



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยย่อยที่ 1 การใช้น้ำยางพาราผสมคอนกรีตในการผลิตคอนกรีตมวลเบา
และวัสดุปูพื้น

โดย

ผศ.ดร.จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์

พฤษภาคม 2561

สัญญาเลขที่ RDG60T0143

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยย่อยที่ 1 การใช้น้ำยางพาราผสมคอนกรีตในการผลิตคอนกรีตมวลเบาและวัสดุปูพื้น

คณะผู้วิจัย

ผศ.ดร. จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์ ภาควิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม

คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย วช.-สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สัญญาเลขที่ RDG60T0143

โครงการ “นวัตกรรมยางพาราในการประยุกต์ด้านวัสดุก่อสร้างสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน”

โครงการย่อยที่ 1 การใช้น้ำยางพาราผสมคอนกรีตในการผลิตคอนกรีตมวลเบาและวัสดุปูพื้น

รายงานฉบับสมบูรณ์

ส่วนที่ 1 ข้อมูลโครงการ

ชื่อผู้รับทุน : ผศ.ดร. จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์

โครงการเริ่มเมื่อวันที่ 1 มิถุนายน 2560 รวมเวลาที่ทำวิจัยทั้งสิ้น 12 เดือน

รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 1 ในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน 2560 ถึงวันที่ 30 พฤศจิกายน 2560

ร่างรายงานฉบับสมบูรณ์ ในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2560 ถึง 30 พฤษภาคม 2561

ร่างรายงานฉบับสมบูรณ์ แก้ไขครั้งที่ 1 วันที่ 20 กรกฎาคม 2561

ส่วนที่ 2 รายงานเนื้อหา

บทนำ

วิธีทดลอง

ผลการทดลอง

สรุปรายงานโครงการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก

ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ ต่อ สกว.

ลงนาม.....

(ผศ.ดร.จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์)

หัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

วันที่ 31 พฤษภาคม 2561

สัญญาเลขที่ RDG60T0143

โครงการ “นวัตกรรมยางพาราในการประยุกต์ด้านวัสดุก่อสร้างสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน”

โครงการย่อยที่ 1 การใช้ยางพาราผสมคอนกรีตในการผลิตคอนกรีตมวลเบาและวัสดุปูพื้น

รายงานฉบับสมบูรณ์

ตาราง Output

ระยะเวลา	Output กิจกรรมในข้อเสนอโครงการ	ผลสำเร็จ (%)	หมายเหตุ
6 เดือนแรก	1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องเบื้องต้น เตรียมวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลองทำการศึกษการผลิตทดสอบ และวิเคราะห์ผล	100%	
	2. จัดทำรายงานความก้าวหน้ารอบ 6 เดือน	100%	
6 เดือนที่ 2	1. ปรับปรุงและทดสอบสมบัติของต้นแบบ	100%	
	2. จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์	100%	

ลงนาม.....

(ผศ.ดร.จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์)

หัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

วันที่ 31 พฤษภาคม 2561

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการใช้น้ำยางชั้นเป็นส่วนผสมในการพัฒนาสมบัติของวัสดุก่อสร้างสำหรับผนังอาคารและวัสดุปูพื้น โดยศึกษาผลของการเติมน้ำยางชั้นในอัตราส่วนต่างๆ ต่อสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของผลิตภัณฑ์ทั้งสอง คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมอากาศสำหรับผลิตเป็นผนังอาคาร ใช้น้ำยางชั้นแอมโมเนียสูงและน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ อัตราส่วนน้ำยางชั้นต่อปูนซีเมนต์โดยน้ำหนัก (P/C) เท่ากับ 0-0.3 และคอนกรีตมวลเบาสำหรับผลิตวัสดุปูพื้น ใช้น้ำยางชั้นแอมโมเนียสูง อัตราส่วนน้ำยางชั้นต่อปูนซีเมนต์โดยน้ำหนัก (P/C) เท่ากับ 0-0.15 ผลการศึกษาพบว่า สูตรผสมคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมอากาศสำหรับผลิตเป็นผนังอาคารที่ดีที่สุดคือ คอนกรีตบล็อกมวลเบาที่ผสมกับน้ำยางชั้นชนิด Pre-vulcanized 30% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ (P/C เท่ากับ 0.3) ให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจาก 0.816 เป็น 1.032 g/cm³ การดูดกลืนน้ำลดลงร้อยละ 35.573 เป็น 23.947 โดยน้ำหนักแห้ง ค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นจาก 2.581 เป็น 10.442 N/mm² และค่ากำลังดัดเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 2.834 MPa ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.0518 W/m.K เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมแล้วจะพบว่าค่าความหนาแน่น ค่ากำลังอัด กำลังดัด สูงกว่าชุดควบคุม และยังให้ค่าการดูดกลืนน้ำที่น้อย ในส่วนของสูตรผสมคอนกรีตมวลเบาสำหรับผลิตวัสดุปูพื้นที่ดีที่สุดคือ คอนกรีตมวลเบาที่ผสมน้ำยางชั้น 7.5 % โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ โดยผลทดสอบสมบัติทางกายภาพพบว่า มีค่าการดูดกลืนน้ำเท่ากับ 9.00 % โดยน้ำหนักแห้ง (คอนกรีตปกติ 9.55%) และความหนาแน่นเท่ากับ 1.68 g/cm³ (คอนกรีตปกติ 1.87 g/cm³) ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่ากำลังรับแรงอัด มีค่าเท่ากับ 15.71 MPa (คอนกรีตปกติ 9.2 MPa) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.1389 W/m.K สูตรคอนกรีตมวลเบาเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตปกติแล้ว มีน้ำหนักเบากว่าแต่มีความสามารถในการรับแรงอัดสูงกว่าค่าการดูดกลืนน้ำที่น้อยกว่า ความสามารถในการรับแรงอัดสูงกว่า และเพิ่มอัตราในการกันเสียงได้มากขึ้น

คำสำคัญ : น้ำยางชั้น อิฐมวลเบา คอนกรีตมวลเบา สมบัติเชิงกล สมบัติกายภาพ น้ำยางพรีวัลคาไนซ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
สารบัญ	ข
เนื้อหาผลการดำเนินการ	
- บทนำ	1
- ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
- การดำเนินงาน	15
- ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย	41
- สรุปผลการวิจัย	60
- เอกสารอ้างอิง	62
ภาคผนวก	66

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญ

ยางพาราเป็นพืชชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย จากการสำรวจพบว่ามีเกษตรกรรวมไปถึงผู้ที่ทำธุรกิจเกี่ยวกับยางพาราราว 1 ล้านครัวเรือน ซึ่งมีจำนวนไม่น้อยกว่า 6 ล้านคน โดยประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการส่งออกยางพาราและผลิตภัณฑ์ยางพาราเป็นอันดับหนึ่งของโลก ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ที่ส่งออกจะอยู่ในรูปของวัตถุดิบแปรรูปขั้นต้น เช่น ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง และน้ำยางข้น เป็นต้น (สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร, ม.ป.ป.) แต่ในปัจจุบันมูลค่าของยางพารานั้นตกต่ำลงอย่างต่อเนื่องมาตั้งแต่ปลายปี 2554 จนถึงปัจจุบัน ปัญหาราคายางพาราที่ตกต่ำกลายเป็นปัญหาสำคัญและมีส่งผลกระทบต่อชาวสวนยาง รวมถึงผู้ประกอบการผลิตภัณฑ์ยางเป็นอย่างมาก (สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, ม.ป.ป.) มีสาเหตุมาจาก 1) เศรษฐกิจของประเทศผู้ใช้อยางพารา 2) การเติบโตของอุตสาหกรรมยานยนต์ 3) สต็อกยางพารามีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น (กฤษณี, 2557) ยางธรรมชาติ นอกจากจะเป็นยางที่มีความยืดหยุ่นสูงและมีราคาถูกแล้ว ยังจัดเป็นยางที่มีสมบัติทั้งเชิงกลและเชิงพลวัตที่ดีด้วยเหตุนี้ ยางธรรมชาติจึงถูกนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิด เช่น ยางรถยนต์ ยางรองกันการสั่นสะเทือน ยางกันกระแทกทำเรือ ถุงมือยาง เส้นยางยืดลูกโป่ง ยางรัดของ เป็นต้น (พร้อมศักดิ์, 2551) ยาง โครงการของรัฐในอดีตตั้งแต่ปี 2553 เน้นการเพิ่มผลผลิตยางพาราเนื่องจากราคายางอยู่ในระดับสูงแต่ปัจจุบันราคายางอยู่ในระดับต่ำซึ่งเป็นผลจากเศรษฐกิจโลกและเศรษฐกิจจีนชะลอตัวและผลจากโครงการการเพิ่มผลผลิตดังกล่าวก็ซ้ำเติมปัญหาราคายางตกต่ำอย่างต่อเนื่องจึงทำให้ทั้งทางภาครัฐ ผู้ประกอบการ เกษตรกรและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่างให้ความสนใจที่จะเพิ่มมูลค้ายางพาราด้วยการนำมาผลิตผลิตภัณฑ์ หรือการนำไปผสมกับวัสดุอื่นเพื่อนำมาทำถนน พื้นลู่วางกรีธา พื้นสนามกีฬา เป็นต้น (ประชา, 2559) การนำน้ำยางธรรมชาติมาประยุกต์ใช้กับงานคอนกรีต ซึ่งยางธรรมชาติจะมีคุณสมบัติคล้ายกาวเหมือนซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste) และมีความยืดหยุ่นและเหนียว ดังนั้นเมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในเชิงวิศวกรรมถือว่าเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถเพิ่มมูลค่าให้ยางพาราของไทย

อิฐมวลเบา หรือชื่อเรียกอย่างเป็นทางการว่า คอนกรีตมวลเบา คอนกรีตที่มีน้ำหนักเบาและมีความหนาแน่นน้อยกว่าคอนกรีตที่นำมาใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป ซึ่งสามารถนำมาใช้แทนได้ในกรณีงานก่อสร้างที่ไม่ต้องการรับน้ำหนักหรือรับความดันการอัดมากและยังมีสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อนและเก็บเสียงได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดา โดยทั่วไปส่วนผสมในการผลิตจะประกอบไปด้วย ปูนซีเมนต์ ทรายละเอียด ทรายหยาบและน้ำ โดยจะมีการเลือกใช้วัสดุผสมอื่นๆ ที่มีน้ำหนักเบาเข้าไปแทนที่ทรายละเอียดหรือทรายหยาบ ซึ่งวัสดุทดแทนส่วนใหญ่ที่นำมาใช้ได้มาจากการผลิตขึ้นโดยตรงจากอุตสาหกรรมหรือผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมอื่นๆ (ภานุ, 2552) นกตล และคณะ (2556) ได้ทำการศึกษาการนำเศษพลาสติกเอทิลีนไวน์ลอะซิเตท (EVA) ที่เหลือจากอุตสาหกรรมรองเท้า มาเป็นวัสดุทดแทนส่วนของทรายและผงอะลูมิเนียม พบว่าเมื่อมีการแทนที่ด้วย EVA จะเพิ่มประสิทธิภาพความเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบามากขึ้นและจากการศึกษาการใช้ น้ำยางวัลคาไนซ์มาผสมในคอนกรีตบล็อกเศษพลาสติกอีวีเอเพื่อพัฒนาคุณสมบัติ พบว่าเมื่อมีการเติมน้ำยางพาราในคอนกรีตบล็อกจะช่วยลดความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ การหดตัวแห้ง และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน รวมทั้งเพิ่มสมบัติการดูดซับเสียง ฉนวนป้องกันความร้อน แต่การผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ที่มากเกินไปมีส่วนทำให้กำลังอัดลดลง (Khamput and Suweero, 2014)

คอนกรีตมวลเบาหรืออิฐมวลเบาเป็นคอนกรีตที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไปที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์มวลผสมละเอียด มวลผสมหยาบ น้ำ และอาจมีสารผสมเพิ่มอื่นๆอีก ซึ่งเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีน้ำหนักเบาเนื่องจากมีฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมาก ทำให้เป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี ป้องกันความร้อนได้มากกว่า ประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง ประหยัดพลังงาน ซึ่งในระยะเริ่มแรกคอนกรีตมวลเบาไม่ค่อยได้รับความนิยมเท่าที่ควร ต่อมาเมื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างขยายตัวเพิ่มขึ้น ประกอบกับคุณสมบัติเฉพาะตัวของคอนกรีตมวลเบาที่มีน้ำหนักเบา ทำให้คอนกรีตมวลเบาได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น (มยุรี, 2553)

ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมอากาศให้มีคุณสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อนที่เพิ่มขึ้น โดยจะเลือกใช้วัสดุทางธรรมชาติ คือ ยางพารา ซึ่งจะเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มมูลค่ายางพารา โดยจะทำการศึกษาหาความเหมาะสมของสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น (Density) และอัตราการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) สมบัติเชิงกล ได้แก่ ค่ากำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) ค่าการรับแรงดัด (Flexural Strength) และอัตราการดูดซับเสียง (Sound Absorption) และแนวคิดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบาให้มีคุณสมบัติที่ดียิ่งขึ้น โดยใช้วัสดุทางธรรมชาติ คือ ยางพารา และเป็นการเพิ่มความแข็งแรงให้กับคอนกรีต อีกทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับยางพารา โดยจะทำการศึกษาคูณสมบัติเชิงกล คือ ค่ากำลังต้านทานแรงอัด (Compressive Strength) ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) อัตราการกันเสียง (STC Rating) ความแข็งแรงต่อการโค้งงอ (Flexural Strength) โดยจะเปรียบเทียบคุณสมบัติดังกล่าวกับคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตมวลเบาที่ไม่มีส่วนผสมของยางพารา

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ยางธรรมชาติ (NR)

ยางธรรมชาติส่วนมากเป็นยางที่ได้มาจากต้นยาง *Hevea Brazilliensis* ซึ่งมีต้นกำเนิดจากกลุ่มแม่น้ำอเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ น้ำยางสดที่กรีดได้จากต้นยางมีลักษณะสีขาวขุ่นและมีเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber) ประมาณ 30 % แขนงลอยอยู่ในน้ำ ถ้านำนํายางที่ได้นี้ไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) จนกระทั่งได้นํายางที่มีปริมาณยางแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 60 % เรียกว่า นํายางข้น (Concentrated Latex) การเติมสารแอมโมเนียลงไปจะช่วยรักษาสภาพของนํายางข้นให้เก็บไว้ได้นาน นํายางข้นส่วนหนึ่งจะถูกส่งออกสู่ตลาดต่างประเทศ ส่วนที่เหลือจะถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมยางมือยางและยางอนามัย เป็นต้น แต่เมื่อนำนํายางสดที่กรีดได้มาเติมกรดเพื่อให้อนุภาคนํายางจับตัวกันเป็นของแข็งแยกตัวจากน้ำ จากนั้นก็รีดยางให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องรีด (Two-roll Mill) และนำไปตากแดดเพื่อไล่ความชื้นก่อนจะนำไปอบรมควันที่อุณหภูมิประมาณ 60-70°C เป็นเวลา 3 วัน เราก็จะได้ยางแผ่นรมควัน

นอกจากยางแผ่นรมควันแล้ว อุตสาหกรรมส่วนใหญ่เริ่มเปลี่ยนมาใช้ยางแท่งหรือยางก้อนเป็นวัตถุดิบ ทั้งนี้เนื่องจากยางแท่งเป็นยางมีคุณภาพที่สม่ำเสมอกว่ายางแผ่นรมควัน ผ่านการทดสอบและจัดชั้นเพื่อรับรองคุณภาพตามหลักวิชาการ วัตถุดิบของการผลิตยางแท่ง ได้แก่ นํายางหรือยางแผ่นขึ้นอยู่กับเกรดของยางแท่งที่ต้องการผลิต เช่น ถ้าต้องการผลิตยางแท่งเกรด STR5L ซึ่งมีสีจางมาก จำเป็นต้องใช้นํายางเป็นวัตถุดิบ หรือถ้าต้องการผลิตยางแท่งเกรด STR20 ซึ่งเป็นเกรดที่มีสีเงาเข้มและมีสีเข้ม ก็อาจใช้ยางแผ่นหรือขี้ยางเป็นวัตถุดิบ เป็นต้น ส่วนกระบวนการผลิตยางแท่งค่อนข้างจะยุ่งยากต้องอาศัยเครื่องจักรที่มีราคาแพงและต้องมีการควบคุมคุณภาพอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นราคายางแท่งจึงสูงกว่ายางแผ่นรมควัน

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมี คือ cis-1,4-polyisoprene กล่าวคือ มี isoprene (C_5H_8) โดยที่ n มีค่าตั้งแต่ 15,000 -20,000 เนื่องจากส่วนประกอบของยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน เป็นต้น โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (Amorphous) แต่ในบางสภาวะโมเลกุลของยางสามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อถูกยืด มันจึงสามารถเกิดผลึก (Crystallize) ได้ การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (Low Temperature Crystallization) จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ยางก็จะอ่อนลงและกลับสู่สภาพเดิม ในขณะที่การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัว (Strain Induced Crystallization) ทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลดี นั่นคือยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear Resistance) และความทนทานต่อการขัดสี (Abrasion Resistance) สูง (หน่วยเทคโนโลยียาง, 2556)

คุณสมบัติของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติมีสมบัติดีเยี่ยมในด้านการทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) แม้ไม่ได้เติมสารเสริมแรง และมีความยืดหยุ่นสูงมากจึงเหมาะที่จะใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ยางรัดของ เป็นต้น

ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัต (Dynamic Properties) ที่ดี มีความยืดหยุ่น (Elasticity) สูง ในขณะที่มีความร้อนภายใน (Heat Build-up) ที่เกิดขณะใช้งานต่ำ และมีสมบัติการเหนียวติดกัน (Tack) ที่ดี จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางรถบรรทุก ยางล้อเครื่องบิน หรือใช้ผสมกับยางสังเคราะห์ในการผลิตยางรถยนต์ เป็นต้น

ยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear Resistance) สูง ทั้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางกระเปาะน้ำร้อน เพราะในการแกะชิ้นงานออกจากเบ้าในระหว่างกระบวนการผลิตจะต้องดึงชิ้นงานออกจากเบ้าพิมพ์ในขณะที่ร้อน ยางที่ใช้จึงต้องมีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดขณะร้อนสูง

การใช้ประโยชน์จากยางธรรมชาติ

ประเทศไทยมีความได้เปรียบด้านอุตสาหกรรมยาง เนื่องจากเป็นประเทศผู้ผลิตยางอันดับหนึ่งของโลกจึงมีโอกาสและความเป็นไปได้ในการพัฒนาประเทศให้เป็นศูนย์กลางการผลิตและส่งออกผลิตภัณฑ์แปรรูปเบื้องต้นให้มีคุณภาพตรงตามความต้องการของผู้ใช้ได้ รวมทั้งพัฒนาการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ยางในชั้นปลาย ทั้งนี้หน่วยงานภาครัฐได้สนับสนุนให้มีการใช้ยางธรรมชาติในประเทศเพิ่มมากขึ้น โดยให้มีการเพิ่มการผลิตยางที่มีศักยภาพ พัฒนาผลิตภัณฑ์ยาง สร้างมูลค่าเพิ่มเพื่อเพิ่มปริมาณการใช้ยางให้มากขึ้นโดยมีเป้าหมายเพิ่มการใช้ยางภายในประเทศเป็นร้อยละ 20 จากเดิมที่มีการใช้เพียงร้อยละ 11 ของผลผลิตทั้งหมด หรือประมาณ 3.2 – 3.4 แสนตันต่อปี ทั้งนี้ ในปี 2553 คาดว่าจะมีการใช้ยางพาราในอุตสาหกรรมในประเทศประมาณ 0.373 ล้านตัน โดยจะเพิ่มขึ้นจากปี 2552 ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากประเทศผู้ใช้ยางส่วนใหญ่ เช่น จีน ญี่ปุ่น มีการขยายฐานการผลิตในไทยมากขึ้น การใช้ยางพาราในอุตสาหกรรมภายในประเทศประกอบด้วย

1. ยางยานพาหนะ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าการส่งออกสูงสุดของประเทศในปี 2552 มีมูลค่าการส่งออก 68,726.08 ล้านบาทได้แก่ ล้อรถยนต์ ล้อเครื่องบิน ล้อรถจักรยานยนต์ ล้อรถจักรยาน และล้อรถอื่นๆ ทั้งยางนอกและยางใน รวมถึงยางอะไหล่รถยนต์ ซึ่งผลิตภัณฑ์ยางในกลุ่มนี้มีปริมาณการใช้ยางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบเกือบร้อยละ 50 โดยใช้ประมาณ ปีละ 158,883 ตัน

2. ยางยืดและยางรัดของ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ยางธรรมชาติจำนวนมากในส่วนผสมยางยืดใช้ในอุตสาหกรรมตัดเย็บเสื้อผ้าต่างๆ ส่วนยางรัดของก็ใช้ทั่วไปในชีวิตประจำวันใช้ยางธรรมชาติในการผลิตถึงปีละ 90,561 ตัน หรือร้อยละ 28.22

3. ถุงมือยางทางการแพทย์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าส่งออกรองจากยางยานพาหนะ ปี 2553 มีมูลค่าการส่งออก 2,274.9 ล้านบาท ถุงมือยางที่ผลิตในประเทศไทย ประกอบด้วย ถุงมือตรวจโรค และถุงมือผ่าตัด สำหรับวัตถุดิบยางธรรมชาติที่ใช้ในการผลิตถุงมือยาง เป็นน้ำยางข้น มีปริมาณการใช้ยางธรรมชาติปีละ 57,120 ตัน ต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 17.80 ของปริมาณการใช้ยางทั้งหมด

4. รองเท้าและอุปกรณ์กีฬา รองเท้ายางและพื้นรองเท้าที่ทำจากยางธรรมชาติรวมทั้งอุปกรณ์กีฬาบางชนิด มีส่วนผสมที่เป็นยางธรรมชาติและผลิตในประเทศไทยปีหนึ่งจำนวนไม่น้อย ในปี 2549 ใช้ยางธรรมชาติในการผลิตประมาณ 8,492 ตัน

5. สายพานลำเลียง ใช้งานในการลำเลียงของหนักชนิดต่างๆ มีขนาดตั้งแต่ 2-3 นิ้ว ไปจนถึง 1.5 เมตร ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้มีการนำเข้ามามากกว่าการส่งออก โดยในปี 2549 มีมูลค่าการส่งออก 1,057 ล้านบาท และนำเข้า 1,620 ล้านบาท ในการผลิตสายพานใช้ยางปีละประมาณ 1,318 ตัน เป็นยางแผ่นรมควันชั้น 1,3,5 และยางแท่ง STR XL, 20

6. ผลิตภัณฑ์ฟองน้ำ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากน้ำยางชั้น ปี 2549 มีปริมาณการใช้ยางธรรมชาติ 364 ตัน ส่วนใหญ่ผลิตเพื่อใช้ภายในประเทศ มีโรงงานผลิต 12 โรง

7. สื่อการเรียนการสอน อุปกรณ์และสื่อการเรียนการสอน โดยเฉพาะทางด้านการแพทย์ จะใช้วัสดุจำพวกยางและนำเข้าจากต่างประเทศ ให้ความรู้สึกรู้สึกในการปฏิบัติงานเหมือนของจริง ยางพาราสามารถนำไปใช้ผลิตสื่อการเรียน การฝึกปฏิบัติงานได้เป็นอย่างดีเช่นกันโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากยางฟองน้ำ เช่น โมเดล ร่างกายมนุษย์, สัตว์ แขนเทียมสำหรับฝึกทางการแพทย์ เป็นต้น

8. ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในงานก่อสร้างและวิศวกรรม

- ยางรองคอสสะพาน (Elastomeric Bearings for Bridges) หรือแผ่นยางรองคอสสะพาน (Rubber Bridge Bearigs) แบ่งตามชนิดของยางที่ใช้ผลิตเป็น 2 ประเภท คือ ยางรองคอสสะพาน ทำจากยางสังเคราะห์ Polychloroprene, (CR) or Neoprene และทำจากยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR) ซึ่งทั้ง 2 ประเภท มีทั้งแบบแผ่นยางล้วน (Plain) และแบบที่มีวัสดุเสริมแรง (Laminated) สำหรับการเลือกใช้ยางตามประเภทชนิดและแบบได้นั้นขึ้นอยู่กับข้อกำหนดมาตรฐานของผู้ออกแบบและ/หรือของผู้ก่อสร้าง

- แผ่นยางกันน้ำซึม (Water Stop) ทำหน้าที่เหมือนปะเก็นของงานคอนกรีต ใช้ป้องกันการรั่วซึมของน้ำ หรือ หดตัวของคอนกรีต เพื่อไม่ให้น้ำรั่วซึมหรือผ่านได้ ในงานก่อสร้างทั่วไป เช่น คอนกรีต คาน สะพาน อาคารชั้นใต้ดิน ดาดฟ้า เป็นต้น รวมทั้งงานก่อสร้างที่โครงสร้างต้องสัมผัสกับน้ำตลอดเวลา เช่น แท่งค้ำน้ำ บ่อบำบัดน้ำเสีย สระว่ายน้ำ คลองส่งน้ำ เขื่อนและฝาย เป็นต้น

- ยางกันชนหรือกันกระแทก (Rubber or Rubber Bumper) ใช้เป็นเครื่องป้องกันการเฉี่ยวหรือการกระแทกของเรือ หรือรถเมื่อเข้าจอดเทียบท่า ใช้วัตถุดิบผลิตได้ทั้งยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์

- ยางคันรอยต่อคอนกรีต (Rubber Hose for Joint of Rubber Sealant) มีลักษณะเป็นท่อขนาดเล็กมีรูกลวงตลอดความยาว ใช้อุดรอยต่อด้านล่างของคอนกรีตของสะพาน หรือรอยต่อระหว่างคานสะพานกันต่อม่อของสะพานก่อนการหยอดยางมะตอย วัตถุดิบที่ใช้ผลิตทั้งจากยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ แต่มักมีการกำหนดให้ใช้ยางสังเคราะห์

- บล็อกยางปูพื้น (Rubber Block) ใช้ปูพื้นแทนอิฐบล็อกคอนกรีต บล็อกยางมีข้อได้เปรียบ บล็อกคอนกรีตคือเบากว่า ผิวมีสปริง ยืดหยุ่นได้เวลาลื่นล้มจึงไม่บาดเจ็บมากและไม่เป็นแผล ส่วนใหญ่มักผลิต

จากยางธรรมชาติผสมกับยางรีไซเคิลธรรมชาติหรือสังเคราะห์ ปัจจุบันยังไม่ค่อยนิยมใช้ยางบล็อกปูพื้นเพราะราคาค่อนข้างสูงกว่าบล็อกคอนกรีต

- แผ่นยางปูอ่างเก็บน้ำ (Rubber Water Confine) เป็นผลิตภัณฑ์ยางที่สามารถใช้ยางธรรมชาติปูลงสระ เพื่อเก็บกักน้ำบนผิวดินที่เก็บน้ำไม่ได้ เช่น ดินปนทราย ดินลูกรัง โดยมีสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ได้พัฒนาขึ้นมาตั้งแต่ปี 2529 และสามารถพัฒนาได้กว้างขวางได้แก่ ใช้เก็บกักน้ำสำหรับเกษตรกร ใช้งานในสนามกอล์ฟและรีสอร์ท ใช้ในงานชลประทาน บ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมที่ไม่สามารถกักเก็บน้ำได้ โดยทั่วไปวัตถุดิบที่ใช้ในการปูสระกักเก็บน้ำสามารถใช้เป็นยางธรรมชาติ หรือยางสังเคราะห์ หรือ พลาสติก หรือผ้าใบเคลือบยาง

- ฝายยาง (Rubber Dam) หรือเขื่อนยางส่วนใหญ่ผลิตจากยางสังเคราะห์แต่ผู้ผลิตให้ความเห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะใช้วิธีการเคลือบชั้นนอกของตัวฝายยางด้วยยางสังเคราะห์ และภายในใช้ยางธรรมชาติแต่ความเป็นไปได้นี้ต้องได้รับความเห็นชอบจากผู้ใช้อย่างไรก็ตามปัจจุบันยังไม่ค่อยเป็นที่สนใจของผู้ผลิตภายในประเทศ เพราะมีผู้ใช้จำกัดเพียงกรมชลประทานและมีราคาสูง แต่ข้อดีของฝายยางธรรมชาติ คือสามารถปรับระดับความสูงของฝายได้ตามความเหมาะสมของระดับน้ำ ซึ่งสามารถลดแรงกระแทกจากน้ำหลากและช่วยระบายน้ำป้องกันน้ำท่วมล้นตลิ่ง อีกทั้งยังไม่ก่อให้เกิดน้ำล้นหน้าฝาย ป้องกันตะกอนทรายตกตะกอนหน้าฝายได้ นอกจากนี้ในฝายที่อยู่บริเวณปากแม่น้ำจะสามารถป้องกันน้ำเค็มรุกเข้าเข้ามาในพื้นที่เพาะปลูกและพื้นที่อยู่อาศัยอีก ทั้งฝายยางยังทนทานต่อการกัดกร่อนของน้ำเค็มได้ดีกว่าบานประตูระบายน้ำที่ทำด้วยเหล็ก สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ได้ศึกษาสูตรผลิตแผ่นฝายยางโดยการใช้อยางธรรมชาติผสมยางสังเคราะห์ EPEM และทดลองติดตั้งฝายยางเมื่อปี 2537

- แผ่นยางปูพื้น (Rubber Floor Mat) ส่วนใหญ่ผลิตจากยางธรรมชาติ ใช้ปูพื้นหรือทางเดินบนอาคารโรงงาน สำนักงาน สนามบินใช้ได้ทั้งพื้นที่ราบและพื้นที่ลาดเอียง เพื่อป้องกันการลื่น และลดเสียงที่เกิดจากการเดิน หรือการกระแทก

9. การใช้ยางพาราผสมยางมะตอยสำหรับทำผิวถนน ปัจจุบันการคมนาคมขนส่งมีความสำคัญและมีการขยายตัวมาก โดยเฉพาะถนนถือเป็นปัจจัยหลักของการคมนาคมและถนนแต่มีจะประสบปัญหาในเรื่องเกิดการชำรุดเสียหายเร็วกว่าปกติ การปรับปรุงสมบัติของยางมะตอยให้ใช้ในงานทางให้ดีขึ้นจะช่วยให้ถนนมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น โดยใช้อยางพาราผสมยางมะตอยในอัตราร้อยละ 5 ทำให้อยางมะตอยมีความแข็งแรงขึ้นมีความอ่อนตัวและยืดหยุ่นมากขึ้น ดังนั้นถนนที่ราดยางมะตอยผสมกับยางพาราจะมีความแข็งแรงและทนทานมากขึ้น และมีการเกิดร่องล้อน้อยกว่าการใช้อยางมะตอยปกติ ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมบำรุงรักษาและเป็นการเพิ่มปริมาณการใช้อยางภายในประเทศให้มากขึ้นด้วย (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2556)

ส่วนประกอบของยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางธรรมชาติจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน เป็นต้น โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (amorphous) แต่ในบางสภาวะโมเลกุลของยางสามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อถูกยืด จึงสามารถเกิดผลึก (crystallize) ได้การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ จะทำให้อยาง

แข็งมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างก็จะอ่อนลงและกลับสู่สภาพเดิม ในขณะที่การเกิดผลึกเองจากการยืดตัวทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลที่ดี นั่นคือยางจะมีความทนต่อแรงดึง ความทนต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการขาดสูง ลักษณะเด่นอีกอย่างของธรรมชาติคือ ความยืดหยุ่น (elasticity) ยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นสูงเมื่อแรงภายนอกที่มากระทำหมดไป ยางก็จะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) อย่างรวดเร็ว ยางธรรมชาติยังมีสมบัติดีเยี่ยมด้านการเหนียวติดกัน (tack) ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบ (assemble) ชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางรถยนต์ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ยางดิบตามลำพังจะมีขีดจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลต่ำ และลักษณะทางกายภาพจะไม่เสถียรขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงแปลงอุณหภูมิมาก กล่าวคือยางจะอ่อนนุ่มและเหนียวเหนอะหนะเมื่อร้อน แต่จะแข็งเปราะเมื่ออุณหภูมิต่ำ ด้วยเหตุนี้การใช้ประโยชน์จากยางจำเป็นต้องมีการผสมยางกับสารเคมีต่างๆ เช่น กำมะถัน ผงเขม่าดำ และสารตัวเร่งต่างๆ เป็นต้น หลังจากการบดผสม ยางผสมหรือยางคอมพาวด์ (rubber compound) ที่ได้จะถูกนำไปขึ้นรูปในแม่พิมพ์ภายใต้ความร้อนและความดัน กระบวนการนี้เรียกว่าวัลคาไนเซชัน (vulcanization) (พงษ์ธร, ม.ป.ป)

เนื่องด้วยน้ำยางจากธรรมชาติจะเกิดการเสียสภาพการเป็นของเหลวและจับตัวแข็งและมีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ (เม็ดพริก) ภายในระยะเวลาไม่กี่ชั่วโมงหลังจากถูกกรีดออกจากต้นยาง จึงจำเป็นต้องรักษาสภาพของน้ำยางด้วยการเติมสารเคมีบางชนิด เช่น

แอมโมเนีย มีลักษณะเป็นก๊าซ มีฤทธิ์เป็นด่าง ทำให้เกิดการระคายเคืองจมูก เตรียมใช้งานโดยการละลายในน้ำ ทำให้น้ำยางมีความเสถียรมากขึ้น และช่วยกำจัดแมกนีเซียมในน้ำยางสด โดยใช้ปริมาณ 0.01-0.05% ต่อน้ำหนักน้ำยาง สามารถเก็บรักษาน้ำยางได้ 3-10 ชั่วโมง หากต้องการเก็บนาน 1-2 วัน ต้องใช้ปริมาณ 0.15% ต่อน้ำหนักน้ำยาง

ฟอร์มัลดีไฮด์ มีลักษณะเป็นก๊าซ เตรียมใช้งานในรูปของก๊าซละลายน้ำ เรียกว่า ฟอร์มาลิน เข้มข้น 38-40% ระหว่างการเก็บสามารถเปลี่ยนรูปเป็นกรดฟอร์มิกได้ ดังนั้น ก่อนใช้งานต้องทำให้เป็นกลางด้วยโซเดียมคาร์บอเนต หรือโซเดียมซัลไฟท์ โดยใช้งานเข้มข้น 1% ก็มีความสามารถในการทำลายแบคทีเรียได้

โซเดียมซัลไฟท์ เตรียมให้อยู่ในรูปสารละลายเข้มข้น 3-5% น้ำหนักต่อปริมาตร โดยใช้ในน้ำยาง 0.02-0.08% โดยน้ำหนัก (เทียบกับเนื้อยางแห้ง) แนะนำให้ใช้ที่ 0.05% ต่อน้ำหนักน้ำยาง โดยส่วนแรกให้หยดลงไปในตัวรองรับน้ำยาง และส่วนที่เหลือให้ใส่ลงในถังรวบรวมน้ำยางสด และให้เตรียมใช้งานวันต่อวัน

โซเดียมคาร์บอเนต มีลักษณะเป็นผลสีขาว มีฤทธิ์เป็นด่างอ่อนๆ สามารถลดปริมาณกรดที่เกิดขึ้นในน้ำยางสดได้ สามารถเก็บรักษาน้ำยางสดได้ในระยะเวลาช่วงสั้นๆ 1-2 ชั่วโมง ถ้าใช้ปริมาณสูงขึ้นจะเก็บรักษาได้นานขึ้น

บอแรกซ์ มีลักษณะเป็นผงสีขาว มีฤทธิ์เป็นด่างอ่อนๆ สามารถทำลายเชื้อแบคทีเรียได้ และสามารถเก็บรักษาน้ำยางโดยไม่ทำให้น้ำยางมีสีเข้ม

น้ำยางพรีวัลคาไนซ์

น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ หมายถึง น้ำยางชั้นที่ผ่านกระบวนการที่ทำให้โมเลกุลของยางเกิดพันธะเคมีเชื่อมโยง (การวัลคาไนซ์) อันเนื่องมาจากการให้ความร้อนและสารเคมีที่เหมาะสม น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ยังคงสถานะเป็นของไหล ดังนั้น ยางพรีวัลคาไนซ์ถือว่าเป็นน้ำยางกึ่งสำเร็จรูปที่สามารถขึ้นรูปเป็นยางวัลคาไนซ์ได้

โดยไม่ต้องให้ความร้อนอีก ซึ่งการวัดค่าในซิงค์จะทำปฏิกิริยากับกำมะถัน ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความยืดหยุ่น ทนทาน และไม่เหนียวติด

คอนกรีตมวลเบา (Light Weight Concrete)

คอนกรีตมวลเบาเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีการนำมาใช้ และกำลังเป็นที่นิยมในปัจจุบันเพราะมีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนได้มากกว่าวัสดุก่อสร้างชนิดอื่นที่มีมา โดยตัววัสดุเองมีส่วนผสมมาจาก ทราย ปูนซีเมนต์ ปูนขาว น้ำ ยิปซัม และผงอลูมิเนียม ผสมรวมกันแต่ส่วนที่สำคัญที่สุดก็คือ ฟองอากาศเล็กๆเป็นรูพรุนไม่ต่อเนื่อง(Disconnecting Voids) ที่มีอยู่ในเนื้อวัสดุประมาณร้อยละ 75 ทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบา ซึ่งผลของความเบาจะช่วยให้ประหยัดโครงสร้างอีกทั้งการที่มีฟองอากาศเหล่านั้น ยังเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของคอนกรีตมวลเบา

คอนกรีตมวลเบา มีหลายประเภท หากมองเพียงภายนอกของแต่ละประเภทแทบไม่มีความแตกต่างเลย แต่เนื่องจากคอนกรีตมวลเบาที่ใช้วัตถุดิบและกระบวนการผลิตที่ต่างกันจะทำให้มีคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาแตกต่างกัน ซึ่งคอนกรีตมวลเบาโดยทั่วไปแบ่งตามกระบวนการผลิตได้ 2 ระบบ ดังนี้

1. ระบบที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (Non – Autoclaved System)

ซึ่งจะแบ่งย่อยออกได้อีกเป็น 2 ประเภท คือ

ประเภทที่ 1 ใช้วัสดุเบากว่ามาทดแทน เช่น ขี้เลื่อย ขี้เถ้า ขานอ้อย หรือเม็ดโฟม ทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักที่เบาขึ้น แต่จะมีอายุการใช้งานที่สั้นเสื่อมสภาพได้เร็ว และหากเกิดไฟไหม้ สารเหล่านี้อาจเป็นพิษต่อผู้อยู่อาศัย

ประเภทที่ 2 ใช้สารเคมี (Circular Lightweight Concrete) เพื่อให้เนื้อคอนกรีตฟู และทิ้งให้แข็งตัว คอนกรีตประเภทนี้จะมีการหดตัวมากกว่า ทำให้ปูนฉาบแตกร้าวได้ง่าย ไม่ค่อยแข็งแรง

คอนกรีตที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูงนี้ส่วนใหญ่เนื้อผลิตภัณฑ์มักจะมีสีเป็นสีปูนซีเมนต์ ต่างจากคอนกรีตที่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูงซึ่งจะมีเนื้อผลิตภัณฑ์เป็นผลึกสีขาว

2. ระบบอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (Autoclaved System)

ซึ่งแบ่งตามวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตได้เป็น 2 ประเภท คือ

ประเภทที่ 1 Lime Base เป็นการผลิตโดยใช้ปูนขาวเป็นวัตถุดิบ ซึ่งควบคุมคุณภาพได้ยาก มาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตทำให้คุณภาพคอนกรีตที่ได้ไม่ค่อยสม่ำเสมอ มีการดูดซึมน้ำมากกว่า

ประเภทที่ 2 Cement Base ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต ผสมกับวัสดุจำพวก ทราย ยิปซัม ปูนขาว น้ำ และผงอะลูมิเนียม ในสัดส่วนที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในเนื้อคอนกรีต แล้วจึงนำไปอบให้ได้เพื่อเข้าสู่กระบวนการตัด และเข้าสู่กระบวนการอบไอน้ำที่เรียกว่า “Autoclave” ภายใต้อุณหภูมิความดันสูง เป็นระบบที่นอกจากจะช่วยให้

คอนกรีต มีคุณภาพได้มาตรฐานสม่ำเสมอแล้ว ยังช่วยให้เกิดการตกผลึก (Calcium Silicate) ในเนื้อคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมีความแข็งแรง ทนทาน กว่าที่ผลิตในระบบอื่นมาก (lenergyguru, 2015)

คุณสมบัติคอนกรีตมวลเบา

ประหยัดพลังงาน คอนกรีตมวลเบาสามารถป้องกันความร้อนได้ดีกว่าอิฐมวลเบาถึง 4-8 เท่า จึงช่วยลดการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกสู่อาคารได้เป็นอย่างดี ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายจากขนาดของเครื่องปรับอากาศที่เล็กลง และลดค่าไฟฟ้าได้ถึงร้อยละ 30

น้ำหนักเบา คอนกรีตมวลเบามีน้ำหนักเบากว่าอิฐมวลเบา 2-3 เท่า และเบากว่าคอนกรีต 4-5 เท่า ทำให้ประหยัดค่าก่อสร้าง โครงสร้างอาคาร และเสาเข็ม แต่อาคารยังคงมีความแข็งแรงเท่าเดิม

ใช้งานง่าย คอนกรีตมวลเบาใช้งานง่าย แม้ว่าจะมีขนาดใหญ่กว่าอิฐชนิดอื่น แต่มีน้ำหนักเบา สะดวกต่อการขนส่ง และสามารถตัดแต่ง ไส เจาะ และฝังท่อระบบ ตลอดจนสามารถก่อสร้างได้สะดวก รวดเร็ว กว่าอิฐหรือคอนกรีตชนิดอื่น

ป้องกันไฟ คอนกรีตมวลเบามีคุณสมบัติที่เป็นฉนวน ทำให้ทนไฟได้ถึง 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 1,100 °C สามารถทนไฟได้ดีกว่าผนังที่ก่อด้วยอิฐชนิดอื่น

ป้องกันเสียง ผนังอิฐมวลเบาสามารถกันเสียงรบกวนจากภายนอกได้มากกว่าผนังอิฐมวลเบาประมาณ 20%

ไม่มีสารพิษ คอนกรีตมวลเบาไม่มีส่วนผสมของสารพิษ จึงสามารถยับยั้งหรือสัมผัสได้เมื่อถูกเผาไฟ จะไม่เกิดควันหรือสารที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ (มยุรี, 2550)

คุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีต (Mechanical Properties of Concrete)

กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต หมายถึง ความต้านทานต่อหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นโดยไม่เกิดรอยแตกร้าว และการพังทลาย โดยกำลังอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการ ได้แก่ กำลังของมอร์ตาร์ กำลังของมวลรวมหยาบ และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ตาร์กับมวลรวมหยาบ

กำลังรับแรงดึง (Tensile Strength) คอนกรีตจัดเป็นวัสดุเปราะ คือ มีกำลังรับแรงอัดสูงและกำลังรับแรงดึงค่าประมาณร้อยละ 5 ถึงร้อยละ 15 ของกำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึง หมายถึง ความต้านทานในการรับแรงดึงของคอนกรีต ถึงแม้ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก คอนกรีตจะไม่ได้รับแรงดึงก็ตาม แต่การทราบค่ากำลังดึงนี้จะช่วยในการควบคุมการแตกร้าวของคอนกรีตจากผลกระทบต่างๆ เช่น อุณหภูมิ การหดตัว และมีประโยชน์อย่างมากในงานคอนกรีตอัดแรง เป็นต้น

ค่าสภาพการนำความร้อน (Thermal Conductivity) ซึ่งเป็นการวัดอัตราการไหลของความร้อนที่จุดใดๆ ผ่านมวลวัสดุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันระหว่างพื้นผิวของวัสดุ โดยจะมีค่าแตกต่างกันตามชนิดของวัสดุ ถ้าวัสดุสามารถนำความร้อนได้ดี ก็จะมีค่า k ที่สูง เราจะเรียกวัดคุณสมบัตินี้ว่า “ตัวนำความร้อน”

ตัวอย่างเช่น โลหะ แต่ถ้าวัสดุใดสามารถนำความร้อนได้น้อย หรือมีค่า k ต่ำ วัสดุประเภทนี้จะเรียกว่า “ฉนวนความร้อน” มีสมบัติในการป้องกันการถ่ายเทความร้อนได้ดี ดังนั้นจึงนิยมนำมาใช้ในการหุ้มท่อในระบบต่างๆ เพื่อให้ประหยัดการใช้พลังงาน (สมจิตร, 2558)

อัตราการกั้นเสียง (Sound Transmission Class) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการลดเสียงจากด้านหนึ่งไปยังด้านหนึ่งของระบบผนังหรือหลังคา ซึ่งยิ่งค่า STC มาก แสดงว่าระบบนั้นสามารถกั้นเสียงได้ดี เช่น ผนังที่มีค่า STC 50 จะกั้นเสียงได้ดีกว่าผนังที่มีค่า STC 40

สมบัติทางกายภาพ (Physical Properties of Concrete)

ความหนาแน่น (Dry Bulk Density) อัตราส่วนระหว่างมวลของชิ้นทดสอบหลังอบในตู้อบต่อปริมาตรของชิ้นทดสอบ ในการเลือกใช้คอนกรีตมวลเบาสำหรับก่อผนังแล้ว ส่วนใหญ่จะเลือกผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งต่ำจะทำให้น้ำหนักของโครงสร้างเบาลง

ค่าการดูดกลืนน้ำ (Water Absorption) เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำสูงสุดที่คอนกรีตสามารถดูดซับได้น้ำหนักของคอนกรีตในสภาพแห้ง การเลือกใช้ใช้งานคอนกรีตสำหรับก่อผนังควรเลือกคอนกรีตที่มีอัตราการดูดซึมน้ำต่ำ เพราะหากมีอัตราการดูดซึมน้ำสูง เมื่อคอนกรีตมวลเบาได้รับความชื้นจากภายนอก จะทำให้คอนกรีตดูดซับความชื้นไว้มาก ส่งผลให้ความแข็งแรงของผนังลดน้อยลง การยืดหดตัวก็เปลี่ยนแปลงได้มากขึ้น

การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับอาคารมีวัตถุประสงค์เพื่อให้แสงสว่าง การปรับอากาศ และอุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่างๆ การใช้พลังงานมากที่สุดในประเทศเขตร้อนคือการใช้เพื่อทำความเย็นภายในอาคาร จึงได้มีการพัฒนาวัสดุก่อสร้างอาคารเพื่อเพิ่มสมบัติความเป็นฉนวนความร้อนให้มากขึ้นโดยการปรับเปลี่ยนวัสดุที่เป็นส่วนผสมในคอนกรีตมวลเบา (Lightweight Concrete) เป็นเก้าถ่านหินกลวง (Cenosphere) ซึ่งมีความหนาแน่น 908 g/cm^3 สามารถลดค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) แต่ยังมีสมบัติเชิงกลคือ กำลังต้านทานแรงอัด (Compressive Strength) และแรงต้านทานการดึง (Flexural Tensile Strength) ที่ผ่านมาตรฐาน ผลการทดสอบและเปรียบเทียบกับซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste) และคอนกรีต พบว่าตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาสูตรที่ดีที่สุดมีค่าการนำความร้อนลดลง 54% และ 80% หลังการบ่ม 28 วัน มีกำลังต้านทานแรงอัดและแรงต้านทานการดึง เท่ากับ 69.4 และ 7.3 MPa ซึ่งเป็นผลมาจากการลดความหนาแน่นของส่วนผสมคอนกรีต (Yunpeng *et al.*, 2015)

นอกจากนี้ยังมีทดลองการเพิ่มการสะท้อนแสง (Solar Reflectance) ของผนังโดยการใช้การเคลือบโฟโตแคตตาไลติก (Photocatalytic Coating) เมื่อมีการสัมผัสกับแสงในห้องจำลองเป็นเวลา 9 ชั่วโมง พบว่าการเคลือบสามารถช่วยเพิ่มสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงจาก 0.41 เป็น 0.78 ซึ่งส่งผลให้ปริมาณความร้อนที่สะสมบนผิววัสดุลดลง การปรับส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาช่วยลดการนำความร้อน 33% และอุณหภูมิผิวภายในลดลง 3.7 องศา เมื่อใช้การเคลือบโฟโตแคตตาไลติก ช่วยลดการนำความร้อน 54% และอุณหภูมิผิวภายในลดลง 4.3 องศา หากใช้ทั้งสองวิธีร่วมกันสามารถลดการนำความร้อนได้ถึง 69% และอุณหภูมิผิวภายใน

ลดลง 8 องศา การพัฒนาและนำวัสดุก่อสร้างมาประยุกต์ใช้จึงสามารถช่วยลดการใช้พลังงานภายในอาคารได้ (Yunpeng *et al.*, 2017)

วีระศักดิ์ และ หมิง (2551) ได้กล่าวว่าการใช้เถ้าขยะชีวะมวลในการพัฒนานวัตกรรมผนังคอนกรีตมวลเบาเพื่อเป็นฉนวนกันความร้อนสำหรับอาคารได้ใช้ส่วนผสมของวัสดุต่างๆในการทดสอบดังนี้ เถ้าแกลบ, เถ้าอ้อย, ทราย, น้ำ และ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยทำการทดสอบด้านต่างๆ ดังนี้ การทดสอบการรับกำลัง, การทดสอบค่าการนำความร้อน(k), การทดสอบอุณหภูมิภายในห้องจำลอง, เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ, การทดสอบการเปลี่ยนแปลงความยาว จากการศึกษา พบว่า อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดของก้อนตัวอย่างจากเถ้าแกลบและเถ้าขานอ้อยที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ โดยผ่านมาตรฐานของการทดสอบต่างๆ คือ 30:15:35 (ปูนซีเมนต์: ทราย: เถ้าแกลบ) และ 20:15:65 (ปูนซีเมนต์: ทราย: เถ้าขานอ้อย) จากการทำการทดสอบ เปรียบเทียบระหว่าง คอนกรีตบล็อกจากเถ้าแกลบ และ คอนกรีตบล็อกจากเถ้าขานอ้อย พบว่า คอนกรีตบล็อกจากเถ้าขานอ้อยรับกำลังอัดได้ดีกว่าคอนกรีตบล็อกจากเถ้าแกลบ และเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกจากเถ้าอ้อยมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกจากเถ้าแกลบ การทดสอบค่าการนำความร้อนจากกรมวิทยาศาสตร์ พบว่า แผ่นตัวอย่างของเถ้าแกลบมีค่าน้อยกว่าแผ่นตัวอย่างจากเถ้าขานอ้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เถ้าแกลบเป็นฉนวนที่ดีในการป้องกันความร้อนดีกว่าขานอ้อย

ในปัจจุบันก็ได้มีคิดค้นหาอัตราส่วนใหม่ๆที่สามารถพัฒนาคอนกรีตมวลเบาให้มีคุณสมบัติที่ดียิ่งขึ้น โดยได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการนำน้ำยางธรรมชาติสดมาใช้ในการพัฒนาคอนกรีต เพื่อหาเทคนิคในการผสมน้ำยางในคอนกรีตอย่างเหมาะสม โดยน้ำยางจำเป็นต้องมีการผสมแอมโมเนียมเหลวเพื่อช่วยรักษาสภาพของน้ำยาง ซึ่งจะใช้คอนกรีตผสมน้ำยางในสัดส่วน $P/C = 0.05 \ 0.10 \ 0.15 \ 0.20$ และ 0.25 ตามลำดับ ส่วนผสมคอนกรีตใช้ ซีเมนต์: ทราย: หิน เป็น 1: 2: 4 โดยน้ำหนัก แล้วมีการหาค่าความสามารถเทได้ (Workability) จากนั้นจึงหล่อเข้าแบบมาตรฐานรูปลูกบาศก์ $15 \times 15 \times 15$ ซม. และรูปคาน $15 \times 15 \times 75$ ซม. สำหรับหาค่ากำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) และ กำลังรับแรงดัด (Flexural Strength) ตามลำดับ โดยจะมีการบ่มขึ้น 7 วัน และบ่มแห้งในอากาศที่ 3, 7, 14 และ 28 วัน พบว่าน้ำยางจะผสมกับคอนกรีตได้ต้องมีการผสมสารลดแรงตึงผิวชนิดที่ไม่มีประจุในสัดส่วน 4% โดยน้ำหนักของซีเมนต์ และการที่มีสารแอมโมเนียมเหลวผสมในน้ำยางไม่ได้ทำให้กำลังของคอนกรีตลดลง ส่วนความสามารถเทได้พบว่าคอนกรีตที่ผสมน้ำยางจะยุบตัวแบบฮวบทั้งหมด ขณะที่คอนกรีตปกติมีจะมีการยุบตัวที่ 7 ซม. ส่วนในด้านกำลังพบว่าคอนกรีตผสมน้ำยางจะมีกำลังรับแรงอัดลดลงประมาณ 60% โดยกำลังอัดจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณน้ำยางเพิ่มขึ้น สำหรับกำลังรับแรงดัดพบว่า ลดลงประมาณ 10% โดยในแต่ละค่า P/C ที่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการบ่มแห้งเพิ่มเป็น 14 และ 28 วัน ที่ $P/C = 0.15$ และ 0.20 กำลังรับแรงดัดของคอนกรีตจะสูงขึ้นมากกว่าคอนกรีตปกติ (กิจถาวร และคณะ, 2548) พบว่าคอนกรีตดังกล่าวยังไม่เหมาะกับงานโครงสร้างที่ต้องรับแรงอัดมาก แต่อาจจะเหมาะกับงานซ่อมแซมหรือเหมาะกับงานคอนกรีตบล็อกสำหรับก่อผนังที่ไม่ต้องรับแรงอัดมาก ซึ่งปัญหาที่พบนั้นก็ได้มีการศึกษาการพัฒนาคอนกรีตบล็อกให้มีสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อนโดยยางพารา ในการศึกษาได้ใช้สัดส่วนของน้ำยางธรรมชาติ เท่ากับ 0.075 อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อหินปูน เท่ากับ 1: 4 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.4 โดยน้ำหนัก (ไม่คิดปริมาณน้ำในน้ำยางธรรมชาติ) โดยจะทดสอบหาค่าความหนาแน่น ความชื้น การดูดซึมน้ำ กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัด การหดแห้ง และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อก การผสมน้ำยางธรรมชาติในคอนกรีตบล็อกจะส่งผลต่อความหนาแน่น

ของคอนกรีต โดยคอนกรีตบล็อกที่มีปริมาณน้ำยางธรรมชาติมากจะมีความหนาแน่นต่ำ และคอนกรีตบล็อกที่มีปริมาณน้ำยางธรรมชาติน้อยหรือไม่มีน้ำยางธรรมชาติเลยก็จะมีค่าความหนาแน่นที่สูงจะเห็นได้ว่าเป็นผลที่แปรผกผันกัน ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 4.80 ค่ากำลังอัดและกำลังดัดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 96 กก./ตร.ซม. และ 52 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนนั้นมีค่าต่ำมาก เท่ากับ 0.139 วัตต์/เมตร-องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วแสดงว่าน้ำยางธรรมชาติสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุผสมเพิ่มได้ โดยช่วยให้คอนกรีตบล็อกมีความสามารถในการรับกำลังดัดได้สูงขึ้น ดูดซึมน้ำต่ำลง และมีสมบัติการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีใกล้เคียงกับอิฐมวลเบา (บุญชัย และคณะ, 2551) มีการอธิบายการก่อตัวของคอนกรีตผสมน้ำยางไว้ว่า น้ำยางที่ผสมจะอยู่ในรูปของสารแขวนลอย (Emulsion) โดยอนุภาคของโพลิเมอร์ (Polymer) จะแขวนลอยอยู่ในน้ำยางเหลว ซึ่งเมื่อผสมน้ำยางเข้ากับคอนกรีตแล้ว จะมีปฏิกิริยาเกิดขึ้น 2 ส่วน คือ 1) ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) จากซีเมนต์ผสมกับน้ำและ 2) ปฏิกิริยาการก่อตัวเป็นฟิล์ม (Film) ที่เกิดจากอนุภาคของโพลิเมอร์มารวมตัวกัน (Coalesce) ซึ่งการก่อตัวของชั้นฟิล์มเสมือนเป็นเนื้อเดียวกันกับคอนกรีต ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นวัสดุประสานหรือตัวยึด (Binder) ระหว่างมวลรวมเข้าด้วยกันเป็นคอนกรีต (Ohama, 1987)

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย ผลผลิตยางพาราของไทยคิดเป็น 1 ใน 3 ของผลผลิตทั่วโลก และในช่วงที่ราคายางพาราตกต่ำ ยางล้นตลาด ทำให้ทั้งภาครัฐ ผู้ประกอบการ เกษตรกร และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่างให้ความสนใจที่จะเพิ่มมูลค่ายางพารา ด้วยการนำมาผลิตผลิตภัณฑ์หรือการนำไปผสมกับวัสดุอื่น พบว่าการนำน้ำยางธรรมชาติมาประยุกต์ใช้กับงานคอนกรีต ซึ่งยางธรรมชาตินั้นมีคุณสมบัติคล้ายกาวเหมือนกับซีเมนต์เพสต์ (cement paste) และมีความยืดหยุ่นและเหนียว การนำยางพารามาประยุกต์ใช้กับงานในเชิงวิศวกรรมจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าของยางพารา Ohama (1987) จึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการก่อตัวของคอนกรีตที่มีการผสมของน้ำยาง พบว่าน้ำยางที่ใช้ในการผสมจะอยู่ในรูปของสารแขวนลอย (Emulsion) โดยจะมีอนุภาคของโพลิเมอร์ (Polymer) แขวนลอยอยู่ในส่วนของของเหลว ซึ่งเมื่อผสมน้ำยางกับคอนกรีตแล้ว จะเกิดปฏิกิริยา 2 ส่วนด้วยกันคือ 1. ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาของซีเมนต์กับน้ำ และ 2. ปฏิกิริยาการก่อตัวเป็นฟิล์ม (Film) ที่เกิดจากอนุภาคของโพลิเมอร์มารวมตัวกัน (Coalesce) ซึ่งการก่อตัวของชั้นฟิล์มเปรียบเสมือนเป็นเนื้อเดียวกันกับคอนกรีต โดยชั้นฟิล์มจะทำหน้าที่เป็นวัสดุประสานหรือตัวยึด (Binder) ระหว่างมวลรวมเข้าด้วยกันเป็นคอนกรีต (ภาพที่ 2) ต่อมาได้มีการศึกษาการนำยางธรรมชาติมาใช้นำพัฒนางานคอนกรีต เพื่อหาเทคนิคที่เหมาะสมของการผสมน้ำยางในคอนกรีต โดยจะพิจารณาความสามารถให้ (workability) ค่ากำลังอัด (compressive strength) และค่ากำลังดัด (flexural strength) ของคอนกรีตที่ผสมน้ำยางในสัดส่วน P/C = 0.05 0.10 0.15 0.20 และ 0.25 และที่อัตราส่วนผสมของซีเมนต์: ทราย: หิน เป็น 1: 2: 4 โดยน้ำหนัก และจะทำการบ่มขึ้นเป็นเวลา 7 วันและบ่มแห้งในอากาศที่อายุ 3 7 14 และ 28 วัน จากการศึกษาพบว่า การผสมน้ำยางให้เข้ากันกับคอนกรีตจะทำได้ยาก จึงมีการเติมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ ร้อยละ 4 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ในด้านความสามารถได้พบว่าคอนกรีตจะมีการยุบตัวแบบฮวบทั้งหมด ส่วนด้านการรับแรงอัดของคอนกรีตจะลดลงร้อยละ 60 และมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีปริมาณน้ำยางเพิ่มขึ้น สำหรับกำลังรับแรงดัดพบว่า ลดลงประมาณร้อยละ 10 ในแต่ละค่า P/C ที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อระยะเวลาบ่มแห้งในอากาศเพิ่มขึ้นเป็น 14 และ 28 วันที่ P/C = 0.15 และ 0.20 จะให้ค่าการรับแรงดัดของคอนกรีตสูงกว่าคอนกรีตทั่วไป (สิทธิชัย และคณะ, 2548) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่นำน้ำยางพาราซึ่งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติมาผสมในอัตราส่วนร้อยละ 0.5 – 1.5 ของน้ำหนักซีเมนต์ พบว่าการเติมน้ำยางธรรมชาติในคอนกรีตร้อยละ 0.9 ของน้ำหนักซีเมนต์ จะให้ค่าแฟกเตอร์

การบดอัดใกล้เคียงกับคอนกรีตทั่วไปและมีค่าความสามารถในการทำงานได้ดีตามมาตรฐานและให้ค่าความต้านทานแรงกดที่สูงที่สุด โดยที่ค่าความต้านทานแรงกดจะมีค่าลดลง เมื่ออัตราส่วนผสมของน้ำยางธรรมชาติมากกว่าหรือน้อยกว่าร้อยละ 0.9 (Shaji et al., 2017)

อย่างไรก็ตามการใช้งานคอนกรีตที่มีการผสมของน้ำยางยังไม่เหมาะกับงานโครงสร้างที่ต้องรับแรงอัดมาก แต่อาจเหมาะกับงานซ่อมแซมหรืองานคอนกรีตบล็อกสำหรับก่อผนังที่ไม่ต้องรับแรงอัดมาก เนื่องจากคอนกรีตผสมยางพารานั้นมีสมบัติที่ด้อยบางประการ จึงได้ทำการศึกษาการใช้ยางพาราเพื่อปรับปรุงสมบัติด้านการรับแรงอัดและความเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ใน การศึกษานี้จะใช้อัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ : ทรายบดละเอียด เท่ากับ 1: 1 โดยน้ำหนัก ปริมาณผงอลูมิเนียมเท่ากับร้อยละ 0.3 ของส่วนผสมทั้งหมด อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.50 โดยน้ำหนัก (ไม่รวมน้ำหนักของน้ำในน้ำยางพารา) ปริมาณปูนขาวและยิปซัมเท่ากับร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ซึ่งการเตรียมน้ำยางพารานั้นจะใช้สารแอมโมเนียเหลวเข้มข้นร้อยละ 15 ในสัดส่วนร้อยละ 3 ของน้ำหนักยาง แล้วใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุในปริมาณร้อยละ 4 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ โดยจะทำการศึกษาอัตราส่วนน้ำยางพาราคือปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0 0.10 0.15 และ 0.20 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ โดยจะนำมาทดสอบค่าความหนาแน่น ค่ากำลังอัด ค่ากำลังดัด ค่าการดูดซึมน้ำ และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน พบว่าเมื่อผสมน้ำยางพาราในคอนกรีตมวลเบาที่อัตราส่วนน้ำยางพาราคือปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.10 จะให้ค่าการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยต่ำมาก ค่ากำลังอัดและกำลังดัดสูงมาก รวมไปถึงให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีค่าใกล้เคียงกับคอนกรีตมวลเบาทั่วไป (ประชุม, 2550) และยังได้ทำการศึกษการพัฒนาสมบัติทางกายภาพทางกลของคอนกรีตบล็อกที่ผสมด้วยน้ำยาง โดยใช้อัตราส่วนยางพาราคือปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.025 0.050 และ 0.075 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อหินปูน เท่ากับ 1: 4 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.40 (ไม่รวมปริมาณน้ำในน้ำยางพารา) และใส่สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจुरू้อยละ 4 ของน้ำหนักยางพารา ซึ่งพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของยางพาราคือปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.075 และที่อายุ 28 วัน จะมีการดูดซึมน้ำร้อยละ 4.80 ค่ากำลังอัดและกำลังดัด เท่ากับ 96 และ 52 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ และให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่มีค่าต่ำมาก เท่ากับ 0.139 วัตต์ต่อเมตร-องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วพบว่าน้ำยางพาราสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุผสมเพิ่มได้ ซึ่งช่วยให้คอนกรีตบล็อกมีความสามารถในการรับกำลังดัดได้สูงขึ้น ดูดซึมน้ำน้อยลง และมีสมบัติการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีใกล้เคียงกับอิฐมวลเบาและคอนกรีตบล็อกทั่วไป (ประชุม และคณะ, 2551)

ในปัจจุบันได้มีการศึกษาการใช้ยางวัลคาไนซ์เพื่อพัฒนาสมบัติของคอนกรีตบล็อกเศษพลาสติกอีวีเอ โดยใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์: เศษพลาสติกอีวีเอ: หินปูน: น้ำ เท่ากับ 1: 0.5: 4: 1.6 อัตราส่วนน้ำยางวัลคาไนซ์ต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.00, 0.05, 0.10 0.15 0.20 0.25 0.30 0.35 0.40 และ 0.45 โดยน้ำหนัก และใส่สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจुरू้อยละ 4 ของน้ำหนักยางแห้ง จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนน้ำยางวัลคาไนซ์ต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 0.15 ซึ่งที่คอนกรีตบล็อกมีอายุ 14 วัน จะมีความหนาแน่น เท่ากับ 1,169.59 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 9.33 และที่คอนกรีตบล็อกมีอายุเท่ากับ 28 วัน จะมีค่ากำลังอัด เท่า กับ 25.74 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน เท่ากับ 0.1527 วัตต์/เมตร-องศาเซลเซียส และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงที่ 2,000 เฮิรตซ์ เท่ากับ 0.38 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุก่อผนังในโดยทั่วไป พบว่าคอนกรีตบล็อกเศษพลาสติกอีวีเอผสมน้ำยางวัลคาไนซ์ มีสมบัติที่ดีกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไปในทุก ๆ ด้าน โดยจะมีสมบัติใกล้เคียงกับอิฐมวลเบา นอกจากนี้ น้ำยางวัลคาไนซ์ยังช่วยลดปัญหาการดูดซึมน้ำทำให้คอนกรีตเศษพลาสติกอีวีเอขาดด้วยปูนฉาบหรือมอร์ตาร์ทั่วไปได้ดี (Khamput and Suweero, 2014)

การศึกษาคอนกรีตบล็อกเป็นวัสดุก่อสร้างประเภทวัสดุสำหรับผนังอาคาร มีการผลิตจากส่วนผสมของซีเมนต์ ทราย หินย่อย น้ำ และและสารเติมประเภทโพลีเมอร์สังเคราะห์บางชนิด ซึ่งอัตราการเติมน้ำยางขึ้นจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ในการปรับปรุงสมบัติโดยใช้ส่วนผสมในอัตราส่วนร้อยละ 0.5-1.5 ของน้ำหนักซีเมนต์ พบว่าการเติมน้ำยางธรรมชาติในคอนกรีตร้อยละ 0.9 ของน้ำหนักซีเมนต์ ให้ค่าแฟกเตอร์การบดอัด (compaction factor) ใกล้เคียงกับคอนกรีตทั่วไปและมีความสามารถในการทำงานได้ (workability) ที่ดีตามค่ามาตรฐาน และให้ค่าความต้านทานต่อแรงกด (compressive strength) ที่สูงสุด โดยจะมีค่าลดลงหากอัตราส่วนผสมของน้ำยางธรรมชาติมากกว่าและน้อยกว่าร้อยละ 0.9 และมีสมบัติช่วยลดค่าความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ การหดตัว และการนำความร้อน (Shaji *et. al.*, 2017)

ในการศึกษาเพื่อลดน้ำหนักของวัสดุก่อสร้างผนังบางกรณี มีการใช้ประโยชน์จากขยะพลาสติกร่วมด้วย โดยการเติมน้ำยางธรรมชาติในคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของ EVA (ethylene vinyl acetate) พบว่าสัดส่วนสูงสุดที่สามารถผสมได้โดยผ่านค่ามาตรฐานในการรับแรงกดที่ 25 ksc คือ น้ำหนักแห้งของยางต่อน้ำหนักซีเมนต์เป็น 1:0.15 ซึ่งทำให้ความหนาแน่น (density) ลดลงจาก 1,250 kg/m³ เป็น 1,175 kg/m³ การดูดซึมน้ำ (water absorption) ลดจากร้อยละ 13 เป็น 9.5 ช่วยลดค่าการหดตัวที่เกิดจากการสูญเสียน้ำหรือการหดตัวแบบแห้ง (drying shrinkage) ลดจากร้อยละ 0.018 เป็น 0.016 และลดค่าการนำความร้อน (thermal conductivity) ลดลงจาก 0.22 เป็น 0.16 W/m.K การผสมน้ำยางธรรมชาติจึงช่วยปรับปรุงสมบัติของคอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของ EVA (Khamput and Suweero, 2014)

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

ขอบเขตการศึกษาและการทดสอบขั้นต้น

- 1) การนำยางชั้น 60% มาเป็นส่วนผสมในการเตรียมตัวอย่างคอนกรีตบล็อกมวลเบา
- 2) ใช้อัตราส่วนน้ำยางชั้นต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0, 0.03, 0.05 และ 0.07 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์
- 3) การทดสอบสมบัติของตัวอย่างแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งคือ การทดสอบความเหมาะสมของสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น (Density) และอัตราการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) ส่วนที่สองคือ การทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ ค่ากำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) การกันเสียงกระแทก และค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity)

สูตรการเตรียมตัวอย่างคอนกรีตบล็อกมวลเบา

- 1) อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายละเอียดเท่ากับ 1:1 โดยน้ำหนัก
- 2) ปริมาณผงอะลูมิเนียมเท่ากับร้อยละ 0.3 ของส่วนผสมทั้งหมด
- 3) อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.50 โดยน้ำหนัก (ชุดควบคุม)
- 4) ปริมาณปูนขาวเท่ากับร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์
- 5) ปริมาณยิปซัมเท่ากับร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

การเลือกอัตราส่วนน้ำยางชั้นต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0, 0.03, 0.05, 0.07 โดยน้ำหนักดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 : ชุดควบคุม น้ำ 50 ml

ชุดการทดลองที่ 2 : น้ำยางชั้น 3.00 ml + น้ำ 75 ml

ชุดการทดลองที่ 3 : น้ำยางชั้น 5.00 ml + น้ำ 75 ml

ชุดการทดลองที่ 4 : น้ำยางชั้น 7.00 ml + น้ำ 75 ml

วิธีการเตรียมตัวอย่างคอนกรีตบล็อกมวลเบา

- 1) ผสมน้ำ น้ำยางชั้น ที่เตรียมไว้จากการตวงด้วยกระบอกตวงตามปริมาณที่กำหนด
- 2) ผสมปูนซีเมนต์ ผงอะลูมิเนียม ปูนขาวและยิปซัม ผสมให้เข้ากันตามอัตราส่วนที่กำหนด แล้วเทผสมใส่ลงในหม้อผสมที่เตรียมไว้ข้างต้น
- 3) เปิดเครื่องผสมเป็นเวลา 30 วินาที ค่อยๆ เติมทรายที่เตรียมไว้ในปริมาณที่กำหนดลงในหม้อผสมอย่างช้าๆ จนหมด
- 4) ปรับความเร็วของเครื่องผสมให้อยู่ที่ระดับสูงสุด เดินเครื่องผสมเป็นเวลา 30 วินาที
- 5) พักทิ้งไว้เป็นเวลาใน 15 นาที แล้วเปิดเครื่องผสม เป็นเวลา 1 นาที นำส่วนผสมไปเทลงในแบบหล่อที่เตรียมไว้

- 6) กรอกล้างส่วนผสมแม่พิมพ์ให้มากพอทยอยกรอกล้างส่วนผสมแม่พิมพ์ พร้อมๆ กับใช้มีดอัดส่วนผสมให้แน่น เพื่อให้ได้อิฐมวลเบาที่ไม่แตกร้าว

การบ่มตัวอย่างคอนกรีตบล็อกมวลเบา

- 1) เมื่อตัวอย่างคอนกรีตบล็อกมวลเบาเริ่มเกิดการแข็งตัวพอประมาณหลังจากการหล่อ ทำการถอดแบบหล่อ นำขึ้นตัวอย่างออกมา เขียนหมายเลขรหัสที่ขึ้นตัวอย่าง
- 2) นำไปบ่มโดยใช้หม้ออบไอน้ำความดันสูงเป็น เวลา 2 ชั่วโมง
- 3) เมื่อครบกำหนดจึงนำขึ้นตัวอย่างออกมาจากหม้ออบ แล้วทำการบ่มต่อโดยใช้ถุงพลาสติกสีดำคลุมผูกปากถุงให้มิดชิด เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำในเนื้ออิฐมวลเบา
- 4) เมื่อครบกำหนดแล้ว ก่อนการทดสอบ 1 วันจะเปิดปากถุง แล้วนำขึ้นตัวอย่างอิฐมวลเบาออกมาวางในสภาพอากาศปกติ
- 5) นำขึ้นตัวอย่างอิฐมวลเบาที่ได้ ไปทำการทดสอบต่อไป

การทดสอบสมบัติตัวอย่างคอนกรีตบล็อกมวลเบา

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

- 1) การทดสอบหาความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกมวลเบาตามมาตรฐาน มอก. 1505-2541
- 2) การทดสอบอัตราการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกมวลเบาตามมาตรฐาน มอก. 1505-2541

การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

- 1) การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกมวลเบาตามมาตรฐาน มอก. 1505-2541
- 2) การทดสอบหาค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกมวลเบาโดยวัดค่าความร้อนของคอนกรีตบล็อกมวลเบาที่นำไปตากแดดทุกๆ 1 ชม. เป็นเวลา 3 ชม.
- 3) การทดสอบหาอัตราการกันเสียง โดยใช้เครื่อง sound level meter ในการวัดระดับเสียงสูงสุดที่ตกกระทบลงคอนกรีตบล็อกมวลเบาโดยใช้เหล็ก 3 ขนาด ได้แก่ 3.7 กรัม, 5.6 กรัม, 10.9 กรัม ที่มีน้ำหนักแตกต่างกัน ปล่อยในระยะห่าง 60 cm

ผลการดำเนินงานวิจัยที่ผ่านมา

คอนกรีตบล็อกมวลเบาเป็นวัสดุก่อสร้างที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากสำหรับงานก่อสร้าง โดยคอนกรีตบล็อกมวลเบาเป็นวัสดุที่มีส่วนผสมหลายประเภททำให้มีคุณสมบัติพิเศษที่แตกต่างจากวัสดุชนิดอื่นๆ อย่างพาราเป็นหนึ่งในพื้นที่ที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยแต่ยังขาดการพัฒนาในการเพิ่มมูลค่าและปริมาณการใช้งานจึงมีการส่งเสริมให้เกิดการนำน้ำอย่างชันมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อที่จะได้ผลักดันอุตสาหกรรมยางในประเทศให้เติบโตมากขึ้น จึงมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกมวลเบาให้มีคุณสมบัติใน

การเป็นฉนวนกันความร้อนและดูดซับเสียงเพิ่มขึ้น โดยใช้ฉนวนชั้นที่เป็นวัสดุทางธรรมชาติ งานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือ การทดสอบความเหมาะสมของสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น (Density) และอัตราการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) ส่วนที่สองคือการทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) อัตราการกันเสียงกระแทก (STC Rating) และการนำความร้อน (Thermal Conductivity) มีผลการทดสอบดังต่อไปนี้

ผลการเตรียมตัวอย่างคอนกรีตบล็อกมวลเบา



ภาพที่ 1 ชิ้นงานตัวอย่างคอนกรีตบล็อกมวลเบา

ผลการทดสอบตัวอย่างอิฐมวลเบา

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ

ผลการทดสอบความหนาแน่น

การคำนวณความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งจากสูตร

ความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้ง =

มวลของชิ้นทดสอบหลังอบในตู้อบ(g) ÷ ปริมาตรของชิ้นทดสอบ(cm^3)

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่น

ชุดการทดลอง	ปริมาณน้ำยาง (ml)	มวลของชิ้นทดสอบหลังอบในตู้อบ (g)	ปริมาตรของชิ้นทดสอบ (cm ³)	ความหนาแน่น (g/cm ³)
1	0.00	217.0	5×5×5	1.74
		216.4		1.73
		222.7		1.78
ค่าเฉลี่ย				1.75
2	3.00	197.7	5×5×5	1.58
		185.8		1.49
		192.8		1.54
ค่าเฉลี่ย				1.54
3	5.00	199.5	5×5×5	1.60
		204.4		1.64
		196.5		1.56
ค่าเฉลี่ย				1.60
4	7.00	201.3	5×5×5	1.61
		207.0		1.66
		190.3		1.52
ค่าเฉลี่ย				1.60

หมายเหตุ ชุดที่ 1 คือ ชุดควบคุม น้ำ 50 ml

ชุดที่ 2 คือ น้ำยางพารา 3.00 ml + น้ำ 75 ml

ชุดที่ 3 คือ น้ำยางพารา 5.00 ml + น้ำ 75 ml

ชุดที่ 4 คือ น้ำยางพารา 7.00 ml + น้ำ 75 ml

- ความหนาแน่นจะมีค่ามากที่สุดในการทดสอบชุดที่ 1>3=4>2 ตามลำดับ

ผลการทดสอบอัตราการดูดกลืนน้ำ

การคำนวณอัตราการดูดกลืนน้ำจากสูตร

อัตราการดูดกลืนน้ำ = มวลของชิ้นทดสอบหลังแช่น้ำ (g) - มวลของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ(g)

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบอัตราการดูดกลืนน้ำ

ชุดการทดลอง	ปริมาณน้ำยาง (ml)	มวลของชิ้นทดสอบ ก่อนแช่น้ำ	มวลของชิ้นทดสอบ หลังแช่น้ำ	อัตราการดูดกลืนน้ำ (g)
1	0.00	219.4	248.9	29.5
		220.6	249.4	28.8
		214.1	242.9	28.8
ค่าเฉลี่ย				29.0
2	3.00	200.8	240.9	40.1
		195.6	234.1	38.5
		194.1	234.0	39.9
ค่าเฉลี่ย				39.5
3	5.00	193.7	235.3	41.6
		202.4	242.9	40.5
		200.3	241.1	40.8
ค่าเฉลี่ย				41.0
4	7.00	193.9	230.0	36.1
		198.9	241.1	42.2
		200.0	242.2	42.2
ค่าเฉลี่ย				41.2

หมายเหตุ ชุดที่ 1 คือ ชุดควบคุม น้ำ 50 ml

ชุดที่ 2 คือ น้ำยางพารา 3.00 ml + น้ำ 75 ml

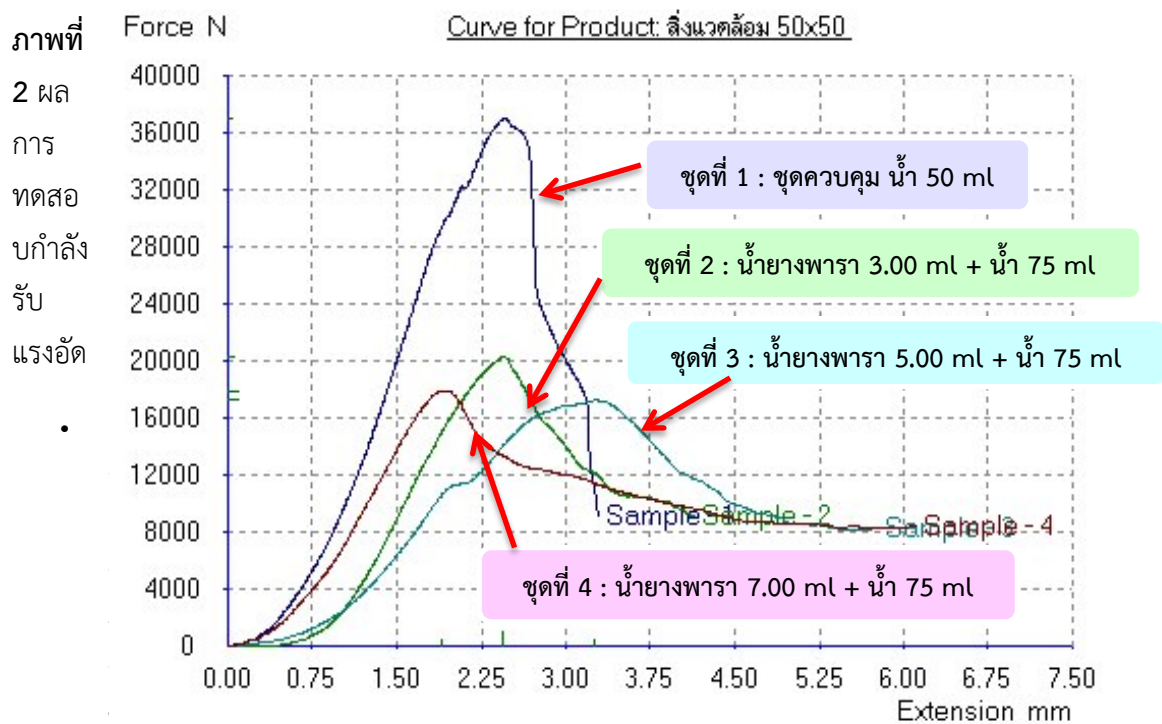
ชุดที่ 3 คือ น้ำยางพารา 5.00 ml + น้ำ 75 ml

ชุดที่ 4 คือ น้ำยางพารา 7.00 ml + น้ำ 75 ml

- อัตราการดูดกลืนน้ำจะมีค่าต่ำที่สุดในชุดการทดลองที่ 1<2<3<4 ตามลำดับ

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด



แรงอัดจะมีค่ามากที่สุดในการทดลองที่ 1>2>3>4 ตามลำดับ

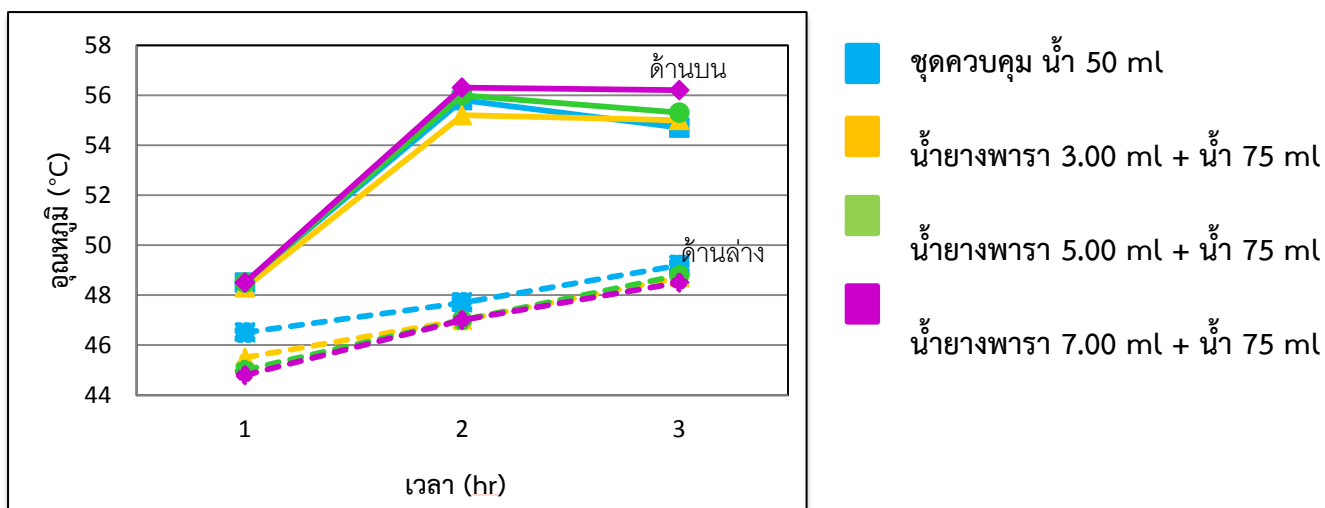
ผลการทดสอบการนำความร้อน

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการนำความร้อน (ด้านบน)

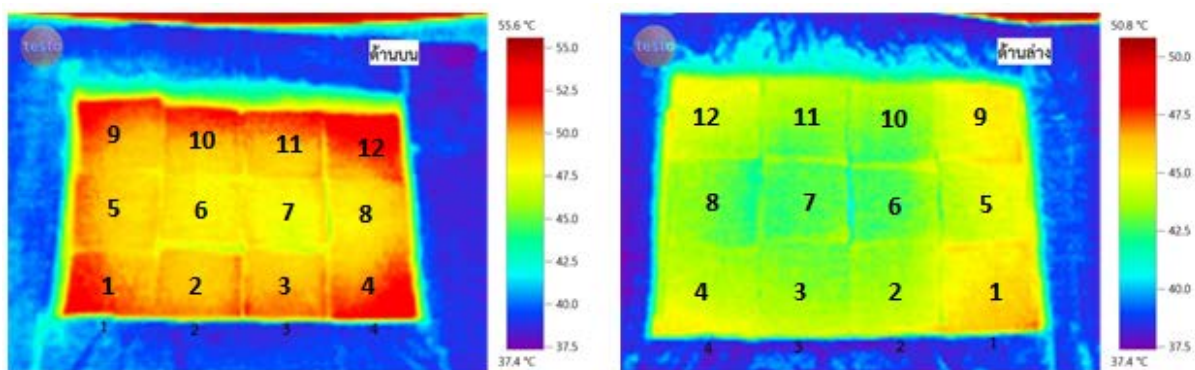
ชุดการทดลอง จำนวนชั่วโมง	1	2	3	4
1	49.0, 48.5, 48.0	49.0, 48.0, 48.0	49.0, 48.0, 48.5	49.0, 48.0, 48.5
ค่าเฉลี่ย	48.5	48.3	48.5	48.5
2	56.0, 55.5, 56.0	55.0, 55.0, 55.5	56.0, 55.5, 56.5	56.5, 55.5, 57.0
ค่าเฉลี่ย	55.8	55.2	56	56.3
3	56.0, 54.0, 54.0	56.0, 54.0, 55.0	56.5, 54.0, 55.5	56.0, 56.0, 56.5
ค่าเฉลี่ย	54.7	55	55.3	56.2

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบการนำความร้อน (ด้านล่าง)

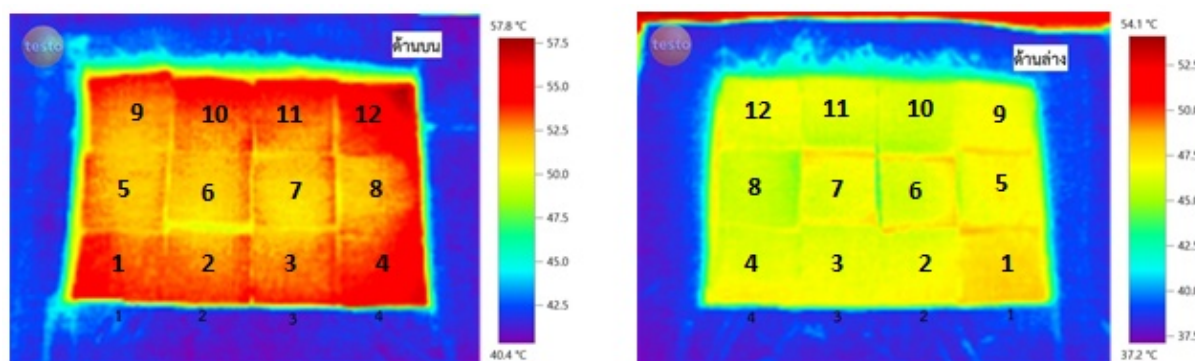
ชุดการทดลอง จำนวนชั่วโมง	1	2	3	4
1	47.0, 46.0, 46.5	47.0, 44.5, 45.0	45.5, 44.0, 45.5	45.5, 44.0, 45.0
ค่าเฉลี่ย	46.5	45.5	45	44.8
2	48.5, 47.5, 47.0	47.5, 47.0, 46.5	47.5, 47.0, 46.5	47.5, 46.5, 47.0
ค่าเฉลี่ย	47.7	47	47	47
3	50.0, 49.0, 48.5	49.5, 48.5, 48.0	49.5, 48.5, 48.5	49.0, 48.5, 48.0
ค่าเฉลี่ย	49.2	48.7	48.8	48.5



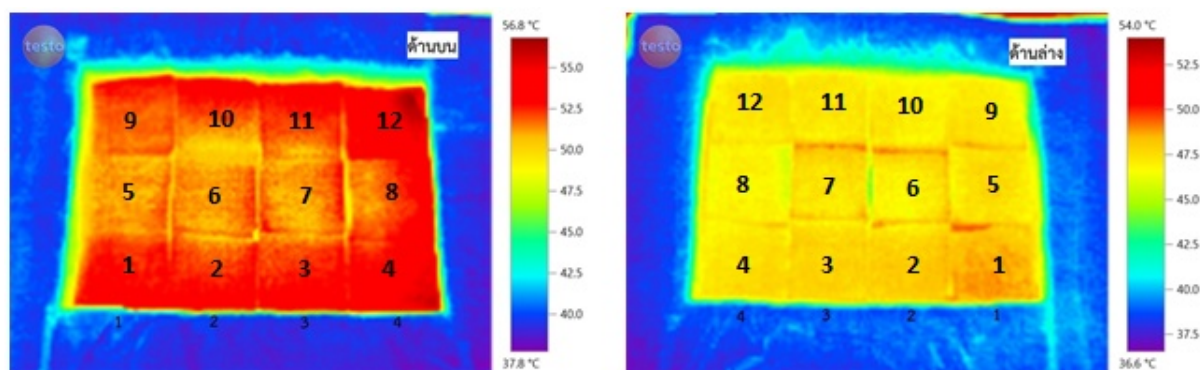
ภาพที่ 3 ผลการทดสอบการนำความร้อน



ภาพที่ 4 ผลการทดสอบการนำความร้อนในเวลา 1 ชั่วโมง



ภาพที่ 5 ผลการทดสอบการนำความร้อนในเวลา 2 ชั่วโมง



ภาพที่ 6 ผลการทดสอบการนำความร้อนในเวลา 3 ชั่วโมง

หมายเหตุ ชุดที่ 1, 5, 9 คือ ชุดควบคุม น้ำ 50 ml

ชุดที่ 2, 6, 10 คือ น้ำยาพารา 3.00 ml + น้ำ 75 ml

ชุดที่ 3, 7, 11 คือ น้ำยาพารา 5.00 ml + น้ำ 75 ml

ชุดที่ 4, 8, 12 คือ น้ำยาพารา 7.00 ml + น้ำ 75 ml

- ค่าการนำความร้อนจะมีค่ามากที่สุดในการทดลองที่ $4 > 3 > 2 > 1$ ตามลำดับ

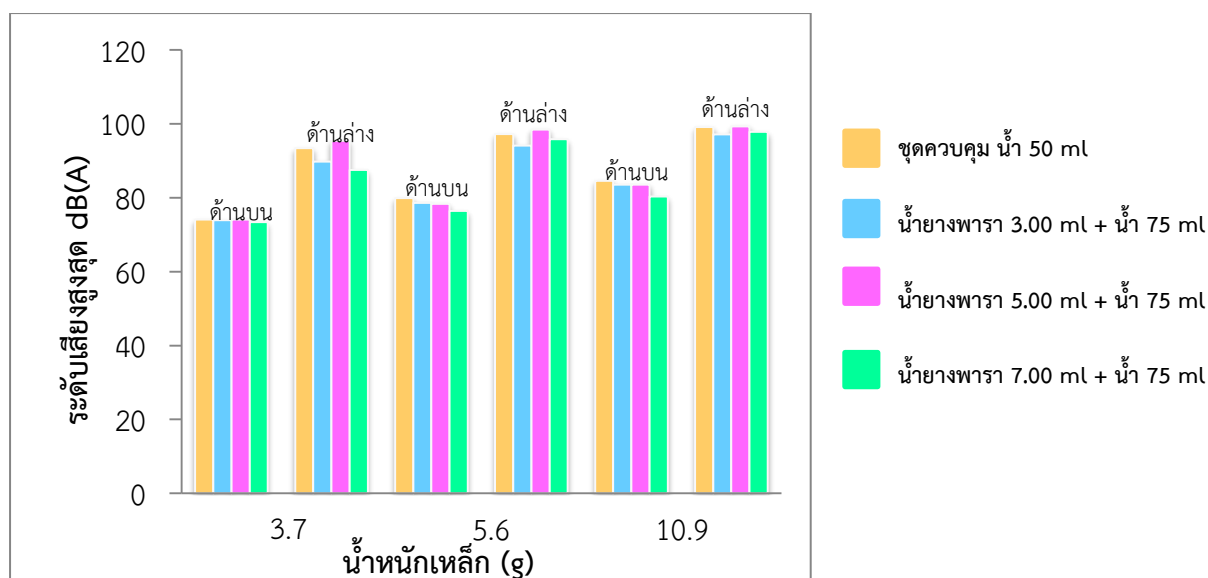
ผลการทดสอบการกันเสียง

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบการกันเสียง (ด้านบน)

