื่องย่อยฯ

รายละเอียดการประเมิน	$\bar{X}$	S.D
ด้านเสียงขณะทดสอบ	3.33	0.64
ด้านทำความสะอาดหลังทดสอบ	4.27	0.62
ด้านบำรุงรักษา	4.05	0.59
ด้านสะดวกในการเคลื่อนย้าย	4.23	0.50
การใช้งานของระบบ	3.89	0.36
การนำชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ออกจากเครื่องฯ	4.08	0.88
การลำเลียงวัตถุดิบ	3.65	0.48
ค่าเฉลี่ย	3.93	0.58

จากตารางที่ 5. ด้านการใช้งานโดยเฉลี่ยจากผู้ประเมินทั้ง 7 ท่านมีค่า 3.93 อยู่ในเกณฑ์ 3.50 - 4.49 ซึ่งแสดงว่าด้านการใช้งานของเครื่องย่อยฯ นี้มีคุณภาพดี

c) ด้านผลลัพธ์และผลิตผลกำหนดรายการประเมินเป็น 2 ประเด็นดังต่อไปนี้

d)

ตารางที่ 8. แสดงผลการประเมินคุณภาพด้านผลลัพธ์และผลิตผลของเครื่องย่อยฯ

รายละเอียดการประเมิน	$\bar{X}$	S.D
ด้านการย่อยที่ได้ตามขนาด	3.96	0.39
ประสิทธิภาพการย่อย 8 กก./นาท	4.11	0.40
ค่าเฉลี่ย	4.03	0.59

จากตารางที่ 6. ด้านผลลัพธ์และผลิตผลมีค่าเท่ากับ 4.03 อยู่ในเกณฑ์ 3.50 - 4.49 แสดงว่าด้านผลิตผลของเครื่องย่อยฯ นี้มีคุณภาพดี

e) ด้านประสิทธิภาพของเครื่องย่อยฯ กำหนดทดสอบ 10 ครั้ง ๆ ละ 1 นาที่ครั้งดังนี้

ตารางที่ 9. แสดงผลด้านประสิทธิภาพของเครื่องย่อยฯ

รายละเอียดการประเมิน	ขนาดย่อยที่ต้องการ, kg	น้ำหนักรวม/นาท, kg	เศษที่เสียหาย, kg
ทดสอบครั้งที่ 1.	6.73	8.22	1.49
ทดสอบครั้งที่ 2.	5.65	7.94	2.29
ทดสอบครั้งที่ 3.	4.96	8.17	3.21
ทดสอบครั้งที่ 4.	6.15	8.05	1.90
ทดสอบครั้งที่ 5.	5.68	7.89	2.21
ทดสอบครั้งที่ 6.	6.93	8.11	1.18
ทดสอบครั้งที่ 7.	5.29	8.21	2.92
ทดสอบครั้งที่ 8.	5.92	7.71	1.79
ทดสอบครั้งที่ 9.	6.33	8.33	2.00
ทดสอบครั้งที่ 10.	7.02	8.41	1.39
ค่าเฉลี่ย	6.07	8.10	1.93

จากตารางที่ 7. แสดงประสิทธิภาพของเครื่องย่อยฯทั้งสิ้น 10 ครั้งๆ ละ 1 นาทีสามารถย่อยน้ำหนักโดยเฉลี่ย 8.10 กก./นาทีสามารถย่อยขนาดที่ต้องการได้น้ำหนักโดยเฉลี่ย 6.07 กก./นาที



รูปที่ 16. แสดงเครื่องย่อยเศษไม้และใบไม้

4.2 วัสดุเชิงวิศวกรรมขั้นสูง

ผลการศึกษาและการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านต่างๆ ของอิฐมวลเบาซึ่งเป็นส่วนผสมจาก ดินท้องถิ่นราชบุรี ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1, ปูนขาวท้องถิ่น และเส้นใยคาร์โบไฮเดรตจากการบดเศษไม้และใบไม้ โดยปริมาณส่วนผสมที่คงที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 2 ปูนขาวท้องถิ่นร้อยละ 10 และเส้นใยคาร์โบไฮเดรตจากการบดเศษไม้และบดร้อยละ ร้อยละ 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงทั้งหมด 0.2354, 0.2468, 0.2367, 0.2778, 0.291,

0.3041, 0.3247, 0.3477, 0.3567, 0.3876 และ 0.3977 เปรียบเทียบกับอิฐดินผสมปูนซีเมนต์ควบคุมที่ไม่ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตที่ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ร้อยละ 2 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงทั้งหมด 0.1547 สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

4.2.1 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมี (The study of chemical & physical properties)

4.2.1.1 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของวัตถุดิบ (Chemical & physical properties of raw materials)

จากการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีด้วยวิธี X-Ray Fluorescence (XRF) นั้น เมื่อพิจารณาถึงผลรวมของออกไซด์หลักที่มีผลต่อการทำปฏิกิริยา อาทิเช่นซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) และ อลูมินา (Al_2O_3) ของดินท้องถิ่นจากแหล่งอำเภopakทอ จังหวัดราชบุรี มีค่าร้อยละ 81.91 และปูนขาวท้องถิ่นจากจังหวัดราชบุรีมีค่าร้อยละ 54.93 และค่าสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้ที่ร้อยละ 2.39 และ 43.19ตามลำดับ ดังแสดงใน ตารางที่ 6ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าทั้งดินราชบุรีและปูนขาวราชบุรี มีคุณสมบัติเพียงพอ ที่สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุเชิงประกอบร่วมกับปูนซีเมนต์

ตารางที่ 10. แสดงผลการทดสอบทางด้านเคมีของดินท้องถิ่นราชบุรี

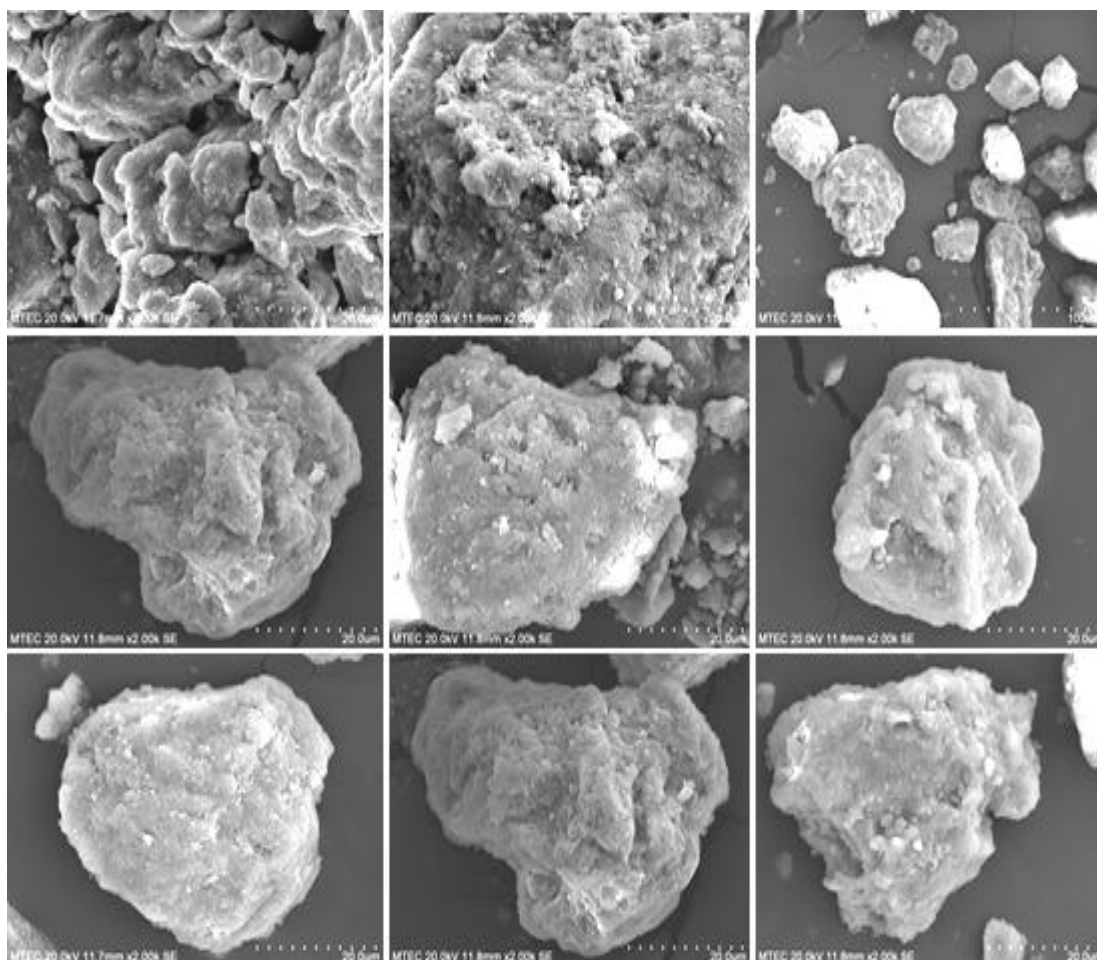
Oxides	Concentration(%)	
	Local soil	Local lime
MgO	1.25	0.73
Na ₂ O	N/A	0.74
Al ₂ O ₃	25.23	0.11
SiO ₂	38.47	0.24
P ₂ O ₅	0.17	0.10
SO ₃	6.04	0.04
Cl	0.04	0.04
K ₂ O	0.87	0.11
CaO	18.21	54.58

ตารางที่ 11. แสดงผลการทดสอบทางด้านเคมีของดินท้องถิ่นราชบุรี(ต่อ)

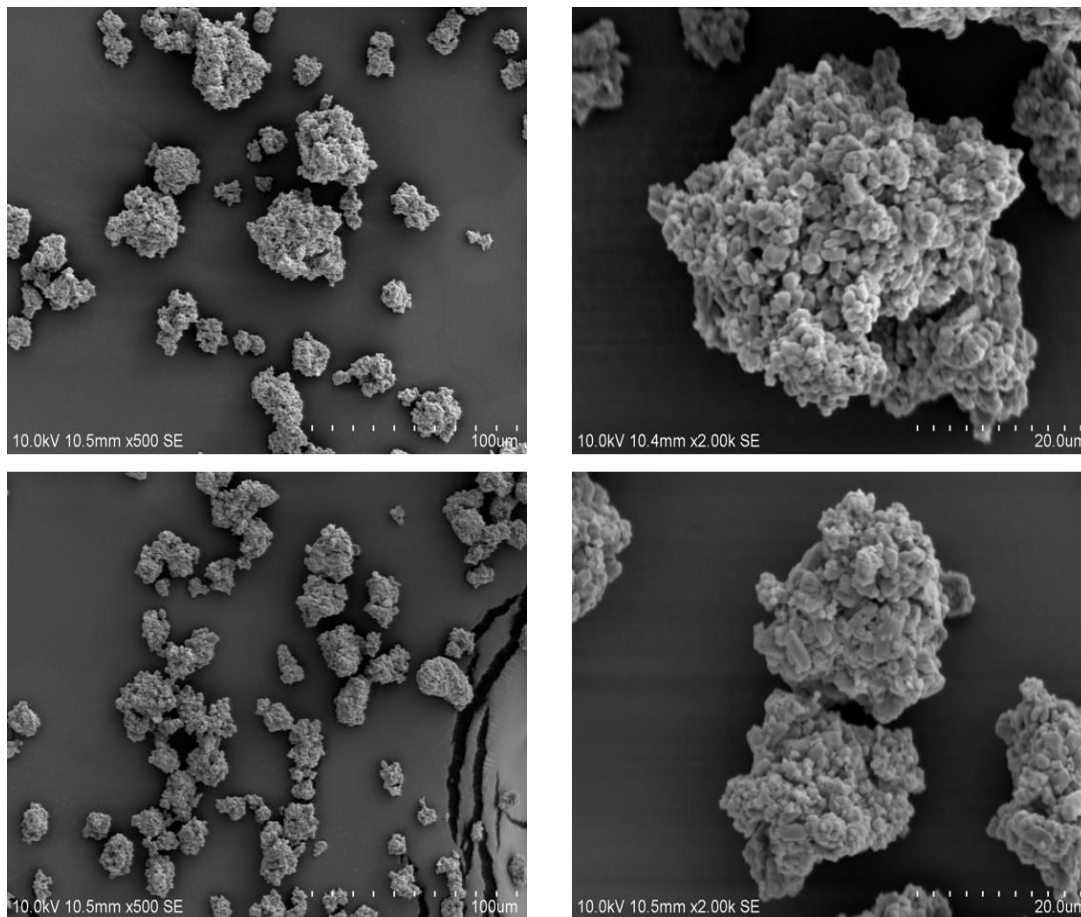
TiO ₂	1.2	N/A
MnO	0.07	0.02
Fe ₂ O ₃	7.85	0.08
NiO	0.01	N/A
CuO	0.01	N/A
Rb ₂ O	<0.01	N/A
SrO	0.05	0.03
BaO	0.07	N/A
LOI	2.39	43.19

4.2.1.2 ผลการทดสอบและวิเคราะห์รูปร่างและขนาดอนุภาค (Shape and particle size analysis)