ชุดการทดลอง น้ำหนักเหล็ก(ก)	1	2	3	4
3.7	71.7, 74.9, 75.6	74.0, 74.2, 73.4	72.7, 75.2, 74.5	73.5, 73.7, 73.0
ค่าเฉลี่ย	74.1	73.9	74.1	73.4
5.6	81.6, 78.3, 79.7	78.2, 77.9, 79.6	77.7, 80.1, 77.2	74.3, 77.7, 77.3
ค่าเฉลี่ย	79.9	78.6	78.3	76.4
10.9	84.5, 84.4, 85.0	84.4, 83.0, 83.2	82.8, 83.9, 83.7	79.2, 81.2, 80.3
ค่าเฉลี่ย	84.6	83.5	83.5	80.3

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบการกันเสียง (ด้านล่าง)

ชุดการทดลอง น้ำหนักเหล็ก(ก)	1	2	3	4
3.7	94.8, 94.2, 91.3	93.1, 84.5, 91.9	94.7, 95.8, 95.7	85.5, 87.0, 90.0
ค่าเฉลี่ย	93.4	89.8	95.4	87.5
5.6	100.0, 97.5, 94.1	95.9, 90.8, 95.6	98.9, 99.0, 97.3	95.3, 95.8, 96.2
ค่าเฉลี่ย	97.2	94.1	98.4	95.8
10.9	101.8, 99.6, 98.2	101.5, 92.7, 97.1	99.0, 100.4, 98.4	98.1, 97.0, 98.1
ค่าเฉลี่ย	99.1	97.1	99.3	97.8



ภาพที่ 7 ผลการทดสอบการกั้นเสียง

- ความสามารถในการกั้นเสียงมากที่สุดในชุดการทดลองที่ 4>2>3>1

ผลการศึกษาขั้นต้น

การนำยางข้นมาผสมในคอนกรีตบล็อกมวลเบา โดยใช้อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อทรายละเอียด เท่ากับ 1:1 โดยน้ำหนัก ปริมาณผงอะลูมิเนียม เท่ากับร้อยละ 0.3 ของส่วนผสมทั้งหมด ปริมาณปูนขาวและ ยิปซัมเท่ากับร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ อัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0, 0.03, 0.05, 0.07 โดยน้ำหนัก เมื่อนำมาทดสอบคุณสมบัติต่างๆแล้ว พบว่าปริมาณน้ำยางพาราที่เหมาะสมในแต่ละ คุณสมบัติ มีดังนี้

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

1. ความหนาแน่นจะมีค่ามากที่สุดในการทดลองที่ 1 คือ ไม่มีน้ำยางพาราเป็นส่วนผสม
2. อัตราการดูดกลืนน้ำจะมีค่าต่ำที่สุดในการทดลองที่ 1 คือ ไม่มีน้ำยางพาราเป็นส่วนผสม

การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

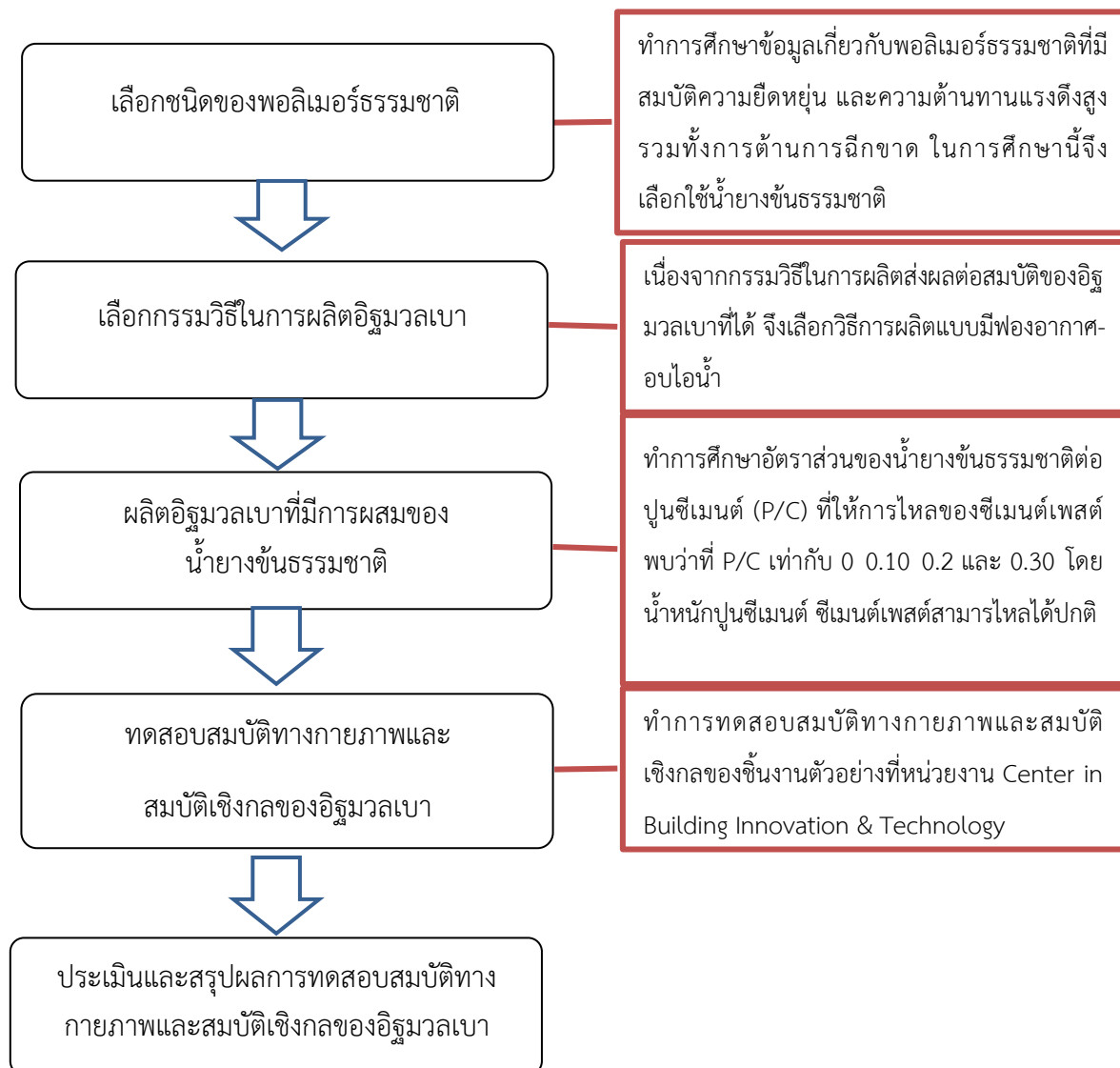
1. กำลังรับแรงอัดของอิฐมวลเบาจะมีค่ามากที่สุดในการทดลองที่ 1 คือ ไม่มีน้ำยางพาราเป็นส่วนผสม
2. การนำความร้อนจะมีค่ามากที่สุดในการทดลองที่ 4 คือ ชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0.07 โดยน้ำหนัก
3. การกั้นเสียงจะมีค่ามากที่สุดในการทดลองที่ 4 คือ ชุดการทดลองที่มีอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0.07 โดยน้ำหนัก

จากการทดสอบข้างต้นทั้ง 5 พารามิเตอร์ได้แก่ ความหนาแน่น อัตราการดูดซึมน้ำ กำลังรับแรงอัด อัตราการกันเสียงและการนำความร้อนจะให้ผลที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับแต่ละพารามิเตอร์ที่ทำการทดสอบ โดยการทดสอบความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดจะมีค่ามากที่สุดเมื่อตัวอย่างไม่มีน้ำยางพาราเป็นส่วนผสม อัตราการดูดกลืนน้ำจะมีค่าต่ำที่สุดเมื่อตัวอย่างไม่มีน้ำยางพาราเป็นส่วนผสม การนำความร้อนและการกันเสียงจะมีค่ามากที่สุดเมื่อมีอัตราส่วนน้ำยางขึ้นต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0.07 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้การที่จะเลือกใช้อัตราส่วนของน้ำยางขึ้นเป็นส่วนผสมในการทำคอนกรีตบล็อกมวลเบา ก็ขึ้นอยู่กับว่าผู้ใช้งานต้องการเพิ่มประสิทธิภาพของคอนกรีตบล็อกมวลเบาในด้านใด

ระเบียบวิธีวิจัย – ส่วนผนัง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติของอิฐมวลเบาที่มีการผสมด้วยพอลิเมอร์ธรรมชาติ ซึ่งในการศึกษานี้จะเลือกใช้พอลิเมอร์ธรรมชาติ คือ น้ำยางชันธรรมชาติ และทำการศึกษาเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการเติมน้ำยางชันธรรมชาติ รวมถึงการเลือกกรรมวิธีในการผลิตอิฐมวลเบา เพื่อให้การทำงานเป็นระบบ จึงได้สร้างแนวทางการวิจัยนี้ขึ้นมา

แนวทางการวิจัย



1. การกำหนดอัตราส่วนผสม

การผลิตและขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่าง ต้องกำหนดมาตรฐานของอัตราส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตและขึ้นรูปชิ้นงานในแต่ละชุดทดลอง ดังตารางที่ 7 ซึ่งอ้างอิงอัตราส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตและขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่างจากงานวิจัยของประชุม (2550)

ตารางที่ 7 สัดส่วนของส่วนผสมในการผลิตชิ้นงานตัวอย่าง

ชิ้นงาน ตัวอย่าง	ปูนซี เมนต์ (โดย น้ำหนัก)	ทราย ละเอียด (โดย น้ำหนัก)	W/C* (โดย น้ำหนัก)	ผงอะลู มินเนียม (โดยน้ำหนัก ส่วนผสม ทั้งหมด)	ปูนขาว (ร้อยละโดย น้ำหนัก ปูนซีเมนต์)	ยิปซัม (ร้อยละโดย น้ำหนัก ปูนซีเมนต์)	สารลดแรง ตึงผิวชนิด ไม่มีประจุ (ร้อยละโดย น้ำหนัก ปูนซีเมนต์)	P/C
ชุดทดลอง 1 (ชุดควบคุม)	1	1	0.60	3	5	5	4	-
ชุดทดลอง 2 (HA 0.1)	1	1	0.60	3	5	5	4	0.10
ชุดทดลอง 3 (HA 0.2)	1	1	0.60	3	5	5	4	0.20
ชุดทดลอง 4 (1A 0.1)	1	1	0.60	3	5	5	4	0.10
ชุดทดลอง 5 (1A 0.2)	1	1	0.60	3	5	5	4	0.20
ชุดทดลอง 6 (1A 0.3)	1	1	0.60	3	5	5	4	0.30

W/C* คือ ปริมาณรวมของน้ำ และน้ำยางข้นธรรมชาติ โดยไม่รวมปริมาณของสารลดแรงตึงผิว

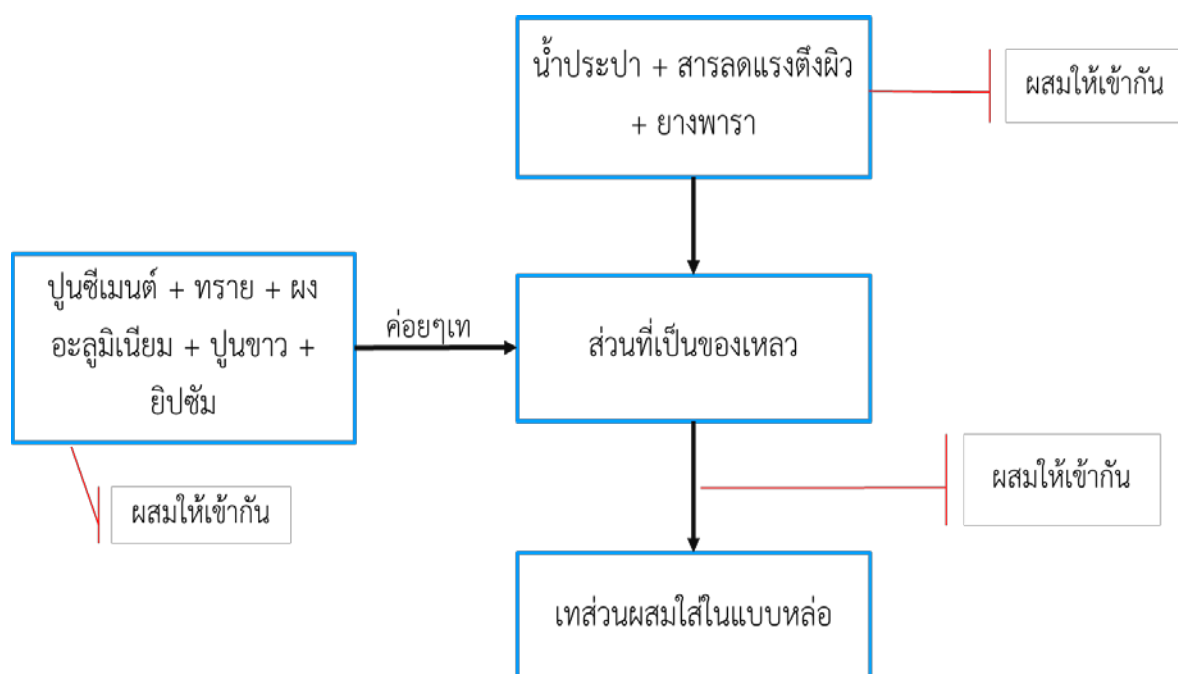
เนื่องจากการกำหนดอัตราส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตและขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่าง ทำให้สามารถคำนวณปริมาณของส่วนผสมแต่ละชนิดที่ต้องใช้ในการผสมและขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่าง ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ปริมาณของส่วนผสมแต่ละชนิดที่ใช้ในการผสมและขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่าง

ชิ้นงานตัวอย่าง	ปูนซีเมนต์ (กรัม)	ทราย ละเอียด (กรัม)	W/C (มิลลิลิตร)	ผงอะลู มินเนียม (กรัม)	ปูนขาว (กรัม)	ยิปซัม (กรัม)	สารลดแรง ตึงผิว (มิลลิลิตร)	P/C (มิลลิลิตร)
ชุดทดลอง 1 (ชุดควบคุม)	2,600	2,600	1,560	213.7	130	130	104	0
ชุดทดลอง 2 (HA 0.1)	2,600	2,600	1,300	213.7	130	130	104	260
ชุดทดลอง 3 (HA 0.2)	2,600	2,600	1,040	213.7	130	130	104	520
ชุดทดลอง 4 (1A 0.1)	2,600	2,600	1,300	213.7	130	130	104	260
ชุดทดลอง 5 (1A 0.2)	2,600	2,600	1,040	213.7	130	130	104	520
ชุดทดลอง 6 (1A 0.3)	2,600	2,600	780	213.7	130	130	104	780

2. วิธีการเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง

1. ทำความสะอาดไม้พายและถังผสมให้แห้ง แล้วใส่น้ำประปา สารลดแรงตึงผิว และน้ำยาล้างจาน ที่ตรงตามปริมาณที่กำหนดไว้ด้วยกระบอกตวง
 2. ชั่งส่วนผสมที่เป็นของแข็ง ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ทรายละเอียด ผงอะลูมิเนียม ปูนขาว และยิปซัม ใส่ถังผสมอีกใบตามปริมาณที่กำหนดไว้ แล้วคลุกเคล้าให้เข้ากัน
 3. ทำการเทส่วนผสมที่เป็นของแข็งลงในถังผสมที่มีส่วนผสมของเหลวอยู่ภายใน และทำการคลุกเคล้าให้เข้ากัน
 4. เทส่วนผสมที่เข้ากันลงในแบบหล่อที่เตรียมไว้ โดยเทให้ส่วนผสมมีความสูงที่ระยะ 2 ใน 3 ของความสูงแบบหล่อ เพื่อเผื่อพื้นที่ไว้สำหรับการขยายตัวของชิ้นงานตัวอย่าง
- โดยที่ลำดับในการเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง สามารถดูได้จากภาพที่ 3 ที่บอกขั้นตอนก่อนและหลังในการเทส่วนผสม เพื่อขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่าง



ภาพที่ 8 ขั้นตอนในการเตรียมตัวขึ้นงานตัวอย่าง

3. การบ่มชิ้นงานตัวอย่าง

- 1 เมื่อขึ้นตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาเริ่มเกิดการแข็งตัวพอประมาณหลังจากการหล่อขึ้นรูป แล้วทำการปิดแต่งผิวหน้า โดยใช้เส้นลวดตัดให้เรียบร้อย
- 2 ทำการถอดแบบหล่อ นำชิ้นตัวอย่างออกมาแล้วเขียนหมายเลขชิ้นตัวอย่างให้เรียบร้อย
- 3 นำไปบ่มโดยใช้หม้ออบไอน้ำความดันสูง ที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- 4 เมื่อครบกำหนดจึงนำชิ้นตัวอย่างออกมาจากหม้ออบ แล้วทำการบ่มต่อ โดยใช้ถุงพลาสติกสีดำคลุมผูกปากถุงให้มิดชิด เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำในเนื้อคอนกรีตมวลเบา
- 5 เมื่อครบกำหนดแล้ว ก่อนการทดสอบ 1 วัน จะเปิดปากถุงแล้วนำชิ้นตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาออกมาวางในสภาพอากาศปกติ และนำชิ้นตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาที่ได้ไปทดสอบต่อไป

4. การทดสอบสมบัติของชิ้นงานตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา

4.1 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

- การทดสอบหาความหนาแน่น จะทำการทดสอบความหนาแน่นเชิงปริมาตรแห้งของชิ้นงานตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยม ขนาด 5×5×5 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน มอก.2601-2556 สามารถคำนวณจากสมการ

$$\rho = m/v$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้ง เป็น กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

m คือ มวลของชิ้นทดสอบหลังอบในตู้อบ เป็นกิโลกรัม

v คือ ปริมาตรของชิ้นทดสอบ เป็นลูกบาศก์เมตร

- การทดสอบอัตราการดูดกลืนน้ำของชิ้นงานตัวอย่าง จะทำการทดสอบชิ้นงานตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยม ขนาด 5×5×5 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน มอก.2601-2556 สามารถคำนวณจากร้อยละการดูดกลืนน้ำ

$$\text{การดูดกลืนน้ำ} = [(W_2 - W_1)/W_1] * 100$$

เมื่อ W_1 คือ มวลของชิ้นทดสอบเมื่อแห้ง เป็นกรัม

W_2 คือ มวลของชิ้นทดสอบเมื่อเปียก เป็นกรัม

4.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล

- การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา จะทำการทดสอบชิ้นงานตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยม ขนาด 1.5*1.5 นิ้ว ด้วยเครื่อง Micro-Computer Universal Testing Machine ตามมาตรฐาน มอก. 1505-2541 และมอก. 2601-2556

- การทดสอบกำลังดัดของคอนกรีตมวลเบา จะทำการทดสอบชิ้นงานตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นแผ่น ขนาดขั้นต่ำ 8*12 นิ้ว ด้วยเครื่อง Micro-Computer Universal Testing Machine

- การทดสอบหาอัตราการดูดซับเสียง *ประเภท 1 (Normal Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา เหมาะกับงานก่อสร้างคอนกรีตทั่วไปที่ไม่ต้องการคุณสมบัติพิเศษเพิ่มเติม เช่น คานเสา พื้น ถนน ค.ส.ล. เป็นต้น แต่ไม่เหมาะกับงานที่ต้องสัมผัสกับเกลือซัลเฟต ซึ่งจะทำให้การทดสอบชิ้นงานตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นแผ่นวงกลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 3 และ 10 เซนติเมตร ด้วยเครื่องทดสอบการดูดซับเสียง

- การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบา จะทำการทดสอบชิ้นงานตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นแผ่น ขนาด 20*20 เซนติเมตร ด้วยเครื่องทดสอบการนำความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM C 518

ระเบียบวิธีวิจัย – ส่วนพื้น

งานวิจัยนี้เป็นการใช้น้ำยางข้นในการพัฒนาคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอย ไมโครซิลิกา และปูนซีเมนต์เป็นองค์ประกอบหลัก โดยได้กำหนดปริมาณน้ำยางข้นเป็น 0 7.5 และ 15 %โดยปริมาตร เมื่อบ่มเป็นเวลา 28 วันแล้ว จึงนำชิ้นงานตัวอย่างไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น และการดูดกลืนน้ำ และสมบัติเชิงกล ได้แก่ กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัด และอัตราการกันเสียง เพื่อนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกันเพื่อศึกษาผลของการผสมน้ำยางข้นในสัดส่วนต่างๆ

แนวทางการวิจัย



1. การทดลองสัดส่วนการผสม

- ในการทดลองขั้นต้น มีการปรับอัตราส่วนต่างๆ เพื่อดูการไหลและความเหมาะสมของส่วนผสม โดยจะทดลองเทใส่ภาชนะพลาสติกก่อนที่จะเทใส่พิมพ์ขนาดจริง ซึ่งผสมที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ

ส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำยางชั้น

1. อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าลอยต่อไมโครซิลิกาเท่ากับ $1 : 0.42 : 0.088$ โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์
2. อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.56 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์
3. ปริมาณ SP เท่ากับร้อยละ 0.56 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์
4. ปริมาณสารลดแรงตึงผิวเท่ากับร้อยละ 4 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

ส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของน้ำยางชั้น 7.5% โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์

1. อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าลอยต่อไมโครซิลิกาเท่ากับ $1 : 0.42 : 0.088$ โดยน้ำหนัก
2. อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อน้ำต่อน้ำยางชั้นเท่ากับ $1 : 0.56 : 0.075$ โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์
3. ปริมาณ SP เท่ากับร้อยละ 0.56 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์
4. ปริมาณสารลดแรงตึงผิวเท่ากับร้อยละ 4 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

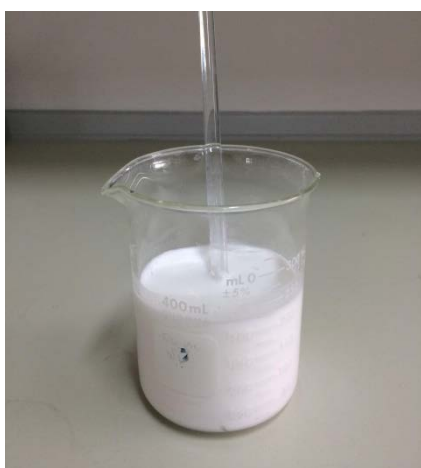
ส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของน้ำยางชั้น 15% โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์

1. อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเถ้าลอยต่อไมโครซิลิกาเท่ากับ $1 : 0.42 : 0.088$ โดยน้ำหนัก
2. อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อน้ำต่อน้ำยางชั้นเท่ากับ $1 : 0.56 : 0.15$ โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์
3. ปริมาณ SP เท่ากับร้อยละ 0.56 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์
4. ปริมาณสารลดแรงตึงผิวเท่ากับร้อยละ 4 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์



ภาพที่ 9 ปูนซีเมนต์ เถ้าถ่านหินกลวง ไมโครซิลิกา และผสมให้เข้ากัน

- ผสมปูนซีเมนต์ เถ้าถ่านหินกลวง ไมโครซิลิกา คลุกเคล้าเข้ากันให้ทั่ว ตามอัตราส่วนที่กำหนด (ภาพที่ 9)



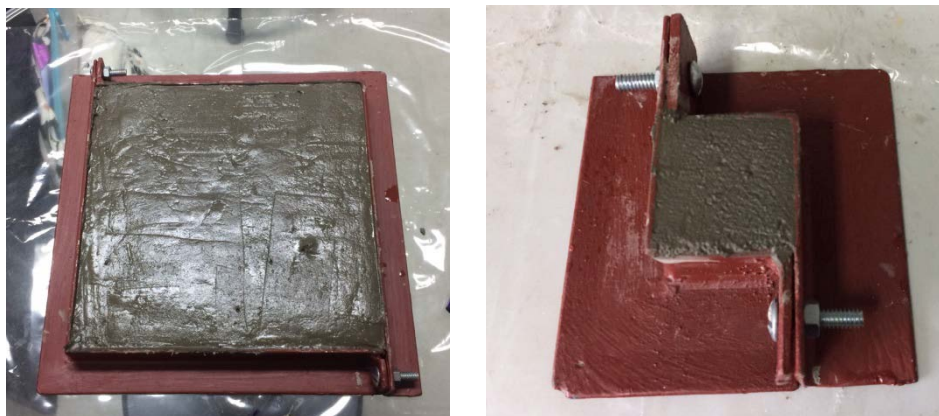
ภาพที่ 10 ส่วนผสมของเหลว ที่ประกอบด้วย สาร

- ลดแรงตึงผิว น้ำยางข้น สาร SP และน้ำประปา



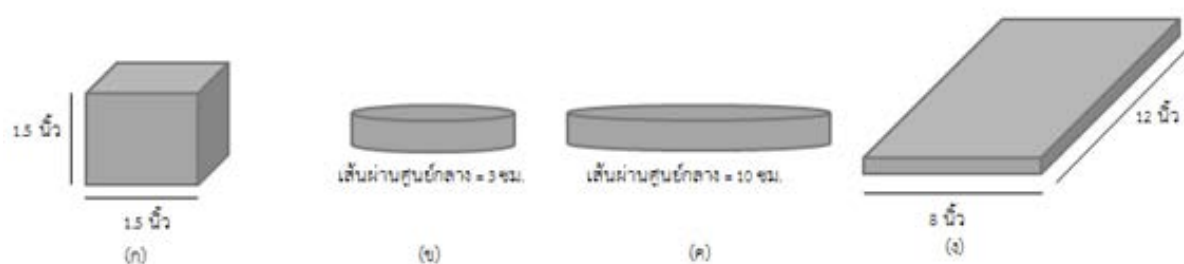
ภาพที่ 11 ส่วนผสมแห้งผสมกับ

- ของเหลว
 - น้ำส่วนผสมเหลวต่างๆ ได้แก่ สารลดแรงตึงผิว น้ำยางข้น สาร Super plasticizer และน้ำประปาเท
- ใส่ภาชนะที่มีส่วนผสมแห้ง (ภาพที่ 10 และ ภาพที่ 11)



ภาพที่ 12 การเทใส่พิมพ์ขนาดต่างๆ

- เมื่อคนส่วนผสมจนเข้ากันแล้ว นำมาเทใส่พิมพ์ขนาดต่างๆ ที่มีการท่น้ำมันไว้เพื่อให้่ายต่อการถอดพิมพ์หรือภาชนะที่จัดเตรียมไว้



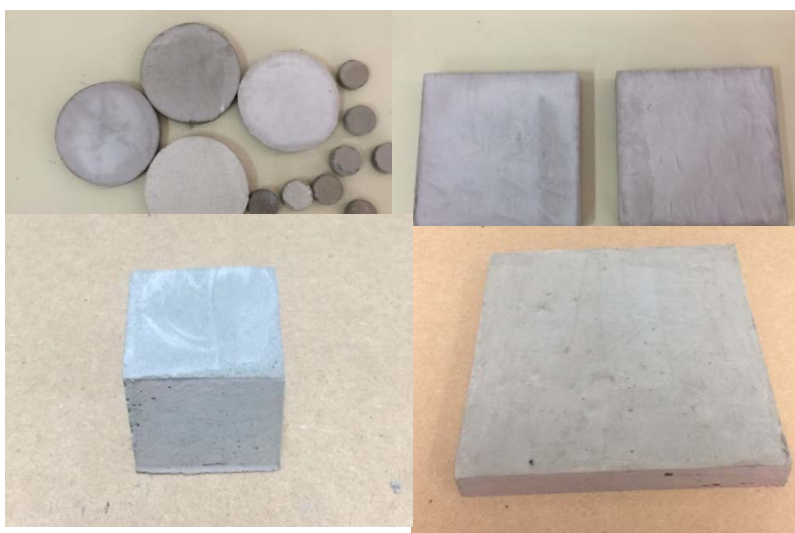
ภาพที่ 13 ตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบ (ก) ทดสอบกำลังอัด (ข)และ(ค) ทดสอบอัตราค้ำ
เสียด และ (ง) ทดสอบกำลังดัด

2. นำตัวอย่างไปบ่มให้ตามเวลาที่กำหนด

- ตัวอย่างมาบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 28 วัน



ภาพที่ 14 ตัวอย่างที่บ่มที่อุณหภูมิห้อง



ภาพที่ 15 ตัวอย่างเมื่อบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 28 วัน

3. การทดสอบตัวอย่างคอนกรีต

- การทดสอบกำลังอัด

นำตัวอย่างขนาด $1.5 \times 1.5 \times 1.5$ นิ้ว ที่มีการบ่มเป็นเวลา 28 วัน มาทดลองเข้าเครื่องทดสอบความสามารถในการรับกำลังอัด โดยเครื่องทดสอบนี้จะต้องควบคุมแรงกดลงบนตัวอย่างด้วยอัตราที่สม่ำเสมอ กดจนตัวอย่างแตก และบันทึกแรงสูงสุดที่วัดค่าได้ในหน่วยกิโลกรัมในหน่วยของแรง (Kgf)



ภาพที่ 16 การทดสอบกำลังอัด

- การทดสอบกำลังดัด

นำตัวอย่างขนาด $8 \times 12 \times 1.5$ นิ้ว ที่มีการบ่มเป็นเวลา 28 วัน มาทดลองเข้าเครื่องทดสอบความสามารถในการรับกำลังดัด โดยเครื่องทดสอบจะออกแรงกดมาที่ตัวอย่าง จนกว่าตัวอย่างจะเกิดรอยร้าวและบันทึกแรงสูงสุดที่วัดค่าได้ในหน่วยนิวตัน(N)

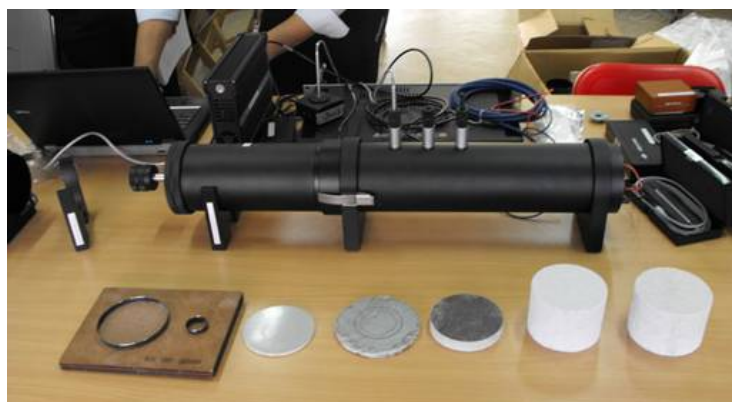


ภาพที่ 17 การทดสอบกำลังดัด

- การทดสอบอัตราการกันเสียง

นำตัวอย่างวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 และ 10 เซนติเมตร ที่มีการบ่มเป็นเวลา 28 วัน มาทดสอบเข้าเครื่องทดสอบการดูดซับเสียง โดยตัวอย่างที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร

สำหรับทดสอบเสียงสูง ตัวอย่างที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับทดสอบเสียงต่ำ โดยเครื่องทดสอบจะปล่อยความถี่ระดับต่างๆผ่านตัวอย่าง และจะมีการบันทึกค่าในหน่วย NRC หรือค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียง



ภาพที่ 18 การทดสอบอัตรากการกัน

- การทดสอบอัตรากการดูดกลืนน้ำเสียง
นำตัวอย่างมาแช่น้ำสะอาดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และบันทึกน้ำหนักก่อนแช่และหลังแช่น้ำ
การคำนวณอัตรากการดูดกลืนน้ำจากสูตร
อัตรากการดูดกลืนน้ำ (%) = $\left(\frac{\text{มวลของชิ้นทดสอบหลังแช่น้ำ (g)} - \text{มวลของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ (g)}}{\text{มวลของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ (g)}} \right) \times 100$



ภาพที่ 19 การทดสอบการดูดกลืนน้ำ

- การทดสอบความหนาแน่น

นำตัวอย่างที่ผ่านการบ่มเป็นเวลา 28 วันหรือตัวอย่างที่แห้งสนิทแล้ว มาชั่งน้ำหนักและปริมาตรของชิ้นตัวอย่าง เพื่อใช้ สำหรับหาความหนาแน่นของตัวอย่าง การคำนวณความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งจากสูตร

$$\text{ความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้ง} = \frac{\text{มวลของชิ้นทดสอบหลังอบในตู้อบ(g)}}{\text{ปริมาตรของชิ้นทดสอบ(cm}^3\text{)}}$$

- การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

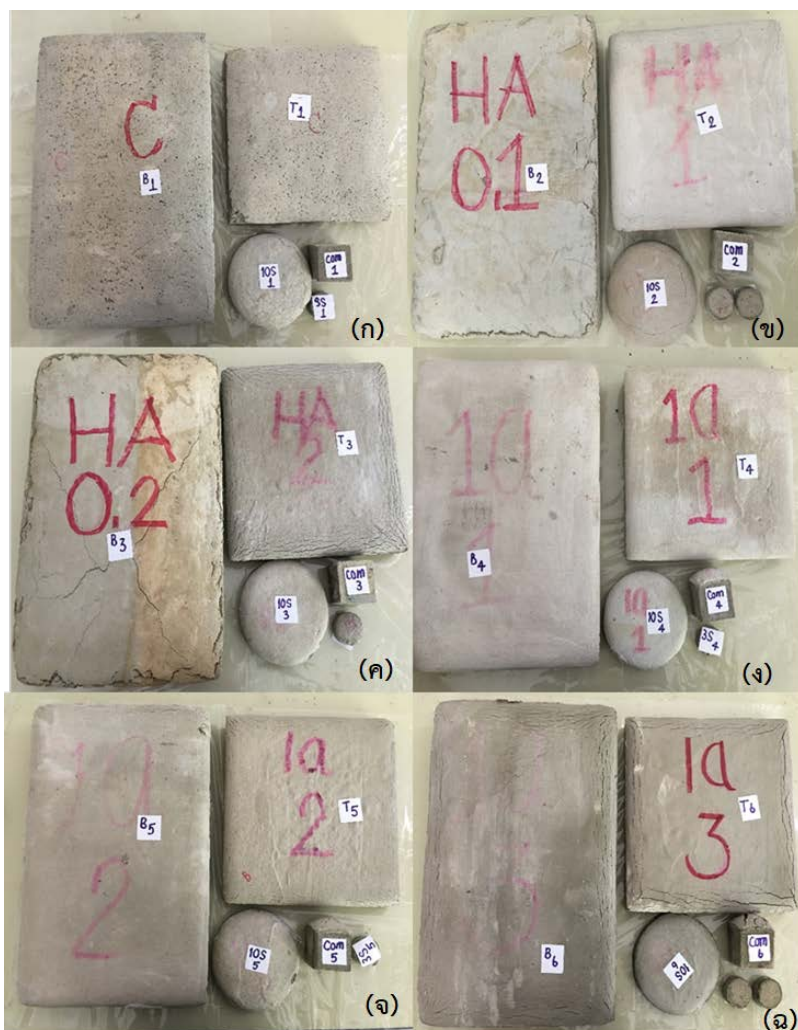
ทำการทดสอบชิ้นงานตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นแผ่น ขนาด 20*20 เซนติเมตร ด้วยเครื่องทดสอบการนำความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM C 518

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างส่วนหนึ่ง

ชิ้นงานตัวอย่างที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ทราย น้ำประปา ผงอะลูมิเนียม ปูนขาว ยิปซัม สารลดแรงตึงผิว และน้ำยาฟารา ตามอัตราส่วนที่กำหนดตามตารางที่ 1 ซึ่งเป็นชิ้นงานตัวอย่างในแต่ละชุดการทดลองผ่านการบ่มด้วยหม้ออบไอน้ำความดันสูงที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และบ่มต่อที่อุณหภูมิห้องภายในถุงพลาสติกสีดำ จนมีอายุครบ 28 วัน



ภาพที่ 20 ชิ้นงานตัวอย่าง (ก) ชุดทดลอง 1 ชุดควบคุม (ข) ชุดทดลอง 2 HA 0.1 (ค) ชุดทดลอง 3 HA 0.2
(ง) ชุดทดลอง 4 1A 0.1 (จ) ชุดทดลอง 5 1A 0.2 (ฉ) ชุดทดลอง 6 1A 0.3

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ

1. การทดสอบความหนาแน่น

การทดสอบหาความหนาแน่นของชิ้นงานตัวอย่างของแต่ละชุดการทดลองที่อายุชิ้นงาน 28 วัน โดยการวัดปริมาตรและมวลของชิ้นงานตัวอย่างหลังอบในตู้อบที่ อุณหภูมิ 105 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ผลจากการทดสอบ พบว่าค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลง เมื่ออัตราส่วนของปริมาณน้ำยางชั้นต่อปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 3 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของประชุม (2550) คือค่าความหนาแน่นจะแปรผกผันกับอัตราส่วนการเติมน้ำยางชั้นในชิ้นงานตัวอย่างที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากที่อายุของชิ้นงานเพิ่มมากขึ้น ทำให้การเกิดปฏิกิริยาเพื่อสร้างฟองอากาศในเนื้อของอิฐมวลเบาเพิ่มมากขึ้นจากการทำปฏิกิริยาของน้ำที่อยู่ในน้ำยางชั้นกับผงอะลูมิเนียม ส่งผลให้ความหนาแน่นของอิฐมวลเบาลดลงตามอัตราส่วนการเติมน้ำยางชั้นต่อปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น

2. การทดสอบอัตราการดูดกลืนน้ำ

การทดสอบอัตราการดูดกลืนน้ำของชิ้นงานตัวอย่างของแต่ละชุดการทดลองที่อายุชิ้นงาน 28 วัน โดยการนำชิ้นงานตัวอย่างที่ผ่านการอบในตู้อบที่ อุณหภูมิ 105 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ไปแช่ในน้ำสะอาดให้ท่วมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลจากการทดสอบ พบว่าอัตราการดูดกลืนน้ำมีแนวโน้มที่ลดลง ดังตารางที่ 4

เมื่ออัตราส่วนของปริมาณน้ำยางชั้นต่อปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น เนื่องมีการสร้างแผ่นฟิล์ม (film) ที่มีความหนาแน่นภายในเนื้อของคอนกรีต บล็อกผสม EVA ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำยางชั้นกับปูนซีเมนต์ (Khamput and Suweero, 2014) และอิฐมวลเบาที่ผสมด้วยน้ำยางพริ้วคานาซึ่งจะให้ค่าการดูดกลืนน้ำที่ต่ำกว่าอิฐมวลเบาที่ผสมด้วยน้ำยางชั้น เนื่องจากน้ำยางพริ้วคานาซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาของน้ำยางกับกำมะถัน ซึ่งเป็นการเชื่อมโมเลกุลของน้ำยางด้วยพันธะโควาเลนต์ ทำให้น้ำยางพริ้วคานามีโครงสร้างตาข่ายมากขึ้น (ชินรัตน์, ม.ป.ป) ส่งผลให้อิฐมวลเบามวลเบาที่เติมน้ำยาง ดังกล่าวมีค่าการดูดกลืนน้ำที่ต่ำกว่าอิฐมวลเบาที่เติมด้วยน้ำยางชั้น และเมื่อเปรียบเทียบค่าอัตราการดูดกลืนน้ำกับอิฐมวลเบาที่วางขายตามท้องตลาด พบว่าอิฐมวลเบาที่ผสมด้วยน้ำยางพริ้วคานาซึ่งที่ P/C เท่ากับ 0.3 ให้ค่าอัตราการดูดซึมน้ำ เพียงร้อยละ 18.67 ซึ่งน้อยกว่าอิฐมวลเบาทั่วไปที่มีร้อยละการดูดซึมน้ำอยู่ระหว่าง 20-80 (กฤษฎา, 2557) จากค่าอัตราการดูดกลืนน้ำที่ต่ำ ทำให้อิฐมวลเบาที่ผสมด้วยน้ำยางพริ้วคานาเป็นทางเลือกหนึ่งที่ใช้ในงานก่อสร้างประเภทวัสดุก่อผนังอาคาร

ตารางที่ 9 ผลการทดสอบความหนาแน่นของชั้นงานตัวอย่าง ที่อายุ 28 วัน

ชั้นงานตัวอย่าง	น้ำหนักของ ชั้นงาน (g)	ปริมาตรของชั้นงาน (cm ³)	ความหนาแน่น ชั้นงาน (g/cm ³)	ความหนาแน่น เฉลี่ย (g/cm ³)
ชุดทดลอง 1 (ชุดควบคุม)	63	53	1,188.68	1,031.73
	1198	1000	1,198.00	
	2455	3465	708.51	
ชุดทดลอง 2 (HA 0.1)	67	53	1,264.15	1,345.58
	1651	1000	1,651.00	
	4013	3578	1,121.58	
ชุดทดลอง 3 (HA 0.2)	52	51	1,019.61	1,274.07
	1672	1000	1,672.00	
	4173	3691	1,130.59	
ชุดทดลอง 4 (1A 0.1)	76	54	1,407.41	1,434.69
	1686	1000	1,686.00	
	4017	3318	1,210.67	
ชุดทดลอง 5 (1A 0.2)	75	54	1,388.89	1,416.34
	1679	1000	1,679.00	
	4017	3401	1,181.12	
ชุดทดลอง 6 (1A 0.3)	71	52	1,365.38	1,403.90
	1615	1000	1,615.00	
	4056	3294	1,231.33	

ตารางที่ 10 ผลการทดสอบอัตราการดูดกลืนน้ำของชิ้นงานตัวอย่าง ที่อายุ 28 วัน

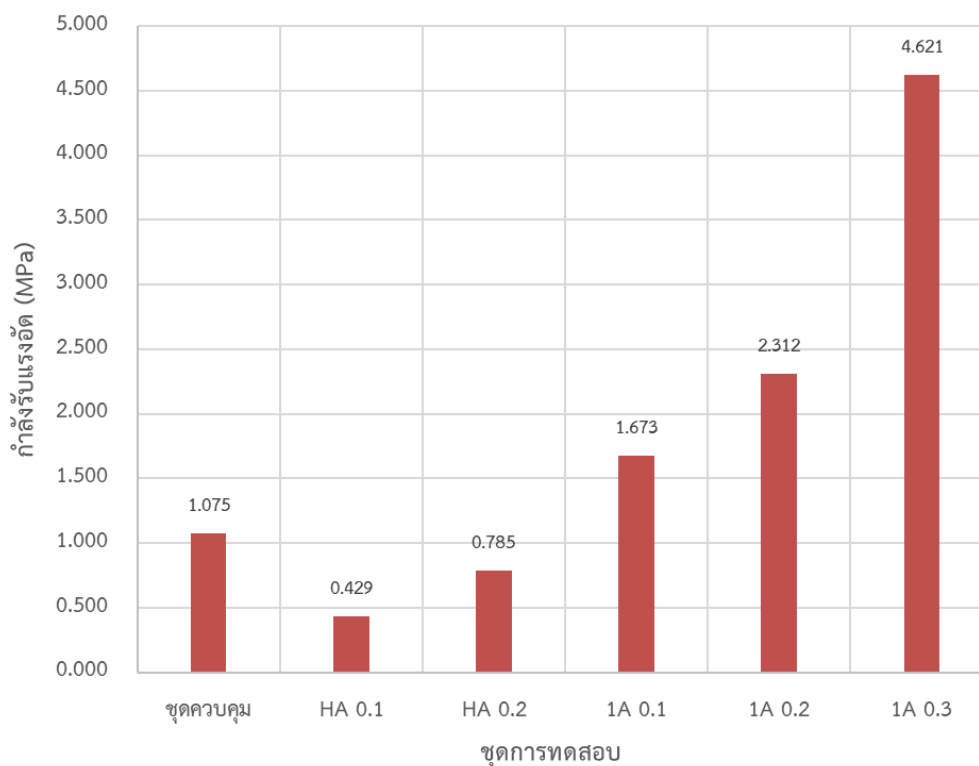
ชิ้นงานตัวอย่าง	น้ำหนักก่อน แช่น้ำ (กรัม)	น้ำหนักหลัง แช่น้ำ (กรัม)	ร้อยละการ ดูดกลืนน้ำ	เฉลี่ยร้อยละการ ดูดกลืนน้ำ
ชุดทดลอง 1 (ชุดควบคุม)	133	177	33.08	35.57
	1,198	1,654	38.06	
ชุดทดลอง 2 (HA 0.1)	186	230	23.66	30.21
	1,651	2,258	36.77	
ชุดทดลอง 3 (HA 0.2)	164	209	27.44	27.54
	1,672	2,134	27.63	
ชุดทดลอง 4 (1A 0.1)	166	201	21.08	23.95
	1,686	2,138	26.81	
ชุดทดลอง 5 (1A 0.2)	178	209	17.42	21.60
	1,679	2,112	25.79	
ชุดทดลอง 6 (1A 0.3)	149	174	16.78	18.67
	1,615	1,947	20.56	

ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

1. การทดสอบกำลังอัด

การทดสอบกำลังอัด (Compressive Strength) ของอิฐมวลเบาที่มีการผสมของน้ำยางข้นและน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ด้วยอัตราส่วนของ P/C ที่กำหนดไว้ เทียบกับชุดควบคุมที่ไม่เติมน้ำยาง ด้วยเครื่อง Micro-Computer Universal Testing Machine จากการทดสอบกำลังอัดของชิ้นงานตัวอย่าง ที่อายุ 28 วัน พบว่าเมื่ออัตราส่วนของน้ำยางข้นเพิ่มขึ้น จะให้ค่าการรับกำลังอัดของชิ้นงานเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 5) ซึ่งขัดแย้งกับงานวิจัยของ สิทธิชัย และคณะ (2548) ที่กล่าวว่าการผสมน้ำยางธรรมชาติในปริมาณที่เพิ่มขึ้น กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ก็จะมีแนวโน้มที่จะลดลงเรื่อยๆ แต่ระยะเวลาในการบ่มที่เพิ่มขึ้นจะช่วยให้คอนกรีตมีการรับกำลังอัดสูงขึ้น แม้ว่าผลที่ได้จะแตกต่างกับงานวิจัยอื่น แต่ก็ยังเป็นสมบัติของอิฐมวลเบาที่ดี สำหรับการที่จะเลือกใช้อิฐมวลเบาที่ผสมด้วยน้ำยางข้นเป็นวัสดุสำหรับก่อผนัง เนื่องอิฐมวลเบาที่ผสมด้วยน้ำยางข้นนั้นให้ค่าการรับแรงอัดที่สูง ซึ่งส่งผลให้ผนังอาคารมีความแข็งแรงที่สูงขึ้นตามไปด้วย (กฤษฎา, 2557)

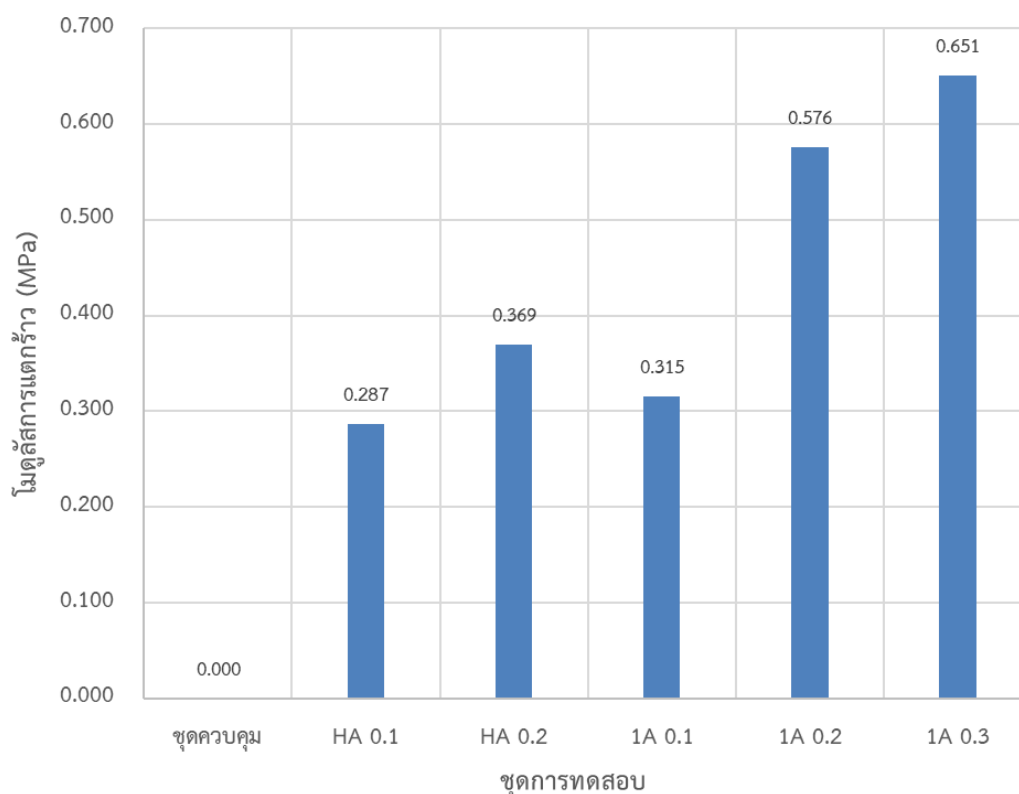
ภาพที่
21
ผล
การ
ทดสอบ
กำลัง
อัด
ของ
ชิ้นงาน
ตัวอย่าง
ที่
อายุ
28 วัน



2. การทดสอบกำลังดัด

การทดสอบกำลังดัด (Flexural Strength) ของอิฐมวลเบาที่มีการผสมของน้ำยางข้นและน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ด้วยอัตราส่วนของ P/C ที่กำหนดไว้ เทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีเติมน้ำยาง ด้วยเครื่อง Micro-

Computer Universal Testing Machine ผลจากการศึกษาการทดสอบชิ้นงานตัวอย่าง ที่อายุ 28 วัน พบว่าการรับแรงดัดของชิ้นงานตัวอย่างที่มีการผสมของน้ำยางชั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 6) เนื่องจากน้ำที่อยู่ในเนื้อของอิฐมวลเบาอาจจะระเหยไป จนทำให้อนุภาคของเนื้อยางเริ่มทำหน้าที่ได้ดีขึ้น โดยการเกาะตัวกันเป็นชั้นฟิล์ม (film) ที่แข็งแรงขึ้น (สิทธิชัย และคณะ, 2548) อีกทั้งผลการทดสอบที่ได้สัมพันธ์กับผลการทดสอบแรงดัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส ที่พบว่าค่าโมดูลัสการแตกร้าวของคอนกรีตแปรผันตามหน่วยของน้ำหนักคอนกรีต (ธนภัทร และคณะ, 2552)



ภาพที่
22

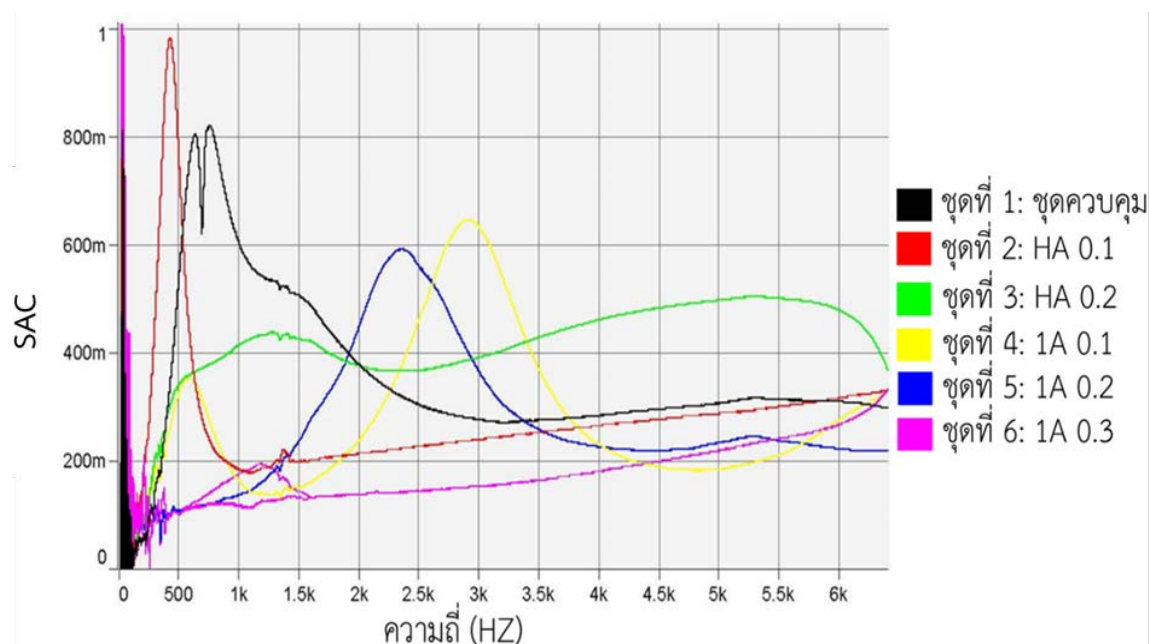
ผลการทดสอบกำลังดัดของชิ้นงานตัวอย่าง ที่อายุ 28 วัน

3. การทดสอบอัตราการดูดซับเสียง

การทดสอบอัตราการดูดซับเสียง (Sound Absorption) ของอิฐมวลเบาที่มีการผสมของน้ำยางชั้น และน้ำยางพริ้วลคาไนซ์ด้วยอัตราส่วนของ P/C ที่กำหนดไว้ เทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีเติมน้ำยาง ด้วยเครื่อง

ทดสอบการดูดซับเสียง ผลจากการทดสอบชิ้นงานตัวอย่างที่อายุ 28 วัน จะได้อัตราการดูดซับเสียงของชิ้นงาน ดังภาพที่ 7 และเมื่อนำค่าอัตราการดูดซับเสียงของตัวอย่างที่ความถี่ 250 500 1000 และ 2000 Hz มา คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงของชิ้นงานตัวอย่าง ที่อายุ 28 วัน (ตารางที่ 5) พบว่าชุดควบคุมที่ไม่มี การเติมน้ำยางชั้น มีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง ถึงร้อยละ 40.71 เมื่อเทียบค่าการดูดซับเสียงกับชุดทดลอง อื่นๆ พบว่าที่อัตราส่วนของปริมาณน้ำยางชั้นต่อปูนซีเมนต์มากขึ้น จะให้ค่าการดูดซับเสียงที่ลดลง หาก ต้องการเพิ่มค่าการดูดซับเสียง ซึ่งมีงานวิจัยของ Khamput and Suweero (2014) ที่ศึกษาค่าการดูดซับเสียง ของคอนกรีตบล็อกผสม EVA ที่มีการเติมน้ำยางวัลคาไนซ์ ผลจากการศึกษาพบว่าการพัฒนาการดูดซับเสียง ด้วยการเพิ่มปริมาณน้ำยางพริวัลคาไนซ์ในชิ้นงาน จะทำให้การยืดหยุ่นของพอลิเมอร์ที่แทรกอยู่ในเนื้อ คอนกรีตบล็อกที่ผสมด้วยเศษ EVA น้ำยาง และแผ่นฟิล์ม จะช่วยให้การดูดซับเสียงดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ การใช้พรมเป็นวัสดุดูดซับเสียง

ภาพที่ 23 ผลการทดสอบอัตราการดูดซับเสียงของชิ้นงานตัวอย่าง ที่อายุ 28 วัน



ตารางที่ 11 ค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียงของชิ้นงานตัวอย่าง ที่อายุ 28 วัน

ชิ้นงานตัวอย่าง	SAC (Hz)				NRC	%NRC
	250	500	1000	2000		

ชุดทดลอง 1 (ชุดควบคุม)	0.09	0.56	0.60	0.38	0.4071	40.71
ชุดทดลอง 2 (HA 0.1)	0.28	0.73	0.18	0.21	0.3525	35.25
ชุดทดลอง 3 (HA 0.2)	0.13	0.34	0.42	0.38	0.3162	31.62
ชุดทดลอง 4 (1A 0.1)	0.14	0.33	0.16	0.24	0.2178	21.78
ชุดทดลอง 5 (1A 0.2)	0.09	0.11	0.14	0.45	0.1966	19.66
ชุดทดลอง 6 (1A 0.3)	0.09	0.11	0.18	0.14	0.1263	12.63

3. การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ตารางที่ 12 ผลการทดสอบสูตรผสมสำหรับผนังอาคาร: ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity)

ชิ้นงานตัวอย่าง สำหรับผนังอาคาร	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) : K value (W/m.K)				
	ความหนาชิ้นงาน (m)	อุณหภูมิทดสอบ1 (°C)	อุณหภูมิทดสอบ2 (°C)	K-Value (W/m.K)	วิธีทดสอบ ASTM C518
	0.0250±0.0005	20.000	50.000	0.0428±0.005	ASTM C518
	0.0250±0.0005	20.000	50.000	0.0726±0.005	ASTM C518
HA	0.0250±0.0005	20.000	50.000	0.0503±0.005	ASTM C518
PV	0.0250±0.0005	20.000	50.000	0.0769±0.005	ASTM C518
PV	0.0250±0.0005	20.000	50.000	0.0567±0.005	ASTM C518
PV	0.0250±0.0005	20.000	50.000	0.0518±0.005	ASTM C518

ผลและอภิปรายผล – ส่วนผนัง

การทดสอบสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตมวลเบา

ความหนาแน่น

หลังจากที่ตัวอย่างผ่านการบ่มเป็นเวลา 28 วันแล้ว จึงเลือกตัวอย่างคอนกรีตปกติและตัวอย่างที่มีสัดส่วนน้ำยางชั้นที่แตกต่างกันมาชั่งน้ำหนักและวัดปริมาตร เพื่อหาค่าความหนาแน่น ซึ่งได้ผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 13 ค่าความหนาแน่น

ตัวอย่างชิ้นงาน	ปริมาณน้ำยาง (%โดยน้ำหนัก ซีเมนต์)	น้ำหนักของชิ้นงาน (g)	ปริมาตรของชิ้นงาน (cm3)	ความหนาแน่น ชิ้นงาน (g/cm3)
คอนกรีตปกติ	0.00	105.5	57.8	1.82
		4,709.0	2454.2	1.92
ค่าเฉลี่ย				1.87
คอนกรีตมวลเบา 1	0.00	87	56.7	1.53
		3,983.0	2,523.3	1.57
ค่าเฉลี่ย				1.55
คอนกรีตมวลเบา 2	7.50	87	58.6	1.49
		4,073.0	2,505.4	1.63
ค่าเฉลี่ย				1.56
คอนกรีตมวลเบา 3	15.0	85.3	58.3	1.46
		3,771	2,459.5	1.53
ค่าเฉลี่ย				1.50

จากการทดสอบพบว่าตัวอย่างที่มีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุดคือ คอนกรีตมวลเบา3 < คอนกรีตมวลเบา1 < คอนกรีตมวลเบา2 < คอนกรีตปกติ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณน้ำยางชั้น ส่งผลให้ความหนาแน่นของตัวอย่างลดลง อีกทั้งส่วนผสมที่แตกต่างกันของคอนกรีตมวลเบาที่มีการใช้เถ้าลอยและไม่โครซิลิกา แทนการใช้ทรายในคอนกรีตปกติ เป็นผลทำให้ตัวอย่างมีความหนาแน่นลดลง

อัตราการดูดกลืนน้ำ

นำตัวอย่างคอนกรีตปกติและคอนกรีตมวลเบาที่มีสัดส่วนน้ำอย่างชันแตกต่างกัน ที่ผ่านการบ่มเป็นเวลา 28 วัน มาชั่งน้ำหนักในขณะที่แห้ง หลังจากนั้นจึงนำไปแช่ในน้ำประปาเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และทำการชั่งน้ำหนักหลังผ่านการแช่น้ำ เพื่อหาค่าอัตราการดูดกลืนน้ำ ซึ่งได้ผลการทดสอบ ดังนี้

ตารางที่ 14 อัตราการดูดกลืนน้ำ

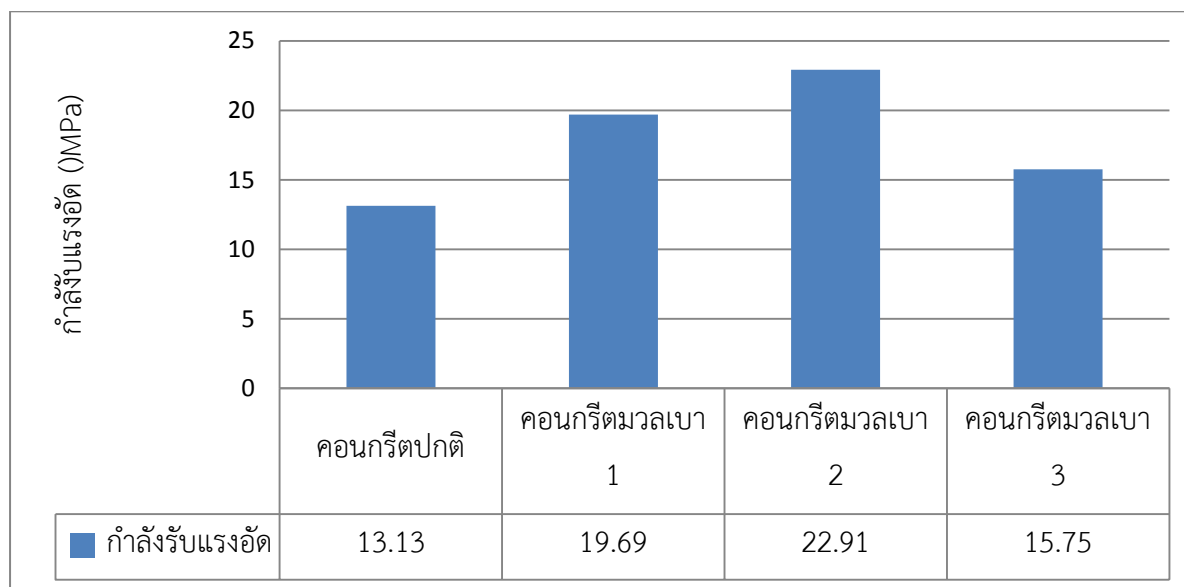
ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำอย่าง (%โดยน้ำหนัก ซีเมนต์)	มวลของชิ้น ทดสอบก่อนแช่น้ำ (g)	มวลของชิ้น ทดสอบหลังแช่น้ำ (g)	อัตราการดูดกลืน น้ำ (%)
คอนกรีตปกติ	0.00	1948.0	2134.0	9.55
คอนกรีตมวลเบา1	0.00	1566.0	1708.0	9.07
คอนกรีตมวลเบา2	7.50	1656.0	1805.0	9.00
คอนกรีตมวลเบา3	15.0	1561.0	1720.0	10.18

จากการทดสอบพบว่าตัวอย่างที่มีค่าการดูดกลืนน้ำน้อยที่สุดคือ คอนกรีตมวลเบา2 < คอนกรีตมวลเบา1 < คอนกรีตปกติ < คอนกรีตมวลเบา3 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มน้ำอย่างชันนั้นมีผลต่ออัตราการดูดกลืนน้ำของคอนกรีต แต่ต้องคำนึงถึงการใช้ในปริมาณที่เหมาะสม เนื่องจากหากใส่มากเกินไปจะส่งผลให้คอนกรีตมวลเบามีประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควร

การทดสอบสมบัติเชิงกลของคอนกรีตมวลเบา

การรับแรงอัด

นำตัวอย่างคอนกรีตปกติและคอนกรีตมวลเบาที่มีสัดส่วนน้ำยางชั้นแตกต่างกัน ที่มีการบ่มเป็นเวลา 28 วัน มาทดสอบการรับแรงอัด ซึ่งได้ผลการทดสอบดังนี้



ภาพที่ 24 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาและคอนกรีตปกติ

หมายเหตุ

คอนกรีตมวลเบา1 คือ คอนกรีตมวลเบาที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำยางชั้น

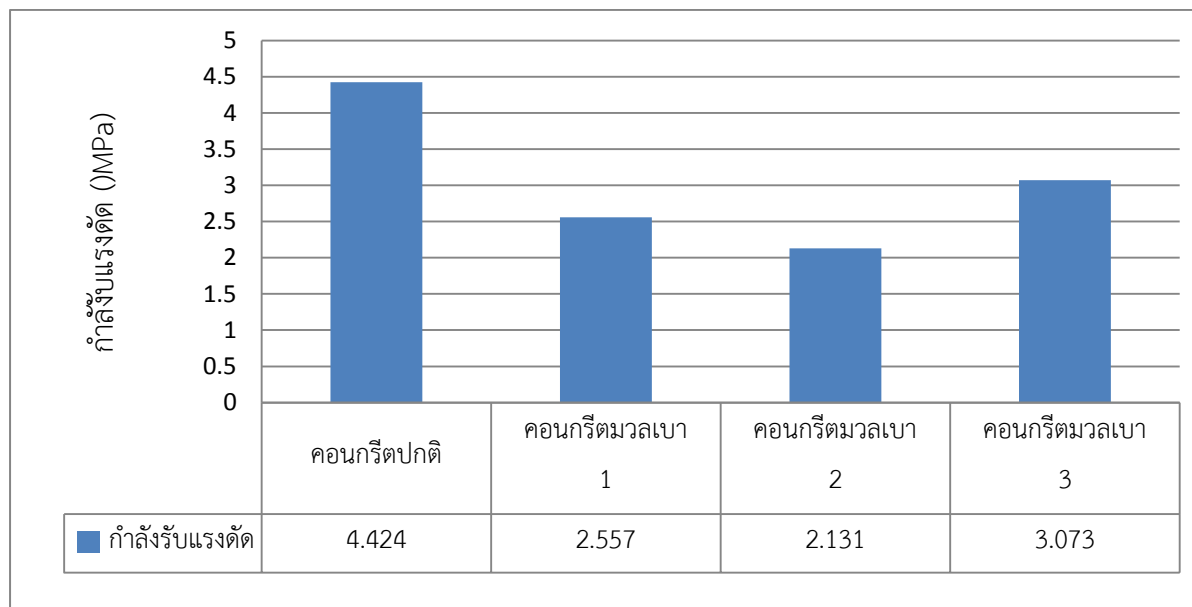
คอนกรีตมวลเบา2 คือ คอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของน้ำยางชั้น 7.5 %โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์

คอนกรีตมวลเบา3 คือ คอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของน้ำยางชั้น 15 %โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์

จากการทดสอบพบว่าตัวอย่างที่มีกำลังรับแรงอัดมากที่สุดคือ คอนกรีตมวลเบา2 > คอนกรีตมวลเบา1 > คอนกรีตมวลเบา3 > คอนกรีตปกติ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำยางชั้นเป็นส่วนผสมสามารถเพิ่มคุณสมบัติการรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาได้ แต่ควรใช้ในปริมาณที่เหมาะสมเนื่องจากจะทำให้มีประสิทธิภาพที่ไม่ดีเท่าที่ควร เพราะจะส่งผลให้ไปขัดขวางการทำงานของปูนซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติเป็นวัสดุผสมในการทำคอนกรีต และจะเห็นได้ว่าคอนกรีตมวลเบาเมื่อเทียบกับคอนกรีตปกติแล้ว มีค่าการรับแรงอัดที่สูงกว่า เป็นผลมาจากส่วนผสมที่แตกต่างกันโดยในคอนกรีตมวลเบามีการใช้เถ้าลอย ไมโครซิลิกา แทนการใช้ทรายที่เป็นส่วนผสมหลักในคอนกรีตปกติ

การรับแรงดัด

นำตัวอย่างคอนกรีตปกติและคอนกรีตมวลเบาที่มีสัดส่วนน้ำยางชั้นแตกต่างกัน ที่มีการบ่มเป็นเวลา 28 วัน มาทดสอบการรับแรงดัด ซึ่งได้ผลการทดสอบดังนี้



ภาพที่ 25 กำลังรับแรงดัดของคอนกรีตมวลเบาและคอนกรีตปกติ

หมายเหตุ

คอนกรีตมวลเบา1 คือ คอนกรีตมวลเบาที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำยางชั้น

คอนกรีตมวลเบา2 คือ คอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของน้ำยางชั้น 7.5 %โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์

คอนกรีตมวลเบา3 คือ คอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของน้ำยางชั้น 15 %โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์

จากการทดสอบพบว่าตัวอย่างที่มีกำลังรับแรงดัดมากที่สุดคือ คอนกรีตปกติ > คอนกรีตมวลเบา1 > คอนกรีตมวลเบา3 > คอนกรีตมวลเบา2 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณน้ำยางชั้นส่งผลให้ค่าการรับแรงอัดมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ซึ่งคาดว่า การเติมน้ำยางชั้นในปริมาณที่สูงขึ้นน่าจะมีการเชื่อมโยงกันภายในเป็นโครงข่ายที่ยึดกันให้เหนียวขึ้น

อัตราการกันเสียง

นำตัวอย่างคอนกรีตปกติและคอนกรีตมวลเบาที่มีสัดส่วนน้ำยางชั้นแตกต่างกัน ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 และ 10 เซนติเมตร ซึ่งมีการบ่มเป็นเวลา 28 วัน มาทดสอบอัตราการกันเสียงที่ระดับความถี่ต่างๆ ได้ผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 15 อัตราการกันเสียง

ตัวอย่าง การทดสอบ	คอนกรีตปกติ	คอนกรีตมวลเบา1	คอนกรีตมวลเบา2	คอนกรีตมวลเบา3
NRC*	0.123	0.059	0.137	0.065

*Noise Reduction Coefficient คือ ค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียง

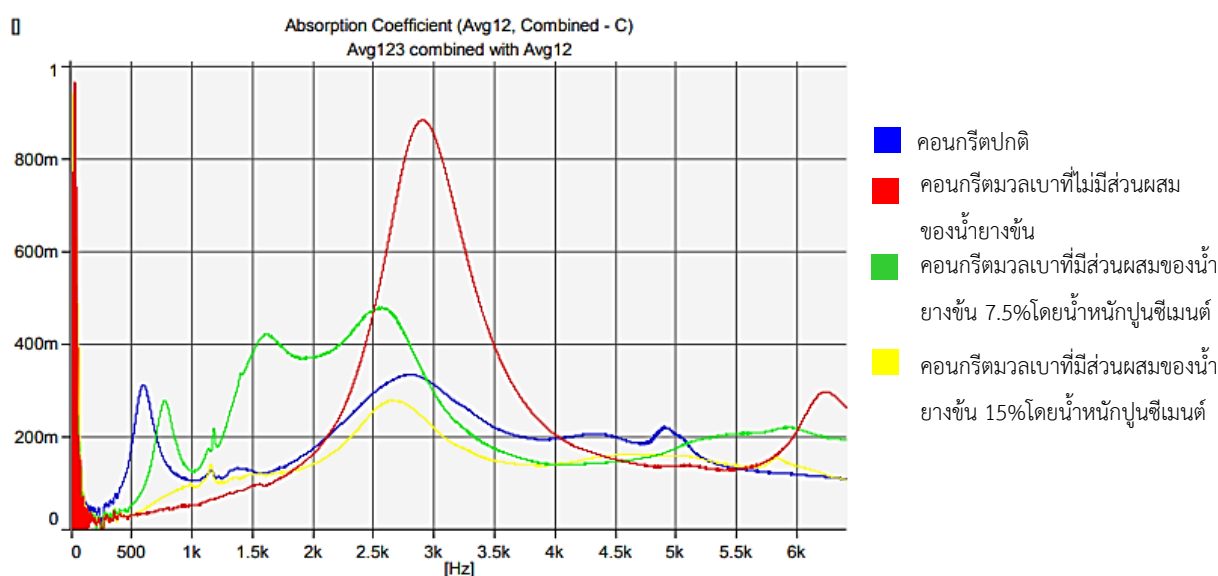
หมายเหตุ

คอนกรีตมวลเบา1 คือ คอนกรีตมวลเบาที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำยางชั้น

คอนกรีตมวลเบา2 คือ คอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของน้ำยางชั้น 7.5 %โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์

คอนกรีตมวลเบา3 คือ คอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของน้ำยางชั้น 15 %โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์

จากการทดสอบพบว่าตัวอย่างที่มีอัตราการกันเสียงมากที่สุด คือ คอนกรีตมวลเบา2 > คอนกรีตปกติ > คอนกรีตมวลเบา3 > คอนกรีตมวลเบา ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มน้ำยางชั้นนั้นส่งผลต่ออัตราการกันเสียงของคอนกรีต แต่ต้องคำนึงถึงการใช้ในปริมาณที่เหมาะสม เนื่องจากหากใส่มากเกินไปจะส่งผลให้คอนกรีตมวลเบามีประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควร



ภาพที่ 26 อัตราการกันเสียงของคอนกรีตมวลเบาและคอนกรีตปกติ

จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกลพบว่าคอนกรีตมวลเบาผสมน้ำยางชัน 7.5% โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ มีความสามารถในการรับแรงอัดได้สูงสุดคือที่ 22.91 MPa (ภาพที่ 17) อีกทั้งยังมีน้ำหนักเบาว่าคอนกรีตปกติ โดยเปรียบเทียบจากค่าความหนาแน่น 1.56 ต่อ 1.87 g/cm³ (ตารางที่ 1) อีกทั้งมีความสอดคล้องกับงานวิจัย (Yunpeng *et al.*, 2015) ที่กล่าวไว้ว่าการปรับเปลี่ยนส่วนผสมคอนกรีตโดยใช้เถ้าลอยซึ่งมีความหนาแน่นต่ำสามารถลดความหนาแน่นของคอนกรีตได้ ทำให้มีน้ำหนักที่เบาว่าคอนกรีตปกติ เปรียบเทียบจากค่าคอนกรีตมวลเบาที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำยางชันมีค่าเท่ากับ 1.55 ต่อ 1.87 g/cm³ (ตารางที่ 1) เนื่องจากเถ้าลอยที่ใช้เป็นส่วนผสมมีความหนาแน่นที่ต่ำและมีอนุภาคขนาดเล็กทำให้ไปอุดช่องว่างเล็กที่มีอยู่ในคอนกรีตทำให้ช่องว่างลดลง ส่งผลให้เกิดการอัดตัวที่ดีขึ้นทำให้กำลังอัดมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย และค่าการรับแรงดัด พบว่า เมื่อมีการเติมน้ำยางชันจาก 7.5 %โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.131MPa เป็น 15 %โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ มีค่าเท่ากับ 3.073 MPa (ภาพที่ 18) จะเห็นว่ามีแนวโน้มที่สูงขึ้น ซึ่งคาดว่า การเติมน้ำยางชันในปริมาณที่มากกว่าน่าจะเกิดการเชื่อมโยงกันภายในเป็นโครงข่ายที่ยึดกันให้เหนียวขึ้น แต่หากเติมน้อยเกินไปอาจทำให้เป็นส่วนกันการประสานของซีเมนต์ และไม่เกิดการสร้างโครงข่ายของยางภายในชิ้นงาน อีกทั้งมีสมบัติที่ดีด้านการต้านทานการดูดกลืนน้ำได้ดีกว่าคอนกรีตปกติโดยเปรียบเทียบจาก ค่าการดูดซึมน้ำ 9.00 ต่อ 9.55% โดยน้ำหนัก (ตารางที่2) (บุญชัย และคณะ, 2551) ได้เสนอผลการศึกษาไว้ว่าการผสมน้ำยางชันลงไปคอนกรีต สามารถช่วยเพิ่มค่าในการรับแรงดัดได้มาก โดยเฉพาะเมื่อใส่น้ำยางในปริมาณที่สูง เนื่องจากน้ำยางที่ใส่จะมีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มคอยทำหน้าที่ยึดอนุภาคต่างๆ ให้รับแรงดัดได้ดีทั้งด้านบนและด้านล่าง พฤติกรรมคล้ายกับคานคอนกรีตเสริมเหล็กเมื่อรับแรงดัด รวมทั้งทำให้มีการดูดกลืนน้ำที่ลดน้อยลง และยังมีอัตราการกันเสียงที่ดีกว่าคอนกรีตปกติโดยเปรียบเทียบจากค่าสัมประสิทธิ์การลดเสียง 0.137 ต่อ 0.123 (ตารางที่ 3) ในภาพรวมคือ คอนกรีตมวลเบาผสมน้ำยางชัน 7.5%โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ มีความสามารถในการรับน้ำหนักได้ดีกว่า มีน้ำหนักเบาว่า มีความต้านทานการดูดซึมน้ำ และมีอัตราการกันเสียงที่ดีกว่าคอนกรีตปกติ

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ตารางที่ 16 ผลการทดสอบสูตรผสมสำหรับวัสดุปูพื้น: ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity)

ชั้นงานตัวอย่างสำหรับ วัสดุปูพื้น	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) : K value (W/m.K)				
	ความหนาชั้นงาน (m)	อุณหภูมิทดสอบ1 (°C)	อุณหภูมิทดสอบ 2 (°C)	K-Value (W/m.K)	วิธีทดสอบ ASTM C518
control	0.0254±0.0010	20.000	50.000	0.1626±0.005	ASTM C518
HA 0%	0.0258±0.0005	20.000	50.000	0.1638±0.005	ASTM C518
HA 7.5%	0.0281±0.0005	20.000	50.000	0.1389±0.005	ASTM C518
HA 15%	0.0266±0.0005	20.000	50.000	0.1289±0.005	ASTM C518
HA 20%	0.0257±0.0010	20.000	50.000	0.1474±0.005	ASTM C518

การคำนวณต้นทุนการผลิต

❖ ต้นทุนส่วนที่เพิ่มขึ้นสำหรับอิฐมวลเบา (สำหรับผนังอาคาร) คือ น้ำยางพริ้วคานซ์

■ ราคาน้ำยางพริ้วคานซ์ 115 บาทต่อกิโลกรัม (ราคาขายปลีกปริมาณน้อย)

■ สูตรผสมใช้น้ำยางพริ้วคานซ์ 30% ของน้ำหนักปูนซีเมนต์

ดังนั้น กรณีชิ้นงานที่ใช้ปูนซีเมนต์ในการผลิต 100 กิโลกรัม

จะต้องใช้น้ำยางพริ้วคานซ์ 30 กิโลกรัม คิดเป็นเงิน 3,450 บาท

■ ขนาด 7 × 20 เซนติเมตร ความหนาประมาณ 5.0-7.0 เซนติเมตร
ราคาประมาณ 75.00 บาท



ภาพที่ 27 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์อิฐมวลเบาสำหรับผนังอาคาร

❖ ต้นทุนส่วนที่เพิ่มขึ้นสำหรับคอนกรีตมวลเบา (สำหรับวัสดุปูพื้น) คือ น้ำยางชั้นแอมโมเนียสูง (HA)

■ ราคาน้ำยางชั้นแอมโมเนียสูง (HA) 100 บาทต่อกิโลกรัม (ราคาขายปลีกปริมาณน้อย)

■ สูตรผสมใช้ น้ำยางชั้นแอมโมเนียสูง (HA) 7.5% ของน้ำหนักปูนซีเมนต์

ดังนั้น กรณีชิ้นงานที่ใช้ปูนซีเมนต์ในการผลิต 100 กิโลกรัม

จะต้องใช้ น้ำยางชั้นแอมโมเนียสูง (HA) 7.5 กิโลกรัม คิดเป็นเงิน 750 บาท

■ ขนาด 20 × 20 เซนติเมตร ความหนาประมาณ 4.0 – 5.0 เซนติเมตร
ราคาประมาณ 34.50 บาท



ภาพที่ 27 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบาสำหรับวัสดุปูพื้น

ปริมาณการใช้น้ำยาง

- คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มอากาศสำหรับผลิตเป็นผนังอาคาร

(สูตรผสมน้ำยางพริ้วคานซ์ 30% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์)

คอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร มีน้ำหนัก 1032 กิโลกรัม (ความหนาแน่น 1.032 g/cm^3)

ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ต้องใช้ 510 กิโลกรัม (ซีเมนต์ : น้ำหนักทั้งหมด = 1 : 2.02)

ปริมาณน้ำยางพริ้วคานซ์ 30% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ คิดเป็น 153 กิโลกรัม

- คอนกรีตมวลเบาสำหรับผลิตวัสดุปูพื้น

(สูตรผสมน้ำยางชั้นแอมโมเนียสูง 7.5%)

คอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร มีน้ำหนัก 1680 กิโลกรัม (ความหนาแน่น 1.680 g/cm^3)

ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ต้องใช้ 1120 กิโลกรัม (ซีเมนต์ : น้ำหนักทั้งหมด = 1 : 1.51)

ปริมาณน้ำยางชั้นแอมโมเนียสูง 7.5% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ คิดเป็น 84 กิโลกรัม

ความสามารถในการแข่งขันในตลาด

ด้วยผลิตภัณฑ์ใหม่จากการวิจัยนี้มีสมบัติในความเป็นฉนวนที่มากกว่าผลิตภัณฑ์เดิม ซึ่งพิจารณาได้จากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) ดังนี้

ผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ในท้องตลาด

ผนังคอนกรีตมวลเบา : 0.1300 (W/m.K) และ พื้นคอนกรีต : 1.7300 (W/m.K)

วัสดุงานวิจัย

ผนังอาคาร (HA20%) : 0.0503 (W/m.K) และ วัสดุปูพื้นคอนกรีต (HA15%) : 0.1357 (W/m.K)

ดังนั้น เมื่อนำสมบัติความเป็นฉนวนนี้มาคำนวณในการสร้างอาคารเพื่ออนุรักษ์พลังงานภายในอาคาร จึงมีความสามารถในการแข่งขันในตลาดวัสดุก่อสร้างได้เมื่อนำสู่กระบวนการผลิตขนาดอุตสาหกรรมซึ่งจะลดต้นทุนลงไปอีกมาก ทั้งนี้ราคาที่เราพบในการศึกษานี้เป็นต้นทุนที่คิดจากการผลิตในห้องปฏิบัติการ และหากคำนวณต้นทุนที่ต้องการเพิ่มสมบัติความเป็นฉนวนให้กับผนังหรือดาดฟ้าที่ใช้ผลิตภัณฑ์เดิม ให้เทียบเท่ากับ วัสดุที่พัฒนาขึ้นนี้ก็จำเป็นต้องมีมาตรการเสริมเพิ่มขึ้นคือ การพ่นโพลียูรีเทนโฟม เป็นต้น ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายเพิ่มประมาณ 250-300 บาทต่อตารางเมตร จึงทำให้ต้นทุนในการก่อสร้างสูงขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาวัสดุก่อสร้างสำหรับผนัง จากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการเติมน้ำยางชั้นธรรมชาติต่อสมบัติของอิฐมวลเบา พบว่าอิฐมวลเบาที่ผสมด้วยน้ำยางพริ้วคานซ์ ด้วยอัตราส่วนของน้ำยางชั้นต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.3 จะให้ค่าการรับแรงอัดเท่ากับ 4.621 เมกะปาสกาล ค่าความหนาแน่น เท่ากับ 1,403.90 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และอัตราการดูดกลืนน้ำร้อยละ 18.67 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่ มอก. 2601-2556 กำหนด คือ คอนกรีตบล็อกมวลเบาชนิด C9 - C12ค่าความต้านแรงอัด ต้องไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะปาสกาล ค่าความหนาแน่น อยู่ในช่วง 801 ถึง 1200 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และอัตราการดูดกลืนน้ำ ต้องไม่มากกว่าร้อยละ 23 และอิฐมวลเบาที่ผสมด้วยน้ำยางพริ้วคานซ์นี้ยังให้ค่าการรับกำลังดัด เท่ากับ 0.651 เมกะปาสกาล ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.0518 วัตต์ต่อเมตร-องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม พบว่า ค่าการรับแรงอัด ค่าการรับแรงดัด และความหนาแน่นสูงกว่าชุดควบคุม และยังให้อัตราการดูดกลืนน้ำที่น้อยลง จากสมบัติที่เพิ่มขึ้น ดังกล่าวจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำสูตรอิฐมวลเบาที่ผสมด้วยน้ำยางพริ้วคานซ์นี้ไปประยุกต์ใช้ในการผลิตวัสดุก่อสร้างประเภทวัสดุก่อสำหรับผนังอาคาร เนื่องจากอิฐมวลเบาที่มีการผสมด้วยน้ำยางพริ้วคานซ์ให้ค่าการรับกำลังอัดที่เพิ่มขึ้น และค่าการดูดกลืนน้ำที่ลดลง ซึ่งสามารถช่วยยืดอายุการใช้งานของอิฐมวลเบาอีกด้วย

การพัฒนาวัสดุก่อสร้างสำหรับพื้น คอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของเถ้าลอย ไมโครซิลิกา และปูนซีเมนต์เป็นองค์ประกอบหลัก โดยกำหนดปริมาณน้ำยางชั้นที่แตกต่างกัน คือ 0 7.5 15% โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ และนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ พบว่าความหนาแน่น คอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของน้ำยางชั้น 15%โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ มีค่าน้อยที่สุด และการดูดกลืนน้ำ คอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของน้ำยางชั้น 7.5%โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ มีค่าน้อยที่สุด ส่วนทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าการรับแรงอัดและอัตราการกันเสียง คอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของน้ำยางชั้น 7.5% โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ มีค่ามากที่สุด และกำลังรับแรงดัด พบว่า คอนกรีตปกติ มีค่ามากที่สุด จากการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกล ซึ่งในแต่ละอัตราส่วนของน้ำยางชั้นได้ให้ผลการทดสอบที่แตกต่างกันไป แต่โดยภาพรวมแล้วในการพัฒนาคอนกรีตมวลเบาปริมาณน้ำยางชั้นที่เหมาะสมที่สุดคือ น้ำยางชั้น 7.5 %โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ เนื่องจากทำให้คอนกรีตมวลเบาที่กำลังรับแรงอัดสูงที่สุด มีน้ำหนักเบา ดูดซับเสียงได้ดี และมีอัตราการดูดกลืนน้ำที่ต่ำเมื่อเทียบกับคอนกรีตปกติ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน 0.1389 วัตต์ต่อเมตร-องศาเซลเซียส จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการใช้น้ำยางชั้นนั้นสามารถใช้ในการพัฒนาคอนกรีตมวลได้ แต่ทั้งนี้เป็นเพียงการพิจารณาโดยภาพรวม ซึ่งในการเลือกใช้ปริมาณน้ำยางชั้นเป็นส่วนผสมในพัฒนาคอนกรีตมวลเบา ผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้ปริมาณน้ำยางในปริมาณที่เหมาะสมที่ให้ผลลัพธ์ตรงตามวัตถุประสงค์การใช้งาน และเลือกใช้ปริมาณที่พอเหมาะเนื่องจากถ้าหากใช้ในปริมาณที่มากหรือน้อยเกินไปจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานไม่ดีเท่าที่ควร หรือถ้าหากมากเกินไปจะส่งผลให้ เ ป้ น อู ป ส ร ร ค ใน ก า ร ป ฏิ บั ตั ง า น

ข้อเสนอแนะ

1. สภาพการเสื่อมของยางในผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งที่ควรพิจารณาและตรวจสอบ จึงควรทำซ้ำในสูตรที่คัดเลือกและเก็บไว้รักษาตัวอย่างไว้ในสภาพต่างๆ เพื่อตรวจสอบสมบัติของผลิตภัณฑ์ผลในระยะยาวเนื่องจากอาคารและที่อยู่อาศัยจะใช้เป็นเวลานานจึงควรเก็บทดสอบไว้ทดสอบในช่วงเวลา 5 -10 ปี หรือผ่านการสร้างสภาพแวดล้อมในระบบการทดสอบแบบเร่งเวลา
2. การทดสอบผลิตภัณฑ์ในการศึกษานี้เป็นเครื่องมือในศูนย์วิจัยของสถาบันการศึกษา อาจทำการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนการทดสอบสมบัติผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องมือและอุปกรณ์ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมในสถานที่ทดสอบของหน่วยงานราชการต่อไป

เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม (2547). **อิฐมวลเบานวัตกรรมวัสดุก่อสร้างแบบใหม่ของวงการก่อสร้างไทย.** (อัตสำเนา).

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. 2556. **ประโยชน์ของยางพารา.** แหล่งที่มา :
<http://www.arda.or.th/kasetinfo/south/para/used/01-03.php>, 20 มีนาคม 2561

กิจฉาร โลหะ, พัทธ์ บัญญู, สิทธิชัย ศิริพันธุ์ และอนุรักษ์ กำเนิดว่า. 2548. **การใช้ยางธรรมชาติเพื่อพัฒนางานคอนกรีต.**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตศรีวิชัย, สงขลา.

กฤษฎา สุทธิพันธ์. 2557. **คอนกรีตมวลเบาสำหรับงานก่อ.** กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กฤษฎี พิสิษฐกุล. 2557. **เบื้องหลังตลาดและการกำหนดราคายางพาราไทย. FOCUSED AND QUICK (FAQ) 90: 1-10.**

กฤษฎี สหชัยเสรี, วิจิตรา สิงห์หิรัญสรณ์, อนุรักษ์ กุศลชู, กัลยกร แก่นวิจิตร และ จิรฐ รัตนเรืองฤทธิ์. 2556. **คุณสมบัติความเป็นฉนวนความร้อนของคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมจากวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมรองเท้า, น. 134-143. ใน การประชุมทางวิชาการ “มหาวิทยาลัยมหาสารคามวิจัย ครั้งที่ 9” การวิจัยสู่ประชาคมอาเซียน (Research for ASEAN Community).** มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.

ชมพูท วิริทิตติ. 2559. **SAC and NRC.** แหล่งที่มา: <https://www.noisecontrol.company/noise/knowledge/sac-and-nrc/>, 30 เมษายน 2561.

ชินรัตน์ ลาภพูลธนะอนันต์. ม.ป.ป. **น้ำยางชั้นพรีเมียมคานา. ศูนย์วิจัยเทคโนโลยียาง**

ธนภัทร ทวีวุฒิ, เกรียงศักดิ์ แก้วกุลชัย, วิวัฒน์ พัวพัฒน์ และสถาพร โกคา. 2552. **กำลังรับแรงดึงแยกและโมดูลัสการแตกร้าวของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส, น. 1673-1678. ใน การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 14.** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

บุญชัย ผึ้งไผ่งาม, ประชุม คำพุ่ม, ประภาส วันทอง และอมเรศ บกสุวรรณ. 2551. **การใช้น้ำยางพาราพัฒนาสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อก**. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี.