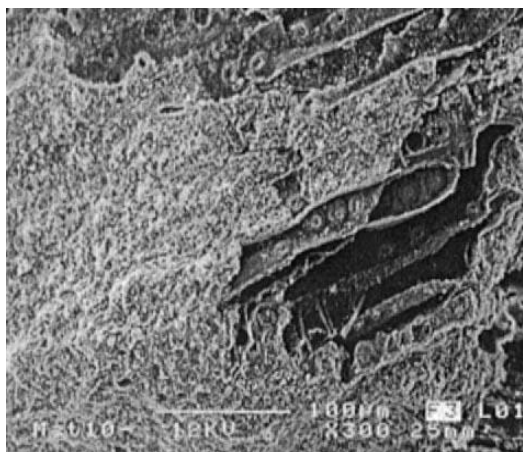
จากภาพถ่ายด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ของดินท้องถิ่นราชบุรี ดังรูปที่ 17 พบว่ามีลักษณะและรูปร่างที่ค่อนข้างเป็นเหลี่ยมมุมเนื้อแน่นมากและผิวขรุขระจากการพิจารณาอนุภาคของดินเหนียวท้องถิ่นราชบุรีซึ่งมีขนาดเฉลี่ย 56.47 ไมโครเมตร ส่วนรูปร่างของปูนขาวมีลักษณะเป็นทรงกลมเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดประมาณ 10 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 18 และผลการวิเคราะห์การเข้ากันได้ของเส้นใยคาร์โบไฮเดรตแสดงดังรูปที่ 19 จากภาพแสดงให้เห็นชัดเจนว่าเศษกิ่งไม้ย่อยมีลักษณะเป็นรูปทรงต่างๆละกันไป ซึ่งมีทั้งแบบกลวงและแบบแท่งซึ่งด้วยเหตุผลนี้จึงทำให้น้ำหนักของอิฐมีลักษณะเบา และเป็นฉนวนได้ดี แต่อย่างไรก็ดี รูปทรงที่มีอยู่เป็นจำนวนมากอาจจะส่งผลต่อคุณสมบัติด้านความแข็งแรงของคอนกรีต



รูปที่ 17. แสดงอนุภาคขยายของดินท้องถิ่นอำเภอปากท่อ จ.ราชบุรี



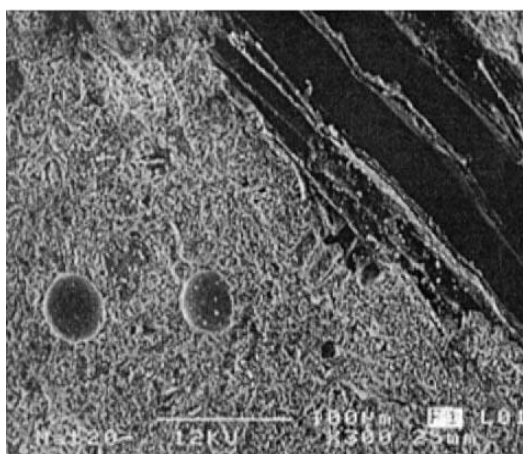
รูปที่ 18. แสดงอนุภาคขยายของปูนขาวท้องถิ่นราชบุรี



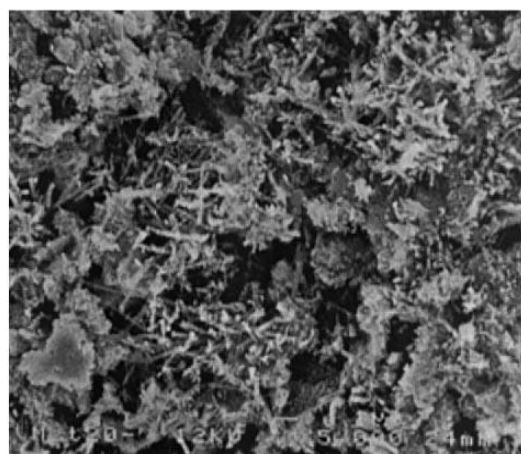
10% (×300)



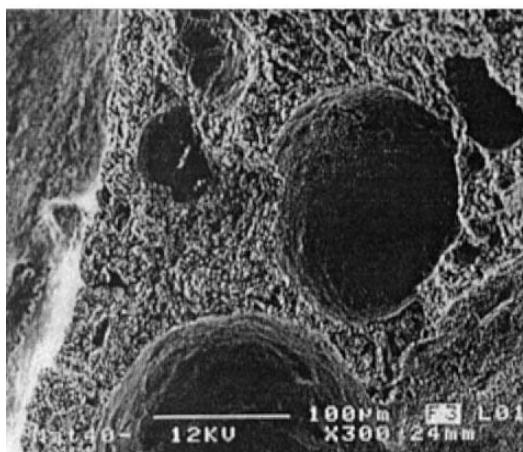
0% (×5000)



20% (×300)



20% (×5000)



40% (×300)



40% (×5000)

รูปที่ 19. ภาพถ่ายอนุภาคขยายโดยใช้ Scanning Electron Microscope ของอิฐมวลเบาผสมเส้นใยคาร์บอนไฟเบอร์ที่ปริมาณต่างๆ

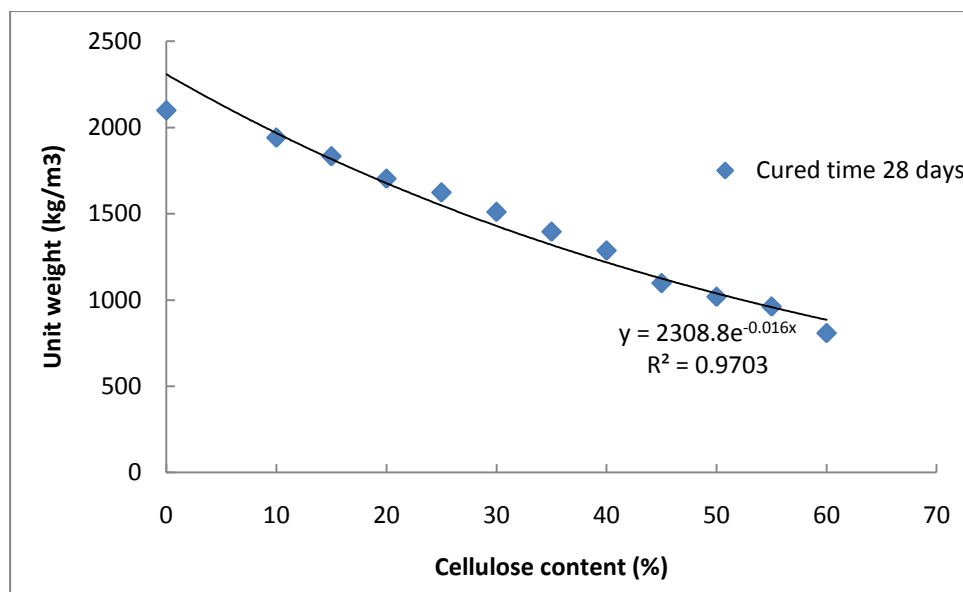
4.2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ (Physical properties of products)

4.2.2.1 คุณสมบัติด้านหน่วยน้ำหนักของอิฐมวลเบาผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรต ที่ปริมาณต่างๆ

a). ผลของปริมาณเส้นใยคาร์โบไฮเดรตที่มีต่อคุณสมบัติด้านหน่วยน้ำหนัก

จากการทดสอบค่าหน่วยน้ำหนักของอิฐดินซีเมนต์ควบคุม (control) ซึ่งไม่มีส่วนผสมของเส้นใยคาร์โบไฮเดรต เปรียบเทียบกับอิฐมวลเบา ถูกแทนที่เส้นใยคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60 โดยการทดสอบทำการเปรียบเทียบผลที่อายุการบ่ม 28 วัน พบว่าค่าหน่วยน้ำหนักของอิฐดินซีเมนต์ควบคุมมีค่ามากกว่าอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตในทุกสัดส่วน ปริมาณการลดลงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการเพิ่มปริมาณของเส้นใยคาร์โบไฮเดรตสามารถแสดงดังสมการ $y = 2308.8e^{-0.016x}$ ดังแสดงในรูปที่ 20 ค่าของหน่วยน้ำหนักของอิฐดินควบคุม มีค่า 2100 kg/m³ ส่วนอิฐมวลเบาผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรต ที่ 60% มีค่าเท่ากับ 712 kg/m³ ซึ่งลดลงถึง 66.09%

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการเติมเส้นใยคาร์โบไฮเดรต ลงในอิฐมวลเบาเชิงประกอบ มากเท่าไร ค่าหน่วยน้ำหนักยังมีค่าลดลง ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าการเติมเส้นใยคาร์โบไฮเดรต ที่ได้มาจากการย่อยเศษไม้และใบไม้ ซึ่งมีค่าถ่วงจำเพาะต่ำมาก เมื่อเปรียบเทียบกับดินหรือผงปูนซีเมนต์ ซึ่งนี่คือเหตุผลว่าทำไมค่าถ่วงจำเพาะจึงมีค่าลดต่ำลงจนต่ำกว่า 1000 kg/m³ ซึ่งเป็นความถ่วงจำเพาะของน้ำ นั่นแสดงว่าอิฐมวลเบาผสมเส้นใยธรรมชาตินี้เบาจนสามารถลอยน้ำได้ ที่ปริมาณเส้นใยคาร์โบไฮเดรตที่สูง แต่อย่างไรก็ดีคุณสมบัติด้านอื่นๆต้องถูกพิจารณาซึ่งจะแสดงในหัวข้อถัดๆไป



รูปที่ 20. หน่วยน้ำหนักของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ที่ปริมาณ 0, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60 โดยน้ำหนัก

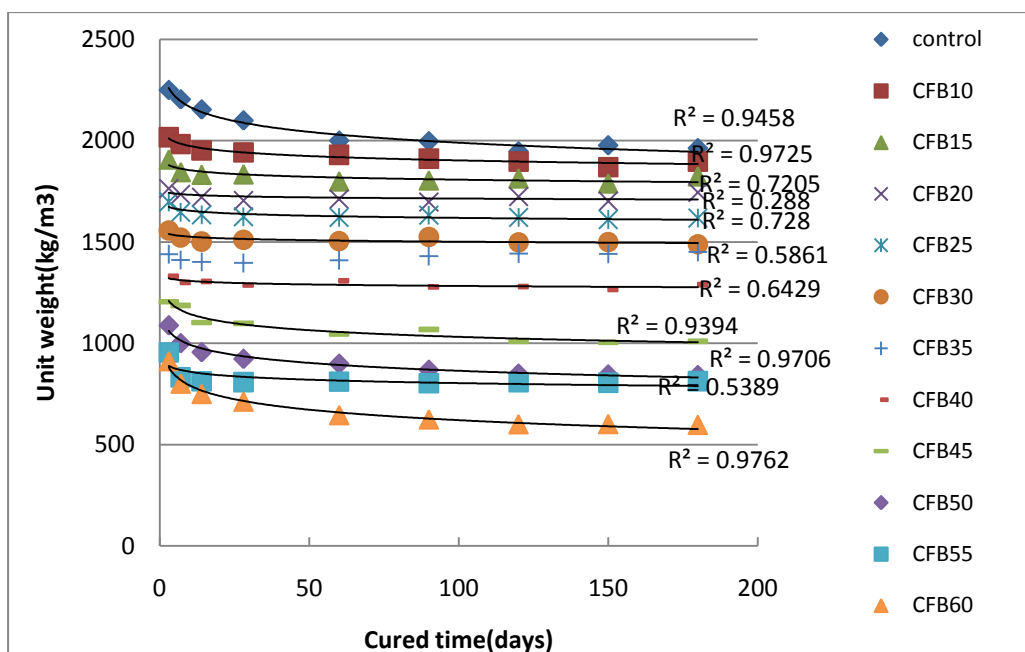
b). อิทธิพลของระยะเวลาการบ่มที่มีต่อค่าหน่วยน้ำหนักณ อัตราส่วนต่างๆ

พิจารณากราฟรูปที่ 21 แสดงความสัมพันธ์ของผลการทดสอบค่าน้ำหนัก ของอิฐดินซีเมนต์ควบคุม เปรียบเทียบกับ อิฐมวลเบาซึ่งเป็นส่วนผสมจาก ดินท้องถิ่นราชบุรี ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ร้อยละ 2, ปูนขาวท้องถิ่นร้อยละ 10 และเส้นใยคาร์โบไฮเดรตที่ได้จากการบดเศษไม้ และใบไม้ ที่ปริมาณต่างๆ ตั้งแต่ 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60 ที่มีอัตราส่วนปริมาณ น้ำต่อวัสดุผงเฉลี่ย ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงทั้งหมด (w/p) 0.2354, 0.2468, 0.2367, 0.2778, 0.291, 0.3041, 0.3247, 0.3477, 0.3567, 0.3876 และ 0.3977 ตามลำดับ ที่อายุการบ่มตั้งแต่ 3, 7, 14, 28, 60, 90, 120, 150 และ 180 วัน ผลการทดสอบแสดงว่าทุกอัตราส่วนของปริมาณผงเส้นใยคาร์โบไฮเดรต รวมถึงอิฐซีเมนต์ควบคุม ให้ค่าหน่วยน้ำหนักสูงสุดที่อายุการบ่ม 3 วัน

การอธิบายปัจจัยการลดลงของหน่วยน้ำหนักนี้ เกิดจากการสูญเสียปริมาณน้ำในส่วนผสมของ อิฐ อาจจะแบ่งเป็น 3 ส่วน กล่าวคือ ปริมาณน้ำบางส่วนไปทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ (Hydration reaction) ในช่วงอายุ 28 วัน ซึ่งปฏิกิริยานี้เป็นส่วนหลักของการสูญเสียน้ำซึ่งเห็นได้จากการลดลง

ของกราฟ อย่างรวดเร็วในช่วง 28 วันแรกหลังจากนั้นจะเกิด ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic reaction) ระหว่าง C-H และ SiO_2 ที่อายุหลัง 28 วัน ส่วนสุดท้ายอาจจะหายไปในช่วงการบ่ม จึงน่าจะเป็นสาเหตุของการลดลงของหน่วยน้ำหนักตามอายุการบ่มที่มากขึ้น เช่นเดียวกัน อิฐดินซีเมนต์ผสมยางรีเตลมเส้นใยคาร์โบไฮเดรต มีค่าของหน่วยน้ำหนักลดลงตามปริมาณการ บ่มที่เพิ่มขึ้น แต่อัตราการลดลงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น เช่นที่ ปริมาณร้อยละ 30 ของเส้นใยคาร์โบไฮเดรต ค่าหน่วยน้ำหนักลดลง 4.43 % เมื่อเปรียบเทียบจาก 3 วันและ 180 วัน แต่ที่ ปริมาณร้อยละ 60 ค่าหน่วยน้ำหนักลดลงถึง 34.54%

ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่า ยิ่งปริมาณเส้นใยคาร์โบไฮเดรตมากเท่าไร การเกิดรูพรุนในคอนกรีตมีมากขึ้น และจากคุณสมบัติดูดซับน้ำที่ดีของเส้นใย เป็นผลให้มีปริมาณน้ำในคอนกรีตสูงในช่วงแรก จากนั้นน้ำบางส่วนจะทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ และปฏิกิริยาปอซโซลาน สุดท้ายการสูญเสียน้ำจะเป็นการระเหยเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงเห็นได้ชัดว่าปริมาณน้ำลดลงเรื่อยๆจนกระทั่งอายุการบ่ม 180 วัน



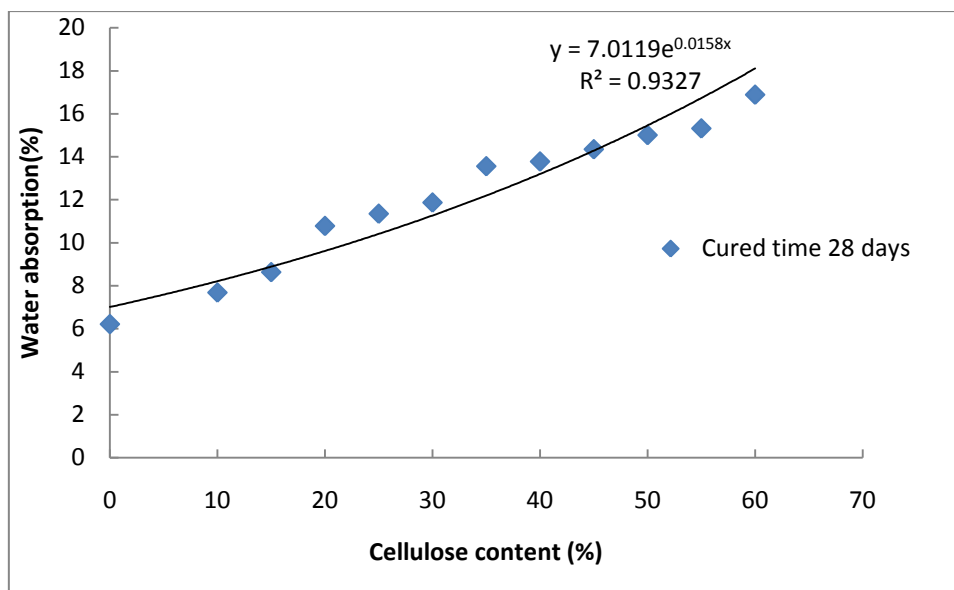
รูปที่ 21. แสดงค่าหน่วยน้ำหนักของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ที่อายุการบ่ม 3, 7, 14, 28, 60, 90, 120, 150 และ 180 วัน

c). คุณสมบัติด้านการดูดซึมน้ำ (Water absorption) ของอิฐมวลเบา ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ

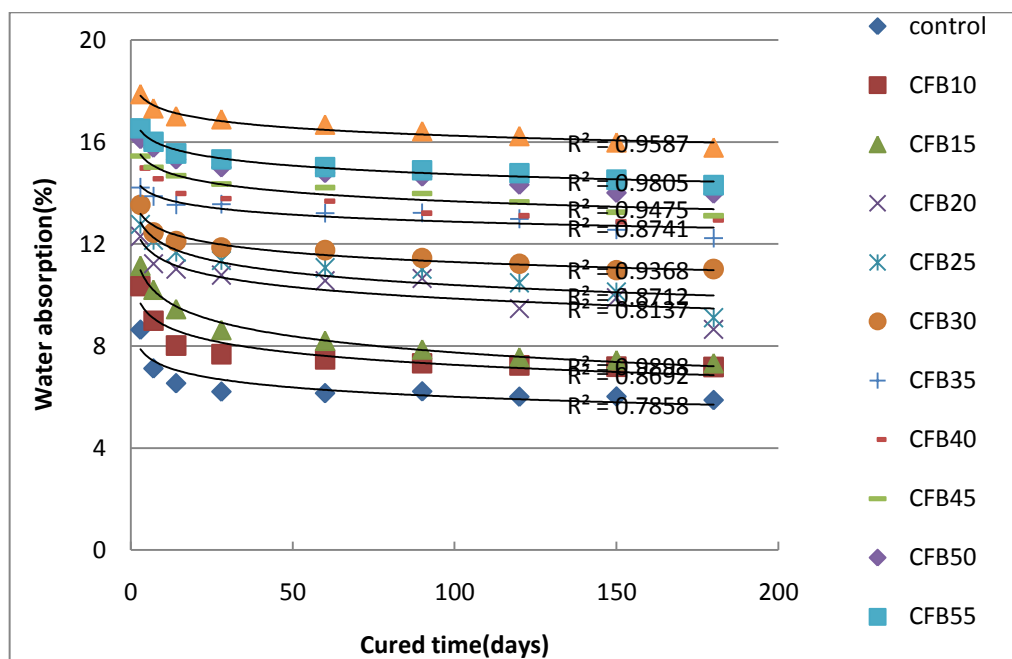
พิจารณาผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์ไม่มีส่วนผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ เปรียบเทียบกับอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติที่ 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60 โดยน้ำหนัก ที่อายุการบ่ม 28 วัน พบว่าค่าดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์มีค่าสูงสุดที่ปริมาณเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติร้อยละ 60 มีค่าเท่ากับร้อยละ 16.89 และจะมีค่าลดลงตามสัดส่วนการลดลงของปริมาณเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ตามสมการความสัมพันธ์ $y = 7.0119e^{0.0158x}$

โดยค่าดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์ต่ำสุดที่ปริมาณเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติร้อยละ 0 มีค่าเท่ากับร้อยละ 6.21 สำหรับเหตุผลที่สามารถอธิบายผลการทดสอบได้แบ่งเป็น 2 ส่วนคือส่วนแรกคือการที่เติมเส้นใยลงไปนั้นเป็นการเพิ่มรูพรุนในวัสดุ ซึ่งสามารถเห็นได้ชัดจากภาพถ่าย Scanning Electron Microscope (SEM) ดังแสดงในรูปที่ 17 ซึ่งรูพรุนเหล่านี้เองเป็นพื้นที่ที่กักเก็บน้ำ ส่วนที่สอง คือส่วนของ เส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ที่มีคุณสมบัติการดูดซึมน้ำที่ดีที่ ซึ่งนั่นคือข้ออธิบายของคุณสมบัติการดูดซึมน้ำที่สูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ รูปที่ 23 แสดงค่าการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์ ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ที่ระยะเวลาการบ่มที่ต่างกันนี้ 3, 7, 14, 28, 60, 90, 120, 150, และ 180 วัน

ผลการทดสอบแสดงว่าทุกอัตราส่วนของปริมาณเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติให้ค่าการดูดซึมน้ำสูงสุดที่อายุการบ่ม 3 วันและค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามก็ดีเพื่อพิจารณาผลการทดสอบโดยรวมพบว่าอัตราการดูดซึมน้ำของอิฐซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ มีค่าการดูดซึมน้ำไม่เกินมาตรฐาน มอก.77-2531 คือไม่มากกว่า 25%



รูปที่ 22. ค่าการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ที่ปริมาณ 0, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 23. ค่าการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ที่อายุการบ่ม 3, 7, 14, 28, 60, 90, 120, 150 และ 180 วัน

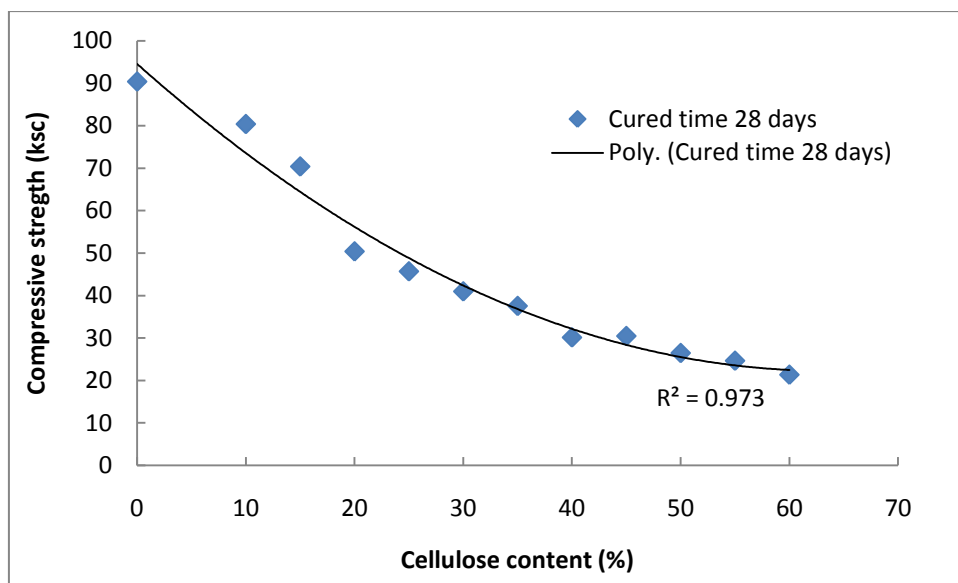
4.2.3 คุณสมบัติทางกลศาสตร์ (Mechanical properties)

4.2.3.1. กำลังต้านแรงอัด (Compressive strength) ของอิฐดินซีเมนต์ ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ

a). ผลของปริมาณเส้นใยคาร์โบไฮเดรตที่มีต่อกำลังอัดของวัสดุ

จากการทดสอบกำลังต้านแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์ ที่ปริมาณปูนซีเมนต์คงที่ร้อยละ 2 ปูนขาวท้องถิ่นร้อยละ 10 ดินท้องถิ่นราชบุรี และเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติร้อยละ 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60 โดยน้ำหนัก ทดสอบที่อายุการบ่ม 28 วัน เปรียบเทียบกันดังแสดงในรูปที่ 24. พบว่ากำลังต้านแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์ควบคุมซึ่งซึ่งไม่มีส่วนผสมของเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติมีค่าเท่ากับ 90.4 Kg.cm^{-2} , กำลังอัดของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติร้อยละ 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60 มีค่าเท่ากับ 80.4, 70.4, 50.4, 45.7, 40.98, 37.55, 30.14, 30.47, 26.74, 24.65 และ 21.36 Kg.cm^{-2} ตามลำดับ

จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติแทนที่ดินท้องถิ่นราชบุรี ค่ากำลังอัดมีค่าลดลงตามสมการความสัมพันธ์ $y = 0.0054x^2 - 1.135x + 70.06$ แสดงให้เห็นว่าเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ทำให้ความสามารถในการรับแรงกดลดน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับดินท้องถิ่นราชบุรี ซึ่งมีสาเหตุมาจากดินท้องถิ่นราชบุรีมีส่วนประกอบของสารเคมีที่สามารถทำปฏิกิริยาที่ให้ความแข็งแรงต่ออิฐได้ ต่างจากเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติซึ่งไม่มีคุณสมบัติรับแรง รวมถึงเพิ่มปริมาณรุกรุนที่สูงขึ้น แต่อย่างไรก็ดีค่าปริมาณเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติร้อยละ 10 มีค่า 80.4 ksc ซึ่งยังคงผ่านมาตรฐานกำลังอัดของกำแพงรับแรง ซึ่งมีค่ามากกว่า 80 ksc

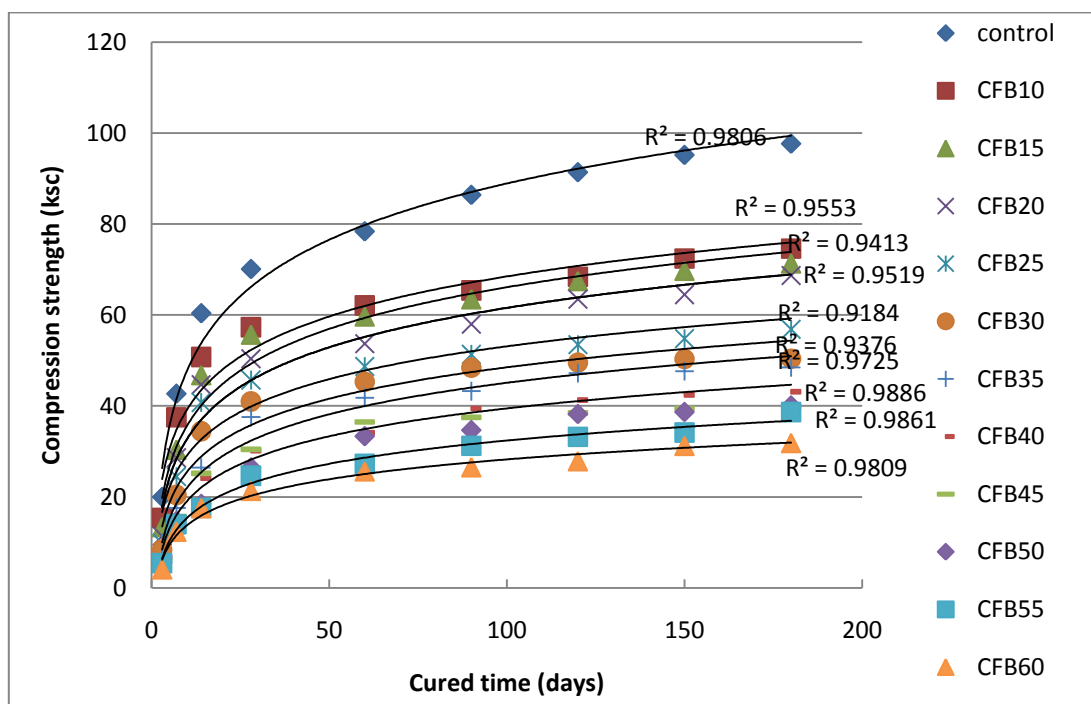


รูปที่ 24. ค่ากำลังอัดของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ที่ปริมาณ 0, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60 โดยน้ำหนัก

b). อิทธิพลของระยะเวลาการบ่มที่มีต่อแรงดันกำลังอัด

รูปที่ 25 แสดงความสัมพันธ์ของผลการทดสอบค่ากำลังอัดของอิฐดินซีเมนต์ควมคุม ซึ่งไม่มีส่วนผสมของเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ เปรียบเทียบกับ ที่มีส่วนผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ร้อยละ 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60 โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาการบ่ม 3, 7, 14, 28, 60, 90, 120, 150, และ 180 วัน โดยจะทำการพิจารณาถึงผลของการเพิ่มอายุการบ่มที่มีต่อค่ากำลังอัด พบว่าอิฐดินซีเมนต์ควมคุม มีค่าแรงดันกำลังอัดเพิ่มขึ้น เมื่ออายุบ่มเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกัน เมื่อพิจารณาอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ทุกสัดส่วน พบว่าค่ากำลังอัดก็ยังมีแนวโน้มที่สูงขึ้นตามอายุการบ่มที่มากขึ้นโดยเป็นไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือค่ากำลังอัดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงประมาณ 28 วันด้วยปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration reaction) หลังจากนั้นเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ด้วยปฏิกิริยา ปอซโซลาน (Pozzolanic reaction)