บริษัท ควอลิตี้คอนสตรัคชั่นโปรดักส์ จำกัด (มหาชน). 2556. **“ความรู้เกี่ยวกับอิฐมวลเบา.”**

[ระบบออนไลน์].สืบค้นจาก<http://qcon.co.th/knowledge/>(14 เมษายน 2561).

ประชา คุณธรรมดี. 2559. **ปัญหาและแนวทางแก้ไขยางพารา**.คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี.

ประชุม คำพุ่ม. 2550. การใช้น้ำยางพาราปรับปรุงสมบัติด้านการรับกำลังและการเป็นฉนวนกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ. **วารสารวิจัยและพัฒนา มจร** 30 (2): 363-376.

_____, ประภาส วันทอง, อมเรศ บกสุวรรณ และ บุญชัย ผึ้งไผ่งาม. 2551. **การใช้น้ำยางพาราพัฒนาสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อก**. สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย.

พงษ์ธร แซ่ฮ้อย. ม.ป.ป. ชนิดของยางและการใช้งาน. **Research and Development Centre for the Thai Rubber Industry (RDCTRI).**

พร้อมศักดิ์ สงวนอำมรงค์. 2551. ยางธรรมชาติดีดแปร. **วารสารเพื่อการพัฒนาของอุตสาหกรรมยางไทย** 2 (3): 35.

วีรศักดิ์ ละอองจันทร์ และ หมิง จิง. 2551. **การใช้เถ้าขี้เถ้าชีวมวลในการพัฒนานวัตกรรมผนังคอนกรีตมวลเบาเพื่อเป็นฉนวนกันความร้อนสำหรับอาคาร**. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

ธัญบุรี, ปทุมธานี

ภาณุ คชนอง. 2552. **การเตรียมอิฐบล็อกมวลเบาจากแกลบขัดผิว**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

มยุรี ปาลวงศ์. 2550. **คอนกรีตมวลเบาอีกทางเลือกหนึ่งของการใช้ประโยชน์ยับยั้ง**. แหล่งที่มา: <http://www1.dpim.go.th/ppr/title.php?tid>, 20 มีนาคม 2561.

สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร. ม.ป.ป. **ความสำคัญของยางพาราท่อเศรษฐกิจและสังคม**. แหล่งที่มา: <http://www.arda.or.th/kasetinfo/south/para/history/01-10.php>, 12 กันยายน 2560.

สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. ม.ป.ป. **ผลกระทบเนื่องจากราคายางในตลาดโลกตกต่ำ**. แหล่งที่มา: <http://rubber.oie.go.th/Article.aspx?aid=21074>, 12 กันยายน 2560.

สิทธิชัย ศิริพันธุ์, พัทธ์ชัย บุญนุ่น, กิจถาวร โลหะ และ อนุรักษ์ กำเนิดว่า. 2548. **การใช้ยางธรรมชาติเพื่อพัฒนางานคอนกรีต**. สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย.

สมจิตร พุดดี. 2558. **การวัดค่าสภาพนำความร้อนของวัสดุ**. แหล่งที่มา : https://www.google.co.th/?gws_rd=ssl#q, 29 เมษายน 2561.

หน่วยเทคโนโลยียาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (ศาลายา) จังหวัดนครปฐม. 2556. **ชนิดของยางและการใช้งาน**. แหล่งที่มา: <http://rubber.sc.mahidol.ac.th/rubbertech/NR.htm>, 20 มีนาคม 2561.

Khamput, P. and K. Suweero. 2014. Using of para-rubber to develop properties of concrete block mixed with ethylene vinyl acetate plastic in masonry. **IJERD - International Journal of Environmental and Rural Development** 5: 86-92.

Ienergyguru. 2015. **Autoclaved Aerated Concrete**. Available Source: <https://ienergyguru.com/2015/11>, April 27, 2018

Ohama, Y. 1987. Principle of latex modification and some typical properties of latex modified mortars and concretes. **ACI Materials Journal** 84: 511-518.

Shaji, P., K. P. Aswathi, P. Hanna, J. K. George and K. Shameer. 2017. Effect of natural rubber latex as admixtures in concrete. **International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)** 4: 2031-2034.

The Center of Building Innovation and Technology. 2012. **Cbit tool list**. Available Source: http://cbit.arch.ku.ac.th/Cbit_Lab01.html, April 30, 2018.

Wu, Y., P. Krishnan, L.E. Yu and M.H. Zhang. 2017. Using lightweight cement composite and photocatalytic coating to reduce cooling energy consumption of buildings. **Construction and Building Materials** 145: 555-564.

Yunpeng, W., P. Krishnan, L.E. Yu and M.H. Zhang. 2017. Using lightweight cement composite and photocatalytic coating to reduce cooling energy consumption of buildings. **Construction and Building Materials** 145: 555-564.

_____, J.Y. Wang, P.J. Monteiro and M.H. Zhang. 2015. Development of ultra-lightweight cement composites with low thermal conductivity and high specific strength for energy efficient buildings. **Construction and Building Materials** 87: 100-112.

ภาคผนวก

ทรัพย์สินทางปัญญาที่เกี่ยวข้องกับยางพารา

เลขที่คำขอ	เลขที่ ประกาศ	เลขที่ สิทธิบัตร	ประเภท สิทธิบัตร	ชื่อสิ่งประดิษฐ์/การออกแบบ	ผู้ขอจดสิทธิบัตร
103000302	545	565	อนุสิทธิบัตรเคมี	การใช้ยางพาราเป็นส่วนผสมของสีทาไม้ คอนกรีต และเหล็ก	นายชูชาติ วศิโนภาส
601004370	91557		สิทธิบัตร ประดิษฐ์เคมี	คอนกรีตบล็อกผสมน้ำยางพารา	นายประชุม คำพุด
8701000804	5212		สิทธิบัตร ประดิษฐ์เคมี	ผนังหรือฝ้าเพดานคอนกรีตสำเร็จรูปและ กรรมวิธีการผลิตสิ่งดังกล่าว	นายณัฐพล ยมกุล
8801000372	6730	1957	สิทธิบัตรการ ประดิษฐ์ วิศวกรรม	ผนังหรือหลังคาคอนกรีตเบาและกรรมวิธีการ ผลิตสิ่งดังกล่าว	นายสมภพ ยมกุล
8601000578	5271		สิทธิบัตรการ ประดิษฐ์ วิศวกรรม	กรรมวิธีการสร้างผนังอาคารจากแผ่นสาร สังเคราะห์ที่มียางพาราเป็นส่วนประกอบ	นายณัฐพล ยมกุล
8601000656	5355		สิทธิบัตรการ ประดิษฐ์ วิศวกรรม	กรรมวิธีการสร้างผนังของอาคาร	นายณัฐพล ยมกุล
8801000185	5898		สิทธิบัตรการ ประดิษฐ์ วิศวกรรม	ผลิตภัณฑ์และกรรมวิธีการผลิตแผ่นคอนกรีตที่มี ส่วนผสมของสารสังเคราะห์ที่มียางพาราเป็น ส่วนประกอบ	นายณัฐพล ยมกุล

ที่มา : <http://www.arda.or.th/kasetinfo/south/para/research/index2.php>

แบบฟอร์ม

สรุปผลงานวิจัย/ โครงการวิจัย 1 หน้ากระดาษ A4

1. ชื่อผลงาน/ โครงการ (ภาษาไทย) ..นวัตกรรมยางพาราในการประยุกต์ด้านวัสดุก่อสร้างสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน.....
2. ชื่อผลงาน/ โครงการ (ภาษาอังกฤษ) ..Natural Rubber Innovation in Applications of Building Materials for Sustainable Development.....
3. ชื่อ นามสกุล นักวิจัย (ภาษาไทย) ..ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ กำแหงฤทธิ์รงค์.....
4. ชื่อ นามสกุล นักวิจัย (ภาษาอังกฤษ) ..Assistant Professor Dr. Parames Kamhangrittirong.....
5. ที่อยู่ติดต่อได้ ..ภาควิชาวิศวกรรมอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ 50 ถนนงามวงศ์วาน.....
.....แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900.....
เบอร์โทร 02-9428960, 02-9428483 ..อีเมล ..archpmk@ku.ac.th, paramesacs@yahoo.com.....
6. ชื่อหน่วยงาน ..ภาควิชาวิศวกรรมอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์.....
7. ปี พ.ศ. ที่ดำเนินงานเสร็จพ.ศ. 2561.....

คำค้นหา keyword ..อุตสาหกรรมก่อสร้าง, น้ำยางธรรมชาติ, ฉนวนกันความร้อนน้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์, ฝ้าเพดานยิปซัม, วัสดุปูพื้น, วัสดุผนังหลังคา, คอนกรีตมวลเบา, ฉนวนกันเสียง, การพัฒนาอย่างยั่งยืน, กระเบื้องซีเมนต์เส้นใยผสมเศษยางรถยนต์, นวัตกรรม.....

8. อ้างอิง -
9. - (ใส่ URL ที่สามารถเข้าถึงเอกสารได้กรณีเผยแพร่ผลงานฉบับเต็มทางอินเทอร์เน็ต ถ้าไม่มีให้เว้นว่างไว้)
10. รูปภาพหรือภาพเคลื่อนไหว (สามารถแยกไฟล์ หรือใส่รวมไว้ในเนื้อหาได้)
11. คำอธิบาย 1 หน้ากระดาษ A4 (font Tahoma ขนาด 10 แบบ Regular)

(สรุปรายละเอียดผลงานวิจัย/ โครงการวิจัย มีความยาว1 หน้ากระดาษ A4 เนื้อหาครอบคลุมถึง
ความสำคัญของงานวิจัยชิ้นนี้ วัตถุประสงค์ วิธีการดำเนินงาน ผลการดำเนินงาน และประโยชน์ของผลงานวิจัย)

การพัฒนาองค์ความรู้ด้านวิทยาการเพื่อเสริมสร้างความแข็งแกร่งนวัตกรรมทางวัสดุศาสตร์ของประเทศตามนโยบายและยุทธศาสตร์ของชาตินั้น ก่อให้เกิดความต้องการผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างทางเลื้อกมากขึ้น กอปรกับการที่ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการผลิตและส่งออกวัตถุดิบยางพาราในปริมาณสูงระดับโลก จึงมีการส่งเสริมจากภาครัฐร่วมเอกชนให้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์แปรรูปจากยางพารา เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าและปริมาณการใช้งานในประเทศให้มากขึ้นแทนการนำเข้าผลิตภัณฑ์จากต่างประเทศ โดยเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับอาคารเขียวในระดับประเทศและสากล ล้วนได้มีการกำหนดถึงการให้ทรัพยากรวัสดุก่อสร้างที่ประหยัดพลังงาน เน้นความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม พร้อมกับการสร้างนวัตกรรมควบคู่ไปพร้อมกัน ทำให้เป็นปัจจัยขับเคลื่อนหลักของการพัฒนาวัสดุก่อสร้าง วัสดุตกแต่ง และผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ที่เน้นความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ด้วยการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพสามารถทำได้โดยการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตมาจากกระบวนการอุตสาหกรรมที่ประหยัดพลังงาน ลดการทิ้งของเสีย ด้วยการนำไปใช้ซ้ำหรือใช้ต่อการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ในห้องถิ่นเพื่อลดการใช้พลังงานในการขนส่ง หรือเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการใช้งานได้นาน

ในแผนงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่สำคัญคือ

(1) เพื่อศึกษากระบวนการผลิต และพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบด้านวัสดุก่อสร้าง ซึ่งนับเป็นนวัตกรรมใหม่ ในการใช้วัตถุดิบจากยางพารา มาเป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์วัสดุปูพื้น, ผนัง และหลังคา

(2) เพื่อทำการทดสอบ และประเมินศักยภาพด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ต้นแบบด้านวัสดุก่อสร้าง จากยางพารา ซึ่งประกอบด้วยวัสดุปูพื้น วัสดุส่วนผนังหรือฝ้าเพดาน และวัสดุผนังหลังคา ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สำหรับการเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกใหม่ในเชิงพาณิชย์

(3) เพื่อส่งเสริมการสร้างนวัตกรรมองค์ความรู้จากพื้นฐานวัสดุภายในประเทศด้วยการใช้วัสดุก่อสร้างทางเลือก ผลการทดสอบขั้นรูปในห้องปฏิบัติการพบว่า คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ก่อสร้างในกลุ่มพื้นและผนังมีค่าดูดกลืนน้ำที่น้อยกว่าผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ ส่วนในผลิตภัณฑ์แผ่นฝ้าคอมพอสิตนั้นมีค่าความเป็นฉนวนความร้อนที่ดีมากขึ้น รวมถึงการดูดซับเสียงมีประสิทธิภาพดีขึ้นเมื่อเทียบกับแผ่นฝ้ายิปซัม และผลิตภัณฑ์กระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติผสมกับเศษยางรถยนต์มีความแข็งแรงที่ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มกระเบื้องหลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์ โดยรวมแล้วคุณสมบัติที่โดดเด่นร่วมกันของทุกผลิตภัณฑ์คือ คุณสมบัติการนำความร้อน ซึ่งพบว่าสภาพการนำความร้อนของผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าต่ำกว่าสภาพการนำความร้อนของผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างในท้องตลาด โดยเมื่อนำค่าการนำความร้อนของวัสดุงานวิจัย เปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของผลิตภัณฑ์แบ่งตามประเภท ในส่วนของผลิตภัณฑ์ด้านวัสดุก่อสร้างประเภทผนังที่มีส่วนวัตถุดิบจากยางพาราสามารถทำให้ค่าการนำความร้อนลดต่ำลงได้ ร้อยละ 61 ผลิตภัณฑ์ด้านวัสดุก่อสร้างประเภทพื้นที่มีส่วนวัตถุดิบจากยางพาราสามารถทำให้ค่าการนำความร้อนลดต่ำลงได้ ร้อยละ 92 ผลิตภัณฑ์ด้านวัสดุก่อสร้างประเภทฝ้าที่มีส่วนวัตถุดิบจากยางพาราสามารถทำให้ค่าการนำความร้อนลดต่ำลงได้ ร้อยละ 75 และผลิตภัณฑ์ด้านวัสดุก่อสร้างประเภทหลังคาที่มีส่วนวัตถุดิบจากยางพาราสามารถทำให้ค่าการนำความร้อนลดต่ำลงได้ ร้อยละ 42

ผลประโยชน์ที่ได้จากการวิจัยตามแผนงานวิจัยนี้ทำให้ทราบถึงคุณสมบัติของวัสดุในการผลิตวัสดุก่อสร้างจากยางพารา ตลอดจนลักษณะของส่วนผสมที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ รวมถึงแนวทางในการประยุกต์ในอุตสาหกรรมงานก่อสร้าง เพื่อเป็นวัสดุทางเลือกสำหรับอาคารเขียวได้อย่างเต็มศักยภาพ โดยประโยชน์ได้รับทางตรงคือการเพิ่มปริมาณการใช้ยางพาราธรรมชาติ ทั้งในรูปแบบของวัสดุตั้งต้นและวัสดุแปรรูป และนำไปสู่การจดทรัพย์สินทางปัญญา นับว่าเป็นก้าวที่สำคัญในการใช้วัสดุที่เป็นจากการแผนงานวิจัยนี้นำมาใช้เพื่อการพัฒนาวัสดุก่อสร้างที่มียางพาราเป็นวัสดุผสมและตอบสนองต่อการพัฒนาอย่างยั่งยืนได้เป็นอย่างดีและตอบสนองต่อการพัฒนาอย่างยั่งยืนบนฐานความรู้ภายในประเทศเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืนสืบต่อไป

แบบฟอร์ม

สรุปผลงานวิจัย/ โครงการวิจัย 5 บรรทัด

1. ชื่อผลงาน/ โครงการ (ภาษาไทย) ..นวัตกรรมยางพาราในการประยุกต์ด้านวัสดุก่อสร้างสำหรับการพัฒนา.....
.....อย่างยั่งยืน.....
2. ชื่อผลงาน/ โครงการ (ภาษาอังกฤษ) Natural Rubber Innovation in Applications of Building.....
Materials for Sustainable Development.....
3. ชื่อ นามสกุล นักวิจัย (ภาษาไทย) ..ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.ปารเมศ .. กำแพงเพชร.....
4. ชื่อ นามสกุล นักวิจัย (ภาษาอังกฤษ) ..Assistant Professor Dr. Parames Kamhangrittirong.....
5. ที่อยู่ติดต่อได้ ..ภาควิชาวิศวกรรมอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ..50 ถนนงามวงศ์วาน.....
.....แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900.....
เบอร์โทร ..02-9428960, 02-9428483 .. อีเมล archpmk@ku.ac.th, paramesacs@yahoo.com.....
6. ชื่อหน่วยงาน ..ภาควิชาวิศวกรรมอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์.....
7. ปี พ.ศ. ที่ดำเนินงานเสร็จ ..พ.ศ. 2561.....

คำค้นหา keyword ..อุตสาหกรรมก่อสร้าง, น้ำยางธรรมชาติ, ฉนวนกันความร้อนน้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์,.....
ผ้าเพดานยิปซัม, วัสดุปูพื้น, วัสดุผนังหลังคา, คอนกรีตมวลเบา, ฉนวนกันเสียง, การพัฒนาอย่างยั่งยืน.....
กระเบื้องซีเมนต์เส้นใยผสมเศษยางรถยนต์, นวัตกรรม.....

8. อ้างอิง .. -
9. รูปภาพหรือภาพเคลื่อนไหว .. -
10. คำอธิบาย 5 บรรทัด (font Tahoma ขนาด 10 แบบ Regular)

.....แผนงานวิจัยนี้มีแนวคิดเพื่อสนองกับยุทธศาสตร์ของประเทศด้วยการพัฒนาวัสดุก่อสร้างจากวัตถุดิบ.....
ยางพารา ได้แก่ 1) คอนกรีตมวลเบา 2) ผ้าเพดาน และ 3) กระเบื้องหลังคาผสมเศษยาง ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับ.....
ผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์ พบว่ากลุ่มวัสดุพื้นและผนังมีค่าดูดกลืนน้ำที่น้อยกว่า ผ้าคอมพอลสิตมีการดูดซับเสียงดีขึ้น.....
และกระเบื้องหลังคาซีเมนต์มีความแข็งแรงที่ดีขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้สภาพการนำความร้อนของทั้ง 3 กลุ่ม มีค่าต่ำ.....
กว่าผลิตภัณฑ์วัสดุก่อสร้างในท้องตลาด จึงเป็นการค้นพบที่สำคัญสำหรับการพัฒนาวัสดุก่อสร้างที่ยั่งยืนต่อไป.....

รหัส โครงการ	R	D	G	6	0	T	0	1	4	3
-----------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

การรายงานการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม

๑. ชื่อโครงการ / กิจกรรมที่ได้รับการสนับสนุนนวัตกรรมยางพาราในการประยุกต์ด้านวัสดุก่อสร้างสำหรับการพัฒนา
.....อย่างยั่งยืน.....
๒. ชื่อนักวิจัย ผศ.ดร. ปารเมศ. กำแหงฤทธิ์วงศ์.....
๓. งบประมาณที่ได้รับการสนับสนุน ๓,๐๖๐,๐๐๐..... บาท
๔. ปีงบประมาณที่ดำเนินการ ๒๕๖๐.....
๕. การนำผลผลิตจากงานวิจัยไปสู่การใช้ประโยชน์ ☐ มีการนำไปใช้ประโยชน์ ☒ ยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์
๖. ช่วงเวลาที่งานวิจัยได้นำไปสู่การใช้ประโยชน์ -.....
๗. เป้าหมายดำเนินการ -.....
๘. พื้นที่การใช้ประโยชน์ -.....
๙. รูปแบบการใช้ประโยชน์จากงานวิจัยตามข้อ ๗ และ ๘ (สามารถเลือกได้มากกว่า ๑ รูปแบบ เนื่องจากถ้าเป็นเรื่องเดียวกันสามารถนำไปใช้มากกว่า ๑ มิติได้)
 - ☐ ๙.๑. การใช้ประโยชน์มีนโยบาย ได้แก่ การนำข้อมูลไปประกอบการตัดสินใจในการบริหาร / กำหนดนโยบาย โดย
 - ☐ ได้รับหนังสือขอข้อมูลเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในเรื่องใดเรื่องหนึ่ง
 - ☐ ได้รับหนังสือเรียนเชิญให้ข้อมูลประกอบการตัดสินใจ / กำหนดนโยบาย
 - ☐ อื่นๆ(โปรดระบุ).....
 - ☐ ๙.๒. การใช้ประโยชน์มีมติเศรษฐกิจ / พาณิชย์ โดย
 - ☐ ได้รับหนังสือหรือหลักฐานอื่น แสดงความสนใจเพื่อเจรจาธุรกิจ
 - ☐ มีการซื้อ - ขาย เทคโนโลยีระหว่างนักวิจัยและผู้นำไปใช้ประโยชน์
 - ☐ อื่นๆ(โปรดระบุ).....
 - ☐ ๙.๓. การใช้ประโยชน์มีมติการพัฒนาสังคม / ชุมชน / ท้องถิ่น โดย
 - ☐ การถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ได้รับจากงานวิจัยในชุมชน / ท้องถิ่น (อบรม , คู่มือ , แผ่นพับ , โปสเตอร์ , เว็บไซต์ ฯลฯ)
 - ☐ ได้รับหนังสือเรียนเชิญให้ความรู้จากชุมชน / องค์กร / หน่วยงานในพื้นที่ต่างๆ
 - ☐ อื่นๆ(โปรดระบุ).....
 - ☐ ๙.๔. การใช้ประโยชน์มีมติวิชาการ โดย
 - ☐ ได้มีการอ้างอิงผลงานที่ตีพิมพ์วารสารวิชาการระดับประเทศ / ระดับนานาชาติ
 - ☐ ได้รับหนังสือเรียนเชิญเป็นวิทยากรเพื่อให้ความรู้ในรอบของผลงานวิจัยจากหน่วยงานต่างๆ
 - ☐ อื่นๆ(โปรดระบุ).....
๑๐. รายละเอียดผลการดำเนินงานตามข้อ ๙ เกิดการเปลี่ยนแปลงจากการนำผลผลิตจากงานวิจัยไปใช้อย่างไร
.....ยังไม่ได้มีการนำไปใช้ประโยชน์ เนื่องจากยังเป็นการวิจัยเพื่อมุ่งเป้าในการผลิตผลิตภัณฑ์.....
๑๑. รูปภาพประกอบกิจกรรมหรือ รูปภาพแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบก่อน - หลังการนำผลผลิตจากงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ (พร้อมคำบรรยายกิจกรรมโดยย่อ ที่แสดงถึงวัน เดือน ปี ที่จัดกิจกรรม)
.....ยังไม่ได้มีการนำไปใช้ประโยชน์ เนื่องจากยังเป็นการวิจัยเพื่อมุ่งเป้าในการผลิตผลิตภัณฑ์.....

หมายเหตุ : การรายงานการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ ต้องสื่อให้ทราบถึงการนำงานวิจัยไปใช้ประโยชน์อย่างชัดเจน ดังนั้นต้องแนบเอกสารเป็นหลักฐาน เช่น รูปถ่าย หนังสือเชิญ หนังสือแสดงความต้องการหรือเอกสารที่แสดงได้ว่ามีการนำผลงานไปใช้จริง



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการย่อยที่ 2: แผ่นผ้าเพดานชนิดยิปซัมคอมพอสิตด้วยน้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์
สำหรับการประยุกต์ใช้งานด้านอุตสาหกรรมก่อสร้าง

โดย ผศ.ดร.นุชนภา ตั้งบริบูรณ์ และคณะ

สัญญาเลขที่ RDG 60T0143

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการแผ่นผ้าเปตานชนิดยิปซัมคอมพอสิตด้วยน้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์สำหรับการ
ประยุกต์ใช้งานด้านอุตสาหกรรมก่อสร้าง

คณะผู้วิจัย สังกัด

- | | |
|------------------------------|---|
| 1. ผศ.ดร.นุชนภา ตั้งบริบูรณ์ | ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.เกษตรศาสตร์ |
| 2. นายธเนศ ณ วิเชียร | ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.เกษตรศาสตร์ |
| 3. นางสาวสุภัตรา ทิพพิลา | ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.เกษตรศาสตร์ |
| 4. นายวสันต์ ลีลาวนาชัย | ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.เกษตรศาสตร์ |
| 5. นายณัฐพล เต๋อรัษฎิพิทย์ | ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.เกษตรศาสตร์ |
| 6. นายปรมินทร์ บุญประเสริฐ | ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.เกษตรศาสตร์ |
| 7. นายศรัณย์ มั่นทองขาว | ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.เกษตรศาสตร์ |
| 8. นางสาวสมปรารถนา เพียรกลาง | ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.เกษตรศาสตร์ |
| 9. ผศ.สุรศักดิ์ โกสิยพันธ์ | คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ถนนแจ้งวัฒนะ กทม. |

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย วช.-สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สัญญาเลขที่ RDG 60T0143

โครงการ“แผ่นผ้าเปตานชนิดยิปซัมคอมพอสิตด้วยน้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์สำหรับการ
ประยุกต์ใช้งานด้านอุตสาหกรรมก่อสร้าง”

สรุปรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ส่วนที่ 1 ข้อมูลโครงการ

ชื่อผู้รับทุน: ผศ.ดร.นุชนภา ตั้งบริบูรณ์

โครงการเริ่มเมื่อวันที่ 1 มิถุนายน 2560 ถึง 31 พฤษภาคม 2561 รวมเวลาที่ทำวิจัยทั้งสิ้น 12 เดือน

รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 1 ในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน 2560 ถึงวันที่ 30 พฤศจิกายน 2560

ร่างรายงานฉบับสมบูรณ์ ในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2560 ถึง 30 พฤษภาคม 2561

ร่างรายงานฉบับสมบูรณ์ แก้ไขครั้งที่ 1 วันที่ 20 กรกฎาคม 2561

ส่วนที่ 2 รายงานเนื้อหา

บทนำ

วิธีทดลอง

ผลการทดลอง

สรุปรายงานโครงการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก

ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ ต่อ สกว.

ลงนาม.....

(ผศ.ดร.นุชนภา ตั้งบริบูรณ์)

หัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

วันที่ 31 พฤษภาคม 2561

สัญญาเลขที่ RDG 60T0143

โครงการ“แผ่นผ้าเปดานชนิดยิปซัมคอมพอสิตด้วยน้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์สำหรับการ
ประยุกต์ใช้งานด้านอุตสาหกรรมก่อสร้าง”
สรุปรายงานวิจัยความก้าวหน้า

ตาราง Output

ระยะเวลา	Output	ผลสำเร็จ	หมายเหตุ
6 เดือนแรก	กิจกรรมในข้อเสนอโครงการ	(%)	
	1. ศึกษาตัวอย่างแผ่นผ้ายิปซัมเกรดการค้าและเตรียมวัตถุดิบในโครงการวิจัย	100	
	2. ศึกษาเทคนิคในการขึ้นรูปแบบพิมพ์การค้าในเบื้องต้นก่อนทำการขึ้นรูป	100	
	3. วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ทางเคมี เปรียบเทียบระหว่างวัตถุดิบและ ชิ้นงานเกรดการค้าด้วย FTIR, XRD, XRF, STA, particle size analyzer	100	
	4. วิเคราะห์สมบัติทางกลด้วย Universal testing ทางความร้อน (Thermal conductivity) และการดูดซับเสียง สำหรับชิ้นงานตัวอย่างที่ขึ้นรูปได้แล้ว	100	
	5. รายงานความก้าวหน้ารอบ 6 เดือน	100	
6 เดือนที่ 2	1. ทำการขึ้นรูปและวิเคราะห์คุณลักษณะและสมบัติทางความร้อนและการ ดูดซับเสียงแผ่นผ้ายิปซัมคอมพอสิตน้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์ที่สัดส่วน 0, 10, 20, 30, 40, 50% โดยน้ำหนัก ที่เพิ่มเติมสารเพิ่มฟอง 2. วิเคราะห์และสรุปผลและทำรายงานสรุปผล	100	

ลงนาม.....

(ผศ.ดร.นุชนภา ตั้งบริบูรณ์)
หัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน
วันที่ 31 พฤษภาคม 2561

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
1. บทนำ	1
2. วัสดุและอุปกรณ์	10
3. วิธีการทดลอง	11
4. ผลการทดลองครั้งที่ 1	14
5. ผลการทดลองครั้งที่ 2	35
6. สรุปรายงานฉบับสมบูรณ์	53
เอกสารอ้างอิง	56
ภาคผนวก	58

บทนำ

ความเป็นมาของโครงการ

อุตสาหกรรมก่อสร้างเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญอย่างมากต่อประเทศไทยที่ช่วยพัฒนาประเทศในหลายๆ ด้าน ได้แก่ การสร้างที่อยู่อาศัย โรงงาน ถนน สะพาน สิ่งปลูกสร้างต่างๆ เป็นต้น และเป็นอุตสาหกรรมที่มีความเชื่อมโยงกับอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้แก่ อุตสาหกรรมเหล็ก วัสดุก่อสร้าง เช่น เครื่องมือช่าง หิน ปูน ทราย แผ่นผ้า เพดาน กระเบื้อง รวมทั้งเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น อีกทั้งประเทศคู่ค้าที่สำคัญ เช่น จีน อินเดีย ญี่ปุ่น เป็นต้น ได้ให้ความสำคัญในการยกระดับอุตสาหกรรมก่อสร้าง [1] รวมทั้งในบางประเทศที่มีศักยภาพก็ได้มีการจัดตั้งหน่วยงานที่ดูแลรับผิดชอบด้านอุตสาหกรรมก่อสร้างโดยเฉพาะและสำหรับประเทศที่ประสบปัญหาทางเศรษฐกิจก็ได้ใช้ความเชื่อมโยงในเรื่องอุตสาหกรรมก่อสร้างช่วยผลักดันเศรษฐกิจของประเทศให้เดินไปข้างหน้าได้ สำหรับประเทศไทยยังคงเป็นประเทศที่มีศักยภาพด้านงานก่อสร้างแบบครบวงจรเมื่อเทียบกับประเทศต่างๆ ในอาเซียนเพราะมีทั้งวัตถุดิบและเทคโนโลยีในการแปรรูปวัตถุดิบสำหรับการผลิตวัสดุก่อสร้างที่มีคุณภาพได้มาตรฐานเป็นที่ยอมรับ มีความเชี่ยวชาญด้านการออกแบบ สถาปัตยกรรมที่สวยงาม มีการติดตั้งระบบควบคุมอาคารสมัยใหม่ และมีบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญด้านอสังหาริมทรัพย์ รวมทั้งอุตสาหกรรมของตกแต่งภายในบ้านและอาคารมากมาย อาทิเช่น อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ อุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าก็ยังได้รับความนิยมสูงมาก นอกจากนี้อุตสาหกรรมก่อสร้างของไทยยังได้ไปลงทุนในต่างประเทศ เช่น ประเทศดูไบ อินเดีย จีน ลาว เวียดนาม พม่า แสดงให้เห็นว่าอุตสาหกรรมก่อสร้างของไทยมีโอกาสเพิ่มส่วนแบ่งทางการตลาดมากขึ้นทั้งในปัจจุบันและในอนาคต ทั้งนี้ต้องอาศัยความร่วมมือจากหลายๆ ฝ่ายเพื่อให้บรรลุเป้าหมายทางเศรษฐกิจในทิศทางเดียวกันและมีโอกาสขยายตัวเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ทั้งในปัจจุบันและในอนาคต นอกจากนี้การได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐจะช่วยผลักดันให้อุตสาหกรรมก่อสร้างของไทยมีความโดดเด่น น่าเชื่อถือ และขยายตัวได้มากขึ้น [1]

สำหรับฉนวนอาคารส่วนที่เป็นฝ้าเพดานเป็นวัสดุหรือวัสดุที่มีความสามารถช่วยป้องกันความร้อนไม่ให้ความร้อนถูกส่งผ่านจากด้านใดด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้โดยง่ายและนิยมใช้ในการก่อสร้างอาคารบ้านเรือนเพื่อช่วยประหยัดพลังงาน ดังนั้นฉนวนความร้อนที่ดีจะช่วยต้านทานหรือป้องกันไม่ให้ความร้อนส่งผ่านจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้อย่างสะดวก สามารถผลิตได้จากวัสดุหลายชนิด ได้แก่ แผ่นฉนวนยิปซัม ฉนวนใยหิน พอลิยูรีเทนโฟม โดยมีสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการเลือกใช้แผ่นฝ้าเพดานดังต่อไปนี้

1. ช่วงอุณหภูมิการใช้งานของแผ่นฉนวนความร้อนที่เหมาะสมและไม่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์เกิดความเสียหายหรือเสื่อมคุณภาพ
2. ฉนวนความร้อนที่ดีควรมีค่าการนำความร้อนต่ำจะช่วยลดการสูญเสียพลังงานได้ดีกว่า
3. ควรเลือกฉนวนความร้อนที่มีค่าการรับแรงกดอัดสูงเนื่องจากทำให้เสียรูปทรงยากหรือรับแรงได้ดี
4. หากฉนวนความร้อนที่ดีควรติดไฟยากแสดงว่ามีความต้านทานการติดไฟดี มีคุณภาพการใช้งานสูง
5. โครงสร้างของเซลล์เปิดและเซลล์ปิด (open-closed pores) ภายในฉนวนความร้อน จะเป็นสิ่งกำหนดประสิทธิภาพการดูดซับความชื้นของแผ่นฉนวนว่ายากง่ายเพียงไร
6. รูปแบบ ความหนา และรูปร่างของฉนวนความร้อนสำหรับการติดตั้ง จะเป็นตัวกำหนดความเหมาะสมในการใช้งานฉนวนความร้อนว่ามีความเหมาะสมในการใช้งานหรือไม่

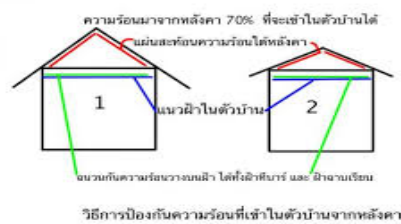
การเลือกใช้แผ่นฝ้าเพดานที่ถูกต้อง จำเป็นต้องเข้าใจกลไกทางความร้อนที่เกิดขึ้น ความต้องการในการใช้งานฉนวนความร้อนและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในฉนวนกันความร้อนประเภทต่าง ๆ ก่อน โดยทั่วไปแผ่นฝ้าเพดานที่ใช้เป็นฉนวนความร้อนคือวัสดุที่ประกอบด้วยช่องหรือโพรงเล็กๆ (Close cell) และช่องอากาศภายในวัสดุที่มีลักษณะเป็นแบบปิดทึบที่เรียกว่า ฉนวนมวลสาร (Mass Insulation) ช่องหรือรูพรุนขนาดเล็กๆ เหล่านี้อาจเกิดจากเกล็ดหรือแผ่น (Flakes), เส้นใย (Fibers), ปมแข็ง (Nodules of solids) หรือเซลล์ของตัววัสดุนั้นเอง ยกเว้นฉนวนสะท้อนความร้อน

ร้อน (Reflective Insulation) ดังนั้นการเลือกฉนวนความร้อนแบบใดนั้นต้องศึกษาวิเคราะห์ฉนวนความร้อนโดยภาพรวมก่อนซึ่งจะทำให้การออกแบบฉนวนกันความร้อนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและถูกต้องตามหลักวิชาการซึ่งส่งผลดีต่อการเลือกใช้งานในการนำไปติดตั้งอาคารสถานที่หรือโรงงานที่ต้องการติดตั้งฉนวนกันความร้อนเพื่อประหยัดพลังงาน

การเลือกชนิดของฉนวนความร้อนสำหรับการใช้งาน ควรเลือกให้ตรงกับวัตถุประสงค์และฟังก์ชันการใช้งานที่ต้องการ โดยกำหนดคุณลักษณะที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. น้ำหนักเบาและมีค่าความหนาแน่นน้อย
2. มีค่าการนำความร้อนต่ำคือความร้อนไหลผ่านฉนวนได้ยาก
3. มีความคงทนต่อการรับแรงกดอัดและแรงดึงได้เป็นอย่างดี
4. มีอัตราการดูดซับความชื้นที่ต่ำหรือไม่มีเลยยิ่งเป็นการดีมาก
5. มีความสามารถต้านทานการกัดกร่อนได้ดี
6. เปลี่ยนรูปได้ยากและมีความคงตัวสูง
7. มีความทนทานต่อการติดไฟหรือไม่ทำให้เกิดไฟ
8. สามารถใช้ได้กับหลายช่วงอุณหภูมิของการใช้งาน
9. ติดตั้งง่ายและสะดวก

ประเภทของแผ่นฉนวนใยแก้ว แผ่นใยแก้วสามารถใช้ประโยชน์ในการใช้เป็นฝ้าเพดานบุผนัง



1. ใยแก้วชนิดธรรมดาใช้สำหรับติดตั้งฝ้าเพดานที่เพดานเป็นฉนวนกันความร้อนและเสียง.
2. ใยแก้วชนิดทนความชื้น มีการผสมสารป้องกันการดูดความชื้นเข้าไปในเนื้อใยแก้ว ใช้สำหรับงานฝ้าเพดาน โดยเฉพาะการใช้งานภายในห้องน้ำ ห้องครัว รวมไปถึงพื้นที่ภายนอกอาคาร เช่น ส่วนเฉลียงของบ้าน เป็นต้น
3. ใยแก้วชนิดทนความร้อน เป็นแผ่นใยแก้วที่ติดด้วยแผ่นอะลูมิเนียมพอยล์ด้านหลังเพื่อป้องกันการส่งผ่านความร้อนหรือเพื่อช่วยการสะท้อนรังสีความร้อนออกจากตัวอาคารได้มากถึงร้อยละ 95 เหมาะสำหรับติดตั้งภายในห้องหรือส่วนที่ติดกับหลังคาบ้านหรือหลังคาอาคารเช่นบริเวณห้องใต้ชั้นดาดฟ้า
4. ใยแก้วชนิดทนไฟ มีการเสริมความแข็งแรงโดยการเพิ่มส่วนผสมของเส้นใยชนิดพิเศษ ออกแบบให้ทนไฟได้นาน 1 - 4 ชั่วโมง มักใช้ในส่วนของห้องครัว ทางหนีไฟ หรือใช้กับบ้าน โครงสร้างเหล็ก
5. ใยแก้วชนิดลดเสียงสะท้อน มีการฉนวนหลายชั้นบนแผ่นใยแก้วโดยการทำให้มีรูกลม รูสี่เหลี่ยม และลายเส้นบุด้วยแผ่นกลาส แมท (Glass Matt) ด้านหลัง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับเสียง ลดเสียงสะท้อนและเสียงก้องได้เป็นอย่างดีใช้กับห้องโฮมเธียเตอร์ ห้องประชุม หรือห้องทำงาน เป็นต้น

6. แผ่นยิปซัมสำหรับตัดโค้ง สามารถตัดโค้งได้ในรัศมีที่แคบ ตัดโค้งได้ง่าย รวดเร็วโดยไม่ต้องใช้น้ำ หรือเครื่องมืออื่นช่วย

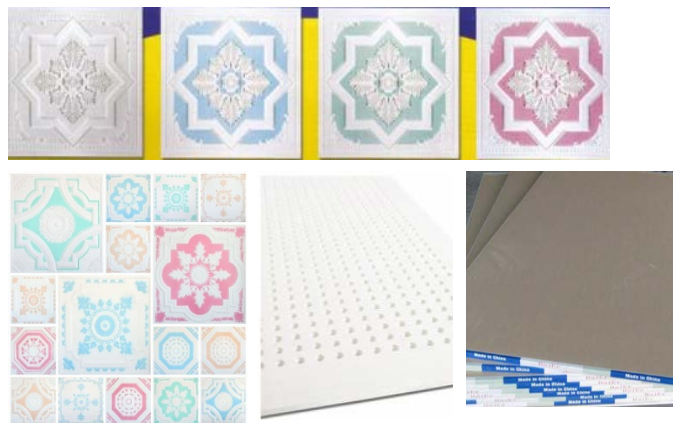
แผ่นยิปซัมบอร์ดคือวัสดุที่นิยมใช้เป็นวัสดุที่ถูกใช้งานในขั้นตอนสุดท้ายของการก่อสร้าง สำหรับใช้เป็นฝ้าเพดาน ซึ่งมีความสะดวก รวดเร็วในการติดตั้งและประหยัดค่าใช้จ่ายในการนำไปใช้งาน การใช้งานแผ่นยิปซัมบอร์ด มีดังนี้

ฝ้าเพดาน แผ่นยิปซัมบอร์ดที่ใช้เป็นฝ้าเพดาน มีทั้งยึดกับโครงโลหะแบบไร้รอยต่อระหว่างแผ่น (โดยการฉาบโป้วรอยต่อให้เรียบแล้วทาสี) จะช่วยให้ฝ้าเพดานดูเรียบสวยเป็นผืนเดียวกันและแบบชนิดแยกเป็นแผ่นวางบนโครงคร่าวแบบแขวนหรือที่เรียกว่า ฝ้าที-บาร์ ซึ่งสะดวกในการประกอบใส่และถอดออก ฝ้าแบบที-บาร์ นิยมใช้ภายในบริเวณที่ต้องการเปิดขึ้นไปตรวจสอบความเรียบร้อยเหนือฝ้าเพดาน เช่น ห้องน้ำ ห้องส้วม หรือห้องควบคุมไฟฟ้า เป็นต้น



รูปที่ 2 การติดตั้งฝ้าเพดานเพื่อช่วยระบายความร้อนภายใต้หลังคา

ดังนั้นจุดมุ่งหมายของงานวิจัยในโครงการนี้คือการนำแผ่นฉนวนยิปซัมคอมพอสิตกับยางธรรมชาติในรูปของน้ำยางโดยการเติมน้ำยางธรรมชาติคอมพาวด์ที่สัดส่วนต่างๆ เช่น 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 %โดยน้ำหนัก แล้วทำการขึ้นรูปแผ่นฝ้ายิปซัมดังกล่าวโดยการเทแบบ (Slip casting) ที่ความหนาต่างๆ เช่น 10, 15, 20 มม. จากสมบัติที่โดดเด่นของยางธรรมชาติหลังการคงรูปแล้วจะมีความยืดหยุ่นสูง รับแรงดึงยืดสูง มีความเหนียวสูง ดังนั้นเมื่อเติมน้ำยางในส่วนผสมของยิปซัมและเมื่อทำการขึ้นรูปเสร็จเรียบร้อยแล้วจะทำให้ได้แผ่นฝ้าเพดานยิปซัมที่มีความยืดหยุ่นตัวสูงขึ้น น้ำหนักเบา สะดวกต่อการเคลื่อนย้าย และการติดตั้งทำได้สะดวกมากขึ้น รูปแบบของแผ่นยิปซัมมีความหลากหลายทั้งแบบเรียบและแบบมีลวดลายดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผ่นฝ้าเพดานยิปซัมมีหลายลักษณะทั้งแบบเรียบ ลวดลาย ระบายความร้อน ขนาดเล็กและขนาดใหญ่

โดยในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาและการผลิตฝ้าเพดานยิปซัมคอมพอสิตด้วยน้ำยางธรรมชาติเพื่อเพิ่มคุณสมบัติต่อไปนี้เป็น ลดน้ำหนักแผ่นฝ้ายิปซัม เพิ่มรูปทรงหรือช่องเซลล์ภายในโครงสร้างฉนวนความร้อนทำให้ระบายอากาศได้ดี มีความเหนียวหรือความยืดหยุ่นตัวสูงขึ้นเนื่องจากการเติมน้ำยางธรรมชาติคอมพาวด์ที่มีความยืดหยุ่นตัวสูง (elasticity) ทำให้การเคลื่อนย้ายหรือการติดตั้งทำได้ง่ายและสะดวกมากขึ้นแต่ยังคงสมบัติการเป็นฉนวนความร้อนที่ดี ติดไฟยาก

เนื่องจากองค์ประกอบของยิปซัมคือแคลเซียมซัลเฟตที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบภายในสูตรโครงสร้าง อายุการใช้งานนานขึ้น ปลอดภัยในการใช้งาน และยังสามารถเพิ่มสีสันเพื่อความสวยงามให้กับผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น นอกจากนี้การเติมส่วนผสมลงไปในคอมพอสิตกับยิปซัมจะช่วยลดการดูดซับน้ำให้น้อยลง ส่งผลดีต่อผลิตภัณฑ์ที่มีการเกิดเชื้อราขึ้น ทำให้ปลอดภัยจากการเปื่อยยุ่ยเมื่อถูกความชื้น เพราะโดยทั่วไปผลิตภัณฑ์แผ่นยิปซัมจะมีกระดาษเป็นส่วนประกอบ เมื่อเวลาฝนตกหรือถูกน้ำจะเกิดปัญหาได้ง่าย นอกจากนี้การเลือกทำวิจัยกับแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมเนื่องจากมีราคาต้นทุนวัตถุดิบไม่สูงมาก ราคายิปซัมหรือพลาสติกโดยเฉลี่ยต่อกิโลกรัมประมาณ 10-20 บาท และเมื่อผลิตเป็นแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมจะมีราคาประมาณ 200-500 บาทต่อแผ่น ราคาขึ้นอยู่กับคุณภาพผลิตภัณฑ์ และการเติมน้ำยางธรรมชาติคอมพาวด์ลงไปในส่วนผสมยิปซัมก็มีข้อดีที่ช่วยปรับคุณภาพผลิตภัณฑ์ให้เพิ่มขึ้นดังกล่าวข้างต้น ถึงแม้ว่าอาจทำให้ราคาของแผ่นฝ้าเพดานยิปซัมเพิ่มขึ้นบ้างแต่ก็จะได้นวัตกรรมผลิตภัณฑ์ฉนวนความร้อนใหม่ที่มีคุณภาพแตกต่างจากแบบเดิมนับว่าเป็นทางเลือกใหม่ให้กับอุตสาหกรรมการก่อสร้างและเกษตรกรชาวสวนยางหรือการส่งจำหน่ายในต่างประเทศได้เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากที่ผ่านมาประเทศไทยมีการส่งออกยิปซัมในรูปวัตถุดิบมากแต่มีราคาต่อกิโลกรัมที่ต่ำหากมีการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์จะช่วยเพิ่มมูลค่าและเพิ่มทางเลือกให้หลากหลายมากขึ้น เป็นการเพิ่มรายได้ การจ้างงาน การปรับเปลี่ยนวิถีชีวิตของชุมชนให้เป็นสังคมนวัตกรรมได้ในอนาคต

ความสำคัญ

ยิปซัม (Gypsum) คือแคลเซียมซัลเฟต (Calcium sulphate) มีสูตรทางเคมี $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ แบ่งเป็น 3 ชนิดคือ selenite (ลักษณะโปร่งแสงและโปร่งใส), alabaster (ลักษณะเป็นเส้นใยสั้นๆ นุ่ม), satin spar ยิปซัมประกอบด้วย ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) ร้อยละ 46.5 แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ร้อยละ 32.6 และน้ำ (H_2O) ร้อยละ 20.9 และอาจมีหินปูน (limestone, CaO) ปะปนอยู่บ้าง คุณสมบัติทางกายภาพของยิปซัมมีดังนี้คือความแข็ง 1.5-2.5 ความถ่วงจำเพาะ 2.35 ดัชนีหักเหของแสง 1.53 ประเทศไทยมีแหล่งแร่ยิปซัมในหลายรูปแบบและพบได้ในหลายจังหวัด เช่น ทางภาคกลาง พบได้ที่บริเวณอำเภอบางมูลนาก จังหวัดพิจิตร และอำเภอหนองบัว จังหวัดนครสวรรค์ เป็นแหล่งยิปซัมที่เกิดแทรกสลับอยู่กับหินปูนชนิด Wacke Stone สีเทาอ่อน และหินโคลนเนื้อปูนผสม (Carbonate Mud Stone) สีเทาเข้มถึงดำอยู่ภายในผิวดินกระจายตัวเป็นหย่อมๆ สำหรับยิปซัมชนิดอะลาบาสเตอร์ (Alabaster) พบได้ทางภาคใต้ บริเวณอำเภอบ้านนาสาร และอำเภอเวียงสระ จังหวัดสุราษฎร์ธานี เนื้อแน่นเกิดสลับอยู่กับชั้นแร่แอนไฮไดรต์ มีสีขาวถึงเทาเข้มมีความบริสุทธิ์ร้อยละ 90-98 นอกจากนี้ยังพบได้ที่บริเวณอำเภอทุ่งใหญ่ อำเภอดง กิ่งอำเภอถ้ำพรหมราย จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งอยู่ถัดมาทางตอนใต้ในโซนเดียวกับแหล่งยิปซัมในจังหวัดสุราษฎร์ธานี ทางภาคตะวันออก เฉียงเหนือบริเวณอำเภอสว่าง พงษ์ จังหวัดเลย ซึ่งเป็นแหล่งยิปซัมชนิดอะลาบาสเตอร์ (Alabaster) ยิปซัมในแหล่งนี้เกิดสลับอยู่กับชั้นแร่แอนไฮไดรต์ที่แทรกตัวอยู่ในชั้นหินปูนและหินดินดาน การผลิตยิปซัมทั่วประเทศมีประมาณปีละ 7 - 8 ล้านตัน แบ่งเป็นการผลิตในภาคใต้ประมาณ 6 ล้านตัน โดยเฉพาะจังหวัดสุราษฎร์ธานีเพียงจังหวัดเดียวมีผลผลิตประมาณ 4 ล้านตัน และจังหวัดนครศรีธรรมราชอีกประมาณเกือบ 2 ล้านตัน ส่วนภาคกลางมีปริมาณการผลิตประมาณ 2 ล้านตัน ส่วนใหญ่เป็นผลผลิตจากจังหวัดนครสวรรค์ประมาณเกือบ 2 ล้านตัน และจังหวัดพิจิตรอีกไม่ถึง 1 ล้านตัน ยิปซัมจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ในหลายอุตสาหกรรมทั้งการใช้เป็นสารหน่วงการแข็งตัวของคอนกรีต ปูนซีเมนต์ แผ่นยิปซัมบอร์ด ปูนพลาสติก คอนกรีตมวลเบา และการเกษตร ปริมาณการใช้ยิปซัมในภาคอุตสาหกรรมการผลิตภายในประเทศมีประมาณ 1.5-2.5 ล้านตันต่อปี มูลค่าประมาณ 0.7-1.5 ล้านบาทต่อปี โดยเป็นการใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ประมาณร้อยละ 65 แผ่นยิปซัมบอร์ดประมาณร้อยละ 26 ปูนพลาสติกประมาณร้อยละ 5 ที่เหลืออีก

ประมาณร้อยละ 4 ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์อื่นๆ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบา แต่สำหรับอุตสาหกรรมแผ่นยิปซัมบอร์ดเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้ยิปซัมเป็นวัตถุดิบหลักประมาณร้อยละ 90 ที่เหลือเป็นกระดาษ สารเคมีและอื่นๆ

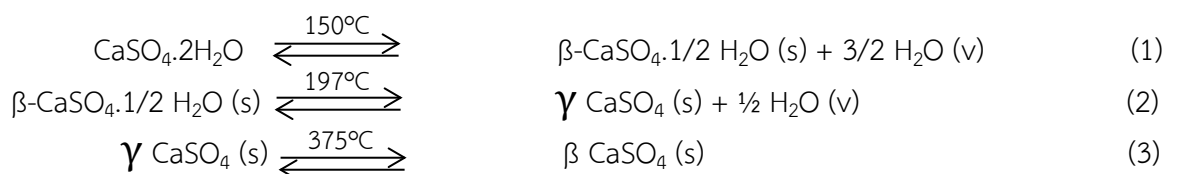
แร่ยิปซัมเป็นแร่เศรษฐกิจที่รัฐมีมาตรการควบคุมทั้งส่วนของราคาและปริมาณการส่งออก ในแต่ละปีประเทศไทยมีการส่งออกยิปซัมดิบประมาณ 4.5 - 5.2 ล้านตัน/ปี มูลค่าประมาณ 2,400 - 2,500 ล้านบาท/ปี ประเทศคู่ค้ารายใหญ่ ได้แก่ ญี่ปุ่น อินโดนีเซีย มาเลเซีย เวียดนาม ไต้หวัน เกาหลีใต้ บังคลาเทศ และฟิลิปปินส์ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ใช้ยิปซัมเป็นวัตถุดิบในการผลิต ได้แก่ ปูนซีเมนต์ แผ่นยิปซัมบอร์ด คอนกรีตมวลเบา และปูนปลาสเตอร์ มีมูลค่าการส่งออกในรูปของผลิตภัณฑ์ ดังต่อไปนี้ [1]

1. ปูนซีเมนต์ส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศมีมูลค่าประมาณ 6,000 - 10,000 ล้านบาท/ปี ส่งออกไปยังประเทศสหรัฐอเมริกา กัมพูชา เมียนมาร์ สหราชอาณาจักรออสเตรีย สิงคโปร์ มัลดีฟส์ ฮองกง ออสเตรเลีย เป็นต้น
2. แผ่นยิปซัมบอร์ดส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศมีมูลค่าประมาณ 1,000 - 2,000 ล้านบาท/ปี ส่งออกไปยังประเทศมาเลเซีย ฟิลิปปินส์ สิงคโปร์ เวียดนาม กัมพูชา และลาว นอกจากนี้ยังมีอินเดีย นิวซีแลนด์ ฮองกงและไต้หวัน
3. ปูนปลาสเตอร์ส่งออกไปจำหน่ายต่างประเทศมีมูลค่าประมาณ 1,200 ล้านบาท/ปี ส่งออกไปยังประเทศสหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย เวียดนาม สหราชอาณาจักร ฟิลิปปินส์ นิวซีแลนด์ ฮองกง สิงคโปร์ ไต้หวัน บรูไน เป็นต้น
4. คอนกรีตมวลเบาส่งออกไปจำหน่ายยังประเทศสหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย มาเลเซีย นิวซีแลนด์ ออสเตรเลีย ญี่ปุ่น เวียดนาม สิงคโปร์ และ มัลดีฟส์

ถึงแม้ว่าจะมีการส่งออกทั้งในรูปของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ยิปซัมแต่ก็ยังคงมีการนำเข้า ประเทศที่มีแร่ยิปซัมได้แก่สหรัฐอเมริกา แคนาดา อังกฤษ ญี่ปุ่น รัสเซีย ไชปรัส ปากีสถานและประเทศแถบแอฟริกา เป็นต้น ประเทศไทยมีมูลค่าการนำเข้ายิปซัมเพียงเล็กน้อยประมาณ 5-15 ล้านบาท/ปี โดยนำเข้าจากประเทศสิงคโปร์ สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และจีน ซึ่งเป็นยิปซัมที่มีความบริสุทธิ์สูงเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเลนส์แว่นตา และใช้ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการใช้ยิปซัมเป็นวัตถุดิบในการผลิตมีการนำเข้า ดังนี้ [1]

1. ปูนซีเมนต์มีมูลค่าการนำเข้าประมาณ 40-60 ล้านบาท/ปี โดยนำเข้าจากประเทศจีน มาเลเซีย เนเธอร์แลนด์ เกาหลีใต้ และฝรั่งเศส เป็นต้น ปูนซีเมนต์ที่นำเข้าส่วนใหญ่เป็นอะลูมินัสซีเมนต์ (Aluminous Cement) ซึ่งไม่มีการผลิตในประเทศไทย ปูนซีเมนต์ชนิดนี้จะให้กำลังเร็ว เช่น คอนกรีตที่ผสมด้วยอะลูมินัสซีเมนต์เมื่อหล่อได้ 24 ชั่วโมงแล้วจะมีกำลังเท่ากับคอนกรีตที่หล่อด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ถึง 3 เดือน หรือเสาเข็มคอนกรีตสำเร็จรูปที่หล่อด้วยปูนซีเมนต์ชนิดนี้สามารถนำไปใช้งานได้หลังหล่อเพียง 24 ชั่วโมงเท่านั้น
2. แผ่นยิปซัมมีมูลค่าการนำเข้าเพียงประมาณ 10-35 ล้านบาท/ปี โดยนำเข้าจากประเทศจีน เดนมาร์ก และอินโดนีเซีย ส่วนใหญ่เป็นแผ่นยิปซัมบอร์ดที่มีคุณภาพพิเศษ
3. ปูนปลาสเตอร์มีมูลค่าการนำเข้าประมาณ 50-60 ล้านบาท/ปี โดยนำเข้าจากประเทศจีน อินโดนีเซีย สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น เป็นต้น

จากข้อมูลทั่วไปองค์ประกอบหลักของแผ่นฉนวนยิปซัมคือแคลเซียมซัลเฟตไดไฮเดรตที่มีสูตรทางเคมี ($\text{CaSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ในโครงสร้าง ความหนาแน่นประมาณ 2.32 g/cm^3 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, dihydrate) และความหนาแน่น 2.96 g/cm^3 ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, anhydrous) ละลายน้ำและสารละลายกรดได้ มีรูปผลึกชนิดออร์โธโรมบิก (orthorhombic) สีขาวหรือขาวปนเทา ไม่มีกลิ่น แคลเซียมไดไฮเดรต ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างได้ด้วยความร้อนกลายเป็นแคลเซียมเอมิไฮเดรต ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) และแคลเซียมแอนไฮไดรต์ (CaSO_4) ที่มีสองเฟสคือ $\beta\text{-CaSO}_4$ และ $\gamma\text{-CaSO}_4$ ดังสมการที่ 1-3 [2]

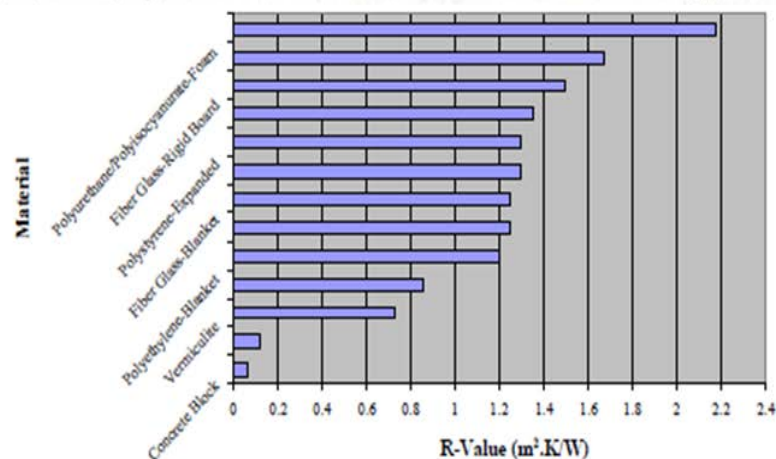


ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลแผ่นฉนวนยิปซัมบอร์ดหนา 10 มม. และ 13 มม. มีค่าความหนาแน่น 800 kg/m^3 ค่าความจุความร้อน $1.09 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ [3] และจากรูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการต้านทานความร้อนของวัสดุประเภทต่างๆ พบว่าพอลิเมอร์ประเภทโฟมซึ่งจากข้อมูลเป็นโฟมประเภทแข็ง (rigid foam) พอลิยูรีเทนจะมีประสิทธิภาพต้านทานความร้อนสูงมาก ดังนั้นการเติมน้ำยางธรรมชาติผสมสารเพิ่มฟองลงไปเพื่อทำแผ่นฉนวนยิปซัมคอมพอสิตจะช่วยลดการดูดซึมน้ำแต่ต้องทำการศึกษาปริมาณสัดส่วนที่เหมาะสมเนื่องจากน้ำยางจะทำให้เกิดยางฟองหลายลักษณะเช่นประเภทนิ่ม (soft foam) หรือกึ่งแข็ง (semi-rigid foam) นอกจากนี้การเติมน้ำลงในยิปซัมหรือพลาสติกจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเป็นเจลได้เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันคล้ายกับการบ่มเร่ง (curing) ในงานคอนกรีตเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาการคายความร้อน (exothermic reaction) และความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการบ่มเร่งดังกล่าวจะเป็นตัวเร่งช่วยให้น้ำยางคอมพาวด์ที่เติมลงในยิปซัมเกิดการคงรูปได้ทำให้เกิดการประสานเป็นเนื้อเดียวกันกับยิปซัมกลายเป็นแผ่นฉนวนยิปซัมคอมพอสิตกับน้ำยางธรรมชาติคอมพาวด์

ตารางที่ 1 แสดงค่าความหนา ความหนาแน่น การนำความร้อน ค่าความจุความร้อนและค่าการต้านทานความร้อน (R-value) ของฉนวนความร้อนชนิดต่างๆ [3]

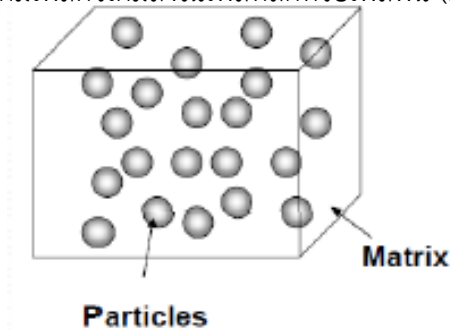
Properties of building materials (at a mean temperature of 24°C)

Material	Thickness, L mm	Density, ρ kg/m ³	Thermal Conductivity, k W/m · K	Specific Heat, c_p kJ/kg · K	R-value (for listed thickness, L/k), K · m ² /W
Building Boards					
Asbestos-cement board	6 mm	1922	—	1.00	0.011
Gypsum or plaster board	10 mm	800	—	1.09	0.057
	13 mm	800	—	—	0.078
Plywood (Douglas fir)	—	545	0.12	1.21	—
	6 mm	545	—	1.21	0.055
	10 mm	545	—	1.21	0.083
	13 mm	545	—	1.21	0.110
	20 mm	545	—	1.21	0.165
Insulated board and sheathing (regular density)	13 mm	288	—	1.30	0.232
	20 mm	288	—	1.30	0.359
Hardboard (high density, standard tempered)	—	1010	0.14	1.34	—
Particle board: Medium density	—	800	0.14	1.30	—
Underlayment	16 mm	640	—	1.21	0.144
Wood subfloor	20 mm	—	—	1.38	0.166
Building Membrane					
Vapor-permeable felt	—	—	—	—	0.011
Vapor-seal (2 layers of mopped 0.73 kg/m ² felt)	—	—	—	—	0.021
Flooring Materials					
Carpet and fibrous pad	—	—	—	1.42	0.367
Carpet and rubber pad	—	—	—	1.38	0.217
Tile (asphalt, linoleum, vinyl)	—	—	—	1.26	0.009

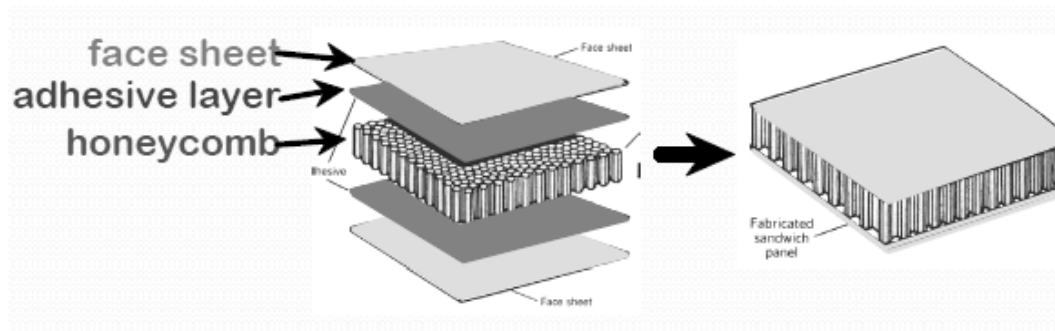


Thermal resistance (per 5cm thickness) of common building insulation materials (Concrete block is added in the figure as a reference for comparison purposes).

โครงสร้างแผ่นฉนวนยิบซั่มคอมพอสิตยางธรรมชาติจะมีโมเดลคล้ายดังรูปที่ 5 และรูปที่ 6 ฉนวนยิบซั่มทำหน้าที่เฟสหลัก (matrix phase) ซึ่งเป็นเฟสต่อเนื่องของผลิตภัณฑ์และมีอนุภาคที่ทำหน้าที่เฟสตัวเติมหรือเฟสกระจาย (dispersed phase) สูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าสูงสุดและต่ำสุดดังสมการที่ 4 และ 5 และรูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของการเติมเฟสตัวเติมลงในเฟสหลักหรือเฟสพื้น (matrix phase)



รูปที่ 5 โมเดลโครงสร้างการเติมเฟสอนุภาค (particle) ลงในเฟสพื้น (matrix phase) เพื่อการผลิตวัสดุคอมพอสิต [5]



รูปที่ 6 โมเดลโครงสร้างการเติมเฟสอนุภาค (particle) ลงในเฟสพื้น (matrix phase) เพื่อการผลิตวัสดุคอมพอสิตแบบแซนวิช (sandwich panel composite or structural composite)

ค่าสูงสุด

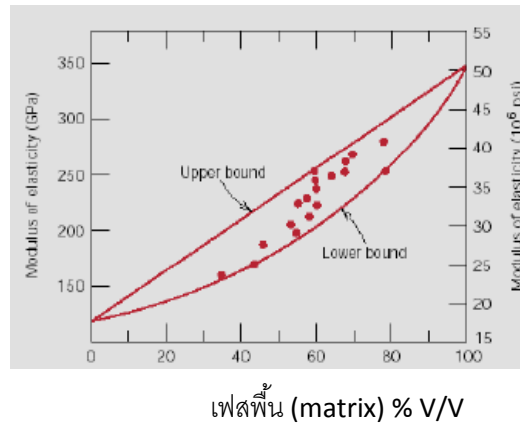
Upper bound

$$E_c(u) = E_m V_m + E_p V_p \quad (4)$$

ค่าต่ำสุด

Lower bound

$$E_c(l) = \frac{E_m E_p}{V_m E_p + V_p E_m} \quad (5)$$



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดจากการเติมเฟสตัวเติมลงในเฟสพื้น (matrix phase)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. การศึกษาแผ่นผ้าเพดานยิปซัมเกรดการค้าสำหรับใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในโครงการวิจัย
2. การผลิต การวิเคราะห์คุณลักษณะและสมบัติแผ่นผ้ายิปซัมคอมพอสิตด้วยน้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์

ขอบเขตของการวิจัย

กรอบแนวคิดจากทฤษฎีและสมมติฐานดังกล่าวข้างต้นที่คณะผู้วิจัยวางแผนในงานวิจัยคือการทำแผ่นฉนวนยิปซัมคอมพอสิตด้วยน้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์ดังนี้คือ

1. ศึกษาข้อมูลได้แก่ ความแข็งแรง, สมบัติทางความร้อนได้แก่ การนำความร้อน สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน การดูดซับเสียงของแผ่นผ้ายิปซัมเกรดการค้า
2. ปรับสัดส่วนการเติมน้ำยางคอมปาวด์ที่ใช้เป็นสารตัวเติมคือ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50% โดยน้ำหนัก และเมื่อได้สัดส่วนที่เหมาะสมจึงคำนวณเป็น เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เพื่อนำไปคำนวณค่าตามสูตรที่ 4 และ 5 ดังกล่าวข้างต้น
3. ทำการขึ้นรูปและศึกษาผลทางความร้อนและการดูดซับเสียงของแผ่นผ้ายิปซัมที่เตรียมได้

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

วัตถุดิบและอุปกรณ์

วัตถุดิบ

1. ผงยับยั้งการกัดกร่อน ความบริสุทธิ์มากกว่า 99% จากบริษัทสยามพลาสติก ประเทศไทย
2. เส้นใยแก้วสำหรับเติมเพื่อเสริมแรง จากบริษัท โกลเด้นเคมี อินเตอร์เนชันแนล จำกัด ประเทศไทย
3. น้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์ชนิดไม่เติมสารเพิ่มฟองประกอบด้วย 60% LA-latex, 50% Sulphur, 50% ZDEC, 50% ZMBT จากสถาบันวิจัยยาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
4. น้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์ชนิดเติมสารเพิ่มฟองประกอบด้วย 60% LA-latex, 50% Sulphur, 50% ZDEC, 50% ZMBT, 10% NaHCO_3
5. แบบพิมพ์สำหรับการขึ้นรูปแผ่นผ้าขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 25 x 35 x 2.5 cm
6. สารช่วยการถอดพิมพ์ potassium soap หรือ bentonite จากบริษัทอัมรินทร์ ประเทศไทย
7. ดินขาว จากบริษัทคอมปาวด์เคลย์

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดขนาดอนุภาควัสดุ (Particle size analyzer) รุ่น Mastersizer 3000 S Long Bed, Polydisperse 2.19 ด้วยการบดตัวอย่างให้เป็นผงละเอียดปริมาณ 1 กรัม โดยการทำให้อนุภาคกระจายตัวในตัวกลางของเหลวซึ่งในการทดลองนี้ใช้น้ำเป็นเวลานาน 20 นาที ก่อนทำการวิเคราะห์ทดสอบ สำหรับการทดสอบขนาดอนุภาคของผงยับยั้ง
2. เครื่องวัดค่าความหนาแน่นแท้จริง (True density) ด้วย gas pycnometer (Quanta chrome, Ultrapycnometer 1000) สำหรับการทดสอบค่าความหนาแน่นของผงยับยั้ง
3. เครื่องวัดค่าประจุผิวของวัสดุ (Zetasizer) Malvern, Ver. 7.04 โดยการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง pH 2-14 ที่อุณหภูมิห้อง 25°C เพื่อวิเคราะห์ความเสถียรของประจุที่บริเวณพื้นผิววัสดุ และค่า isoelectric point สำหรับการทดสอบผงยับยั้ง ดินขาว
4. เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction) รุ่น Bruker, AXS model D8 Discover with a VANTEC-1 detector ช่วง 5°-80° 2θ /min อัตราเร็วการวิเคราะห์ 0.02° 2θ increments using $\text{CuK}\alpha$ ความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดลำแสงเอกซเรย์ชนิดทองแดง ($\lambda = 0.15406$ nm) ความต่างศักย์ 40 kV, กระแส 40 mA สำหรับการวิเคราะห์หัตถุสมบัติที่ใช้ก่อนการขึ้นรูปผงยับยั้ง ดิน เส้นใยแก้ว เส้นใยอะลูมินา เส้นใยกระดาษ น้ำยางธรรมชาติ
5. เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มเมชันสเปกโตรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR) รุ่น PerkinElmer (Spectrum One) เพื่อวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันทางเคมีของวัสดุ สำหรับการวิเคราะห์หัตถุสมบัติที่ใช้ก่อนการขึ้นรูปผงยับยั้ง ดิน เส้นใยแก้ว เส้นใยอะลูมินา เส้นใยกระดาษ น้ำยางธรรมชาติ
6. เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (X-ray fluorescence, XRF) รุ่น PW 4400/AXIOS สำหรับวิเคราะห์ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างโดยรายงานเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของธาตุและสารประกอบของหัตถุสมบัติที่ใช้ก่อนการขึ้นรูปผงยับยั้ง ดิน เส้นใยแก้ว เส้นใยอะลูมินา เส้นใยกระดาษ น้ำยางธรรมชาติ
7. เครื่องทดสอบการรับแรงดัดโค้ง (Bending test) ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D790 Flexural strength [Xhead] ด้วยอัตราเร็ว 10 mm/min ของตัวอย่างแผ่นผ้าพาดานชนิดที่เติมน้ำยางคงรูปคอมปาวด์ด้วยสัดส่วน 0, 10, 20, 30, 40, 50 % โดยน้ำหนักผ่านการขึ้นรูปแผ่นเรียบร้อยแล้ว
8. เครื่องวิเคราะห์การรับแรงดึงของเส้นใยและแผ่นผ้าพาดานที่เติมน้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์ 0, 10, 20, 30, 40, 50% โดยน้ำหนัก (UTM) รุ่น DSS 10-T ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C165 Tensile properties (Round) ด้วยอัตราเร็ว 10 mm/min
9. เครื่องทดสอบการนำความร้อนของวัสดุ Heat Flow Meter Instrument รุ่น HC-074 ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C518 ในช่วงอุณหภูมิการใช้งานจริง 20-50°C
10. เครื่องทดสอบการดูดซับเสียง Sound absorption รุ่น HC-074 ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C518 ในช่วงความถี่คลื่นเสียง 50 เฮิรตซ์- 6.4 กิโลเฮิรตซ์

วิธีการทดลอง

1.การศึกษาแผ่นฝ้ายิปซัมเกรดการค้า (commercial grade) ที่มีจำหน่ายมาวิเคราะห์ทดสอบคุณลักษณะเบื้องต้น ได้แก่ ราคา การดูดซึมน้ำ (water absorption) สมบัติทางกล ได้แก่ ความแข็งแรง (strength), การรับแรงกดอัด (compressive strength) การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน ได้แก่ การนำความร้อน การลามไฟ และการดูดซับเสียง เป็นต้น

2. การเตรียมน้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์เพื่อใช้เป็นสารตัวเติมหรือคอมพอลิตกับแผ่นฝ้ายิปซัม

3.การเติมน้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์ดังตารางที่ 3 ด้วยสัดส่วนที่แตกต่างกันดังนี้คือ 0, 10, 20, 30, 40, 50% โดยน้ำหนัก ลงในแต่ละสูตรของการเตรียมแผ่นฝ้ายิปซัม แล้วทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการเทลงในแบบพิมพ์ (Slip casting) เมื่อได้สูตรที่เหมาะสมแล้วจะทำการคัดเลือกสูตรที่ดีมาเติมสารเพิ่มฟองชนิดโซเดียมไบคาร์บอเนตเพื่อให้แผ่นฝ้ายิปซัมที่มีน้ำหนักเบา รูปทรงสูงภายในโครงสร้างเพื่อช่วยการระบายความร้อนได้ดี [11, 12]

4.วิเคราะห์ทดสอบแผ่นฝ้ายิปซัมคอมพอลิตด้วยน้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์สัดส่วนต่างๆ ด้วยการวิเคราะห์สมบัติทางเสียง และทางความร้อน

5.สรุปผลการทดลองและประเมินราคาผลิตภัณฑ์แผ่นฝ้ายิปซัมคอมพอลิตน้ำยางธรรมชาติกับแผ่นยิปซัมเกรดการค้า (commercial grade)

ตารางที่ 2 สูตรน้ำยางคอมปาวด์ที่ใช้เติมลงในยิปซัมเพื่อผลิตแผ่นฉนวนยิปซัมคอมพอลิตน้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์ ส่วนผสมของน้ำยางคอมปาวด์

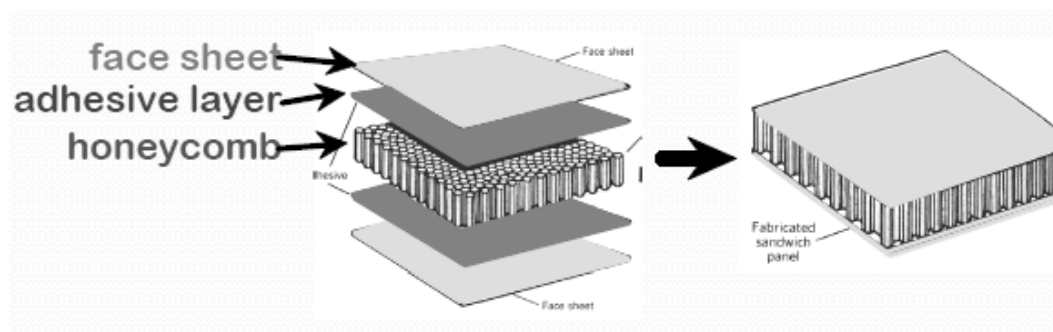
สารเคมี	สัดส่วนโดยน้ำหนักเปียก (กรัม)	สัดส่วนโดยน้ำหนักแห้ง (กรัม)
60% LA-latex	167	100
50% Sulphur	10	5
50% ZDEC	5	2.5
50% ZMBT	5	2.5
50% ZnO	10	5
น้ำหนักรวม	197	115

ตารางที่ 3 สูตรส่วนผสมของการเตรียมน้ำยางฟอง

สารเคมี	สัดส่วนโดยน้ำหนักเปียก (กรัม)	สัดส่วนโดยน้ำหนักแห้ง (กรัม)
น้ำยางคงรูปจากตารางส่วนผสม น้ำยางคอมปาวด์	197	115
NaHCO ₃	5	5
น้ำหนักรวม	202	120

หมายเหตุ การเตรียมตัวอย่างตามตารางที่ 3 ได้ทำการผสมน้ำยางคอมปาวด์ตามตารางที่ 2 ให้เสร็จเรียบร้อยก่อนแล้วจึงทำการเติมสารเพิ่มฟอง NaHCO₃ (5 กรัม) ลงในน้ำยางที่เตรียมไว้
ดังนั้นน้ำหนักเปียกและน้ำหนักแห้ง ตามตารางที่ 3 ก็ยังคงมีสารเพิ่มฟอง NaHCO₃ จำนวน 5 กรัมตามเดิม ทั้งในสูตรเปียกและสูตรแห้ง

รูปแบบชิ้นงานตัวอย่างที่ทำการขึ้นรูปแบบแซนวิช



รูปที่ ๑ ชิ้นของกระบวนการขึ้นรูปวัสดุคอมพอสิตแบบแซนวิช

ข้อดีของการเลือกใช้เทคนิคการขึ้นรูปแผ่นฝ้าเพดานแบบแซนวิช มีดังนี้

1. ลดปัญหาข้างเคียงที่ไม่พึงประสงค์ เช่น การเกิดเชื้อรา กลิ่น การสึกกร่อนจากแสงแดด สารเคมี สภาพแวดล้อม เพื่อให้แผ่นฝ้าเพดานที่ทำการขึ้นรูปมีความคงทน แข็งแรง อายุการใช้งานนาน ไม่เกิดการบวมพอง หรือยุบตัวเนื่องจากน้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์ที่เติมลงในสูตรการขึ้นรูปชิ้นงาน และทำให้ได้แผ่นฝ้าเพดานที่มีความสวยงาม
2. ลดน้ำหนักชิ้นงานให้น้อยลงและสามารถควบคุมปริมาณน้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์ให้อยู่ภายในโครงสร้างแผ่นฝ้า เพื่อเพิ่มสมบัติทางกล การต้านทานความร้อน การดูดซับเสียง การรับแรงดัดงอ
3. สามารถทำให้การออกแบบรูปร่าง รูปทรงของแผ่นฝ้าเพดานทำได้ง่าย
4. สามารถเพิ่มเติมเส้นใยเพื่อช่วยการยึดเกาะและเสริมแรงระหว่างแผ่นฝ้าเพดานกับชั้นน้ำยางธรรมชาติที่คงรูปยึดเกาะกันได้ดีมากขึ้น

หมายเหตุ ผู้วิจัยได้ซื้อน้ำยาง Prevulcanized latex จากบริษัท จี เอส พี โปรดักส์ จำกัด ถนนหทัยราษฎร์ แขวงสามวาตะวันตก เขตคลองสามวา กทม. เพื่อทดลองการขึ้นรูปแทนน้ำยางธรรมชาติชั้นผสมสารเร่งการคงรูป โดยน้ำยางที่ซื้อมามีสมบัติระบุดังนี้

Polymer type:	NR Latex
Curing agent:	Sulphur type
Appearance:	Milky white liquid
Viscosity at 30°C:	800-2000 cPs
(RVT No.5@ 10 rpm)	
Solid content, %:	58-61
pH at 30°C:	8-9
Dry film appearance:	Clear
Filterable solid on 200 mesh:	200 ppm max.
MST:	Excellent
Storage stability:	Good
Application:	For general purpose of molding applications

แต่จากการทดลอง พบว่าน้ำยางดังกล่าวมีการเสียดตัวซ้ามากเกินไป จำเป็นต้องบ่มเร่งการคงรูปที่อุณหภูมิสูงกว่าจึงจำเป็นต้องทำการเตรียมน้ำยางคอมปาวด์เอง รวมทั้งราคาของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์สูงกว่าน้ำยางคอมปาวด์มาก (ราคาน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ 200 บาทต่อกิโลกรัม) ในขณะที่น้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์ที่เตรียมเองจากโครงการวิจัยราคา

โดยประมาณ 85 บาทต่อกิโลกรัม ทำให้น้ำยางพริ้วคลาไนซ์ไม่เหมาะกับการทำการทดลอง และในการเตรียมแผ่นฝ้านี้ ต้องทำในลักษณะแซนวิช ที่จำเป็นต้องเทชั้นยิปซัมซ้อนทับบนชั้นน้ำยางคอมปาวด์อีกครั้ง

ผลการทดลอง

1. ทำการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพของแผ่นผ้าเกรดการค้ำเพื่อใช้เป็นต้นแบบในการขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่าง โดยการศึกษาจากชั้นความหนา วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต องค์ประกอบโดยรวม น้ำหนักต่อแผ่น ดังรูปที่ 9-11 ทำการขึ้นรูปแผ่นขึ้นงานตัวอย่างโดยใช้ผงยิปซัม เเยื่อกระดาษ ผสมกับน้ำเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) โดยลักษณะส่วนผสมที่มีจะมีลักษณะข้นเหลวเป็นสเลอรี (Slurry) คล้ายครีมดังรูปที่ 10 โดยสัดส่วนระหว่างผงยิปซัมต่อน้ำ ประมาณ 55-60% โดยน้ำหนัก เพื่อให้ได้แผ่นผ้าที่แข็งแรง เช็ดตัวเร็วและถอดออกจากแบบได้ง่าย เทลงในแบบพิมพ์ ปล่อยให้แห้งหมาด ดังรูปที่ 11a แล้วเพิ่มเติมน้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์ด้วยสัดส่วน 0, 10, 20, 30, 40, 50 %โดยน้ำหนัก ปล่อยให้แห้งหมาดแล้วเทส่วนผสมของยิปซัมทับอีกครั้งหนึ่ง รอจนกระทั่งแผ่นขึ้นงานแห้ง ก็ทำการถอดชิ้นงานออกจากแบบพิมพ์ ดังรูปที่ 11 f



รูปที่ 10 ลักษณะสเลอรี่ (slurry) ของการผสมผงยิปซัมกับน้ำก่อนการเทลงแบบพิมพ์



a)



b)



c)



d)



ยิปซัม:
วอร์ดราด

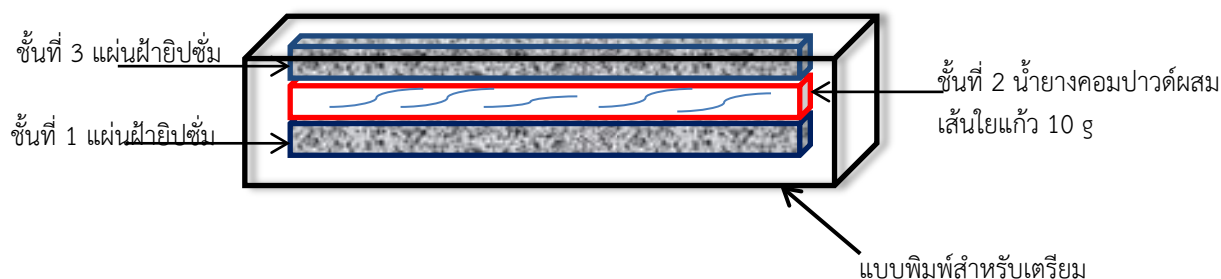


รัง
าง

คอมปาวด์ที่เตรียมเองจะเริ่มเซ็ดตัวด้วยเวลาประมาณ 5 นาที; e) การเทยิปซัมทบเบนชนทสามหรือชนสุดททย แล้ว
ปล่อยให้เซ็ดตัว; f) ลักษณะแผ่นฝ้ายิปซัมหลังจากถอดออกจากแบบพิมพ์

ขั้นตอนของการขึ้นรูปแผ่นฝ้ายิปซัมมีดังนี้

1. ผสมผงยิปซัม เยื่อกระดาษ และน้ำเข้าด้วยกัน คนให้เข้ากันภายในเวลาไม่เกิน 20 นาที เทของผสมที่ได้ลงในแบบพิมพ์ที่ทำด้วย potassium soap หรือ เบนโทไนด์จนทั่ว เพื่อช่วยการถอดพิมพ์ที่ง่ายและทำให้ได้ชิ้นงานที่มีความสวยงาม
2. เคาะแบบพิมพ์เบาๆ เพื่อให้ของผสมดังกล่าวกระจายอย่างทั่วถึง และเพื่อให้ได้ความหนาที่สม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น ทั้งไว้จนแห้งหมด
3. เติมน้ำยิปซัมประมาณ 10% โดยน้ำหนัก เพื่อเป็นวัสดุเสริมแรงระหว่างรอยต่อของชั้น โดยการเรียงตัวของเส้นใยแบบ 3D ทั่วทั้งชิ้นงาน
4. เติมน้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์โดยการแบ่งเป็นสองกลุ่มคือ 1 กลุ่มที่มีสูตรการเตรียมแผ่นผ้ายิปซัมชนิดไม่เติมสารเพิ่มฟอง ดังสูตรการเตรียมในตารางที่ 2 ซึ่งเป็นสูตรที่เตรียมและรายงานผลในรายงานความก้าวหน้ารอบ 6 เดือนของเล่มรายงานฉบับนี้ และกลุ่มที่ 2 สูตรการเตรียมแผ่นผ้ายิปซัมที่เติมสารเพิ่มฟองตามตารางที่ 2 และตารางที่ 3 เพื่อให้โครงสร้างภายในของชิ้นน้ำยางมีรูพรุนมากขึ้นและเพื่อลดน้ำหนักของชิ้นงานตัวอย่าง ซึ่งจะดำเนินการในรอบ 6 เดือนถัดไป
5. การเติมน้ำยางคือการเติมตามสัดส่วน 0,10, 20, 30, 40, 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยการราดน้ำยางคอมปาวด์ทับชั้นยิปซัมที่เทไว้ในขั้นตอนแรกให้กระจายทั่วแผ่นชิ้นงาน
6. เตรียมผสมผงยิปซัมและน้ำให้เข้ากัน สำหรับการเททับเป็นชั้นที่สาม เพื่อให้โครงสร้างแผ่นผ้าเพดานมีความแข็งแรงทนทาน อายุการใช้งานนานตั้งทิ้งไว้ รอจนกระทั่งชั้นที่สามของแผ่นชิ้นงานแห้งสนิท
7. ถอดแผ่นชิ้นงานตัวอย่างออกจากแบบพิมพ์ แล้วตกแต่งขอบให้เรียบ สวยงาม ดังรูปที่ 11 f



รูปที่ 12 แสดงชั้นต่างๆของการขึ้นรูปแผ่นผ้ายิปซัม

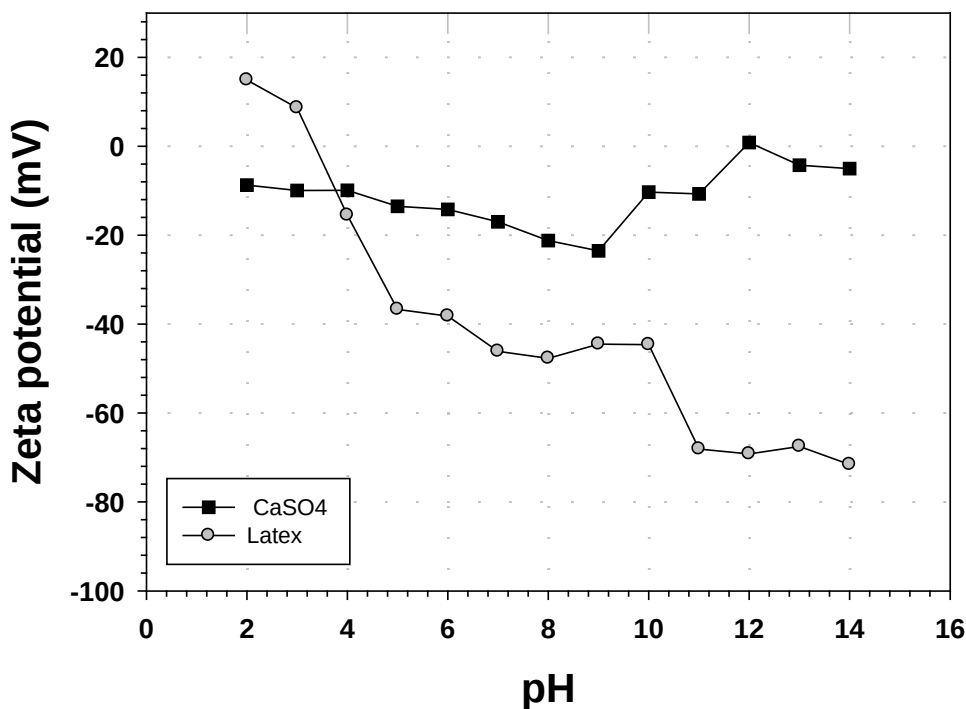
หมายเหตุ เมื่อมีการเติมน้ำยางคอมปาวด์ลงในสูตรการขึ้นรูปแผ่นผ้ามากคือที่ปริมาณ 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าต้องเตรียมส่วนผสมยิปซัมเพื่อเททับเป็นชั้นที่สามของการขึ้นรูปแผ่นผ้ายิปซัมที่หนามากขึ้น ทำให้น้ำหนักของแผ่นชิ้นงานตัวอย่างเพิ่มขึ้น จึงได้ออกแบบใหม่เพื่อปรับให้น้ำหนักของแผ่นตัวอย่างเบาลงโดยการเพิ่มเติมเส้นใยสั้นเซลลูโลส หรือ ดินขาว เพื่อลดน้ำหนักของยิปซัมให้น้อยลง แต่คงความแข็งแรง และเพื่อให้ได้ชั้นที่บางขึ้น จึงต้องทำการศึกษาคูณลักษณะและสมบัติวัตถุติดตั้งต้นก่อนการใช้งานเพื่อศึกษาความเหมาะสมของการเลือกใช้วัสดุอื่นเพิ่มเติม โดยการศึกษาขนาดอนุภาคด้วยเครื่องวัดขนาดอนุภาค Particle size analyzer, เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (X-ray fluorescence, XRF), เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างเฟส (X-ray diffraction, XRD), เครื่องวิเคราะห์ประจุที่ผิวอนุภาค (Zeta potential), เครื่องวิเคราะห์ทางความร้อน (Thermal analyzer)

จากการนำผงยิปซัม ดินขาว และน้ำยางธรรมชาติ วิเคราะห์ค่าประจุที่ผิวโดยการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างที่พีเอชต่างๆ ดังรูปที่ 13 และรูปที่ 14 เพื่อศึกษาความเข้ากันได้เมื่อทำการขึ้นรูป พบว่ามีค่าประจุที่ผิวแตกต่างกันมากที่ส่งผลต่อความเสถียรไม่เท่ากัน ดังนั้นการผสมหรือการขึ้นรูปแผ่นผ้าเพดานจึงมีความจำเป็นที่ต้องอาศัยเทคนิคการขึ้นรูปแบบแซนวิช (Sandwich) เพื่อทำให้การยึดประสานมีความเข้ากันได้ดี เกาะกันได้มากขึ้น และหากต้องการเพิ่มความแข็งแรงระหว่างชั้นของน้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์ก็ควรเติมน้ำยิปซัมเพื่อช่วยให้โครงสร้างชิ้นงานมีความแข็งแรงมากขึ้น จากการวัดค่าประจุที่ผิว ได้ค่าของน้ำยาง = pH 5.89, ดินขาว = pH 5.20 และผงยิปซัม = pH 6.0 สรุปได้ว่าตัวอย่าง

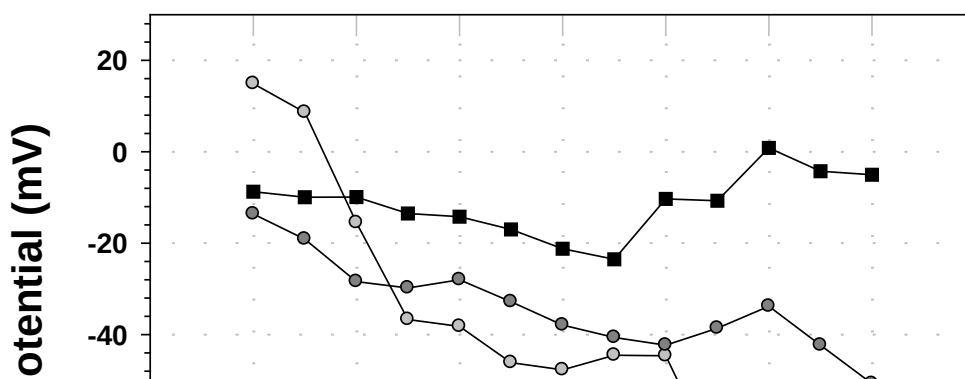
ที่นำมาศึกษา โดยส่วนใหญ่มีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ pH 5-6 และจากข้อมูลทั่วไปของการวิเคราะห์ความเสถียรของอนุภาคคอลลอยด์ (colloid) ด้วย zeta analyzer มีรายละเอียดดังนี้คือ

หากค่าศักย์ไฟฟ้ามีค่าในช่วง 0 ถึง ± 5 แสดงว่าอนุภาคมีแนวโน้มที่จะเกาะตัวกันหรือเกิดการตกตะกอนกลายเป็นก้อนได้ง่าย แต่หากค่าศักย์ไฟฟ้ามีค่าอยู่ในช่วง ± 10 ถึง ± 30 แสดงผลได้ว่าอนุภาคมีโอกาสเริ่มเกาะตัวกันเป็นก้อน (agglomerate) เนื่องจากความไม่เสถียรของอนุภาค สำหรับค่าศักย์ไฟฟ้าอยู่ในช่วง ± 30 ถึง ± 40 พบว่าอนุภาคมีความเสถียรปานกลางและมีโอกาสจะเกิดการเกาะตัวกันของอนุภาคได้ง่ายเช่นกันแต่หากค่าศักย์ไฟฟ้าสูงประมาณ ± 40 ถึง ± 60 กล่าวได้ว่าอนุภาคมีความเสถียรดี ไม่เกิดการเกาะตัวกันได้ง่าย และถ้าหากค่าศักย์ไฟฟ้าสูงเกินกว่า ± 61 อนุภาคคอลลอยด์ดังกล่าวจะมีความเสถียรดีมาก

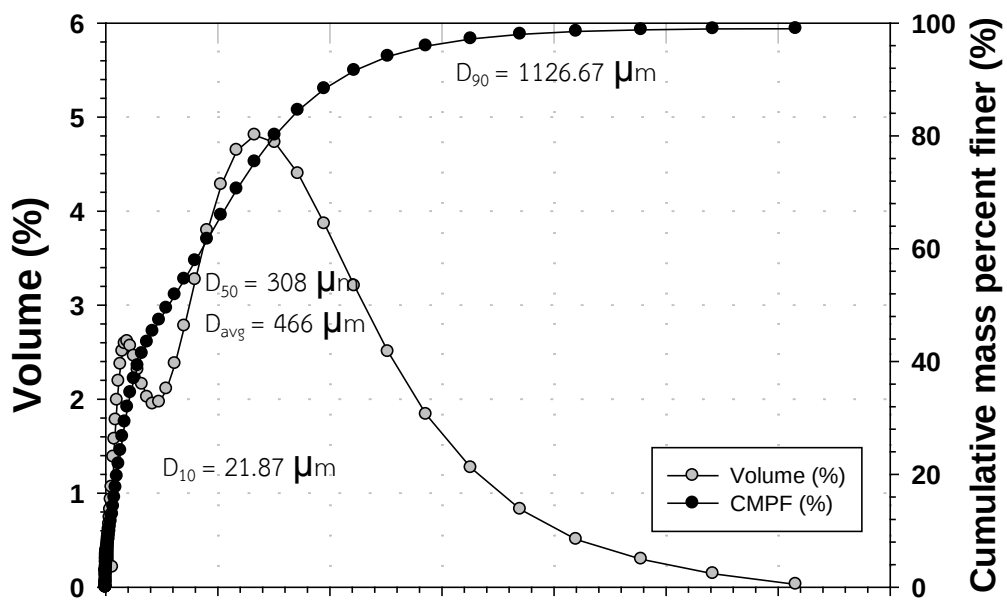
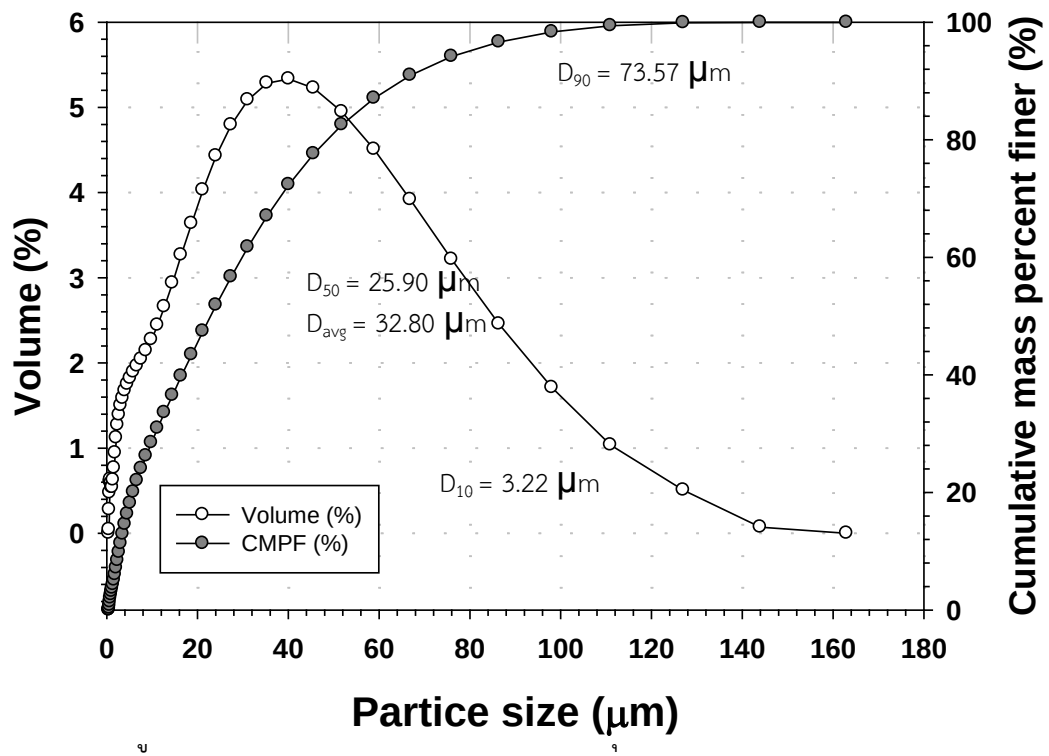
สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำดินขาวมาทดลองเพิ่มเติมลงในสูตรการเตรียมแผ่นผ้าเปดาน เนื่องจาก ดินขาวคือวัสดุเซรามิกที่ประกอบด้วยอะลูมินา (Al_2O_3) และซิลิกา (SiO_2) ที่มีสมบัติที่ดีประการหนึ่งคือการทนความร้อน ดังนั้นการเติมดินขาวลงในสูตรการเตรียมแผ่นผ้าเปียกจะช่วยทำให้แผ่นผ้าทนความร้อนและแข็งแรงเพิ่มขึ้น และจากข้อมูลวิเคราะห์ค่าประจุที่ผิว (Zeta potential) ดังกล่าวข้างต้น พบว่าดินขาวและยิปซัมมีค่าประจุที่ผิวต่างกัน จึงต้องทำการขึ้นรูปแบบแซนวิช แต่พบว่าดินกับยิปซัมมีแนวโน้มของค่าประจุที่ผิวในแต่ละช่วงค่าพีเอชที่สอดคล้องกัน และหากน้ำยางมีค่าพีเอชเป็นต่างประมาณ pH =10 จะมีค่าประจุที่ผิวใกล้เคียงกันมาก แสดงว่าการช่วยการยึดเกาะก็จะดี ดังนั้นในช่วงแรกของการศึกษาเรื่องการขึ้นรูป จึงได้มีการปรับสัดส่วนการเติมดินหรือเส้นใยเซลลูโลสลงในสูตรการเตรียมแผ่นผ้าเปดาน เพื่อดูความเหมาะสมของสูตร แต่ก็มีข้อจำกัดที่ต้องใช้ผลวิเคราะห์ทดสอบเรื่องสมบัติทางกลมาประกอบการพิจารณาด้วยว่าการเติมดินขาว หรือ เส้นใยเซลลูโลสแล้วจะมีผลต่อสมบัติทั้งทางกายภาพและทางกลเป็นอย่างไร



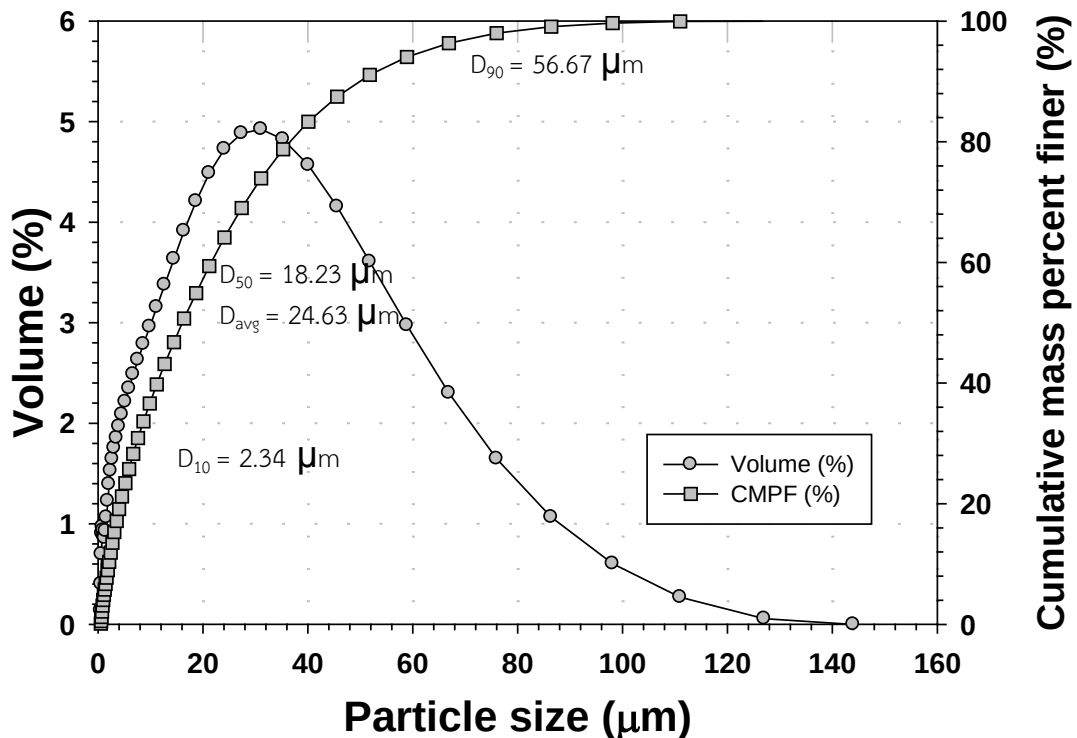
รูปที่ 13 การเปรียบเทียบค่าประจุที่ผิว (Zeta potential) ระหว่างผงยิปซัมและน้ำยางธรรมชาติ



รูปที่ 14 การเปรียบเทียบค่าประจุที่ผิว (Zeta potential) ของวัตถุดิบ ผงยิปซัม ดินขาว และน้ำยางธรรมชาติ



รูปที่ 16 ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคจากแผ่นผ้าเกรดการค้า



จากผลการทดลองขนาดอนุภาคของผงยิปซัม อนุภาคแผ่นยิปซัมเกรดการค้า และดินขาว ดังรูปที่ 15, 16, 17 มีขนาดแตกต่างกันค่อนข้างมากเรียงลำดับดังนี้คือ ค่า d_{10} , d_{50} , d_{90} และ d_{avg} ของผงยิปซัมเท่ากับ 3.22, 25.90, 73.57, 32.80 μm ตามลำดับ สำหรับ d_{10} , d_{50} , d_{90} และ d_{avg} ของอนุภาคแผ่นยิปซัมเกรดการค้าเท่ากับ 21.87, 308, 1126.67, 466 μm ตามลำดับ และ d_{10} , d_{50} , d_{90} และ d_{avg} ของดินขาวเท่ากับ 2.34, 18.23, 56.67, 24.63 μm ตามลำดับ ผงอนุภาคยิปซัมมีขนาดเล็กเพียงพอที่จะผสมเข้ากับอนุภาคของดินเพื่อขึ้นรูปแผ่นผ้ายิปซัมและจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) ดังแสดงในตารางที่ 4 ระหว่างผงยิปซัมและอนุภาคจากแผ่นผ้าเกรดการค้าพบว่ามีองค์ประกอบหลักคือแคลเซียมออกไซด์ (CaO) 30-40% และซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_3) 35-50% ที่ทำให้ได้สารประกอบแคลเซียมซัลเฟต (CaSO_4) ดินขาวมีองค์ประกอบหลักทางเคมีคือซิลิกา (SiO_2) 62.7% และอะลูมินา (Al_2O_3) 21.8% ที่ส่งผลดี ทำให้แผ่นผ้าเปดานที่ขึ้นรูปได้ ทนความร้อนสูงขึ้น สำหรับเส้นใยเซลลูโลสมีองค์ประกอบหลักทางเคมีคือแคลเซียมออกไซด์ (CaO) 25.7% และซิลิกา (SiO_2) 17.4% ที่สามารถเติมลงในสูตรการเตรียมแผ่นผ้ายิปซัมได้เพื่อช่วยลดน้ำหนักของแผ่นผ้าให้น้อยลง ทำให้เบาเหมาะต่อการติดตั้งเป็นแผ่นผ้าเปดาน ส่วนเส้นใยแก้วมีองค์ประกอบหลักคือซิลิกา (SiO_2) 50.5% และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) 35% สำหรับเติมเพื่อช่วยเรื่องการเสริมแรงแผ่นผ้าเปดานเช่นเดียวกัน

นอกจากนี้ทางผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์เส้นใยชนิดอื่นที่มีการใช้งานอยู่ในอุตสาหกรรมเพื่อเพิ่มทางเลือกของการใช้เส้นใยในการเสริมแรงแผ่นผ้าเปดานของเส้นใยไฟเบอร์ชนิดที่ 1, เส้นใยไฟเบอร์ชนิดที่ 2, เส้นใยอะลูมินา, เส้นใยแก้วทอผืน เปรียบเทียบกับเส้นใยที่พบในแผ่นผ้าเปดานเกรดการค้าด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) ดังแสดง

ในตารางที่ 5 พบว่าเส้นใยที่ใช้อยู่ในแผ่นผ้าเพดานเกรดการค้ามีองค์ประกอบทางเคมีของซิลิกา (SiO_2), อะลูมินา (Al_2O_3), แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ใกล้เคียงกับเส้นใยเบอร์ชนิดที่ 1 และชนิดที่ 2 มากที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เส้นใยแก้วชนิดที่ 1 เดิมลงในสูตรการผลิตแผ่นผ้าใยปซัม

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นผ้าเพดานเปรียบเทียบกับแผ่นผ้าเพดานเกรดการค้า

องค์ประกอบ	ผงยิปซัม	ดินขาว	แผ่นผ้าเกรด	เส้นใย	เส้นใยแก้ว
Composition	Fib(9% wt) (% wt)	Fib(9% wt) (% wt)	เส้นใยเกรดผ้า (1% wt) (% wt)	เส้นใยเกรดผ้า (1% wt) (% wt)	เส้นใยเกรดผ้า (1% wt) (% wt)
SO ₃	48.2	326 ppm	34.6	15.4	782 ppm
CaO	36.7	0.146	26.8	25.7	35.0
SrO	843 ppm	34.6 ppm	430 ppm	-	84.4 ppm
SiO ₂	574 ppm	62.7	0.440	17.4	50.5
MgO	284 ppm	0.186	382 ppm	1.85	0.184
Fe ₂ O ₃	155 ppm	0.693	145 ppm	5.30	0.681
Al ₂ O ₃	-	21.8	0.113	6.53	12.3
K ₂ O	-	3.65	65.9 ppm	3.58	0.835
Na ₂ O	-	0.783	-	11.1	-
TiO ₂	-	0.173	91.4 ppm	-	0.179
Rb ₂ O	-	406 ppm	-	-	112 ppm
BaO	-	261 ppm	-	-	-
Cl	-	136 ppm	-	12.1	-
MnO	-	122 ppm	-	-	238 ppm
P ₂ O ₅	-	120 ppm	-	-	-
ZrO ₂	-	84.6 ppm	-	-	23.4 ppm
PbO	-	65.6 ppm	-	-	-
ZnO	-	43.2 ppm	-	-	0.272
Ga ₂ O ₃	-	37.5 ppm	-	-	-
CuO	-	28.8 ppm	-	1.00	96.3 ppm
Nb ₂ O ₅	-	28.6 ppm	-	-	-
As ₂ O ₃	-	23.9 ppm	-	-	-
NiO	-	22.7 ppm	-	-	-
Y ₂ O ₃	-	19.1 ppm	-	-	-
TiO ₂	-	-	-	-	-
BaO	-	-	-	-	-
CH ₄ O	-	-	-	-	-
H ₂ O	13.244	8.11	-	-	-
Total	100	100	63.067	99.96	101.29

ตาราง

ที่ 5

องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยวัตถุดิบที่ใช้เพื่อเพิ่มการเสริมแรงแผ่นผ้าเปดานเปรียบเทียบกับเส้นใยที่พบในแผ่นผ้าเปดานเกรดการค้า

SO ₃	0.359	515 ppm	0.824	902 ppm	18.8
CaO	30.6	31.2	0.413	33.5	35.0
SrO	426 ppm	0.135	-	326 ppm	616 ppm
SiO ₂	51.7	52.3	37.8	50.3	34.9
MgO	2.70	0.636	-	0.389	0.406
Fe ₂ O ₃	0.413	0.441	894 ppm	0.838	-
Al ₂ O ₃	12.1	13.7	28.8	13.4	9.47
K ₂ O	936 ppm	0.105	-	0.405	-
Na ₂ O	1.06	0.536	0.137	0.492	-
TiO ₂	0.760	0.871	0.100	0.447	0.761
Rb ₂ O	-	-	-	-	-
BaO	-	-	-	-	-
Cl	782 ppm	209 ppm	-	251 ppm	-
MnO	-	-	-	129 ppm	-
P ₂ O ₅	354 ppm	-	-	-	-
ZrO ₂	191 ppm	-	27.9	-	-
PbO	-	-	-	-	-
ZnO	46.4 ppm	56.2 ppm	-	-	-
Ga ₂ O ₃	-	-	-	-	-
CuO	-	84.4 ppm	-	153 ppm	-
Nb ₂ O ₅	-	-	-	-	-
As ₂ O ₃	-	-	-	-	-
NiO	-	-	-	-	-
Y ₂ O ₃	-	-	941 ppm	-	-
TiO ₂	-	-	-	-	-
BaO	-	-	-	-	-
CH ₄ O	-	-	-	-	-
H ₂ O	-	-	-	-	-
Cr ₂ O ₃	263 ppm	-	-	675 ppm	-
HfO ₂	-	-	3.81	-	-
MoO ₃	-	-	-	75.2 ppm	-
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	0.249
Total	100	100	100	100	100

ตารางที่ 6 ค่าความหนาแน่นโดยรวม (Bulk density) ของแผ่นฝ้ายิปซัม

รหัสตัวอย่าง	ความกว้าง (cm)	ความยาว (cm)	ความหนา (cm)	ความหนาแน่นโดยรวม (Bulk density, g/cm ²)
P0-0-0	23.20	33.50	1.05	1.1363
P0-0-10	23.20	33.50	1.75	1.0142
P0-0-20	23.20	33.50	1.58	0.8947
P0-0-30	23.20	33.50	1.58	0.8906
P0-0-40	23.20	33.50	1.54	0.8312

P0-0-50	23.20	33.50	1.20	0.7125
P5-0-0	23.20	33.50	1.20	1.0380
P5-10-0	23.20	33.50	1.82	0.7875
P5-20-0	23.20	33.50	1.82	0.8410
P5-30-0	23.20	33.50	1.87	0.8687
P5-40-0	23.20	33.50	2.13	0.8646
P5-50-0	23.20	33.50	3.80	1.0824
P0-10-0	23.20	33.50	1.70	1.0065
P0-20-0	23.20	33.50	2.00	0.8817
P0-30-0	23.20	33.50	2.20	0.8371
P0-40-0	23.20	33.50	2.20	0.8490
P0-50-0	23.20	33.50	-	**
P10-0-30	23.20	33.50	1.62	0.6867
P20-0-30	23.20	33.50	1.77	0.7911
P30-0-30	23.20	33.50	1.53	0.8774

หมายเหตุ

P0-0-0 หมายถึง ชั้นที่ 1 คือแผ่นฝ้ายิปซั่ม 100% - ชั้นที่ 2 ไม่เติมน้ำยาคอมปาวด์มีเฉพาะเส้นใยไฟเบอร์เสริมแรง 10 กรัม - ชั้นที่ 3 คือแผ่นฝ้ายิปซั่ม 100%

P0-0-10 หมายถึง ชั้นที่ 1 คือแผ่นฝ้ายิปซั่ม 100% - ชั้นที่ 2 ไม่เติมน้ำยาคอมปาวด์มีเฉพาะเส้นใยไฟเบอร์เสริมแรง 10 กรัม - ชั้นที่ 3 คือแผ่นฝ้ายิปซั่ม 90% ผสมเส้นใยเซลลูโลส 10% โดยน้ำหนัก

P5-10-0 หมายถึง ชั้นที่ 1 คือแผ่นฝ้ายิปซั่ม 95% ผสมเส้นใยเซลลูโลส 5% โดยน้ำหนัก - ชั้นที่ 2 เติมน้ำยาคอมปาวด์ 10% โดยน้ำหนัก และเส้นใยไฟเบอร์เสริมแรง 10 กรัม - ชั้นที่ 3 คือแผ่นฝ้ายิปซั่ม 100% โดยน้ำหนัก

P5-50-0 หมายถึง ชั้นที่ 1 คือแผ่นฝ้ายิปซั่ม 95% ผสมเส้นใยเซลลูโลส 5% โดยน้ำหนัก - ชั้นที่ 2 เติมน้ำยาคอมปาวด์ 50% โดยน้ำหนัก และเส้นใยไฟเบอร์เสริมแรง 10 กรัม - ชั้นที่ 3 คือแผ่นฝ้ายิปซั่ม 100% โดยน้ำหนัก

P0-50-0 ** หมายถึง ชั้นที่ 1 คือแผ่นฝ้ายิปซั่ม 100% โดยน้ำหนัก - ชั้นที่ 2 เติมน้ำยาคอมปาวด์ 50% โดยน้ำหนัก และเส้นใยไฟเบอร์เสริมแรง 10 กรัม - ชั้นที่ 3 คือแผ่นฝ้ายิปซั่ม 100% โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปยาก ต้องเทหนาจากตารางข้อมูลที่ 6 แสดงค่าความหนาแน่นโดยรวม (Bulk density) ของตัวอย่างแผ่นยิปซั่มชนิดเต็มและไม่เติมน้ำยารวมทั้งชนิดเต็มและไม่เติมเส้นใยเซลลูโลสในชั้นยิปซั่มที่ 1 และ 3 เพื่อศึกษาผลการเติมเส้นใยเซลลูโลสลงในชั้นของยิปซั่มพบว่าการเติมปริมาณเส้นใยเซลลูโลสในชั้นที่ 1 และ 3 ของแผ่นยิปซั่มจะส่งผลดีที่ทำให้น้ำหนักโดยรวมของแผ่นยิปซั่มมีน้ำหนักเบาลงแต่หากเติมมากเกินไปเกินกว่า 20% โดยน้ำหนัก จะส่งผลที่ไม่ค่อยดีคือแผ่นยิปซั่มแห้งช้าและส่งผลต่อการเกิดเชื้อราบนผลิตภัณฑ์ได้ง่าย รวมทั้งใช้เวลานานในการเซตตัวส่งผลเสียต่อระยะเวลาของการถอดขึ้นงานออกจากแบบพิมพ์ที่ต้องรอนานมากขึ้น แต่หากเติมเส้นใยเซลลูโลสประมาณ 5-10% โดยน้ำหนัก ในชั้นที่ 1 และเติมเส้นใยเซลลูโลสในชั้นที่ 3 ของแผ่นยิปซั่มที่สัดส่วน 20-30% โดยน้ำหนัก พบว่าส่งผลดีที่ทำให้น้ำหนักแผ่นฝ้ายิปซั่มเบา และถอดขึ้นงานออกจากแบบพิมพ์ได้ง่าย สะดวก สำหรับปริมาณน้ำยาคอมปาวด์ที่เติมลงในชั้นที่ 2 ของแผ่นฝ้ายิปซั่ม หากเติมปริมาณมากจะส่งผลต่อค่าความหนาแน่นโดยรวม (Bulk density) ของแผ่นฝ้ายิปซั่มที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะหากเติมมากเกินไปสัดส่วน 40-50% โดยน้ำหนัก จะทำให้การขึ้นรูปแผ่นยิปซั่มค่อนข้างยาก เนื่องจากต้องเพิ่มปริมาณยิปซั่มในชั้นที่ 3 ของการเทส่วนผสมยิปซั่มทับชั้นที่ 2 ซึ่งเป็นชั้นของน้ำยาคอมปาวด์

ต่อจากนั้นผู้วิจัยจึงทำการทดสอบการรับแรงทางกล การทน หรือการต้านทานความร้อนและการดูดซับเสียง เพื่อเป็นข้อมูลประกอบในการปรับสูตรการเตรียมแผ่นฝ้าเพดานโดยทำการทดสอบการทดสอบการรับแรงดึง (Tensile strength) ของเส้นใยชนิดที่ 1 ที่เลือกใช้สำหรับการเสริมแรงแผ่นฝ้ายิปซั่ม ดังข้อมูลแสดงในตารางที่ 7 ขนาดความยาว

โดยเฉลี่ย 10.00 ± 0.005 cm. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.10 ± 0.005 cm. ค่าน้ำหนักเส้นใยต่อเส้น โดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0058 ± 0.001 g และค่าการรับแรงดึงโดยเฉลี่ยเท่ากับ 6.57 ± 2.51 MPa ได้ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 7 การรับแรงดึงของเส้นใย (Tensile strength) ที่ใช้เสริมแรงของแผ่นยิปซัม

ตัวอย่าง	ความยาว (cm)	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (cm)	น้ำหนัก (g)	การรับแรงดึง (Tensile strength) MPa
เส้นใยแก้ว	10.00 ± 0.005	0.10 ± 0.005	0.0058 ± 0.001	6.57 ± 2.51

ตารางที่ 8 การรับแรงดัดโค้ง (Flexural strength)

ตัวอย่าง	ความยาว (cm)	ความกว้าง (cm)	ความหนา (cm)	น้ำหนัก (g)	การรับแรงดัดโค้ง (Flexural strength) (MPa)
P0-0-0	24.1	33.5	1.2	1121.8	10.34 ± 0.005
P0-0-10	24.2	33.6	1.7	1324.7	10.93 ± 0.005
P0-0-20^a	24.1	33.9	2.1	1357.6	13.56 ± 0.005
P0-0-30	24.2	33.8	1.9	1403.8	9.98 ± 0.005
P0-0-40	24.3	33.5	1.9	1468.9	8.03 ± 0.005
P0-0-50	24.2	33.9	2.5	1432.2	3.68 ± 0.005
P5-10-0	24.0	33.6	2.0	1170.6	5.72 ± 0.005
P5-20-0^b	24.1	33.6	2.0	1245.3	7.11 ± 0.005
P5-30-0	24.2	33.7	2.0	1318.6	5.90 ± 0.005
P5-40-0^c	24.3	33.5	2.3	1399.8	10.85 ± 0.005
P5-50-0 ^d	ขึ้นรูปไม่ได้	-	-	-	-
P0-30-0	24.1	33.5	1.3	885.9	5.68 ± 0.005
P10-30-0	24.0	33.4	1.5	865.1	6.70 ± 0.005
P20-30-0^d	24.1	33.6	1.6	847.4	7.10 ± 0.005
P30-30-0 ^e	24.0	33.8	1.8	804.3	8.64 ± 0.005

หมายเหตุ

P0-0-20^a หมายถึง ชั้นที่ 1 คือแผ่นฝ้ายปซัม 100% - ชั้นที่ 2 ไม่เติมน้ำยาคอมปาวด์มีเฉพาะเส้นใยไฟเบอร์เสริมแรง 10 กรัม - ชั้นที่ 3 คือแผ่นฝ้าย 80% ผสมเส้นใยเซลลูโลส 20%

P5-20-0^b หมายถึง ชั้นที่ 1 คือแผ่นฝ้ายปซัม 100% - ชั้นที่ 2 เติมน้ำยาคอมปาวด์ 20% โดยน้ำหนัก ผสมกับเส้นใยไฟเบอร์เสริมแรง 10 กรัม - ชั้นที่ 3 คือแผ่นฝ้ายปซัม 100%

P5-40-0^c หมายถึง ชั้นที่ 1 คือแผ่นฝ้ายปซัม 95% ผสมกับเส้นใยเซลลูโลส 5% - ชั้นที่ 2 เติมน้ำยาคอมปาวด์ 40% ผสมกับเส้นใยไฟเบอร์เสริมแรง 10 กรัม - ชั้นที่ 3 คือแผ่นฝ้ายปซัม 100%

P5-50-0^d หมายถึง ชั้นที่ 1 คือแผ่นฝ้ายปซัม 95% ผสมกับเส้นใยเซลลูโลส 5% - ชั้นที่ 2 เติมน้ำยาคอมปาวด์ 50% ผสมกับเส้นใยไฟเบอร์เสริมแรง 10 กรัม - ชั้นที่ 3 คือแผ่นฝ้ายปซัม 100%

P30-30-0^e หมายถึง ชั้นที่ 1 คือแผ่นฝ้ายปซัม 95% ผสมกับเส้นใยเซลลูโลส 5% - ชั้นที่ 2 เติมน้ำยาคอมปาวด์ 50% ผสมกับเส้นใยไฟเบอร์เสริมแรง 10 กรัม - ชั้นที่ 3 คือแผ่นฝ้ายปซัม 100%

ต่อจากนั้นทำการเลือกตัวอย่างเพื่อทดสอบการรับแรงดัดโค้งของแผ่นฝ้ายปซัมที่เตรียมได้ดังข้อมูลแสดงในตารางที่ 8 แสดงผลการรับแรงดัดโค้ง (Flexural strength or bending strength) โดยเลือกตัวอย่างที่สามารถขึ้นรูปแผ่นได้ดี เรียบ สวยงาม มีความแข็งแรง และน้ำหนักเบา เพื่อทำการทดสอบการรับแรงดัดโค้ง จากข้อมูลการทดสอบ

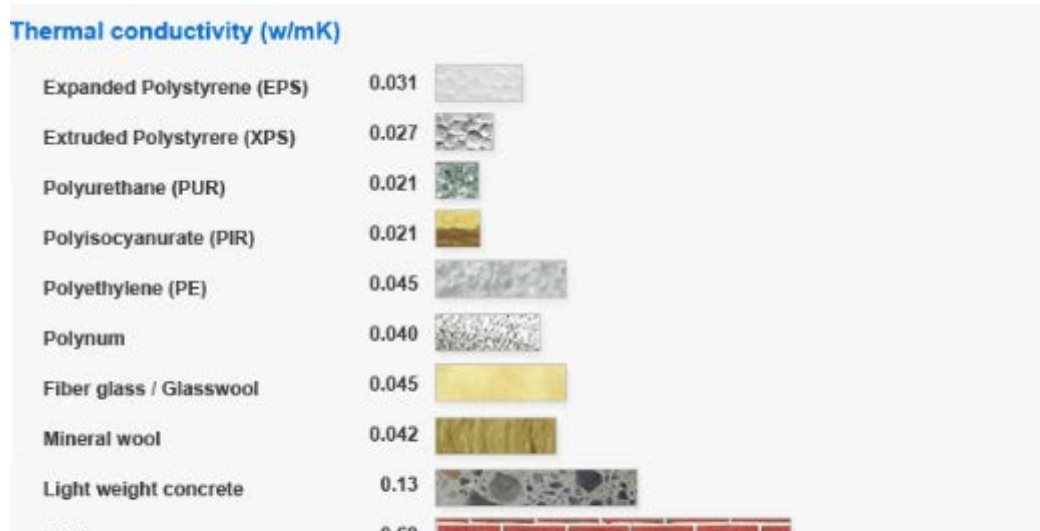
การรับแรงดัดโค้ง สรุปลงในเบื้องต้นได้ว่า ตัวอย่างรหัส P5-20-0, P0-0-20, P5-40-0 เป็นตัวอย่างที่มีคุณภาพของการรับแรงดัดโค้ง (Flexural strength or bending strength) ดีที่สุด ได้ค่าการทดสอบเท่ากับ 7.11 ± 0.005 , 13.56 ± 0.005 และ 10.85 ± 0.005 MPa โดยทางผู้วิจัยได้ทำการปรับสูตรการเตรียมแผ่นผ้าเพดานเป็น P5-20-20, P5-30-20 และ P5-40-20 เพื่อให้ได้ค่าการรับแรงทางกลที่ดีที่สุด

เมื่อทำการทดสอบการนำความร้อนของแผ่นผ้าใยปซัมตามมาตรฐาน ASTM C 518 เพื่อให้ได้ข้อมูลในการปรับสูตรการเตรียมแผ่นผ้าเพดานโดยสูตรที่เหมาะสม ควรเป็นสูตรที่มีการนำความร้อนต่ำหรือการต้านทานความร้อนสูง กำหนดช่วงอุณหภูมิการวิเคราะห์จากเริ่มต้น 20°C จนถึง 50°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิมาตรฐานของสภาพการใช้งานจริง ภายในอาคารได้ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 9 พบว่าตัวอย่างรหัส **P5-30-0** มีค่าการนำความร้อนค่อนข้างต่ำเพียง 0.3868 ± 0.0003 W/m.K และจากข้อมูลทดสอบเรื่องการรับแรงดัดโค้งพบว่าตัวอย่างรหัส P5-20-0, P0-0-20, P5-40-0 ได้ค่าการรับแรงค่อนข้างดี ดังนั้นสูตรที่น่าสนใจศึกษาเพิ่มเติมคือสูตร P5-20-20, P5-30-20 และ P5-40-20 ที่ต้องการให้รับแรงได้ดี มีค่าการนำความร้อนต่ำ น้ำหนักเบา และทางผู้วิจัยจะดำเนินการปรับสูตรพร้อมกับการเติมสารเพิ่มฟองชนิดโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3)

ตารางที่ 9 ผลทดสอบค่าการนำความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM C518

ตัวอย่าง	ความหนา (m)	อุณหภูมิเริ่มการทดสอบ ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิหลังการทดสอบ ($^{\circ}\text{C}$)	ค่าการนำความร้อน (W/m.K)
ไม่เติมน้ำยา P5-0-0	0.02761 ± 0.0005	20.00	50.00	0.4110 ± 0.0003
เติมน้ำยา 10% P5-10-0	0.02978 ± 0.0005	20.00	50.00	0.3928 ± 0.0003
เติมน้ำยา 20% P5-20-0	0.03152 ± 0.0005	20.00	50.00	0.7981 ± 0.0003
เติมน้ำยา 30% ^a P5-30-0	0.03343 ± 0.0005	20.00	50.00	0.3868 ± 0.0003
เติมน้ำยา 40% P5-40-0	0.03237 ± 0.0005	20.00	50.00	0.5897 ± 0.0003
เติมน้ำยา 50% P5-50-0	0.03650 ± 0.0005	20.00	50.00	0.7540 ± 0.0003

^a คือ ตัวอย่าง P5-30-0 คือตัวอย่างชั้นที่ 1 คือแผ่นผ้าใยปซัม 95% - ชั้นที่ 2 เติมน้ำยาคอมปาวด์ 30% โดยน้ำหนัก ผสมกับเส้นใยไฟเบอร์เสริมแรง 10 กรัม - ชั้นที่ 3 คือแผ่นผ้าใยปซัม 100%

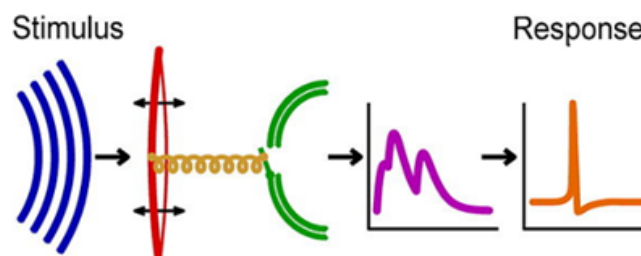


รูปที่ 18 แสดงการเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนของวัสดุชนิดต่างๆ ที่มาข้อมูล Greatwall (1988) Co.,Ltd.

Greatwall Insulation Co.,Ltd.59 ถ.ปทุมธานี-ลาดหลุมแก้ว อ.เมือง จ.ปทุมธานี 12000

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากข้อมูลอื่นด้านสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุชนิดอื่นดังแสดงในรูปที่ 18 พบว่าตัวอย่างแผ่นฝ้ายปซัมที่เตรียมได้มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำกว่าอิฐและคอนกรีต แต่ยังมีค่าค่อนข้างมากอยู่เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุที่เป็นเส้นใยและพอลิเมอร์ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงต้องการปรับปรุงสูตรให้ได้แผ่นฝ้ายที่มีความพรุนตัวสูงกว่าเดิมโดยการเติมสารเพิ่มฟองชนิดโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ซึ่งทางผู้วิจัยมีประสบการณ์การในการทำวิจัยเรื่องยางฟองมาก่อนหน้านี้ และการเพิ่มเติมเส้นใยเซลลูโลสลงในชั้นของแผ่นฝ้ายปซัมเพื่อช่วยเรื่องการเพิ่มรูพรุนภายในชั้นที่จะสามารถช่วยลดค่าการนำความร้อนได้อีกทางหนึ่งและจะได้รายงานผลวิจัยในรอบถัดไป

ต่อจากนั้นผู้วิจัยได้นำตัวอย่างชุดเดียวกันที่ได้ทำการทดสอบการรับแรงดัดโค้งทางกล การนำความร้อน ทำการทดสอบการดูดซับเสียงเพื่อประโยชน์สำหรับการใช้งานด้านการติดตั้งภายในอาคารโดยการทดสอบในช่วงค่าความถี่เสียง 50 Hz-6.4 kHz. เนื่องจากเสียงเป็นคลื่นเชิงกลที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของวัตถุ เมื่อวัตถุสั่นสะเทือน ก็จะทำให้เกิดการอัดตัวและขยายตัวของคลื่นเสียง และถูกส่งผ่านตัวกลาง เช่น อากาศ ไปยังหู แต่เสียงสามารถเดินทางผ่านสสารในสถานะก๊าซ ของเหลว และของแข็งก็ได้ แต่ไม่สามารถเดินทางผ่านสุญญากาศได้ ดังรูปที่ 19



แผนภูมิแสดงการได้ยินเสียง (น้ำเงิน : คลื่นเสียง; แดง : แก้วหู; เหลือง : กลอเคลีย; เขียว : เซลล์รับความรู้สึกได้ยิน; ม่วง : สเปกตรัมความถี่) ของการตอบสนองการได้ยิน; สัม: อิมพัลส์ประสาท)

รูปที่ 19 แผนภาพแสดงการได้ยินเสียง (น้ำเงิน : คลื่นเสียง; แดง : แก้วหู; เหลือง : กลอเคลีย; เขียว : เซลล์รับความรู้สึกได้ยิน; ม่วง : สเปกตรัมความถี่) ของการตอบสนองการได้ยิน; สัม: อิมพัลส์ประสาท) + :: คลังความรู้สู่ความเป็นเลิศทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และเทคโนโลยี

จากรูปแสดงการส่งผ่านของเสียงผ่านหู โดยระดับคลื่นเสียงที่มนุษย์ได้ยิน (Audible waves) ซึ่งโดยปกติแล้วความถี่ของเสียงที่มนุษย์ได้ยินนั้นมีค่าตั้งแต่ 20 ถึง 20,000 เฮิรตซ์ อันเป็นเสียงจากเครื่องดนตรี, เสียงพูดคุยของมนุษย์ หรือเสียงจากลำโพง โดยระดับการได้ยินเสียงของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด มีความแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ความแตกต่างของแหล่งกำเนิดเสียงในช่วงความถี่ต่างๆ ที่มาข้อมูล 2017 SCIMATH :: คลังความรู้สู่ความเป็นเลิศทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และเทคโนโลยี

Species	Approximate (Hz)	Species	Approximate (Hz)
Human	64 - 23,000	Beluga whale - ปลาวาฬ	1,000 - 123,000
Dog	67 - 45,000	Bat - ค้างคาว	2,000 - 110,000
Cat	45 - 64,000	Elephant	16 - 12,000
Cow	23 - 35,000	Porpoise	75 - 150,000
Horse	55 - 33,500	Goldfish	20 - 3,000
Sheep	100 - 30,000	Catfish	50 - 4,000
Rabbit	360 - 42,000	Tuna	50 - 1,100
Rat	200 - 76,000	Bullfrog	100 - 3,000
Moose	1,000 - 21,000	Tiger	50 - 4,000

ความเร็วของคลื่นเสียงนั้นเรียกว่าความถี่ (frequency) ส่วนหน่วยวัดค่าความถี่นั้นเรียกว่า เฮิรตซ์ (hertz) ใช้ตัวย่อว่า Hz ความถี่เป็นสิ่งสำคัญทำให้เราสามารถแยกแยะได้ว่าเสียงต่างๆ ที่เราได้ยินนั้นคืออะไรและเพราะความหลากหลายของความถี่ที่เกิดขึ้นมาของเสียงแต่ละแบบเปรียบได้กับลายนิ้วมือของคนเรา ซึ่งจะมีลักษณะเฉพาะของแตละนิ้วมือ จึงทำให้เราสามารถแปลได้ว่าเสียงที่ได้ยินคืออะไรและบอกได้ว่าเสียงที่ได้ยินคืออะไร ช่วงความถี่ของเสียงที่ได้ยินนิยมอ้างอิงอยู่ในช่วง 20 Hz-20 kHz ในสภาวะอุดมคติของห้องทดลอง มนุษย์อาจได้ยินเสียงความถี่ต่ำถึง 12 Hz และความถี่สูงถึง 28 kHz (หรือมากกว่า 100 dB SPL) แม้ว่าความดังที่เป็นขีดเริ่มเปลี่ยนจะเพิ่มอย่างมากที่ความถี่ 15 kHz ในผู้ใหญ่ สำหรับมนุษย์จะมีความไวเสียงที่ความถี่ 2,000-5,000 Hz มากที่สุด คือสามารถได้ยินเสียงที่ค่อยที่สุดในช่วงความถี่นั้น นอกจากนี้ระดับความสามารถของการได้ยินของแต่ละคนจะขึ้นอยู่กับสภาพทั่วไปของหูและระบบประสาท

ความไวในการได้ยิน ดรชนิความไวในการได้ยินคือ เทอร์ชโฮลด์ของการได้ยินเทอร์ชโฮลด์ของการได้ยินขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ความถี่ของคลื่นเสียง การปรับตัว อายุและพยาธิสภาพของระบบรับคลื่นเสียงคนเรามีความไวในการได้ยินคลื่นเสียงที่มีความถี่ในช่วง 1-6 kHz (1-5 กิโลเฮิรตซ์ ซึ่งเท่ากับ 1,000-5,000 Hz) มากที่สุด ในช่วงความถี่ต่ำกว่า 1 kHz เทอร์ชโฮลด์การได้ยินเพิ่มสูงขึ้นมาก แต่ในช่วงความถี่สูงกว่า 5 kHz เทอร์ชโฮลด์การได้ยินสูงกว่าในช่วง 1-5 kHz เล็กน้อย ในการฟังดนตรีเราจึงไม่ค่อยจะได้ยินเสียงที่มีความถี่ต่ำเช่นเสียงเบส เสียงเชลโล หรือถ้าได้ยินเสียง ก็จะไม่ค่อยดังนัก ทั้งนี้เพราะว่าเสียงเหล่านี้มีความถี่ต่ำกว่า 1 kHz เรามีความไวต่อเสียงในช่วงนี้น้อยมาก การได้ยินคลื่นเสียงที่มีความแรงมากๆ ติดต่อกันเป็นระยะเวลาต่อเนื่องกัน ทำให้ระบบรับเสียงต้องปรับตัวโดยยกระดับเทอร์ชโฮลด์การได้ยินให้สูงขึ้น การยกระดับนี้อาจมีผลเพียงชั่วคราว หรืออาจมีผลถาวรก็ได้ ในกรณียกระดับชั่วคราว เทอร์ชโฮลด์จะกลับคืนสู่ระดับปกติภายในไม่กี่นาที เช่นเสียงปืนใหญ่ทำให้หูอื้อ เทอร์ชโฮลด์การได้ยินเพิ่มสูงขึ้น แต่จะเพียงชั่วคราวเท่านั้นแล้วก็กลับคืนสู่ระดับปกติ แต่ถ้าได้ยินเสียงปืนใหญ่เป็นเวลาดูติดต่อกันยาวนาน การยกระดับเทอร์ชโฮลด์อาจเป็นการถาวร ทำให้หูตึง อาการหูตึงบางที่เกิดโดยไม่รู้ตัว เพราะอาการตึงมักเกิดกับเสียงที่มีความถี่ในช่วง 4-6 kHz มากที่สุด ส่วนเสียงที่มีความถี่ต่ำกว่า 1.5 kHz ลงมาอาการตึงจะไม่ปรากฏ และเนื่องจากเสียงพูดคุยในชีวิตประจำวันมีความถี่อยู่ในช่วงต่ำกว่า 1 kHz ดังนั้นจึงไม่รู้สึกว่าตนเองหูตึงเวลาพูดคุยกับคนอื่น ความไวในการได้ยินของคนลดน้อยลงตามระดับอายุตั้งแต่ 25 ปีเป็นต้นไป ความไวในการได้ยินจะค่อยๆ ลดน้อยลง และจะเกิดในผู้ชายมากกว่าผู้หญิง ความไวในการได้ยินลดมากที่สุดในช่วงความถี่สูงๆ ที่ความถี่ 8 kHz ผู้ชายที่มีอายุ 50 ปี จะมีเทอร์ชโฮลด์การได้ยินสูงขึ้นกว่าเดิมถึง 20 db ผู้ที่มีระบบรับเสียงผิดปกติ เกิดมีพยาธิสภาพ ความไวในการได้ยินก็จะถูกกระทบกระเทือน หากเกิดพยาธิสภาพในหูชั้นนอกและหูชั้นกลาง อาการหูตึงหรือหูหนวกก็จะเกิดขึ้น แต่อาการเช่นนี้สามารถแก้ไขได้โดยการรักษาหรือใช้เครื่องช่วยฟังขยายเสียงหรือส่งเสียงผ่านทาง กระดูกเข้าหูชั้นในโดยตรง แต่ถ้าพยาธิสภาพเกิดในระบบประสาทหู อาการหูตึงหรือหูหนวกก็จะรักษาไม่ได้

ดังรูปที่ 20 แสดงลักษณะความแตกต่างของคลื่นความถี่เสียงระหว่างคลื่นความถี่สูงและคลื่นความถี่ต่ำ



รูปที่ 20 ลักษณะความแตกต่างของคลื่นความถี่เสียงสูงและเสียงต่ำ ที่มาข้อมูล 2017 SCIMATH :: คลังความรู้สู่ความเป็นเลิศทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และเทคโนโลยี

นอกจากนี้ยังมีข้อมูลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ต่อระดับความดังของเสียงที่ส่งผลกระทบต่อการได้ยินดังตารางที่ 11 โดยเฉพาะระดับความถี่ตั้งแต่ 2000 Hz ขึ้นไป ค่าความดังค่อนข้างมาก เสียงที่จะเป็นอันตรายต่อการได้ยิน เช่น แก้วหูตึง และสูญเสียการได้ยินในระยะยาว ดังนั้นการใช้วัสดุดูดซับเสียงภายในอาคาร จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ดีต่อผู้อยู่อาศัยหรือผู้ที่ใช้อาคารสถานที่ดังกล่าวในระยะยาวต่อระบบประสาทหู ดังข้อมูลในตารางที่ 12

ตารางที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่กับระดับความดังของเสียง ที่มาของข้อมูล 2017 SCIMATH :: คลังความรู้สู่ความเป็นเลิศทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และเทคโนโลยี

ความถี่กลาง (Hz)	ระดับความดัง (dB)
63	66
125	63
250	65
500	70
1000	73
2000	76
4000	81
8000	79

ตารางที่ 12 ข้อมูลแหล่งกำเนิดเสียงและระดับความเข้มเสียงที่ส่งผลกระทบต่อารับฟัง ที่มาของข้อมูล 2017 SCIMATH :: คลังความรู้สู่ความเป็นเลิศทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์และเทคโนโลยี

แหล่งกำเนิดเสียง	ระดับความเข้มเสียง (เดซิเบล, dB)	ผลการรับฟัง
การหายใจปกติ	10	แทบจะไม่ได้ยิน
การกระซิบแผ่วเบา	30	เสียงเบา
สำนักงานที่เงียบ	50	เสียง
การพูดคุยธรรมดา	60	ปานกลาง

เครื่องดูดฝุ่น	75-80	ดัง
โรงงาน, ถนนที่มีการจราจรหนาแน่น	90	ดัง
เครื่องเสียงสเตอริโอในห้อง, เครื่องเจาะถนนแบบอัตโนมัติ, เครื่องตัดหญ้า	100	รับฟังบ่อยๆ การได้ยินจะเสื่อมอย่างถาวร
ดิสโก้เธค, การแสดงดนตรีประเภทร็อก	130	ไม่สบายหู
ฟ้าผ่าระยะใกล้ๆ	150	เจ็บปวดในหู
เครื่องไอพ่นกำลังขึ้นใกล้ๆ, จรวดขนาดใหญ่กำลังขึ้นใกล้ๆ	180	แก้วหูชำรุดทันที

จากผลการทดลองนำตัวอย่างแผ่นฝ้าเพดานที่เตรียมได้ ทดสอบความสามารถการดูดซับเสียง ได้ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 13 และรูปที่ 21 โดยการรายงานค่าเป็น Noise Reduction Coefficient (NRC) คือ ตัวเลขที่จะระบุได้ถึงความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุ โดยที่ NRC คือค่าเฉลี่ยของ SAC (SAC หมายถึงค่าพลังงานเสียงที่ถูกดูดซับไปเมื่อพลังงานเสียงชนกระทบกับวัสดุดูดซับเสียงนั้น) โดยจะถูกวัดที่ 250, 500, 1,000, 2,000 Hz และปิดเศษให้อยู่ที่ 0.05 โดยทั่วไปค่า NRC จะต้องมีความมากกว่า 0.40 ถึงจะถือว่าเป็นวัสดุดูดซับเสียง (Acoustic) โดยเฉพาะวัสดุที่มีรูพรุนฉนวนจะยอมให้คลื่นเสียงทะลุผ่านไปได้น้อยมาก ซึ่งจะเป็นที่ที่พลังงานเสียงจะเปลี่ยนเป็นความร้อนเนื่องจาก ความเสียดทานระหว่างช่องอากาศกับเส้นใยวัสดุประเภทนี้สามารถมีค่า NRC ได้มากถึง 0.95 – 1.00 ขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นฉนวนซึ่งหมายถึงความหนาของแผ่นฝ้ายิปซัมสำหรับการทดลองนี้ วัสดุที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียงจะเรียกว่าวัสดอะคูสติกส์ (Acoustical Materials) ซึ่งอาจเป็นจำพวกไม้อัด หรือวัสดุอย่างอื่นก็ได้ โดยเฉพาะวัสดุที่มีผิวนิ่มหรือมีรูพรุน ถ้าวางหรือติดตั้งวัสดุเหล่านี้ในตำแหน่งที่ถูกต้องแล้ว ทุกคนที่อยู่ในบริเวณนั้นจะได้ยินเสียงชัดเจนทั่วถึงกันหมดไม่เกิดเสียงสะท้อนที่ทำให้เกิดการรบกวนกัน ไม่ว่าจะนั่งอยู่ที่จุดใดของห้องก็ตาม ตัวอย่างเช่น มุมของที่อาจจะ เป็นมุมอับของเสียง สถาปนิกอาจติดตั้งวัสดุบุผนังหรือเพดานที่มีการสะท้อนเสียงจากมุมอื่นมาช่วยเสริมเสียงตรงมุมอับก็ได้ หรือในส่วนที่มีเสียงสะท้อนมากๆ จนฟังไม่รู้เรื่อง สามารถแก้ไขได้โดยการบุวัสดุดูดซับเสียงหรือวัสดอะคูสติกส์ ในบริเวณนั้นๆ และการออกแบบห้องกับการบุวัสดุในแต่ละส่วนของห้องไม่จำเป็นจะต้องบุวัสดุกันเสียงทั่วทั้งห้อง

ตารางที่ 13 ผลทดสอบการดูดซับเสียงของแผ่นฝ้ายิปซัม

ตัวอย่าง	สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง ^a (%)					NRC ^b
	250 Hz.	500 Hz.	1000 Hz.	2000 Hz.	Average	
P0-0-0	10.07%	8.21%	15.35%	21.60%	13.81%	0.1381
P0-10-0	9.15%	8.05%	28.96%	29.33%	18.87%	0.1887
P0-20-0^{1*}	10.56%	9.40%	23.91%	42.48%	21.59%	0.2159
P0-30-0^{2*}	17.15%	15.87%	46.51%	27.60%	26.78%	0.2678
P0-40-0	12.75%	33.73%	27.78%	14.21%	22.12%	0.2212
P0-50-0	16.36%	26.46%	60.72%	53.42%	39.24%	0.3924

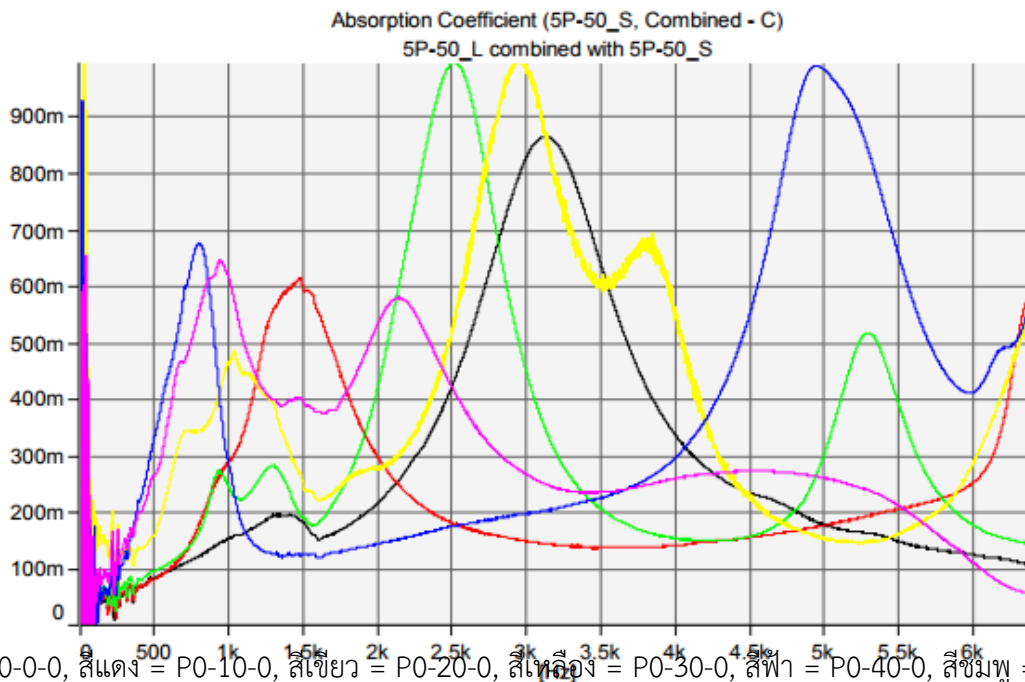
หมายเหตุ

^a คือ เปอร์เซ็นต์การดูดซับเสียง (the percentage of sound absorption coefficient)

^b คือ สัมประสิทธิ์การลดปริมาณเสียงรบกวน (Noise reduction coefficient)

P0-20-0¹ หมายถึง ตัวอย่างชั้นที่ 1 คือแผ่นฝ้ายิปซัม 100% - ชั้นที่ 2 เติมน้ำยางคอมปาวด์ 20% โดยน้ำหนัก ผสมกับเส้นใยไฟเบอร์เสริมแรง 10 กรัม - ชั้นที่ 3 คือแผ่นฝ้ายิปซัม 100%

P0-30-0² หมายถึง ตัวอย่างชั้นที่ 1 คือแผ่นฝ้ายิปซัม 100% - ชั้นที่ 2 เติมน้ำยางคอมปาวด์ 30% โดยน้ำหนัก ผสมกับเส้นใยไฟเบอร์เสริมแรง 10 กรัม - ชั้นที่ 3 คือแผ่นฝ้ายิปซัม 100%



สีดำ = P0-0-0, สีส้ม = P0-10-0, สีเขียว = P0-20-0, สีเหลือง = P0-30-0, สีฟ้า = P0-40-0, สีม่วง = P0-50-0
รูปที่ 21 สัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงในช่วงความถี่ 50 Hz-6.4 kHz.

P0-20-0¹ หมายถึง ตัวอย่างชั้นที่ 1 คือแผ่นฝ้ายิปซัม 100% - ชั้นที่ 2 เติมน้ำยางคอมปาวด์ 20% โดยน้ำหนัก ผสมกับเส้นใยไฟเบอร์เสริมแรง 10 กรัม - ชั้นที่ 3 คือแผ่นฝ้ายิปซัม 100%

P0-30-0² หมายถึง ตัวอย่างชั้นที่ 1 คือแผ่นฝ้ายิปซัม 100% - ชั้นที่ 2 เติมน้ำยางคอมปาวด์ 30% โดยน้ำหนัก ผสมกับเส้นใยไฟเบอร์เสริมแรง 10 กรัม - ชั้นที่ 3 คือแผ่นฝ้ายิปซัม 100%

จากข้อมูลในตารางที่ 13 และรูปที่ 21 แสดงผลการวิเคราะห์การดูดซับเสียง ของแผ่นฝ้าที่ยังไม่ได้เพิ่มเติมเส้นใยเซลลูโลสในชั้นที่ 1 และ 3 แต่มีการปรับเปลี่ยนสัดส่วนปริมาณน้ำยางคอมปาวด์ที่เติมในชั้นที่ 2 ตั้งแต่ 0, 10, 20, 30, 40, 50% โดยน้ำหนัก โดยการทดสอบช่วงคลื่นเสียงตั้งแต่ช่วงความถี่ 50 Hz จนถึง 6.4 kHz แล้วอ่านค่าคลื่นความถี่ที่ตำแหน่งคลื่นความถี่เสียง 250, 500, 1000, 2000 เฮิรตซ์ ตามลำดับ โดยพบว่าประสิทธิภาพการดูดซับเสียงขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำยางคอมปาวด์ที่เติมลงในแผ่นฝ้ายิปซัม ตัวอย่างที่มีประสิทธิภาพการดูดซับเสียงดีมากกว่า 40% หรือคิดเป็นค่า NRC ณ ค่าความถี่ในช่วงที่ส่งผลให้ผู้ฟังเกิดภาวะประสาทหูเสื่อมหรือหูตึงคือในช่วง 4000-6000 Hz โดยเฉลี่ยทั้งหมดคือ P0-20-0, P0-30-0, P0-40-0 และ P0-50-0 เท่ากับ 21.59, 26.78, 22.12, 39.24% ตามลำดับ สูงกว่าแผ่นฝ้ายิปซัมที่ไม่ได้เติมน้ำยาง P0-0-0 ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.81% แต่หากพิจารณาแต่ละช่วงความถี่เฉพาะการใช้งานพบว่า

ตัวอย่าง P0-10-0 คือการเติมน้ำยางคอมปาวด์ 10% โดยน้ำหนัก สามารถดูดซับเสียงได้ดีในช่วงความถี่เสียงเท่ากับ 1000-2000 เฮิรตซ์ ประมาณ 30% (0.3)

ตัวอย่าง P0-20-0 คือการเติมน้ำยางคอมปาวด์ 20% โดยน้ำหนัก สามารถดูดซับเสียงได้ดีในช่วงความถี่เสียงเท่ากับ 2000-3000 เฮิรตซ์ ประมาณ 43% (0.43)

- ตัวอย่าง P0-30-0 คือการเติมน้ำยางคอมปาวด์ 30% โดยน้ำหนัก สามารถดูดซับเสียงได้ดีในช่วงความถี่เสียงเท่ากับ 1000 และ 3000 เฮิรตซ์ประมาณ 47% (0.47) และ 43% (0.43) ตามลำดับ
- ตัวอย่าง P0-40-0 คือการเติมน้ำยางคอมปาวด์ 40% โดยน้ำหนัก สามารถดูดซับเสียงได้ดีในช่วงความถี่เสียงเท่ากับ 500 และ 5000 เฮิรตซ์ประมาณ 34% (0.34) และ 45% (0.45) ตามลำดับ
- ตัวอย่าง P0-50-0 คือการเติมน้ำยางคอมปาวด์ 50% โดยน้ำหนัก สามารถดูดซับเสียงได้ดีในช่วงความถี่เสียงเท่ากับ 1000 และ 2000 เฮิรตซ์ประมาณ 61% (0.61) และ 53% (0.53) ตามลำดับ

หมายความว่าปริมาณน้ำยางคอมปาวด์ที่เติมลงในสูตรการเตรียมแผ่นฝ้าเพดานจะส่งผลต่อค่าการดูดซับเสียงที่มีประสิทธิภาพแตกต่างกันในแต่ละช่วงคลื่นเสียง เนื่องจากระดับความดัง-ค่อยของเสียงแตกต่างกัน สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงของการใช้งาน และแนวโน้มค่าเฉลี่ยของการดูดซับเสียงก็จะดีกว่าตัวอย่างแผ่นฝ้าที่ไม่ได้เติมน้ำยางคอมปาวด์ สำหรับแนวทางการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแผ่นฝ้ายิปซัมคือ ทางผู้วิจัยจะเพิ่มเติมสารเพิ่มฟองเพื่อให้ชั้นของยางคอมปาวด์มีรูพรุนมากขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับเสียงได้สูงขึ้น โดยการเลือกใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ลงในสูตรน้ำยางคอมปาวด์จากประสบการณ์ที่ผู้วิจัยได้เคยทำการวิจัยเรื่องยางฟองเพื่อให้เนื้อยางคอมปาวด์หลังการคงรูปมีรูพรุนหรือฟองอากาศมากขึ้น ลงในสูตรที่ได้ผลของการรับแรงทางกล ทางความร้อน ค่อนข้างดีคือสูตร P0-20-0 และ P0-30-0 และปรับสูตรเป็น P5-20-20, P5-30-20, P5-40-20 แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับอีกครั้งหนึ่ง โดยภายในชั้นของยิปซัมจะเพิ่มเติมเส้นใยเซลลูโลส 5 และ 20% โดยน้ำหนัก เพื่อให้ชั้นยิปซัมมีน้ำหนักเบา แข็งแรง รับน้ำหนักดีและสามารถช่วยป้องกันเสียงได้ดีเช่นเดียวกัน และเปรียบเทียบค่าการดูดซับเสียงกับวัสดุชนิดอื่นดังรูปที่ 22

ค่าการดูดซับเสียงของวัสดุต่าง ๆ (Absorption Coefficient)

แยกความถี่

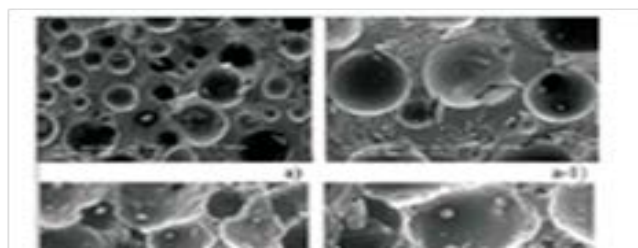
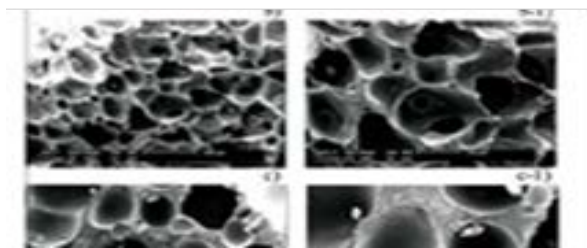
วัสดุ	ความถี่ (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
อิฐทาสี	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
กระจกหนา	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
ยิปซัมบอร์ด	0.29	0.10	0.05	0.04	0.07	0.09
ไม้อัด	0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11
พรมหนา บนพื้นคอนกรีต	0.02	0.06	0.14	0.37	0.60	0.65

ข้อมูลโดย ZEN ACOUSTIC

รูปที่ 22 แสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดซับเสียงของวัสดุต่างๆ

สรุปรายงานความก้าวหน้าของโครงการวิจัยในช่วง 6 เดือนแรก

จากวัตถุประสงค์ของการทดลองผลิตแผ่นฝ้ายิปซัมคอมพอสิตด้วยน้ำยางธรรมชาติคอมพาวด์ก็เพื่อเพิ่มสมบัติที่ต้องการคือ การรับแรงทางกลด้านแรงดัดโค้ง (Flexural strength or bending strength) เพิ่มความเหนียวให้สูงขึ้น น้ำหนักเบา ทนความร้อน ดูดซับเสียงดีโดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างแผ่นฝ้าเกรดการค้าที่ใช้งานทั่วไป และตาม มอก. 219-2552 แผ่นฝ้ายิปซัม โดยการเลือกใช้น้ำยางธรรมชาติคอมพาวด์ที่เตรียมขึ้นเองจากโครงการวิจัยประกอบด้วย 60% LA 115 phr, 50% Sulphur 5 phr, 50% ZDEC 2.5 phr, 50% ZMBT 2.5 phr, 50% ZnO 5 phr รวม น้ำหนักแห้งทั้งหมดเท่ากับ 115 phr พบว่าการเติมน้ำยางคอมพาวด์ และเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วที่เหมือนกับเส้นใยในแผ่นฝ้าเกรดการค้า รวมทั้งการเติมเส้นใยเซลลูโลส ภายในชั้นที่ 1 และชั้นที่ 3 ของแผ่นฝ้ายิปซัมจะส่งผลดีต่อแผ่นฝ้ายิปซัมที่เตรียมได้ดังนี้คือ ค่าความหนาแน่นโดยรวม (Bulk density) น้อยลง ทำให้น้ำหนักแผ่นฝ้ายิปซัมเบาลงเหมาะสมกับการติดตั้งในตำแหน่งเพดานโดยการกำหนดเส้นใยเซลลูโลสที่เหมาะสมสำหรับการเติมในชั้นที่ 1 ควรมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 5-10% โดยน้ำหนักและปริมาณเส้นใยที่เหมาะสมสำหรับการเติมในชั้นที่ 3 ควรมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 20-30% โดยน้ำหนัก สำหรับการเติมน้ำยางคอมพาวด์ที่เตรียมขึ้นเองจากโครงการวิจัยมีความเหมาะสมกว่าการใช้ น้ำยางพริ้วคานซ์ เนื่องจากน้ำยางพริ้วคานซ์เซ็ดตัวค่อนข้างช้ามากและจำเป็นต้องทำการบ่มเร่งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงจึงจะสามารถเซ็ดตัวได้ซึ่งไม่เหมาะกับการเตรียมแผ่นฝ้ายิปซัมในโครงการวิจัยนี้ สำหรับเติมลงในชั้นที่ 2 ของแผ่นฝ้ายิปซัมโดยสามารถเติมน้ำยางคอมพาวด์ได้ตั้งแต่ 5-40% โดยน้ำหนัก ทำให้ส่งผลดีต่อแผ่นฝ้ายิปซัมที่เตรียมได้คือทนต่อการรับแรงทางกล การต้านทานความร้อนดี และมีความสามารถในการดูดซับเสียงที่สูงขึ้น แต่ยังคงมีข้อควรแก้ไข ในเรื่องของค่าความหนาแน่นโดยรวม (Bulk density) ที่เพิ่มขึ้นหากใช้ปริมาณน้ำยางคอมพาวด์ในแผ่นฝ้ายิปซัมมากขึ้น รวมทั้งการเติมปริมาณน้ำยางคอมพาวด์มาก จำเป็นต้องเพิ่มความหนาของชั้นแผ่นฝ้ายิปซัมชั้นที่ 3 ให้มากขึ้น เพื่อคลุมหรือปกปิดชั้นน้ำยางคอมพาวด์ที่ 2 จากปัญหาดังกล่าวทางผู้วิจัยจะดำเนินการปรับสูตรน้ำยางคอมพาวด์เพิ่มเติม โดยการเติมสารเพิ่มฟองชนิดโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ลงในสูตรการขึ้นรูปแผ่นฝ้ายิปซัม และจากงานวิจัยที่ได้ทำเรื่องยางพองตั้งแต่ปี 2557 แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของการเติมสารเพิ่มฟองลงในยางธรรมชาติคอมพาวด์โดยการเปรียบเทียบสมบัติด้านต่างๆ จากการเติมสารเพิ่มฟองสองชนิดคือ DNPT และ NaHCO_3 และหากทางผู้วิจัยดำเนินการขึ้นรูปที่เติมเติมสารเพิ่มฟองเสร็จเรียบร้อยแล้วก็จะทำการทดสอบสมบัติทางกล ทางความร้อนและการดูดซับเสียงแผ่นฝ้ายิปซัมที่เตรียมได้เพิ่มเติม



รูปที่ 22 โครงสร้างทางจุลภาคของฉนวนยางฟอง a) เดิม DNPT และ b) เดิม NaHCO_3 ที่มาของข้อมูล โครงการวิจัยของ Nuchnapa Tangboriboon et al. (2014) ศึกษาการผลิตฉนวนยางฟองจากยางธรรมชาติชนิด STR 5L เพิ่มเติมสารเพิ่มฟอง 2 ชนิดคือ DNPT และโซเดียมไบคาร์บอเนต

รายงานผลครั้งที่ 2 ระยะเวลา 6 เดือนหลัง

ระหว่างวันที่ 30 พฤศจิกายน 2560 ถึง 28 พฤษภาคม 2561

จากสูตรการเตรียมตัวอย่างแผ่นฝ้าเพดานในตารางที่ 2 และ 3 ผู้วิจัยได้เตรียมตัวอย่างชิ้นที่เป็นยางให้มีลักษณะเป็นยางฟอง โดยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตลงในสูตรยาง ซึ่งงานด้านยางสามารถใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตเป็นสารช่วยเพิ่มฟองได้ โดยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตในปริมาณที่เท่ากันทุกสูตร 3 % และ 5 % ของการเตรียมตัวอย่างยางที่สัดส่วนการเติม 0, 10, 20, 30, 40 และ 50% แล้วทำการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น การรับแรงทางกล สมบัติทางความร้อนและการดูดซับเสียง การยึดติดตะปูของตัวอย่างแผ่นฝ้าที่ทำการขึ้นรูปได้ นอกจากนี้ทางผู้วิจัยได้ทำการประกอบชิ้นงานเข้ากับเหล็กโครงฝ้าแบบที่ใช้งานทั่วไปในงานโครงสร้างเพดานฝ้าคือแบบแขวนและยึดโครงคร่าวซีลาย

ตารางที่ 2 สูตรน้ำยางคอมปาวด์ที่ใช้เติมลงในยิปซัมเพื่อผลิตแผ่นฉนวนยิปซัมคอมพอสิตน้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์ ส่วนผสมของน้ำยางคอมปาวด์

สารเคมี	สัดส่วนโดยน้ำหนักเปียก (กรัม)	สัดส่วนโดยน้ำหนักแห้ง (กรัม)
60% LA-latex	167	100
50% Sulphur	10	5
50% ZDEC	5	2.5
50% ZMBT	5	2.5
50% ZnO	10	5
น้ำหนักรวม	197	115

ตารางที่ 3 สูตรส่วนผสมของการเตรียมยางฟอง

สารเคมี	สัดส่วนโดยน้ำหนักเปียก (กรัม)	สัดส่วนโดยน้ำหนักแห้ง (กรัม)
น้ำยางคงรูปจากตารางส่วนผสมน้ำ ยางคอมปาวด์	197	115
สารเพิ่มฟอง NaHCO_3	5	5
น้ำหนักรวม	202	120

หมายเหตุ การเตรียมตัวอย่างตามตารางที่ 3 ได้ทำการผสมน้ำยางคอมปาวด์ตามตารางที่ 2 ให้เสร็จเรียบร้อยก่อนแล้วจึงทำการเติมสารเพิ่มฟอง NaHCO_3 (5 กรัม) ลงในน้ำยางที่เตรียมไว้ ดังนั้นน้ำหนักเปียกและน้ำหนักแห้ง ตามตารางที่ 3 ก็ยังคงมีสารเพิ่มฟอง NaHCO_3 จำนวน 5 กรัมตามเดิม ทั้งในสูตรเปียกและสูตรแห้ง

ตัวอย่างแผ่นฝ้าเพดานที่ดำเนินงานวิจัยในช่วง 6 เดือนหลังคือการเตรียมแผ่นฝ้าเพดานที่มียางคอมปาวด์ชนิดยางฟองอยู่ในชั้นกลางหรือชั้นที่สอง โดยกำหนดรหัสตัวอย่างแผ่นฝ้ายิปซัมชนิดยางฟอง Fx1-xx2-xx3 หมายถึง F คือยางฟอง foam rubber, x1 หมายถึง ชั้นที่ 1 ของแผ่นฝ้ายิปซัมที่มีการเพิ่มเติมเยื่อกระดาษผสมรวมกับยิปซัมเพื่อเพิ่มความ

แข็งแรงและลดน้ำหนัก. xx2 หมายถึง ขั้นที่ 2 ของแผ่นผ้าเพาะานซึ่งเป็นชั้นของยางคอมปาวด์ที่เพิ่มเติมสารเพิ่มฟองโซเดียมไบคาร์บอเนต และ xx3 หมายถึงขั้นที่ 3 คือชั้นบนเป็นชั้นที่อยู่ด้านในติดเพาะานเวลาติดตั้งเป็นชั้นที่เพิ่มเติมเยื่อกระดาษเพื่อช่วยลดน้ำหนัก เสริมความแข็งแรง และลดต้นทุนการผลิต

ตารางที่ 14 รหัสตัวอย่างที่ใช้เตรียมตัวอย่างแผ่นผ้าเพาะาน

รหัสตัวอย่าง	ขั้นที่ 1 ยิปซัมเพิ่มเติมเยื่อ กระดาษ	ขั้นที่ 2 ยางคอมปาวด์เพิ่มเติม สารเพิ่มฟอง	ขั้นที่ 3 ยิปซัมเพิ่มเติมเยื่อ กระดาษ
F5-0-10 (5 g of NaHCO ₃)	5 %	0 %	10 %
F5-10-10 (5 g of NaHCO ₃)	5 %	10%	10 %
F5-20-10 (5 g of NaHCO ₃)	5 %	20%	10 %
F5-30-10 (5 g of NaHCO ₃)	5 %	30%	10 %
F5-40-10 (5 g of NaHCO ₃)	5 %	40%	10 %
F5-50-10 (5 g of NaHCO ₃)	5 %	50%	10 %
F5-0-10 (3 g of NaHCO ₃)	5 %	0 %	10 %
F5-10-10 (3 g of NaHCO ₃)	5 %	10 %	10 %
F5-20-10 (3 g of NaHCO ₃)	5 %	20 %	10 %
F5-30-10 (3 g of NaHCO ₃)	5 %	30 %	10 %
F5-40-10 (3 g of NaHCO ₃)	5 %	40 %	10 %
F5-50-10 (3 g of NaHCO ₃)	5%	50 %	10 %

จากผลการทดลองเตรียมตัวอย่างแผ่นผ้าเพาะานโดยการเติมสารเพิ่มฟองชนิดโซเดียมไบคาร์บอเนตลงในสูตรน้ำยางคอมปาวด์ พบว่าค่าความหนาแน่นโดยมวลรวม (Bulk density) ลดลงดังแสดงในตารางที่ 14 นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณสารเพิ่มฟองชนิดโซเดียมไบคาร์บอเนตที่เติมลงในน้ำยางคอมปาวด์มีผลต่อค่าความหนาแน่นของชั้นยางฟองด้านใน คือ สัดส่วนการเติมสารเพิ่มฟอง 5% จะได้ค่าความหนาแน่นโดยมวลรวมที่น้อยกว่าสูตรที่เติมสารเพิ่มฟอง 3% ของทุกสูตรตัวอย่างแผ่นผ้าเพาะาน จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการทำยางฟองแซนวิชลงในแผ่นผ้ายิปซัมเพาะาน มีแนวโน้มที่ดีที่สามารถช่วยลดเรื่องน้ำหนักและค่าความหนาแน่นโดยมวลรวมของแผ่นผ้าเพาะานได้ และการเติมสารเพิ่มฟองในสัดส่วนที่มากขึ้นก็จะมีประสิทธิภาพในการเกิดฟองภายในยางคอมปาวด์ที่สูงขึ้น ดังข้อมูลแสดงในตารางที่ 15

สูตรการคำนวณ

$$\text{ความหนาแน่นโดยมวลรวม (Bulk density, g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{น้ำหนัก (กรัม)}}{\text{ปริมาตร (กว้าง} \times \text{ยาว} \times \text{หนา, ลูกบาศก์เซนติเมตร)}}$$

ตารางที่ 15 ค่าความหนาแน่นโดยมวลรวม (Bulk density) ของตัวอย่างแผ่นผ้าเพาะาน

รหัสตัวอย่าง	ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต (กรัม)	Bulk density (g/cm ³)
--------------	------------------------------------	--------------------------------------

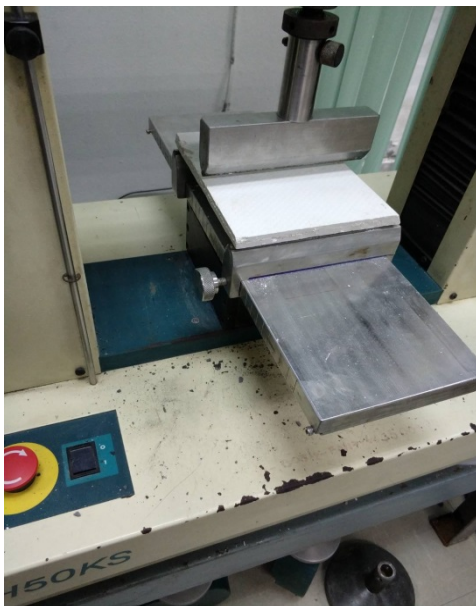
ผ้าแผ่นเรียบเกรดการค้า	-	0.5839 ± 0.0603
ผ้าลายแบบขบวนเกรดการค้า (ไม่มีสี)	-	0.6997 ± 0.0754
(สี)	-	0.8504 ± 0.1320
F5-0-10 (5 g of NaHCO ₃)	5	0.6033
F5-10-10 (5 g of NaHCO ₃)	5	0.7879
F5-20-10 (5 g of NaHCO ₃)	5	0.7504
F5-30-10 (5 g of NaHCO ₃)	5	0.6719
F5-40-10 (5 g of NaHCO ₃)	5	0.6910
F5-50-10 (5 g of NaHCO ₃)	5	0.7036
F5-0-10 (3 g of NaHCO ₃)	3	0.7613
F5-10-10 (3 g of NaHCO ₃)	3	0.8399
F5-20-10 (3 g of NaHCO ₃)	3	0.8266
F5-30-10 (3 g of NaHCO ₃)	3	1.0447
F5-40-10 (3 g of NaHCO ₃)	3	0.8485
F5-50-10 (3 g of NaHCO ₃)	3	0.7858
P5-0-0	0	1.0380
P5-10-0	0	0.9313
P5-20-0	0	0.8412
P5-30-0	0	0.8687
P5-40-0	0	0.8646
P5-50-0	0	1.0824

หมายเหตุ ข้อมูลตัวอย่างแผ่นผ้าเพดานที่ไม่เพิ่มเติมสารเพิ่มฟอง P5-0-0, P5-10-0, P5-20-0, P5-30-0, P5-40-0, P5-50-0 เป็นข้อมูลที่ได้ขึ้นรูปและทดสอบไว้ในช่วง 6 เดือนแรก ถูกนำมาเปรียบเทียบในตารางที่ 15

การทดสอบการรับแรงกดอัด (compressive stress) แรงดัดโค้ง (bending strength) และ การรับแรงยึดติด
ตะปู



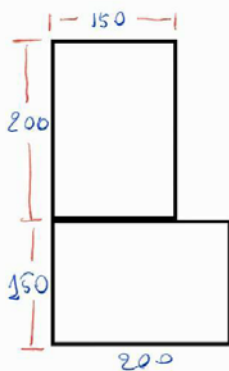
a)



b)



รูปที่ 23 การทดสอบการรับแรงกดอัด แรงดัดโค้งและแรงยึดติดตะปูของตัวอย่างแผ่นฉาพาดาน: a) เครื่องทดสอบการรับแรงทางกล (UTM), b) การทดสอบแรงยึดติดตะปู, c) และ d) การทดสอบการรับแรงกดอัด (Compressive strength)



รูปที่ 24

a) รูปแบบการตัดตัวอย่างสำหรับการทดสอบและ b) การยึดติดตะปูของตัวอย่างแผ่นฉาพาดานเพื่อทดสอบแรงยึดติดตะปู

วิธีทดสอบการรับแรงกดอัดแนวขวางและแนวยาว การทนแรงยึดติดตะปูของตัวอย่างแผ่นผ้าเพดานที่เตรียมได้จากโครงการวิจัยเปรียบเทียบกับแผ่นผ้าเพดานเกรดการค้าสองชนิด (แผ่นเรียบหรือขอบลาด และแบบแขวนหรือแผ่นผ้าลาย) ตามมาตรฐาน มอก. 219-2522 โดยการใช้เครื่องตัดชนิดแผ่นตัดปูน ตัดตัวอย่างแผ่นผ้าที่เตรียมได้ขนาด 25x33 ตารางเซนติเมตร ให้เป็นสองแบบคือการตัดตามแนวยาวและการตัดตามแนวขวางตามรูปที่ 24a) เพื่อให้ได้ตัวอย่างชิ้นงานมาทดสอบการรับแรงกดอัด (Compressive stress) และการรับแรงดัดโค้ง (bending strength หรือ flexural strength) สำหรับรูปที่ 24b) แสดงการยึดติดสกรูเกลียวปล่อยลงในแผ่นผ้าเพดานเพื่อทดสอบแรงยึดติดตะปู โดยการใช้สว่านไฟฟ้าติดสกรูยาวประมาณ 2.5 นิ้ว โดยให้ปลายเกลียวติดแน่นเต็มตามความหนาของแผ่นผ้าเพดานแล้วส่วนที่เหลือของสกรูจะใช้เป็นบริเวณที่ยึดกับเครื่องทดสอบแรงดึง (UTM) เพื่อให้การยึดกับเครื่องทดสอบมีความแข็งแรงแน่นหนาแล้วทำการยึดติดกับแผ่นผ้าเช่นนี้ทุกตัวอย่างที่ทำการทดสอบแรงยึดติดตะปู

ผลวิเคราะห์การรับแรงทางกลของแผ่นตัวอย่างผ้าเพดาน

ตารางที่ 16 สมบัติทางกลด้านการรับแรงกดอัด แรงดัดงอและแรงยึดติดตะปูของตัวอย่างแผ่นผ้าเพดาน

รหัสตัวอย่าง	การรับแรงกดอัด (Compressive strength) (MPa)	Max.compressive stress (N)	การรับแรงดัดโค้ง (Bending strength) (MPa)	Max. bending stress (N)	การรับแรงยึดติดตะปู (Max. force, N)
ผ้าแผ่นเรียบเกรดการค้า	0.3110	331.333 ± 113.407	6.315 ± 0.639	220.00 (L) 307.29 (W)	54.33 ± 1.91
ผ้าลายแบบเขว่นเกรดการค้า			5.670 ± 1.312	220.14 ± 9.39 (W) 393.12 ± 9.57 (L)	70.20 ± 1.80
F5-0-10 (5 g of NaHCO ₃)	0.334	75.5124	-	-	
F5-10-10 (5 g of NaHCO ₃)	1.863	372.6586	-	-	68.35 ± 3.04
F5-20-10 (5 g of NaHCO₃)	1.953	432.4801	-	-	105.98 ± 22.21
F5-30-10 (5 g of NaHCO ₃)	1.020	284.3974	-	-	171.30 ± 68.92
F5-40-10 (5 g of NaHCO ₃)	0.868	232.4213	-	-	
F5-50-10 (5 g of NaHCO ₃)	0.711	193.1941	-	-	
F5-0-10 (3 g of NaHCO ₃)	-	-	0.567	122.00	-
F5-10-10 (3 g of NaHCO ₃)	-	-	0.456	88.00	-
F5-20-10 (3 g of NaHCO₃)	-	-	0.858	149.00	-
F5-30-10 (3 g of NaHCO ₃)	-	-	0.795	88.00	-
F5-40-10 (3 g of NaHCO ₃)	-	-	0.397	95.00	-
F5-50-10 (3 g of NaHCO ₃)	-	-	Crack	Crack	-
P0-0-0 (0 g of NaHCO ₃)	-	-	10.340 ± 0.005	346.00	73.03 ± 25.96
P0-0-10 (0 g of NaHCO ₃)	-		10.930 ± 0.005	366.00	73.03 ± 25.96
P5-10-0 (0 g of NaHCO ₃)	-		5.720 ± 0.005	190.00	80.90 ± 47.31
P5-20-10 (0 g of NaHCO ₃)	0.829 ± 0.227 (W)	100.75 ± 21.87 (W)	7.110 ± 0.005	237.00	95.80 ± 16.68

	0.825 ± 0.166 (L)	92.24 ± 22.30 (L)			
P5-30-10 (0 g of NaHCO ₃)	1.073 ± 0.544 (W) 1.020 ± 0.431 (L)	122.44 ± 46.63 (W) 124.74 ± 28.46 (L)	5.900 ± 0.005	197.00	176.50 ± 64.80
P5-40-10 (0 g of NaHCO ₃)	-	-	10.850 ± 0.005	366.00	-
P0-30-10 (0 g of NaHCO ₃)	-	-	5.680 ± 0.005	190.00	-
P10-30-10 (0 g of NaHCO ₃)	-	-	6.700 ± 0.005	224.00	175.50 ± 64.80

หมายเหตุ – แปลว่า ไม่ได้ดำเนินการทดสอบ

จากผลทดสอบการรับแรงทางกลสามารถสรุปได้ว่า

1. การรับแรงกดอัดของตัวอย่างแผ่นผ้าเพดานที่เพิ่มเติมน้ำยางชนิดที่เติมสารเพิ่มฟองโดยเฉพาะสูตร F5-20-10 จะมีความสามารถรับแรงที่สูงขึ้นโดยพิจารณาจากค่า การรับแรงสูงสุด (max force) ดีกว่าตัวอย่างแผ่นผ้าเพดานที่ไม่ได้เติมสารเพิ่มฟอง
2. การรับแรงดัดงอของตัวอย่างแผ่นผ้าเพดานทั้งชนิดเติมและไม่เติมสารเพิ่มฟองโดยเฉพาะสูตร F5-20-10 และ P5-20-10 มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน ไปในแนวทางเดียวกันคือจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณน้ำยางเพิ่มขึ้น และจะลดลงเมื่อปริมาณน้ำยางที่เติมมากเกินไป
3. ด้านแรงยึดติดตะปู ตัวอย่างแผ่นผ้าเพดานที่เตรียมได้จากโครงการวิจัยที่เพิ่มเติมน้ำยางจะมีประสิทธิภาพในการยึดติดที่สูงกว่าตัวอย่างแผ่นผ้าที่ไม่ได้เติมน้ำยาง และยังมีค่าสูงกว่าแรงยึดติดแผ่นผ้าเกรดการค้า คือยังมีปริมาณน้ำยางในแผ่นผ้าเพดานมากขึ้น ความสามารถในการยึดติดตะปูก็จะเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะปริมาณน้ำยางที่เติมประมาณ 20-30% สูตร P5-30-10, F5-30-10, P10-30-10

แต่อย่างไรก็ตาม โดยภาพรวมในเรื่องสมบัติทางกลทั้งการรับแรงกดอัด (Compressive stress) การรับแรงดัดงอ (Bending stress) และการยึดติดตะปู สูตรที่ดีและมีความเหมาะสมคือสูตร F5-20-10 และ P5-20-10

ผลวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของแผ่นตัวอย่างผ้าเพดาน

ตารางที่ 17 สมบัติทางความร้อนของตัวอย่างแผ่นผ้าเพดาน ตามมาตรฐาน ASTM C518

รหัสตัวอย่าง	อุณหภูมิทดสอบ (°C)	ความหนา (m)	ค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity, K) (W/m.K)
ผ้าแผ่นเรียบขอบลาด เกรดการค้า	20-50	0.0084 ± 0.0005	0.2186 ± 0.0046
ผ้าลายแบบขบวนเกรดการค้า	20-50	0.0107 ± 0.0005	0.2522 ± 0.0078
F5-0-10 (3 g of NaHCO ₃)	20-50	0.0215 ± 0.0005	0.1425 ± 0.0005
F5-10-10 (3 g of NaHCO ₃)	20-50	0.0223 ± 0.0005	0.1154 ± 0.0005
F5-20-10 (3 g of NaHCO ₃)	20-50	0.0212 ± 0.0005	0.1177 ± 0.0005
F5-30-10 (3 g of NaHCO ₃)	20-50	0.0202 ± 0.0005	0.1217 ± 0.0005
F5-40-10 (3 g of NaHCO ₃)	20-50	0.0213 ± 0.0005	0.0796 ± 0.0005
F5-10-10 (5 g of NaHCO ₃)	20-50	0.0208 ± 0.0005	0.0952 ± 0.0005
F5-20-10 (5 g of NaHCO₃)	20-50	0.0214 ± 0.0005	0.0775 ± 0.0005
F5-30-10 (5 g of NaHCO₃)	20-50	0.0217 ± 0.0005	0.0707 ± 0.0005
F5-40-10 (5 g of NaHCO₃)	20-50	0.0219 ± 0.0005	0.0634 ± 0.0005
P5-0-0 (0 g of NaHCO ₃)	20-50	0.0278 ± 0.0005	0.3387 ± 0.0003
P5-10-0 (0 g of NaHCO ₃)	20-50	0.0293 ± 0.0005	0.3145 ± 0.0003
P5-20-0 (0 g of NaHCO ₃)	20-50	0.0315 ± 0.0005	0.3343 ± 0.0003
P5-30-0 (0 g of NaHCO ₃)	20-50	0.0332 ± 0.0005	0.3077 ± 0.0003
P5-40-0 (0 g of NaHCO ₃)	20-50	0.0326 ± 0.0005	0.2945 ± 0.0003
P5-50-0 (0 g of NaHCO ₃)	20-50	0.0381 ± 0.0005	0.3577 ± 0.0003