จากกราฟพบว่า ที่ปริมาณเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติสูงอัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังอัดจะต่ำลง หลังจาก 28 วัน สามารถอธิบายได้ว่า เนื่องจากการ ดินราหฐรึซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน ได้ถูกแทนที่ด้วยเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ดังนั้นอัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังอัดจึงลดต่ำลง

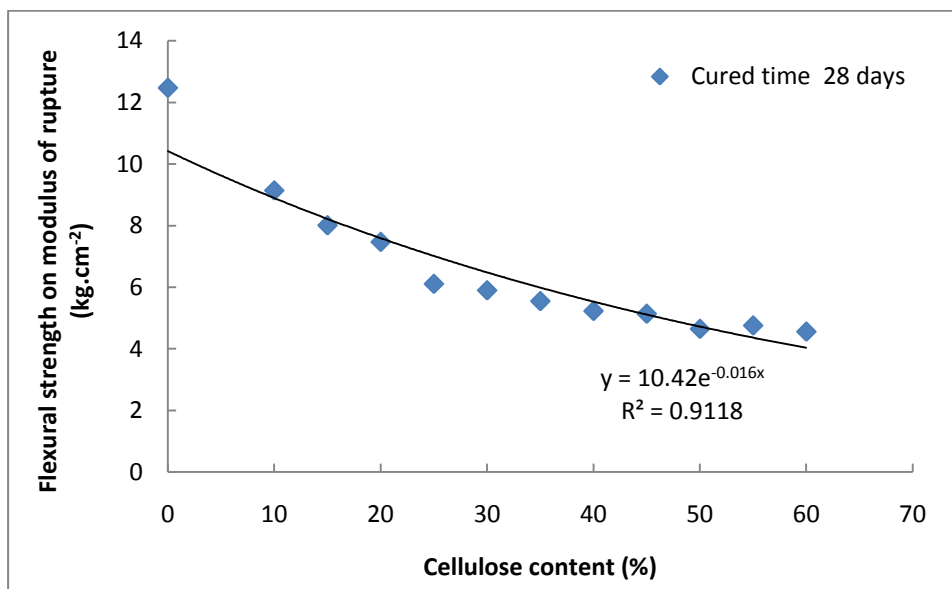


รูปที่ 25. ค่ากำลังอัดอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ที่อายุการบ่ม 3, 7, 14, 28, 60, 90, 120, 150 และ 180 วัน

4.2.3.2 กำลังค้ำ (Flexural Strength on Modulus of Rupture) ของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ

a). ผลของปริมาณเส้นใยคาร์โบไฮเดรตที่มีต่อ ที่มีต่อค่ากำลังค้ำของวัสดุ

จากการทดสอบกำลังค้ำด้านแรงค้ำในรูปของโมดูลัสการแตกหักของวัสดุภายใต้แรงค้ำสูงสุดของอิฐดินซีเมนต์ควบคุมซึ่งไม่มีส่วนผสมของเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติเปรียบเทียบกับอิฐดินซีเมนต์ที่ผสม เส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติร้อยละ 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60 โดยน้ำหนักที่อายุการบ่ม 28 วัน ดังแสดงในรูปที่ 26 พบว่ากำลังค้ำด้านแรงค้ำของอิฐดินซีเมนต์มีแนวโน้มที่เหมือนกับค่ากำลังแรงกดอัด นั่นคือมีค่าลดลงตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ โดยค่าสูงสุดที่ปริมาณเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ 0% มีค่าเท่ากับ 12.47 ksc และค่าต่ำสุดที่ปริมาณเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ 60% มีค่าคือ 4.56 ksc ซึ่งมีค่าลดลงถึง 31.56% ซึ่งการลดลงเป็นการลดลงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล ดังสมการ $y = 10.42e^{-0.016x}$ เหตุผลของการลดต่ำลงสามารถอธิบายได้เหมือนกับการลดลงของกำลังอัดที่กล่าวแล้ว

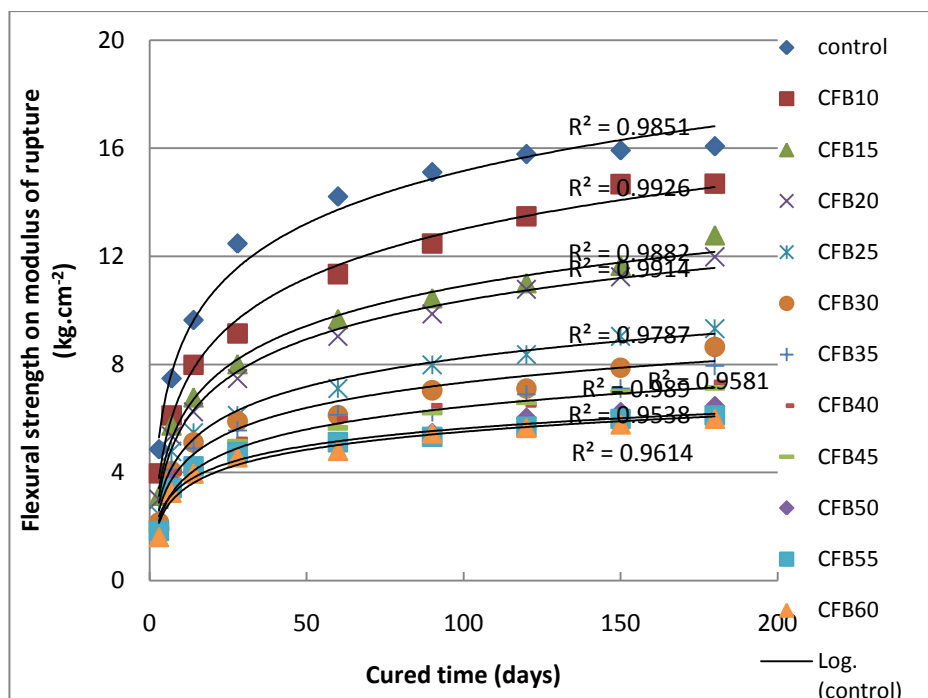


รูปที่ 26. ค่ากำลังดัดของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ที่ปริมาณ 0, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60 โดยน้ำหนัก

b). อิทธิพลของระยะเวลาการบ่มที่มีต่อแรงต้านกำลังดัด

รูปที่ 27 แสดงความสัมพันธ์ของผลการทดสอบค่ากำลังดัดของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์คงที่ร้อยละ 2 ปูนขาวท้องถิ่นร้อยละ 10 เส้นใยคาร์โบไฮเดรตที่ปริมาณต่างกันที่ร้อยละ 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60 ที่อายุการบ่มตั้งแต่ 3, 7, 14, 28, 60, 90, 120, 150, และ 180 วัน

โดยจะทำการพิจารณาถึงผลของการเพิ่มอายุการบ่มที่มีต่อค่ากำลังดัด พบว่าอิฐดินซีเมนต์ควบคุม มีค่าแรงต้านกำลังดัดเพิ่มขึ้น เมื่ออายุบ่มเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันเมื่อพิจารณาอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติพบว่าค่ากำลังดัดก็ยังมีแนวโน้มที่สูงขึ้นตามอายุการบ่มที่มากขึ้น โดยเป็นไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือกำลังอัดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงประมาณ 28 วันหลังจากนั้นเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ซึ่งสอดคล้องกับผลของการทดสอบกำลังอัด



รูปที่ 27. ค่ากำลังดัดของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ที่อายุการบ่ม 3, 7, 14, 28, 60, 90, 120, 150 และ 180 วัน

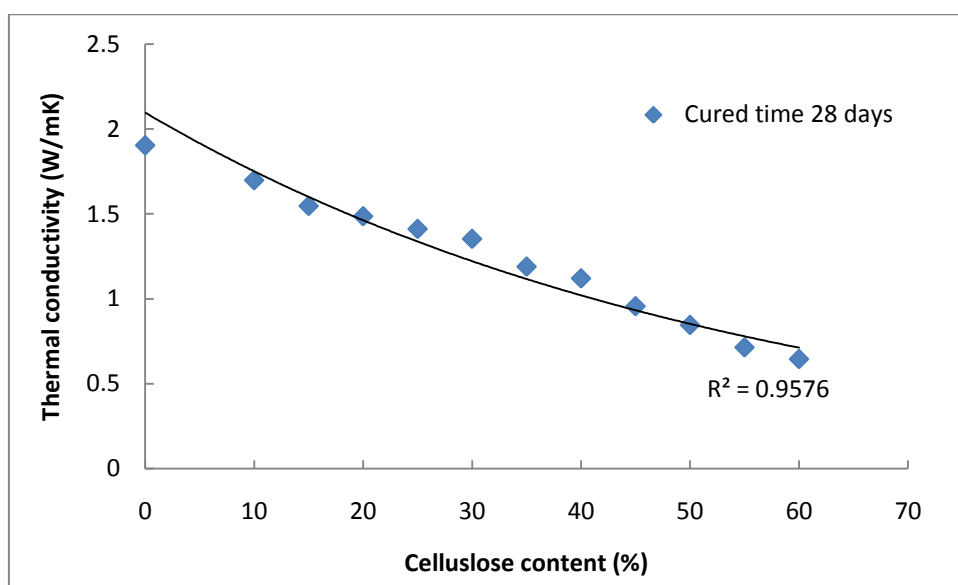
4.2.3.3 คุณสมบัติด้านการนำความร้อน (thermal conductivity) ของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ(มอก.153-2540)

จุดประสงค์หลักของงานชิ้นนี้คือการผลิตอิฐดินซีเมนต์มวลเบาผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตที่ได้จากการย่อยเศษกิ่งไม้และใบไม้ โดยใช้เครื่องย่อยที่ประดิษฐ์ขึ้น เพื่อนำมาผลิตอิฐที่มีคุณสมบัติด้านน้ำหนัก ด้านการต้านทานความร้อน และการใช้วัสดุภายในท้องถิ่น ซึ่งผลการทดสอบด้านการนำความร้อนได้แสดงในรูปที่ 28 เป็นผลการทดสอบเปรียบเทียบอิฐดินซีเมนต์ผสมปริมาณเส้นใยคาร์โบไฮเดรตที่ต่างกันตั้งแต่ ร้อยละ 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60 โดยน้ำหนักที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

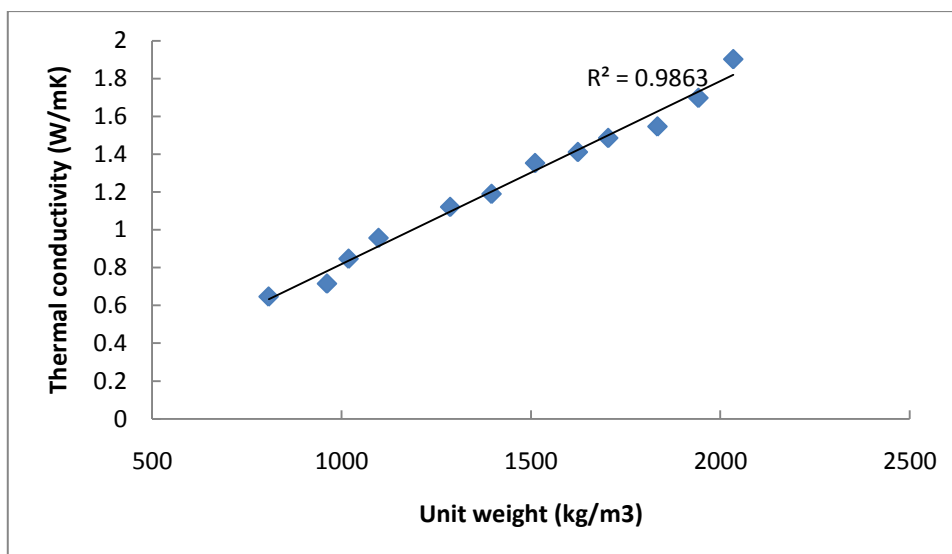
ผลการทดสอบพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติลงไปในอิฐดินซีเมนต์พบว่า ค่าการนำความร้อนของอิฐลดลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนสูงสุดที่ปริมาณเส้นใยคาร์โบไฮเดรตที่ 0 % มีค่าเท่ากับ 1.9027 W/mK และค่าต่ำสุดที่ปริมาณเส้นใยคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 60 มีค่าคือ 0.6459 ซึ่งมีค่าลดลงถึง 66.05% ซึ่งเหตุผลที่สามารถอธิบาย

พฤติกรรมนี้คือ ค่าการนำความร้อนของเส้นใยคาร์โบไฮเดรตมีค่าต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีต คือ 0.0035 W/mK นอกจากคุณสมบัติเฉพาะของเส้นใยคาร์โบไฮเดรต ที่ค่าการนำความร้อนต่ำมาแล้ว รูพรุนที่เกิดจากการเติมเส้นใยคาร์โบไฮเดรต ยังมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นของเส้นใยคาร์โบไฮเดรต เป็นอีกปัจจัยที่สำคัญ ดังรูปที่ 28 แสดงถึงความสัมพันธ์ของค่าการนำความร้อนกับค่าหน่วยน้ำหนักของอิฐ โดยความสัมพันธ์มีค่าเป็นเส้นตรง ซึ่งสอดคล้องกับสมมุติฐานข้างต้น ว่าถ้ามีปริมาณเส้นใยคาร์โบไฮเดรตมากเท่าใด ค่าหน่วยน้ำหนักยิ่งลดน้อยลงและค่าการนำความร้อนลดต่ำลง

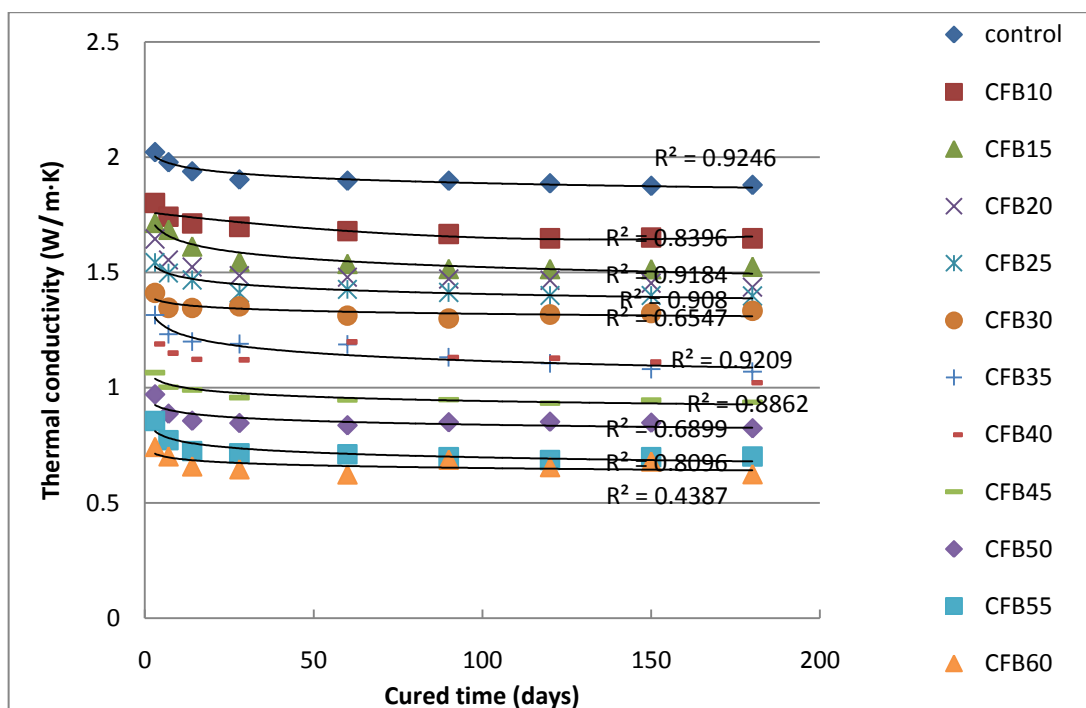
จากรูปที่ 29. แสดงผลการทดสอบของค่าการนำความร้อนของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตที่ปริมาณต่างๆ และที่อายุการบ่มที่ 3, 7, 14, 28, 60, 90, 120, 150, และ 180 วัน ผลการทดสอบพบว่าค่าการนำความร้อนมีค่าลดลงเมื่ออายุการบ่มเพิ่มขึ้น ทุกส่วนผสมจะมีค่าอัตราการลดลงรวดเร็วใน 28 วันแรก หลังจากนั้นค่าจะค่อยๆ ลดลง ซึ่งอาจสามารถอธิบายปรากฏการณ์นี้ได้ว่าเป็นเพราะปริมาณน้ำซึ่งมีค่าการนำความร้อนที่ 0.56 W/mK ซึ่งยังมีอยู่ในอิฐยังคงมีอยู่ในช่วงแรก หลังจากนั้นน้ำระเหยไปบางส่วน และบางส่วนทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ทำให้ปริมาณน้ำลดลง นี่อาจจะเป็นสาเหตุของการลดลงของค่าการนำความร้อนของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ



รูปที่ 28. ค่าการนำความร้อนของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ที่ปริมาณ 0, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 และ 60 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 29. แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักและค่าการนำความร้อนของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ที่อายุการบ่ม 28 วัน



รูปที่ 30. แสดงค่าการนำความร้อนของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ที่อายุการบ่ม 3, 7, 14, 28, 60, 90, 120, 150 และ 180 วัน

4.2.4 การชะล้างโลหะหนัก (Leachate Extraction Procedure) ของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ

การทดสอบการชะล้างโลหะหนักของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ โดยใช้มาตรฐาน U.S EPA SW-846 Method 1311(TCPL) ในการทดสอบวัสดุ อิฐดินซีเมนต์ที่ทดสอบมีส่วนผสมคือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 2 % ปูนขาวท้องถิ่น 10% เส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ 10% ที่เหลือคือดินท้องถิ่นราชบุรี (CPF10) โดยมีอัตราส่วนของน้ำต่อผงละเอียดเฉลี่ย (w/p) เท่ากับ 0.2354 ดังแสดงในตารางที่ 9 จากผลการทดสอบส่วนผสมของอิฐรวมถึงน้ำที่ใช้ในการผสมพบว่า จากจำนวน 8 ชนิดของโลหะหนักที่ทำการทดสอบพบเพียงธาตุ Arsenic ซึ่งโดยปกติแล้วสามารถพบหมู่ธาตุชนิดนี้ในดินราชบุรี อย่างไรก็ตาม ค่าที่ได้จากการทดสอบคือ 0.2 mg.l^{-1} ซึ่งยังมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานคือ 5 mg.l^{-1} จากข้อมูลนี้สามารถกล่าวได้ว่า อิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ สามารถใช้เป็นวัสดุก่อสร้างสำหรับบ้านต้นทุนต่ำในชุมชนได้

ตารางที่ 12. แสดงผลการทดสอบค่าการชะล้างโลหะหนักของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ

Metals	CPF10 (w/p=0.2354)	Factories Act. B.E.2535 (A.D1992) Ministerial Announcement. B.E 2540 (A.D 1997)
Arsenic (As)	0.2	not more than 5.00 mg.l^{-1}
Barium (Be)	None	not more than 100.00 mg.l^{-1}
Cadmium (Cd)	None	not more than 1.00 mg.l^{-1}
Chromium(Cr)	None	not more than 5.00 mg.l^{-1}
Lead (Pb)	None	not more than 5.00 mg.l^{-1}
Mercury (Hg)	None	not more than 0.20 mg.l^{-1}
Selenium (Se)	None	not more than 1.00 mg.l^{-1}
Silver (Ag)	None	not more than 5.00 mg.l^{-1}

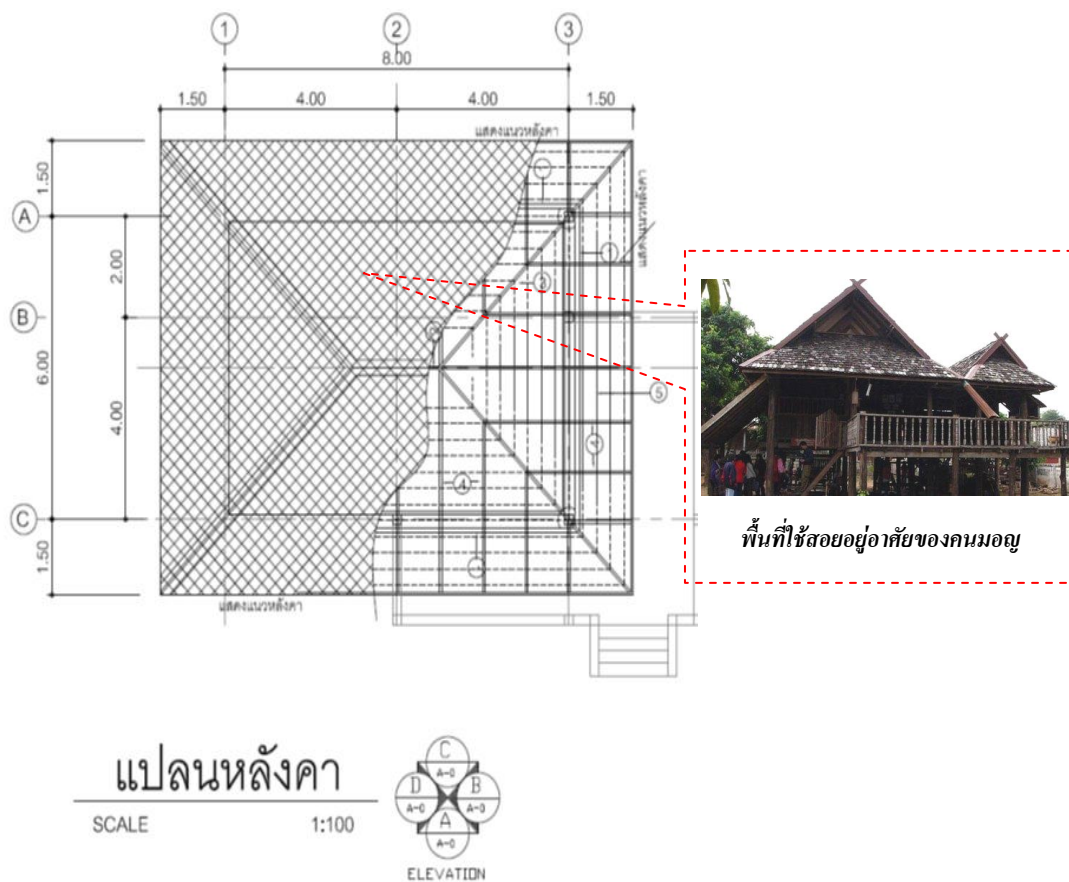
4.3 ด้านการวิเคราะห์และออกแบบทางวิศวกรรมและสถาปัตยกรรมประเพณีด้วยวัสดุ อิฐดินผสมเส้นใยเซลลูโลส

ปัจจัยหนึ่งที่ต้องนำมาวิเคราะห์สำหรับการออกแบบงานสถาปัตยกรรมก็คือ สถานที่ตั้งซึ่งในที่นี้หมายถึงบ้านหรืออาคารนั้นตั้งอยู่ในประเทศใดมีภูมิอากาศและสภาพแวดล้อมเป็นอย่างไร งานศึกษานี้จะนำเสนอมุมมองและรายละเอียดของบ้านที่ประยุกต์จากวัฒนธรรมที่อยู่อาศัยของชาติพันธุ์ในพื้นที่ที่ทำการศึกษา(จ. ราชบุรี) ที่เหมาะกับภูมิประเทศของเมืองไทยซึ่งเป็นเมืองร้อนชื้นและมีฝนตกชุก

เรือนพื้นดินสมัยก่อนมักยกพื้นบ้านสูงจากพื้นดินเพื่อประโยชน์ในการระบายความร้อน ความชื้นบ้านสมัยใหม่คิดถึงเรื่องการยกพื้นมากขึ้น ซึ่งเป็นเรื่องที่ดีเช่นเดิมโดยทั่วไปจะสูงจากพื้นประมาณ 40-70 บางบ้านกลัวปัญหาน้ำท่วมจึงยกพื้นสูงกว่านั้นเมตร เพราะเป็นตัวเลขที่ลงตัว ส่วนใหญ่นิยมยกพื้นชั้นล่างสูงขึ้น 1 แต่ความจริงแล้วมีค่าใช้จ่ายแพงมาก

เนื่องจากขณะนี้ต้องใช้ทรายถมแทนไม้แบบหากใช้ไม้แบบก็ต้องทิ้งไม้แบบนั้นไปเลย เพราะความสูงได้พื้นคานไม่พอที่จะคลานเข้าไปนำไม้แบบออกมา ถ้าอยากประหยัดซึ่งแนะนำให้ยกพื้นขึ้นอย่างน้อย 1.20 เมตรโดยได้ใช้แนวคิดจากพื้นที่ใช้สอยอยู่อาศัยของ“คนลาวพวน” ซึ่งจะมี ความสูงได้พื้นคานเพียงพอที่จะนำไม้แบบออกมา หรือไม่ต่ำกว่า 1 เมตรคนอากาศร้อนลอยขึ้นสู่ที่สูง เมื่อคิดถึงความเป็นจริงที่ว่าบริเวณหน้าจั่วของบ้านทรงไทยจึงมีการออกแบบให้สามารถระบายอากาศได้ เช่นหน้าจั่วรูปดวงอาทิตย์แต่สมัยนี้การใช้หน้าจั่วลักษณะดังกล่าวหน้าจั่วใบเรือ อาจนำแนวคิดนี้มาประยุกต์ใช้ได้อย่างไรก็ตามการออกแบบหลังคาสองชั้นเพื่อให้เกิดช่องอากาศได้ หลังคาทั้งสองเป็นการป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวบ้านได้เป็นอย่างดี

ระยะของชายคาที่ยื่นออกมาจากบ้านต้องมีชายคายาว 50-60 เซนติเมตรได้แนวคิดจากวัฒนธรรมที่พักอาศัยของ “คนมอญ” ซึ่งได้รับอิทธิพลจากระยะยื่นชายคา1.00-1.20 เมตร สำหรับระยะการยื่นชายคาที่เหมาะสมของบ้านก็คือเกี่ยวข้องกับสภาพภูมิอากาศและวัสดุอีกเช่นกัน ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น กล่าวคือ มีอากาศร้อนและฝนตกชุกจึงควรยื่นชายคาออกไปให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อลดความร้อนจากแสงอาทิตย์และน้ำฝนที่จะโดนผนัง ขณะเดียวกันประเทศไทยก็โชคดีที่มีไม้เนื้อแข็ง ซึ่งสามารถรับน้ำหนักของชายคาที่ยื่นยาว 1.00 -1.20 เมตรได้ โดยไม่ต้องมีค้ำยันปัจจุบันยังมีวัสดุเหล็กที่มีความแข็งแรงจึงทำให้ยื่นชายคาได้มากยิ่งขึ้น