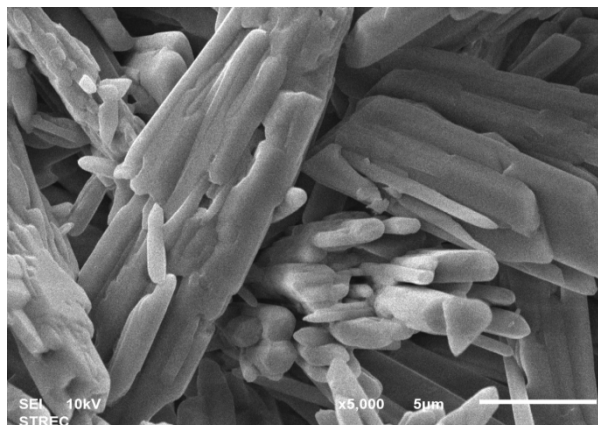
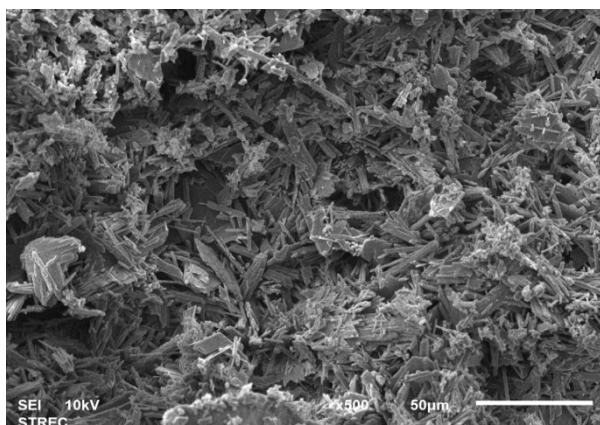
การเติมสารเพิ่มฟองชนิดโซเดียมไบคาร์บอเนต มีส่วนสำคัญต่อค่าการนำความร้อนที่ลดลงของแผ่นผ้าเพดาน แต่พบว่าการเติมน้ำยาคอมปาวด์ชนิดไม่เติมสารเพิ่มฟองโซเดียมไบคาร์บอเนตลงในแผ่นผ้าเพดานจะส่งผลเสียต่อการนำความร้อนของแผ่นผ้าเพดานที่เพิ่มขึ้น หมายความว่า การใช้ยางคอมปาวด์ที่ไม่เติมสารเพิ่มฟองปริมาณมากจะทำให้ค่าการนำความร้อนลดลงแต่ไม่เพียงพอต่อการใช้งานระยะยาวและค่าที่ได้ยังมีค่าสูงกว่าแผ่นผ้าเกรดการค้าเช่นการเติมปริมาณน้ำยาคอมปาวด์ที่ไม่เติมสารเพิ่มฟองโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ 50% สำหรับตัวอย่างแผ่นผ้าเพดานที่เติมสารเพิ่มฟองโซเดียมไบคาร์บอเนตลงในน้ำยาคอมปาวด์ เพื่อให้ชั้นของยางคอมปาวด์อยู่ในรูปยางพอง ตัวอย่างเช่น สูตร F5-20-10, F5-30-10 และ F5-40-10 จะส่งผลดีต่อการเป็นฉนวนความร้อน ค่าการนำความร้อนของแผ่นผ้าเพดานที่เติมเติมสารเพิ่มฟองแบบยางพองมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากแผ่นผ้าเพดานเกรดการค้า นอกจากนี้ปริมาณสารเพิ่มฟองก็ยังเป็นปัจจัยสำคัญต่อค่าการนำความร้อนที่ได้ด้วย กล่าวคือปริมาณสารเพิ่มฟองจะส่งผลต่อจำนวนและขนาดของรูพรุนในยางพอง หากเติมมาก (5 กรัม NaHCO₃) จะส่งผลดีกว่าการเติมน้อย (3 กรัม NaHCO₃) แต่ก็ต้องมีค่าที่เหมาะสมเช่นกัน เพื่อให้ชั้นของยางพองยังคงมีความแข็งแรง ยุบตัวยากซึ่งจะส่งผลดีต่อการใช้งานในระยะยาว

ผลวิเคราะห์สมบัติทางเสียงของแผ่นตัวอย่างผ้าเพดาน

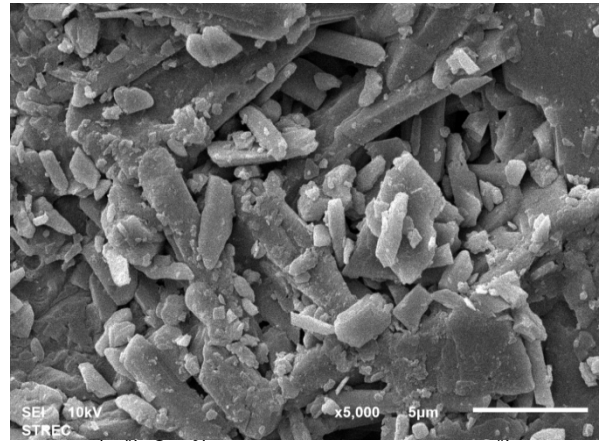
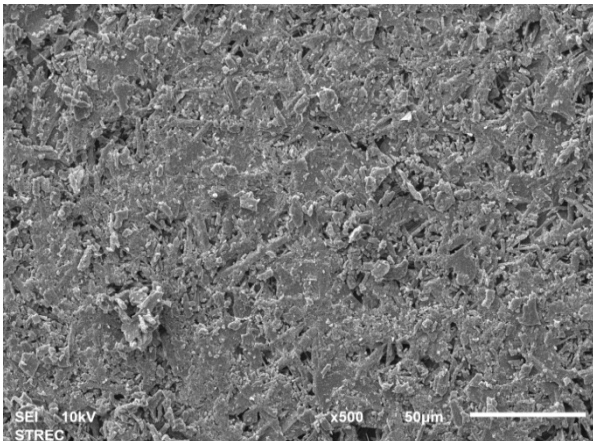
ตารางที่ 18 สมบัติการดูดซับเสียงของตัวอย่างแผ่นผ้าเพดาน

รหัสตัวอย่าง	% Sound absorption coefficient and noise reduction coefficient (NRC)					
	250 Hz.	500 Hz.	1000 Hz.	2000 Hz.	Avg.	NRC.
ผ้าแผ่นเรียบเกรดการค้า	45.29	30.43	11.20	10.06	24.25	0.2456
ผ้าลายแบบขนวนเกรดการค้า	6.95	8.33	21.28	13.66	12.55	0.1255
F5-0-10 (5 g of NaHCO ₃)	-	-	-	-	-	-
F5-10-10 (5 g of NaHCO ₃)	-	-	-	-	-	-
F5-20-10 (5 g of NaHCO ₃)	56.02	17.26	6.39	6.02	21.42	0.2142
F5-30-10 (5 g of NaHCO ₃)	-	-	-	-	-	-
F5-40-10 (5 g of NaHCO ₃)	-	-	-	-	-	-
F5-50-10 (5 g of NaHCO ₃)	-	-	-	-	-	-
F5-0-10 (3 g of NaHCO ₃)	-	-	-	-	-	-
F5-10-10 (3 g of NaHCO ₃)	-	-	-	-	-	-
F5-20-10 (3 g of NaHCO ₃)	6.38	60.68	8.08	4.61	19.94	0.1994
F5-30-10 (3 g of NaHCO ₃)	-	-	-	-	-	-
F5-40-10 (3 g of NaHCO ₃)	-	-	-	-	-	-
F5-50-10 (3 g of NaHCO ₃)	-	-	-	-	-	-
P0-0-0	10.07	8.21	15.35	21.60	13.81	0.1381
P0-10-0	9.15	8.05	28.96	29.33	18.87	0.1887
P0-20-0	10.56	9.40	23.91	42.48	21.59	0.2159
P0-30-0	17.15	15.87	46.51	27.60	26.78	0.2678
P0-40-0	12.75	33.73	27.78	14.21	22.12	0.2212
P0-50-0	16.36	26.46	60.72	53.42	39.24	0.3924
F5-prevulcanized-10	17.72	11.92	5.93	2.79	9.59	0.0959

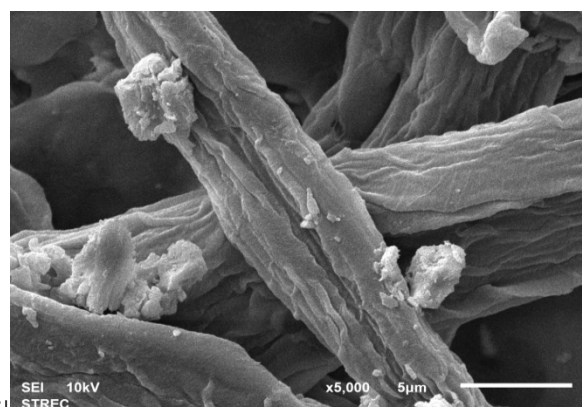
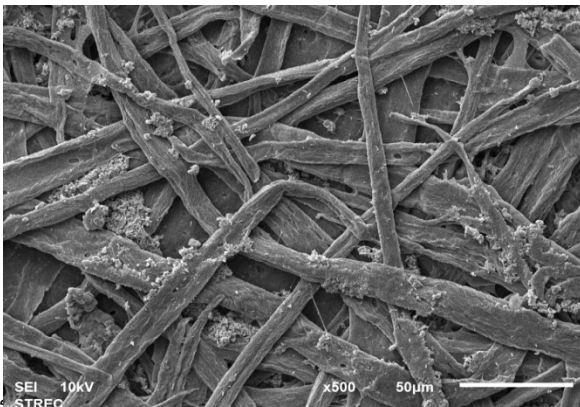
โครงสร้างทางจุลภาคของตัวอย่างแผ่นผ้าเพดาน



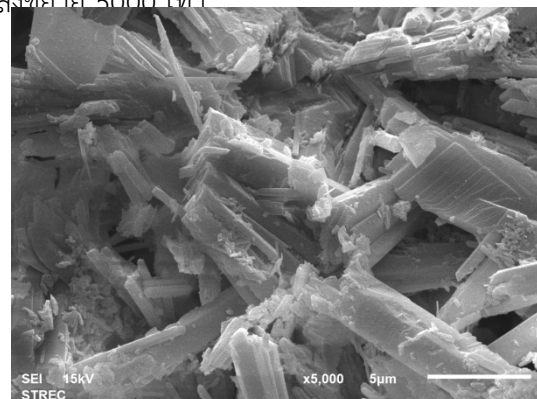
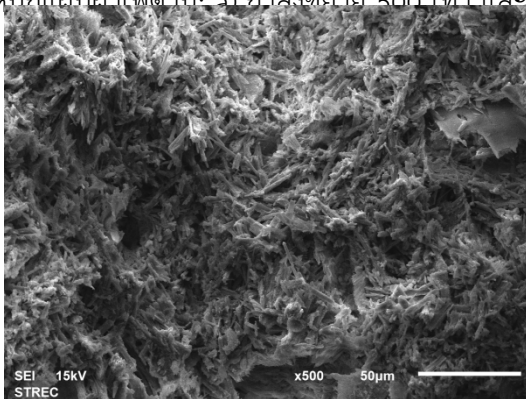
รูปที่ 25 โครงสร้างทางจุลภาคแบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional area) ของแผ่นฝ้ายิปซัมลายแบบแว่น เกรดการค้า: a) กำลังขยาย 500 เท่า และ b) กำลังขยาย 5000 เท่า



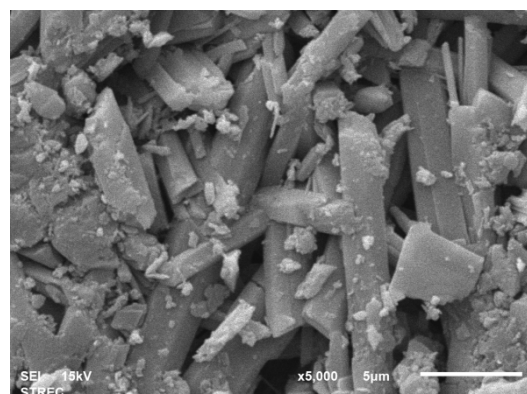
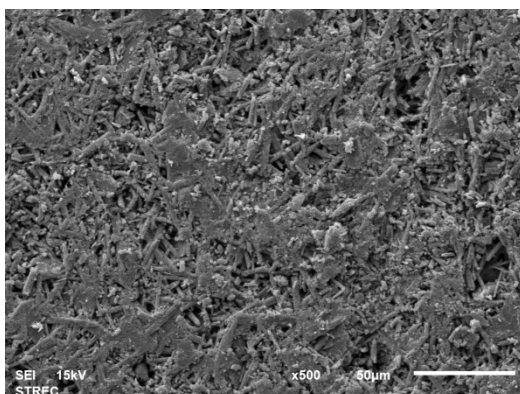
รูปที่ 26 โครงสร้างทางจุลภาคแบบพื้นผิว (Surface area) ของแผ่นฝ้ายิปซัมลายแบบแว่น เกรดการค้า: a) กำลังขยาย 500 เท่า และ b) กำลังขยาย 5000 เท่า



รูปที่ 27 โครงสร้างทางจุลภาคแบบพื้นผิว (Surface area) ของแผ่นฝ้ายิปซัมลายแบบแว่น เกรดพิเศษ: a) กำลังขยาย 500 เท่า และ b) กำลังขยาย 5000 เท่า



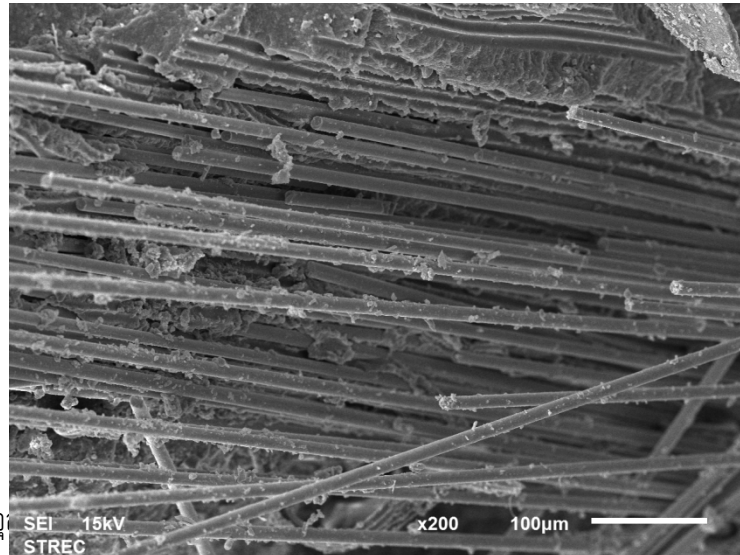
รูปที่ 28 โครงสร้างทางจุลภาคแบบพื้นผิว (Surface area) ของแผ่นฝ้ายิปซัมที่เตรียมได้จากโครงการวิจัยก่อนผสมกับเยื่อกระดาษ: a) กำลังขยาย 500 เท่า และ b) กำลังขยาย 5000 เท่า



a)

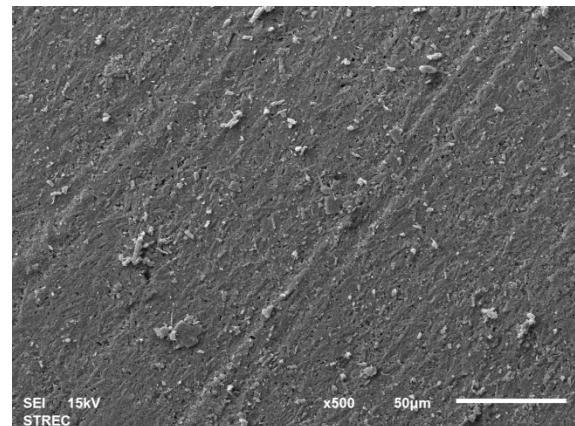
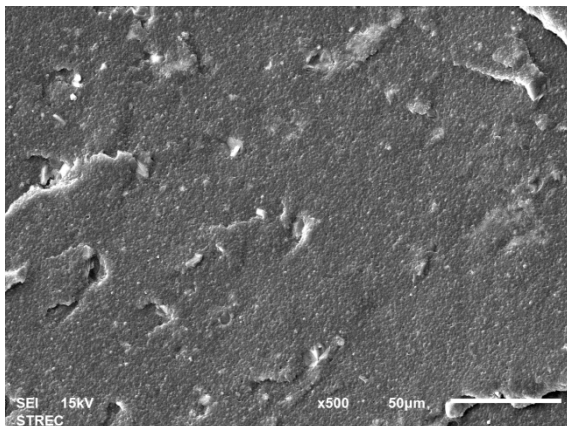
b)

รูปที่ 29 โครงสร้างทางจุลภาคแบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional area) ของแผ่นฝ้ายปัมที่เตรียมได้จากโครงการวิจัยก่อนผสมกับเยื่อกระดาษ: a) กำลังขยาย 500 เท่า และ b) กำลังขยาย 5000 เท่า

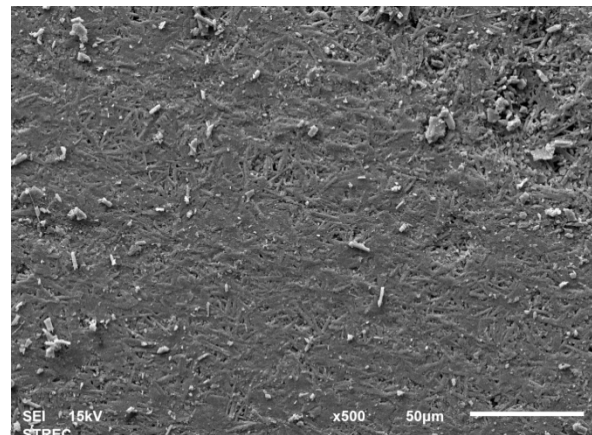
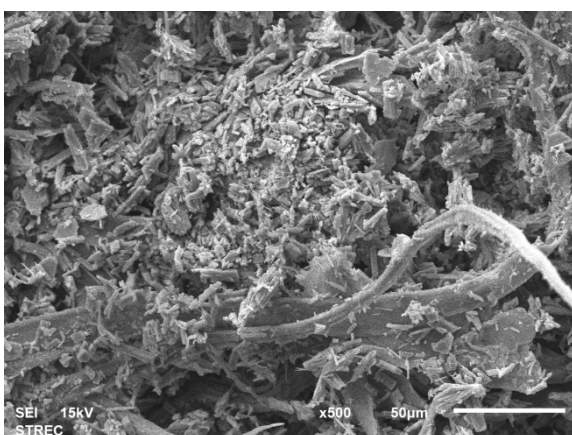


รูปที่ 30 โครงสร้างทางจุลภาคของแผ่นฝ้ายปัมผสมกับเยื่อกระดาษ 20% ที่เตรียมได้จากโครงการวิจัยกำลังขยาย 200 เท่า

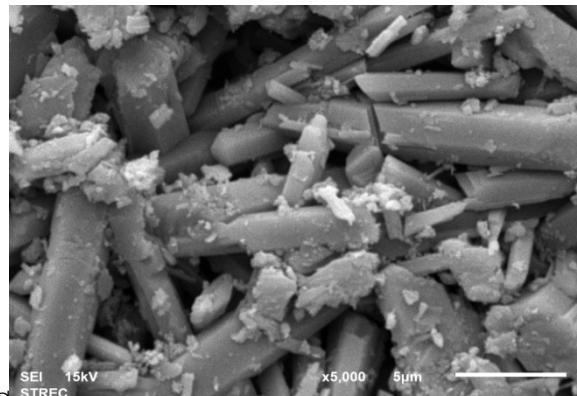
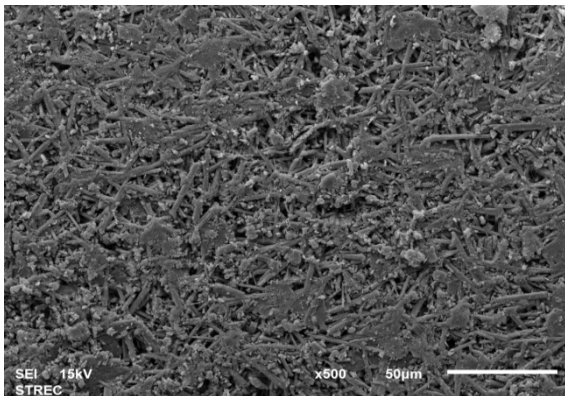
ยิปซัมที่เตรียมได้จาก



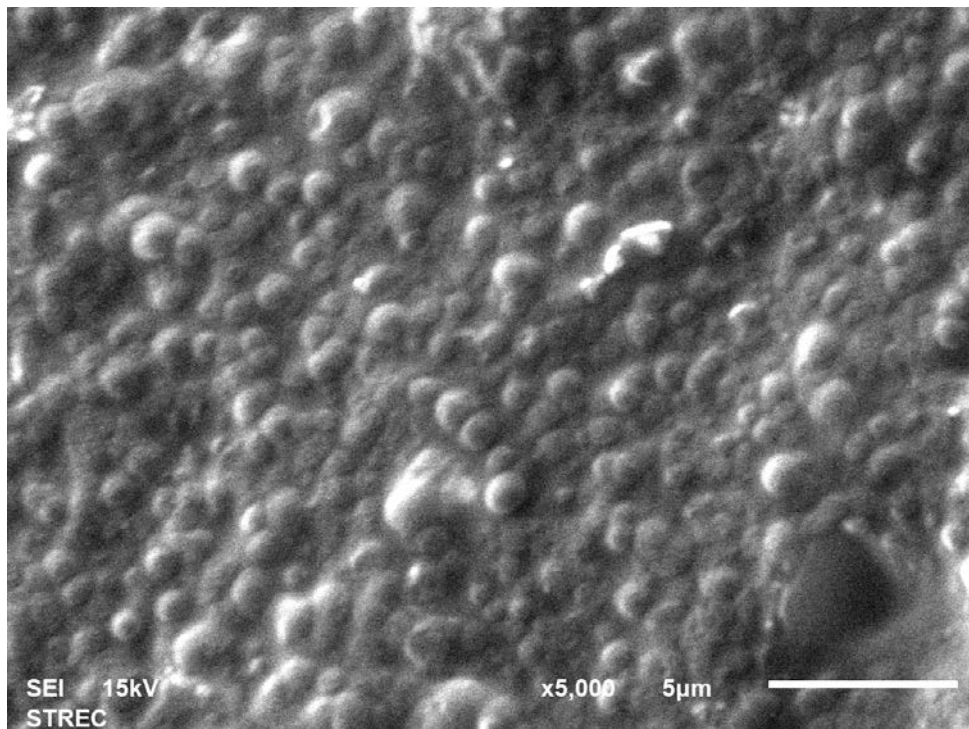
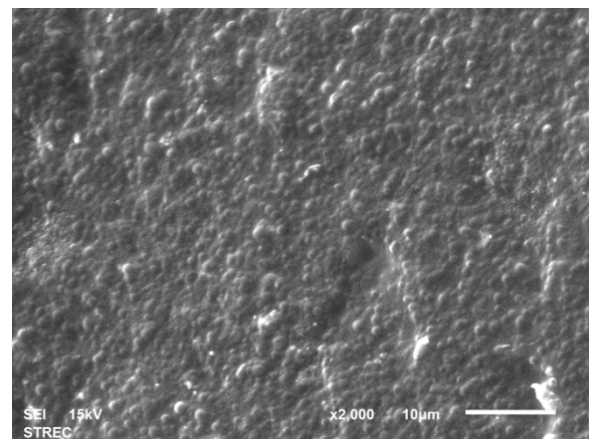
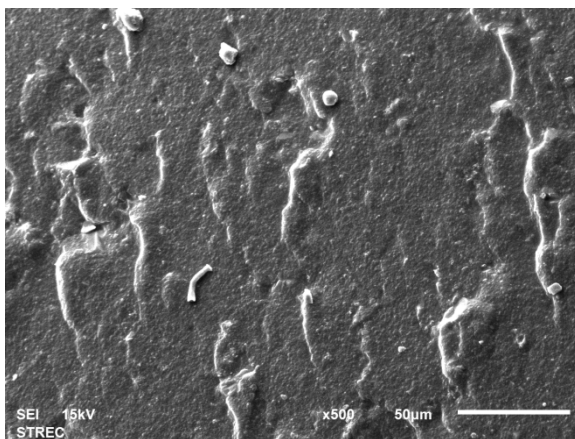
รูปที่ 31 โครงสร้างทางจุลภาคของแผ่นฝ้ายปัมผสมกับเยื่อกระดาษ 20% ที่เตรียมได้จากโครงการวิจัย: a) ภาคตัดขวาง (Cross-sectional area) กำลังขยาย 500 เท่า และ b) พื้นผิว (Surface area) กำลังขยาย 5000 เท่า



รูปที่ 32 โครงสร้างทางจุลภาคของแผ่นฝ้ายปัมผสมกับเยื่อกระดาษ 30% ที่เตรียมได้จากโครงการวิจัย: a) ภาคตัดขวาง (Cross-sectional area) กำลังขยาย 500 เท่า และ b) พื้นผิว (Surface area) กำลังขยาย 5000 เท่า



รูปที่ 33 ชั้นของน้ำยางคอมปาวด์ที่เติมสารเพิ่มฟองโซเดียมไบคาร์บอเนต: a) กำลังขยาย 500 เท่า b) กำลังขยาย 5000 เท่า



รูปที่ 34 ชั้นของน้ำยางคอมปาวด์ที่เติมสารเพิ่มฟองโซเดียมไบคาร์บอเนต: a) กำลังขยาย 500 เท่า b) กำลังขยาย 2000 เท่า และ c) กำลังขยาย 5000 เท่า

การประกอบแผ่นฝ้าเพดานเข้ากับโครงยึดแผ่น การติดตะปูฝ้า การทาสีแผ่นฝ้าและการตัดแต่งแผ่นฝ้าด้วยเครื่องมือช่าง



a)



b)



c)



d)



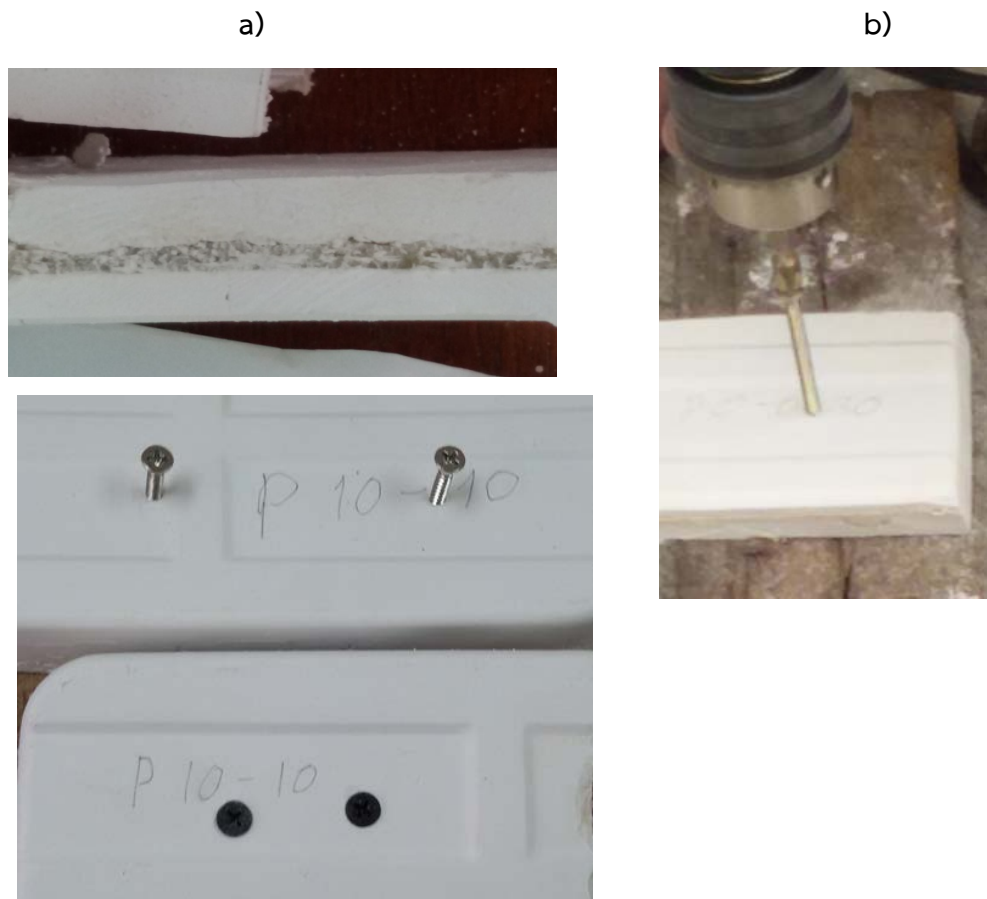
e)



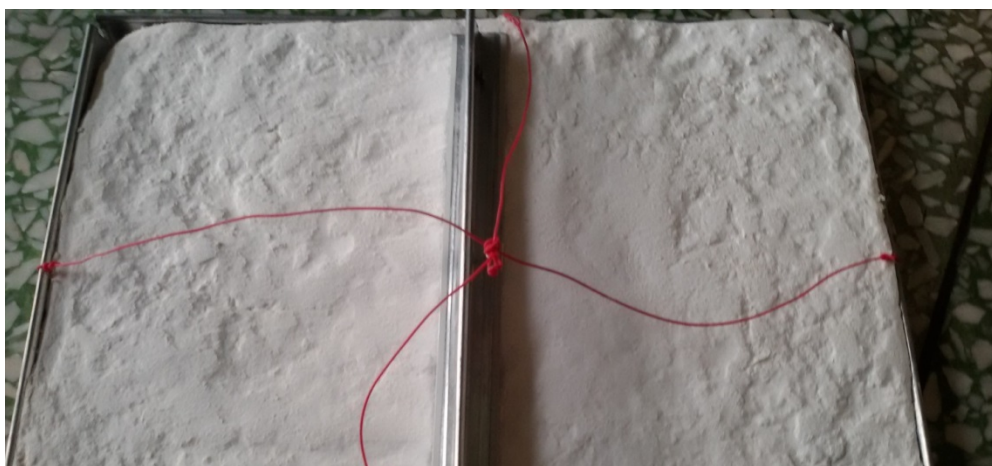
รูปที่ 35
ไปป์ตร
แผ่นฝ้า

การ
างก
าอง





รูปที่ 36 a) และ b) การตัดแผ่นผ้าเพดานด้วยเครื่องตัดปูน c) ภาควัดขวางตัวอย่างแผ่นผ้าที่ถูกตัดเสร็จเรียบร้อยแล้ว d) การยึดติดตะปูเกลียวสว่านและตะปูยึดผ้า e) การใช้สว่านเจาะเพื่อยึดติดตะปูบนแผ่นผ้าเพดาน



รูปที่ 37 ตัวอย่างการยึดโครงแผ่นฝ้าเพดานแบบแขวน

การตกแต่งแผ่นฝ้าเพดาน เช่น การทาสี การพิมพ์ลาย การเพนท์ภาพ การทำลวดลายบนพื้นผิว



c)

d)

e)

f)

รูปที่ 38 แผ่นผ้าเพดานตกแต่ง: a) และ b) การทาสี c) การลงสี d)การแขวนแผ่นผ้าเพดาน e) และ f) การเพนท์ภาพ

สรุปผลการทดลอง

จากสูตรการเตรียมตัวอย่างแผ่นผ้าเพดานในตารางที่ 2 และ 3 ผู้วิจัยได้เตรียมตัวอย่างชั้นที่เป็นยางให้มีลักษณะเป็นยางพอง โดยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตลงในสูตรยาง ซึ่งโดยทั่วไปงานด้านยางสามารถใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต เป็นสารช่วยเพิ่มพองได้ โดยการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตในปริมาณที่เท่ากันทุกสูตรของการเตรียมตัวอย่างยางที่สัดส่วน 0, 10, 20, 30, 40 และ 50% แล้วทำการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น การรับแรงทางกล สมบัติทางฉนวนความร้อนและการดูดซับเสียง การยืดติดตะปูของตัวอย่างที่ทำการขึ้นรูปได้ แล้วทางผู้วิจัยได้ทำการประกอบชิ้นงานเข้ากับเหล็กโครงผ้าแบบที่ใช้งานทั่วไปในงานโครงสร้างเพดานผ้า

ตารางที่ 2 สูตรน้ำยางคอมปาวด์ที่ใช้เติมลงในยิปซัมเพื่อผลิตแผ่นฉนวนยิปซัมคอมพอสิตน้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์ ส่วนผสมของน้ำยางคอมปาวด์

สารเคมี	สัดส่วนโดยน้ำหนักเปียก (กรัม)	สัดส่วนโดยน้ำหนักแห้ง (กรัม)
60% LA-latex	167	100
50% Sulphur	10	5
50% ZDEC	5	2.5
50% ZMBT	5	2.5

50% ZnO	10	5
น้ำหนักรวม	197	115

ตารางที่ 3 สูตรส่วนผสมของการเตรียมยางฟอง

สารเคมี	สัดส่วนโดยน้ำหนักเปือก (กรัม)	สัดส่วนโดยน้ำหนักแห้ง (กรัม)
น้ำยางคงรูปจากตารางส่วนผสม น้ำยางคอมปาวด์	197	115
NaHCO ₃	5	5
น้ำหนักรวม	202	120

หมายเหตุ การเตรียมตัวอย่างตามตารางที่ 3 ได้ทำการผสมน้ำยางคอมปาวด์เสร็จเรียบร้อยแล้วตามตารางที่ 2 แล้วจึงทำการเติมสารเพิ่มฟอง NaHCO₃ (5-10 กรัม) ลงในน้ำยางที่เตรียมไว้ปริมาณ 5 กรัม

ดังนั้นน้ำหนักเปือกและน้ำหนักแห้ง ตามตารางที่ 3 ก็ยังคงมีสารเพิ่มฟอง NaHCO₃ จำนวน 5 กรัมตามเดิม ทั้งในสูตรเปือกและสูตรแห้ง

จากผลการเติมสารเพิ่มฟอง โซเดียมไบคาร์บอเนตลงในสูตรน้ำยางคอมปาวด์ พบว่าค่าความหนาแน่นโดยมวลรวม (Bulk density) ลดลงดังแสดงในตารางที่ 14 นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณสารเพิ่มฟองชนิดโซเดียมไบคาร์บอเนตที่เติมลงในน้ำยางคอมปาวด์มีผลต่อค่าความหนาแน่นของชั้นยางฟองด้านใน คือ สัดส่วนการเติมสารเพิ่มฟอง 5 กรัม จะได้ค่าความหนาแน่นโดยมวลรวมที่น้อยกว่าสูตรที่เติมสารเพิ่มฟอง 3 กรัม ของทุกสูตรตัวอย่างแผ่นผ้าเปดาน

ตารางที่ 14 ค่าความหนาแน่นโดยมวลรวม (Bulk density) ของตัวอย่างแผ่นผ้าเปดาน

รหัสตัวอย่าง	ปริมาณโซเดียมไบคาร์บอเนต (กรัม)	Bulk density (g/cm ³)
ผ้าแผ่นเรียบเกรดการค้า	-	0.5236
ผ้าลายแบบขบวนเกรดการค้า	-	0.6441
P5-0-10	5	0.6033
P5-10-10	5	0.8826
P5-20-10	5	0.7504
P5-30-10	5	0.6719
P5-40-10	5	0.6910
P5-50-10	5	0.7036
P5-0-10	3	0.7613
P5-10-10	3	0.8399
P5-20-10	3	0.8266
P5-30-10	3	1.0447
P5-40-10	3	0.8485
P5-50-10	3	0.7858

จากโครงการวิจัยเรื่องแผ่นผ้าเพดานชนิดยิปซัมคอมพอสิตด้วยน้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์สำหรับการประยุกต์ใช้งานด้านอุตสาหกรรมก่อสร้างได้ข้อสรุปดังต่อไปนี้

1. การผลิตแผ่นผ้าเพดานโดยเทคนิคการเทแบบ (Slip casting) และการเติมน้ำยางคอมปาวด์เพื่อคอมพอสิตสามารถเพิ่มเติมได้ตั้งแต่ 0-50% โดยน้ำหนัก แบบแซนวิช (sandwich) ส่งผลดีต่อการใช้งานในระยะยาว เช่น ชั้นยางอยู่ด้านในของแผ่นผ้าก็จะไม่ส่งกลิ่นเหม็นรบกวน ตัวอย่างแผ่นผ้าที่เตรียมได้สามารถนำมาประกอบ ติดตั้ง ตกแต่งได้ง่าย สวยงาม นำใช้งานมากขึ้นได้
2. การเติมสารเพิ่มฟองโซเดียมโบคาร์บอเนตประมาณ 10 % โดยน้ำหนัก ลงในสูตรน้ำยางคอมปาวด์จะส่งผลดีต่อสมบัติทางกายภาพ ทางความร้อน การดูดซับเสียง เนื่องจากฟองอากาศที่เกิดจากการหลุดของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ระหว่างการบ่มแรงเพื่อคงรูปร่าง จะช่วยทำให้โครงสร้างเกิดการพองตัว มีช่องว่างภายในโครงสร้าง และช่วยลดเรื่องค่าความจุความร้อน (Specific heat) ของชั้นยางคอมปาวด์ เพราะโดยหลักการทั่วไป ยางจะมีค่าความจุความร้อน (Cp or Cv) ที่สูงมากกว่าวัสดุประเภทอื่นๆ เมื่อได้รับความร้อนในระยะเวลาที่เท่ากัน ดังนั้นการเติมสารเพิ่มฟองก็จะช่วยลดเรื่องค่าความจุความร้อนได้ดี นอกจากนี้การเติมสารเพิ่มฟองยังสามารถช่วยลดค่าความหนาแน่นโดยมวลรวม (Bulk density) และเพิ่มประสิทธิภาพด้านการดูดซับเสียงในย่านความถี่ต่ำได้ดีหรือในช่วงความถี่ 250-500 Hz. ซึ่งเป็นย่านความถี่ของเสียงรบกวนหรือดังที่พบเห็นโดยทั่วไปได้ดี
3. วิธีการเตรียมแผ่นผ้าก็ไม่ยุ่งยากมากนัก เนื่องจากน้ำยางคอมปาวด์ที่เตรียมได้ สามารถเซตตัวและยึดติดระหว่างชั้นของแผ่นผ้าได้ภายในระยะเวลาสั้น และหลังจากการขึ้นรูปเสร็จ ชิ้นงานที่ได้ถูกนำไปอบแห้ง การอบแห้งชิ้นงานเป็นการบ่มแรงการคงรูปของยางได้โดยทางอ้อม ส่งผลให้แผ่นผ้าที่เตรียมได้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น
4. ราคาของตัวอย่างแผ่นผ้าที่เตรียมได้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำยางคอมปาวด์และสารเคมีที่ใช้เติมลงในชั้นของน้ำยางคอมปาวด์ด้านในที่อยู่ระหว่างชั้นยิปซัม โดยที่ราคาของผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับราคาน้ำยางในท้องตลาดและสารเคมีที่ใช้ในการคงรูปร่าง

ราคาประเมินต้นทุนแผ่นผ้าเพดาน 1 แผ่น ขนาด 25 x 35 ตารางเซนติเมตร ความหนาประมาณ 1.5-2.0 ซม.

4.1 ผงยิปซัม ประมาณ 1 กก. 5 บาท

4.2 เส้นใยแก้วและเซลลูโลส 1-1.50 บาท

4.3 แบบพิมพ์ในการขึ้นรูป 20 บาท (สามารถใช้ซ้ำได้ประมาณ 500 ครั้ง)

4.4 น้ำยางคอมปาวด์และสารเคมีที่เกี่ยวข้องต่อการขึ้นรูป 1 แผ่นประมาณ 20-22 บาท

4.5 ค่าวัสดุอื่นๆ เช่น สารหล่อลื่น น้ำประปา ประมาณ 1 บาท

4.6 ค่าแรงงานการผลิต 1 คน (1 แผ่นใช้เวลาประมาณ 20-30 นาที) 1 แผ่น ประมาณ 12 บาท

4.7 ค่าไฟฟ้าสำหรับการอบ หรือการวางตากแดด (การอบ 1 ครั้ง สามารถใส่ชิ้นงานได้ประมาณ 12-15 ชิ้น)

คิดค่าไฟฟ้ายูนิตละ 3 บาท ประมาณแผ่นละ 2 บาท

รวมราคาต้นทุนเริ่มต้นโดยประมาณ $5+1.5+0.05+22+1+12+2 = 43.55$ บาท ต่อแผ่นชิ้นงาน

หากคำนวณต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร ราคาผลิตภัณฑ์ที่ได้จากโครงการวิจัย จะมีราคาประมาณ 436-480 บาทต่อตารางเมตร เนื่องจากต้องใช้แผ่นยิปซัมคอมพอสิตน้ำยางคอมปาวด์ที่เตรียมได้ประมาณ 10-11 ต่อตารางเมตร (คำนวณจากขนาดแผ่น 25 ซม. x 35 ซม. x 2 ซม.)

หมายเหตุ ราคาแผ่นผ้าเพดานยิปซัมเกรดการค้า ขนาด 60 ซม. X 60 ซม. X 1 หรือ 1.5 ซม.

1. แบบเรียบทั่วไป 20 บาท ต่อแผ่น

2. แบบฝ้าลาย 20 บาทต่อแผ่น (1 แพคหรือห่อ = 1 ตารางเมตร ประมาณ 300-400 บาท)

3. แบบฝ้าลายและมีสี 30 บาทต่อแผ่น (1 แพคหรือห่อ = 1 ตารางเมตร ประมาณ 500 บาท)

และแผ่นฝ้าฉาบเรียบเกรดการค้าขนาดใหญ่ 1.20 x 2.40 ตารางเมตร ราคาจะแบ่งตามชนิด

1. แบบฉาบเรียบ ราคาประมาณ 170-200 บาท

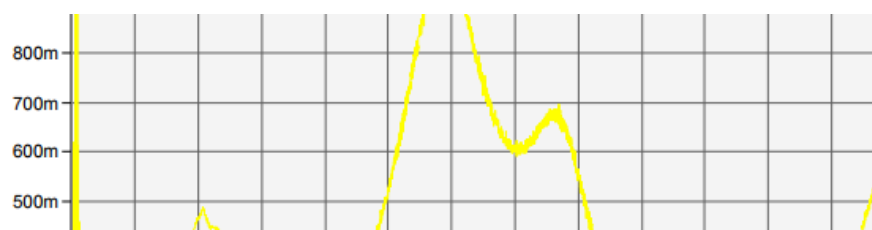
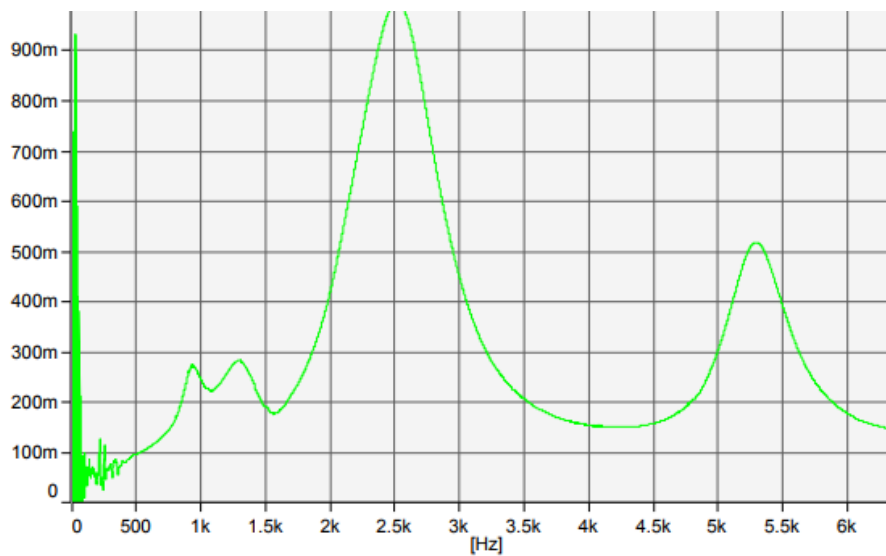
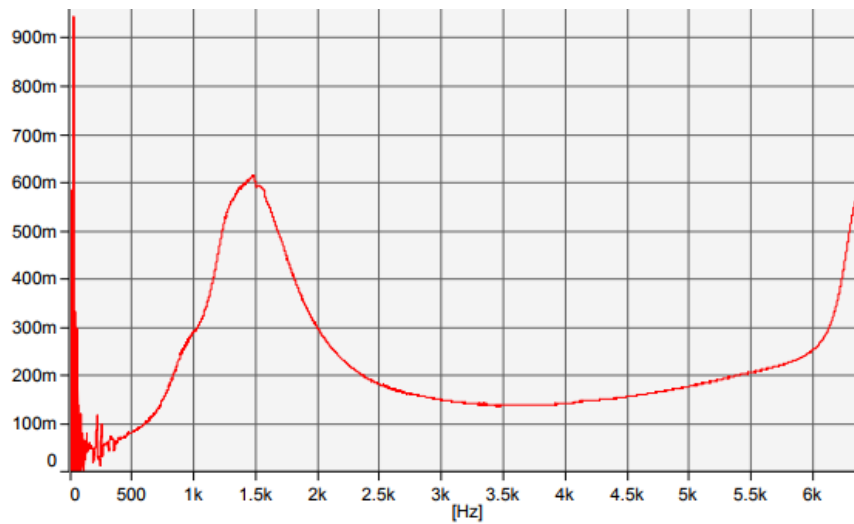
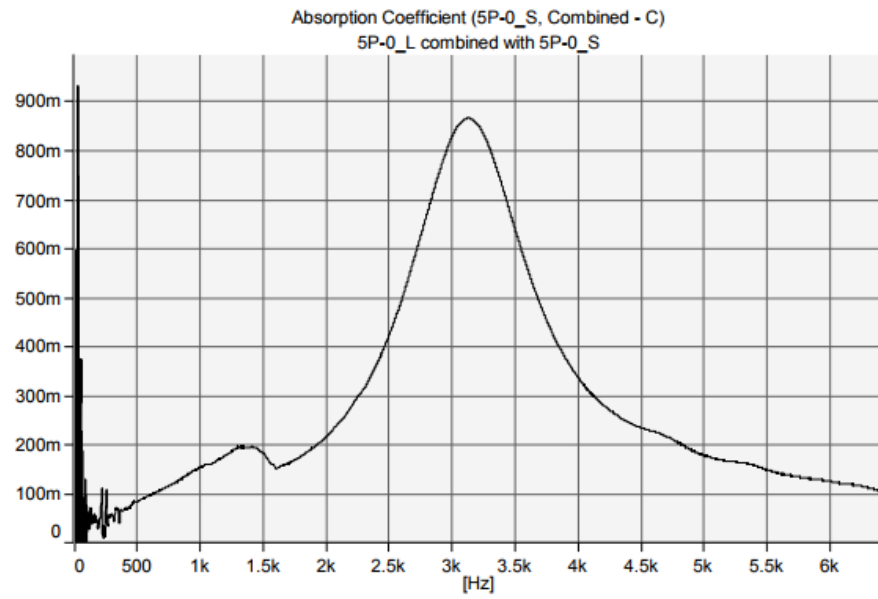
2. แบบกันร้อน ราคาประมาณ 300 บาท

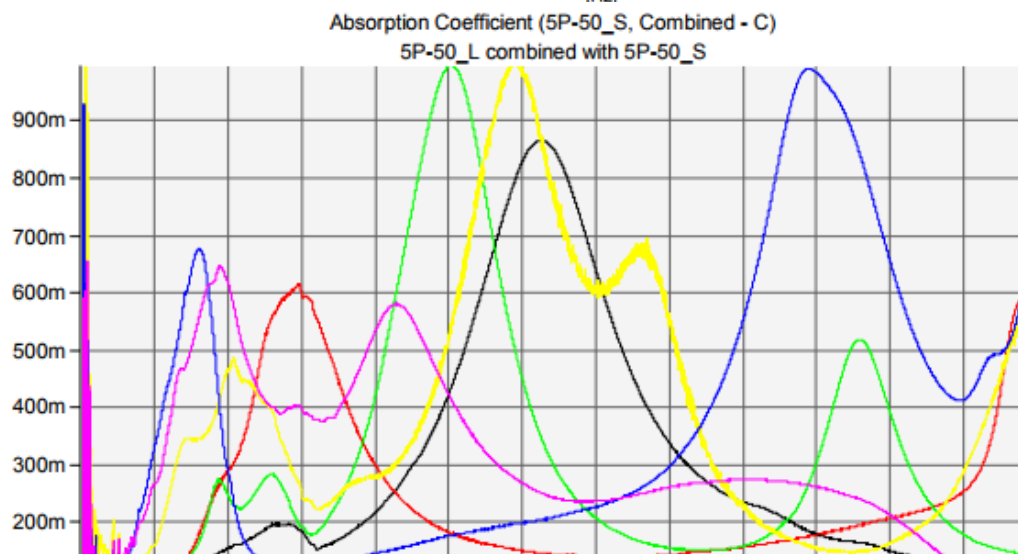
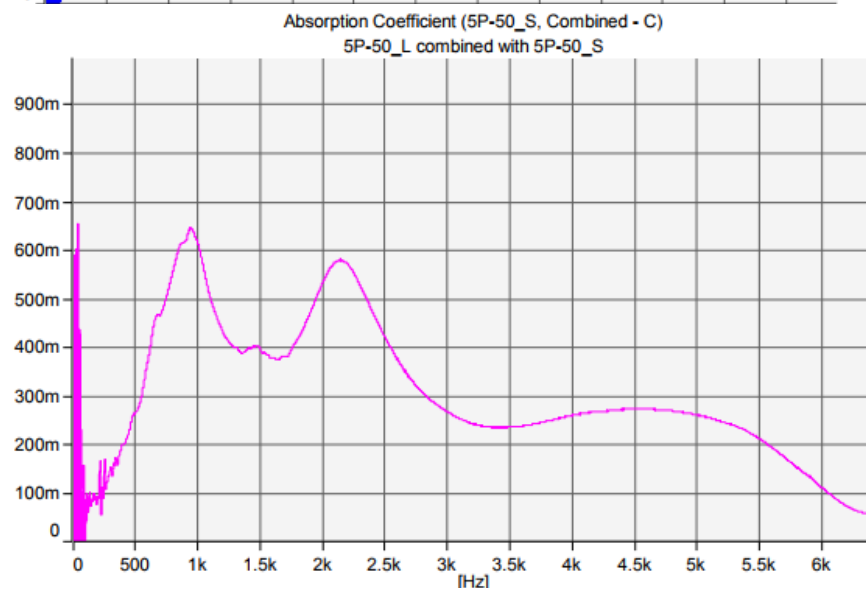
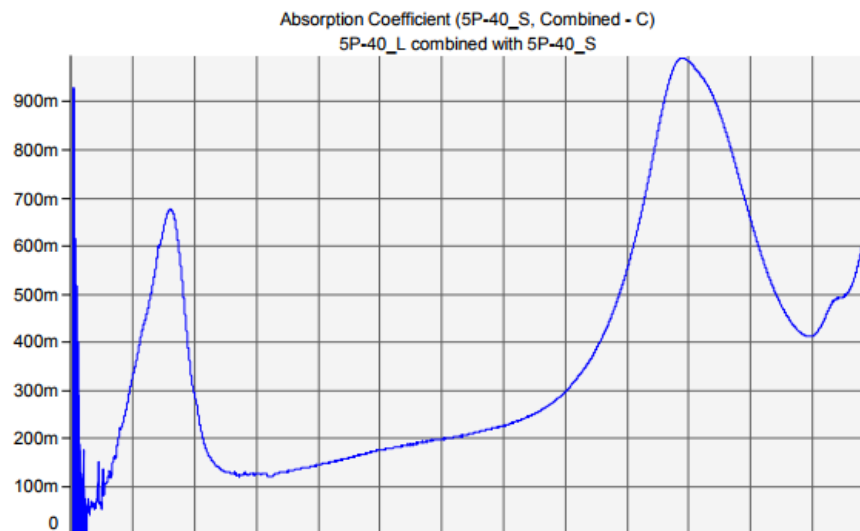
เอกสารอ้างอิง

- 10.1 มยุรี ปาลวงศ์ กลุ่มงานเผยแพร่และอำนวยความสะดวก สำนักบริหารกลาง กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2552, 38 หน้า
- 10.2 Clifton, J.R. Thermal Analysis of Calcium Sulfate Dihydrate and Supposed α and β Forms of Calcium Sulfate Hemihydrate from 25 to 500°C
- 10.3 Çengel, Y.A. Heat and Mass Transfer, 3rd, 842-850.
- 10.4 Al-Homoud, M.S. Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials, Building and Environment, 40 (2005), 353-366.
- 10.5 Callister, W.D. Materials Science for Engineering., John Wiley & Sons, Inc. 2007, 7th, 806 pp.
- 10.6 Newman, E.D. and Wells, L.S. Heats of Hydration and Transition of Calcium Sulfate, Journal of Research of the National Bureau of Standards, 20 (1938), 825-836.
- 10.7 Weber, B. Heat and Mass Transfer in a Gypsum Board Subjected to Fire, Proceedings of the 2011 COMSOL Conference in Stuttgart, 8 pp.
- 10.8 Dai, D. and Fan, M. Preparation of bio-composite from wood sawdust and gypsum, Industrial Crops and Products, 74(2015), 417-424.
- 10.9 Gencel, O., Jose del Coz Diaz, J., Sutcu, M., Koksai, F., Pedro Álvarez Rabanal, F., and Martinez-Barrera, G., A novel lightweight gypsum composite with diatomite and polypropylene fiber, Construction and Building Materials, 113(2016), 732-740.
- 10.10 Muhammad, B. and Ismail, M., Performance of natural rubber latex modified concrete in acidic and sulfated environments, Construction and Building Materials, 31(2012), 129-134.
- 10.11 Tangboriboon, N.; Deechaiyapum, H.; Petcharoen, K.; Sirivat, Anuvat, Effect of Alumina Particles Embedded in Natural Rubber Foams on Cell Morphology and Thermo-Mechanical Properties, INTERNATIONAL POLYMER PROCESSING, Volume: 30, Issue: 1, 82-90, Published: MAR 2015
- 10.12 Tangboriboon, N., Rortchanakarn, S., Petcharoen, K., Sirivat, A. Effects of foaming agents and calcium carbonate on thermo-mechanical properties of natural rubber foams, Polimeri, 35 (1), pp. 10-17.
- 10.13 PCT WO 81/02010 Plaster products and a process for the production thereof, 23 July, 1981
- 10.14 US 8793897B2 Process and device for stabilizing, cooling and dehumidifying gypsum plaster, Aug 5, 2014

- 10.15 US 6746533B2 Quick drying plaster, Jun 8, 2004
- 10.16 US 4804688 Open3cell foamed gypsum insulation, Feb 14, 1989
- 10.17 US 4523954 Process for manufacturing cellular plaster and molded plaster articles, Jun 18, 1985
- 10.18 CA 2044168 Plaster foam with porous structure, a process for its preparation and its use, 1990/03/13
- 10.19 CN1884767 (A) Modified gypsum thermal insulation material for wall
- 10.20 CN 104311111A Method for preparing movable gypsum floor tiles by using desulfurated gypsum
- 10.21 US 3915919 Gypsum composition, Oct 28, 1975
- 10.22 US 2002/0128352 Construction board materials with engineered microstructures, Sep 12, 2002
- 10.23 US 3758362 Dual layer adhesive system, Sept 11, 1973
- 10.24 US 3852083 Manufacture of plaster of paris products containing latex, Dec 3, 1974
- 10.25 Dick, C. E. and Deidre A. H. Thermal analysis of calcium sulfate dehydrate sources used to manufacture gypsum wallboard, Thermochemical acta, 639 (2016), 173-185.
- 10.26 Samuel, L.M. Suel-Hyun, P., Tensei, M., and Dale, P.B. Measurement of thermal properties of gypsum board at elevated temperatures, Proceedings of the Fifth International Conference on Structures in fire, (2008), 656-665.
- 10.27 Padevêt, Tesárek, P., and Plachý, T. Evolution of mechanical properties of gypsum in time, International journal of mechanics, 1/5(2011), 1-9.
- 10.28 มอก. 219-2552 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม: แผ่นยิปซัม, ISBN 978-974-292-900-8, 16 หน้า
- 10.29 มาตรฐานกำกับของฝ้าเพดาน, ceiling, 4 หน้า
- 10.30 สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม รายละเอียดผู้ผลิตแผ่นยิปซัม ตามมอก.219-2524, 1 หน้า
- 10.31 JP2013124533, 2015 06 16, A Lead board attached with gypsum board, and removable release sheet for application to the board
- 10.32 JP2013072859A, 2015 06 16, Lead board with gypsum board and adhesion layer forming composition used for forming lead board

ภาคผนวก





ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ ต่อ สกว.

1. การดำเนินการวิจัยแล้ว ยังไม่พบปัญหาหรืออุปสรรคใดต่อโครงการวิจัยฯ
2. ผู้วิจัยได้ทดลองขึ้นรูปแผ่นฝ้ายปัมโดยการเติมน้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์ที่สัดส่วน 0, 10, 20, 30, 40, 50% โดยน้ำหนัก พบว่าหากเติมน้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์ปริมาณมาก 40% และ 50% โดยน้ำหนัก จะส่งผลให้การขึ้นรูปแผ่นฝ้ายที่มีความหนามาก น้ำหนักต่อแผ่นมาก
3. ตารางแสดงงานแผนงานของโครงการเป็นไปตามข้อเสนอโครงการ ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

ระยะเวลา	กิจกรรม	ผลที่คาดว่าจะได้
6 เดือนที่ 1	ศึกษาตัวอย่างแผ่นฝ้ายปัมเกรดการค้าและเตรียมวัตถุดิบในโครงการวิจัย	ข้อมูลทางวิชาการเบื้องต้น สำหรับปรับปรุงสูตรที่เหมาะสมที่สุด
6 เดือนที่ 2	ทำการขึ้นรูปและวิเคราะห์คุณลักษณะและสมบัติทางความร้อนและการดูดซับเสียงแผ่นฝ้ายปัมคอมพอสิตน้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์ที่สัดส่วน 0, 10, 20, 30, 40, 50% โดยน้ำหนัก	สูตรแผ่นฝ้ายปัมคอมพอสิตน้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์ที่เหมาะสมในการผลิตชิ้นงานต้นแบบ

4. ควรทำการทดลองเพิ่มเติม โดยการให้น้ำหนักเบาขึ้น ด้วยการเพิ่มโพนซึ่งจัดเป็นเทอร์โมเซตตั้งชนิดหนึ่ง แล้วทำการทดสอบสมบัติตามมาตรฐานการทดสอบ
5. ควรขยายผลการทดลองให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อการขยายผลสู่การผลิตระดับอุตสาหกรรมเชิงพาณิชย์

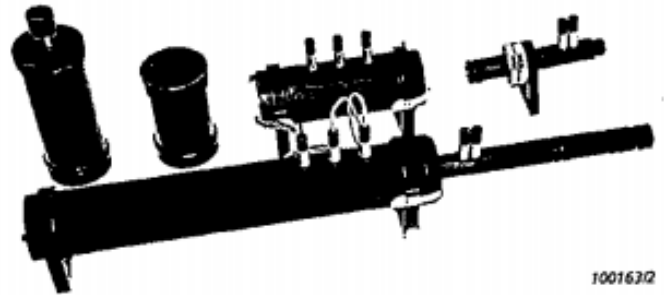
ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาการประชุม 2-3 เดือน ปีงบประมาณ 2560
โครงการย่อยที่ 2 แผ่นผ้าเพดานชนิดยิปซัมคอมพอสิตด้วยน้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์สำหรับการประยุกต์ใช้งานด้านอุตสาหกรรมก่อสร้าง
หัวหน้าโครงการวิจัย ผศ.ดร.นุชนภา ตั้งบริบูรณ์

ความเห็นผู้ทรงคุณวุฒิ	คำชี้แจงของนักวิจัย	การจัดการของผู้ประสานงาน
1. นักวิจัยควรเน้นคุณสมบัติเด่น และกำหนด spec นั้นให้ชัดเจน และจัดการในส่วนของผลข้างเคียงที่ไม่พึงประสงค์เพื่อให้โดยรวมของโครงการได้ผลิตภัณฑ์นวัตกรรมที่เหมาะสมและเป็นไปตามความต้องการของผู้บริโภค/กลุ่มเป้าหมาย	นักวิจัยได้เพิ่มเติมรายละเอียดของรูปแบบที่ใช้ในการขึ้นรูปขึ้นงาน โดยหลักการผลิตวัสดุคอมพอสิตแบบแซนวิช (Sandwich) ไว้ในส่วนของการขึ้นรูปแบบแซนวิชคอมพอสิต ที่สามารถช่วยลดปัญหาที่ไม่พึงประสงค์จากการเติมน้ำยางได้ เช่น เรื่องกลิ่น การเกิดเชื้อรา การเสื่อมสภาพ เป็นต้น เป็นการเพิ่มสมบัติทางกายภาพ ทางกล ทางความร้อน และทางเสียง และวิธีการเลือกใช้วัตถุดิบที่มีสมบัติใกล้เคียงหรือเหมือนกับวัตถุดิบของแผ่นผ้าเพดานเกรดการค้าที่มีจำหน่ายในท้องตลาด	☐ ชี้แจงได้กระจ่างและเห็นชอบตามคำชี้แจงของนักวิจัย ☐ ชี้แจงไม่กระจ่าง ให้ความเห็นไม่ได้และส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาใหม่แล้ว ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิเห็นชอบด้วยแล้ว ☐ นักวิจัยแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ
2. นักวิจัยควรมีการเปรียบเทียบชิ้นงานกับมาตรฐาน มอก. ด้วยเพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือของชิ้นงาน	ได้ดำเนินการทดสอบเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานแผ่นผ้าเพดานยิปซัม กับ มอก. 219-2552 และ ASTM 1396 ด้านการรับแรงดัดงอ ความแข็งแรง การดูดซับเสียง และการต้านทานความร้อน	☐ ชี้แจงได้กระจ่างและเห็นชอบตามคำชี้แจงของนักวิจัย ☐ ชี้แจงไม่กระจ่าง ให้ความเห็นไม่ได้และส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาใหม่แล้ว ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิเห็นชอบด้วยแล้ว ☐ นักวิจัยแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ
3. นักวิจัยควรนำเสนอสูตรยางพาราที่ใช้ในการวิจัยด้วย	ผู้วิจัยได้เพิ่มเติมสูตรน้ำยางพาราคอมปาวด์ที่ใช้ในการทดลองไว้ในส่วนของ วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	

PRODUCT DATA

Impedance Tube Kit (50 Hz – 6.4 kHz) Type 4206
 Impedance Tube Kit (100 Hz – 3.2 kHz) Type 4206-A
 Transmission Loss Tube Kit (50 Hz – 6.4 kHz) Type 4206-T

Brüel & Kjær offers a complete range of tubes for acoustic material testing measurements such as acoustic impedance and admittance, as well as the coefficients for sound absorption, reflection and transmission loss.



100163/2

Uses

		Type 4206	Type 4206-A	Type 4206-T
Frequency Range	50 Hz – 1.6 kHz	•		•
	100 Hz – 3.2 kHz		•	
	500 Hz – 6.4 kHz	•		•
Parameters	Acoustic impedance	•	•	•
	Acoustic admittance	•	•	•
	Reflection coefficient	•	•	•
	Sound absorption coefficient	•	•	•
	Transmission loss coefficient			•

Features

- Measurements based on the two-microphone transfer-function method according to ISO 10534-2 and ASTM E1050-12 international standards for absorption coefficient and ASTM E2611-09 for transmission loss
- Horizontal mounting of orientation-sensitive materials; simulation of measurements on hanging ceilings
- Wall mountable
- Part of a complete acoustic material testing system featuring Brüel & Kjær's PULSE™ system

Applications

Standard	Tube Kit	Frequency Range
ISO 10534-2	Type 4206	50 – 6400 Hz
ASTM E1050-12	Type 4206	50 – 6400 Hz
ASTM E1050-12	Type 4206-A	100 – 3200 Hz
ASTM E2611-09	Type 4206-T	50 – 6400 Hz

- Characterization of an acoustic material's properties
- Testing specified material characteristics
- Determining input data for acoustical modelling
- For research purposes

Benefits

- Normal incidence parameters are determined
- Fast and accurate measurements
- Large frequency range achieved using tubes of various diameters and microphone spacings
- Use of small samples
- Easy to assemble and disassemble

Why Test Materials?

With today's growing focus on noise-control issues and the emergence of sound quality as an important aspect of product design, acoustic material testing is becoming increasingly relevant to engineers, designers and manufacturers from a broad range of industries. For example, it is crucial to predict the impact of using specific noise-control materials at an early stage in the development of equipment or a machine. Simulation software can help make the prediction if the acoustic characteristics of the materials have been accurately specified.

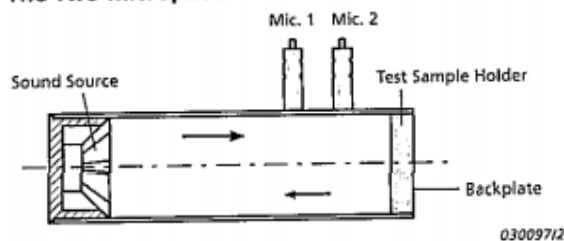
Acoustic material testing is the process by which acoustic characteristics of materials are determined in terms of absorption, reflection, impedance, admittance and transmission loss.

Many different methods can be used to determine the acoustic properties of materials. These methods mainly involve exposure to known sound fields and measuring the effect of the material's presence on the sound field, and in order to ensure accuracy and repeatability, there is a range of standards covering material testing that prescribes well-defined acoustical conditions and special instrumentation.

Impedance Tubes

Fig. 1
Schematic diagram of the impedance tube for the two-microphone transfer-function method

The Two-microphone Transfer-function Method



A sound source (loudspeaker) is mounted at one end of the impedance tube, and a sample of the material is placed at the other end (see Fig. 1). The loudspeaker generates broadband, stationary random sound waves, which propagate as plane waves in the tube, hit the sample and reflect. The propagation, contact and reflection result in a standing-wave interference pattern due to the superposition of forward- and backward-travelling waves

inside the tube. By measuring the sound pressure at two fixed locations and calculating the complex transfer function using a two-channel digital frequency analyzer, it is possible to determine the sound absorption and complex reflection coefficients and the normal acoustic impedance of the material. The usable frequency range depends on the diameter of the tube and the spacing between the microphone positions.

This method is described in both ISO 10534-2 and ASTM E1050-12.

Impedance Tube Kit (50 Hz – 6.4 kHz) Type 4206

Type 4206 consists of:

- a 100 mm diameter tube (large tube)
- a 29 mm diameter tube (small tube)
- sample holders (29 and 100 mm)
- extension tubes (29 and 100 mm)

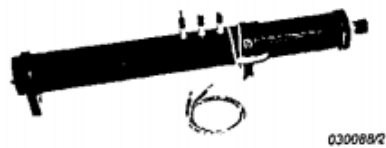
Components can be assembled into two different setups:

- a large-tube setup to measure parameters in the frequency range from 50 Hz to 1.6 kHz
- a small-tube setup to measure parameters in the frequency range from 500 Hz to 6.4 kHz

The large tube has a loudspeaker at one end, and a frequency-weighting unit is also provided. The following three types of weighting are selectable:

- high-pass – for high-frequency measurements in the small tube
- linear – for measurements in the large tube
- low-pass – for extra measurement accuracy below 100 Hz

Fig. 2
Type 4206 large tube
setup



In the large-tube setup, the large sample holder is mounted directly to the open end of the large tube (Fig. 2). The large tube has three couplers for mounting microphones flush with the inside of the tube. Flush mounting couples the microphone to the sound field in the tube and prevents leakage that would cause measurement errors.

Fig. 3
Type 4206 small tube
setup



In the small-tube setup, the small tube is mounted to the open end of the large tube (with the loudspeaker), and the small sample holder in the small tube (Fig. 3). The small tube has two couplers.

The effective length of each configuration can be changed by fitting one or two extension tubes and by changing the position of the sliding piston inside the sample holder.

Measurements are made with two $\frac{1}{4}$ " Condenser Microphones Type 4187, which are supplied with Type 4206 and are specially designed to reduce errors due to pressure leakage at high frequencies.

Impedance Tube Kit (100 Hz – 3.2 kHz) Type 4206-A

Type 4206-A consists of:

- a 100 mm diameter tube (large tube)
- a 63.5 mm diameter tube (medium tube)
- a sample holder (63.5 mm)

Type 4206-A is specifically designed to cover the frequency range from 100 Hz to 3.2 kHz. This allows the comparison of data measured using the tube with data measured using the reverberation room method of ASTM C423-99a.

Fig. 4
Type 4206-A, medium-
tube setup



In the medium-tube setup, the medium tube is mounted on the open end of the large tube (with the loudspeaker), and the medium sample holder in the medium tube (Fig. 4). The medium tube has three couplers for mounting microphones flush with the inside of the tube. Flush mounting couples the microphone to the sound field in the tube and prevents leakage that would cause measurement errors.

The effective length of the configuration can be changed by changing the position of the sliding piston inside the sample holder.

Measurements are made with two $\frac{1}{4}$ " Condenser Microphones Type 4187, which are supplied with Type 4206-A and are specially designed to reduce errors due to pressure leakage at high frequencies.

Applications for Types 4206 and 4206-A

Types 4206 and 4206-A can be used to measure the acoustic properties of small test samples, including composite materials (for example, ceiling tiles) and irregular materials (for example, fissured acoustic tiling). The piston backplate, onto which test samples are mounted inside the sample holders, can be withdrawn in order to produce an air gap behind the test sample. This can be used to simulate measurements on hanging ceilings. In addition, both Impedance Tube Kits can be mounted vertically in order to make measurements on orientation-sensitive samples, which must be mounted horizontally (for example, granular materials).

Compliance with Standards

   	The CE marking is the manufacturer's declaration that the product meets the requirements of the applicable EU directives RCM mark indicates compliance with applicable ACMA technical standards – that is, for telecommunications, radio communications, EMC and EME China RoHS mark indicates compliance with administrative measures on the control of pollution caused by electronic information products according to the Ministry of Information Industries of the People's Republic of China WEEE mark indicates compliance with the EU WEEE Directive
Safety	EN/IEC 61010-1: Safety requirements for electrical equipment for measurement, control and laboratory use ANSI/UL 61010-1: Safety requirements for electrical equipment for measurement, control and laboratory use
EMC Emission	EN/IEC 61000-6-3: Generic emission standard for residential, commercial and light industrial environments. EN/IEC 61000-6-4: Generic emission standard for industrial environments. CISPR 22: Radio disturbance characteristics of information technology equipment. Class B Limits. FCC Rules, Part 15: Complies with the limits for a Class B digital device. This ISM device complies with Canadian ICES-001 (interference causing equipment standard).
EMC Immunity	EN/IEC 61000-6-1: Generic standards – Immunity for residential, commercial and light industrial environments. EN/IEC 61000-6-2: Generic standards – Immunity for industrial environments. EN/IEC 61326: Electrical equipment for measurement, control and laboratory use – EMC requirements. Note: The above is only guaranteed using accessories listed in this Product Data sheet.
Temperature	IEC 60068-2-1 & IEC 60068-2-2: Environmental Testing. Cold and Dry Heat. Operating Temperature: +5 to +40 °C (41 to 104 °F) Storage Temperature: -25 to +70 °C (-13 to 158 °F)
Humidity	IEC 60068-2-78: 90% RH (non-condensing at 40 °C)
Mechanical	Non-operating: IEC 60068-2-6: Vibration: 0.3 mm, 20 m/s ² , 10–500 Hz IEC 60068-2-27: Shock: 1000 m/s ² IEC 60068-2-29: Bump: 1000 bumps at 250 m/s ²
Other	ASTM E1050-12, ASTM C423-99a, ISO 10534-2, ASTM E2611-09

Specifications – Types 4206, 4206-A and 4206-T

FREQUENCY RANGE

Small Tube: 500 Hz to 6.4 kHz

Medium Tube: 100 Hz to 3.2 kHz

Large Tube: 50 Hz to 1.6 kHz

ZERO ABSORPTION

(calculated in 1/3-octave bands)

50 Hz to 4 kHz: < 4%

5 kHz to 6.3 kHz: < 10%

TUBE DIMENSIONS

	Inner Diameter mm (in)	Max. Sample Length mm (in)
Small Meas. Tube	29 (1.1)	200 (7.9)
Medium Meas. Tube	63.5 (2.5)	200 (7.9)
Large Meas. Tube	100 (3.9)	440 (17.4)
Small Sample Holder	29 (1.1)	200 (7.9)
Medium Sample Holder	63.5 (2.5)	200 (7.9)
Large Sample Holder	100 (3.9)	200 (7.9)
Small Ext. Tubes	29 (1.1)	200 (7.9)
Large Ext. Tubes	100 (3.9)	200 (7.9)
Small TL Tube	29 (1.1)	190 (7.4)
Large TL Tube	100 (3.9)	260 (10.2)
Small TL Sample Holder	29 (1.1)	65 (2.9)
Large TL Sample Holder	100 (3.9)	150 (5.9)

ASSEMBLED SETUP DIMENSIONS

Small Tube (length): 1050 mm (41.3")

Medium Tube (length): 910 mm (36")

Large Tube (length): 900 mm (35.4")

TL Small Tube (length): 1280 mm (50.4")

TL Large Tube (length): 1370 mm (53.9")

Total Width: 140 mm (5.5")

Total Height: 240 mm (9.5")

¼" CONDENSER MICROPHONE TYPE 4187

To optimize the measurement accuracy of Type 4206, the microphones have a non-removable protection grid that forms an airtight front cavity. This gives a coupling between Type 4206 and the microphones that is well-defined with respect to phase

Open-circuit Sensitivity (250 Hz): 4 mV/Pa (-48 ± 3 dB re 1 V/Pa)

Capacitance (250 Hz): 6.4 pF, typical

Frequency Response Characteristic (Flush-mounted) ± 1 dB:

1 Hz to 8 kHz

Polarization Voltage: 200 V

LOUDSPEAKER

Max. Average Power: 10 W at 20 °C (68 °F)

Max. Pulsed Power: 50 W for 2 s (limited by protection circuit)

Impedance: 4 Ω

Diameter: 80 mm (3.2")

WEIGHT (WITH ACCESSORIES)

12 kg (26.5 lb)

* Add 200 mm for each extension tube used

Ordering Information

Type 4206 Impedance Tube Kit (50 Hz – 6.4 kHz)

Includes the following accessories:

- 2 x Type 4187: 1/4" Pressure-field Microphone
- 2 x Type 2670: 1/4" Preamplifier
- UA-1117: Large Measurement Tube
- UA-1118: Small Measurement Tube
- UA-1119: Large Sample Holder
- UA-1120: Small Sample Holder
- DS-0864: Large Calibration Sample
- DS-0865: Small Calibration Sample
- 2 x DB-3260: Large Extension Tube
- 2 x UA-1168: Small Extension Tube
- 3 x DP-0821: Dummy Microphone

Type 4206-A Impedance Tube Kit (100 Hz – 3.2 kHz)

Includes the following accessories:

- 2 x Type 4187: 1/4" Pressure-field Microphone
- 2 x Type 2670: 1/4" Preamplifier
- UA-1117: Large Measurement Tube
- UA-2033: Medium Measurement Tube with Sample Holder
- DS-1046: Medium Calibration Sample
- 4 x DP-0821: Dummy Microphone

Type 4206-T Transmission Loss Tube Kit (50 Hz – 6.4 kHz)

Includes the following accessories:

- 4 x Type 4187: 1/4" Pressure-field Microphone
- 4 x Type 2670: 1/4" Preamplifier
- UA-1117: Large Measurement Tube
- UA-1118: Small Measurement Tube
- UA-1630: Transmission Loss Measurement Tubes
- UA-1119: Large Sample Holder
- UA-1120: Small Sample Holder
- 3 x DS-0864: Large Calibration Sample
- 3 x DS-0865: Small Calibration Sample
- 2 x DB-3260: Large Extension Tube
- 2 x UA-1168: Small Extension Tube
- 3 x DP-0821: Dummy Microphone

Optional Accessories

Type 2735	2 x 35 W Measurement Power Amplifier
AO-0087-D-004	Cable, BNC (M) to BNC (M), 0.4 m (1.3 ft)
WL-1325-D-020	Cable- Speakon 4-pin (F) to 2-way Banana, 2 m (6.6 ft)
WB-3540	Power Supplier for WB-3541
WB-3541	Power Amplifier
Type 4231	Sound Calibrator
DP-0775	Adaptor for 1/4" Microphones (for Type 4231)
UA-2033	Medium Measurement Tube with Sample Holder (for Type 4206)
UA-1720:	Sample Positioning Tool for Type 4206-T

Typical Systems

Acoustic Material Test – Single-sided

- Type 7770-N2: PULSE FFT Analysis
- Type 7758: PULSE Material Testing
- Type 3160-A-042: Generator, 4/2-ch. Input/Output Module LAN-XI 51.2 kHz
- UA-3102-042: LAN-XI Front Panel, Generator, for 200 V Microphone

Acoustic Material Test – Double-sided

- Type 7700-N4: PULSE FFT & CPB Analysis
- Type 7758: PULSE Material Testing
- Type 3160-A-042: Generator, 4/2-ch. Input/Output Module LAN-XI 51.2 kHz
- UA-3102-042: LAN-XI Front Panel, Generator, for 200 V Microphone

Services

Factory calibration is included with delivery of Types 4206, 4206-A and 4206-T

OPTIONAL SERVICES

4206-CFF	Impedance Measurement Tube, Factory Standard Calibration with Calibration Chart – annual
4206-EW1	Extended Warranty – one year extension
4206-TCF	Conformance Test with Certificate – factory test with statement that the instrument operates to specifications

Brüel & Kjær and all other trademarks, service marks, trade names, logos and product names are the property of Brüel & Kjær or a third-party company.

Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S
DK-2850 Nærum · Denmark · Telephone: +45 77 41 20 00 · Fax: +45 45 80 14 05
www.bksv.com · info@bksv.com
Local representatives and service organizations worldwide

Although reasonable care has been taken to ensure the information in this document is accurate, nothing herein can be construed to imply representation or warranty as to its accuracy, currency or completeness, nor is it intended to form the basis of any contract. Content is subject to change without notice – contact

Brüel & Kjær 





THERMAL CONDUCTIVITY TESTER



AUTO A

HC-074-200

Conforms ASTM-C518
ISO-8301
JIS-A1412

HC-074-200 is a microprocessor-based instrument for testing materials in the conductivity range of 0.005 to 0.8W/mK such as plastics, rubber, urethane, styrene foam and rock wool in research and development and quality control. Its state of the art electronics developed specifically for thermal conductivity testing instruments ensure precision. The measurement procedure of the instruments is fully automated. The greatly reduced size and weight of HC-074-200 makes it extremely easy to operate. Because of its speed and ability to have up to 9 setpoints entered at once it is extremely labor efficient.

FEATURES

■ High sensitivity transducers

A revolutionary high output Thin Film Heat Flux Transducer and a type E thermocouple provide accurate readings of the sample's surface temperature and heat flux.

■ Advanced electronics

A 24 bit A/D converter and a digital signal processor provide 0.6 μ V resolution yielding temperature control and resolution of 0.01°C

■ Accurate thickness measurement

A sophisticated digital plate position control system with readout in all four corners of the specimen provides +/- 0.025mm accuracy in thickness measurement.

■ Precise results

Extensive testing at various locations has shown that HC-074-200 have a repeatability of 0.2%, a reproducibility of 0.5%, and when the high accuracy calibration mode is used an absolute accuracy of better than 1%.

■ Time of tests

The powerful data acquisition system, the low thermal mass solid state cooling/heating plates and the multistage PID algorithm can be reached and controlled to 0.01°C in a few minutes. The dual transducers and advanced electronics provide results for 1" thick specimens accurate to within 1% of final steady state results in less than 10 minutes.

■ Calibration

Two modes are provided. One calibration uses the NIST 1450b standard. The other employs a special high accuracy NIST traceable calibration standard accurate to within 0.5%. Calibrations can also be performed by the user employing their own calibration samples. As many calibrations as desired can be stored on the PC and sent to the instrument at any time.

■ WinTherm Software

Increased flexibility is made available through the software used under Windows. All the test parameters can be setup and changed at any time during the test, with the ability to review data in a variety of formats including graphs. It also provides extensive automatic data storage on the hard disk.

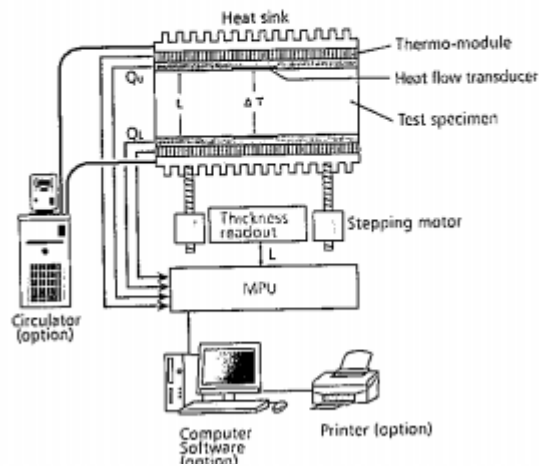
■ Automatic Sample Feeder (Option)

The feeder is available on HC-074-200 with the ability to automatically load and test 21 1" samples. Each sample's results and data are stored on the PC.

EKO

THERMAL CONDUCTIVITY TESTER
AUTO
HC-074

STRUCTURE AND PRINCIPLE



The thermal conductivity of a specimen (λ) is determined by the following the equation;

$$\lambda = \frac{Q_u + Q_l}{2} \times \frac{L}{\Delta T}$$

Where Q_u is the output of the upper heat flux transducer, Q_l is the output of the lower heat flux transducer, L is the thickness of the specimen and ΔT is the temperature difference between the surfaces of the specimen.

The upper and lower surface temperature of both transducers are provided on the instrument LCD at the end of the test.

In each component of the conductivity equation, heat flux, thickness of the specimen and temperature of specimen surfaces, the HC-074 provides extremely precise readings.