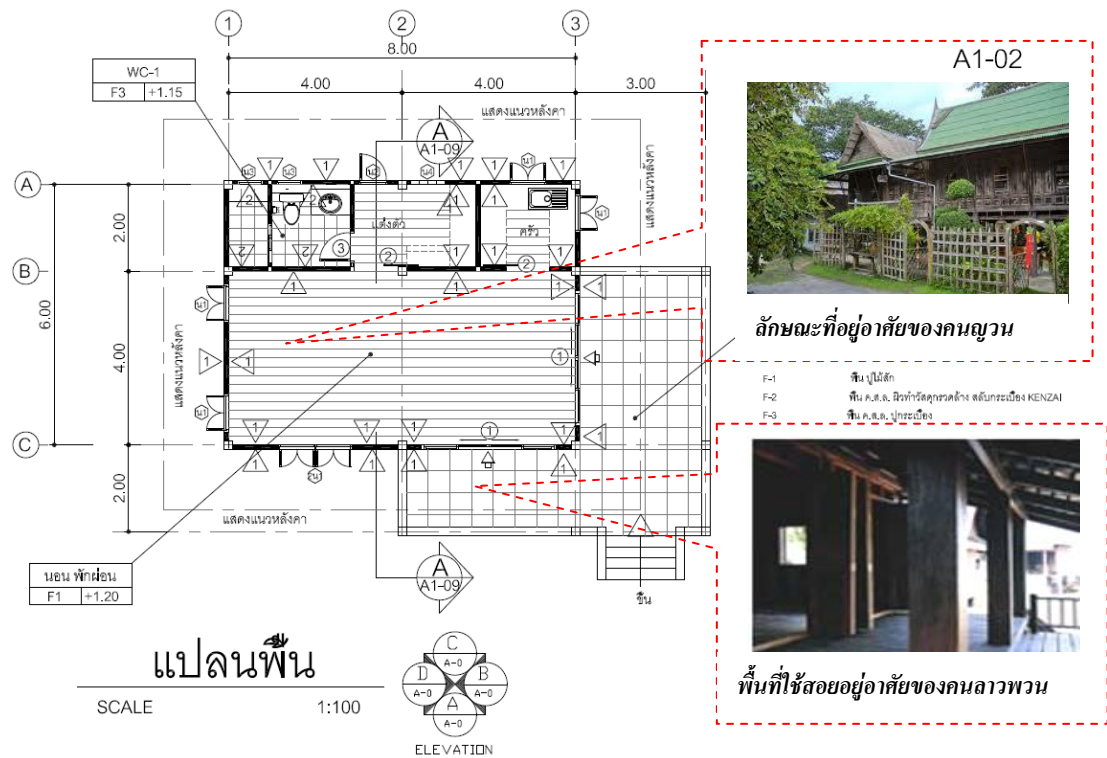


รูปที่ 31. แสดงแบบแปลนบ้านมอญ

บ้านที่ออกแบบศึกษานี้จะใช้วัสดุที่สร้างด้วยอิฐดินที่พัฒนาขึ้นทางด้านวิศวกรรมโดยมีคุณสมบัติที่นำความร้อนต่ำนั้นหมายถึงภายในตัวอาคารจะเย็นสบาย กอปรกับตัวของอิฐดินเองไม่จำเป็นต้องใช้ปูนฉาบและสีในการทาสีผนังจึงลดค่าก่อสร้างของตัวผนังได้มากกว่าร้อยละ 60 เมื่อเทียบกับผนังก่ออิฐประเภทอื่น(ดังที่ได้จากหัวข้อการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์) อิฐดินถือว่าเป็นสถาปัตยกรรมพื้นถิ่นอย่างหนึ่งซึ่งคนส่วนใหญ่อาจจะมองว่าวัสดุแบบนี้ไม่เหมาะกับวิถีชีวิตหรือสภาพแวดล้อมในเมือง แต่ในทางกลับกันสิ่งเหล่านี้ดีและเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของเมืองในปัจจุบันมากกว่า เพราะในเมืองสิ่งก่อสร้างส่วนใหญ่ก็เป็นคอนกรีต ซึ่งจะเก็บกักความร้อนได้ดีกว่าอิฐดิน ทำให้เครื่องปรับอากาศ ซึ่งทางตรงกันข้ามทำให้อากาศภายนอกร้อนกว่าเดิม ประเทศไทยมีอากาศค่อนข้างร้อนจะเป็นส่วนใหญ่

การใช้อิฐดินเป็นวัสดุหลักในการสร้างบ้าน น่าจะเหมาะสมกับสภาพอากาศที่ร้อนแบบนี้ ซึ่งลดการติดเครื่องปรับอากาศและไม่ทำลายธรรมชาติและโลกร้อนในทางอ้อม อิฐดินเป็นทางเลือกใหม่อีกทางหนึ่งในการเลือกใช้วัสดุในงานออกแบบ เพราะมีคุณสมบัติที่ดีหลายอย่างที่

สามารถตอบสนองต่อวิถีชีวิตและสภาพแวดล้อมในปัจจุบันและยังมีความสวยงามอยู่ในตัวของมันเองอีกด้วยเช่นกัน

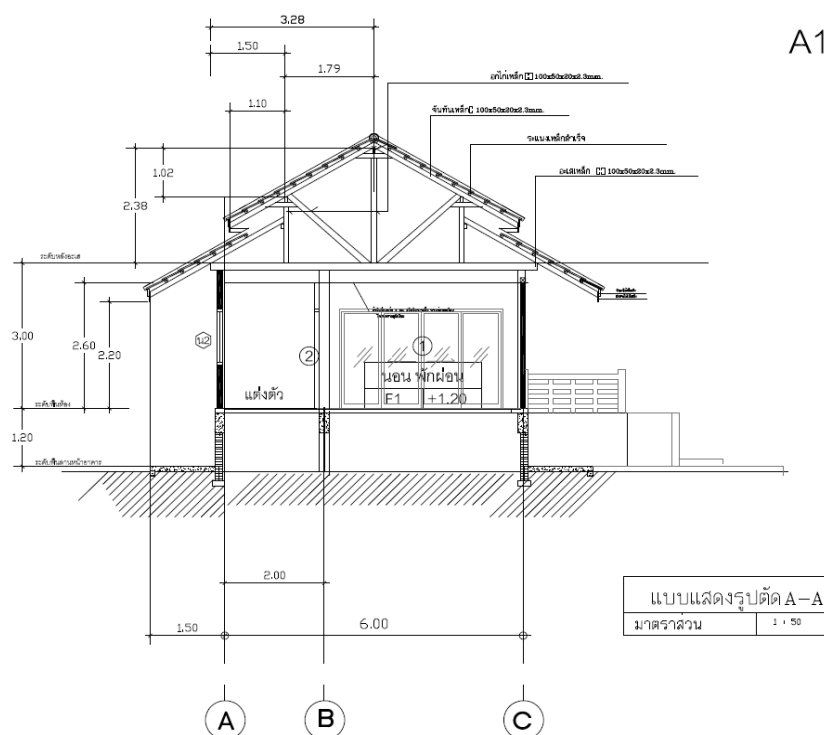


รูปที่ 32. แสดงแบบแปลนบ้านประหยัดพลังงานสำหรับชุมชน

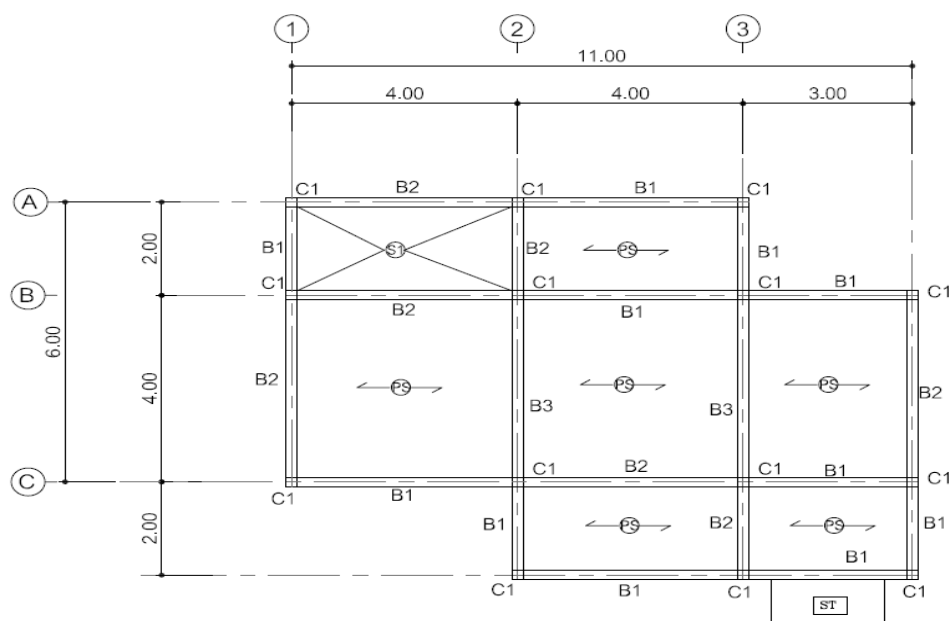
A1-06



A1-07

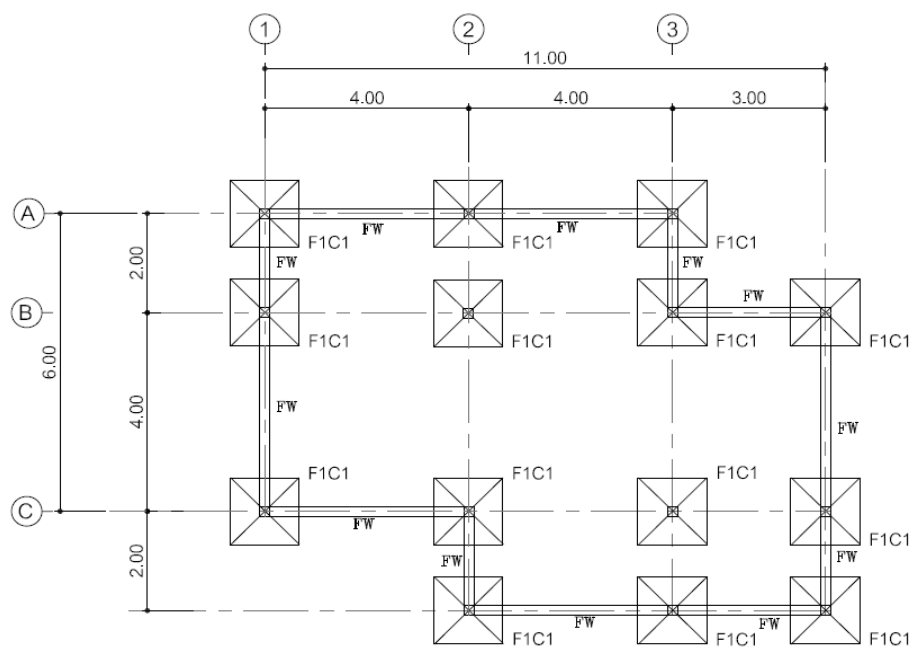


รูปที่ 33. แสดงรูปตัดด้านในของบ้านประหยัดพลังงานสำหรับชุมชน



แปลน เสา คาน

SCALE 1:100



แปลน คาน ฐานราก

SCALE 1:100

รูปที่ 34. แสดงแบบแปลนคาน-ฐานราก บ้านประหยัดพลังงานสำหรับชุมชน

4.4 การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic analysis)

การผลิตอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรต ต่อก่อนมีต้นทุนที่ประมาณ 4.52 บาท ต่อก่อน เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุก่อผนังแบบไม่รับแรงทั่วไป ราคาขายในพื้นที่ที่ทำการศึกษาคือ (อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี ปี 2553-54) ต้นทุนผลิตจะอยู่ที่ประมาณกิโลละ 5.60 บาท สำหรับอิฐซีเมนต์บล็อก, 0.85 บาท สำหรับอิฐแดงและ 27.00 บาทสำหรับอิฐมวลเบา ตามลำดับ

โดยปกติแล้วในด้านการก่อสร้างบ้าน จะประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ ด้านระบบโครงสร้าง, ด้านสถาปัตยกรรม และ ด้านสุขภัณฑ์และสิ่งอำนวยความสะดวก อาคารต้นแบบที่สร้างด้วยอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรต ค่าใช้จ่ายหลักจะมีเพียง ด้านระบบโครงสร้างและด้านสุขภัณฑ์ และสิ่งอำนวยความสะดวก เท่านั้น สำหรับด้านสถาปัตยกรรมค่าใช้จ่ายจะลดลงอย่างมาก เนื่องจากการมีสีสันทาสวยงามตามธรรมชาติจึงไม่จำเป็นต้องฉาบปูนและทาสีแตกต่างกับอาคารทั่วไปที่สร้างด้วยอิฐซีเมนต์บล็อกและอิฐแดงล้วนจะต้องทำการฉาบปูนและทาสีเพื่อความสวยงาม ฉะนั้นจึงเป็นข้อได้เปรียบของบ้านที่สร้างด้วยอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรต และเมื่อพิจารณาวัสดุต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (1 ตารางเมตร, ฉาบผนัง 2 ด้าน) ของผนังที่ก่อสร้างด้วยอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรต มีมูลค่า 225.45 บาทต่อตารางเมตร, อิฐซีเมนต์บล็อกมีมูลค่า 503.50 บาทต่อตารางเมตร, อิฐแดงมีมูลค่า 564.30 บาทต่อตารางเมตร และ อิฐมวลเบามีมูลค่า 638.

อาจสามารถสรุปได้ว่าเมื่อให้ผนังที่ก่อสร้างด้วย อิฐซีเมนต์บล็อก, อิฐแดง และ อิฐมวลเบา เป็น 100 เปอร์เซ็น ดังนั้นค่าก่อสร้างของผนังอิฐดินปอชโซลานจะเป็นร้อยละ 45.44 ของผนังอิฐซีเมนต์บล็อก, ร้อยละ 41.24 ของผนังอิฐแดง และ เป็นร้อยละ 36.78 สำหรับผนังที่ก่อสร้างด้วยอิฐมวลเบา ตามลำดับ



(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ 35. แสดงรูปแบบวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างผนังแบบต่างๆ โดย(ก) คือ อิฐมวลเบา (ข) คืออิฐแดง (ค) คือ อิฐซีเมนต์บล็อก และ (ง) คือ อิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรต

บทที่ 5

สรุปผล

จากการประเมินคุณภาพของเครื่องย่อยซึ่งมีการประเมินอยู่ในระดับคุณภาพดีสอดคล้องในขอบเขตต้องผ่านเกณฑ์ประเมินจากผู้เชี่ยวชาญในระดับดี (ค่าที่ 3.5) นอกจากนี้ประสิทธิภาพการย่อย(Capacity) สามารถย่อยได้น้ำหนักเฉลี่ย 6.07 กก./นาที่ (0.36 ตัน/ชม.)

การทดสอบคุณสมบัติอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรต ที่ได้จากการย่อยเศษไม้และเศษใบไม้ จากเครื่องย่อยที่ประดิษฐ์ขึ้นพบว่า การเพิ่มปริมาณเส้นใยคาร์โบไฮเดรต ทำให้ค่าคุณสมบัติทางกลเช่น กำลังอัด และกำลังดัด มีค่าลดลง อย่างไรก็ตามที่ปริมาณเส้นใยคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 10 ให้ค่ากำลังอัดที่ผ่านมาตรฐานกำแพงอิฐรับแรงก็ไม่น้อยกว่า 80 ksc[37] และการทดสอบด้านหน่วยน้ำหนักพบว่ามีค่าลดลงตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นของใยคาร์โบไฮเดรต ในทางกลับกันค่าการดูดซึมน้ำมีค่าสูงขึ้น

การทดสอบด้านการนำความร้อนแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณของเส้นใยคาร์โบไฮเดรตสามารถลดค่าการส่งผ่านความร้อน และสุดท้ายทดสอบค่าการชะของโลหะ พบว่าการผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ มีเพียงธาตุ Arsenic (สารหนู) ซึ่งพบทั่วไปปกติในดินและค่าที่พบยังต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำวัสดุประกอบชิ้นนี้ ไปใช้เป็นแนวทางในการสร้างบ้านด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติความร้อนต่ำในชุมชนซึ่งการถ่ายทอดเทคโนโลยีใหม่ที่เกิดขึ้นนี้ ได้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- [1] K. Al Rim, A. Ledhem, O. Douzane, R.M. Dheilily, M. Queneudec, Influence of the proportion of wood on the thermal and mechanical performances of clay-cement-wood composites, *Cement and Concrete Composites*, 21 (1999) 269-276.
- [2] H.M. Algin, P. Turgut, Cotton and limestone powder wastes as brick material, *Construction and Building Materials*, 22 (2008) 1074-1080.
- [3] H. Binici, O. Aksogan, M.N. Bodur, E. Akca, S. Kapur, Thermal isolation and mechanical properties of fibre reinforced mud bricks as wall materials, *Construction and Building Materials*, 21 (2007) 901-906.
- [4] H. Binici, O. Aksogan, T. Shah, Investigation of fibre reinforced mud brick as a building material, *Construction and Building Materials*, 19 (2005) 313-318.
- [5] E. Custodio-García, P.J. Sebastian, J. Campos-Alvarez, C.G. Treviño-Palacios, E. Andrés Zarate, Q.A. Córdova, H. de la O-León, Solar conduction heat transfer in fired clay bricks, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 88 (2005) 169-178.
- [6] I. Demir, An investigation on the production of construction brick with processed waste tea, *Building and Environment*, 41 (2006) 1274-1278.
- [7] I. Demir, M. Serhat Baspınar, M. Orhan, Utilization of kraft pulp production residues in clay brick production, *Building and Environment*, 40 (2005) 1533-1537.
- [8] K. Ghavami, Bamboo as reinforcement in structural concrete elements, *Cement and Concrete Composites*, 27 (2005) 637-649.
- [9] K. Ghavami, R.D. Toledo Filho, N.P. Barbosa, Behaviour of composite soil reinforced with natural fibres, *Cement and Concrete Composites*, 21 (1999) 39-48.
- [10] J. Khedari, B. Suttisonk, N. Pratinthong, J. Hirunlabh, New lightweight composite construction materials with low thermal conductivity, *Cement and Concrete Composites*, 23 (2001) 65-70.
- [11] J. Khedari, P. Watsanasathaporn, J. Hirunlabh, Development of fibre-based soil-cement block with low thermal conductivity, *Cement and Concrete Composites*, 27 (2005) 111-116.
- [12] M.A. Rahman, Properties of clay-sand-rice husk ash mixed bricks, *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, 9 (1987) 105-108.

- [13] S.P. Raut, R.V. Ralegaonkar, S.A. Mandavgane, Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks, *Construction and Building Materials*, 25 (2011) 4037-4042.
- [14] B. Sharma, K.A. Harries, K. Ghavami, Methods of determining transverse mechanical properties of full-culm bamboo, *Construction and Building Materials*, 38 (2013) 627-637.
- [15] P. Tittlein, A. Cloutier, B. Bissonnette, Design of a low-density wood–cement particleboard for interior wall finish, *Cement & Concrete Composites*, 34 (2012) 218-222.
- [16] R.D. Tolêdo Filho, K. Ghavami, G.L. England, K. Scrivener, Development of vegetable fibre–mortar composites of improved durability, *Cement and Concrete Composites*, 25 (2003) 185-196.
- [17] R.D. Toledo Filho, K. Ghavami, M.A. Sanjuán, G.L. England, Free, restrained and drying shrinkage of cement mortar composites reinforced with vegetable fibres, *Cement and Concrete Composites*, 27 (2005) 537-546.
- [18] R.D. Tolêdo Filho, K. Scrivener, G.L. England, K. Ghavami, Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibres in cement mortar composites, *Cement and Concrete Composites*, 22 (2000) 127-143.
- [19] P. Turgut, H. Murat Algin, Limestone dust and wood sawdust as brick material, *Building and Environment*, 42 (2007) 3399-3403.
- [20] L. Barbieri, F. Andreola, I. Lancellotti, R. Taurino, Management of agricultural biomass wastes: Preliminary study on characterization and valorisation in clay matrix bricks, *Waste Management*.
- [21] D. Eliche-Quesada, F.A. Corpas-Iglesias, L. Pérez-Villarejo, F.J. Iglesias-Godino, Recycling of sawdust, spent earth from oil filtration, compost and marble residues for brick manufacturing, *Construction and Building Materials*, 34 (2012) 275-284.
- [22] F. Gouny, F. Fouchal, O. Pop, P. Maillard, S. Rossignol, Mechanical behavior of an assembly of wood–geopolymer–earth bricks, *Construction and Building Materials*, 38 (2013) 110-118.
- [23] S.P. Raut, R. Sedmake, S. Dhunde, R.V. Ralegaonkar, S.A. Mandavgane, Reuse of recycle paper mill waste in energy absorbing light weight bricks, *Construction and Building Materials*, 27 (2012) 247-251.

- [24] P. Roca, G. Araiza, Shear response of brick masonry small assemblages strengthened with bonded FRP laminates for in-plane reinforcement, *Construction and Building Materials*, 24 (2010) 1372-1384.
- [25] A.A. Shakir, S. Naganathan, K.N. Mustapha, Properties of bricks made using fly ash, quarry dust and billet scale, *Construction and Building Materials*, 41 (2013) 131-138.
- [26] N. Valdés-Stauber, S. Scherer, H. Seiler, Identification of yeasts and coryneform bacteria from the surface microflora of brick cheeses, *International Journal of Food Microbiology*, 34 (1997) 115-129.
- [27] N. Van Den Bossche, W. Huyghe, J. Moens, A. Janssens, M. Depaepe, Airtightness of the window-wall interface in cavity brick walls, *Energy and Buildings*, 45 (2012) 32-42.
- [28] J.S. Wood, *Wood, Brick & Stone: The North American Settlement Landscape, Volume 1: Houses*, Allen G. Noble. University of Massachusetts Press, Amherst (1984), vi, *Journal of Historical Geography*, 11 (1985) 101-102.
- [29] H. Binici, O. Aksogan, D. Bakbak, H. Kaplan, B. Isik, Sound insulation of fibre reinforced mud brick walls, *Construction and Building Materials*, 23 (2009) 1035-1041.
- [30] J.A. Jakle, *Wood, Brick, and Stone: The North American Settlement Landscape Volume Two: Barns and Farm Structures*, Allen G. Noble. University of Massachusetts Press, Amherst (1984), 186, *Journal of Historical Geography*, 11 (1985) 225-226.
- [31] C.S. Poon, S.C. Kou, L. Lam, Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks, *Construction and Building Materials*, 16 (2002) 281-289.
- [32] E. Quagliarini, S. Lenci, The influence of natural stabilizers and natural fibres on the mechanical properties of ancient Roman adobe bricks, *Journal of Cultural Heritage*, 11 (2010) 309-314.
- [33] M. Sutcu, S. Akkurt, The use of recycled paper processing residues in making porous brick with reduced thermal conductivity, *Ceramics International*, 35 (2009) 2625-2631.
- [34] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนไลม์ เล่ม 1, in: บทนิยามเกี่ยวกับปูนไลม์และหินปูน มอก. 202 2520.
- [35] ASTM, Standard C67, Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile, in, *American Standard Testing and Materials (ASTM)*, West Conshohocken, PA, USA, 1996.

[36] ASTM, Standard C293, Standard Test Methods for Flexural Strength of Concrete(Using Simple Beam with Center-Point Loading), in, American Standard Testing and Materials (ASTM), West Conshohocken, PA,USA, 1996.

[37] ASTM, Standard C90, Standard Specification for Loadbearing Concrete Masonry Units, in, American Standard Testing and Materials (ASTM), West Conshohocken, PA,USA, 1996.

ภาคผนวก

ภาคผนวก 1. ค่าการทดสอบกำลังอัดของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ที่อายุการบ่ม 3, 7, 14, 28, 60, 90, 120, 150, และ 180 วัน

age	control	CFB10	CFB15	CFB20	CFB25	CFB30	CFB35	CFB40	CFB45	CFB50	CFB55	CFB60
3	25	18.46	14.5	11.4	9.8	8.4	7.4	6.75	6.01	5.41	5.44	4.1
7	50	37.5	27.5	28.6	24.5	20.44	17.58	15.47	15.68	14.68	14.01	12.36
14	70.4	45.8	35.8	44.7	40.78	34.44	26.44	24.14	25.17	18.46	17.59	17.55
28	90.4	80.4	70.4	50.4	45.7	40.98	37.55	30.14	30.47	26.47	24.65	21.36
60	100.45	85.4	75.4	53.7	48.7	45.33	41.78	34.14	36.47	33.36	27.25	25.65
90	109.5	90.42	80.42	57.98	51.34	48.41	43.24	39.44	37.48	34.69	31.25	26.55
120	119.4	96.4	86.4	63.47	53.48	49.54	47.22	41.278	38.49	38.24	33.22	27.88
150	125.4	100.2	90.2	64.5	54.8	50.32	47.65	42.44	39.47	38.69	34.15	31.25
180	130.2	102.4	92.4	68.7	56.87	50.36	48.46	43.14	39.88	40.11	38.66	31.88
w/p	0.1547	0.2354	0.2468	0.2637	0.2778	0.2901	0.3041	0.3247	0.3477	0.3567	0.3876	0.3977

ภาคผนวก 2. ค่าการทดสอบกำลังคัของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ที่อายุการบ่ม 3, 7, 14, 28, 60, 90, 120, 150, และ 180 วัน

age	control	CFB10	CFB15	CFB20	CFB25	CFB30	CFB35	CFB40	CFB45	CFB50	CFB55	CFB60
3	4.86	3.97	3.14	3.01	2.45	2.15	2.03	1.95	1.91	1.87	1.83	1.61
7	7.48	6.11	5.74	5.35	4.78	4.05	4.11	3.99	3.52	3.65	3.42	3.25
14	9.64	7.98	6.78	6.24	5.47	5.11	4.89	4.12	4.05	4.02	4.23	3.96
28	12.47	9.14	8.01	7.47	6.11	5.9	5.55	5.23	5.14	4.65	4.76	4.56
60	14.21	11.34	9.68	9.04	7.11	6.12	6.14	5.98	5.65	5.11	5.12	4.8
90	15.11	12.47	10.45	9.87	7.98	7.04	6.23	6.47	6.22	5.45	5.32	5.45
120	15.78	13.48	11.01	10.78	8.36	7.11	6.89	6.5	6.59	6.02	5.69	5.65
150	15.92	14.67	11.65	11.24	9.04	7.88	7.11	6.97	6.98	6.23	5.98	5.78
180	16.07	14.69	12.78	11.98	9.32	8.65	7.95	7.33	7.13	6.45	6.11	5.99
w/p	0.1547	0.2354	0.2468	0.2637	0.2778	0.2901	0.3041	0.3247	0.3477	0.3567	0.3876	0.3977

ภาคผนวก 3. ค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ที่อายุการบ่ม 3, 7, 14, 28, 60, 90, 120, 150, และ 180 วัน

age	control	CFB10	CFB15	CFB20	CFB25	CFB30	CFB35	CFB40	CFB45	CFB50	CFB55	CFB60
3	8.64	10.347	11.15	12.3	12.77	13.54	14.22	14.98	15.45	16.12	16.54	17.88
7	7.12	8.99	10.21	11.23	12.14	12.45	13.87	14.56	15.01	15.78	16.01	17.32
14	6.54	8.02	9.45	11.02	11.68	12.11	13.54	13.98	14.68	15.32	15.55	17.01
28	6.21	7.68	8.63	10.78	11.35	11.87	13.56	13.78	14.35	15.01	15.32	16.89
60	6.15	7.47	8.21	10.56	11.07	11.76	13.21	13.68	14.21	14.79	15.02	16.68
90	6.22	7.32	7.87	10.65	11.01	11.45	13.22	13.21	13.98	14.65	14.89	16.42
120	6.01	7.24	7.56	9.47	10.48	11.23	12.99	13.11	13.65	14.33	14.78	16.23
150	6.02	7.19	7.45	9.89	10.12	10.98	12.56	12.87	13.25	14.01	14.52	15.98
180	5.88	7.18	7.33	8.65	9.11	11.02	12.23	12.95	13.11	13.98	14.31	15.78
w/p	0.1547	0.2354	0.2468	0.2637	0.2778	0.2901	0.3041	0.3247	0.3477	0.3567	0.3876	0.3977