Line up of HC-074 series

HC-074-300	305x305mm, 0~51mm	-20~+95°C
HC-074-304	305x305mm, 0~102mm	-20~+95°C, Linear Gradient Guard
HC-074-314	305x305mm, 0~102mm	-20~+100°C
HC-074-600	610x610mm, 0~203mm	-15~+80°C
HC-074-630	610x610mm, 0~203mm	-15~+80°C, 5 transducers
HC-074-637	610x610mm, 0~203mm	-15~+80°C, 5 transducers, soft rubber backing
HC-074-800	762x762mm, 0~203mm	-15~+80°C
HC-074-801	762x762mm, 0~203mm	-15~+80°C
HC-074-807	762x762mm, 0~203mm	-15~+80°C, soft rubber backing
HC-074-830	762x762mm, 0~203mm	-15~+80°C, 5 transducers
HC-074-831	762x762mm, 0~203mm	-15~+80°C, 5 transducers
HC-074-837	762x762mm, 0~203mm	-15~+80°C, 5 transducers, soft rubber backing
HC-074-857	762x762mm, 0~203mm	-15~+80°C, 9 transducers, soft rubber backing
HC-074-1000	1041x762mm, 0 to 100mm	0~+45°C

Automatic Sample Feeder Available for HC-074-200, 300 and 314

SPECIFICATIONS

HC-074-200

Measuring method	Heat flow method, According to ASTM-C518, ISO-8301 and JIS A 1412
Thermal conductivity range	0.005 to 0.8W/m·K
Accuracy	Better than 1%
Repeatability	0.2%
Reproducibility	0.5%
Maximum temperature of hot plate	+75°C
Minimum temperature of cold plate	-20°C
Temperature control and resolution	0.01°C
Sample size	200mm square
Sample thickness	5 to 50mm
Actual metering area	75mm square
Standard sample (Supplied)	EPS (Expanded Poly-Styrene)
Interface	RS-232C
Dimension, weight (Tester)	315 x 470 x 470mm, 16kg
(Circulator)	260 x 480 x 630mm, 26.3kg
Power requirement (Tester)	AC115V or 220V, 50/60Hz, 720VA
(Circulator)	AC230V 2450VA, AC115V 1650VA
Cooling water (by circulator)	+18°C or lower
Software	Windows (English, 98/NT/2000/XP) Total control of instrument Two Thickness Test Procedure for improved accuracy



มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

THAI INDUSTRIAL STANDARD

มอก. 219 – 2552

แผ่นยิปซัม

GYPSUM PLASTERBOARD

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระทรวงอุตสาหกรรม

ICS 91.100.10

ISBN 978-974-292-900-8

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นยิปซัม

มอก. 219 – 2552

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 0 2202 3300

ประกาศในราชกิจจานุเบกษาฉบับประกาศและงานทั่วไป เล่ม 127 ตอนพิเศษ 33 ง
วันที่ 15 มีนาคม พุทธศักราช 2553

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นอิฐฉนวนได้ประกาศใช้ครั้งแรกเป็นมาตรฐานเลขที่มอก.219-2520 ในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 94 ตอนที่ 73 วันที่ 9 สิงหาคม พุทธศักราช 2520 ประกาศแก้ไขครั้งที่ 1 เป็นมาตรฐานเลขที่ มอก.219-2522 ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 96 ตอนที่ 143 วันที่ 17 สิงหาคม พุทธศักราช 2522 และประกาศแก้ไข ครั้งที่ 2 เป็นมาตรฐานเลขที่ มอก.219-2524 ในราชกิจจานุเบกษาฉบับพิเศษ เล่ม 98 ตอนที่ 125 วันที่ 4 สิงหาคม พุทธศักราช 2524 ต่อมาได้พิจารณาเห็นสมควรแก้ไขปรับปรุงโดยเพิ่ม ประเภทชนิด และขนาด ให้เหมาะสมกับการพัฒนาอุตสาหกรรมก่อสร้าง รวมทั้งปรับปรุงวิธีการทดสอบให้สอดคล้องกับประเภทต่าง ๆ ด้วย จึงได้แก้ไขปรับปรุงโดยยกเลิกมาตรฐานเดิมและกำหนดมาตรฐานนี้ขึ้นใหม่

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดขึ้นโดยใช้ข้อมูลจากผู้ทำ ผู้ใช้ และเอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

AS/NZS 2588-1998	Gypsum plasterboard
ASTM C 1396/C1396M	Standard specification for Gypsum Wallboard
ASTM C 473-00	Standard Test Methods for Physical Testing of Gypsum Panel Products
ASTM D 3285-93	Standard Test Methods for Water Absorptiveness of Nonbibulous Paper and Paperboard(Cobb Test)
BS 1230 : 1985:Part 1	Gypsum plasterboard
JIS A6901 : 1997	Gypsum boards
มอก.170-2550	กระดานเหนียว
มอก.188-2547	ปูนอิฐฉนวนสำหรับการก่อสร้าง

คณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้พิจารณามาตรฐานนี้แล้ว เห็นสมควรเสนอรัฐมนตรีประกาศตาม มาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511



ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 4130 (พ.ศ. 2552)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. 2511

เรื่อง ยกเลิกและกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นยิปซัม

โดยที่เป็นการสมควรปรับปรุงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นยิปซัม มาตรฐานเลขที่ มอก.219-2524

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศยกเลิกประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 275 (พ.ศ. 2520) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นยิปซัม ลงวันที่ 18 เมษายน พ.ศ. 2520 ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 409 (พ.ศ. 2522) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 เรื่อง แก้ไขมาตรฐานผลิตภัณฑ์

(5)

(5)

(5)

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

แผ่นยิปซัม

1. ขอบข่าย

- 1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมแผ่นยิปซัม สำหรับใช้ภายในอาคาร เช่น ฝ้าผนัง และ ฝ้าเพดาน และสำหรับใช้ภายนอกอาคารเฉพาะทำฝ้าเพดานบริเวณที่ไม่ถูกน้ำโดยตรง

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

- 2.1 แผ่นยิปซัม หมายถึง แผ่นซึ่งทำด้วยเครื่องจักร (machine made) ประกอบด้วยปูนยิปซัมเป็นส่วนใหญ่ ใช้เป็นแกนกลางระหว่างกระดาษเหนียวผิวเรียบหรือวัสดุผิวเรียบทั้งสองด้านและ/หรืออาจมีวัสดุเพิ่มคุณภาพ เคลือบผิวด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้าน แกนกลางอาจตันหรือพรุน (cellular) และอาจผสมด้วยเส้นใย หรือวัสดุเพิ่มคุณภาพอื่นที่ปลอดภัยต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

3. ประเภท ชนิด

- 3.1 แผ่นยิปซัม แบ่งเป็น 3 ประเภท คือ

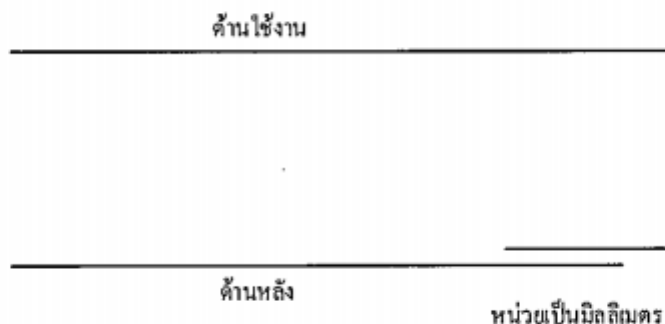
3.1.1 ประเภททั่วไป

3.1.2 ประเภททนความชื้น

3.1.3 ประเภททนไฟ

- 3.2 แผ่นยิปซัมแต่ละประเภท แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

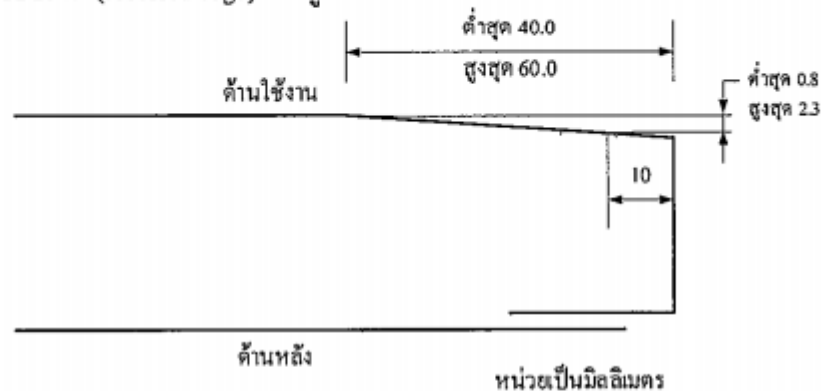
3.2.1 ชนิดขอบเรียบ (square edge) ตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผ่นยิปซัมชนิดขอบเรียบ
(ข้อ 3.2.1)

มอก. 219-2552

3.2.2 ชนิดขอบลาด (recessed edge) ตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผ่นอีพ็อกซีชนิดขอบลาด
(ข้อ 3.2.2)

4. ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

4.1 ความกว้าง ความยาว ความหนาและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

ความกว้าง ความยาว และความหนาให้เป็นไปตามตารางที่ 1 การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2 ข้อ 9.3 และข้อ 9.4

ตารางที่ 1 ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของความกว้าง ความยาว และความหนา
(ข้อ 4.1)

		หน่วยเป็นมิลลิเมตร	
ขนาด		เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน	
ความกว้าง	595 600 900 1 200 1 220 1 350	± 2	
ความยาว	595 600 1 195 1 200	± 2	
	1 800 2 100 2 400 2 440 2 700 2 740	± 4	
	3 000 3 050 3 300 3 350 3 600 3 660		
ความหนา	6 7 8 9 10	± 0.4	
	12 13 15 16 18 19 25	± 0.5	

หมายเหตุ : เฉพาะประเภททไฟ ความหนาของแผ่นไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร

4.2 ความกว้างและความลึกของขอบลาด (เฉพาะชนิดขอบลาด)

ความกว้างและความลึกของขอบลาดให้เป็นไปตามรูปที่ 2 การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.1

มอก. 219-2552

4.3 ค่าความได้ฉาก

เมื่อวัดเส้นทแยงมุมทั้งสองแล้ว ค่าที่ได้ต้องแตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 0.25 ของเส้นทแยงมุมเส้นที่สั้นกว่า
การทดสอบให้วัดด้วยเครื่องมือวัดที่ละเอียด 1 มิลลิเมตร

4.4 ความตรงของขอบ

ขอบของแผ่นยึดต้องตรง เมื่อทดสอบตามข้อ 9.5 แล้ว แนวของขอบแผ่นยึดจะคลาดเคลื่อนไปจาก
แนวตรงได้ไม่เกิน 2 มิลลิเมตรของด้านที่วัด

5. วัสดุ

5.1 ปูนยึดตาม มอก.188 ประเภท 1

6. คุณสมบัติที่ต้องการ

6.1 แรงกดแตก (breaking load)

เมื่อทดสอบตามข้อ 9.6 แล้ว แรงกดแตกต้องไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แรงกดแตก
(ข้อ 6.1)

ความหนาระบุ mm	แรงกดแตก	
	N	
	ตามยาว	ตามขวาง
6	222	89
7	222	89
8	289	111
9	356	133
10	360	150
12	512	200
13	535	230
15	620	260
16	670	280
18	730	300
19	760	320
25	910	380

มอก. 219-2552

6.2 แรงต้านการดึงตะปู (nail pull resistance)

เมื่อทดสอบตามข้อ 9.7 แล้ว แรงต้านการดึงตะปูต้องไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แรงต้านการดึงตะปู
(ข้อ 6.2)

ความหนาตะปู mm	แรงต้านการดึงตะปู N
6	180
7	200
8	220
9	270
10	300
12	330
13	360
15	400
16	420
18	440
19	450
25	500

6.3 การแอ่นตัว (เฉพาะแผ่นยิปซัมความหนาดังแต่ 9 มิลลิเมตรขึ้นไป)

เมื่อทดสอบตามข้อ 9.8 แล้ว การแอ่นตัวต้องไม่เกินกว่า 10 มิลลิเมตร

6.4 การดูดซึมน้ำ (เฉพาะแผ่นยิปซัมประเภททนความชื้น)

6.4.1 เมื่อทดสอบตามข้อ 9.9 แล้ว อัตราการดูดซึมน้ำสัดส่วนโดยน้ำหนักต้องไม่เกินร้อยละ 5

6.4.2 เมื่อทดสอบตามข้อ 9.10 แล้ว อัตราการดูดซึมน้ำที่ผิวต้องไม่เกิน 160 กรัมต่อตารางเมตร

6.5 การทนไฟ (เฉพาะแผ่นยิปซัมประเภททนไฟ)

เมื่อทดสอบตามข้อ 9.11 แล้ว ภายในเวลา 20 นาที จำนวนชั้นทดสอบทั้งหมด 5 ชั้น ต้องไม่มีชั้นทดสอบ
ใดขาดออกจากกัน และภายในเวลา 30 นาที ชั้นทดสอบ 4 ใน 5 ชั้นต้องไม่ขาดออกจากกัน

7. เครื่องหมายและฉลาก

- 7.1 ที่แผ่นยิปซัมทุกแผ่นอย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแสดงข้อความต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน
- (1) คำว่า “แผ่นยิปซัม”
 - (2) ประเภทและชนิด
 - (3) ความกว้าง ความยาว และความหนาระบุเป็นมิลลิเมตร
 - (4) วัน เดือน ปี ที่ทำ
 - (5) ชื่อผู้ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียนแล้ว
- ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

8. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

- 8.1 รุ่นในที่นี้ หมายถึง แผ่นยิปซัมประเภทและชนิดเดียวกัน ที่มีขนาดเดียวกันและทำในวันเดียวกัน
- 8.2 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสินให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้
- 8.2.1 การชักตัวอย่าง
- ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันตามจำนวนที่กำหนดไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แผนการชักตัวอย่าง
(ข้อ 8.2.1)

ขนาดรุ่น (แผ่น)	ขนาดตัวอย่าง (แผ่น)	เลขจำนวนที่ยอมรับ (แผ่น)
ไม่เกิน 1 800	3	0
มากกว่า 1 800	13	1

8.2.2 เกณฑ์ตัดสิน

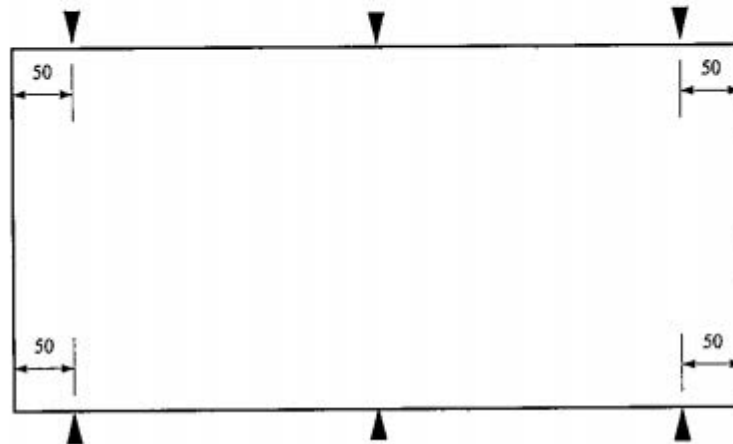
จำนวนตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามข้อ 4. ข้อ 5. และข้อ 6. ต้องไม่เกินเลขจำนวนที่ยอมรับที่กำหนดในตารางที่ 4 จึงจะถือว่าแผ่นยิปซัมรุ่นนั้น เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

มอก. 219-2552

9. การทดสอบ

9.1 ความกว้าง

วัดความกว้าง 3 ตำแหน่งต่อตัวอย่าง 1 แผ่น โดยวัดที่ตำแหน่งห่างจากปลายแผ่นเป็นระยะ 50 มิลลิเมตร ทั้งสองข้าง ข้างละ 1 ตำแหน่ง และที่แนวกึ่งกลางแผ่นอีก 1 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 3 การวัดแต่ละครั้งให้มีความละเอียด 1 มิลลิเมตร แล้วคำนวณ หาค่าเฉลี่ยรายงานเป็นความกว้างของแผ่นตัวอย่าง

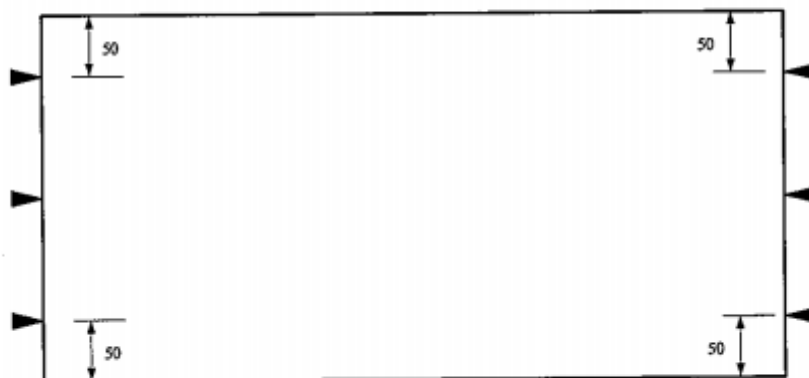


หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 3 การวัดความกว้าง
(ข้อ 9.1)

9.2 ความยาว

วัดความยาว 3 ครั้งต่อตัวอย่าง 1 แผ่น โดยวัดที่ตำแหน่งห่างจากขอบเป็นระยะ 50 มิลลิเมตร ทั้งสองข้าง ข้างละ 1 ตำแหน่ง และที่แนวกึ่งกลางด้านกว้างของแผ่นอีก 1 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 4 การวัดแต่ละครั้งให้มีความละเอียด 1 มิลลิเมตร แล้ว คำนวณหาค่าเฉลี่ยรายงานเป็นความยาวของแผ่นตัวอย่าง



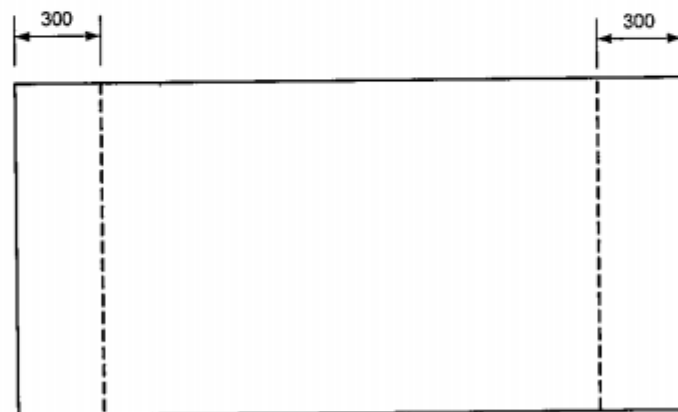
หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 4 การวัดความยาว
(ข้อ 9.2)

9.3 ความหนา

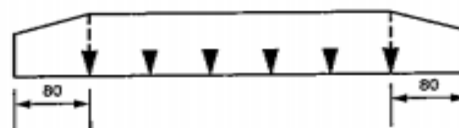
นำแผ่นตัวอย่างที่วัดความกว้าง ความยาว และลักษณะของขอบลาดแล้วมาตัดในแนวนอน กับความกว้างของแผ่นทั้งสองข้าง โดยตัดห่างจากปลายแผ่นทั้งไปเป็นระยะ 300 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 5 ถือเป็นแผ่นตัวอย่างที่จะนำมาวัดความหนาโดยใช้เครื่องวัดที่อ่านได้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร ในกรณีที่ความยาวน้อยกว่า 600 มิลลิเมตร ไม่ต้องตัดปลายแผ่นทั้ง

ให้วัดความหนาน้อยกว่า 6 จุดที่ปลายแผ่นแต่ละด้านตลอดหน้ากว้างของแผ่น โดยมีระยะห่างเท่า ๆ กัน ตำแหน่งที่วัดต้องห่างจากปลายแผ่นเข้าไป 13 มิลลิเมตร และห่างจากขอบแผ่นอย่างน้อย 80 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 8 การวัดแต่ละครั้งให้มีความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยรายงานเป็นความหนาของแผ่นตัวอย่าง

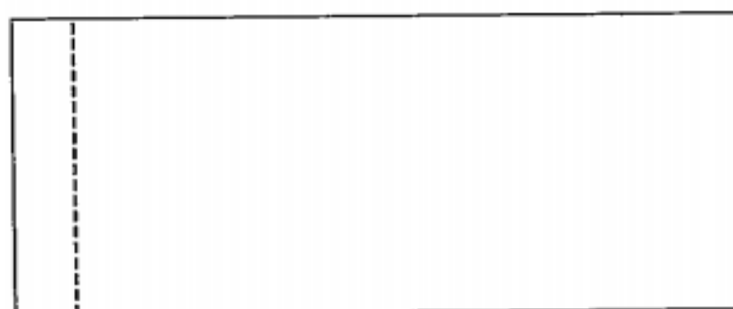


หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 5 แผ่นตัวอย่างสำหรับวัดความหนา
(ข้อ 9.3)



ภาพตัดขวางของปลายแผ่น



ระยะ
13

หน่วยเป็นมิลลิเมตร

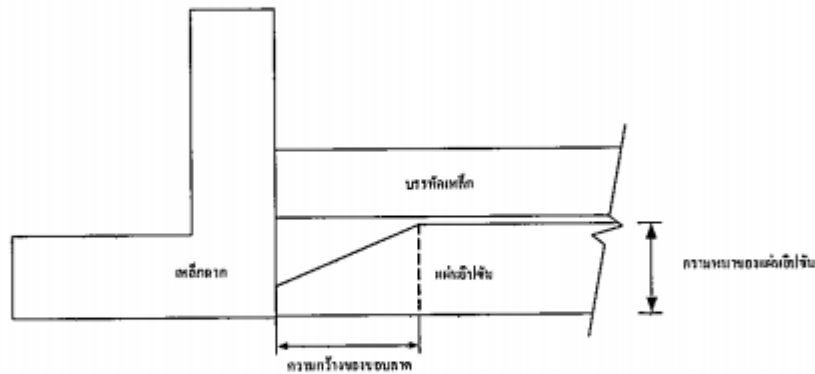
รูปที่ 6 การวัดความหนา
(ข้อ 9.3)

มอก. 219-2552

9.4 ขอบลาด

9.4.1 ความกว้างของขอบลาด ตามรูปที่ 7

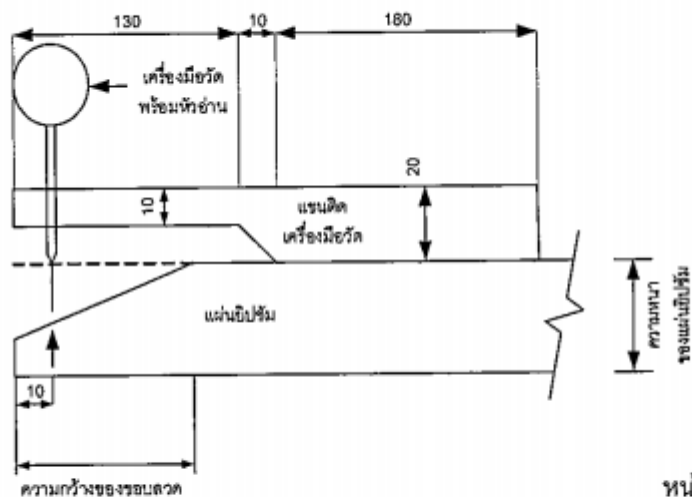
ให้วัดแต่ละขอบที่ตำแหน่งห่างจากปลายแผ่น 300 มิลลิเมตร ทั้ง 2 ปลาย โดยใช้บรรทัดเหล็กวางทาบบนผิวหน้าของแผ่นตัวอย่าง วัดระยะระหว่างขอบถึงจุดที่บรรทัดเหล็ก เริ่มสัมผัสกับผิวหน้าของแผ่นตัวอย่าง ให้ละเอียดถึง ± 2 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 7 การวัดความกว้างของขอบลาด
(ข้อ 9.4.1)

9.4.2 ความลึกของขอบลาด

ใช้เครื่องวัดที่มีความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร ตัวอย่างตามรูปที่ 8 โดยวางเครื่องวัดบนผิวหน้าของแผ่นตัวอย่างให้ขนานกับปลายแผ่น และให้หัวอ่านอยู่ห่างจากขอบ 150 มิลลิเมตร ปรับหน้าปัดให้อ่านค่าศูนย์ แล้วเคลื่อนเครื่องวัดนี้จนปลายอยู่ตรงกับขอบของแผ่นตัวอย่าง อ่านค่าที่ได้ซึ่งอยู่ห่างจากขอบ 10 มิลลิเมตร



รูปที่ 8 การวัดความลึกของขอบลาด
(ข้อ 9.4.2)

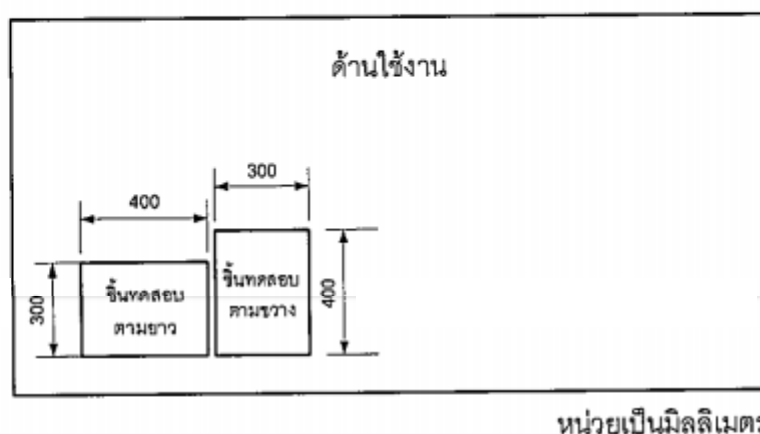
9.5 ความตรงของขอบ

ซึ่งเชือกที่มุมของแผ่นยิปซัมทั้ง 4 ด้าน แล้วใช้เครื่องมือวัดที่มีความละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร วัดระยะห่างที่สุทธระหว่างเชือกตั้งฉากกับขอบแผ่นยิปซัมตัวอย่างในแต่ละด้าน แล้วรายงานผลค่าที่วัดได้ทุกค่า

9.6 แรงกดแตก

9.6.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ให้ตัดชิ้นทดสอบขนาดกว้าง 300 มิลลิเมตร ยาว 400 มิลลิเมตร จำนวน 2 ชิ้นต่อหนึ่งแผ่นตัวอย่าง กรณีแผ่นตัวอย่างที่มีความกว้างและความยาวไม่พอที่จะตัดเป็นชิ้นทดสอบได้ 2 ชิ้น ให้ตัดชิ้นทดสอบจากแผ่นตัวอย่าง 2 แผ่น ชิ้นทดสอบที่ตัด ต้องมีด้านยาว 400 มิลลิเมตรของชิ้นหนึ่งขนานกับแนวยาวของเครื่องทำแผ่นยิปซัม เรียกว่า ชิ้นทดสอบตามยาว ส่วนด้านยาว 400 มิลลิเมตรของอีกชิ้นหนึ่งต้องตั้งฉากกับแนวยาว เรียกว่า ชิ้นทดสอบตามขวาง (ตามรูปที่ 9) แล้วอบชิ้นทดสอบที่อุณหภูมิ (40 ± 2) องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการทดสอบทันทีหรือภายใน 10 นาที หลังจากนำชิ้นทดสอบออกจากตู้อบ



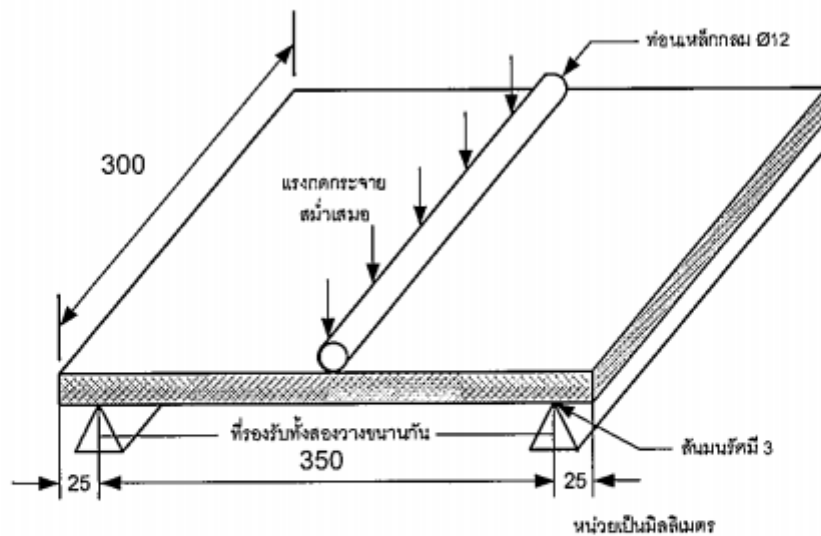
หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 9 การเตรียมชิ้นทดสอบแรงกดแตก
(ข้อ 9.6.1)

9.6.2 วิธีทดสอบ

- 9.6.2.1 วางชิ้นทดสอบลงบนจุดรองรับตามรูปที่ 10 โดยให้คว่ำด้านที่ใช้งานลง ในกรณีของชิ้นทดสอบตามยาว ส่วนชิ้นทดสอบตามขวางให้หงายด้านที่ใช้งานขึ้น
- 9.6.2.2 กดน้ำหนักลงบนจุดกึ่งกลางของระยะช่วง 350 มิลลิเมตร โดยหัวกดมีอัตราความเร็วสม่ำเสมอ 25 มิลลิเมตรต่อนาที หรือแรงกดมีอัตราสม่ำเสมอประมาณ 250 นิวตันต่อนาที
- 9.6.2.3 บันทึกแรงกดแตกที่ทำให้ชิ้นทดสอบหัก

มอก. 219-2552



รูปที่ 10 แสดงตำแหน่งการวางขึ้นทดสอบและน้ำหนักบรรทุกบนจุดรองรับ
(ข้อ 9.6.2.1)

9.7 แรงต้านการดึงตะปู

9.7.1 การเตรียมขึ้นทดสอบ

ให้ตัดขึ้นทดสอบขนาดกว้าง 150 มิลลิเมตร ยาว 150 มิลลิเมตร จำนวน 3 ชิ้น ตลอดแนวต้านกว้างของแผ่น โดยตัดขึ้นแรกห่างจากขอบแผ่นไม่น้อยกว่า 100 มิลลิเมตร ใช้ส่วนเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 2.70 มิลลิเมตร กับ 2.80 มิลลิเมตร ตรงกลางขึ้นทดสอบแต่ละชิ้นให้ทะลุความหนาแผ่นและตั้งฉากกับผิวหน้าของขึ้นทดสอบวางขึ้นทดสอบไว้ในตู้อบ ที่อุณหภูมิ (40 ± 2) องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทดสอบขึ้นทดสอบแต่ละชิ้นภายใน 10 นาที หลังจากนำขึ้นทดสอบออกจากตู้อบ

9.7.2 เครื่องมือทดสอบ

เครื่องมือทดสอบแรงต้านการดึงตะปู ประกอบด้วยแท่นรองรับขึ้นทดสอบขนาดไม่น้อยกว่า 152 มิลลิเมตร $\times$ 152 มิลลิเมตร และหัวกดที่มีตะปูติดพร้อมแล้วใส่ในบุชซึ่งเพื่อให้แนวแกนของตะปูตั้งฉากกับขึ้นทดสอบ โดยตะปูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก้าน (2.515 ± 0.076) มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางหัวตะปู (6.350 ± 0.127) มิลลิเมตร รายละเอียดตามรูปที่ 11

9.7.3 วิธีทดสอบ

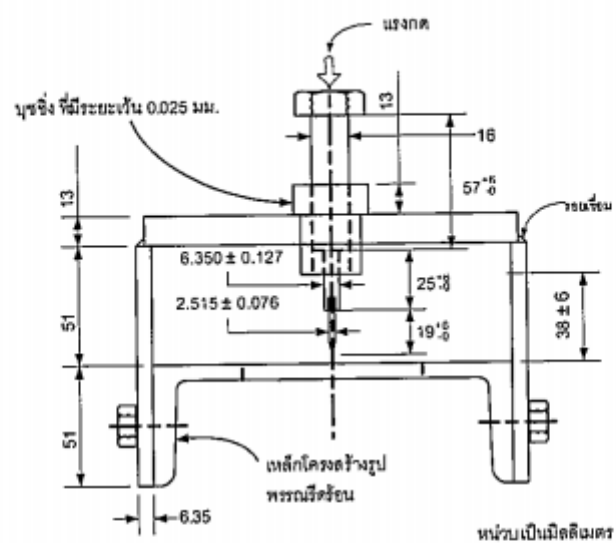
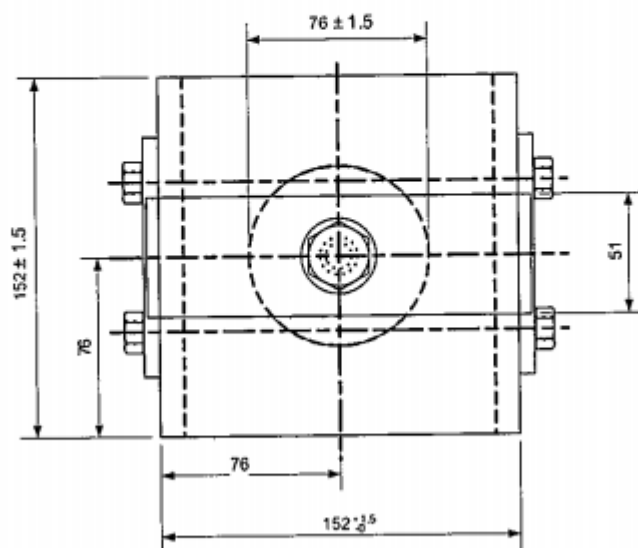
9.7.3.1 วางขึ้นทดสอบลงบนแท่นรองรับของเครื่องมือทดสอบตามข้อ 9.7.2 หงายด้านที่ใช้งานขึ้น ให้รูของขึ้นทดสอบอยู่ในตำแหน่งตรงกันกับปลายตะปู

9.7.3.2 สอดปลายตะปูลงไปในรูของขึ้นทดสอบ เพิ่มแรงกดจนหัวตะปูเจาะทะลุเข้าไปในผิวหน้าของแผ่นยับยั้งจนได้แรงกระทำสูงสุดเป็นค่าแรงต้านการดึงตะปู

9.7.4 การรายงานผล

9.7.4.1 รายงานค่าแรงต้านการดึงตะปูของทุกชิ้นทดสอบให้มีความละเอียด 1 นิวตัน แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ย

9.7.4.2 ถ้าค่าแรงต้านการดึงตะปูของชิ้นทดสอบใดต่างจากแรงต้านการดึงตะปูเฉลี่ย เกินร้อยละ 15 ให้ยกเลิกค่าแรงต้านการดึงตะปูของชิ้นทดสอบนั้น แล้วทำการทดสอบใหม่



รูปที่ 11 เครื่องมือทดสอบแรงต้านการดึงตะปู
(ข้อ 9.7.2)

มอก. 219-2552

9.8 การแอ่นตัว (เฉพาะแผ่นยิปซัมความหนาตั้งแต่ 9 มิลลิเมตร ขึ้นไป)

9.8.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ให้ตัดชิ้นทดสอบขนาดกว้าง 300 มิลลิเมตร ยาว 610 มิลลิเมตร หรือเท่าความยาวแผ่นโดยให้ด้านกว้าง 300 มิลลิเมตรขนานกับแนวยาวตามการทำแผ่นยิปซัม ส่วนด้านยาว 610 มิลลิเมตรตั้งฉากกับแนวยาวตามการทำแผ่นยิปซัม แล้ววางชิ้นทดสอบในแนวราบไว้ที่อุณหภูมิ (23 ± 2) องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ (50 ± 5) อย่างน้อย 24 ชั่วโมงก่อนเริ่มทดสอบ

9.8.2 วิธีทดสอบ

9.8.2.1 วางชิ้นทดสอบลงบนแท่นรองรับ 2 อัน รัศมี 3.0 มิลลิเมตรและวางขนานกันห่างกัน 584 มิลลิเมตร ซึ่งวางอยู่ในตู้ที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ (32 ± 2) องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ (90 ± 3) การวางชิ้นทดสอบให้คว่ำด้านที่ใช้งานลง บันทึกการแอ่นตัวเริ่มต้นสูงสุดของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้น การวัดแต่ละครั้งให้มีความละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร

9.8.2.2 วางชิ้นทดสอบไว้ในตู้ควบคุมสภาวะตามข้อ 9.8.2.1 เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นวัดและบันทึกค่าการแอ่นตัวสูงสุดของชิ้นทดสอบขณะที่วางอยู่บนแท่นรองรับ

9.8.2.3 คำนวณการแอ่นตัวที่เพิ่มขึ้นของชิ้นทดสอบ และรายงานเป็นค่าการแอ่นตัวของแผ่นตัวอย่าง

9.9 การดูดซึมน้ำ (เฉพาะแผ่นยิปซัมประเภททนความชื้น)

9.9.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตัดชิ้นทดสอบขนาด 300 มิลลิเมตร $\times$ 300 มิลลิเมตร จากแผ่นยิปซัมแต่ละแผ่น โดยตัดชิ้นทดสอบจากบริเวณกึ่งกลางระหว่างขอบแผ่นทั้งสองด้านและห่างจากปลายแผ่นไม่น้อยกว่า 100 มิลลิเมตร อย่าทำการใด ๆ กับขอบของชิ้นทดสอบและอย่าทำให้ผิวกระดาษเกิดความเสียหาย วางชิ้นทดสอบไว้ในตู้อบที่อุณหภูมิ (23 ± 2) องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ (50 ± 5) อย่างน้อย 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการทดสอบทันทีหรือภายใน 10 นาทีหลังจากนำชิ้นทดสอบออกจากตู้อบ

9.9.2 การทดสอบ

ชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบ โดยการชั่งน้ำหนักแต่ละครั้งให้มีความละเอียดถึง 0.1 กรัม จากนั้นแช่ชิ้นทดสอบลงในอ่างน้ำที่มีอุณหภูมิคงที่ (20 ± 2) องศาเซลเซียส โดยให้ระดับน้ำท่วมเหนือผิวหน้าของชิ้นทดสอบ 25 มิลลิเมตร ถึง 35 มิลลิเมตร การวางชิ้นทดสอบให้วางในแนวนอนแต่อย่าให้ชิ้นทดสอบสัมผัสกับส่วนล่างของภาชนะ ทั้งไว้เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง $\pm$ 2 นาที แล้วนำชิ้นทดสอบออกจากอ่างน้ำ เช็ดน้ำส่วนเกินออกจาก ผิวหน้าและขอบของชิ้นทดสอบ และชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบทันทีให้มีความละเอียดถึง 0.1 กรัม คำนวณ น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นเป็นร้อยละของน้ำหนักเริ่มต้น

9.9.3 การรายงานผล

ค่าที่ได้จากการเฉลี่ยถือเป็นร้อยละการดูดซึมน้ำของแผ่นยิปซัม

9.10 การดูดซึมน้ำที่ผิว (เฉพาะแผ่นยิปซัมประเภททนความชื้น)

9.10.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

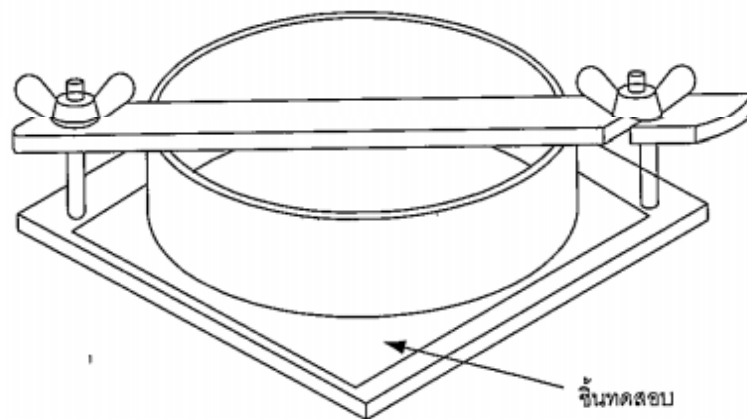
ตัดชิ้นทดสอบขนาด 125 มิลลิเมตร $\times$ 125 มิลลิเมตร จากแผ่นยิปซัมตัวอย่างแต่ละแผ่น วางชิ้นทดสอบไว้ที่อุณหภูมิ (23 ± 2) องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ (50 ± 5) อย่างน้อย 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการทดสอบทันทีหรือภายใน 10 นาทีหลังจากนำชิ้นทดสอบออกจากตู้อบ

9.10.2 เครื่องมือทดสอบ

ทำด้วยวงแหวนโลหะ ไม่เป็นสนิม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (112.8 ± 0.2) มิลลิเมตร ความสูงไม่น้อยกว่า 40 มิลลิเมตร มีปะเก็นยางล้อมโดยรอบขอบล่าง

9.10.3 การทดสอบ

วางชิ้นทดสอบไว้วงแหวนโลหะ ให้ด้านที่ใช้งานหงายขึ้น ยึดวงแหวนโลหะกับแท่นให้มีความแน่นเพียงพอเพื่อไม่ให้น้ำรั่วออกมาในระหว่างการทดสอบ เหน้าที่มีอุณหภูมิ (20 ± 2) องศาเซลเซียสลงในวงแหวนของเครื่องมือทดสอบให้ระดับน้ำอยู่สูงกว่าผิวหน้าของชิ้นทดสอบ 25 มิลลิเมตร ทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง $\pm$ 2 นาที ให้เทน้ำออกและนำชิ้นทดสอบออกจากเครื่องมือทดสอบ ซับน้ำส่วนเกินออกจากชิ้นทดสอบทันทีโดยใช้กระดาษซับที่แห้งสนิทแล้วชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบให้มีความละเอียด 0.01 กรัม



รูปที่ 12 เครื่องมือทดสอบการดูดซึมน้ำที่ผิว
(ข้อ 9.10.2)

9.10.4 การรายงานผล

คำนวณความแตกต่างระหว่างน้ำหนักแห้งและน้ำหนักเปียกของชิ้นทดสอบแล้วรายงานเป็นค่าอัตราการดูดซึมน้ำที่ผิวของแผ่นยิปซัม หน่วยเป็นกรัมต่อตารางเมตร โดยคำนวณจากค่าเฉลี่ยความแตกต่างของน้ำหนักคูณด้วย 100

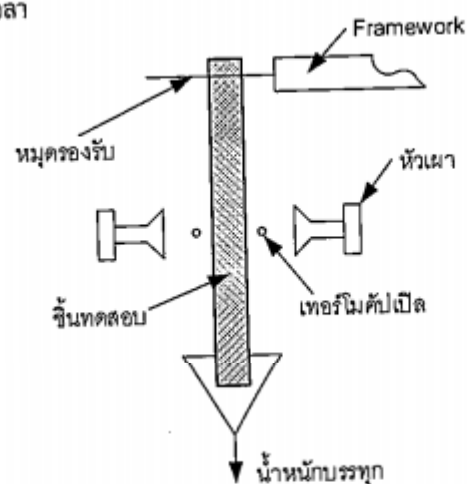
มอก. 219-2552

9.11 การทนไฟ (เฉพาะแผ่นยิปซัมประเภททนไฟ)

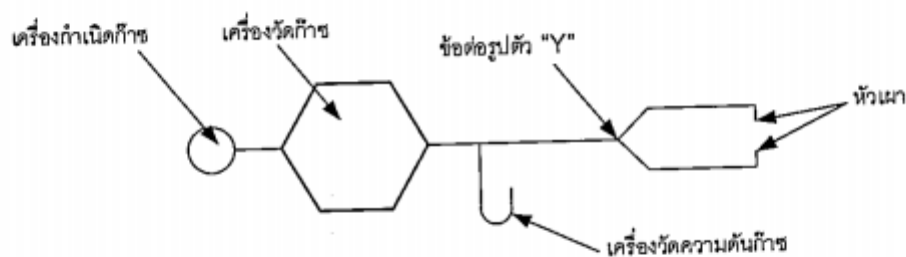
9.11.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

9.11.1.1 หัวเผาแก๊สโพรเพน จำนวน 2 หัว โดยวางให้หัวท่นไฟหันหน้าเข้าหากันห่างกัน (60 ± 1) มิลลิเมตร และแนวแกนกลางของหัวเผาทั้งสองอยู่ในแนวตรงกัน (ตามรูปที่ 13) แก๊สโพรเพนจะถูกส่งจากแหล่งกำเนิดเดียวกันไปยังหัวเผาแต่ละหัวโดยใช้ท่อที่เหมาะสม ซึ่งมีข้อต่อรูปตัว “Y” ติดอยู่ และติดตั้งตัวควบคุมการไหลและความดันของแก๊ส ไว้ระหว่างแหล่งกำเนิดและข้อต่อรูปตัว “Y” (ตามรูปที่ 14) วัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลมีฉนวนหุ้มทนอุณหภูมิ ได้สูงกว่า 1000 องศาเซลเซียส ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร และติดตั้งห่างจากกึ่งกลางของหัวเผาแต่ละหัว (15 ± 1) มิลลิเมตร

9.11.1.2 อุปกรณ์จับเวลา



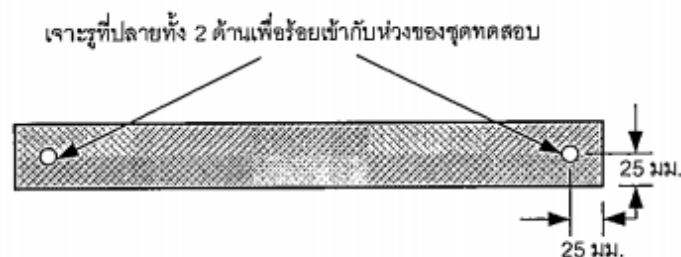
รูปที่ 13 ภาพแสดงของชุดทดสอบ
(ข้อ 9.11.1.1)



รูปที่ 14 แผนภูมิเส้นทางแก๊ส
(ข้อ 9.11.1.1)

9.11.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตัดชิ้นทดสอบ 5 ชิ้นขนาดกว้าง 50 มิลลิเมตร × ยาว 300 มิลลิเมตร จากแผ่นตัวอย่างน้อย 3 แผ่น โดยตัดชิ้นทดสอบไม่เกิน 2 ชิ้นจากแผ่นตัวอย่างแต่ละแผ่น การตัดชิ้นทดสอบให้ตัดโดยให้ด้านยาว 300 มิลลิเมตรขนานกับขอบของแผ่นอิปซัม แล้วเจาะรูที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูไม่เกิน 7 มิลลิเมตร ที่ปลายทั้ง 2 ด้านของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้น (ดังรูปที่ 15)



รูปที่ 15 รายละเอียดการเจาะรูชิ้นทดสอบ
(ข้อ 9.11.2)

9.11.3 การทดสอบ

แขวนชิ้นทดสอบให้อยู่กึ่งกลางระหว่างหัวเผาทั้ง 2 หัว ชิ้นทดสอบจะถูกแขวนในแนวตั้งให้เส้นกึ่งกลางของหัวเผาผ่านกลางชิ้นทดสอบและให้ผิวหน้าชิ้นทดสอบขนานกับหัวพันไฟ แขนงน้ำหนักบรรทุก (ดังตารางที่ 5) เข้ากับชิ้นทดสอบโดยผ่านรูที่เจาะไว้ด้านล่าง

จุดหัวเผาทั้ง 2 หัวและเริ่มจับเวลา ปรับความดันก๊าซเพื่อให้ได้อุณหภูมิ (970 ± 40) องศาเซลเซียส เมื่อวัดโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล ยกเว้นในช่วง 3 นาทีแรกของการทดสอบ คอยระวังไม่ให้มีเศษซีเมนต์ที่เกิดจากการเผาไหม้ไปอุดตันที่เทอร์โมคัปเปิล

บันทึกเวลาที่ชิ้นทดสอบขาดออกจากกัน โดยมีหน่วยเป็นนาที

มอก. 219-2552

ตารางที่ 5 น้ำหนักบรรทุกบนชิ้นทดสอบ (ทดสอบเฉพาะชนิดแผ่นทนไฟเท่านั้น)
(ข้อ 9.11.3)

ความหนา mm	น้ำหนักบรรทุก N
10	12
12	12
13	12
15	22
16	22
18	32
19	32
25	40

9.11.4 การรายงานผล

รายงานเวลาที่ชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นขาดออกจากกัน หน่วยเป็นนาที

ตารางที่ 2 สูตรน้ำยางคอมปาวด์ที่ใช้เติมลงในยิปซัมเพื่อผลิตแผ่นฉนวนยิปซัมคอมพอสิตน้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์
ส่วนผสมของน้ำยางคอมปาวด์

สารเคมี	สัดส่วนโดยน้ำหนักเปียก (กรัม)	สัดส่วนโดยน้ำหนักแห้ง (กรัม)
60% LA-latex	167	100
50% Sulphur	10	5
50% ZDEC	5	2.5
50% ZMBT	5	2.5
50% ZnO	10	5
น้ำหนักรวม	197	115

ตารางที่ 3 สูตรส่วนผสมของการเตรียมยางฟอง

สารเคมี	สัดส่วนโดยน้ำหนักเปียก (กรัม)	สัดส่วนโดยน้ำหนักแห้ง (กรัม)
น้ำยางคงรูปจากตารางส่วนผสมน้ำ ยางคอมปาวด์	197	115
5 % NaHCO_3	5	5
น้ำหนักรวม	202	120

รายการสิทธิบัตรที่สืบค้น

JP2013072859A Lead board with gypsum board and adhesion layer forming composition used for forming lead board

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a lead board with a gypsum board which is used for lead treatment of a lead room and the like and which allows only a lead plate composing the lead board to be easily separated from a used lead board and efficiently recovered, and an adhesion layer forming composition used for forming the lead board. SOLUTION: In a lead board 10 with a gypsum board where a gypsum board 11, an intermediate layer 12 whose both surfaces have adhesiveness, and a lead plate 13 are laminated and integrated in this order, the intermediate layer 12 is composed of an adhesion layer 22 and nets 14, 34 interposed between the adhesion layer 22 and the lead plate 13, the adhesion layer 22 is made of an adhesion layer forming composition which contains a natural rubber latex as a main component and contains 5-90 pts.mass of a synthetic resin emulsion based on 100 pts.mass of the natural rubber latex, the thickness of the adhesion layer 22 is 30-500 μm , and the glass transition temperature of the synthetic resin emulsion is -70 to 20°C.

Description

translated from Japanese

The present invention, in the lead chamber of the X-ray imaging room, etc., on the adhesion layer forming composition used to form the lead board and this board with gypsum board used in order to prevent radiation leakage. More particularly, the 該鉛 board became spent, the lead plate constituting the lead board was easily peeled off efficiently with plasterboard lead board be recovered and for the adhesion layer formation used in the formation of the board it relates to compositions.

Generally, in the radiography room or the like, in order to prevent the leakage of harmful radiation (X-ray), measures such as enclosing walls and doors with lead (hereinafter referred to as lead processing.) It is necessary, moreover, the lower floor and the upper If there is room on the floor in some cases further it is necessary to lead the process to the floor or ceiling. The most common method of lead processing in these lead chamber, the plate-like lead plate, plasterboard lead board with gypsum board was attached to the backing of (gypsum board), and the like, interior building materials such as a wall or how to use a part thereof and the like are widely known in the art.

As a technique to prevent the X-ray leakage in such a lead chamber or the like, it is possible to enhance the shielding effect of the X-ray in the gap between the partition wall panel and a floor surface pasted lead plate to the backing member, the floor rail or baseboard rail is disclosed (for example, see Patent Document 1). The floor rail or Habaki rails, those adhered without gaps lead plate on one side and horizontal side of the one side surface of the adjusting rail, it is fitted in and

fixed to the floor rails. According to the invention of Patent Document 1, no gap, complete walls and floors can be obtained sealed state relatively easily, rather than the ceiling or the like, difficult to obtain a complete sealed state partition wall panels and in the gap between the floor surface, high leakage prevention effect of the X-ray is to be obtained.

Further, similarly to Patent Document 1, a technique to prevent the X-ray leakage in lead chamber or the like, from the baseboard to a lead plate on the rear side are disposed between the bonded panels lower end and the floor, the X-ray leakage discloses partition structure of lead chamber can be prevented from easily (e.g., see Patent Document 2). Partition structure according to Patent Document 2, on one side piece inner surface of the baseboard forming a schematic U-shaped cross section is fixed to the floor by pasting a lead plate, a schematic inverted U-shaped cross section in 該巾 tree forming covering the lead board receiving, receiving 該鉛 board provided with a receiving member which is formed by refracted horizontally on both sides of strip lower end is supported by adjuster screws screwed into adjuster sets disposed in said width within the tree, the the lead board on one of the receiving piece, the general panel of the support on the other, is the lead board stuck a lead plate to the backing material such as gypsum board, bonding the surface material to the backing hitting material structure It has become. Accordingly, as compared with the prior art, with a simpler structure and is to be able to prevent the X-ray leakage from between the panel the lower end and the floor surface.

Incidentally, as is also shown in the above Patent Documents 1 and 2, the lead processing such as lead chamber, paste the lead plate to the backing material, lead boards with so-called gypsum board is commonly used but lead boards with gypsum board, as shown in FIG. 4, the gypsum board 11, having an intermediate layer 12 and the lead plate 13 are laminated in this order with adhesive on both sides are common. Lead plate constituting the lead boards with gypsum board, because it is made of toxic lead in the human body, the disposal must be disposed of peeling the lead plate from used lead board. In addition, lead plate is, because it is very expensive when compared to other members of the gypsum board and the like, it is desirable to easily peeled off and reused from spent lead board.

JP-A-59-165783 JP (the scope of the claims, 1 to 16 line 2 page upper right column of the specification) Real Hei 4-27006 JP (the scope of the claims, line 5 on page 5 of the 7 line to 6 pages of the specification)

However, it is also disclosed in Patent Documents 1 and 2, many conventional gypsum board with lead board, the formation of the intermediate layer for bonding gypsum boards and lead plate, a major component an emulsion of vinyl acetate composition, etc. have been widely used for, but gypsum board with lead boards to form an intermediate layer with a composition mainly containing emulsion of the vinyl acetate has a problem in terms of peeling of the lead plate .

5, after peeling off the lead plate 13 from a conventional gypsum board with a lead board 10 formed with the intermediate layer with a composition mainly comprising an emulsion of a vinyl acetate type, adhesion of the lead plate 13 and the gypsum board 11 It shows the state of the surface. Thus, in the conventional lead boards with plaster board, when peeling the lead plate from

gypsum board, of the composition to the release surface of the lead plate side part, or the surface pasted the paper material of the gypsum board rest part is adhered slag peeling torn, there is a problem that peeling work is rough going.

Therefore, in the conventional gypsum board with lead boards, for disposal board waste, including spent lead board, and a great deal of labor for peeling operation of the lead plate for reuse time consuming, cost rises there is a problem that put away. In addition, lead is because it is harmful to the human body, if the work is work time and difficulties is prolonged, larger impact on the minute human body.

The purpose of the present invention, there is provided a lead boards with gypsum boards to be used for lead processing such as lead chamber, the lead board became spent, easily peeled off only lead plate constituting the 該鉛 board, efficiency common to provide a conditioned gypsum board lead board may be recovered and the adhesion layer forming composition used to form this board.

The first aspect of the present invention, the gypsum board 11, the intermediate layer 12 and the lead plate 13 with adhesive on both sides are integrated are stacked in this order, the lead board 10 with gypsum board shown in FIG. 4, above the intermediate layer 12 with adhesive on both sides, as shown in FIG. 1, is constituted by a net 14, 34 interposed between the adhesion layer 22 and the adhesion layer 22 and the lead plate 13, above the adhesion layer 22 is , formed by the adhesion layer forming composition containing 5 to 90 parts by weight of synthetic resin emulsion with respect to 100 parts by mass of natural rubber latex as a main component of natural rubber latex, the thickness of the adhesive layer 22 is in 30~500 μm There, the glass transition temperature of the synthetic resin emulsion is characterized in that it is a -70~20 °C.

The second aspect of the present invention is an invention based on the first aspect, further natural rubber latex, characterized in that an ester modified natural rubber latex acrylic acid ester or methacrylic acid.

A third aspect of the present invention, gypsum boards with a lead board according to the first or second aspect, a composition used for forming the adhesive layer, a natural rubber latex 100 as a main component of natural rubber latex the synthetic resin emulsion contains 5 to 90 parts by mass per part by mass, the glass transition temperature of the synthetic resin emulsion is characterized in that it is a -70~20 °C.

A fourth aspect of the present invention is an invention based on the third aspect, further said natural rubber latex, characterized in that an ester modified natural rubber latex acrylic acid ester or methacrylic acid.

The first aspect of lead boards with a gypsum board of the present invention, gypsum boards, the intermediate layer and the lead plate with adhesive on both sides in the lead boards with gypsum board that is integrated are stacked in this order, adhered to the double-sided an intermediate layer of sex, and a net that is interposed between the adhesive layer and the adhesion layer and the lead plate. Then, above the adhesion layer is formed by the adhesion layer forming composition

containing 5 to 90 parts by weight of synthetic resin emulsion with respect to 100 parts by mass of natural rubber latex as a main component of natural rubber latex, the thickness of the adhesive layer There is a 30~500 μm . Further, synthetic resin emulsion is one glass transition temperature of $-70\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Thus, the gypsum board with a lead board of the present invention, unlike the conventional lead boards with gypsum board intermediate layer is formed by a composition mainly composed of an emulsion such as vinyl acetate-based, has become spent when you peel off the lead plate from the board, it is possible without imposing peeling peeling surface of the lead plate side remains, easily peeled off only the lead plate, be efficiently recovered. On the other hand, the adhesive layer, since it is formed by the composition other than the natural rubber latex containing synthetic resin emulsion at a predetermined rate, the lead boards with gypsum boards in use, sufficient between the lead plate and plasterboard the bonding strength can be obtained.

A third aspect of the compositions of the present invention contains a natural rubber latex as a main component, particularly, in the case of using the same for forming the adhesion layer in the lead boards with gypsum board of the present invention, spent of in the waste disposal with gypsum board lead board, easily to peel off only the lead plate from spent lead board with gypsum board, it can be efficiently recovered. Meanwhile, other than the above natural rubber latex, the glass transition temperature further comprises a synthetic resin emulsion of $-70\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ at a predetermined ratio, using the same for forming the adhesion layer in the lead boards with gypsum board of the present invention in the lead boards with gypsum boards in use, it is possible to express the sufficient bonding strength between the lead plate and plasterboard.

A fourth aspect of the compositions of the present invention, since the above natural rubber latex is an ester modified natural rubber latex acrylic acid ester or methacrylic acid, if Re use it for forming the adhesive layer of the lead board with gypsum boards, the natural rubber latex unmodified compared with the case of using a composition whose main component is excellent in coating stability of the composition. Further, excellent storage stability of the composition as compared with the unmodified.

Is a cross-sectional view schematically showing a laminated structure of a lead boards with gypsum board of the present invention embodiment. Is a plan view showing an example of a net used in the lead board with gypsum board of the present invention embodiment. It is a plan view showing another example of a net used in the lead board with gypsum board of the present invention embodiment. Is a cross-sectional view schematically showing a general layered structure of a lead boards with plaster board. Is a photograph showing a lead plate and the release surface of the gypsum board in the conventional lead-board with gypsum board. It is an explanatory diagram of the plane tensile strength test. 90° is an explanatory diagram of the peel test. Is a photographic view showing the release surface of the lead plate and the gypsum board in the test piece of Example. It is a photographic view showing a lead plate and the release surface of the gypsum board in the test piece of Comparative Example.

It will be described with reference to the embodiments of the present invention with reference to the accompanying drawings.

Lead Board with gypsum board of the present invention, as shown in FIG. 4, the gypsum board 11, both sides in the intermediate layer 12 and the lead plate 13 with adhesion of the gypsum board with a lead board which is integrated are stacked in this order it is an improvement.

In the lead boards with gypsum board of the present invention, the gypsum board 11, a lead plate 13 constituting the board is not particularly limited, a commercially available gypsum board, it is possible to use a lead plate. Gypsum board that is commercially available, usually, a manufacturing method of molding and drying hardened into a predetermined shape by inserting the sandwich gypsum slurry consisting calcined gypsum and additives and water feed at the board base paper on the belt conveyor is taken since that has a cross-sectional structure in which paper material 11b is bonded to both surfaces of the gypsum board 11a formed in a plate shape.

Then, the gypsum board with a lead board of the present invention, the intermediate layer 12, as shown in FIG. 1, constituted by a net 14, 34 interposed between the adhesion layer 22 and the adhesion layer 22 and the lead plate 13 It is, above the adhesion layer 22, a layer formed by the adhesion layer forming compositions based on natural rubber latex. Thus, the gypsum board with a lead board of the present invention, an intermediate layer for bonding gypsum boards and lead plates, for having an adhesion layer formed by a composition mainly composed of natural rubber latex, peeling of the lead plate excellent sex. Incidentally, the "adhesion" in the present invention, is a highly elastic or gel-like solid not sticky, without creating voids extruding the air entrained between the adherend by the elasticity of the composition It refers to those to be fixed to. Further, the gypsum board with a lead board of the present invention, the adhesion layer and the net is interposed between the lead plate, the reinforcing of paper material, and by reducing the contact area, peelability of the adhesive layer and the lead plate surface It is made to further improve the. Thus, the lead boards with gypsum board of the present invention, when peeling the lead plate of lead boards with gypsum board becomes spent, without imposing peeling the release surface of the lead plate side remains, only lead plate was easily peeled, it can be efficiently recovered.

The natural rubber latex contained as a main component in the composition used for forming the adhesive layer, the other unmodified natural rubber latex include acrylic acid ester or methacrylic acid ester-modified natural rubber latex. The unmodified natural rubber latex which is commercially available include ULACOL (KK Redjitekkusu Co.). Of these, natural rubber latex, acrylic acid ester or methacrylic acid ester-modified natural rubber latex is preferred. Acrylic acid ester or methacrylic acid ester-modified natural rubber latex, the mechanical stability of the composition, i.e. excellent in coating stability. Further, it is excellent in storage stability of the composition as compared with the unmodified. Acrylic acid esters, methyl acrylate, ethyl acrylate, butyl acrylate, 2-ethylhexyl acrylate, 2-dimethylaminoethyl acrylate, 2-hydroxyethyl acrylate are exemplified. As the methacrylic acid ester, methyl methacrylate, ethyl methacrylate, butyl methacrylate, 2-ethylhexyl methacrylate, 2-dimethylaminoethyl methacrylate, 2-hydroxyethyl methacrylate and the like. In particular, methyl methacrylate is preferable. The acrylic acid ester or methacrylic acid ester-modified natural rubber latex is commercially available, MG-15

(manufactured by KK Redjitekkusu Co.) and Coatex (manufactured by Musashino Chemical Co., Ltd.) are exemplified.

Further, the adhesive layer may contain, in addition to natural rubber latex as the main component, a layer formed by a composition containing a synthetic resin emulsion at a predetermined rate. Thus, the adhesion layer, because it is formed by a composition containing a synthetic resin emulsion at a predetermined rate, while maintaining the release properties of the lead plate in the spent board, in the lead boards with gypsum board in use, sufficient bonding strength between the lead plate and the gypsum board is obtained. **The proportion of synthetic resin emulsion is a 5 to 90 parts by weight with respect to natural rubber latex 100 parts by weight.** If the amount is less than the lower limit content ratio of synthetic resin emulsion, in the lead board with gypsum board in use, sufficient bonding strength can not be obtained between the lead plate and plaster board. On the other hand, the content of the synthetic resin emulsion exceeds the upper limit, in the spent lead boards with gypsum board, can not be easily peeled off only the lead plate, or the like adhesive force increases excessively due to aging. This is because problems will be caused. Of these, the proportion of synthetic resin emulsion is preferably from 10 to 50 parts by weight.

Synthetic resin emulsion to be used, from the viewpoint of bonding strength between the lead plate and the gypsum board in the board during use, in which the glass transition temperature is in the range of -70°C ~ 20°C . Glass transition temperature is less than the lower limit, the adhesion layer becomes too soft, there is a case that peeling of the lead plate is lowered in the used of the board, on the other hand, the adhesive layer becomes hard and exceeds the upper limit, in use the bonding strength between the lead plate and the gypsum board is lowered in the board. Specifically, the acrylic emulsion having a glass transition temperature of the above range, vinyl acetate emulsion, SB (styrene-butadiene) latex based emulsion and the like. As the above-mentioned acrylic emulsion, KR-161 (Koyo Sangyo Co., Ltd.) and BPW6111 (manufactured by Toyo Ink Co., Ltd.) are exemplified. As the above vinyl acetate based emulsion (manufactured by Koyo Sangyo Co., Ltd.) KR-150, CH2N (Konishi Co., Ltd.), 615 (Cemedine Co., Ltd.) and the like. The SB latex-based emulsion, L-7850, A7582, A7269 (manufactured by Asahi Kasei Chemicals Corporation) are exemplified.

As the net is interposed between the adhesive layer 22 and the lead plate 13, the net 14 may be used with a grid-like stitch 14c shown for example in FIG. Net 14, as shown in detail in FIG. 2, polyethylene, polyolefin such as polypropylene, polyethylene terephthalate, polyamide, polyvinyl alcohol, polyacrylonitrile, polyurethane, synthetic fibers such as halogen-containing polymer, cotton, hemp, cellulose-based silk etc. fiber, and glass fiber, metal mesh or the like consisting of inorganic fiber warp 14a and weft 14b of the knitting in a grid whether or arranging the these yarns 14a after, is formed in the network by the intersection of 14b to heat-sealed to each other. Luke, formed reticulated polyethylene, polyolefins such as polypropylene, polyethylene terephthalate, polyamide, polyvinyl alcohol, polyacrylonitrile, polyurethane, by a synthetic resin such as halogen-containing polymer is melted and molded crowded flow in a lattice-like mold either, or polyethylene, polyolefins such as polypropylene, polyethylene terephthalate, polyamide, polyvinyl

alcohol, polyacrylonitrile, polyurethane, a synthetic resin sheet such as a halogen-containing polymer is formed on the net by punching by a press machine. Further said synthetic resin net 14 longitudinal least one of the elongation in the longitudinal direction or the weft 14b of the warp 14a is preferably 80% or less by the method based on JIS L 1096, more preferably equal to or less than 50% configured. In addition the thickness D of the warp and weft 14a 14b that make up the net 14 is preferably 0.5mm or less, more preferably from $30\mu\text{m}$ ~ $300\mu\text{m}$, the eyes of the net 14 fit (warp 14a and weft 14b is create a gap (grid-like lateral distance and vertical distance of the mesh 14c), also called mesh opening) P is preferably 1 to 50 mm, more preferably set in a range of 3 to 10 mm. Here, preferred reason that the thickness of the warp and weft 14a 14b is 0.5mm or less of the net 14, too climax net from the surface of the adhesive layer is more than 0.5mm, joining in the board being used strength This is because is extremely lowered. Also with limited mesh opening P of the net 14 in the range of 1~50mm is it is less than 1mm might bonding strength is too low, whereas, in some cases better peelability becomes too low and exceeds 50mm it is from.

As the net constituting the lead sheet with plasterboard of the present invention is not limited to those having a grid-like stitch 14c as the net 14 shown in FIG. 2, the irregular mesh 34c as shown in FIG. 3 net 34 having also can be used. Mesh 34c in the net 34 is formed, grid predetermined angle θ net 14 having meshes, for example, 2-43 degrees shown in FIG. 2, preferably by 2 Mainetsu fused in a state shifted from 5 to 40 degrees It is. Specifically, formed by heat sealing the plastic split fibers 34a, such as enhanced oriented polyolefin, vertical, after successively stacked next to and obliquely. It is also obtained by forming three or more grid-like net at a predetermined angle may be obtained by forming by heat fusion in a staggered state only, or a single molding crowded flow in a predetermined mold.

Further, the gypsum board with a lead board of the present invention, the thickness of the adhesion layer 22, i.e. the thickness of the intermediate layer 12 in FIG. 1 is 30 to 500 μm . The thickness of the adhesive layer is less than 30 μm , it is impossible to impart sufficient bonding strength to the gypsum board and lead plates. On the other hand, if the thickness of the adhesive layer exceeds 500 μm , lowered releasability of the lead plate in the used boards, also, it is difficult to coat by machine. Gypsum board 11 is not particularly limited, but a thickness (total thickness comprising a paper material 11b) is 9.5~21mm, the thickness of the paper material 11b is in the range of 0.1~0.5mm preferably, lead plate 13, which thickness is within the range of 0.3~2mm are preferred.

Next, a description will be given of a method of manufacturing a lead board with gypsum board of the present invention. First, a description will be given composition used to form the adhesion layer of lead boards with gypsum board of the present invention.

The adhesive layer forming composition is a composition mainly composed of natural rubber latex as described above. Thus, the production of certain gypsum board lead boards, so far in place of the vinyl acetate emulsion has been used mainly by the main component of natural rubber latex, the lead board with the used gypsum board, good it is possible to impart the Do not release

property. Therefore, this composition is particularly excellent as a use for forming an adhesion layer of lead boards with gypsum board of the present invention.

Further, the adhesive composition has a glass transition temperature of the synthetic resin emulsion further contains 5 to 90 parts by weight in the range of $-70^{\circ}\text{C.} \sim 20^{\circ}\text{C.}$ for the natural rubber latex 100 parts by weight. If the amount is less than the lower limit content ratio of synthetic resin emulsion, in the lead board with gypsum board in use, it can not be given a sufficient bonding strength to the gypsum board and the lead plates. On the other hand, if it exceeds the upper limit, the lead board with the used gypsum board, it is impossible to impart good releasability from gypsum board. Specific natural rubber latex contained in the composition, the synthetic resin emulsion include those described above.

To produce the lead boards with gypsum board of the present invention, first, on the surface of one of the paper material 11b that is adhered to the surface of the gypsum board 11a, it is coated an adhesive layer forming composition prepared above. The coating amount of the composition of this time, the thickness of the adhesive layer 22 in the lead boards with gypsum boards after production, i.e. the thickness of the intermediate layer 12 in FIG. 1 is adjusted to be 30 to 500 μm . The amount of coating, such as thickness is less than 30 μm , is to form an adhesive layer can impart sufficient bonding strength to the gypsum board and the lead plates becomes difficult. On the other hand, if the thickness is adjusted coating amount exceeding 500 μm , in the lead board with the used gypsum board, it is difficult to easily separate only the lead plate. In addition, it is difficult to application by machine.

Also, the method of applying an adhesive layer forming composition on the surface of the paper material 11b, is not particularly limited, and may be carried out, for example spreader, by a method such as a spray or curtain coater. After applying an adhesive layer forming composition, placing the net 14 and 34 on its surface, further placing a lead plate 13 on the net 14, 34. Then, using a cold press, preferably by applying a 1-minute addition to 24 hours at a pressure of 98~196kPa, sufficiently crimp the gypsum board 11 and the lead plate 13. Is less than the lower limit value between the pressure or pressing time at this time, sufficient hard to adhesion is obtained also increases and the adhesion strength excessively exceeds the upper limit, or when a problem occurs such as gypsum board is broken It is not preferable because there is.

Through the above steps, lead board with gypsum board of the present invention can be obtained.

Will now be described in detail an embodiment with a comparative example of the present invention.

<Example

1>

First, unmodified natural rubber latex solid content concentration of 60 mass% (manufactured

registration Tex trade name: ULACOL) and 100 parts by weight of the solid content concentration as a synthetic resin emulsion 60 wt%, the glass transition temperature of -40°C of acrylic emulsion: a mixture of the (Koyo Sangyo Co., Ltd. trade name KR-161) 5 parts by weight. Further, the solid content concentration of 8.55 wt% as a thickening agent, a polymerization degree of 3500, 25 wt saponification degree of 88.0 mol% polyvinyl alcohol (manufactured by Kuraray Co., Ltd.), the composition 100 wt% It was added as a percentage to become percentage. By sufficiently kneading them to prepare an adhesive layer forming composition.

Subsequently, by using an adhesive layer forming composition prepared above is shown in FIG. 1, the gypsum board 11, the intermediate layer 12 and the lead plate 13 are laminated in this order, the intermediate layer 12 and the adhesion layer 22 and the adhesion layer 22 It was produced gypsum board with a lead board 10 composed of a net 34 which is interposed between the lead plate 13. Specifically, first, as a lead plate 13, and the vertical is 906mm $\times$ horizontal 1816mm $\times$ thickness 2mm, lead plate of weighs 2t the (Mitsui Mining & Smelting Co., Ltd.), as a gypsum board 11, vertical 910mm $\times$ horizontal 1820mm $\times$ a thickness of 12.5mm, weight was prepared gypsum board of about 13kg (manufactured by Yoshino gypsum Co., Ltd.). Note that the gypsum board, the front side back side of the surface was achieved, thickness each paper material 11b of 0.45mm were attached to the gypsum board 11a. Furthermore, net 34, the net 14 made of polyethylene (PE) having a grid-like stitch 14c as shown in FIG. 2, as shown in FIG. 3, thermally fusing overlapped so θ is 30° It was used which was obtained by. Net 14, the longitudinal direction of the warp yarns 14a, the longitudinal elongation of the weft yarn 14b, is 60% in the method in accordance with JIS L 1096, the thickness D of the warp 14a and weft 14b is 130 μm , eyes fit of the distance P lateral distance and vertical direction was used for 4mm respectively.

One surface of the gypsum board 11 as described above prepared, i.e. a surface of one of the paper material 11b, and the adhesion layer forming composition prepared above, the thickness of the adhesion layer 22 so that the 72 μm , was applied using a spreader. Then, on the applied adhesion layer forming composition was placed the net 34. Then, the gypsum board 11, the surface on the side of mounting the net 34 by coating the adhesive layer forming composition was further placed a lead plate 13. Finally, one minute pressurized at a pressure of 100kPa from the surface using a cold press of the lead plate 13, is sufficiently crimp the gypsum board 11 and the lead plate 13 to give a lead board 10 with gypsum board.

<Examples 2 and 3 and Comparative Examples 1 to 5>

The mixing ratio of the acrylic emulsion, except that each was a ratio shown in Table 1 below, similarly prepare a composition as in Example 1, to obtain a lead boards with plaster board.

<Example 4>

As the synthetic resin emulsion, in place of the acrylic emulsion, solid concentration 48 wt%, SB latex emulsion having a glass transition temperature of -27°C . (Asahi Kasei Chemicals Co., Ltd. Product Name: L-7850) except for using, similarly prepare a composition as in example 1, to obtain a lead boards with plaster board.

<Examples 5 and 6 and Comparative Example 6-10>

The mixing ratio of SB latex emulsion, except that each was a ratio shown in Table 1 below, similarly prepare a composition as in Example 4 to give the lead boards with plaster board.

<Example 7>

As the synthetic resin emulsion, in place of the acrylic emulsion, solid concentration 50 wt%, the glass transition temperature of 16 ° C. vinyl acetate based emulsion (Koyo Sangyo Co. product name: KR-150) except for using, example 1 was prepared in the same manner as in composition to obtain a lead board with gypsum board.

<Examples 8 and 9 and Comparative Examples 11 to 15>

The mixing ratio of vinyl acetate based emulsions, except that the respectively proportions shown in Table 1 below, similarly prepare a composition as in Example 7 to give the lead boards with plaster board.

<Example 10>

Instead of the unmodified natural rubber latex, the solid content concentration was 60 wt%, modification amount was used of 13% by weight of methyl methacrylate (MMA) the modified natural rubber latex (manufactured Redjitekkusu Co. MG-15) except that similarly to prepare a composition as in example 1, to obtain a lead boards with plaster board.

<Examples 11, 12 and Comparative Examples 16 to 19>

The mixing ratio of the acrylic emulsion, except that the respectively proportions indicated in Table 2 below, similarly prepared composition of Example 10 to give the lead boards with plaster board.

<Example 13>

As the synthetic resin emulsion, in place of the acrylic emulsion, solid concentration 48 wt%, SB latex emulsion having a glass transition temperature of -27 ° C. (Asahi Kasei Chemicals Co., Ltd. Product Name: L-7850) except for using Similarly were prepared the compositions of example 10 to give the lead boards with plaster board.

<Examples 14 and 15 and Comparative Examples 20 to 23>

The mixing ratio of SB latex emulsion, except that each was a ratio shown in Table 2 below, similarly prepare a composition as in Example 13 to give the lead boards with plaster board.

<Example 16>

As the synthetic resin emulsion, in place of the acrylic emulsion, solid concentration 50 wt%, the glass transition temperature of 16 ° C. vinyl acetate based emulsion (Koyo Sangyo Co. product name: KR-150) except for using, Similarly the composition was prepared as in example 10 to give the lead boards with plaster board.

<Examples 17 and 18 and Comparative Examples 24 to 27>

The mixing ratio of vinyl acetate based emulsions, except that each has a ratio shown in Table 2 below, as well the compositions prepared as in Example 16 to give the lead boards with plaster board.

<Examples 19 to 22 and Comparative Examples 28 and 29>

The coating amount of the adhesive layer forming composition, the thickness of the adhesive layer,

except that each was adjusted to a thickness of as shown in Table 3 below, were prepared in the same manner as the compositions of Example 2, plasterboard to give a lead board attached.

<Example 23>

Solids concentration as a synthetic resin emulsion 60 wt%, the glass transition temperature of -68 ° C. of acrylic emulsion (middle Rika Chemical Industry Co. trade name: AP620) except for using, as in Example 2, the composition thing was prepared to give a lead board with gypsum board.

<Example 24>

The solid content concentration of 50 mass% as a synthetic resin emulsion, the glass transition temperature. 19 ° C. of SB latex emulsion (Asahi Kasei Chemicals Corporation, trade name: A-2610) except for using, in the same manner as in Example 5, the composition was prepared to give a lead board with gypsum board.

<Comparative Example 30>

Solid content 57 wt% as a synthetic resin emulsion having a glass transition temperature of -75 ° C. of acrylic emulsion (middle Rika Chemical Industry Co. trade name: AP601) except for using, as in Example 2, the composition thing was prepared to give a lead board with gypsum board.

<Comparative Example 31>

Synthetic solid concentration of 48 wt% as a resin emulsion, SB latex emulsion having a glass transition temperature of 22 ° C. (manufactured by Asahi Kasei Chemicals Corporation trade name: L-5702) except for using, in the same manner as in Example 5, the composition was prepared to give a lead board with gypsum board.

<Comparative Test and Evaluation>

It was evaluated in the peeling of the plane tensile strength and lead plate for gypsum board with a lead board obtained in Examples 1 to 24 and Comparative Examples 1 to 31. In Table 5 Table 7, the items of the comprehensive evaluation, the case planar tensile strength and all evaluation of the release properties is "Y" as the evaluation of "Y" (pass), the evaluation of the plane tensile strength and peelability of either was the evaluation of the "N" or if it was indeterminate "N" (fail).

(1) plane tensile strength: First, cut out test pieces obtained respectively width 4cm × gypsum lead board with board length 4cm square, as shown in FIG. 6 (a), of the test piece 40 lead plate 13 the lateral surface is arranged an aluminum jig 41, also the gypsum board 11-side surface disposed plywood 42 was bonded and fixed using a hot melt adhesive, respectively. Moreover, as load is applied evenly to the plywood 42, sandwiching the aluminum spacer 43 to the position shown in Figure 6 (a).

Then, at room temperature (23 °C), precision universal testing machine (manufactured by Shimadzu Corporation Model name: Autograph AGS-500B) used, the aluminum jig 41 under the conditions of a pulling speed of 2mm / min, plywood 42 and aluminum and a manufacturing spacers 43 were pulled in the direction of the arrow shown in Figure 6 (b). After start pulling, or peeling at the interface between the intermediate layer 12 and the lead plate 13, or gypsum board 11 interrupts the tension when the Zaiyabu was measured maximum load up to the point of interruption. The above measurements are each embodiment, for each Comparative Example, respectively were

prepared eight specimens were performed by eight times under the same conditions. It shows the average value in Tables 5 to 7 below. In Tables 5 7, the average value of the measured maximum load, a case was $16.0N / cm^2$ or more acceptance criteria value is "Y", the case where not less than the above acceptance criteria value "N It was. "

Further, in the item of visual evaluation, the case where the gypsum board 11 is broken 'Y', and the case of peeling at the interface between the intermediate layer 12 and the lead plate 13 is "N".

(2) Peeling resistance: A 90 ° peel test, it was evaluated for peeling property in the intermediate layer and the lead plate interface. Specifically, first, from the obtained lead boards with plaster board was cut out width 4 cm x length 8cm square respectively, further, as shown in FIG. 7 (a), a gypsum board 11 of the test piece 40 part of the intermediate layer 12 (width 4cm x length 4cm) was deleted. Then, the plaster board 11 and the intermediate layer 12 side of the lead plate 13 that remove, vertically bent, as shown in FIG. 7 (b), the gypsum board 11 side of the test piece 40, a plywood 42 hot-melt adhesive It was bonded and fixed using.

Then, at room temperature (23 °C), precision universal testing machine (manufactured by Shimadzu Corporation Model name: Autograph AGS-500B) show using, once the lead plate 13 bent to the vertical, in Figure 7 (b) in the direction of the arrow, it was pulling peeling vertically under the conditions of a pulling speed of 5mm / min. After peeling initiation, or peel off at the interface of the intermediate layer 12 and the lead plate 13, or gypsum board interrupts the pulling when the broken timber, to measure the maximum load up to the point of interruption. The above measurements are each embodiment, for each Comparative Example, respectively were prepared eight specimens were performed by eight times under the same conditions. It shows the average value in Tables 5 to 7 below. In Table 5 Table 7, the average value of the measured maximum load, a case was $16.0N / 4cm$ width or more acceptance criteria value is "Y", the case where not less than the above acceptance criteria value and "N".

Further, the test piece after peeling was observed by visual observation of the peeled surface. The photographic view obtained by photographing the test pieces of Examples 2 and Comparative Example 2, FIG. 8 shows respectively respectively in FIG. 9 as a representative diagram. In Table 5 Table 7, "Y" without leaving a slag peeling lead plate 13, shows a case where peeling at the interface between the intermediate layer 12 and the lead plate 13, "N" dregs peeling lead plate 13 the remaining shows a case could not be successfully peeled off at the interface between the intermediate layer 12 and the lead plate 13.

Table 5, Table 6, FIG. 8, as is apparent from FIG. 9, when comparing the Comparative Example 5, 10, 15 as in Example 1-18, the intermediate layer is formed of an adhesive or the like that does not contain natural rubber latex in comparative example 5, 10, 15, equipped with a conventional layer was, in a plane tensile test, although very high strength of the practical level is obtained, in the 90 ° peel test, gypsum board ends up broken wood, lead It could not be peeled off only the plate.

Although natural rubber latex comprises a synthetic resin emulsion Comparative Example 2-4 compounding ratio exceeds 90 parts by mass with respect to 100 parts by mass of natural rubber latex, Comparative Examples 7-9, Comparative Examples 12 to 14, Comparative examples 17-19, Comparative examples 21 to 23, even Comparative example 24 to 27, similarly, the gypsum board will be broken wood, could not be peeled off only the lead plate. On the other hand, in Comparative Examples 1,6,11,17,20,24 mixing ratio of the synthetic resin emulsion is less than 5 parts by weight based on 100 parts by weight of natural rubber latex, in the 90 ° peel test, Kas peeling lead plate without remains easily but could be peeled only lead plate, the planar tension test, the strength capable of withstanding practical use could not be obtained.

In contrast, in the board of Example 1 to 18, in a plane tensile test, obtained very high strength of the board and the equivalent of the comparative example 5, 10, 15 is, moreover in the 90 ° peel test, both lead plate without leaving debris peeling, it was confirmed that easily peeled only lead plate.

As is clear from Table 7, comparing Comparative Example 28 and 29 as in Example 19 to 22, Comparative Example 28 The thickness of the adhesive layer is less than 30 .mu.m, in a 90 ° peel test, the lead plate without peeling debris remains easily but could be peeled only lead plate, the planar tension test, the strength capable of withstanding practical use could not be obtained. On the other hand, in Comparative Example 29 exceeds 500 .mu.m, can not application of the composition by mechanical, could not be produced. On the other hand, in close contact with the thickness it was in the range of 30~500μm embodiment of the layer 19 to 22, very high strength can be obtained in the plane tensile test, yet in the 90 ° peel test, any peeling lead plate without imposing remains, it was confirmed that easily peeled only lead plate.

Furthermore, when comparing the Comparative Example 30 and 31 as in Example 23, Comparative Example 30 Glass transition temperature using synthetic resin emulsion of less than -70 ° C., highly practical level intensity is obtained in the preparation of the composition and although the adhesion layer is too soft and could not be easily peeled off only the lead plate in the 90 ° peel test. On the other hand, in Comparative Example 31 using synthetic resin emulsion having a glass transition temperature exceeds 20 ° C., in a 90 ° peel test, without imposing peeling lead plate remains were easily able to peel only the lead plate although, the adhesion layer becomes too hard, the strength capable of withstanding practical use in planar tensile test was obtained. In contrast, in the glass transition temperature is -70~20 °C of example using a synthetic resin emulsion in the range 23 and 24, very high strength can be obtained in the plane tensile test, yet in the 90 ° peel test, both without peeling debris remains in the lead plate, easily to be able to peel only the lead plate was confirmed.

Gypsum board with lead board of the present invention can be utilized in the lead chamber radiography room, etc., etc. Interior building material or a portion thereof such as a wall to prevent the X-ray leakage. Furthermore, after use, it can be utilized as a recycle material for producing lead boards with new plasterboard.

10 gypsum board with a lead board 11 gypsum board 12 intermediate layer 13 lead plate 14 and 34 net 22 adhesive layer

Claims (4)

translated from Japanese

1. Gypsum board (11), adherent certain intermediate layers on both surfaces (12) and the lead plate (13) are laminated in this order integrated gypsum board with a lead board (10),
The double-sided adhesive properties of certain intermediate layers (12), is composed of the adhesive layer (22) and said adhesive layer (22) and said lead plate (13) net interposed between the (14, 34),
The adhesive layer (22) is formed by the adhesive layer forming composition a synthetic resin emulsion with respect to the natural rubber latex 100 parts by weight of a main component of natural rubber latex containing 5 to 90 parts by weight,
The thickness of the adhesive layer (22) is 30~500 μ m,
Lead Board with gypsum board, wherein the glass transition temperature of the synthetic resin emulsion is -70~20 °C.
2. Wherein the natural rubber latex lead boards with gypsum board of claim 1 wherein the ester-modified natural rubber latex acrylic acid ester or methacrylic acid.
3. According to claim 1 or 2, with the gypsum boards lead board according to a composition used for forming the adhesive layer (22), a synthetic resin to said composed mainly of natural rubber latex of natural rubber latex 100 parts by weight the emulsion containing 5 to 90 parts by weight, the adhesive layer forming composition, wherein the glass transition temperature of the synthetic resin emulsion is -70~20 °C.
4. Adhesive layer forming composition as described above the natural rubber latex is an ester modified natural rubber latex acrylic acid ester or methacrylic acid.

Similar Documents

Publication Publication Date Title

[US4663224A](#) 1987-05-05 Vibration-suppressing sound-shielding board

[US7155868B2](#) 2007-01-02 Caulkless panelized wall system

[US4702948A](#) 1987-10-27 Self-adhesive tape with two-sided contact adhesive coating and method of producing the same

[JP2000109771A](#) 2000-04-18 Adhesive sheet

[DE19720145A1](#) 1998-11-19 Double-sided tape and its use

[JP2010260880A](#) 2010-11-18 Double-sided adhesive tape

[US20030190464A1](#) 2003-10-09 Cleanly removable tapes and methods for the manufacture thereof

[US6004642A](#) 1999-12-21 Internally separable tape laminate

[JP2005319746A](#) 2005-11-17 Transparent nonflammable sheet and its manufacturing method

[JP2001152111A](#) 2001-06-05 Double-sided adhesive tape

[US5913480A](#) 1999-06-22 Redetachable, self-adhesive fastening device

JP2000265140A 2000-09-26 Pressure-sensitive adhesive double coated tape for recycling molded article

JPH09272850A 1997-10-21 Double-faced adhesive tape

JP2005239831A 2005-09-08 Acrylic pressure-sensitive adhesive composition and acrylic pressure-sensitive tape

JPH1017827A 1998-01-20 Press bonding type, pressure-sensitive adhesive double coated sheet

JP2005312782A 2005-11-10 Pollution-free recycled carpet and method of producing the same

JP2009035588A 2009-02-19 Adhesive film, production method of shaped body using the same, and shaped body obtained thereby

JP2011219665A 2011-11-04 Transparent self-adhesive sheet, and image display device

US20110088756A1 2011-04-21 Adhesive seal material for end portion of solar cell panel, sealed structure of end portion of solar cell panel, sealing method, solar cell module, and producing method thereof

JP2010121044A 2010-06-03 Surface protection sheet and application of the same

JPH11140755A 1999-05-25 Fire-resisting and heat-insulating sheet

US3655504A 1972-04-11 Laminated metal plates

JPH0848951A 1996-02-20 Production of tearable double-coated self-adhesive tape, easily stickable double-coated self-adhesive tape, and peelable double-coated self-adhesive tape

JP2002088316A 2002-03-27 Adhesive composition and adhesive

JP2004099805A 2004-04-02 Pressure-sensitive adhesive sheet

Legal Events

Date Code Title Description

2014-05-21 A621 Written request for application examination

Free format text: JAPANESE INTERMEDIATE CODE: A621

Effective date: 20140520

2015-02-13 A977 Report on retrieval

Free format text: JAPANESE INTERMEDIATE CODE: A971007

Effective date: 20150213

2015-02-18 A131 Notification of reasons for refusal

Free format text: JAPANESE INTERMEDIATE CODE: A131

Effective date: 20150217

2015-06-17 A02 Decision of refusal

Free format text: JAPANESE INTERMEDIATE CODE: A02

Effective date: 2015 06 16

JP2013124533A Lead board attached with gypsum board, and removable release sheet for application to the board

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a lead board attached with a gypsum board for use in lead treatment in a lead chamber or the like, which allows only a lead plate constituting the lead board to be easily removed from the used lead board for efficient collection, and a removable release sheet for application to the board. SOLUTION: A lead board 10 attached with a gypsum board comprises a gypsum board 11, a lead plate 13, and an intermediate layer 12 which joins the gypsum board 11 and the lead plate 13. The intermediate layer 12 comprises a removable release sheet 20 including a sticker or adhesive layer 21, a sheet-like base material layer 22, and a close contact layer 23, which are laminated in this order. The close contact layer 23 is formed of a close contact layer composition containing a natural rubber latex as a main component and 5 to 90 pts.mass of a synthetic resin emulsion relative to 100 pts.mass of the natural rubber latex. The synthetic resin emulsion has a glass transition temperature of -70 to -15°C. The close contact layer 23 has a thickness of 50 to 150 μm .

Description

translated from Japanese

The present invention, in the lead chamber of the X-ray imaging room, etc., related to the re-peelable sheet that is used to lead the board and this board with gypsum board used in order to prevent radiation leakage. More specifically, from 該鉛 board became been used, this constitutes a lead board was easily peeled off the lead plate, those related to re-peeling type sheet to be used efficiently with gypsum board lead board may be recovered and this board it is.

Generally, in the radiography room or the like, in order to prevent the leakage of harmful radiation (X-ray), measures such as enclosing walls and doors with lead (hereinafter referred to as lead processing.) It is necessary, moreover, the lower floor and the upper If there is room on the floor in some cases further it is necessary to lead the process to the floor or ceiling. The most common method of lead processing in these lead chamber, the plate-like lead plate, plasterboard lead board with gypsum board was attached to the backing of (gypsum board), and the like, interior building materials such as a wall or how to use a part thereof and the like are widely known in the art.

As a technique to prevent the X-ray leakage in such a lead chamber or the like, it is possible to enhance the shielding effect of the X-ray in the gap between the partition wall panel and a floor surface pasted lead plate to the backing member, the floor rail or baseboard rail is disclosed (for example, see Patent Document 1). The floor rail or Habaki rails, those adhered without gaps lead

plate on one side and horizontal side of the one side surface of the adjusting rail, it is fitted in and fixed to the floor rails. According to the invention of Patent Document 1, no gap, complete walls and floors can be obtained sealed state relatively easily, rather than the ceiling or the like, difficult to obtain a complete sealed state partition wall panels and in the gap between the floor surface, high leakage prevention effect of the X-ray is to be obtained.

Further, similarly to Patent Document 1, a technique to prevent the X-ray leakage in lead chamber or the like, from the baseboard to a lead plate on the rear side are disposed between the bonded panels lower end and the floor, the X-ray leakage discloses partition structure of lead chamber can be prevented from easily (e.g., see Patent Document 2). Partition structure according to Patent Document 2, on one side piece inner surface of the baseboard forming a schematic U-shaped cross section is fixed to the floor by pasting a lead plate, a schematic inverted U-shaped cross section in 該巾 tree forming covering the lead board receiving, receiving 該鉛 board provided with a receiving member which is formed by refracted horizontally on both sides of strip lower end is supported by adjuster screws screwed into adjuster sets disposed in said width within the tree, the the lead board on one of the receiving piece, the general panel of the support on the other, is the lead board stuck a lead plate to the backing material such as gypsum board, bonding the surface material to the backing hitting material structure It has become. Accordingly, as compared with the prior art, with a simpler structure and is to be able to prevent the X-ray leakage from between the panel the lower end and the floor surface.

Incidentally, as is also shown in the above Patent Documents 1 and 2, the lead processing such as lead chamber, paste the lead plate to the backing material, lead boards with so-called gypsum board is commonly used There, the gypsum board with a lead board, in general, such as that shown in FIG. 3, the gypsum board 11, a lead plate 13, a gypsum board 11 and the lead plate 13 is interposed between the gypsum board 11 and the lead plate 13 consisting of the intermediate layer 12 to be joined. Then, lead plate constituting the lead boards with gypsum board, because it is made of toxic lead in the human body, the disposal must be disposed of peeling the lead plate from used lead board. In addition, lead plate is, because it is very expensive when compared to other members of the gypsum board and the like, it is desirable to easily peeled off and reused from spent lead board. On the other hand, in the lead boards with gypsum boards in use, sufficient improvement of bondability and strength of the gypsum board and lead plates are required.

Incidentally, as is also shown in the above Patent Documents 1 and 2, the lead processing such as lead chamber, paste the lead plate to the backing material, although the lead boards with so-called plasterboard is widely used, this with gypsum board lead board, generally, are joined as shown in FIG. 3, the gypsum board 11, a lead plate 13, a gypsum board 11 and the lead plate 13 is interposed between the gypsum board 11 and the lead plate 13 consisting of the intermediate layer 12. Lead plate constituting the lead boards with gypsum board, because it is made of toxic lead in the human body, the disposal must be disposed of peeling the lead plate from used lead board. In addition, lead plate is, because it is very expensive when compared to other members of

the gypsum board and the like, it is desirable to easily peeled off and reused from spent lead board.

JP-A-59-165783 JP (the scope of the claims, 1 to 16 line 2 page upper right column of the specification) Real Hei 4-27006 JP (the scope of the claims, line 5 on page 5 of the 7 line to 6 pages of the specification)

However, shown in Patent Documents 1 and 2, etc., many conventional gypsum board with lead board, the main component for forming the intermediate layer for bonding gypsum boards and lead plate, for example, an emulsion of vinyl acetate composition, etc. that have been used widely. When an emulsion of the vinyl acetate in the conventional lead boards with gypsum board intermediate layer is formed with a composition containing as a main component, the bonding strength of the gypsum board and lead plates in a lead board in use be sufficiently obtained although, there has been a problem in terms of peeling of the lead plate.

4, after removal of the lead plate 13 from a conventional gypsum board with a lead board 10 formed with the intermediate layer with a composition mainly comprising an emulsion of vinyl acetate, joining of a lead plate 13 and the gypsum board 11 It shows the state of the surface. Thus, in the conventional lead boards with plaster board, when peeling the lead plate from gypsum board, a portion of paper material which is adhered to the surface of some or gypsum board of the composition, more plasterboard part of the gypsum board due to the broken wood in the part of, remaining attached to the release surface of the lead plate side as peeling scum, there is a problem that peeling work is rough going.

Therefore, in the conventional gypsum board with lead boards, for disposal board waste, including spent lead board, and a great deal of labor for peeling operation of the lead plate for reuse time consuming, cost rises there is a problem that put away. In addition, lead is because it is harmful to the human body, if the work is work time and difficulties is prolonged, larger impact on the minute human body.

The purpose of the present invention, there is provided a lead boards with gypsum boards to be used for lead processing such as lead chamber, the lead board became spent, easily peeled off only lead plate constituting the 該鉛 board, efficiency It is to provide a re-peeling type sheet to be used in the well recovered gypsum board with a lead board and this board can be.

The first aspect of the present invention, a gypsum board 11, the lead plate 13, which is constituted by interposed between the gypsum board 11 and lead plate 13 and the intermediate layer 12 to bond the gypsum board 11 and lead plate 13 in the gypsum board with a lead board 10 shown in FIG. 3, the intermediate layer 12, as shown in FIG. 1, an adhesive layer or an adhesive layer 21, a sheet-like substrate layer 22, and the adhesion layer 23 is this consists of releasable sheet 20 formed by laminating in this order, the adhesion layer 23, the adhesion layer composition a synthetic resin emulsion with respect to 100 parts by mass of natural rubber latex as a main component of natural rubber latex containing 5 to 90 parts by weight is formed by a glass transition temperature of the synthetic resin emulsion is the -70 to-15 ° C., the thickness of the adhesive layer

23 is characterized in that it is a 50 to 150 m. Here, the synthetic resin emulsion of the present invention, (meth) acrylic acid ester polymer resin emulsion, vinyl acetate - (meth) acrylic acid ester copolymer resin emulsion, ethylene - vinyl acetate copolymer resin emulsion, styrene - It refers to butadiene copolymer resin emulsion and the like.

The second aspect of the present invention is an invention based on the first aspect, further natural rubber latex, characterized in that an ester modified natural rubber latex acrylic acid ester or methacrylic acid.

A third aspect of the present invention, there is provided a releasable sheet used in the first or second aspect lead boards with a gypsum board, as shown in FIG. 1 or FIG. 2, the pressure-sensitive adhesive layer or an adhesive layer 21, a sheet-like substrate layer 22, and the adhesion layer 23 is laminated in this order, the adhesion layer 23, the natural rubber latex as a main component, a glass transition temperature with respect to 100 parts by mass of natural rubber latex - the synthetic resin emulsion of 70 to -15 ° C., characterized in that it is formed by the adhesion layer composition containing 5 to 90 parts by weight.

A fourth aspect of the present invention is an invention based on the third aspect, further said natural rubber latex, characterized in that an ester modified natural rubber latex acrylic acid ester or methacrylic acid.

A fifth aspect of the present invention is an invention based on the third or fourth aspect, further pressure-sensitive adhesive layer is composed of an emulsion-type adhesive or a solvent-type pressure-sensitive adhesive, the adhesive layer is an emulsion type adhesive, characterized in that it is constituted by a solvent type adhesive or a hot melt adhesive.

Sixth aspect of the present invention is an invention based on the third to fifth aspect, further sheet-like substrate layer is characterized by comprising a nonwoven fabric.

Seventh aspect of the present invention is an invention based on the aspect of the third to sixth, as shown in FIG. 2, on each surface of the adhesive layer 23 and an adhesive layer or an adhesive layer 21, a protective sheet characterized in that 24 are laminated.

The first aspect gypsum-board lead board of the present invention, the intermediate layer, the pressure-sensitive adhesive layer or an adhesive layer, a sheet-like base material layer, in releasable sheet and the adhesion layer are laminated in this order constructed. Then, the adhesion layer constituting the releasable sheet, a natural rubber latex as a main component, is formed by a further adhesive layer composition containing a synthetic resin emulsion at a predetermined ratio with respect to the natural rubber latex, the synthetic resin the glass transition temperature of the emulsion is a -70 °C ~-15 °C, the thickness of the adhesive layer is 50 to 150 m. Therefore, in attaching gypsum board lead board of the present invention, it was a drawback of the conventional lead boards with gypsum board intermediate layer is formed by a composition mainly composed of an emulsion such as vinyl acetate type, a spent when you peel off the lead plate from the board was, it is possible without imposing peeling peeling surface of the lead plate side remains, easily peeled off only the lead plate, be efficiently recovered. On the other hand, in the gypsum board with a lead board in use, sufficient adhesion force can be obtained between the lead plate and

gypsum board. Further, it can be a long-term use in a high temperature environment easily peeled only lead plate, and efficiently recovered. Further, from the above-described components for no generation of harmful gases such as formaldehyde, environmentally friendly.

In a second aspect of the gypsum board with a lead board of the present invention, since the natural rubber latex is an acrylic acid ester or methacrylic acid ester-modified natural rubber latex, in the production of gypsum boards with a lead board, during the manufacture of the releasable sheet along with the coating stability is improved, and also improves the storage stability.