ภาคผนวก 4. ค่าการทดสอบหน่วยน้ำหนักของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ที่อายุการบ่ม 3, 7, 14, 28, 60, 90, 120, 150, และ 180 วัน

age	control	CFB10	CFB15	CFB20	CFB25	CFB30	CFB35	CFB40	CFB45	CFB50	CFB55	CFB60
3	2250	2017	1907	1764	1698	1557	1440	1330	1205	1088	954	912
7	2204	1983	1845	1735	1647	1522	1411	1300	1187	1000	832	801
14	2154	1952	1832	1721	1634	1502	1402	1305	1102	956	812	750
28	2100	1942	1834	1704	1624	1511	1396	1287	1098	923	808	712
60	2000	1930	1799	1711	1621	1504	1410	1308	1045	899	811	645
90	1997	1911	1804	1697	1632	1525	1431	1278	1068	869	803	624
120	1947	1897	1814	1724	1621	1498	1443	1280	1009	850	807	600
150	1977	1869	1789	1701	1611	1500	1441	1265	1004	846	805	601
180	1963	1897	1824	1745	1618	1488	1450	1289	1010	843	813	597
w/p	0.1547	0.2354	0.2468	0.2637	0.2778	0.2901	0.3041	0.3247	0.3477	0.3567	0.3876	0.3977

ภาคผนวก 5. ค่าการทดสอบการนำความร้อนของอิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ที่อายุการบ่ม 3, 7, 14, 28, 60, 90, 120, 150, และ 180 วัน

age	control	CFB10	CFB15	CFB20	CFB25	CFB30	CFB35	CFB40	CFB45	CFB50	CFB55	CFB60
3	2.0213	1.8014	1.7145	1.645	1.5432	1.4113	1.3155	1.1896	1.0655	0.9711	0.855	0.7432
7	1.9774	1.7411	1.6847	1.554	1.4968	1.34631	1.23148	1.15	1.00182	0.887	0.77216	0.7022
14	1.9378	1.7124	1.6123	1.5231	1.4674	1.3456	1.2003	1.123	0.9899	0.8564	0.7253	0.6585
28	1.90279	1.6977	1.5463	1.4856	1.4112	1.3528	1.1895	1.1205	0.9564	0.8463	0.7146	0.64589
60	1.89756	1.6789	1.5367	1.4789	1.4265	1.3121	1.1875	1.1986	0.9465	0.8365	0.7111	0.6235
90	1.89745	1.6665	1.5147	1.4712	1.4131	1.2998	1.132	1.1305	0.9478	0.8497	0.6987	0.6877
120	1.8864	1.6478	1.5142	1.4658	1.4	1.3174	1.105	1.1278	0.9324	0.8522	0.6856	0.6555
150	1.8754	1.6514	1.5137	1.4534	1.4001	1.3235	1.08	1.1112	0.9456	0.8479	0.6987	0.6796
180	1.8796	1.6477	1.5243	1.4356	1.3978	1.3336	1.0694	1.0213	0.9365	0.8236	0.7012	0.6245
w/p	0.1547	0.2354	0.2468	0.2637	0.2778	0.2901	0.3041	0.3247	0.3477	0.3567	0.3876	0.3977



ภาคผนวก 6. แสดงรูปถ่ายทอดงานวิจัยการก่อสร้างอิฐบล็อกประสานโดยใช้วัสดุดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรต



ภาคผนวก 7. แสดงรูปถ่ายทอดงานวิจัยการก่อสร้างอิฐบล็อกประสานโดยใช้อิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรต (1)



ภาคผนวก 8. แสดงรูปถ่ายทอดงานวิจัยการก่อสร้างอิฐบล็อกประสานโดยใช้อิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรต (2)



ภาคผนวก 9. แสดงรูปถ่ายทอดงานวิจัยการก่อสร้างอิฐบล็อกประสานโดยใช้อิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรต (3)



ภาคผนวก 9. แสดงรูปถ่ายทอดงานวิจัยการก่อสร้างอิฐบล็อกประสานโดยใช้อิฐดินซีเมนต์ผสมเส้นใยคาร์โบไฮเดรต (4)

ประวัติผู้ทำวิจัย

Dr. Weerapol Namboonruang., Ph.D



An educations background

- October ,09,1999** -Department of Civil Engineering,
Faculty of Engineering, RIT, Thailand.
(Bachelor of Engineering)
- April , 27,2007** -Department of Civil Engineering, Faculty
of Engineering, Kasetsart University, Bangkok, Thailand.
(Master of Engineering)
- March, 2013** -Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment, RMUT,
Thailand.
(Doctorate degree, Ph.D)

Work experience background

- 1999 - 2000** -As an engineer in *THE BEST – PAC CONCRETE Co., Ltd*, worked on
controlling reinforce concrete bridge jobs in *LAO* country.
- 2000 - 2001** -As design engineer in *PONGVINAI ENGINEERING Co.,Ltd*, worked on
controlling and designing on civil engineering and construction systems in
TPI Factory, Rayong province.
- 2001 - 2003** -As an inspector engineer in *UNITED TELECOM SALES AND SERVICESS
Co., Ltd (UTEL)*, worked on controlling on high steel tower structure of the
mobile station, *DTAC* project.
- 2003 - 2008** -As technical research engineer in *ASIA CEMENT PUBLIC COMPANY
LIMITED.*, responsibility research on pozzolanic materials for use in cement
process and pozzolanic concrete research.
-As an advisor concrete engineer in *IMMS Co.,Ltd.*, used an interlocking of
aggregate transfer loads on plain concrete pavement, Department of Rural
Road, Thailand.
-An an advisor engineer in *SFB Co.,Ltd.* responsibility for refractory
materials worked in factories.
- 2008- In the present** -Permanent lecturer in Civil and Architecture programme, Faculty of
Science and Technology, Muban Chombueng Rajabhat University, MCRU,
Thailand.

An Interesting research.

- [1] Cement and pozzolanics materials based research.
- [2] Waste materials development for improving and innovating products for Rural Infrastructure Engineering, (RIE)
- [3] Low thermal energy composite building materials (Base on local soil, industrial waste products, Soil reinforced natural fibers)

The research scholarship.

- [1] The Bureau of the budget thailand research scholarship, under consideration by National research council of Thailand, 2009.
- [2] The Bureau of the budget thailand research scholarship, under consideration by National research council of Thailand, 2010.
- [3] The Bureau of the budget thailand research scholarship, under consideration by National research council of Thailand, 2011.
- [4] The Bureau of the budget thailand research scholarship, under consideration by National research council of Thailand, 2012.
- [5] The Bureau of the budget thailand research scholarship, under consideration by National research council of Thailand, 2013.

Selected publications.

- [1] **W. Namboonruang**, and W. Mairaing., “ The Study Effect of Concrete Ingredient on Quality and Cost of RMC in the North Eastern of Thailand”, 12th National Convention on Civil Engineering, NCCE., Phitsanulok, Thailand, May 2007, Vols.4 (INF), pp. 1-6.
- [2] **W. Namboonruang** and W. Mairaing., “ The Effect on Quality and Cost of Ready Mixed Concrete in the North Eastern of Thailand ”. National Graduate Research Conference, Suratthani, Thailand, May 2007, pp. 164-169.
- [3] **W. Namboonruang**, R. Rawangkul, W. Yodsudjai and J. Khedari., “ Properties of High Volume Fly Ash Clay Bricks for Sustainable Development ”, The 5th GMSARN International Conference, 17-19 November 2010, Luang Phabang City, Lao PDR, ENV-15.
- [4] **W. Namboonruang**, R. Rawangkul, W. Yodsudjai and J. Khedari., “ The Study Effect of Ingredient on Quality and Properties of Pozzolanics Clay Bricks for Sustainable Development ”, 2nd Rajamangala University of Technology International Conference, 24 - 26 November 2010, Convention Center Chulabhorn Research Institute, Bangkok, Thailand, pp. 116-121.
- [5] **W. Namboonruang**, R. Rawangkul and W. Yodsudjai. “A Study Effect Behavior and Improvement on Properties of Pozzolanics Clay Bricks for Sustainable Development ”, *Journal of Science and Technology*, Mahasarakham University, Specials Issue, Thailand 2010, pp. 7-13.
- [6] **W. Namboonruang**, R. Rawangkul, and W. Yodsudjai., “ Investigation of Properties of Low Thermal Conductivity Pozzolanics Soil Bricks Towards Sustainable Development ”, *Journal of Advanced Materials Research, ISSN: 1022-6680*. Vols. 261-263 (2011) pp.469-479, Trans Tech Publications, Switzerland, (*Impact factor, 0.172, 2 years.*)

- [7] **W. Namboonruang**, R. Rawangkul, W. Yodsudjai and N. Suphadon, “1 Year Long Term on Strength Properties of Pozzolan Local Soil Bricks”, ***Journal of Advanced Materials Research***, **ISSN: 1022-6680**, Vols.399-401(2012) pp 1381-1385, Trans Tech Publications, Switzerland, (Impact factor, 0.172, 2 years.)
- [8] **W. Namboonruang**, R. Rawangkul and W. Yodsudjai., “ Strength Properties of Low Thermal Conductivity Fly Ash Bricks: Compressive and Flexural Strength Aspects”, ***Journal of Applied Mechanics and Materials***, **ISSN: 1660-9336**, Vols. 117-119(2012), pp.1352-1357, Trans Tech Publications, Switzerland. (Impact factor, 0.108, 2 years.)
- [9] **W. Namboonruang**, N. Suphadon and P. Yong-amnuai ., “An Application of Aerial Photographs with Geographic Coordinates to a Rural Digital Map”, ***Journal of Advanced Materials Research***, **ISSN: 1022-6680**, Vols.450-451 (2012), pp.1103-1107 ,Trans Tech Publications, Switzerland, (Impact factor, 0.172, 2 years.)
- [10] **W. Namboonruang**, R. Rawangkul, W. Yodsudjai, N. Suphadon and P. Yong-Amnuai., “Study the properties of Mae-Khong Alluvial Gravel Concrete for Producing the Non-bearing Thin Wall Concrete”, ***Journal of Advanced Materials Research***, **ISSN: 1022-6680**, Vols.476-478(2012), pp.1652-1656 ,Trans Tech Publications, Switzerland, (Impact factor, 0.172, 2 years.)
- [11] **W. Namboonruang**, R. Rawangkul, W. Yodsudjai and N. Suphadon ., “A Perspective on Properties of Low Thermal Lime - Hull Ash Adobe”, ***Journal of Advanced Science Letters***, **ISSN: 1966-7317**, Vol.14 (2012) pp 336-339, American Scientific Publishers, United States of America, USA, Journal impact factors: 1.253
- [12] **W. Namboonruang**, R. Rawangkul, W. Yodsudjai and N. Suphadon., “Study the properties of the refractory materials mixed by silica for the local agro-industry using thermal energy”, ***Journal of Biobased Materials and Bioenergy***, **ISSN: 1556-6560**, Vols. (201x), American Scientific Publishers, United States of America, USA, Journal impact factors: 1.402 (Accepted).
- [13] **W. Namboonruang**, R. Rawangkul, and W. Yodsudjai “ A Perspective Study on Strength Properties – Low Thermal Conductivity and Leachability of Pozzolanics Soil Bricks Towards to Environmentally Friendly”, ***Journal of Advanced Science Letters***, **ISSN: 1966-7317**, Vol.19 (2013), pp 2831-2841, American Scientific Publishers, United States of America, USA, Journal impact factors: 1.253.
- [14] **W. Namboonruang**, R. Rawangkul, W. Yodsudjai and T. Aramraks “Characteri- zation and low thermal conductivity of fly ash local soil based-building adobe”, ***Journal of Advanced Science Letters***, **ISSN: 1966-7317**, Vol. (201x), American Scientific Publishers, United States of America, USA, Journal impact factors: 1.253 (Accepted).
- [15] **W. Namboonruang**, R. Rawangkul, W. Yodsudjai and N. Suphadon., “ Thermal Conductivity and Strength Properties of Soil-Base Lime Adobe Stabilized with Pottery Burnt Hull Ash”, ***Journal of Advanced Materials Research***, **ISSN: 1022-6680**, Vols.(2012),Trans Tech Publications, Switzerland, (Impact factor, 0.172, 2 years.)
- [16] **W. Namboonruang**, R. Rawangkul, W. Yodsudjai, N. Suphadon and P. Yong-amnuai., “Characterization of Low Thermal Lime-Hull Ash Building Adobe” ***Journal of Key Engineering Materials***, **ISSN: 1013-9826**, Vol.(201x), Trans Tech Publications, Switzerland, (Impact factor, 0.144, 2 years.), (Accepted)
- [17] **W. Namboonruang**, A. Amdee and N. Suphadon., “Forecasting technique for the production plan of the local earthenware industries of Thailand”, ***Journal of Applied Mechanics and Materials***, **ISSN: 1660-9336**, Vols.(201x),Trans Tech Publications, Switzerland. (Impact factor, 0.108, 2 years.), (Accepted)

[18] W. Namboonruang, R. Rawangkul, W. Yodsudjai, T. Aramraks and N. Suphadon “ Prediction of the Heat-Insulating Crumb Rubber Brick Walls Design by the Finite Element Method” ***Journal of Advanced Materials Research (ISSN: 1022-6680)***, Vol. (20xx), Trans Tech Publications, Switzerland, (Impact factor, 0.177, 2 years.), (Accepted)

[19] W. Namboonruang, R. Rawangkul, W. Yodsudjai, N. Suphadon, A. Boongurd and P. Yong-amnuai, “Properties of Crumb Rubber Mixed in Local Thailand Soil Cement Brick Composites” ***Journal of Advanced Materials Research (ISSN: 1022-6680)***, Vol. (20xx), Trans Tech Publications, Switzerland, (Impact factor, 0.177, 2 years.), (Accepted)

Book publication.

[1] **Weerapol Namboonruang**, Rattanakorn Rawangkul and Wanchai Yodsudjai “CEMENT AND FUNDAMENTAL DESIGN OF CONCRETE MIX” 1st ed, Bangkok: DEE DEE BOOK CO., LTD., 2011