The third aspect releasable sheet of the present invention, a pressure-sensitive adhesive layer or an adhesive layer, a sheet-like base material layer, and the adhesion layer are laminated in this order. Then, the adhesion layer, the natural rubber latex as a main component, is formed by the adhesion layer composition further comprising a synthetic resin emulsion at a predetermined ratio with respect to the natural rubber latex, glass transition temperature of the synthetic resin emulsion $-70^{\circ}\text{C} \sim -15^{\circ}\text{C}$, the thickness of the adhesive layer is 50 to 150 μm . Therefore, the re-peelable sheet By using the intermediate layer of lead board with gypsum board, can impart good release of the above-mentioned in the used of the board. On the other hand, in the board is in use, can impart sufficient adhesion between the lead plate and gypsum board. Further, from the above-described components for no generation of harmful gases such as formaldehyde, environmentally friendly.

In a fourth aspect releasable sheet of the present invention, since the above natural rubber latex is an ester modified natural rubber latex acrylic acid ester or methacrylic acid, together with the coating stability during production of the releasable sheet is improved, also improved storage stability.

In the sixth releasable sheet aspect of the present invention, by the sheet-like substrate layer is a nonwoven fabric, the components constituting the adhesive layer is physically entangled for good fixation, cause thermal shrinkage or the like during processing since no, it does not cause wrinkles.

In the seventh releasable sheet aspect of the present invention, by laminating the protective sheet, the adhesive layer surface before use, the surface layer of the pressure-sensitive adhesive layer or an adhesive layer is protected.

Is a cross-sectional view schematically showing a laminated structure of a lead boards with gypsum board of the present invention embodiment. It is a cross-sectional view schematically showing a lamination structure of a releasable sheet of the present invention embodiment. Is a cross-sectional view schematically showing a general layered structure of a lead boards with plaster board. Is a photograph showing a lead plate and the release surface of the gypsum board in the conventional lead-board with gypsum board. It is a diagram showing a releasable sheet of the manufacturing process (pressure-sensitive adhesive layer formation). It is a diagram showing a re-peeling type sheet of the manufacturing process (adhesion layer formation). It is an explanatory diagram of the plane tensile strength test. 90° is an explanatory diagram of the peel test.

It will be described with reference to the embodiments of the present invention with reference to the accompanying drawings.

Lead board with gypsum board of the present invention, as shown in FIG. 3, is bonded to the gypsum board 11, a lead plate 13, a gypsum board 11 and the lead plate 13 is interposed between the gypsum board 11 and the lead plate 13 it is an improvement of the gypsum board with a lead board 10 formed by the intermediate layer 12.

In the lead boards with gypsum board of the present invention, the gypsum board 11, a lead plate 13 constituting the board is not particularly limited, a commercially available gypsum board, it is possible to use a lead plate. Gypsum board that is commercially available, usually, a manufacturing method of molding and drying hardened into a predetermined shape by inserting the sandwich gypsum slurry consisting calcined gypsum and additives and water feed at the board base paper on the belt conveyor is taken ing. Therefore, having a cross-sectional structure paper material 11b is bonded to both surfaces of the gypsum board 11a formed in a plate shape. Incidentally, gypsum board 11 is not particularly limited, but a thickness (total thickness comprising a paper material 11b) is 9.5~21Mm, the thickness of the paper material 11b is within the range of 0.1~0.5mm preferably, the lead plate 13, which thickness is within the range of 0.3~2mm are preferred.

Then, the gypsum board with a lead board of the present invention, the intermediate layer 12, as shown in FIG. 1, the pressure-sensitive adhesive layer or an adhesive layer 21, the sheet-like substrate layer 22 and the adhesion layer 23 are laminated in this order made consists of the removable sheet 20, the above adhesive layer 23, a layer having a predetermined thickness formed by the adhesion layer compositions based on natural rubber latex. Thus, gypsum board with lead board 10 of the present invention, part of the intermediate layer 12 for bonding gypsum board 11 and lead plate 13, i.e. the bonding surface side of the lead plate 13, the main component of natural rubber latex It has a structure having an adhesion layer 23 formed by composition. Therefore, excellent peeling property from the gypsum board of the lead plate, when you peel off the lead plate from the lead board with gypsum board that has become spent, without leaving residue peeling the peeling surface of the lead plate side, and a lead plate only the lead plate and easily peeled off at the interface of the intermediate layer, can be efficiently recovered. Incidentally, the "adhesion" in the present invention, is a highly elastic or gel-like solid not sticky, without creating voids extruding the air entrained between the adherend by the elasticity of the composition It refers to those to be fixed to. On the other hand, the bonding surface side of the gypsum board 11, sandwiching the sheet-like substrate layer 22, the adhesive layer or the adhesive layer 21 has become the laminated structure, as compared with the bonding surface of the lead plate side bonding strength is high. For this reason, the bonding surface of the intermediate layer and the gypsum board side, in the lead board with gypsum board at the time of use, has excellent strength. Note that the term "adhesive" in the present invention, high viscous liquid or gel-like solid was coated, refers to those fixing the greasy as-state maintaining the adherend, and "adhesive" are liquid or gel was coated with Jo solid, say those that exert the peeling resistance force by solidification.

The natural rubber latex contained as a main component in the adhesion layer composition used for forming the adhesive layer 23, other unmodified natural rubber latex include acrylic acid esters

or methacrylic acid esters modified natural rubber latex. The unmodified natural rubber latex which is commercially available include ULACOL (KK Redjitekkusu Co.). Of these, natural rubber latex, acrylic acid ester or methacrylic acid ester-modified natural rubber latex is preferred. Acrylic acid ester or methacrylic acid ester-modified natural rubber latex, the mechanical stability of the composition, i.e. excellent in coating stability. Further, it is excellent in storage stability of the composition as compared with the unmodified. Acrylic acid esters, methyl acrylate, ethyl acrylate, butyl acrylate, 2-ethylhexyl acrylate, 2-dimethylaminoethyl acrylate, 2-hydroxyethyl acrylate are exemplified. As the methacrylic acid ester, methyl methacrylate, ethyl methacrylate, butyl methacrylate, 2-ethylhexyl methacrylate, 2-dimethylaminoethyl methacrylate, 2-hydroxyethyl methacrylate and the like. In particular, methyl methacrylate is preferable. The acrylic acid ester or methacrylic acid ester-modified natural rubber latex is commercially available, MG-15 (manufactured by KK Redjitekkusu Co.) and Coatex (manufactured by Musashino Chemical Co., Ltd.) are exemplified.

Further, the adhesion layer 23, in addition to natural rubber latex as the main component, a layer formed by a composition containing a synthetic resin emulsion at a predetermined rate. Thus, the adhesion layer, because it is formed by a composition containing a synthetic resin emulsion at a predetermined rate, while maintaining the release properties of the lead plate in the spent board, in the lead boards with gypsum board in use, sufficient bonding strength between the lead plate and the gypsum board is obtained. The proportion of synthetic resin emulsion is a 5 to 90 parts by weight with respect to natural rubber latex 100 parts by weight. If the amount is less than the lower limit content ratio of synthetic resin emulsion, in the lead board with gypsum board in use, sufficient bonding strength can not be obtained between the lead plate and plaster board. On the other hand, the content of the synthetic resin emulsion exceeds the upper limit, in the spent lead boards with gypsum board, can not be easily peeled off only the lead plate, or the like adhesive force increases excessively due to aging failure occurs. Of these, the proportion of synthetic resin emulsion is preferably from 10 to 50 parts by weight.

As the synthetic resin emulsion to be used, from the viewpoint of such bonding strength between the lead plate and the gypsum board in the board during use, used as a glass transition temperature in the range of $-70^{\circ}\text{C} \sim 15^{\circ}\text{C}$. Glass transition temperature is less than the lower limit, the adhesion layer becomes too soft, there is a case that peeling of the lead plate is lowered in the used of the board, on the other hand, the adhesive layer becomes hard and exceeds the upper limit, in use the bonding strength between the lead plate and the gypsum board is because there is a case to be reduced in the board. Further, the glass transition temperature is less than the lower limit, or consist of synthetic resin emulsion alone, stickiness of the adhesive layer (tackiness) becomes strong, workability in laminating the lead plate on the gypsum board is deteriorated. Therefore, problems will be caused such as, for example, fine adjustment of the position when superimposing the lead plate adhesion layer becomes difficult. Specifically, the glass transition temperature of the above range (meth) acrylic acid ester polymer resin emulsion, ethylene-vinyl

acetate copolymer resin emulsion, styrene - butadiene copolymer resin emulsion and the like. Examples of the (meth) acrylic acid ester polymer resin emulsion (manufactured by Toyo Ink Co., Ltd.) KR-161 (Koyo Sangyo Co.) and BPW6111, AP620 (manufactured by Arakawa Chemical Industries, Ltd.) and the like. Further, examples of the ethylene-vinyl acetate copolymer resin emulsion, S408HQE, S950HQ, S951HQ, S755 (manufactured by Sumika Chemtex Co., Ltd.) and the like. Styrene - The butadiene copolymer resin emulsion, L-7850, A7582, A7269 (manufactured by Asahi Kasei Chemicals Corporation) and the like.

Further, the thickness of the adhesive layer 23 is 50 to 150 μm . The thickness of the adhesive layer is less than 50 μm , adhesion force is reduced, the beam is skin on the surface of the coating film in the drying process, missing water of the internal coating film is water swelling and bad condition occurs. The thickness of the adhesion layer exceeds 150 μm , bubbles are generated in the adhesive layer, manufacture of releasable sheet becomes difficult. Of these, the thickness of the adhesive layer is in the range of 80~100 μm is preferred.

The sheet-like substrate layer 22 of the releasable sheet 20, it is preferable to use a nonwoven fabric. As a non-woven fabric, non-woven fabric or the like to be from cellulose-based non-woven fabric, thermoplastic resin-based fibers of polyolefin and polyester such as hemp, and the like. As the cellulose-based nonwoven fabric, Bemliese (Asahi Kasei Fibers Corp.) or TCF (manufactured by Futamura Chemical Co., Ltd.) are exemplified. The polyolefin-based nonwoven fabric, ELEVES (manufactured by Unitika Ltd.) are exemplified. Examples of the polyester-based non-woven fabric, Miraifu (JX Nippon Oil & ANCI Co., Ltd.) and Eltas (manufactured by Asahi Kasei Fibers Corporation) are exemplified.

To that selected nonwoven fabric as a sheet-like base material layer for the following reason. For example, in the case of using a film sheet of PET (polyethylene terephthalate), sometimes natural rubber latex is a main constituent of the adhesion layer is not fixed well. Further, there is a case PE (polyethylene) or PP which similar to the above PET even when using a film sheet (polypropylene) problems will be caused, also, the film shrinkage by the heat of the drying oven in the drying step after coating occur, the cause of wrinkles. Further, there is a case where a natural rubber latex is a main component constituting the adhesive layer even when using paper not fixed well. In addition, the paper occurs stretch out absorbing the moisture, there is a large wrinkles she can. On the other hand, when using the nonwoven fabric, natural rubber latex is physically entangled for good fixation is a main constituent of the nonwoven fabric and the adhesive layer, since no cause thermal shrinkage or the like during processing, the wrinkle occurs even because there is no is.

Non-woven fabric is preferably in the range of basis weight of $^{20\sim70\text{g}} / \text{m}^2$. The basis weight was within the above range is also the basis weight is greater nonwovens that exceeds the upper limit value is a sheeting is possible, in the sheet produced with a basis weight of greater nonwoven tends to occur delamination it is not preferable because there is a case in which failure occurs. In addition, a small non-woven fabric of basis weight of less than the lower limit is because the more

likely to break at the time of the coating of the composition for forming an adhesive layer or a pressure-sensitive adhesive layer or an adhesive layer, and the like.

Sensitive adhesive layer constituting the releasable sheet 20 is composed of an emulsion-type adhesive or a solvent-type pressure-sensitive adhesive. The emulsion-type pressure-sensitive adhesive acrylic emulsion KR-159 (Koyo Sangyo Co., Ltd.) and BPW6111 (manufactured by Toyo Ink Co., Ltd.) are exemplified. The solvent type adhesives, SK dyne series SK1717, SK1760 (Soken Chemical & Engineering Co., Ltd.) are exemplified. Is a hard composition of strength adhesive type for use in the adhesive layer.

Further, the adhesive layer is an emulsion type adhesive, and a solvent type adhesive or a hot melt adhesive. The emulsion type adhesive, KR-134, KR-7800 (Koyo Sangyo Co., Ltd.) are exemplified. The solvent type adhesive, 575 (manufactured by Cemedine Co., Ltd.) are exemplified. As the hot-melt adhesive, 1535 (manufactured by Yasuhara Chemical Co., Ltd.) and AS1002 (Toagosei Co., Ltd.) are exemplified.

Then, as shown in FIG. 2, the releasable sheet 20, adhesive layer 23 and adhesive layer prior to use or to protect the adhesive layer 21 surface, the adhesion layer 23 and an adhesive layer or an adhesive layer on the surfaces of 21, it will be further release paper such as protective sheet 24 is laminated.

Subsequently, a method of manufacturing a lead boards with gypsum board of the present invention will be described together with a manufacturing method of a releasable sheet used in the middle layer of the board. Here, the adhesion layer on one surface of the sheet-like substrate layer, the adhesive layer on the other surface is a method for manufacturing a releasable sheet formed respectively.

For example, as shown in FIG. 5, first, on one surface of the sheet-like substrate layer 22, coating the composition 21a for forming the pressure-sensitive adhesive layer described above. After coating Through the drying oven, and dried by a drying step 4-5 minutes at a temperature of 110 ° C., to form an adhesive layer 21 on one surface of the sheet-like substrate layer 22. After exiting from the drying furnace, the formed pressure-sensitive adhesive layer 21 side, and wound with a protective sheet 24, such as a release paper. Thereby, sheet-like substrate layer 22, the laminate 20a is formed comprising the pressure-sensitive adhesive layer 21 and the protective sheet 24.

Next, as shown in FIG. 6, the scroll-like laminated body 20a described above produced, on the other side of the sheet-like substrate layer 22, coating the adhesion layer composition 23a described above. After coating Through the drying oven, drying by performing 5-6 minutes drying step at a temperature 80 ° C., to form the adhesive layer 23 on the other surface of the sheet-like substrate layer 22. After exiting from the drying furnace, the formed adhesive layer 23 side, is wound with a protective sheet 24, such as a release paper. Thus, the adhesion layer 23 and the protective sheet 24 is formed on the other surface of the sheet-like substrate layer 22.

After the wound is, to be in equilibrium moisture content and curing for about one week to 10 days in the scroll-like state. Note that to form an adhesive layer 21 prior to the adhesion layer 23, has the property of natural rubber latex which constitutes the adhesive layer 23 loses hard be resilient too applying heat, the heating during manufacturing This is because it is necessary to keep to a minimum.

Through the above steps, re-peelable sheet 20 used in the intermediate layer 12 of the lead board with gypsum board of the present invention can be obtained.

Then, to manufacture the lead boards with gypsum board of the present invention, first, peeling the releasable sheet 20 of the adhesive layer or the adhesive layer 21 side of the protective sheet 24 shown in FIG. 2, the exposed PSA layer Alternatively an adhesive layer 21, on the surface of one of the paper material 11b that is adhered to the surface of the gypsum board 11a shown in FIG. 1, is fixed so as to be in contact. Next, remove the protective sheet of the adhesive layer 23 side of the releasable sheet 20, on the adhesion layer 23 exposed, placing the lead plate 13, using a cold pressing, preferably at a pressure of 98~196kPa 1 minutes by pressurizing to 24 hours, to sufficiently crimp the gypsum board 11 and the lead plate 13. The pressure or pressing time is less than the lower limit of this time, sufficient adhesion is hardly obtained and an increase in adhesion exceeds the upper limit are undesirable because there are cases where troubles destruction of the gypsum board is produced .

Through the above steps, lead board with gypsum board of the present invention can be obtained. Will now be described in detail an embodiment with a comparative example of the present invention.

<Examples

1-4>

First, natural rubber latex (solid content of 60% by weight, the product name: ULACOL, Ltd. Redjitekkusu Co., Ltd.) and synthetic acrylic acid ester polymer as a resin emulsion resin emulsion (solid content of 60% by weight, the glass transition temperature of -40 °C, product name: KR-161, prepared by Koyo Sangyo Co.), as shown in Table 1 below, the two components by mass 100: 5,100: 10,100: 43 and 100: 90 ratio of become so each formulation was prepared an adhesion layer composition. In addition, as a sheet-like base material layer, with a thickness of 100μm polyester non-woven fabric (basis weight of 40g / m², product name: Miraifu, JX Nippon Oil & made ANCI Co., Ltd.) was prepared.

Next, a pressure-sensitive adhesive layer forming step shown in FIG. 5, applying a pressure-sensitive adhesive composition on the surface of the polyester non-woven, temperature 110 ° C. leads to the drying oven and dried under conditions of 4-5 minutes , on the surface side of the polyester nonwoven fabric, to form a pressure-sensitive adhesive layer having a thickness of 90 .mu.m. Then, the formed pressure-sensitive adhesive layer side, taken up with a release paper as a protective sheet to obtain a roll-shaped laminate.

Next, a contact layer formation step shown in FIG. 6, the scroll-like laminated body was coated an adhesive layer composition on the back side of a polyester nonwoven fabric, the temperature 80 ° C. through the drying furnace, 5-6 minutes by drying under a condition, on the back side of the polyester nonwoven fabric was formed an adhesive layer having a thickness of 90 .mu.m. Then, the formed adhesive layer side, was wound with the release paper as a protective sheet.

Then, by the equilibrium moisture content and curing for about one week to 10 days in a scroll-like state, shown in FIG. 2, an adhesive layer 21, a sheet-like substrate layer 22, and the adhesion layer 23 in this order are laminated becomes, the further the respective surface of the adhesion layer 23 and the adhesive layer 21, to obtain a releasable sheet 20, further protection sheet 24 are stacked.

Subsequently, by using a releasable sheet obtained above are shown in FIG. 1, the gypsum board 11, the intermediate layer 12 and the lead plate 13 are laminated in this order, the intermediate layer 12, the adhesive layer 21, the sheet-like a base layer 22, adhesive layer 23 and is to produce a gypsum board with a lead board 10 made of a releasable sheet 20 formed by laminating in this order. Specifically, first, as a lead plate 13, and the vertical is 906mm × horizontal 1816mm × thickness 2mm, lead plate of weighs about 37kg (the Mitsui Mining & Smelting Co., Ltd.), as a gypsum board 11, vertical 910mm × horizontal 1820mm × a thickness of 12.5mm, weight was prepared gypsum board of about 13kg (manufactured by Yoshino gypsum Co., Ltd.). Note that the gypsum board, the front side back side of the surface, in which the thickness of each paper material 11b of 0.45mm were attached to the gypsum board 11a.

One surface of the gypsum board 11 as described above prepared, i.e. a surface of one of the paper material 11b, and is fixed by peeling off the protective sheet 24 of the adhesive layer 21 side of the releasable sheet obtained above. It was then fixed the lead plate 13 peel off the protective sheet 24 of the adhesive layer 23 side. Finally, one minute pressurized at a pressure of 100kPa from the surface using a cold press of the lead plate 13, is sufficiently crimp the gypsum board 11 and the lead plate 13 to give a lead board 10 with gypsum board.

<Example 5-8>

Synthetic resin emulsion as acrylic acid ester copolymer resin emulsion (solid content 60 wt%, a glass transition temperature of -68 ° C., product name: AP620, Arakawa Chemical Industries, Ltd.) using a mass basis is compounding ratio of the natural rubber latex in, and formulated, respectively, as a ratio shown in Table 1 below, in the same manner as in example 1-4 was prepared the adhesive layer composition. Further, using these compositions, in the same manner as in Example 1-4, to obtain a releasable sheet and lead boards with plaster board, respectively.

<Comparative Example 1>

As shown in Table 1 below, except that to prepare the adhesion layer composition without the use of synthetic resin emulsion, to obtain a releasable sheet and lead boards with gypsum board in the same manner as in Example 1-4.

<Comparative Examples 2 and 3>

Instead of synthetic resin emulsion, rosin ester emulsion (solid content of 50% by weight, the product name: SE-E-720, Arakawa Chemical Industries, Ltd.) was used, and the blending ratio of the

natural rubber latex is on a mass basis, of the following respectively, as a ratio shown in Table 1 were blended to prepare the adhesion layer composition in the same manner as in example 1-4. Further, using these compositions, in the same manner as in Example 1-4, to obtain a releasable sheet and lead boards with plaster board, respectively.

<Comparative Example 4>

As shown in Table 1 below, the mixing ratio of the natural rubber latex synthetic resin emulsion on a weight basis of 100: except that 150 ratio to become so the formulation to the adhesion layer composition of was prepared, Examples 1-4 that we have obtained a re-peelable sheet and lead board with gypsum board in the same manner.

<Comparative Example 5>

As shown in Table 1 below, the natural rubber latex and synthetic compounding ratio of the resin emulsion by mass 100 except that was prepared by blending such that the 150 percentage of the adhesion layer compositions, Examples 5 to 8 that we have obtained a re-peelable sheet and lead board with gypsum board in the same manner.

<Comparative Example 6>

As shown in Table 1 below, except that to prepare the adhesion layer composition without the use of natural rubber latex, to obtain a releasable sheet and lead boards with gypsum board in the same manner as in Example 5-8.

<Comparative Example 7>

As shown in Table 1 below, except that to prepare the adhesion layer composition without the use of natural rubber latex, to obtain a releasable sheet and lead boards with gypsum board in the same manner as in Example 1-4.

<Comparative Examples 8 and 9>

Synthetic resin emulsion as acrylic acid ester copolymer resin emulsion (solid content 57 wt%, a glass transition temperature of -75 ° C., product name: AP601, central Rika Co., Ltd.) was used, mixing ratio of the natural rubber latex mass in, compounded respectively so that the ratio shown in Table 1 below, were prepared adhesion layer composition in the same manner as in example 1-4. Further, using these compositions, in the same manner as in Example 1-4, to obtain a releasable sheet and lead boards with plaster board, respectively.

<Comparative Test and Evaluation 1>

It was evaluated peelability plane tensile strength and a lead plate for gypsum board with lead boards obtained in Examples 1-8 and Comparative Examples 1-9. In addition, prior to production with gypsum board lead the board, for the re-peelable sheet of Zorezore, was to evaluate the lack of stickiness of the adhesion layer. These results are shown in Table 2 below. In Table 2, in the fields of comprehensive evaluation, the case where the evaluation of the plane tensile strength and peeling of the lead board with gypsum board was both "Y" as the evaluation of the "Y" (pass), plane

tensile strength and peeling among the evaluation of sex, either was evaluated for the case was "N" "N" (fail).

(1) plane tensile strength: First, cut out test pieces obtained respectively width 4cm x gypsum lead board with board length 4cm square, as shown in FIG. 7 (a), of the test piece 40 lead plate 13 the lateral surface is arranged an aluminum jig 41, also the gypsum board 11-side surface disposed plywood 42 was bonded and fixed using a hot melt adhesive, respectively. Moreover, as load is applied evenly to the plywood 42, sandwiching the aluminum spacer 43 to the position shown in Figure 7 (a).

Then, at room temperature (23 °C), precision universal testing machine (manufactured by Shimadzu Corporation Model name: Autograph AGS-500B) used, the aluminum jig 41 under the conditions of a pulling speed of 2mm / min, plywood 42 and aluminum and a manufacturing spacers 43 were pulled in the direction of the arrow shown in FIG. 7 (b). After start pulling, or peeling at the interface between the intermediate layer 12 and the lead plate 13, or gypsum board 11 interrupts the tension when the Zaiyabu was measured maximum load up to the point of interruption. The above measurements are each embodiment, for each Comparative Example, respectively were prepared eight specimens were performed by eight times under the same conditions. It shows the mean values in Table 2 below. In Table 2, the average value of the measured maximum load, a case was $16.0\text{N} / \text{cm}^2$ or more acceptance criteria value is "Y", the case could not be not or measured below the above-described acceptance criteria value and "N".

In addition, in the item of visual evaluation, "no danger of falling," the case was destroyed in the gypsum board, and the case was a case was peeling at the interface of the lead and the adhesion layer or the decision not to that "there is danger of falling."

(2) Peeling resistance: A 90 ° peel test, it was evaluated for peeling property in the intermediate layer and the lead plate interface. Specifically, first, from the obtained lead boards with plaster board was cut out width 4 cm x length 8cm square respectively, further, as shown in FIG. 8 (a), a gypsum board 11 of the test piece 40 part of the intermediate layer 12 (width 4cm x length 4cm) was deleted. Then, the side of the lead plate 13 which removes the gypsum board 11 and the intermediate layer 12, bent perpendicularly, as shown in FIG. 8 (b), the gypsum board 11 side of the test piece 40, a plywood 42 hot-melt adhesive It was bonded and fixed using.

Then, at room temperature (23 °C), precision universal testing machine (manufactured by Shimadzu Corporation Model name: Autograph AGS-500B) show using, once the lead plate 13 bent to the vertical, in Fig. 8 (b) in the direction of the arrow, it was pulling peeling vertically under the conditions of a pulling speed of 5mm / min. After peeling initiation, or peel off at the interface of the intermediate layer 12 and the lead plate 13, or gypsum board interrupts the pulling when the broken timber, to measure the maximum load up to the point of interruption. The above

measurements are examples, for each Comparative Example, respectively were prepared eight specimens were performed by eight times under the same conditions. It shows the mean values in Table 2 below. In Table 2, the average value of the measured maximum load, a case was below 16.0N / 4cm of acceptability criterion value is "Y", if not below the above-described acceptance criteria value or non-measurable It was referred to as "N".

Further, in the item of visual evaluation, without imposing peeling lead plate 13 remains, the case of peeling at the interface between the intermediate layer 12 and the lead plate 13 to "no peeling scum", remains Kas peeling lead plate 13, the intermediate the case was the case or indeterminate could not successfully peeled off at the interface of layer 12 and lead plate 13 was set to "peeling there dregs".

(3) stickiness lack rating: performs a tack tester test was to evaluate the lack of stickiness of the formed adhesion layer. As a measuring device, it was used PICMA · Takkutesuta Corporation of Toyo Seiki Seisakusho. First, the measuring device, set up a test specimen (releasable sheet), press the start button of the device, lower the adhesive portion discs at a speed of 100 cm / min, was contacted with the test strip. It was then pressed for 2 seconds and the adhesive portion disk test piece in the crimping load 4.9N. Then after crimping was measured tack values of the test piece by pulling the adhesive portion discs at a speed of 70cm / min. Show that the measured values in Table 2 below. In Table 2, the measured value is a case was less than 1.0N and a "Y", and the case was 1.0 or more as "N".

Table 1, as is clear from Table 2, when comparing the Comparative Example 1-9 to Example 1-8, does not contain a synthetic resin emulsion, i.e. an adhesion layer with a composition synthetic resin emulsion is less than 5 parts by weight re-peeling type sheet formed, in comparative example 1 provided as an intermediate layer, in the 90° peel test, can not be measured will be peeling lead plate is natural, also, in the plane tensile test, obtained practical to withstand strength It is did not.

On the other hand, in place of the synthetic resin emulsion, in Comparative Examples 2 and 3 using the rosin ester emulsion, although the very high strength of the practical level is obtained, in the 90° peel test, gypsum board ends up broken wood, It could not be peeled off only lead plate. In addition, in the tack tester test, the measured value is very high, it was the result of sticky appears strongly of the adhesion layer. Therefore, coexistence also be added other emulsion other than the natural rubber latex to synthetic resin emulsion at a predetermined rate, the lead boards with plaster board, good release properties after use and sufficient bonding strength when using is thereby it is difficult, and natural rubber latex, the mixing of the synthetic resin emulsion such as an acrylic ester polymer resin emulsion, it is seen that the effect of coexistence of these is obtained.

In addition, synthetic resin emulsion is more than 90 parts by weight, or in Comparative Example 4-7 does not contain natural rubber latex, in a plane tensile test, although very high strength of the practical level is obtained, in the 90 ° peel test, gypsum board ends up broken wood, it could not be peeled off only the lead plate.

In Comparative Examples 8 and 9 the glass transition temperature using a synthetic resin emulsion of less than -70 ° C., although high strength of a practical level is obtained, the adhesion layer is too soft, lead in 90 ° peel test It could not be easily peeled off only the plate. In addition, in Comparative Example 9, the measured values in tack tester test becomes very high, it was the result of sticky appears strongly of the adhesion layer.

In contrast, the natural rubber latex, the boards of Examples 1 to 8 in which the glass transition temperature is blended with synthetic resin emulsion in a predetermined range at a predetermined rate, obtained very high strength of the practical level in the plane tensile test is, yet in the 90 ° peel test, both without peeling dregs remains in the lead plate, easily to be able to peel only the lead plate has been confirmed. In Example 1-8, also obtained good value in tack tester test, the result is also excellent in the non-Evaluation of stickiness was obtained.

<Example 9-12>

As shown in Table 3 below, in place of the natural rubber latex unmodified, methyl methacrylate (MMA) the modified natural rubber latex (solids content 60 wt%, modification amount 13 mass%, product name: MG-15 Co. except for the use of Redjitekkusu Corp.), similar to the respective examples 1 to 4 were prepared adhesion layer composition. Further, using these compositions, in the same manner as in Example 1-4, to obtain a releasable sheet and lead boards with plaster board, respectively.

<Examples 13-16>

As shown in Table 3 below, in place of the natural rubber latex unmodified, except for using methyl methacrylate (MMA) modified natural rubber latex as used in Example 9-12, Example 5-8 in the same way as, to prepare the adhesion layer composition. Further, using these compositions, in the same manner as in Example 5-8, to obtain a releasable sheet and lead boards with plaster board, respectively.

<Comparative Example 10>

As shown in Table 3 below, in place of the natural rubber latex unmodified, except for using methyl methacrylate (MMA) modified natural rubber latex used in Example 9-12, as in Comparative Example 1, without using the synthetic resin emulsion, an adhesive layer composition was prepared to obtain a re-peelable sheet, and lead boards with plaster board.

<Comparative Examples 11 and 12>

As shown in Table 3 below, in place of the natural rubber latex unmodified, except for using methyl methacrylate (MMA) modified natural rubber latex as used in Example 9-12, respectively Comparative Examples 2 and 3 similar to, an adhesion layer composition to yield the releasable sheet and lead boards with plaster board.

<Comparative Example 13 and 14>

As shown in Table 3 below, in place of the unmodified natural rubber latex, except for using methyl methacrylate (MMA) modified natural rubber latex as used in Example 9-12, respectively Comparative Examples 4 and 5 similar to, an adhesion layer composition to yield the releasable sheet and lead boards with plaster board.

<Comparative Example 15 and 16>

As shown in Table 3 below, in place of the unmodified natural rubber latex, except for using methyl methacrylate (MMA) modified natural rubber latex as used in Example 9-12, respectively Comparative Examples 8 and 9 similar to, an adhesion layer composition to yield the releasable sheet and lead boards with plaster board.

<Comparative Test and Evaluation 2>

The gypsum board with lead boards obtained in Examples 9 to 16 and Comparative Examples 10 to 16, in the same manner as in Comparative Test 1, the plane tensile strength test was evaluated performed 90 ° peel test and tack tester tests. The results are shown in Table 4 below.

From Tables 3 and 4 as apparent, the MMA modified using a natural rubber latex, in the natural rubber latex, glass transition temperature of Example 9-16 was blended at a ratio of synthetic resin emulsion predetermined in a predetermined range the board, as compared with the comparative example 10 to 16, the same manner as in example 1 to 8 above, to obtain a very high strength of the practical level in the plane tensile test, yet in the 90 ° peel test, any peeling lead plate without imposing remains, it was confirmed that easily peeled only lead plate. In addition, also obtained good value in tack tester test, the result is also excellent in the non-Evaluation of stickiness was obtained.

<Examples 17 to 20, Comparative Example 17>

Ethylene as synthetic resin emulsion - vinyl copolymer resin emulsion acetate (solid content of 50% by weight, the glass transition temperature of -30 °C, the product name: S408HQE, Sumika Chemtex Co., Ltd.) was used, the mixing ratio of the natural rubber latex by mass were blended, respectively, as a ratio shown in Table 5 below were prepared adhesion layer composition in the same manner as in example 1-4. Further, using these compositions, in the same manner as in Example 1-4, to obtain a releasable sheet and lead boards with plaster board, respectively.

<Comparative Example 18>

As shown in Table 5 below, except that to prepare the adhesion layer composition without the use

of natural rubber latex, to obtain a releasable sheet and lead boards with gypsum board in the same manner as in Example 17-20.

<Examples 21 to 24, Comparative Example 19>

Ethylene as synthetic resin emulsion - vinyl copolymer resin emulsion acetate (solid content of 50% by weight, the glass transition temperature of -15°C , the product name: S755, Sumika Chemtex Co., Ltd.) was used, the mixing ratio of the natural rubber latex by mass were blended, respectively, as a ratio shown in Table 5 below were prepared adhesion layer composition in the same manner as in example 1-4. Further, using these compositions, in the same manner as in Example 1-4, to obtain a releasable sheet and lead boards with plaster board, respectively.

<Comparative Example 20>

As shown in Table 5 below, except that to prepare the adhesion layer composition without the use of natural rubber latex, to obtain a releasable sheet and lead boards with gypsum board in the same manner as in Example 21-24.

<Comparative Test and Evaluation 3>

The gypsum board with lead boards obtained in Examples 17 to 24 and Comparative Examples 17 to 20, in the same manner as in Comparative Test 1, the plane tensile strength test was evaluated performed 90° peel test and tack tester tests. The results are shown in Table 6 below.

Table 5, as apparent from Table 6, the glass transition temperature of ethylene is in the predetermined range as a synthetic resin emulsion - using vinyl acetate copolymer resin emulsion, natural rubber latex, the ethylene - vinyl acetate copolymer resin in the board of example 17 to 24 blended with the emulsion at a predetermined ratio, compared with the comparative example 17 to 20, the same manner as in example 1 to 8 above, very high strength of the practical level is obtained in the plane tensile test, and in the 90° peel test, both without peeling debris remains in the lead plate, easily to be able to peel only the lead plate was confirmed. In addition, also obtained good value in tack tester test, the result is also excellent in the non-Evaluation of stickiness was obtained.

<Examples 25 to 28, Comparative Example 21>

Styrene as a synthetic resin emulsion - butadiene copolymer resin emulsion (solid content 48 wt%, a glass transition temperature of -27°C ., product name: L-7850, manufactured by Asahi Kasei Chemicals Corporation) was used, the mixing ratio of the natural rubber latex by mass were blended, respectively, as a ratio shown in Table 7 below, were prepared adhesion layer composition in the same manner as in example 1-4. Further, using these compositions, in the same manner as in Example 1-4, to obtain a releasable sheet and lead boards with plaster board, respectively.

<Comparative Example 22>

As shown in Table 7 below, except that to prepare the adhesion layer composition without the use of natural rubber latex, to obtain a releasable sheet and lead boards with gypsum board in the same manner as in Example 25-28.

<Examples 29 to 32, Comparative Example 23>

Styrene as a synthetic resin emulsion - butadiene copolymer resin emulsion (solid content 50 wt%, a glass transition temperature of -15 ° C., product name: A7269, manufactured by Asahi Kasei Chemicals Corporation) was used, compounding ratio by mass of natural rubber latex in, compounded respectively so that the ratio shown in Table 7 below, were prepared adhesion layer composition in the same manner as in example 1-4. Further, using these compositions, in the same manner as in Example 1-4, to obtain a releasable sheet and lead boards with plaster board, respectively.

<Comparative Example 24>

As shown in Table 7 below, except that to prepare the adhesion layer composition without the use of natural rubber latex, to obtain a releasable sheet and lead boards with gypsum board in the same manner as in Example 29-32.

<Comparative Example 25>

Synthetic resin emulsion as a styrene - butadiene copolymer resin emulsion (solid content 50 wt%, a glass transition temperature of -13 ° C., product name: HA-030, manufactured by Asahi Kasei Chemicals Corporation) was used, as shown in Table 7 below , 100 at the mixing ratio by mass of natural rubber latex: were blended so as to be 150 ratio to prepare a adhesive layer composition in the same manner as in example 1-4. Further, by using this composition in the same manner as in Example 1-4, to obtain a releasable sheet and lead boards with plaster board.

<Comparative Test and Evaluation 4>

The gypsum board with lead boards obtained in Examples 25 to 32 and Comparative Examples 21 to 25, in the same manner as in Comparative Test 1, the plane tensile strength test was evaluated performed 90 ° peel test and tack tester tests. The results are shown in Table 8 below.

Table 7, as apparent from Table 8, the glass transition temperature of styrene is in the predetermined range as a synthetic resin emulsion - with butadiene copolymer resin emulsion, natural rubber latex, the styrene - butadiene copolymer resin emulsion in the board of example 25 to 32 was blended at a predetermined ratio, compared with the comparative example 21 to 25, the same manner as in example 1 to 8 above, very high strength of the practical level is obtained in the plane tensile test, yet 90 in ° peel test, both without peeling debris remains in the lead plate, easily to be able to peel only the lead plate was confirmed. In addition, also obtained good value in tack tester test, the result is also excellent in the non-Evaluation of stickiness was obtained.

In Comparative Example 25 Glass transition temperature Using a synthetic resin emulsion exceeds - 15 ° C., the bonding strength is lowered by the adhesion layer becomes hard, in the 90 ° peel test, a lead plate ends up spontaneous peeling not be measured, and in the plane tensile test, the strength capable of withstanding practical use was obtained.

<Comparative Example 26-29>

Ethylene - propylene - diene (EPDM) rubber emulsion (solids content of 52% by weight, the product name: Seporekkusu EP125, Sumitomo Seika Chemicals Co., Ltd.) was used, and the blending ratio of the natural rubber latex is on a mass basis, in Table 9 below blended respectively as the proportions indicated, to prepare an adhesive layer composition in the same manner as in example 1-4. Further, using these compositions, in the same manner as in Example 1-4, to obtain a releasable sheet and lead boards with plaster board, respectively.

<Comparative Example 30>

As shown in Table 9 below, except that to prepare the adhesion layer composition without the use of natural rubber latex, to obtain a releasable sheet and lead boards with gypsum board in the same manner as in Comparative Example 26 to 29.

<Comparative Example 31 to 34>

Chlorosulfonated polyethylene (CSM) rubber emulsion (solid content 40% by weight, product name: CSM-200, Sumitomo Seika Chemicals Co., Ltd.) was used, mixing ratio of the natural rubber latex by mass, in Table 9 below blended respectively as the proportions indicated, to prepare an adhesive layer composition in the same manner as in example 1-4. Further, using these compositions, in the same manner as in Example 1-4, to obtain a releasable sheet and lead boards with plaster board, respectively.

<Comparative Example 35>

As shown in Table 9 below, except that to prepare the adhesion layer composition without the use of natural rubber latex, to obtain a releasable sheet and lead boards with gypsum board in the same manner as in Comparative Example 31 to 34.

<Comparative Example 36 to 39>

Silicone rubber emulsion (solid content of 34% by weight, the product name: BY 22-856 SR, manufactured by Dow Corning Toray Co., Ltd.) was used, and the blending ratio of the natural rubber latex is on a mass basis, and the proportions shown in Table 9 below become so compounded respectively, to prepare the adhesion layer composition in the same manner as in example 1-4. Further, using these compositions, in the same manner as in Example 1-4, to obtain a releasable sheet and lead boards with plaster board, respectively.

<Comparative Example 40>

As shown in Table 9 below, except that to prepare the adhesion layer composition without the use of natural rubber latex, to obtain a releasable sheet and lead boards with gypsum board in the same manner as in Comparative Example 36 to 39.

<Comparative Test and Evaluation 5>

The lead boards with gypsum board obtained in Comparative Example 26 to 40, in the same manner as in Comparative Test 1, the plane tensile strength test was evaluated performed 90 ° peel test and tack tester tests. The results are shown in Table 10 below.

Table 9, as is apparent from Table 10, EPDM rubber emulsions as synthetic rubber emulsions, CSM rubber emulsion, or a silicone rubber emulsion, natural rubber latex, Comparative Example 26

containing a combination of these synthetic rubbers emulsion at a predetermined rate the 40 board, in the 90 ° peel test, not be measured lead plate ends up spontaneously peeled, and in a plane tensile test, the strength capable of withstanding practical use was obtained. Therefore, even when blended with synthetic rubber emulsion to natural rubber latex, the coexistence of good release properties after use and sufficient bonding strength in use is understood to be difficult.

<Examples 33 and 34, Comparative Examples 41 and 42>

Using the adhesive layer composition prepared in Example 2, the thickness of the adhesive layer, respectively, except that was formed to have a thickness shown in Table 11 below, in the same manner as in Examples 1-4, again peeling sheet and got the lead board with gypsum board.

<Comparative Test and Evaluation 6>

The gypsum board with lead boards obtained in Examples 33 and 34 and Comparative Examples 41 and 42, in the same manner as in Comparative Test 1, the plane tensile strength test was evaluated performed 90 ° peel test and tack tester tests. The results are shown in Table 12 below. For comparison, Table 11 also shows the conditions and the evaluation results of Example 2 are in Table 12.

Table 11, as is apparent from Table 12, in Comparative Example 41 The thickness of the adhesive layer of the removable sheet is less than 50 .mu.m, without strength to withstand for practical use can be obtained even in the plane tensile test, also, 90 ° in peel tests, a lead plate could not be measured will naturally peeled. On the other hand, in Comparative Example 42 exceeds 150 .mu.m, bubbles are generated in the adhesion layer, it was not possible to produce a releasable sheet.

In contrast, in the adhesion and a thickness of the range of 50~150μm embodiment of the layer 2,33,34, very high strength can be obtained in the plane tensile test, yet in the 90 ° peel test, both lead plate without leaving debris peeling, it was confirmed that easily peeled only lead plate. In addition, also obtained good value in tack tester test, the result is also excellent in the non-Evaluation of stickiness was obtained.

Gypsum board with lead board of the present invention can be utilized in the lead chamber radiography room, etc., etc. Interior building material or a portion thereof such as a wall to prevent the X-ray leakage. Furthermore, after use, it can be utilized as a recycle material for producing lead boards with new plasterboard.

10 gypsum board with a lead board 11 gypsum board 12 intermediate layer 13 lead plate 20 re-peeling sheet 21 pressure-sensitive adhesive layer or an adhesive layer 22 sheet-like base material layer 23 adhesion layer

Claims (7)

translated from Japanese

1. And gypsum board (11), intermediate for joining lead plate (13), the gypsum board (11) and the gypsum board (11) and the lead plate interposed between the lead plate (13) (13) in the layer (12) and the gypsum board with a lead board constituted by(10), It said intermediate layer (12), pressure-sensitive adhesive layer or an adhesive layer (21),

sheet-like substrate layer (22), releasable sheet adhesive layer (23) and are laminated in this order (20) in is configured, The adhesion layer (23) is formed by the adhesion layer composition as a main component of natural rubber latex containing 5 to 90 parts by weight of synthetic resin emulsion with respect to the 100 parts by mass of natural rubber latex, The glass transition temperature of the synthetic resin emulsion is $-70\sim-15^{\circ}\text{C}$, Lead Board with gypsum board, wherein the thickness of the adhesive layer (23) is 50 to 150 μm .

2. Wherein the natural rubber latex lead boards with gypsum board of claim 1 wherein the ester-modified natural rubber latex acrylic acid ester or methacrylic acid.
3. A re-peeling type sheet to be used to claim 1 or 2 lead board with gypsum board described, Pressure-sensitive adhesive layer or an adhesive layer (21), sheet-like substrate layer (22), the adhesion layer and (23) becomes stacked in this order, The adhesion layer (23) is a natural rubber latex as a main component, the adhesion layer having a glass transition temperature containing 5 to 90 parts by weight of the synthetic resin emulsion of -70 to -15°C . relative to the natural rubber latex 100 parts by weight releasable sheet formed by the compositions.
4. The re-peelable sheet according to claim 3, wherein the natural rubber latex is an ester modified natural rubber latex acrylic acid ester or methacrylic acid.
5. Re sensitive adhesive layer is composed of an emulsion-type adhesive or a solvent-type pressure-sensitive adhesive, the adhesive layer is an emulsion type adhesive, claim 3 or 4, wherein composed of a solvent type adhesive or a hot melt adhesive peelable sheet.
6. Releasable sheet according to claims 3 to 5 any one said sheet-like substrate layer (22) is made of nonwoven fabric.
7. To the each surface of the adhesive layer (23) and said pressure-sensitive adhesive layer or an adhesive layer (21), re-peelable sheet according to further any one protective sheet (24) to the claims 3 formed by stacking 6 .

Similar Documents

Publication Publication Date Title

[US4751269A](#) 1988-06-14 Crosslinked pressure-sensitive adhesive

[US6004642A](#) 1999-12-21 Internally separable tape laminate

[JP2003177241A](#) 2003-06-27 Laminated body for optical use, adhesive transfer tape and method for manufacturing laminated body for optical use

[JP2000109771A](#) 2000-04-18 Adhesive sheet

[JP2003114331A](#) 2003-04-18 Transparent self-adhesive film for protecting polarizing plate

[JP2009108314A](#) 2009-05-21 Water-proofing double-sided adhesive tape

JP2010189545A 2010-09-02 Double-sided self-adhesive sheet and self-adhesive optical member

JP2010260880A 2010-11-18 Double-sided adhesive tape

JP2006002140A 2006-01-05 Polymer composition for pressure-sensitive adhesive, pressure-sensitive adhesive composition for surface protective film, and the surface protective film

JP2008517138A 2008-05-22 Acrylic pressure-sensitive adhesive composition

JP2003193006A 2003-07-09 Double-sided self-adhesive tape for recycled part

JP2003238922A 2003-08-27 Sticking agent composition and sticking sheet

JP2005105212A 2005-04-21 Double-sided adhesive tape or sheet and method for producing them

US6841241B2 2005-01-11 Repeated use of an adhesive-film laminate

US5981064A 1999-11-09 Flexible filament device with pressure-sensitive flame retardant adhesive

JPH11228920A 1999-08-24 Adhesive sheets

JPH10204399A 1998-08-04 Pressure-sensitive adhesive acrylic composition

JPH11140398A 1999-05-25 Adhesive sheet and method for sticking adhesive sheet

JPH08209086A 1996-08-13 Double-coated tacky tape for recyclable part and using of the same

JP2008285670A 2008-11-27 Acrylic resin and method for producing the same, pressure-sensitive adhesive composition using the same, pressure-sensitive adhesive, and pressure-sensitive adhesive sheet

JP2003268325A 2003-09-25 Re-peelable double-coated adhesive tape

WO2011118183A1 2011-09-29 Acrylic adhesive composition for optical use and acrylic adhesive tape for optical use

US20050048302A1 2005-03-03 Releasing sheet and pressure-sensitive adhesive article

WO2009154856A1 2009-12-23 Pressure-sensitive adhesive composition and pressure-sensitive adhesive tape

JP2004339353A 2004-12-02 Stretch release tape

ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาร่างรายงานฉบับสมบูรณ์และการประชุมปิดโครงการวิจัย ปีงบประมาณ 2560

โครงการย่อยที่ 2 แผ่นผ้าเพดานชนิดยิปซัมคอมพอสิตด้วยน้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์สำหรับการประยุกต์ใช้งานด้านอุตสาหกรรมก่อสร้าง

หัวหน้าโครงการวิจัย ผศ.ดร.นุชนภา ตั้งบริบูรณ์

ตารางสรุปความเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิจัย และผู้ประสานงาน (เฉพาะประเด็นสำคัญ)

ความเห็นผู้ทรงคุณวุฒิ	คำชี้แจงของนักวิจัย	การจัดการของผู้ประสานงาน
1. จากตารางหน้า 10 ตารางที่ 3 น่าจะคำนวณ NaHCO_3 (5-10) โดยจะทำให้ PHR หรือ By weight ต้องไม่เท่ากัน และหน้า 30 ตารางที่ 3 ไม่ทราบเวลาทดลองชั่งน้ำหนักอย่างไรในการทดสอบ	การเตรียมตัวอย่างตามตารางที่ 3 ได้ทำการเตรียมน้ำยางคอมปาวด์ตามตารางที่ 2 ให้เสร็จเรียบร้อยก่อนแล้วจึงทำการเติมสารเพิ่มฟอง NaHCO_3 (5 กรัม) ลงในน้ำยางที่เตรียมไว้ ดังนั้นน้ำหนักเปียกและน้ำหนักแห้ง ตามตารางที่ 3 ก็ยังคงมีสารเพิ่มฟอง NaHCO_3 จำนวน 5 กรัมตามเดิม ทั้งในสูตรเปียกและสูตรแห้ง นอกจากนี้ได้ทำการเปลี่ยนหน่วยในตารางที่ 2 และ 3 ของคอลัมน์ที่แสดงสัดส่วนโดยน้ำหนักแห้ง จาก phr เป็น กรัม ในหน้าที่ 11, 35, 53 และ 90	☐ ชี้แจงได้กระจ่างและเห็นชอบตามคำชี้แจงของนักวิจัย ☐ ชี้แจงไม่กระจ่าง ให้ความเห็นไม่ได้และส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาใหม่แล้ว ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิเห็นชอบด้วยแล้ว ☐ นักวิจัยแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ
2. การทำการแก้ไขเรื่องการคิดปริมาณน้ำหนักในการทดสอบว่าทำตามอย่างไร	ได้ดำเนินการแล้วตามคำชี้แจงข้อ 1	☐ ชี้แจงได้กระจ่างและเห็นชอบตามคำชี้แจงของนักวิจัย ☐ ชี้แจงไม่กระจ่าง ให้ความเห็นไม่ได้และส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาใหม่แล้ว ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิเห็นชอบด้วยแล้ว ☐ นักวิจัยแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ
3. ควรมีราคาเปรียบเทียบกับแผ่นยิปซัมที่ขายในท้องตลาดด้วยจะเป็นประโยชน์ต่อการพิจารณาผลงานไปใช้ต่อยอด	ได้ดำเนินการเพิ่มเติมข้อมูลการคำนวณเปรียบเทียบเรื่องราคาแผ่นยิปซัมที่ขายในท้องตลาดไว้ในผลสรุปงานวิจัยโครงการย่อย 2	☐ ชี้แจงได้กระจ่างและเห็นชอบตามคำชี้แจงของนักวิจัย ☐ ชี้แจงไม่กระจ่าง ให้ความเห็นไม่ได้และส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาใหม่แล้ว ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิเห็นชอบด้วยแล้ว ☐ นักวิจัยแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ
4. งานวิจัยเมื่อเทียบวัตถุดิบและ output ขาดการสืบค้นสิทธิบัตร และร่างสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรที่จะยื่นจด	ได้ดำเนินการสืบค้นสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัยย่อย 2 ทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ ไว้ตั้งแต่เริ่มต้นดำเนินการวิจัยในข้อเสนอโครงการวิจัยย่อย 2 ทุกรายการตามทางผู้วิจัยได้ทำการแนบเอกสารดังกล่าวไว้ในท้ายรายงาน	☐ ชี้แจงได้กระจ่างและเห็นชอบตามคำชี้แจงของนักวิจัย ☐ ชี้แจงไม่กระจ่าง ให้ความเห็นไม่ได้และส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาใหม่แล้ว ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิเห็นชอบด้วยแล้ว ☐ นักวิจัยแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ

	วิจัยฉบับสมบูรณ์เรียบร้อยแล้ว	
5. ควรทำให้น้ำหนักเบาขึ้น เช่นการเพิ่มโฟมเข้าไป แต่สมบัติอื่นๆต้องผ่านการทดสอบตามมาตรฐานด้วย	รับทราบและเพิ่มเติมในข้อเสนอแนะ	☐ ชี้แจงได้กระจ่างและเห็นชอบตามคำชี้แจงของนักวิจัย ☐ ชี้แจงไม่กระจ่าง ให้ความเห็นไม่ได้และส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาใหม่แล้ว ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิเห็นชอบด้วยแล้ว ☐ นักวิจัยแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ
6. ให้วางแผนในการขยายผลสู่การผลิตระดับอุตสาหกรรมเชิงพาณิชย์	รับทราบและเพิ่มเติมในข้อเสนอแนะ	ชี้แจงได้กระจ่างและเห็นชอบตามคำชี้แจงของนักวิจัย ☐ ชี้แจงไม่กระจ่าง ให้ความเห็นไม่ได้และส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาใหม่แล้ว ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิเห็นชอบด้วยแล้ว ☐ นักวิจัยแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิ



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยย่อยที่ 3 นวัตกรรมกระบี่เบื้องหลังคาสีเมนต์เส้นใยธรรมชาติผสมเศษยาง

โดย

ผศ.ดร.ปารเมศ กำแพงฤทธิ์รงค์ และคณะ

พฤษภาคม 2561

สัญญาเลขที่ RDG60T0143

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยย่อยที่ 3 นวัตกรรมกระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติผสมเศษยาง

คณะผู้วิจัย

ผศ.ดร. ปารเมศ กำแพงฤทธิ์รงค์	ศูนย์นวัตกรรมและเทคโนโลยีทางอาคาร ภาควิชาวิศวกรรมอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร.พิมลิสรี สุวรรณะ	ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร. ศิรเดช สุริต	ภาควิชาวิศวกรรมอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
นางสาวกนกอร หันเจริญ	ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
นางสาวธิติมา ไส้ไม้	ศูนย์นวัตกรรมและเทคโนโลยีทางอาคาร ภาควิชาวิศวกรรมอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย วช.-สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สัญญาเลขที่ RDG 60T0143

โครงการ“นวัตกรรมยางพาราในการประยุกต์ด้านวัสดุก่อสร้างสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน”
สรุปรายงานวิจัยฉบับรายงานฉบับสมบูรณ์

ส่วนที่ 1 ข้อมูลโครงการ

ชื่อผู้รับทุน: ผศ.ดร.ปารเมศ กำแพงฤทธิ์รงค์

โครงการเริ่มเมื่อวันที่ 1 มิถุนายน 2560 รวมเวลาที่ทำวิจัยทั้งสิ้น 12 เดือน

รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 1 ในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน 2560 ถึงวันที่ 30 พฤศจิกายน 2560

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ช่วงเวลา ตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน 2560 ถึงวันที่ 31 พฤษภาคม 2561

ส่วนที่ 2 รายงานเนื้อหา

บทสรุปสำหรับผู้บริหารโครงการ

บทคัดย่อ, Abstract

บทนำ

วิธีทดลอง

ผลการทดลอง

สรุปรายงานโครงการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก

ลงนาม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ กำแพงฤทธิ์รงค์)

หัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

วันที่ 31 เดือน พฤษภาคม 2561

สัญญาเลขที่ RDG60T0143

โครงการ “นวัตกรรมยางพาราในการประยุกต์ด้านวัสดุก่อสร้างสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน”

โครงการย่อยที่ 1 การใช้น้ำยางพาราผสมคอนกรีตในการผลิตคอนกรีตมวลเบาและวัสดุปูพื้นโครงการพัฒนา

ร่างรายงานฉบับสมบูรณ์

ตาราง Output

ลง
นาม

ระยะเวลา	Output กิจกรรมในข้อเสนอโครงการ	ผลสำเร็จ (%)	หมายเหตุ
6 เดือนแรก	1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องเบื้องต้น เตรียมวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง ทำการศึกษาการผลิตวัสดุต้นแบบประเภทกระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นในธรรมชาติผสมเศษยางรถยนต์สำหรับการทดสอบ และวิเคราะห์ผล	100%	
	2. จัดทำรายงานความก้าวหน้ารอบ 6 เดือน	100%	
6 เดือนที่ 2	1. ปรับปรุงและทดสอบสมบัติของต้นแบบหลังคา	100%	
	2. จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์	100%	

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ กำแพงฤทธิ์รงค์)

หัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน

วันที่ 31 เดือน พฤษภาคม 2561

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

รหัสโครงการ:	RDG60T0143
ชื่อโครงการ (ภาษาไทย):	นวัตกรรมกระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติผสมเศษยาง
(ภาษาอังกฤษ):	Innovation of rubber-fiber-cement roof tile
ชื่อแผนงานวิจัย (ภาษาไทย):	นวัตกรรมยางพาราในการประยุกต์ด้านวัสดุก่อสร้างสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน
(ภาษาอังกฤษ):	Natural Rubber Innovation in Applications of Building Materials for Sustainable Development
หัวหน้าโครงการ	ผศ.ดร. ปารเมศ กำแหงฤทธิ์รงค์
หน่วยงาน	ศูนย์นวัตกรรมและเทคโนโลยีทางอาคาร ภาควิชาวิศวกรรมอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
โทรศัพท์	02-942-8960 ต่อ 356, 357
โทรสาร	02-940-5413
E-mail	archpmk@ku.ac.th, paramesacs@yahoo.com
ระยะเวลาโครงการ:	1 มิถุนายน 2560 ถึง 31 พฤษภาคม 2561

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

กระเบื้องหลังคา นับเป็นวัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญในการก่อสร้างอาคาร บ้านเรือน หรือที่พักอาศัย ซึ่งในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์กระเบื้องหลังคาอยู่หลายชนิดให้ได้เลือกใช้ เช่น กระเบื้องคอนกรีต กระเบื้องเซรามิก ซึ่งมีราคาอยู่ในระดับสูง หรือจะเป็นกระเบื้องซีเมนต์ กระเบื้องซีเมนต์เส้นใย ซึ่งมีราคาลดลงมา และเป็นที่นิยมในการนำมาใช้ในบ้าน อาคาร หรือที่พักอาศัย (สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า, 2552) หลังคานับเป็นส่วนประกอบสำคัญส่วนหนึ่งในการป้องกันฝน ลม แดด และความร้อนจากรังสีของดวงอาทิตย์ที่ส่งผ่านมายังอาคาร นับเป็นเปลือกอาคารชั้นนอกสุดที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะในประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศที่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น สภาพอากาศร้อนอบอ้าวเกือบตลอดทั้งปี มีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 27.0 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิสูงสุดในตอนบ่ายสูงถึงเกือบ 40 องศาเซลเซียส หรือมากกว่านั้น โดยเฉพาะในเดือนเมษายนซึ่งเป็นเดือนที่มีอากาศร้อนจัดที่สุดในรอบปี นอกจากนี้แล้วประเทศไทยยังตั้งอยู่ระหว่างบริเวณแหล่งกำเนิดของพายุหมุนเขตร้อน โดยพายุมีโอกาสเคลื่อนตัวเข้าสู่ประเทศไทยโดยเฉลี่ยประมาณ 3-4 ลูกต่อปี ทำให้เกิดฝนตกต่อเนื่องเป็นเวลานาน ยิ่งพายุมีความรุนแรงมาก ก็จะพัดให้กิ่งไม้หัก ปลิวหล่นลงบนหลังคาบ้านเรือนที่อยู่อาศัยทำให้เกิดความ

เสียหายเป็นจำนวนมาก (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2553) หรือกรณีเกิดพายุลูกเห็บจากสภาพอากาศที่แปรปรวน มีพายุฝนลมแรงและฝนตกหนัก ประกอบกับสภาพอากาศที่ยังคงหนาวเย็น ทำให้เกิดพายุลูกเห็บตกในหลายพื้นที่ เช่นในปี 2558 เกิดพายุลูกเห็บตกลงมาในพื้นที่ อ.พาน จ.เชียงราย ทำให้ความเสียหายแก่หลังคาบ้านเรือนประชาชนมากกว่า 200 หลังคาเรือน หรือเมื่อต้นปี 2559 เกิดพายุลูกเห็บพัดถล่ม อ.เกาะคา จ.ลำปาง ทำให้หลังคาบ้านเรือนได้รับความเสียหายมากกว่า 400 หลังคาเรือน ประชาชนได้รับความเดือดร้อน และความเสียหายของหลังคาบ้านอย่างมาก เพราะเป็นส่วนที่อยู่สูงสุดของตัวบ้าน จึงได้รับผลกระทบโดยตรง หรือ กรณีที่มีการหลุดปลิวของหลังคา ที่สร้างไว้ไม่มั่นคง หรือการยึดเกาะกับตัวโครงหลังคาที่ไม่ดี ทำให้กระเบื้องหลังคาเกิดความเสียหายและอันตรายจากการปลิวตกของกระเบื้องหลังคา เนื่องจากมีน้ำหนักมาก นอกจากนี้แล้วเมื่อเกิดปัญหาแตก รั่ว ขึ้นมักมองไม่เห็น และทำการแก้ไขได้ยาก ดังนั้นหากกระเบื้องหลังคาที่ใช้มีความทนทานต่อแรงกระแทกที่ดี มีความแข็งแรง ไม่แตกหักง่ายเมื่อมีพายุลูกเห็บ หรือกิ่งไม้หล่นลงมาบนหลังคา แม้การปลิวหลุด ก็ไม่แตกหักง่าย ไม่ก่อให้เกิดอันตราย เพราะมีน้ำหนักเบากว่า และขณะเดียวกันก็สามารถกันความร้อนจากภายนอกไม่ให้เข้าสู่ภายในอาคารได้ นับว่าเป็นแนวทางในการพัฒนากระเบื้องหลังคาให้เหมาะสมกับภูมิอากาศในประเทศต่อไป

ปัจจุบันอัตราการเจริญเติบโตของอุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี จากปัญหาภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ทำให้ผู้ประกอบการด้านวัสดุก่อสร้างมีการแข่งขันในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่มีความหลากหลาย มีทั้งการปรับปรุง เปลี่ยนแปลง แก้ไขอาคารเก่า รวมถึงการก่อสร้างอาคารใหม่ สำนักงาน หรือที่อยู่อาศัย โดยมุ่งเน้นการเลือกใช้วัสดุที่ช่วยในการประหยัดพลังงาน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม กระเบื้องหลังคานับเป็นวัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่ได้มีการคิดค้น พัฒนา และปรับปรุงมาโดยตลอด เพราะเป็นส่วนของเปลือกอาคารด้านบนที่รับความร้อนโดยตรงจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ซึ่งปัจจุบันวัสดุมุงหลังคาที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์แต่ละชนิดมีข้อจำกัดการใช้งานที่แตกต่างกัน กระเบื้องเซรามิก เป็นกระเบื้องที่นิยมสำหรับบ้านดีไซด์สมัยใหม่ มีพื้นผิวเรียบเนียน เป็นมันวาว มีความสะท้อน สีสันที่เคลือบผิวชัดเจน แต่มีราคาแพงที่สุด หาซื้อยาก เพราะต้องสั่งซื้อจากโรงงานผู้ผลิตโดยตรง กระเบื้องคอนกรีต หรือกระเบื้องซีเมนต์ บางทีก็เรียกว่า กระเบื้องซีแพคโมเนีย กระเบื้องประเภทนี้ หาซื้อง่าย แข็งแรงและสวยงาม แต่มีน้ำหนักมาก จึงมีปัญหาในการเลือกใช้โครงสร้างหลังคาที่ต้องรองรับน้ำหนักของวัสดุ ที่มีน้ำหนักมาก ซึ่งส่วนใหญ่จะเลือกใช้โครงสร้างเหล็กที่มีราคาแพง ทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง และกระเบื้องที่มีความนิยมนอีกชนิดหนึ่ง คือกระเบื้องไฟเบอร์ซีเมนต์ ซึ่งปัจจุบันมีเทคโนโลยีการผลิตที่ทันสมัยไม่มีสารประกอบใยหิน หรือ แอสเบสทอส ที่เป็นสารก่อมะเร็งในส่วนผสมผลิออกมาใช้งาน เป็นกระเบื้องที่มีความแข็งแรงทนทาน ราคาไม่แพง มีสีสันลวดลายให้เลือกหลายแบบ และมีน้ำหนักเบา แต่ก็ต้องพิจารณาเรื่องน้ำหนักโดยรวมของวัสดุ เพื่อประกอบการเลือกชนิดของโครงสร้างหลังคาเพื่อรองรับน้ำหนัก เป็นสิ่งสำคัญ จากสมบัติของกระเบื้องที่กล่าวมา จะเห็นว่ามีโดดเด่นในด้านความแข็งแรงทนทาน เพราะมีซีเมนต์เป็นตัวประสานแทบทั้งสิ้น และซีเมนต์ยังเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในงานก่อสร้างมาเป็นเวลานาน แต่ซีเมนต์มีข้อเสียคือเมื่อแข็งตัวจะมีน้ำหนักมาก และเปราะ ดังนั้นเมื่อผลิตเป็นวัสดุมุงหลังคามักจะเกิด

การแตกหัก จากการตกกระแทกของวัตถุที่หล่นลงบนหลังคา เพราะหลังคาในปัจจุบันไม่มีสมบัติการรับแรงตกกระแทก หากวัสดุหลังคามีสมบัติด้านนี้ก็จะไม่แตกหักง่าย ไม่เกิดความเสียหาย และไม่ต้องสิ้นเปลืองเงินในการซ่อมแซมหลังคา ดังนั้นหากสามารถนำเศษยางรถยนต์ เข้าไปผสมในกระเบื้องหลังคา ให้สามารถรับแรงตกกระแทก และผสมเส้นใยธรรมชาติเพิ่มอีกชนิดหนึ่งให้มีสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อน เพื่อป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารได้ด้วย นับเป็นแนวทางพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติผสมเศษยางรถยนต์ ที่เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับของเหลือทิ้ง และลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จึงมุ่งเป้าศึกษาวิจัยเพื่อหาว่านวัตกรรมการผลิตกระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติผสมเศษยางรถยนต์ ที่เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีสมบัติทนแรงตกกระแทก และสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อน เพื่อเป็นแนวทางส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร ที่อยู่อาศัย (กระทรวงพลังงาน, 2535) และเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถตอบสนองความต้องการของตลาดเชิงคุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) รวมทั้งสนับสนุนการออกแบบอาคารเพื่องานทางด้านอาคารเขียว (Green building) ในด้านการประหยัดพลังงาน และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อผลิตวัสดุต้นแบบประเภทกระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติผสมเศษยางรถยนต์ที่มีน้ำหนักเบา กว่ากระเบื้องหลังคาซีเมนต์ในเชิงพาณิชย์ ทนแรงตกกระแทก และมีสมบัติในการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารได้
2. เพื่อหาว่านวัตกรรมกระบวนการผสมสูตรใหม่ของกระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยปาล์มน้ำมันและเศษยางรถยนต์ ให้มีศักยภาพด้านคุณภาพ ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกใหม่ๆ ในเชิงพาณิชย์

ผลการวิจัย

โครงการวิจัยนี้สามารถศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบกระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติผสมกับเศษยางรถยนต์ชนิดแผ่นเรียบ โดยประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก ขั้นตอนแรกเป็นส่วนของการเตรียมวัตถุดิบในการผสมกับซีเมนต์ ประกอบด้วย การปรับปรุงผิววัสดุเสริมแรงประเภทเส้นใยธรรมชาติด้วยวิธีทางชีวภาพและวัสดุมวลรวมเศษยางรถยนต์ด้วยวิธีทางเคมี ซึ่งจากการปรับปรุงผิวของวัสดุทั้ง 2 ชนิด ทำให้ส่วนประกอบในการผสมเข้ากันได้เป็นอย่างดี มากกว่าการไม่ปรับปรุงผิว เพราะโดยปกติวัสดุเสริมแรงประเภทเส้นใยจะเป็นส่วนที่ชอบน้ำ ดังนั้น เมื่อผสมกับซีเมนต์จะดูดน้ำ หรือแย่งน้ำจากซีเมนต์ทำให้ซีเมนต์ไม่เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน คือซีเมนต์จะไม่แข็งตัว ดังนั้นการปรับปรุงผิวของเส้นใยคือการปิดช่องอากาศบนผิวเส้นใยเพื่อป้องกันไม่ให้เส้นใยแย่งน้ำจากซีเมนต์ในขณะทำการปรับปรุงผิววัสดุมวลรวมเศษยางรถยนต์ด้วยวิธีทางเคมี ช่วยทำให้เศษยางรถยนต์ลดแรงดึงผิวที่มีต่อน้ำ ดังนั้นเมื่อผสมเข้ากับซีเมนต์ โดยปกติเศษยางรถยนต์จะลอยอยู่ด้านบน เมื่อได้ทำการการปรับปรุงผิวแล้วทำให้เศษยางรถยนต์ผสมเข้ากับซีเมนต์ได้ดีกว่า ส่วนในขั้นตอนที่สองเป็นการทดลองสูตรการผสมเพื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบกระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติผสมกับเศษยางรถยนต์ชนิดแผ่น

เรียบโดยได้ทำสูตรผสมทั้งหมด 9 สูตรการผสม คือ โดยใช้อัตราส่วนของเส้นใยธรรมชาติที่ปรับปรุงผิวด้วยวิธีทางชีวภาพ 5% และ 10% ต่อน้ำหนักซีเมนต์เพื่อช่วยสมบัติในการเสริมแรงและสมบัติด้านกันความร้อน ในขณะที่ใช้เศษยางรถยนต์ที่ปรับปรุงผิวด้วยวิธีทางเคมีแทนวัสดุมวลรวมในอัตราส่วน 10%, 20%, 30%, 40% และ 50% ตามลำดับ ต่อ น้ำหนักซีเมนต์ โดยเศษยางรถยนต์จะช่วยเสริมสมบัติทางด้านกันความร้อนและกันเสียง อีกทั้งลดน้ำหนักโดยรวมของผลิตภัณฑ์ให้น้อยลงถ้าเทียบกับการใช้มวลรวมแบบเดิม ประเภททราย และใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) 0.5 พบว่า สูตรการผสมที่ใช้ ซีเมนต์ : เส้นใย : เศษยางรถยนต์ ที่อัตราส่วน 1:0.1:0.5 มีสมบัติที่เหมาะสมที่สุดในการจะนำไปผลิตกระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติผสมกับเศษยางรถยนต์ชนิดแผ่นเรียบ ด้วยสมบัติที่ดีในด้านกันความร้อน และกันเสียง พร้อมด้วยสมบัติทางกายภาพ และทางกลที่ผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 1427-2540

ในด้านต้นทุนการผลิต กระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติผสมกับเศษยางรถยนต์ชนิดแผ่นเรียบใช้วัตถุดิบจากของเหลือทิ้งทางการเกษตรในส่วนของเส้นใยธรรมชาติจากทะลายปาล์ม และเศษยางรถยนต์ มาผสมเป็นวัสดุเสริมแรงและวัสดุมวลรวม โดยการนำวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มาทำการปรับปรุงผิวเพื่อใช้ผสม ดังนั้นเมื่อคิดต้นทุนของผลิตภัณฑ์ต่อแผ่น ราคาประมาณ 20.04 บาท ต่อแผ่น ถ้าคิดราคาในการปูกระเบื้องหลังคาต่อตารางเมตร เท่ากับ 501.00 บาทต่อตารางเมตร ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับราคาผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดแล้ว นับว่าราคาอยู่ระหว่างการปูกระเบื้องหลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์ กับ หลังคาเซรามิก นับเป็นแนวทางในการพัฒนา และออกแบบเพื่อจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้ มีความสามารถในการแข่งขันกับผลิตภัณฑ์ในปัจจุบันได้ด้วยสมบัติทางกลที่ผ่านมาตรฐาน มอก.1427-2540 และสมบัติที่เสริมศักยภาพในด้านกันความร้อน และกันเสียงที่ดีกว่า โดยไม่ต้องสิ้นเปลืองงบประมาณในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนเพิ่มเติม และน้ำหนักของกระเบื้องก็มีน้ำหนักเบา สะดวกในการขนส่งอีกด้วย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองผลิตต้นแบบกระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติผสมกับเศษยางรถยนต์ โดยใช้อัตราส่วนของเส้นใยธรรมชาติที่ปรับปรุงผิวด้วยวิธีทางชีวภาพ 5% และ 10% ต่อน้ำหนักซีเมนต์ เพื่อช่วยสมบัติในด้านการเสริมแรงและสมบัติด้านกันความร้อน ในขณะที่ใช้เศษยางรถยนต์ที่ปรับปรุงผิวด้วยวิธีทางเคมีแทนวัสดุมวลรวมในอัตราส่วน 10%, 20%, 30%, 40% และ 50% ตามลำดับ ต่อน้ำหนักซีเมนต์ โดยเศษยางรถยนต์จะช่วยเสริมสมบัติทางด้านกันความร้อนและกันเสียง อีกทั้งลดน้ำหนักโดยรวมของผลิตภัณฑ์ให้น้อยลง ถ้าเทียบกับการใช้มวลรวมแบบเดิม ประเภททราย และใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) 0.5 ทำการผสมในเครื่องผสมแล้วเทลงในแม่แบบขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร และหนา 1 เซนติเมตร และบ่มที่อุณหภูมิปกติจนครบ 24 ชั่วโมงหลังจากนั้นแกะออกจากแม่แบบและบ่มต่อในน้ำให้ครบเวลา 28 วัน จึงนำตัวอย่างไปทดสอบสมบัติทางกายภาพ คือ ความหนาแน่น ปริมาณการดูดซึมน้ำ ทดสอบสมบัติเชิงกล คือ การต้านทานแรงดัดโค้ง และสมบัติด้านอื่นๆ เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของตัวอย่าง โดยแบ่งส่วนผสมในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ออกเป็น 4 ประเภท คือ ซีเมนต์ควบคุม (CC) ซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติ (CF) ซีเมนต์ผสมเศษยางรถยนต์ (CR) และ ซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติและเศษยาง (CFR) จากผลการทดสอบพบว่า ค่าการต้านทานแรงดัดโค้งของตัวอย่าง CC มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ CFR และ CR กับ CF มีค่าเท่ากัน ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (K) ของ CFR มีค่าต่ำที่สุดที่ 0.2308 ± 0.005 W/m.K และมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับที่สามารถลดทอนเสียงได้ 32.10% ระดับ และมีความหนาแน่นน้อยกว่า CC ประมาณ 20.5 จ% จากผลการศึกษาจึงมีความเป็นไปได้ในการนำส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ต้นแบบกระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติผสมกับเศษยางรถยนต์ไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ในวัสดุก่อสร้างประเภท หลังคา หรือ เปลือกอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: กระเบื้องหลังคา ซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติและเศษยางรถยนต์ วัสดุผสมซีเมนต์

Abstract

This research was an experimental study on the prototype of cement composite as a roofing tile for developed a new type of cement roofing tile with different of composites. Samples were manufactured using a natural fiber that had improved by biological process for supporting the properties in reinforce and thermal isolation. The ratio of the natural fiber by cement's weight are 5% and 10%. And composited with a scrap tyre that had improved by chemical process for supporting the properties in thermal isolation and soundproof, which has replaced the aggregate. The ratio of the scrap tyre by cement's weight are 10%, 20%, 30%, 40%, and 50%, accordingly. Besides both of raw materials also reduced the aggregate's weight when comparing with the commercial cement. The sample size are 20cm.x 20cm.x 1cm., and the ratio of water and cement (W/C) is 0.5. They were manufactured by moulded at room temperature for 24 hours and fill in the water for 28 days. Then the samples were testing in the physical properties as the density property and the water absorption. The mechanical property was tested by measured the modulus. The others properties were measured in the thermal conductivity coefficient and the sound absorption coefficient. By separated the samples as 4 categories, there are 1. Control Cement (CC), 2. Cement composite with Fiber (CF), 3. Cement composite with scrap tyre (CR) and 4. Cement composite with fiber and scrap tyre (CFR).

Results showed that CC got the highest performance, CFR and CR ,CF are same rank of the performance in Modulus property by rank. The measured in the thermal conductivity (K) showed that the lowest is 0.2308 ± 0.005 W/m.K from CFR and the sound absorption coefficient results of CFR also can absorbing 32.10% of noise. CFR got the density less than about 20.50%. Therefore, the prototype of cement composite from natural fiber and scrap tyre can develop and applying in the construction material as roofing or building façade with the high performance and potential.

Keywords: Roofing tile, fiber rubber cement, cement composite.

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปสำหรับผู้บริหาร (Executive Summary)	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (Abstract)	ฉ
เนื้อหาผลการดำเนินงานวิจัย	
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	39
บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย	43
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินการวิจัย	52
เอกสารอ้างอิง	53
ภาคผนวก	55

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1	ตารางแสดงค่าสภาพการนำความร้อนของฉนวนกันความร้อน
6	
ตารางที่ 2	ปริมาณออกไซด์ต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
18	
ตารางที่ 3	สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
18	
ตารางที่ 4	เวลาที่ทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบหลัก สำเร็จ 80%
21	
ตารางที่ 5	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ความกว้าง ความยาว
30	
ตารางที่ 6	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนความหนา
31	
ตารางที่ 7	มอดุลัสแตกหักของกระเบื้องประเภท A
32	
ตารางที่ 8	มอดุลัสแตกหักของกระเบื้องประเภท B
32	
ตารางที่ 9	ระยะระหว่างที่รองรับ
33	
ตารางที่ 10	รูปร่างและขนาดขึ้นทดสอบ, หน่วยเป็นมิลลิเมตร
34	
ตารางที่ 11	สูตรผสมเพื่อขึ้นรูปผลิตภัณฑ์กระเบื้องหลังคาแผ่นเรียบ
41	
ตารางที่ 12	การทดสอบผลิตภัณฑ์ต้นแบบของกระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติผสม เศษยางรถยนต์
42	
ตารางที่ 13	ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (uncertainty at 90% confident)
45	
ตารางที่ 14	ผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ (uncertainty at 90% confident)
46	
ตารางที่ 15	ผลการทดสอบค่าความหนาแน่น (uncertainty at 90% confident)
48	
ตารางที่ 16	ผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่น (uncertainty at 90% confident)
49	
ตารางที่ 17	ผลการทดสอบการลามไฟของวัสดุ
50	
ตารางที่ 18	ต้นทุนการผลิตกระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติผสมกับเศษยาง รถยนต์ชนิดแผ่นเรียบ
55	
ตารางที่ 19	เปรียบเทียบต้นทุนและปริมาณเศษยางรถยนต์ในการผลิตกระเบื้องหลังคาต่อ แผ่น
55	
ตารางที่ 20	ตารางเปรียบเทียบราคาการปูกระเบื้องหลังคาต่อตารางเมตร
56	

สารบัญรูปภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1	กระเบื้องคอนกรีตมุงหลังคาชนิดแผ่นเรียบ (ก), ชนิดแผ่นลอน (ข)	8
ภาพที่ 2	การปูหลังคาด้วยกระเบื้องซีเมนต์เส้นใยมุงหลังคาชนิดแผ่นเรียบ (ก), ชนิดแผ่นลอน (ข)	9
ภาพที่ 3	กระเบื้องดินเผาหลังคา (ก), การปูหลังคาด้วยกระเบื้องดินเผา (ข)	10
ภาพที่ 4	กระเบื้องหลังคาเซรามิก (ก), การปูหลังคาด้วยกระเบื้องหลังคาเซรามิก (ข)	11
ภาพที่ 5	อุณหภูมิที่ผิวหลังคามีส่าสูง และส่งผ่านความร้อนเข้ามาภายในอาคาร (ก), การติดตั้งฉนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดาน บนแป และการใช้แผ่นสะท้อนความร้อนใต้แป (ข)	14
ภาพที่ 6	การเรียกชื่อองค์ประกอบต่างๆของคอนกรีต	19
ภาพที่ 7	ภาพแสดงปฏิกิริยาของแคลเซียมซิลิเกต	20
ภาพที่ 8	ขบวนการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3A (ก), ภาพขยาย Monosulphate และ Ettringite (ข)	22
ภาพที่ 9	ยางรถยนต์เก่าหมดอายุการใช้งาน (ก), ยางผงจากการนำยางรถยนต์เก่าไปบดด้วยวิธีทางกล (ข)	23
ภาพที่ 10	กระบวนการบดยางรถเก่าที่หมดอายุการใช้งานให้เป็นยางผงด้วยวิธีทางกล	24
ภาพที่ 11	กระบวนการปรับปรุงผิวของยางผงด้วยวิธีการทางเคมี	25
ภาพที่ 12	โครงสร้างเส้นใยเซลูโลส	25
ภาพที่ 13	รูปใยหินจากก้อนหิน	27
ภาพที่ 14	แผนผังประเภทของเส้นใย	27
ภาพที่ 15	การเชื่อมต่อกันของกลูโคสในโมเลกุลของเซลลูโลส	28
ภาพที่ 16	ปาล์มน้ำมัน (ก), ทะลายปาล์มสกัดน้ำมันแล้วนำมาแปรรูปเป็นเส้นใย(ข), เส้นใยปาล์ม (ค)	28
ภาพที่ 17	BNC Gel (ก), ลักษณะโครงสร้าง BNC (ข)	29
ภาพที่ 18	การวัดความหนา, หน่วยเป็นมิลลิเมตร	31
ภาพที่ 19	เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดัด แบบManual (ก), แบบComputer control (ข)	33
ภาพที่ 20	ตำแหน่งการตัดกระเบื้องตัวอย่าง	34
ภาพที่ 21	ตำแหน่งการวัดความหนาที่รอยแตกหักของชิ้นทดสอบสี่เหลี่ยมผืนผ้า	
ภาพที่ 22	ตำแหน่งการวัดความหนาที่รอยแตกหักของชิ้นทดสอบสี่เหลี่ยมจัตุรัส	35
ภาพที่ 23	วิธีการทดสอบการต้านการรั่วซึม	37
ภาพที่ 24	เครื่องทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน	37
ภาพที่ 25	เครื่องทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง	38
ภาพที่ 26	การทดสอบการลามไฟของวัสดุ	38

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพที่ 27	ภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมเส้นใยปาล์มด้วยวิธีทางกล	39
ภาพที่ 28	ภาพแสดงขั้นตอนการปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มด้วยสารละลายแบคทีเรียวัณ	40

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา

กระเบื้องหลังคา นับเป็นวัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญในการก่อสร้างอาคาร บ้านเรือน หรือที่พักอาศัย ซึ่งในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์กระเบื้องหลังคาอยู่หลายชนิดให้เลือกใช้ เช่น กระเบื้องคอนกรีต กระเบื้องเซรามิก ซึ่งมีราคาอยู่ในระดับสูง หรือจะเป็นกระเบื้องซีเมนต์ กระเบื้องซีเมนต์เส้นใย ซึ่งมีราคาลดลงมา และเป็นที่นิยมในการนำมาใช้ในบ้าน อาคาร หรือที่พักอาศัย (สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า, 2552) หลังคา นับเป็นส่วนประกอบสำคัญส่วนหนึ่งในการป้องกันฝน ลม แดด และความร้อนจากรังสีของดวงอาทิตย์ที่ส่งผ่านมายังอาคาร นับเป็นเปลือกอาคารชั้นนอกสุดที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะในประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศที่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น สภาพอากาศร้อนอบอ้าวเกือบตลอดทั้งปี มีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 27.0 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิสูงสุดในตอนบ่ายสูงถึงเกือบ 40 องศาเซลเซียส หรือมากกว่านั้น โดยเฉพาะในเดือนเมษายนซึ่งเป็นเดือนที่มีอากาศร้อนจัดที่สุดในรอบปี นอกจากนี้แล้วประเทศไทยยังตั้งอยู่ระหว่างบริเวณแหล่งกำเนิดของพายุหมุนเขตร้อน โดยพายุมีโอกาสดเคลื่อนตัวเข้าสู่ประเทศไทยโดยเฉลี่ยประมาณ 3-4 ลูกต่อปี ทำให้เกิดฝนตกต่อเนื่องเป็นเวลานาน ยิ่งพายุมีความรุนแรงมาก ก็จะทำให้กิ่งไม้หัก ปลิวหล่นลงบนหลังคาบ้านเรือนที่อยู่อาศัยทำให้เกิดความเสียหายเป็นจำนวนมาก (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2553) หรือกรณีเกิดพายุลูกเห็บจากสภาพอากาศที่แปรปรวน มีพายุฝนลมแรงและฝนตกหนัก ประกอบกับสภาพอากาศที่ยังคงหนาวเย็น ทำให้เกิดพายุลูกเห็บตกในหลายพื้นที่ เช่นในปี 2558 เกิดพายุลูกเห็บตกลงมาในพื้นที่ อ.พาน จ.เชียงราย ทำให้ความเสียหายแก่หลังคาบ้านเรือนประชาชนมากกว่า 200 หลังคาเรือน หรือเมื่อต้นปี 2559 เกิดพายุลูกเห็บพัดถล่ม อ.เกาะคา จ.ลำปาง ทำให้หลังคาบ้านเรือนได้รับความเสียหายมากกว่า 400 หลังคาเรือน ประชาชนได้รับความเดือดร้อน และความเสียหายของหลังคาบ้านอย่างมาก เพราะเป็นส่วนที่อยู่สูงสุดของตัวบ้าน จึงได้รับผลกระทบโดยตรง หรือ กรณีที่มีการหลุดปลิวของหลังคา ที่สร้างไว้ไม่มั่นคง หรือการยึดเกาะกับตัวโครงหลังคาที่ไม่ดี ทำให้กระเบื้องหลังคาเกิดความเสียหาย และอันตรายจากการปลิวตกของกระเบื้องหลังคาเนื่องจากมีน้ำหนักมาก นอกจากนี้แล้วเมื่อเกิดปัญหาแตก รั่ว ขึ้นมักมองไม่เห็น และทำการแก้ไขได้ยาก ดังนั้นหากกระเบื้องหลังคาที่ใช้มีความทนทานต่อแรงกระแทกที่ดี มีความแข็งแรง ไม่แตกหักง่ายเมื่อมีพายุลูกเห็บหรือกิ่งไม้หล่นลงมาบนหลังคา แม้การปลิวหลุด ก็ไม่แตกหักง่าย ไม่ก่อให้เกิดอันตราย เพราะมีน้ำหนักเบา และขณะเดียวกันก็สามารถกันความร้อนจากภายนอกไม่ให้เข้าสู่ภายในอาคารได้ นับว่าเป็นแนวทางในการพัฒนากระเบื้องหลังคาให้เหมาะสมกับภูมิอากาศในประเทศต่อไป

ปัจจุบันอัตราการเจริญเติบโตของอุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี จากปัญหาภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ทำให้ผู้ประกอบการด้านวัสดุก่อสร้างมีการแข่งขันในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่มีความหลากหลาย มีทั้งการปรับปรุง เปลี่ยนแปลง แก้ไขอาคารเก่า รวมถึงการก่อสร้างอาคารใหม่ สำนักงาน หรือที่อยู่อาศัย โดยมุ่งเน้นการเลือกใช้วัสดุที่ช่วยในการประหยัดพลังงาน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม กระเบื้องหลังคานับเป็นวัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่ได้มีการคิดค้น พัฒนา และปรับปรุงมาโดยตลอด เพราะเป็นส่วนหนึ่งของเปลือกอาคารด้านบนที่รับความร้อนโดยตรงจากการแผ่รังสีของ

ดวงอาทิตย์ ซึ่งปัจจุบันวัสดุผนังหลังคาที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์แต่ละชนิดมีข้อจำกัดการใช้งานที่แตกต่างกัน กระเบื้องเซรามิก เป็นกระเบื้องที่นิยมสำหรับบ้านดีไซด์สมัยใหม่ มีพื้นผิวเรียบเนียน เป็นมันวาว มีความสะท้อน สีสันทึบเคลือบผิวชัดเจน แต่มีราคาแพงที่สุด หาซื้อยาก เพราะต้องสั่งซื้อจากโรงงานผู้ผลิตโดยตรง กระเบื้องคอนกรีต หรือกระเบื้องซีเมนต์ บางทีก็เรียกว่า กระเบื้องซีแพคโมเนีย กระเบื้องประเภทนี้ หาซื้อง่าย แข็งแรงและสวยงาม แต่มีน้ำหนักมาก จึงมีปัญหาในการเลือกใช้โครงสร้างหลังคาที่ต้องรองรับน้ำหนักของวัสดุ ที่มีน้ำหนักมาก ซึ่งส่วนใหญ่จะเลือกใช้โครงสร้างเหล็กที่มีราคาแพง ทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง และกระเบื้องที่มีความนิยมอีกชนิดหนึ่ง คือกระเบื้องไฟเบอร์ซีเมนต์ ซึ่งปัจจุบันมีเทคโนโลยีการผลิตที่ทันสมัยไม่มีสารประกอบใยหิน หรือ แอสเบสทอส ที่เป็นสารก่อมะเร็งในส่วนผลผลิตออกมาใช้งาน เป็นกระเบื้องที่มีความแข็งแรง ทนทาน ราคาไม่แพง มีสีสันลวดลายให้เลือกหลายแบบ และมีน้ำหนักเบา แต่ก็ต้องพิจารณาเรื่องน้ำหนักโดยรวมของวัสดุ เพื่อประกอบการเลือกชนิดของโครงสร้างหลังคาเพื่อรองรับน้ำหนัก เป็นสิ่งสำคัญ จากสมบัติของกระเบื้องที่กล่าวมา จะเห็นว่ามีคุณสมบัติเด่นในด้านความแข็งแรงทนทาน เพราะมีซีเมนต์เป็นตัวประสาน แทบทั้งสิ้น และซีเมนต์ยังเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในงานก่อสร้างมาเป็นเวลานาน แต่ซีเมนต์มีข้อเสียคือเมื่อแข็งตัวจะมีน้ำหนักมาก และเพราะ ดังนั้นเมื่อผลิตเป็นวัสดุผนังหลังคามักจะเกิดการแตก หัก จากการตกกระแทกของวัตถุที่หล่นลงบนหลังคา เพราะหลังคาในปัจจุบันไม่มีสมบัติการรับแรงตกกระแทก หากวัสดุหลังคามีสสมบัติด้านนี้ก็จะไม่แตกหักง่าย ไม่เกิดความเสียหาย และไม่ต้องสิ้นเปลืองเงินในการซ่อมแซมหลังคา ดังนั้นหากสามารถนำเศษยางรถยนต์ เข้าไปผสมในกระเบื้องหลังคา ให้สามารถรับแรงตกกระแทก และผสมเส้นใยธรรมชาติเพิ่มอีก ชนิดหนึ่งให้มีสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อน เพื่อป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารได้ด้วย นับเป็นแนวทางพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติผสมเศษยางรถยนต์ ที่เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับของเหลือทิ้ง และลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ

ดังนั้น โครงการวิจัยนี้จึงมุ่งเป้าศึกษาวิจัยเพื่อหาว่านวัตกรรมการผลิตกระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติผสมเศษยางรถยนต์ ที่เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีสมบัติทนแรงตกกระแทก และสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อน เพื่อเป็นแนวทางส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร ที่อยู่อาศัย (กระทรวงพลังงาน, 2535) และเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถตอบสนองความต้องการของตลาดเชิงคุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) รวมทั้งสนับสนุนการออกแบบอาคารเพื่องานทางด้านอาคารเขียว (Green building) ในด้านการประหยัดพลังงาน และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อผลิตวัสดุต้นแบบประเภทกระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติผสมเศษยางรถยนต์ที่มีน้ำหนักเบาว่ากระเบื้องหลังคาซีเมนต์ในเชิงพาณิชย์ ทนแรงตกกระแทก และมีสมบัติในการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารได้

2. เพื่อหาแนวทางการกระบวนการผสมสูตรใหม่ของกระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยปาล์มน้ำมันและเศษยางรถยนต์ ให้มีศักยภาพด้านคุณภาพ ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกใหม่ๆ ในเชิงพาณิชย์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. เศษวัสดุเหลือใช้ของสวนปาล์มน้ำมัน และเศษยางรถยนต์มาใช้ประโยชน์ เพื่อพัฒนาเป็นวัตถุดิบในวัสดุก่อสร้างประเภทกระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยปาล์มน้ำมันผสมเศษยางรถยนต์
2. ค้นหาเทคโนโลยีกระบวนการผสมเพื่อพัฒนาเป็นนวัตกรรมของผลิตภัณฑ์กระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยปาล์มน้ำมันผสมเศษยางรถยนต์
3. ประเมินศักยภาพด้านคุณภาพ ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สร้างทางเลือกในการเลือกใช้วัสดุกระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยผสมเศษยาง เพื่อการประหยัดพลังงาน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
2. สร้างนวัตกรรมผลิตภัณฑ์ต้นแบบจากยาง

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทบทวนวรรณกรรม

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาพบว่า มีการคิดค้นและพัฒนากระเบื้องหลังคาในหลายๆด้าน เช่น ด้านการทนแรงตกกระแทกของลูกเห็บ โดยวิเชษฐ์ เจริญธีรบุรุษ และคณะ (2550) ได้ทำการทดลองใช้แผ่นยางดิบหนา 3 มิลลิเมตร มาปิดผิวหน้าของกระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใย เพื่อศึกษาความสามารถในการลดแรงตกกระแทกของลูกเห็บ โดยใช้ลูกตุ้มเหล็ก แทนการตกกระแทกของลูกเห็บ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแผ่นยางดิบสามารถลดแรงตกกระแทกของลูกเห็บต่อกระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยได้เป็นอย่างดี เนื่องจากยางมีสมบัติที่ดีทางด้านความยืดหยุ่น ลดความรุนแรงในการตกกระแทกได้ มีการศึกษา วิจัยในการนำยางพารา มาเป็นส่วนผสมในวัสดุก่อสร้าง ทั้งจากยางดิบ ยางแท่ง ยางรมควัน หรือแม้กระทั่งเศษยางรถยนต์ ซึ่งเป็นของเหลือทิ้งและมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นทุกปี และมีวิธีการกำจัดยาก ก่อให้เกิดมลพิษในการเผาทิ้ง และเป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรคและสัตว์นำโรค จึงมีความพยายามในการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ ไม่ว่าจะเป็นมาบด ผีกลอัด หรือผ่านวิธีการต่างๆ เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในส่วนผสม ของวัสดุก่อสร้างชนิดต่างๆ เช่น Jing Lv et al. (2015) ได้ศึกษาผลกระทบต่อความแข็งแรงของคอนกรีตที่ใส่ปริมาณเศษยางรถยนต์ลงไปแทนทรายหรือวัสดุผสมละเอียด ในอัตราส่วนตั้งแต่ 10% จนถึง 100% พบว่าการใส่ปริมาณเศษยางรถยนต์ในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้ค่าความแข็งแรงในแนวกดอัด แรงดึง แรงดัดโค้ง และโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าลดลง แต่มีค่าความเหนียวมากยิ่งขึ้นตามปริมาณเศษยางที่เพิ่มมากขึ้น ต่อมาในปี 2016 Liang He et al. ได้ทำการปรับปรุงสมบัติพื้นผิวของเศษยางรถยนต์โดยใช้วิธีการทางเคมีเพื่อให้พื้นผิวเกิดพันธะทางเคมีที่มีความแข็งแรงมากขึ้นสามารถผสมเข้ากันกับวัสดุประสานซีเมนต์ได้ดียิ่งขึ้น แล้วเมื่อนำมาทำการทดสอบทางกลในด้านของความแข็งแรงในแนวกดอัดและผลกระทบต่อการกระแทกของคอนกรีตแล้ว ค่าความแข็งแรงในแนวกดอัดและผลกระทบต่อการกระแทกของคอนกรีตที่ผสมเศษยางรถยนต์ที่ใช้วิธีการทางเคมีปรับปรุงพื้นผิววัสดุแล้วมีค่าสูงกว่า คอนกรีตที่ผสมเศษยางรถยนต์ที่ไม่ได้ปรับปรุงผิว

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยในการคิดผลิตและพัฒนาผลิตภัณฑ์หลังคาอย่าง ตั้งแต่ปี 2548 ณรงค์ฤทธิ์ และคณะ ได้มีแนวคิดในการผลิตหลังคาจากวัสดุผสมยางธรรมชาติกับซีลี้อย โดยเริ่มแรกใช้ยางธรรมชาติเกรด STR 5L และผงซีลี้อยไม้ที่ปริมาณ 40 – 80 phr และมีการเติมสารเคมีต่างๆเช่น สารคงรูป สารตัวเติม สารตัวกระตุ้น สารตัวเร่ง เป็นต้น รวมถึงสารคู่ควบที่ช่วยในการยึดเกาะระหว่างยางธรรมชาติกับเส้นใยธรรมชาติ นำไปขึ้นรูปเป็นชิ้นงานด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส โดยนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ ซึ่งพบว่ามีความแข็งแรง สมบัติการนำความร้อน สมบัติการลามไฟ และสมบัติทางกายภาพที่ดี ทั้งยังได้เพิ่มสมบัติทางด้านความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์โดยการเปลี่ยนมาใช้สูตรยางแข็ง (Ebonite rubber) แต่ก็พบปัญหาในการนำไปใช้งานจริงนั้นไม่สามารถทนต่อสภาวะแวดล้อม ที่ต้องสัมผัสกับน้ำฝน ความร้อน และรังสียูวีได้ โดยเกิดการหลุดลอกของสี ต่อมาในปี 2550 ได้ทำการพัฒนาต่อเนื่องโดยใช้สารเคลือบชนิดพอลิยูรีเทนเหลวมาเคลือบผิวผลิตภัณฑ์หลังคาแล้วพบว่าทนต่อสภาวะแวดล้อมได้ค่อนข้างดี แต่ก็ยังไม่ดีที่สุด

จึงทำการพัฒนาต่อโดยการนำผงไททาเนียมไดออกไซด์มาเติมในสารเคลือบพอลิยูรีเทน เพราะไททาเนียมไดออกไซด์มีสมบัติในการสะท้อนรังสีอาทิตย์ได้สูง โดยสามารถสะท้อนรังสีอาทิตย์ได้สูงสุด 93% ที่ความหนาผิวเคลือบ 134 ไมโครเมตร จึงเป็นการลดปริมาณความร้อนที่สะสมบนผิวหลังคา และลดปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทจากภายนอกเข้าสู่ภายในอาคาร ทำให้อุณหภูมิภายในอาคารลดลงด้วย ซึ่งเป็นแนวทางในการลดต้นทุนในการใช้วัสดุฉนวนกันความร้อน แต่ผลิตภัณฑ์หลังคาอย่างเคลือบพอลิยูรีเทนเติมผงไททาเนียมไดออกไซด์มีราคาสูงมากเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์หลังคาในท้องตลาด และยังมีปัญหาด้านการแ่นตัวของกระเบื้อง จึงต้องปรับระยะของโครงหลังคาให้แคบลงกว่าปกติ ซึ่งปัจจุบันยังไม่ได้มีการนำไปใช้ประโยชน์ในการมุงหลังคาบ้านเรือน ที่อยู่อาศัย มีเพียงมีการนำผลิตภัณฑ์หลังคาอย่างเคลือบผิวพอลิยูรีเทนไปลองใช้ในฟาร์มปศุสัตว์ในโรงเลี้ยงวัว ส่วนผลิตภัณฑ์หลังคาอย่างเคลือบผิวพอลิยูรีเทนเติมผงไททาเนียมไดออกไซด์ ยังไม่มีการใช้งานจริง มีเพียงแนวทางที่จะนำไปลองใช้ในฟาร์มปศุสัตว์ เช่นกัน .

ในปี 2552 มีการวิจัยผลิตรกระเบื้องยางมุงหลังคา ซึ่งเป็นการนำเศษยางรถยนต์มาดเป็นผง มาผสมกับยางธรรมชาติ หรือยางแผ่นรมควัน โดยมีการเติมสารเคมีลงไปผสมบนเครื่องบดสองลูกกลิ้ง หลังจากนั้นนำมาผสมกับเศษพลาสติกบดละเอียดที่มาจากขวดน้ำพลาสติก ก่อนที่จะทำการฉีดขึ้นรูปตามแบบกระเบื้องมุงหลังคา ซึ่งส่วนใหญ่นำมาใช้ในการตกแต่งสวน ทำกำแพงหลังคา หรือโรงจอดรถมากกว่าการมุงหลังคาบ้าน แต่มีข้อดีในด้านน้ำหนักเบา ทนแดด ทนฝน กันกระแทกไม่แตกง่าย (มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2552) ในขณะเดียวกันการที่มีน้ำหนักเบาก็อาจจะเป็นข้อเสียในด้านการยึดเกาะกับโครงสร้างหลังคา ถ้าวิธีการยึดติดไม่ดีโอกาสที่จะปลิวหลุด เมื่อเจอพายุฝนลมแรงๆ ก็มีโอกาเป็นไปได้ และที่ไม่เป็นที่นิยมในการนำไปมุงหลังคาบ้าน เนื่องจากมีเฉพาะสีดำซึ่งไม่สวยงามเหมือนกระเบื้องทั่วไป นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ทำการคิดผลิตรกระเบื้องมุงหลังคาอย่างพารา ที่มีคุณสมบัติพิเศษคือ เบา ความยืดหยุ่นสูง ทนทานต่อแรงกระแทก และกันความร้อนได้ดี โดยใช้ยางพารารมควันชั้น 3 เป็นวัตถุดิบในอัตราส่วนผสมร้อยละ 50-70 ผสมกับสารลดต้นทุนในอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส แต่การที่จะใช้ส่วนผสมของยางมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณภาพที่ต้องการ หากต้องการให้คุณภาพสูงต้องใช้ยางพาราเพิ่มมากขึ้น ซึ่งพบว่ากระเบื้องยางพารามีคุณภาพดีกว่ากระเบื้องทั่วไป มีความทนทานต่อแรงกระแทก หากปลิวหรือตกก็ไม่แตก น้ำหนักเบา อายุใช้งานนาน และสามารถสกัดความร้อนได้ดี (วิทยาลัยเทคนิคสุราษฎร์ธานี, 2557) แต่ปัจจุบันงานวิจัยนี้ยังไม่ได้มีการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์

ปัจจุบันกระเบื้องหลังคาซีเมนต์ที่มีจำหน่ายอยู่ในเชิงพาณิชย์นั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เพื่อรองรับสำหรับการใช้งานของผู้บริโภคจะต้องผ่านการทดสอบเชิงกายภาพและเชิงคุณภาพตามเกณฑ์ของผลิตภัณฑ์ในด้านต่างๆ เช่น ขนาดความกว้าง ความยาว ความหนา ของผลิตภัณฑ์ ต้องปราศจากตำหนิที่เป็นผลเสียต่อการใช้งาน ไม่มีลักษณะบิดเบี้ยวของแผ่น (distortion) การทดสอบความต้านทานแรงแตกหัก (bending at rupture) การทดสอบการต้านการรั่วซึม การดูดซึมน้ำ และการสภาพการซึมผ่านได้ การทดสอบเหล่านี้เป็นไปตามข้อกำหนดเบื้องต้นตามมาตรฐานเท่านั้น ซึ่งหากจะมีสมบัติบางอย่างที่ดีขึ้นนอกเหนือจากเกณฑ์กำหนดมาตรฐาน ก็ถือเป็นทางเลือกใหม่ๆ ของกระเบื้องหลังคาที่สามารถนำมาเป็นจุดเด่นในตัวผลิตภัณฑ์ ซึ่งปัจจุบันผู้ประกอบการพยายามที่จะแข่งขันกันในเรื่องสมบัติพิเศษที่เพิ่มมากขึ้น เช่น

สามารถกันความร้อนได้ดี ช่วยในการประหยัดพลังงาน เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีความทนทานกันกระแทกได้ดี สามารถดูดซับเสียงได้ หรือมีขนาดบางลง และน้ำหนักน้อยลง เพื่อประหยัดทรัพยากร เป็นต้น

ทั้งนี้สิ่งที่สำคัญของผลิตภัณฑ์กระเบื้องหลังคาควรจะเริ่มตั้งแต่การออกแบบผลิตภัณฑ์ รูปแบบ ขนาด ความกว้าง ความยาว ความหนา องศาที่ใช้ในการมุงหลังคา และลักษณะพิเศษในด้านการดูด การคายความร้อน การทนแรงกระแทก ความทนทานของตัวผลิตภัณฑ์ รวมถึงการออกแบบดีไซน์ประเภทหลังคาของอาคารที่พักอาศัยที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ โดยสามารถศึกษาได้จากโปรแกรมแบบจำลองของผลิตภัณฑ์กระเบื้องหลังคา ที่สามารถประมวลผลการออกแบบดีไซน์ผลิตภัณฑ์ ได้เหมาะสมกับการใช้งานในด้านการช่วยประหยัดพลังงาน องศาในการรับความร้อนน้อยที่สุด องศาในการตกกระแทกของวัตถุ เป็นต้น เพื่อให้ใช้งานได้จริงตามวัตถุประสงค์ ทั้งในด้านประหยัดพลังงานในอาคาร ทนต่อแรงตกกระแทก เพื่อการใช้งานที่ทนทานในระยะยาว

ดังนั้นจะเห็นว่า กระเบื้องหลังคาเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีความสำคัญส่วนหนึ่งของอาคาร ที่พักอาศัย โดยที่ผ่านมามีการนำยางพารา หรือ เศษยางรถยนต์มาผลิตเป็นหลังคayangอยู่หลายรูปแบบ เพราะสมบัติเด่นในด้านการทนแรงกระแทกของยาง ทั้งยังมีการนำเส้นใยธรรมชาติ หรือเส้นใยสังเคราะห์มาผสมในกระเบื้องหลังคาเพื่อสมบัติด้านกันความร้อน แต่ยังไม่มีการค้นคว้า วิจัย และ พัฒนา สูตรการผลิตระหว่าง ซีเมนต์ เส้นใย และเศษยางรถยนต์ เพื่อให้เป็นผลิตภัณฑ์กระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติจากปาล์มน้ำมันผสมกับเศษยางรถยนต์ โดยผลิตภัณฑ์นี้จะเป็นผลิตภัณฑ์มุงหลังคาทางเลือกใหม่ ที่สามารถทนแรงตกกระแทกของวัตถุที่ตกลงมาบนหลังคา มีความสามารถในการสกัดกั้นความร้อนจากภายนอกอาคารเข้ามาสู่ภายในอาคาร และมีน้ำหนักเบากว่ากระเบื้องหลังคาซีเมนต์ในเชิงพาณิชย์ ช่วยประหยัดเงินในการเลือกโครงสร้างรับน้ำหนัก ช่วยประหยัดพลังงาน และมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยการที่สามารถนำไปต่อยอดเชิงพาณิชย์ได้

2.2 กระเบื้องหลังคา

หลังคา เป็นเปลือกอาคารด้านบนที่ทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกันความร้อนจากแสงแดด ฝน พายุลูกเห็บ พายุหิมะ และภัยธรรมชาติต่างๆ ให้กับตัวอาคารที่พักอาศัย และผู้อยู่อาศัยด้วย ดังนั้นการเลือกประเภทของวัสดุหลังคา จึงต้องพิจารณาสมบัติในหลายๆ ด้านประกอบการตัดสินใจ เพื่อตอบสนองความต้องการ และประโยชน์ใช้สอยของผู้อยู่อาศัยมากที่สุด รวมทั้งความเหมาะสมทางด้านสถาปัตยกรรมด้วย ยิ่งได้รับอิทธิพลจากทางตะวันตก ทำให้รูปแบบอาคารในปัจจุบันดูทันสมัย (Modern Style) หลังคามีสีโดดเด่น สวยงาม รูปลักษณะภายนอกบ่งบอกถึงรสนิยมและฐานะของเจ้าของบ้านได้เป็นอย่างดี จากข้อมูลยอดขายผลิตภัณฑ์วัสดุมุงหลังคาของผู้ประกอบการรายใหญ่ มีการแข่งขันในด้านราคาของผลิตภัณฑ์กระเบื้องหลังคากันอย่างรุนแรง สัดส่วนยอดขาย 70% มาจากกลุ่มกระเบื้องหลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์ และยอดขายอีก 30% มาจากกลุ่มกระเบื้องหลังคาคอนกรีต และอื่นๆ เช่น หลังคาเหล็ก ที่มีราคาถูกกว่า เข้ามาแชร์ส่วนแบ่งตลาดด้วย (ฐานเศรษฐกิจ, 2559)

ผลิตภัณฑ์วัสดุผนังหลังคา วัสดุผนังคาประเภทกระเบื้อง แบ่งออกเป็น

1. กระเบื้องคอนกรีตผนังหลังคา หรือกระเบื้องโมเนีย (Monier)

เป็นกระเบื้องที่ใช้วัตถุดิบ คือ ปูนซีเมนต์ และทราย หรือหินบด เป็นหลัก ในการผลิต โดยใช้อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 ทรายหรือหินบด หรือทั้งสองชนิดผสมกันร้อยละ 65 ที่เหลือเป็นส่วนประกอบอื่นๆ ร้อยละ 5 เช่น สี น้ำยาเคมี จึงทำให้กระเบื้องมีความแข็งแรงมาก แต่ก็มีน้ำหนักมากกว่าวัสดุผนังคาชนิดอื่นที่มีอยู่ด้วยเช่นกัน หลังคาที่จะมุงด้วยวัสดุชนิดนี้จำเป็นต้องทำโครงสร้างให้แข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักของแผ่นกระเบื้องได้ วิธีการมุงหลังคาต้องการความชำนาญด้วย อย่างไรก็ตามด้วยความสวยงามที่มีกระเบื้องหลังคา คอนกรีตจึงได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะโครงการบ้านจัดสรร โดยในปัจจุบันกระเบื้องคอนกรีตผนังหลังคา มีให้เลือกใช้ทั้งแบบแผ่นลอนและแผ่นเรียบ เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) 535-2556 ซึ่งปกติน้ำหนักเฉลี่ยต่อแผ่นของกระเบื้องคอนกรีตผนังคาอยู่ที่ 4 กิโลกรัมต่อแผ่น ใช้มุงหลังคาที่มีมุมนลาดเอียงประมาณ 17 - 18 องศาขึ้นไป กระเบื้องชนิดนี้จะมีน้ำหนักมากกว่ากระเบื้องหลังคาธรรมดาทั่วไป บริเวณหัวกระเบื้องมีรูเจาะไว้ (ไม่ต้องเจาะรูนำ) สำหรับใช้ตะปูเกลียวยึดติดกับแปเพื่อความแข็งแรง ด้านข้างมีรางลิ้นเพื่อให้ซ้อนกันสนิท ช่วยป้องกันการรั่วซึมระหว่างแผ่น ส่วนปลายกระเบื้องจะทำเป็นขอบบัวดักน้ำ เพื่อป้องกันน้ำฝนไหลย้อนกลับ ป้องกันการรั่วซึมน้ำได้ดี และกระเบื้องชนิดนี้จะไม่ลามไฟ แต่ถึงอย่างไรก็ตาม กระเบื้องคอนกรีตผนังหลังคาจะมีการสะสมความร้อนได้ดี จึงเป็นเรื่องที่ต้องคำนึงถึงเช่นกัน และส่วนใหญ่ก็จะมี การติดตั้งฉนวนกันความร้อนเพิ่มเติม หรือเลือกใช้ “ระบบหลังคาเย็น” ที่ผู้ผลิตบางรายคิดค้นขึ้นเพื่อช่วย แก้ปัญหาการสะสมความร้อนใต้หลังคาเพิ่มเติม ก็จะมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น 10 - 15% นอกจากนี้ ผิวสัมผัสของ กระเบื้องคอนกรีตที่ค่อนข้างหยาบ อาจทำให้ฝุ่นผงละเอียดเกาะติดได้ง่าย รวมถึงอายุการใช้งานของสีเคลือบ หลังคาที่มีระยะเวลาจำกัด ส่งผลให้กระเบื้องหลังคาดูซีด หมอง เมื่อใช้งานในระยะยาว ทั้งนี้สามารถทำความสะอาด หรือทาสีสำหรับทากระเบื้องหลังคาโดยเฉพาะทับใหม่ได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนกระเบื้องใหม่ แต่ก็ทำให้มีค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นอีกทางหนึ่ง นอกจากนี้ในปัจจุบันยังมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จนมีน้ำหนักใกล้เคียงกับ กระเบื้องหลังคาธรรมดาทั่วไป

กระบวนการผลิตกระเบื้องคอนกรีตผนังหลังคา

- 1) นำทรายคุณภาพดีหรือหินบด หรือทั้งสองชนิดผสมกันร้อยละ 65% มาทำความสะอาดและคัดขนาด
- 2) นำไปผสมเข้ากับปูนซีเมนต์ 30% ในเครื่องผสม (MIXER)
- 3) ผสมเปียก ด้วยน้ำ และน้ำยา เพื่อให้ ส่วนผสม เข้ากัน ได้สนิทยิ่งขึ้น
- 4) นำเข้าเครื่องรีดอัดเพื่อขึ้นรูปกระเบื้องคอนกรีตชนิดแผ่นเรียบ หรือ แผ่นลอน
- 5) ผ่านเข้าเครื่องเคลือบสี ในขณะที่เนื้อกระเบื้องยังเปียกอยู่ (WET ON WET PROCESS) เพื่อให้สี ประสานเข้าเป็นเนื้อเดียวกับตัวกระเบื้อง
- 6) เก็บใน ห้องบ่ม ป้องกันฝุ่นละออง และควบคุมอุณหภูมิ ให้สม่ำเสมอ เท่ากันทุกจุด เพื่อให้กระเบื้อง แข็งตัว เท่ากันหมด เพื่อรอการตรวจสอบคุณภาพ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 535-2556



(ก)

(ข)

ภาพที่ 1 กระเบื้องคอนกรีตมุงหลังคาชนิดแผ่นเรียบ (ก), ชนิดแผ่นลอน (ข)

2. กระเบื้องซีเมนต์เส้นใยมุงหลังคา (fiber cement roof tile) เป็นกระเบื้องที่ใช้วัตถุดิบ คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ รวมตัวกับเส้นใยเซลลูโลสคุณภาพสูง และเส้นใยสังเคราะห์ เป็นหลัก เป็นการพัฒนา มาจากกระเบื้องซีเมนต์ใยหิน โดยเปลี่ยนส่วนผสมจากเส้นใยหินมาเป็นเส้นใยเซลลูโลส และเส้นใยสังเคราะห์ ซึ่งมีข้อดีในเรื่องที่ไม่ก่อให้เกิดสารพิษ มีการสะสมความร้อนต่ำ มีความยืดหยุ่นตัว และมีความเหนียวมากกว่า ลักษณะของแผ่นกระเบื้องจึงมีความบาง น้ำหนักเบาทนทานความร้อนได้สูง มีความแข็งแรง และราคาถูก มีอายุการใช้งานที่ยาวนานโดยเฉลี่ยมากกว่า 10 ปี ประกอบกับโครงสร้างบ้านของคนไทยส่วนใหญ่ทำจากวัสดุ ประเภทไม้ จึงเหมาะกับหลังคาที่มีน้ำหนักเบา อีกทั้งวิธีการมุงไม่มีความยุ่งยากซับซ้อน หาซื้อได้ง่าย ทำให้เป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลายมากที่สุดในหมู่คนไทยมายาวนานกว่า 40 ปี ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้มีรูปแบบที่หลากหลาย ทั้งแบบรูปลอนที่เรียกกันว่า “กระเบื้องลอนคู่” ซึ่งมีขนาดต่อแผ่นยาว 1.20 – 1.80 ม. ทำให้ประหยัดจำนวน แผ่น รวมถึงโครงสร้างรับน้ำหนักหลังคา งบประมาณโดยรวมในการมุงหลังคาลอนคู่จึงค่อนข้างประหยัด จึงมัก พบเห็นได้ทั่วไปโดยเฉพาะตามต่างจังหวัดและส่วนต่อเติมบ้านในเมือง ซึ่งกระเบื้องซีเมนต์เส้นใย แบบรูปลอน นี้ จะต้องเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) 1407-2540 นอกจากนี้ยังมีกระเบื้องซีเมนต์เส้น ใยแบบแผ่นเรียบทั้ง “แผ่นเรียบสี่เหลี่ยม” และ “กระเบื้องหางว่าว” ซึ่งด้วยรูปแบบแผ่นกระเบื้องที่ดูบางกว่า ทำให้หลังคาโดยรวมดูโมเดิร์นกว่ากระเบื้องชนิดอื่นที่มีความหนา และกระเบื้องแบบแผ่นเรียบจะมีระยะมุง ซ้อนทับกันค่อนข้างมาก ทำให้มีระยะแบคซ้อนข้างถี่ตามไปด้วย จึงทำให้พื้นหลังคาหนาแน่น แข็งแรง กระเบื้อง ซีเมนต์เส้นใยแบบแผ่นเรียบนี้ จะเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) 1427-2540

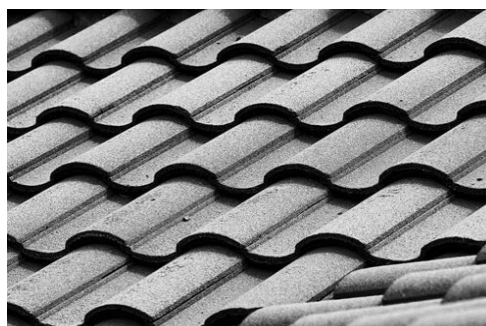
กระบวนการผลิตกระเบื้องซีเมนต์เส้นใยมุงหลังคา

1) นำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มาผสมกับเส้นใยเซลลูโลส และเส้นใยสังเคราะห์ โดยการผสมเปียกด้วยน้ำ และน้ำยาเคมีส่วนเติม เพื่อให้ส่วนผสมเข้ากันได้ดี ในเครื่องผสม (MIXER)

2) ทำการขึ้นรูปเป็นแผ่นกระเบื้องซีเมนต์เส้นใยชนิดแผ่นเรียบ หรือแผ่นลอน โดยการใส่ในบล็อกขึ้นรูป

3) ทำการเคลือบสีโดยการพ่น หรือทาเคลือบผิวด้วยสีอคริลิกเคลือบกระเบื้องซีเมนต์มุงหลังคาตาม ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) 1097-2554

4) เก็บใน ห้องบ่ม ป้องกันฝุ่นละออง และควบคุมอุณหภูมิ ให้สม่ำเสมอ เท่ากันทุกจุด เพื่อให้กระเบื้อง แข็งตัว เท่ากันหมด เพื่อรอกการตรวจสอบคุณภาพ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 1407-2540 สำหรับ กระเบื้องซีเมนต์เส้นใยแบบลอน และ 1427-2540 สำหรับกระเบื้องซีเมนต์เส้นใยแบบเรียบ



(ก)

(ข)

ภาพที่ 2 การปูหลังคาด้วยกระเบื้องซีเมนต์เส้นใยมุงหลังคาชนิดแผ่นเรียบ (ก), ชนิดแผ่นลอน (ข)

3. กระเบื้องดินเผาungหลังคา เป็นกระเบื้องที่ใช้วัตถุดิบซึ่งเป็นวัตถุดิบจากธรรมชาติ คือ ดินเหนียว บดละเอียด ผสมกับน้ำ ซึ่งกระเบื้องชนิดนี้มีอัตราการซึมน้ำมากกว่ากระเบื้องชนิดอื่นๆ เนื่องจากสมบัติเฉพาะตัวของดินซึ่งมีรูพรุนและขนาดเล็ก จึงทำให้บ้านเย็น และดูร่มรื่นอีกด้วย แต่ต้องระวังปัญหาการเกิดราดำและการรั่วซึม ดังนั้นควรเลือกกระเบื้องที่มีการดูดซึมน้ำต่ำกว่า 6 เปอร์เซ็นต์ และมีระบบป้องกันน้ำเพิ่มเติมด้วย กระเบื้องชนิดนี้ยังมีสมบัติด้านความทนทาน กระเบื้องชนิดนี้เป็นวัสดุมุงหลังคาที่ใช้กันมาตั้งแต่สมัยโบราณ มีสมบัติด้านความทนทาน ปัจจุบันกระเบื้องประเภทนี้เหมาะกับอาคารแบบร่วมสมัย ที่ดูสบายตาและเย็นสบาย ส่วนใหญ่สถาปัตยกรรมหรือสิ่งก่อสร้างที่ใช้กระเบื้องดินเผาungหลังคา จะพบได้ตาม โบสถ์วัด ศาลาทรงไทย บ้านทรงไทย และ วิหาร เป็นต้น กระเบื้องชนิดนี้ใช้มุงหลังคาที่มีความลาดเอียงมากๆ ซึ่งช่วยเพิ่มสมบัติเรื่องการระบายความร้อนใต้หลังคาได้ดี มีน้ำหนักที่เบากว่ากระเบื้องคอนกรีต และมีค่าการนำความร้อนต่ำ แต่มีโอกาสน้ำจะรั่วได้จากความลาดเอียงที่มากของหลังคานั้นเอง

กระบวนการผลิตกระเบื้องดินเผาungหลังคา

- 1) นำวัตถุดิบดินเหนียวบดละเอียด มาผสมกับน้ำ
- 2) ทำการนวดด้วยเครื่องนวดจนเนื้อดินเหนียวได้ที่ และคลุกด้วยพลาสติก
- 3) ในส่วนของการขึ้นรูปกระเบื้องหลังคาดินเผา จะใช้แม่พิมพ์เหล็กขนาดเท่ากระเบื้องดินเผา
- 4) ทำการโรยซีเมนต์บนแม่พิมพ์แล้ว นำดินเหนียวขนาดพอดีกับแม่พิมพ์กดทับให้แน่นให้ดินเหนียวแนบติดกับแม่พิมพ์ แล้วตัดดินเหนียวตามรูปแม่พิมพ์ หลังจากนั้นนำไปตากแห้ง
- 5) เมื่อตากแห้งแล้ว นำไปตากแห้งประมาณ 1-2 ชม.แล้วบ่มต่อ อีกประมาณ 11 วันเพื่อไล่ความชื้น
- 6) นำมาทำการเคลือบสี เพราะการเคลือบสี เคลือบเงา บนผิวของกระเบื้องหลังคาดินเผา จะทำให้กระเบื้องมีสีสวยสดใส และที่สำคัญจะไม่เกิดเชื้อรา
- 7) ทำการทดสอบคุณภาพกระเบื้องดินเผาungหลังคา ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 158-2518



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3 กระเบื้องดินเผาungหลังคา (ก), การปูหลังคาด้วยกระเบื้องดินเผา (ข)

4. กระเบื้องหลังคาเซรามิก (ceramic roof tile) เป็นกระเบื้องมุงหลังคาที่ใช้ วัสดุหลักในการผลิต คือ ดินชนิดต่างๆ เช่น ดินเหนียว ดินขาว ดินสโตนแวร์ และส่วนผสมต่าง ๆ นำมาเข้าสู่ระบบการบดขนาดของอนุภาค ต่อจากนั้นจึงนำไปรีดน้ำออก หรือกรองอัดน้ำดิน เพื่อให้ได้ดินนำไปขึ้นรูปต่อไป ซึ่งต้องผ่านกระบวนการอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นและความชื้นออกเสียก่อน จะได้ผงดิน เป็นวัตถุดิบขั้นต้นในการผลิต กระเบื้องหลังคาเซรามิก จะมีความหนา 2.5 - 2.7 ซม. มีความแข็งแรงมาก มีขนาดเท่ากัน ทุกแผ่น น้ำหนักเบา ส่วนใหญ่ มักทำสีและเคลือบผิว จึงไม่ต้องดูแลมากนัก รูปแบบของกระเบื้องหลังคาเซรามิก มีให้เลือกทั้ง “แบบลอนมาตรฐาน” และ “แบบลอนเว้า” ที่เข้ากับบ้านสไตล์คลาสสิกหรือหิรา และบ้านสไตล์ Contemporary รวมถึง “แบบแผ่นเรียบ” ที่เหมาะกับบ้านในสไตล์โมเดิร์น สมบัติที่เด่นชัดของกระเบื้องหลังคาเซรามิก คือ ป้องกันความร้อนได้ดี ไม่อมความร้อน ดังนั้นความร้อนสะสมได้แผ่นกระเบื้องจึงมีอุณหภูมิต่ำกว่ากระเบื้องชนิดอื่น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสีของกระเบื้องหลังคาด้วย ถ้ากระเบื้องหลังคาสีเข้มจะสะสมความร้อนมากกว่ากระเบื้องสีอ่อน นอกจากนี้กระเบื้องหลังคาเซรามิกยังมีน้ำหนักค่อนข้างเบาเมื่อเทียบกับกระเบื้องหลังคาคอนกรีตที่มีรูปลอนเดียวกัน ทำให้ประหยัดโครงสร้างที่รับน้ำหนักหลังคา สีที่เคลือบจะมีความคงทนสูง ไม่ซีดจาง รวมถึงลักษณะของผิวที่เรียบมันจึงช่วยลดการเกาะของฝุ่น และสามารถชะล้างสิ่งสกปรกออกได้ง่ายเมื่อถูกน้ำฝน ปัจจุบันหลังคาเซรามิก เป็นหลังคาที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในการใช้ก่อสร้างที่อยู่อาศัย เพราะตัวเซรามิกที่มีความมันวาว สะท้อนสีสันทนผิวเซรามิกออกมาอย่างชัดเจน ทำให้เงางามเหมือนใหม่อยู่เสมอ ทำให้บ้านดูสวยงาม แต่เนื่องจากกระเบื้องหลังคาเซรามิก มีราคาแพง จึงเป็นข้อจำกัดของผู้บริโภคในการเลือกใช้ แต่ถึงอย่างไรก็ตามกระเบื้องหลังคาเซรามิก ก็เป็นตัวเลือกในลำดับต้นๆของการเลือกใช้เป็นวัสดุหลังคา

กระบวนการผลิตกระเบื้องหลังคาเซรามิก แบบ dry process

- 1) นำวัตถุดิบ ที่ผ่านกระบวนการอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นออกจนได้ ผงดิน
- 2) นำมาขึ้นรูปกระเบื้องหลังคาเซรามิก ซึ่งมีอยู่หลายวิธี ขึ้นอยู่กับการเตรียมเนื้อดินปั้น และอุปกรณ์เครื่องมือเครื่องใช้ รวมถึงรูปลักษณะของผลิตภัณฑ์กระเบื้องหลังคาเซรามิกที่สามารถขึ้นรูปได้
- 3) นำมาทำการขึ้นรูปโดยการเทแบบ (casting) วิธีนี้จะเตรียมเนื้อดินปั้นให้อยู่ในรูปน้ำดินชั้นๆ (slip) ที่ไหลตัวได้ดี จากนั้นจึงเทลงในแบบปูนพลาสติก บุนจะดูดน้ำและทำให้เนื้อดินเกาะติดกับผนังแบบ ได้ เป็น ผลิตภัณฑ์ตามต้องการ หรือ การอัดขึ้นรูป (pressing) วิธีนี้จะเตรียมเนื้อดินปั้นให้อยู่ในรูปของผงกลมๆ ที่ไหลตัวได้ดี จากนั้นจึงนำไปอัดด้วยเครื่องอัดแรงดันสูง วิธีนี้ทำให้ผลิตภัณฑ์หลังอบแห้ง มีการหดตัวน้อยกว่าวิธีอื่นๆ

4) นำกระเบื้องหลังคาเซรามิก ที่ขึ้นรูปแล้วไปผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิสูง โดยเพิ่มอุณหภูมิของเตาเผาให้สูงขึ้นอย่างช้าๆ จนถึง 1,100 องศาเซลเซียส เพื่อให้ผลิตภัณฑ์คงรูปไม่แตกชำรุด

5) กระเบื้องหลังคาเซรามิก ที่ผ่านการเผาเรียบร้อยแล้ว บางชนิดนำไปใช้ได้โดยไม่ต้องเคลือบ แต่ส่วนใหญ่การเคลือบผิวทำให้เกิดความ สวยงาม มีความคงทน และป้องกันการเกิดรอยขีดข่วนบนผิว

6) นำกระเบื้องหลังคาเซรามิก ไปเคลือบด้วยน้ำเคลือบ วัตถุดิบที่เป็นน้ำยาเคลือบถูกบดจนละเอียดมากกว่าดินหลายเท่า ก่อนนำมาเคลือบบนดินเผา เป็นชั้น หนา 1-1.5 มม. แล้วทิ้งให้แห้งก่อนเข้าเตาเผา โดนเผาผ่านความร้อนอุณหภูมิสูง วัตถุดิบที่เป็นชั้นเคลือบจะกลายเป็นแก้วมันวาวติดอยู่กับผิว

7) หลังเคลือบผิวแล้ว ปล่อยให้อุณหภูมิลดลงจนปกติ เก็บกระเบื้องหลังคาเซรามิก เพื่อทำการทดสอบเชิงคุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 2508-2555



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4 กระเบื้องหลังคาเซรามิก (ก), การปูหลังคาด้วยกระเบื้องหลังคาเซรามิก (ข)

5. วัสดุหลังคาประเภทอื่นๆ แบ่งออกเป็น

5.1 แผ่นหลังคayangมะตอย (Asphalt Shingle)

เป็นวัสดุสังเคราะห์ทำจากไฟเบอร์กลาส ด้านหน้าและด้านหลังหุ้มยางมะตอย น้ำหนักเบา ติดตั้งง่าย สามารถติดตั้งตามรูปทรงของหลังคาได้ แต่ต้องรองด้วยแผ่นไม้อัดทนความชื้น หรือแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ก่อน แล้วปูแผ่นยางกันน้ำทับอีกชั้นก่อน เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาเรื่องการรั่วซึม ซึ่งหลังคayangมะตอยนี้จะมี 2 รุ่น คือ ใช้มุงชั้นเดียว (Single Layer) และ มุง 2 ชั้น (Double Layers) ผิวหน้านั้นจะเคลือบด้วยเม็ดกรวดเคลือบสี ซึ่งผสมกับไฟเบอร์กลาสด้วย ซึ่งจะมีประมาณ 10-12 สี ให้เลือก น้ำหนักวัสดุและแผ่นไม้อัดมีน้ำหนักประมาณ 18 กก./ตร.ม. สามารถมุงหลังคาที่มีความลาดเอียง 10 องศาขึ้นไป สามารถมุงหลังคาที่มีรูปทรงโค้ง ทรงกรวย หรืออื่นๆ ได้ง่าย แต่เนื่องจากภูมิอากาศประเทศไทย ทำให้แผ่นไม้อัดรองก่อนปูแผ่นหลังคayangมะตอย เกิดการบวม พอง จากความร้อนและเป็นสาเหตุให้เกิดการรั่วในการใช้งานระยะยาว และมีการหลุดร่อนของหินกรวดบนแผ่นหลังคayangมะตอย

5.2. แผ่นโลหะรีดลอน (Metal Sheet) เป็นวัสดุหลังคาที่ผลิตจากแผ่นเหล็กที่ผ่านการรีดให้บางและขึ้นเป็นลอน เหมาะกับบ้านพักอาศัยที่มี งบประมาณต้นสมัย แต่เนื่องจากเหล็ก เป็นโลหะที่มีค่าการนำความร้อนสูง และไม่มีสมบัติการกันเสียง ดังนั้นจึงต้องติดตั้งฉนวนเพื่อป้องกันความร้อน และฉนวนป้องกันเสียงบริเวณใต้หลังคา ข้อดีของวัสดุหลังคาประเภทนี้ คือ มีความแข็งแรง มีน้ำหนักเบา ทำให้ติดตั้งได้ง่ายและรวดเร็ว มีทั้งแบบแผ่นหลังคาเหล็กแบบสันลอนสูง ซึ่งใช้ระบบการ ยึดแผ่นแบบบล็อก ช่วยลดปัญหาเรื่องการรั่วซึม สามารถทำองศาหลังคาได้ลาดเอียงต่ำสุดถึง 2 องศา ใช้กับอาคารที่มีช่องเสากว้างๆ ได้ดี หรืออีกชื่อที่รู้จักกันดีคือ แผ่นเมทัลชีทเคลือบอลูซิงค์ (Aluzinc Metal Sheet) หรือ แผ่นหลังคาเหล็กรีดลอนอลูซิงค์ (Aluzinc Corrugated Metal sheet Roof) นอกจากนำมาใช้เป็นแผ่นวัสดุหลังคาแล้ว ยังมีการนำมาใช้เป็นแผ่นฝ้า แผ่นผนังเหล็ก กันสาด รั้ว สามารถใช้ได้ทั้งแปเหล็ก และ แปไม้ มีการผสมผสานใช้งานกับงานโครงสร้างไม้ โครงสร้างคอนกรีตได้เป็นอย่างดี หลังคาเหล็กเมทัลชีท มีความคงทน กันสนิมได้ดีกว่าเหล็กชุบทั่วไปมากกว่า 4 เท่า และมีอายุการใช้งานมากกว่า 20 ปี

5.3 หลังคาสังกะสีและหลังคาเหล็กเคลือบ เป็นที่รู้จักแพร่หลายในประเทศไทยมานาน ผลิตจากการนำแผ่นเหล็กไปอาบสังกะสีเพื่อป้องกันการเกิดสนิม และมักเรียกว่าหลังคาสังกะสี ตัวแผ่นสังกะสีมีขนาดใหญ่แต่น้ำหนักเบา เนื้อเหนียว แข็งแรง ทำให้ประหยัดโครงสร้างหลังคา ทั้งยังขนส่งสะดวก ติดตั้งง่าย และมีราคาถูก จึงเป็นที่นิยมของผู้บริโภคในชนบท กลุ่มตลาดระดับล่าง ซึ่งนอกจากใช้มุงหลังคาแล้ว ยังใช้งานอื่นๆ ได้ด้วย หลังคาเหล็กเคลือบ เป็นวัสดุมุงหลังคาที่ผลิตจากเหล็กแผ่นเคลือบ (Coated Steel) ที่ผ่านการเคลือบผิวป้องกันสนิม ด้วยสังกะสีคุณภาพสูง หรือสังกะสีผสม อลูมิเนียม มีทั้งแบบเคลือบสี และไม่เคลือบสี แล้วนำมารีดขึ้นรูปเป็นรูปลอน ซึ่งมีการผลิตและใช้งานในประเทศไทยมานานกว่า 10 ปี โดยส่วนใหญ่ นิยมใช้อย่างแพร่หลายในหลังคาอาคารขนาดใหญ่ที่ต้องการพื้นที่เปิดโล่งมากๆ โดยมีโครงสร้างและเสากลางน้อยที่สุด เช่น หลังคาโรงงานอุตสาหกรรม ที่จอดรถศูนย์การค้า หรือคลังสินค้า เป็นต้น โดยใช้งานร่วมกับวัสดุ โครงหลังคาเหล็กที่มีความแข็งแรงและรับน้ำหนักได้มาก ในปัจจุบันสามารถจะส่งผลิตรูปแบบลอนหลังคา และผลิตชิ้นงานที่มีความยาวมากๆ ได้โดยไม่มีข้อจำกัดเรื่องการขนส่ง นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนารูปแบบสินค้าให้ มีขนาดเล็กลงกว่าเดิมจนใกล้เคียงกับกระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีต หรือกระเบื้องไฟเบอร์ซีเมนต์ เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานในกลุ่มของหลังคาบ้านพักอาศัยได้อย่างเหมาะสม

นอกจากนี้ยังมีวัสดุมุงหลังคาประเภทอื่นๆ ที่ผลิตจากวัสดุสังเคราะห์ตามความก้าวหน้าของเทคโนโลยี ที่ผลิตขึ้นเพื่อตอบสนองการใช้งาน นอกเหนือจากกระเบื้องมุงหลังคาประเภทที่ได้กล่าวไปแล้ว ยังมีกลุ่มวัสดุ หลังคาโปร่งแสง (Translucent Sheet) ใช้ทำหลังคาหรือกันสาด ซึ่งเป็นวัสดุหลังคาที่ยอมให้แสงสว่าง หรือ แสงแดด สามารถส่องผ่านได้ มักใช้ในบริเวณที่ต้องการแสงสว่างจากธรรมชาติ เช่น ทางเดิน หลังคาโรงรถ หลังคาเรือนกระจก หรือเติมเฉพาะแผ่นเพื่อแทรกไปกับแผ่นกระเบื้องหลังคาตามปกติ ทำให้อาคารสว่างขึ้น และประหยัดการใช้ไฟฟ้าส่องสว่าง ยังมีวัสดุบางชนิดที่มีสมบัติการป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารได้ เช่น หลังคาที่ผลิตจากโพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate Sheet) หลังคาอะครีลิก (Acrylic Roof) หลังคาไฟเบอร์ กลาส (Fiber Glass Roof) หรือหลังคาที่เลียนแบบวัสดุธรรมชาติ โดยผลิตจากวัสดุสังเคราะห์แต่มีสีสันทัน และ พื้นผิวสัมผัสคล้ายกับวัสดุธรรมชาติ

จากยอดขายผลิตภัณฑ์วัสดุมุงหลังคา ที่รายงานของกลุ่มสินค้ากระเบื้องหลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์ และ กระเบื้องหลังคาคอนกรีต เป็นที่นิยมมากเป็นอันดับ 1 และ 2 ตามลำดับ จากเหตุผลที่กระเบื้องไฟเบอร์ ซีเมนต์ เป็นสินค้าที่มีมูลค่าตลาดสูง ตลาดมีขนาดใหญ่ และสินค้าได้รับความนิยมสูงในตลาดชนบท ส่วนกลุ่ม สินค้ากระเบื้องคอนกรีต เป็นสินค้าที่ต้องพึ่งโครงการบ้านจัดสรรเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นเมื่อเกิดภาวะเศรษฐกิจ ชะลอตัว ส่งผลให้โครงการบ้านจัดสรรชะลอตัวอย่างต่อเนื่องตามไปด้วย กระเบื้องหลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์ มีความนิยมเป็นอันดับ 1 เพราะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการพัฒนามาจากกระเบื้องหลังคาคอนกรีต ที่มีวัตถุดิบหลัก คือ ปูนซีเมนต์ หินทราย หรือหินบด ทำให้กระเบื้องมีน้ำหนักมาก แผ่นหนา และมีการสะสมความร้อนได้ดี โดยมี ค่าความต้านทานความร้อน (Thermal resistance, R-Value) $0.76 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ จึงทำให้อุณหภูมิที่ผิวหลังคามี ค่าสูง และส่งผ่านความร้อนเข้ามาภายในอาคารส่งผลให้อุณหภูมิภายในร้อนขึ้น ทำให้ต้องแก้ปัญหาด้วยการ ติดตั้งฉนวนกันความร้อนบนฝ้าใต้หลังคา หรือติดตั้งฉนวนกันความร้อนบนแป หรือติดแผ่นสะท้อนความร้อน

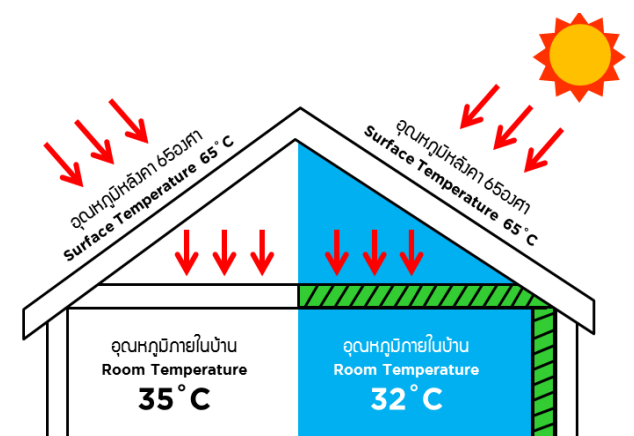
ได้แป ทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้น (ภาพที่ 5) จึงมีแนวทางในการพัฒนากระเบื้องให้มีการสะสมความร้อนน้อยลง หรือมีค่าการกักความร้อนมากขึ้น กระเบื้องหลังคาซีเมนต์ใยหิน (asbestos) จึงเป็นทางเลือกโดยที่แร่ใยหิน สามารถทนความร้อนได้สูง เหนียว และแข็งแรง เมื่อนำมาผสมกับปูนซีเมนต์ จะได้แผ่นกระเบื้องซีเมนต์ใยหินที่บาง น้ำหนักเบา มีความแข็งแรง ทนความร้อนได้สูง ถึงแม้ว่าแร่ใยหินมีส่วนช่วยให้สมบัติของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น แต่มีผลกระทบต่อสุขภาพร่างกายของมนุษย์ หากสูดดมฝุ่นและละอองของแร่ใยหินเข้าสู่ร่างกาย จนสะสมในปริมาณมาก จะทำให้เป็นโรคเกี่ยวกับปอด เช่น มะเร็งปอด มะเร็งเยื่อหุ้มปอด และเยื่อช่องท้อง (Mesothelioma) ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน และเป็นการพัฒนาเพิ่มระดับคุณภาพมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมทางกลุ่มอุตสาหกรรมหลังคาและอุปกรณ์ จึงได้กำหนดแนวทางและแผนยุทธศาสตร์ร่วมกันในการพัฒนาสินค้าที่ไม่ใช้แร่ใยหินเป็นส่วนประกอบ ซึ่งในปัจจุบันมีการนำเส้นใยสังเคราะห์มาใช้แทนแร่ใยหินแล้ว เรียกว่า กระเบื้องหลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์ มีวัตถุดิบ คือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ผสมกับเส้นใยสังเคราะห์ (PVA Fiber) หรือเส้นใยธรรมชาติ (Cellulose Fiber) กับซิลิกา (กึ่งสังเคราะห์) มีค่าความต้านทานความร้อน (R-Value) 1.046 m² K/W ซึ่งสามารถกักความร้อนได้ดีกว่ากระเบื้องหลังคาคอนกรีต

ค่าความต้านทานความร้อน (Thermal resistance, R-Value) คือ ค่าที่แสดงความสามารถในการต้านทานการไหลของความร้อนของวัสดุนั้นๆ โดยการวัดขนาดพื้นที่ที่อุณหภูมิเปลี่ยนไป 1 องศาเซลเซียสต่อปริมาณความร้อน 1 watt. สามารถหาค่าความต้านทานความร้อน ได้จากการคำนวณค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุนั้นๆ (Thermal conductivity, K-Value) ซึ่งต้องทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C518 หรือ ASTM C177 มีหน่วยเป็น ตารางเมตร - เคลวิน ต่อวัตต์ (m².K/W) มีความหมายว่า หากวัสดุใดๆ มีค่า R-Value สูง แสดงว่ามีความสามารถในการความต้านทานการไหลผ่านของความร้อนได้ดีกว่าวัสดุที่มีค่าต่ำกว่า

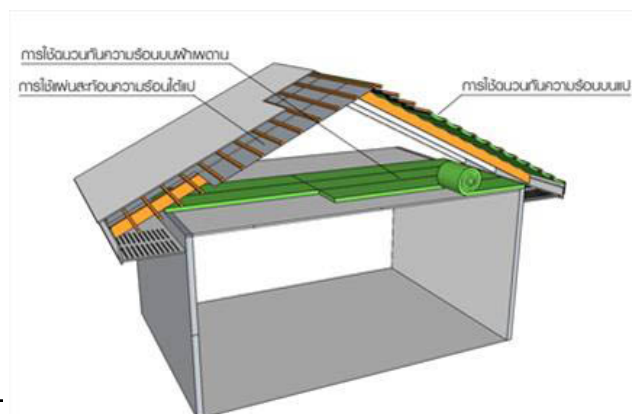
ค่าความต้านทานความร้อน (Thermal resistance, R-Value) คือ ค่าที่แสดงความสามารถในการต้านทานการไหลของความร้อนของวัสดุนั้นๆ โดยการวัดขนาดพื้นที่ที่อุณหภูมิเปลี่ยนไป 1 องศาเซลเซียสต่อปริมาณความร้อน 1 watt. สามารถหาค่าความต้านทานความร้อน ได้จากการคำนวณค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุนั้นๆ (Thermal conductivity, K-Value) ซึ่งต้องทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C518 หรือ ASTM C177 มีหน่วยเป็น ตารางเมตร - เคลวิน ต่อวัตต์ (m².K/W) มีความหมายว่า หากวัสดุใดๆ มีค่า R-Value สูง แสดงว่ามีความสามารถในการความต้านทานการไหลผ่านของความร้อนได้ดีกว่าวัสดุที่มีค่าต่ำกว่า

ค่าสภาพการนำความร้อน (Thermal conductivity, K-Value) คือ ค่าที่แสดงความสามารถในการนำความร้อนของวัสดุนั้นๆ โดยการวัดปริมาณความร้อนที่ไหลผ่านจากจุดระยะทางหนึ่งถึงอีกจุดหนึ่งในระยะ 1 เมตร ที่ทำให้อุณหภูมิแตกต่างกัน 1 องศาเซลเซียส มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน (W/m.K) (กรมวิทยาศาสตร์

บริการ, 2555)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 5 อุณหภูมิที่ผิวหลังคามีค่าสูง และส่งผ่านความร้อนเข้ามาภายในอาคาร (ก), การติดตั้งฉนวนกันความร้อนบนฝ้าเพดาน บนแป และการใช้แผ่นสะท้อนความร้อนใต้แป (ข)

ความสัมพันธ์ระหว่าง K-Value และ R-Value

R-Value = L/K , หน่วย ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์ ($m^2.K/W$)

K-Value = $(Q/A).(L/\Delta T)$, หน่วย วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน ($W/m.K$)

โดย Q = ปริมาณความร้อนที่ไหลผ่านพื้นที่ผิววัสดุ, หน่วยวัตต์ (W)

A = พื้นที่ผิววัสดุที่ความร้อนไหลผ่าน, หน่วยตารางเมตร (m^2)

L = ความหนาของวัสดุ, หน่วยเมตร (m)

ΔT = อุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างผิววัสดุด้านอุณหภูมิสูงและด้านอุณหภูมิต่ำ, หน่วยเคลวิน (K)

กระเบื้องหลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์ มีวัตถุดิบประเภทเส้นใยเป็นส่วนผสมทำให้มีค่าสภาพการนำความร้อนต่ำลง เพราะสมบัติของเส้นใยมีค่าสภาพการนำความร้อนต่ำ (ตารางที่ 1) เข้าไปยึดเกาะกับซีเมนต์อย่างถาวรของผลิตภัณฑ์ จึงทำให้กระเบื้องหลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์ ป้องกันความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในได้ดีเหมือนมีฉนวนกันความร้อนอยู่ในผลิตภัณฑ์

อย่างไรก็ตามกระเบื้องหลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์ และกระเบื้องหลังคาคอนกรีต เป็นที่นิยมเป็นวัสดุผนังหลังคา เพราะมีความทนทานสูง แข็งแรง ราคาไม่แพง และใช้งานได้ยาวนาน เนื่องจากมีปูนซีเมนต์เป็นวัสดุหลัก ทำหน้าที่เป็นวัสดุช่วยประสานในกระเบื้องนั่นเอง และยังเป็นวัสดุหลักที่ใช้ในการก่อสร้างอาคาร บ้านเรือนตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันอีกด้วย สามารถใช้งานได้โดยไม่จำกัดสถานที่ไม่ว่าจะเป็นบนผิวดิน ใต้พื้นดิน หรือในน้ำ จึงนิยมใช้อย่างแพร่หลาย ทั้งสิ่งก่อสร้างที่มีขนาดใหญ่ เช่น อาคาร ถนน สะพาน และเขื่อน เป็นต้น

ตารางที่ 1 แสดงค่าสภาพการนำความร้อนของฉนวนกันความร้อน

Type of insulation	Thermal conductivity (W/m.K)
Thermaflex rubber insulation	0.035 – 0.038
Polyurethane insulation	0.023
Fiberglass insulation	0.035
Polyethylene insulation	0.032
Synthetic fiber insulation	0.0328
Polystyrene foam insulation	0.031
Gypsum flat plate	0.191
Flat cement roof tile	0.28
Plywood	0.123

ที่มา: คู่มือวิชาการของสถาบันวิศวกรรมความร้อน ความเย็น และระบบปรับอากาศ แห่งสหรัฐอเมริกา (ASHRAE Handbook)

2.3 ปูนซีเมนต์ หรือ ซีเมนต์ (Cement)

ปูนซีเมนต์มีชื่อเต็มว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีเทา ใช้เป็นส่วนสำคัญในการทำคอนกรีต ทำหน้าที่เป็นวัสดุประสานที่สามารถยึดหรือประสานของแข็ง เช่น หิน ทราย และ เหล็ก ให้เกิดเป็นชิ้นเดียวกัน มีส่วนผสมหลักคือ หินปูนและดินเหนียว และมีผสมอื่นเช่น ซิลิกา อลูมินา สินแร่เหล็ก ยิปซัม และสารเพิ่มพิเศษอื่นๆ

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประกอบด้วยส่วนผสมที่สำคัญดังนี้

- 1) Calcareous Material ได้แก่ หินปูน (Limestone) และดินสอพอง (Chalk)
- 2) Argillaceous Materials ได้แก่ ซิลิกา อลูมินา ซึ่งอยู่ในรูปของดินคำหรือดินเหนียว (Clay) และดินดาน (Shale)
- 3) Iron Oxide Materials ได้แก่ แร่เหล็ก (Iron Ore) หรือ คีลาแรง (Laterite)

2.3.1 กรรมวิธีการผลิตปูนซีเมนต์ จำแนกตามลักษณะของวัตถุดิบที่นำมาใช้ มี 2 กระบวนการ คือ

- 1) กรรมวิธีการผลิตแบบเปียก (Wet Process)
- 2) กรรมวิธีการผลิตแบบแห้ง (Dry Process)

กรรมวิธีการผลิตแบบเปียก

วัตถุดิบที่ใช้ ได้แก่ ดินสอพอง (Marl) และดินเหนียว (Clay)

ขั้นตอนที่ 1 นำวัตถุดิบมาผสมกันในบ่อตีดิน (Wash Mill) เติมน้ำลงไปช่วยผสม แล้วกวนให้เข้ากัน

ขั้นตอนที่ 2 หลังจากตีจนเข้ากันแล้ว ก็ส่งไปบดให้ละเอียดในหม้อบดดิน (Slurry Mill) จนได้น้ำดิน

ขั้นตอนที่ 3 ส่งไปกรองเอาเศษหินและส่วนที่ไม่ละลายน้ำออก เหลือแต่น้ำดินที่ละลายเข้ากันดี ซึ่งจะผ่านเครื่องกรองสองเครื่องคือ เครื่องกรองหยาบ และเครื่องกรองละเอียด

ขั้นตอนที่ 4 สูบน้ำดินไปเก็บพักไว้ในถังเก็บ (Silo) เพื่อตรวจสอบคุณภาพและปรับแต่งส่วนผสมให้ได้คุณภาพตามที่กำหนด

ขั้นตอนที่ 5 น้ำดินที่มีส่วนผสมที่ถูกต้องแล้ว จะถูกสูบไปรวมกันที่บ่อกวนดิน (Slurry Basin) เพื่อให้มีปริมาณเพียงพอ และกวนให้ส่วนผสมรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันอีกครั้งหนึ่ง

ขั้นตอนที่ 6 สูบน้ำดินจากบ่อกวนดินเข้าสู่เครื่องป้อนน้ำดิบ เพื่อป้อนน้ำดิบเข้าไปเผาในหม้อเผาแบบหมุน (Rotary Kiln) ความร้อนในหม้อเผาจะทำให้น้ำระเหยออกสู่บรรยากาศ เหลือแต่เม็ดดินซึ่งเมื่อให้ความร้อนต่อไปจนถึงอุณหภูมิประมาณ 1,400 – 1,500 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมินี้ วัตถุดิบต่างๆจะถูกหลอมรวมเกิดปฏิกิริยาทางเคมีกลายเป็นปูนเม็ด (Clinker)

ขั้นตอนที่ 7 ปูนเม็ด (Clinker) จะถูกลำเลียงไปตามโซ่ลำเลียงปูนเม็ด เพื่อนำไปเก็บในถังเก็บปูนเม็ด รอกระบวนการต่อไป

ขั้นตอนที่ 8 เป็นขั้นตอนการบดปูนเม็ดให้กลายเป็นปูนซีเมนต์ ทำโดยนำปูนเม็ดมาผสมกับยิปซัม (Gypsum) ที่ถูกย่อยแล้วลงไปประมาณ 3 – 6 เปอร์เซ็นต์ เพื่อหน่วงเวลาการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ ทำให้สะดวกต่อการนำไปใช้งาน จากนั้นก็บดให้ละเอียดเป็นผงในหม้อบดซีเมนต์ (Cement Mill) ความละเอียดในการบดต้องเลือกอย่างเหมาะสม เพื่อให้ได้ปูนซีเมนต์ที่มีสมบัติตามที่ต้องการ

ขั้นตอนที่ 9 จากนั้นปูนซีเมนต์จะผ่านเครื่องแยกปูนละเอียด แล้วจะถูกลำเลียงไปเก็บไว้ในถังเก็บปูนซีเมนต์ผง (Cement Silo) เพื่อรอการจำหน่ายต่อไป

กรรมวิธีการผลิตแบบแห้ง

วัตถุดิบที่ใช้ ได้แก่ หินปูน (Limestone) และดินดาน (Shale)

ขั้นตอนที่ 1 นำวัตถุดิบหลักที่ใช้ทั้งสองชนิดมาลดขนาดลงเพื่อให้เหมาะกับกระบวนการผลิต

ขั้นตอนที่ 2 นำมาผ่านเครื่องย่อย (Crusher) ซึ่งวัตถุดิบที่ผ่านการย่อยแล้วจะถูกนำมาเก็บไว้ในที่กองเก็บวัตถุดิบ (Storage Yard) นอกจากนี้วัตถุดิบปรับแต่งคุณสมบัติ (Corrective Materials) ซึ่งใช้เฉพาะบางตัว เพื่อให้ได้ส่วนประกอบทางเคมีตามค่ามาตรฐานที่กำหนด วัตถุดิบอื่นเหล่านี้ก็ต้องผ่าน เครื่องย่อยเพื่อลดขนาดให้เหมาะสมเช่นกัน

ขั้นตอนที่ 3 ลำเลียงไปยังหม้อบดวัตถุดิบ (Raw Mill) ซึ่งในหม้อบดวัตถุดิบ (Raw Mill) นี้จะบดหินปูน ดินดาน และวัตถุดิบปรับแต่งคุณสมบัติให้เป็นผงละเอียดรวมกันซึ่งเรียกว่า วัตถุดิบสำเร็จ (Raw Meal) โดยการควบคุมอัตราส่วนของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่หม้อบดวัตถุดิบมีความสำคัญมาก เนื่องจากอัตราส่วนของวัตถุดิบที่เหมาะสมจะทำให้วัตถุดิบสำเร็จมีคุณสมบัติทางเคมีที่เหมาะสมกับการเผาด้วย

ขั้นตอนที่ 4 หลังจากผ่านกระบวนการบดแล้ววัตถุดิบสำเร็จจะถูกลำเลียงผ่านเครื่องแยกวัตถุดิบผสมแล้ว (Cyclone) ไปยังถังผสมวัตถุดิบสำเร็จ (Raw Meal Homogenizing Silo) เพื่อเก็บและผสมวัตถุดิบสำเร็จให้เป็นเนื้อเดียวกัน

ขั้นตอนที่ 5 กระบวนการเผา โดยวัตถุดิบสำเร็จจะถูกส่งไปเผาในหม้อเผาแบบหมุน (Rotary Kiln) โดยกระบวนการเผาช่วงแรกเป็น ชุดเพิ่มความร้อน (Preheater) ซึ่งจะค่อยๆ เพิ่มความร้อนให้แก่วัตถุดิบสำเร็จ แล้วส่งวัตถุดิบสำเร็จไปเผาในหม้อเผา ซึ่งมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจนถึงประมาณ 1,200 – 1,400 องศาเซลเซียส จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีตามลำดับ จนในที่สุดกลายเป็นปูนเม็ด (Clinker)

ขั้นตอนที่ 6 ทำให้ปูนเม็ดเย็นลงโดยการนำปูนเม็ด (Clinker) ไปผ่านหม้อเย็น (Clinker cooler)

ขั้นตอนที่ 7 ลำเลียงปูนเม็ดไปเก็บไว้ที่ถังเก็บเพื่อรอการบดปูนเม็ดต่อไป

ขั้นตอนที่ 8 เป็นขั้นตอนการบดปูนเม็ดให้กลายเป็นปูนซีเมนต์ ทำโดยนำปูนเม็ดมาผสมกับยิปซัม (Gypsum) ที่ถูกย่อยแล้วประมาณ 3 – 6 เปอร์เซ็นต์ เพื่อหน่วงเวลาการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ ทำให้สะดวกต่อการนำไปใช้งาน จากนั้นก็บดให้ละเอียดเป็นผงในหม้อบดซีเมนต์ (Cement Mill) ความละเอียดในการบดและอัตราส่วนระหว่างปูนเม็ดกับยิปซัมต้องเลือกอย่างเหมาะสม เพื่อให้ได้ปูนซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ

ขั้นตอนที่ 9 จากนั้นปูนซีเมนต์จะผ่านเครื่องแยกปูนละเอียด แล้วจะถูกลำเลียงไปเก็บไว้ในถังเก็บปูนซีเมนต์ผง (Cement Silo) เพื่อรอการจำหน่ายต่อไป

2.3.2 ข้อแตกต่างระหว่างการผลิตปูนซีเมนต์แบบเปียก (Wet Process) และแบบแห้ง (Dry Process) การผลิตปูนซีเมนต์แบบเปียกนี้ไม่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน เนื่องจากต้องใช้เชื้อเพลิงปริมาณมากในการผลิตปูนเม็ด และยังมีอัตราการผลิตต่ำ ซึ่งทำให้ต้นทุนการผลิตสูง ส่วน การผลิตปูนซีเมนต์แบบแห้ง ไม่ต้องใช้น้ำในการผสมวัตถุดิบ ดังนั้น จึงประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิต โดยเฉพาะค่าเชื้อเพลิง และเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน สำหรับประเทศไทยนิยมใช้กรรมวิธีในการผลิตปูนซีเมนต์แบบแห้ง

2.3.3 ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ตามมาตรฐาน ASTM ของอเมริกัน แบ่งเป็น 5 ประเภทดังนี้

ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland) เหมาะสำหรับงานก่อสร้างทั่วไป ส่วนใหญ่จะนำไปใช้กับงานคอนกรีตเสริมเหล็ก เช่น ทำผิวถนน สะพาน ท่อระบายน้ำ เป็นต้น ปูนซีเมนต์ประเภทนี้มีข้อเสียคือ ไม่ทนต่อสารที่เป็นด่าง จึงไม่เหมาะสมกับงานที่ต้องสัมผัสกับด่างจากดินหรือน้ำ เช่น โรงงานอุตสาหกรรมเคมี **งานวิจัยฉบับนี้จะใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1**

ประเภทที่ 2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) ประเภทนี้เมื่อผสมกับน้ำจะคายความร้อนออกมาน้อยกว่าประเภทธรรมดา และ มีความต้านทานต่อสารที่เป็นด่างได้บ้าง เหมาะสำหรับงานโครงสร้างขนาดใหญ่ อาทิเช่น ตอม่อขนาดใหญ่ สะพานเทียบเรือ เขื่อนหรือกำแพงกันดินในบริเวณที่ถูกรบกวนเป็นครั้งคราว

ประเภทที่ 3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว (High - Early Portland Cement) ประเภทนี้มีความละเอียดมากกว่า เป็นผลทำให้แข็งตัวและรับแรง ได้เร็วกว่าปูนซีเมนต์ประเภทที่หนึ่ง จึงนิยมนำไปใช้กับงานเร่งด่วนที่ต้องแข่งกับเวลา หรือในกรณี ที่ต้องการถอดหรือรื้อแบบเร็วกว่าปกติ

ประเภทที่ 4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เกิดความร้อนต่ำ (Low - Heat Portland Cement) เหมาะกับงานที่ต้องการควบคุมทั้งปริมาณ และอัตราความร้อนที่เกิดขึ้นให้น้อยที่สุด การเกิดกำลังของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะเป็นไปอย่างช้าๆ จึงนิยมใช้กับงานขนาดใหญ่ เช่น เขื่อนกั้นน้ำ ซึ่งหากมีความร้อนอย่างร้ายแรงต่อตัวเขื่อนจะทำให้เกิดการแตกหรือร้าวได้

ประเภทที่ 5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนเกลือซัลเฟตได้สูง (Sulfate – Resistant Portland Cement) มีคุณสมบัติในการต้านทานต่อสารที่เป็นต่างได้สูง จึงเหมาะที่จะใช้กับงานก่อสร้างในบริเวณที่ต้องสัมผัสกับต่าง เช่น ในบริเวณที่ดินมีความเป็นด่างสูง หรือน้ำทะเล ระยะเวลาในการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะช้ากว่าประเภทอื่นๆ

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ได้จะประกอบด้วยออกไซด์ 2 กลุ่มใหญ่ คือ

1. ออกไซด์หลัก ได้แก่ CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 รวมประมาณ 90% ของน้ำหนักซีเมนต์
2. ออกไซด์รอง ได้แก่ MgO , Na_2O , TiO_2 , P_2O_5 และยิปซัม ปริมาณออกไซด์ต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ปริมาณออกไซด์ต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ออกไซด์	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ออกไซด์หลัก	
CaO	60 - 67
SiO_2	1 - 25
Al_2O_3	3 - 8
Fe_2O_3	0.5 - 6.0
ออกไซด์รอง	
MgO	0.1 - 5.5
$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	0.5 - 0.3
TiO_2	0.1 - 0.4
P_2O_5	0.1 - 0.2
SO_3	1 - 3

โดยออกไซด์หลัก จะรวมตัวในระหว่างการเกิดปูนเม็ด (Clinker) เกิดเป็นสารประกอบที่สำคัญ 4 อย่าง ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ชื่อสารประกอบ	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
---------------	-------------------	---------

ไตรคัลเซียม ซิลิเกต	3 CaO SiO_2	C_3S
ไดคัลเซียม ซิลิเกต	2 CaO SiO_2	C_2S
ไตรคัลเซียม อลูมิเนต	$3 \text{ CaO Al}_2\text{O}_3$	C_3A
เตตราคัลเซียม อลูมิโนเฟอร์ไรท์	$4 \text{ CaO Al}_2\text{O}_3 \text{ Fe}_2\text{O}_3$	C

ที่มา: Concrete Technology, The Concrete Products and Aggregate Co., Ltd.

งานวิจัยนี้จะใช้วัตถุดิบเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland)

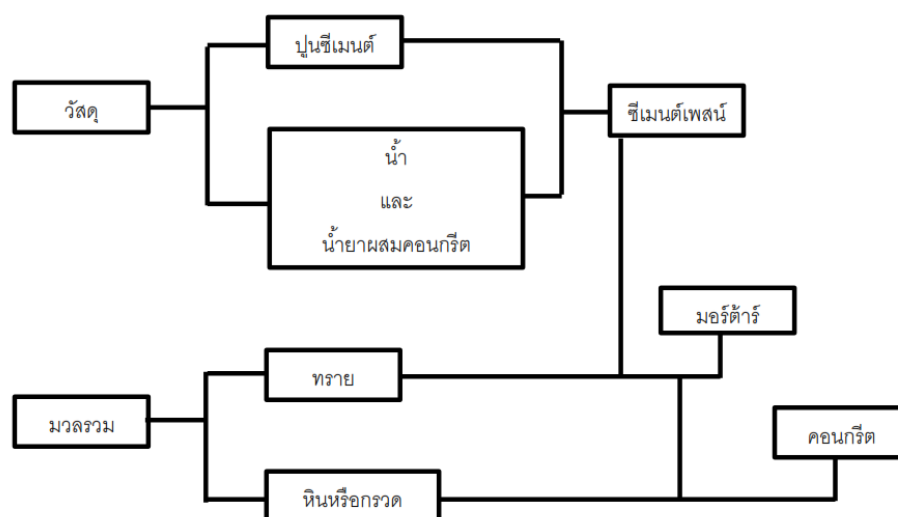
2.3.4 องค์ประกอบของคอนกรีต

คอนกรีตประกอบด้วยปูนซีเมนต์ หิน ทราย และน้ำ โดยเมื่อนำส่วนผสมต่างๆ เหล่านี้มาผสมกันจะมีชื่อเรียกเฉพาะดังนี้

ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำเรียกว่า ซีเมนต์เพสต์ (Cement paste)

ซีเมนต์เพสต์ผสมกับทรายเรียกว่า มอร์ตาร์ (Mortar)

มอร์ตาร์ผสมกับหินหรือกรวดเรียกว่า คอนกรีต (Concrete)



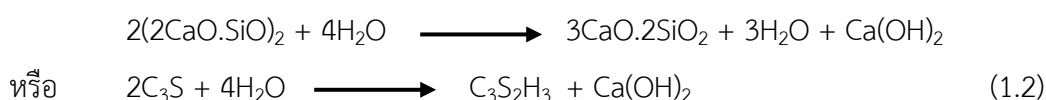
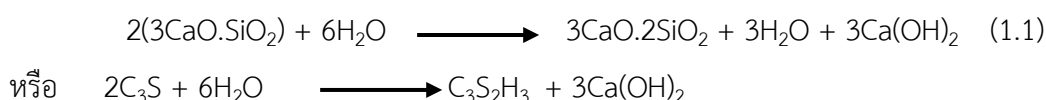
ภาพที่ 6 การเรียกชื่อองค์ประกอบต่างๆของคอนกรีต

2.3.5 ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration Reaction)

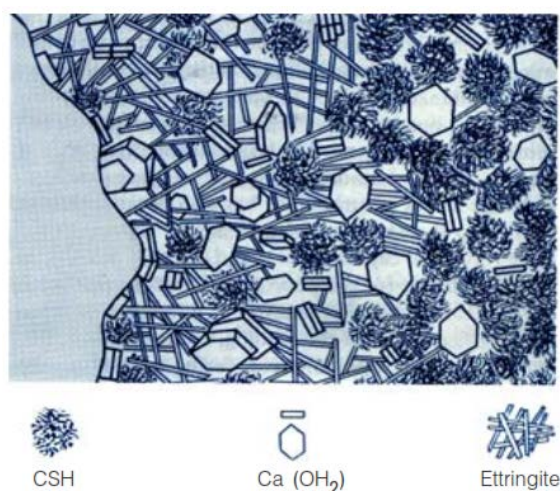
ปฏิกิริยาไฮเดรชัน คือปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ ซึ่งจะทำให้เกิดการก่อตัวและแข็งตัว โดยจะขึ้นอยู่กับปริมาณสารประกอบในปูนซีเมนต์ สารประกอบจะทำ ปฏิกิริยาและมีอิทธิพลซึ่งกันและกัน ดังนั้น ปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำสามารถเริ่มต้นด้วยปฏิกิริยาของแต่ละสารประกอบในปูนซีเมนต์

1) ปฏิกิริยาไฮเดรชันของแคลเซียมซิลิเกต (C_3S , C_2S)

แคลเซียมซิลิเกตจะทำปฏิกิริยากับน้ำ ก่อให้เกิดแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) และแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) ที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสาน ดังสมการที่ (1.1) และ (1.2) โดยมีลักษณะดังภาพที่ 7



จากปฏิกิริยาไฮเดรชันนี้ จะเกิด Gel ซึ่งเมื่อแข็งตัวจะมีลักษณะที่สำคัญ 2 ประการ คือ โครงสร้างไม่สม่ำเสมอและมีรูพรุน องค์ประกอบทางเคมีของ CSH นี้ ขึ้นอยู่กับอายุ อุณหภูมิ และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ $Ca(OH)_2$ ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชัน ทำให้ซีเมนต์พลสมิสมบัติเป็นต่างอย่างมาก คือมีค่า pH ประมาณ 12.5 ซึ่งช่วยป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเสริมได้เป็นอย่างดี



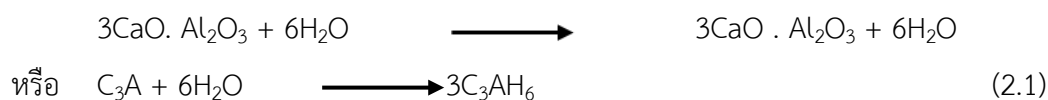
ภาพที่ 7 ภาพแสดงปฏิกิริยาของแคลเซียมซิลิเกต

ที่มา: Concrete Technology, The Concrete Products and Aggregate Co., Ltd.

ภาพแสดงว่า CSH อยู่ในภาพของอนุภาคเล็กๆ มีขนาดเท่ากับสารแขวนลอย (เล็กกว่า $1\ \mu\text{m}$) มีลักษณะปรากฏเป็นอสัณฐาน (Amorphous) และมีผลึกที่หยาบมาก (Poorly Crystalline) โดยอัตราส่วนของแคลเซียมต่อซิลิกา (C/S) ใน CSH จะไม่คงที่ขึ้นอยู่กับ อายุ อุณหภูมิและปริมาณน้ำ สัญญลักษณ์ทางเคมีของไตรแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตที่มีอัตราส่วน $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$ เป็นเพียงค่าเฉลี่ยเท่านั้น

2) ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมอะลูมิเนตและยิปซัม

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมอะลูมิเนต (C_3A) จะเกิดขึ้นทันทีทันใด และก่อให้เกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็วของซีเมนต์เฟลส์ ดังสมการที่ (2.1)



เพื่อหวังไม่ให้เกิดปฏิกิริยาเกิดอย่างรวดเร็ว จึงใส่ยิปซัม ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) เข้าไปในระหว่างขบวนการบดปูนเม็ดยิปซัมจะเข้าทำปฏิกิริยากับ C_3A ก่อให้เกิดชั้นของเอ็ทริงไกต์ (Ettringite) ในภาพที่ 7 บนผิวของอนุภาค C_3A ดังสมการที่ (2.2)



ชั้นของเอ็ทริงไกต์ (Ettringite) ก่อให้เกิดการหน่วงการก่อตัวของ C_3A และทำให้การก่อตัวในช่วงแรกนี้ขึ้นอยู่กับการไฮเดรชันของแคลเซียมซิลิเกต C_3S , C_2S เป็นส่วนใหญ่ แต่ชั้นของ Ettringite ไม่ได้หยุดการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3A กล่าวคือ เมื่อเกิด Ettringite จะเกิดแรงดันที่มากจากการเพิ่มปริมาตรของแข็ง แรงดันนี้จะทำให้ชั้นของ Ettringite แตกออก และเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3A แต่เมื่อเกิดการแตกตัวจะเกิด Ettringite ใหม่เข้าไปแทนที่เป็นการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชันอีกครั้งหนึ่ง ขั้นตอนจะเป็นอย่างนี้ไปจนกระทั่ง Sulphate Ions มีปริมาณไม่เพียงพอที่จะก่อให้เกิด Ettringite จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3A โดยเปลี่ยน Ettringite ไปเป็น Monosulphate (ภาพที่ 8)

3) ปฏิกิริยาไฮเดรชันของเตตระแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์ (C_4AF)

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของเตตระแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์ (C_4AF) นี้ จะเกิดในช่วงต้น โดย C_4AF จะทำปฏิกิริยากับ ยิปซัม และ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ก่อให้เกิดอนุภาคที่มีรูปร่างเหมือนเข็มทองของ แคลเซียมซัลโฟอะลูมิเนต (Calcium Sulfoaluminate) และแคลเซียมซัลโฟเฟอร์ไรต์ (Calcium Sulfoferrite) ดังสมการ

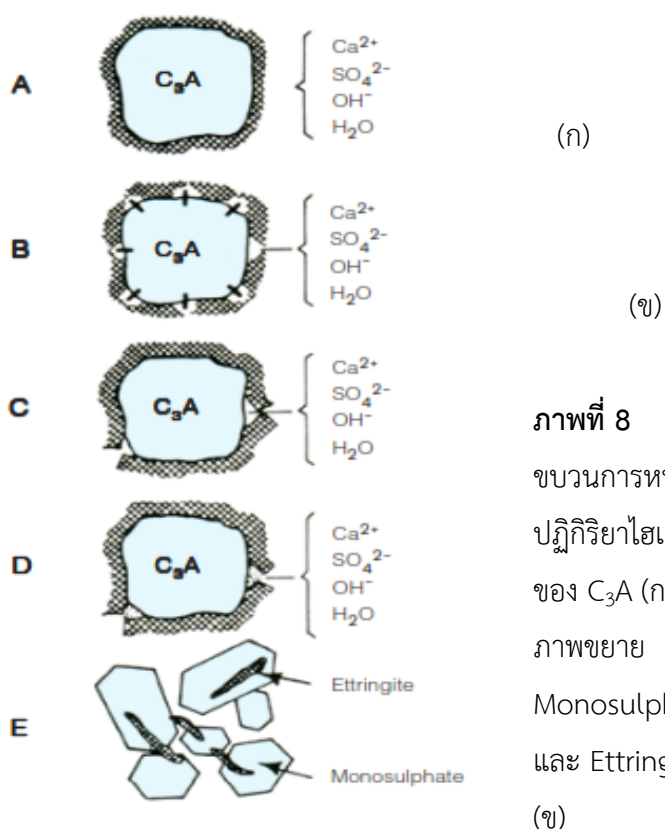


เวลาที่ใช้เพื่อให้บรรลุ 80% ของปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบหลักทั้ง 4 แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เวลาที่ทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบหลัก สำเร็จ 80%

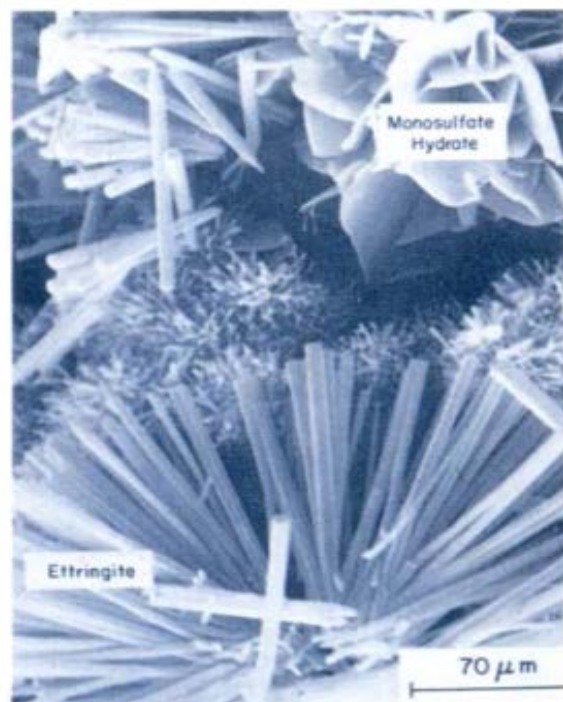
สารประกอบหลัก	เวลา (วัน)
C_3S	10
C_2S	100
C_3A	6
C_4AF	50

ที่มา: Concrete Technology, The Concrete Products and Aggregate Co., Ltd



ภาพที่ 8

ขบวนการหน่วง
ปฏิกิริยาไฮเดรชัน
ของ C_3A (ก),
ภาพขยาย
Monosulphate
และ Ettringite
(ข)



ที่มา: Concrete Technology, The Concrete Products and Aggregate Co., Ltd.

2.4 เศษยางรถยนต์ (Crumb rubber tire)

ยางธรรมชาติ (Natural Rubber Fiber) เป็นวัตถุดิบในการผลิตยางรถยนต์

สมบัติที่ดีของยางต่อการใช้ประโยชน์ คือ สามารถยืดหดได้ดี มีความโค้งงอดี มีความคงรูปปานกลาง เหนียวแข็งแรง ทนต่อน้ำและอากาศได้ดี ตัดหรือฉีกขาดยาก ทนต่อสารเคมีได้หลายชนิด

สมบัติที่ไม่ดีของยางต่อการใช้ประโยชน์ คือ ไม่ทนน้ำมัน และแสงแดด จะทำให้ยางเสื่อมคุณภาพ จะยืดเสียรูปทรง ยางนั้นไม่ทนความร้อนสูง ถ้าความร้อนสูงเกิน 93C จะเริ่มสลายตัว เมื่อเก็บไว้นานๆ ความเหนียวจะลดลง การยืดหยุ่นจะเสียไปตามกาลเวลา

ยางรถยนต์ที่ใช้แล้วถือเป็นขยะชิ้นใหญ่ ที่มีความยุ่งยากในการกำจัด การย่อยสลายยางรถยนต์หลังจากหมดอายุการใช้งานแล้วนั้นเป็นเรื่องยาก วิธีการกำจัดที่ใช้ในปัจจุบัน คือ การฝังกลบ ซึ่งมักเกิดปัญหาการสิ้นเปลืองพื้นที่ การรั่วซึมของน้ำชะขยะจนน้ำขังก่อให้เกิดปัญหาการเพาะพันธุ์ยุงลายตามมา หรือ การเผา จะเกิดปัญหามลพิษทางอากาศ เนื่องจากส่วนประกอบที่นำมาประกอบในการผลิตยางรถยนต์ ไม่ว่าจะเป็น แคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี พรอทและโลหะหนักอื่นๆ ไม่สามารถเผาทำลายได้ ยังก่อให้เกิดสารพิษ คือ ไดออกซิน ยังไม่รวมกับสารที่ก่อให้เกิดมลพิษอื่นๆ อย่าง

- สารพิษในกลุ่มโพลีอะโรมาติกส์ไฮโดรคาร์บอนส์ (PAHs)
- สารเบนซินและฟีนอล สารที่คาดว่าจะก่อให้เกิดโรคมะเร็ง
- ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
- ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์
- ฝุ่นละอองที่มีสารพิษปนอยู่

ปัจจุบันประเทศไทยไม่ได้มีการกำหนดนโยบายการจัดการยางรถยนต์ใช้แล้วให้ปรากฏอย่างเป็นรูปธรรม ทำให้ขาดทิศทางและแนวทางปฏิบัติในการดำเนินการจัดการของทั้งภาครัฐและเอกชน



(ก)



(ข)

ภาพที่ 9 ยางรถยนต์เก่าหมดอายุการใช้งาน (ก), ยางผงจากการนำยางรถยนต์เก่าไปบดด้วยวิธีทางกล (ข)

จากที่มวิจัยซึ่งนำโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ศึกษาโครงการการวิเคราะห์นโยบายที่เหมาะสมเพื่อการจัดการยางล้อยานยนต์ของประเทศไทย ในระยะที่ 1 ปี พ.ศ.2555-2556 ทางด้านการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของเทคโนโลยี (Life Cycle Assessment : LCA) ที่ใช้ในการจัดการยางยนต์ใช้แล้ว โดยเปรียบเทียบเทคโนโลยีการจัดการยางฯ มี 4 วิธี ได้แก่ การเผาให้พลังงาน การผลิตผลิตภัณฑ์ให้พลังงาน (น้ำมันเตา) โดยกระบวนการไพโรไลซิส การผลิตยางผง และการทำยางรีเคลม ซึ่งคิดเทียบกับปริมาณอ้างอิงเป็นยางฯ 1,000 กิโลกรัม พบว่า

- การผลิตยางผงสังเคราะห์สามารถช่วยลดภาวะโลกร้อนลงได้ถึง 760kg CO₂e
- การทำยางรีเคลม ทดแทนการใช้ยางธรรมชาติสามารถลดผลกระทบต่อภาวะโลกร้อน 360 kgCO₂e

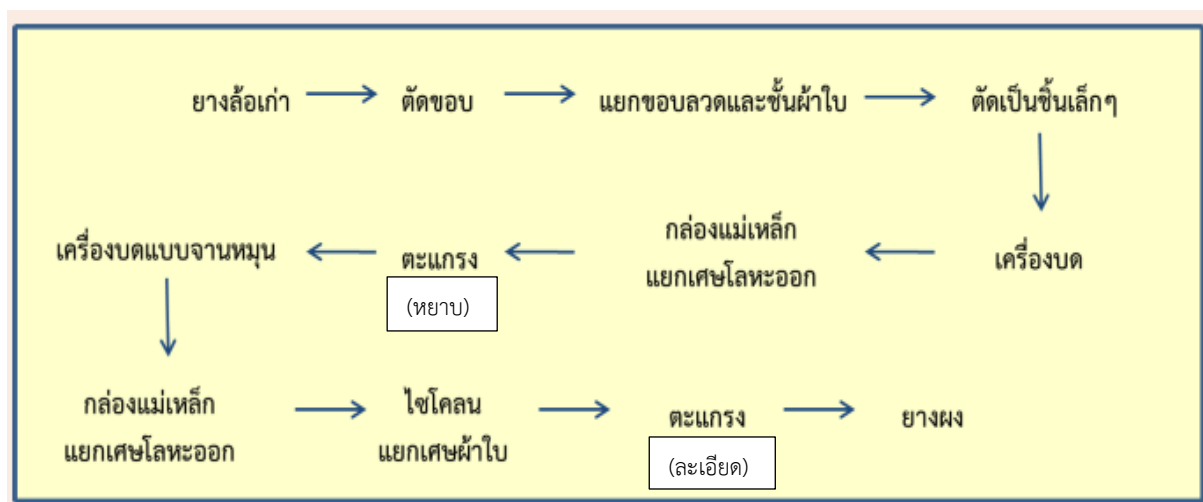
- การนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง ทดแทนการใช้ถ่านหินสามารถลดผลกระทบต่อภาวะโลกร้อน 650 kgCO₂e

- แต่ในทางกลับกัน หากนำไปผลิตเป็นน้ำมันเตาสังเคราะห์ ทดแทนการใช้ น้ำมันเตา ไม่ได้ช่วยในด้านลดภาวะโลกร้อน แต่จะช่วยในด้านลดการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิลลงได้ 200-300 ลิตร

เมื่อพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ตลอดวัฏจักรชีวิตของยางฯ ใช้แล้ว พบว่าการนำยางยนต์ใช้แล้วไป “รีไซเคิล” ด้วย กระบวนการไพโรไลซิส และ ยางรีเคลม ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม หรือกำไรต่อหน่วยได้มาก และในส่วนของการนำยางฯ เป็นเชื้อเพลิง พบว่าช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อเชื้อเพลิงถ่านหินเท่านั้น สำหรับประเทศไทยนั้น การดำเนินงานที่ผ่านมาพบว่า การจัดการยางฯ ด้วยกลไกต่าง ๆ ที่มีอยู่ในขณะนี้ สามารถทำให้เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ได้ แต่ยังไม่สามารถจัดการยางฯ ใช้แล้วได้ 100% หากมีการบริหารจัดการเรื่องการเก็บรวบรวม มีตำแหน่งที่ตั้งของโรงบำบัดและจัดการยางฯ ที่เหมาะสม จะส่งผลในการบริหารจัดการยางยนต์ใช้แล้วให้เกิดประสิทธิภาพ สามารถนำไปต่อยอด พัฒนาทางด้านอุตสาหกรรม เพื่อผลักดันให้ประเทศสามารถนำยางฯ ใช้แล้วกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับยางฯ ใช้แล้ว ช่วยลดต้นทุน และลดมลภาวะสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.4.1 ยางผง จัดเป็นผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากการนำเศษยาง ยางล้อเก่า ครีบกาง ยางตกเกรดหรือยางอื่นๆ ที่เป็นของเหลือผ่าน กระบวนการผลิตโดยใช้เครื่องบดชนิดต่างๆ ที่มีตั้งแต่ขนาดใหญ่จนถึงขนาดเล็ก เพื่อให้ยางมีขนาดเล็กลงและสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย รูปแบบในอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งการแปรรูปเศษยางและขยะยางเหล่านี้ด้วยกระบวนการบดจัดเป็นวิธีที่สามารถทำได้ง่ายและ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ในงานวิจัยฉบับนี้จะใช้วัตถุดิบเป็น ยางผงจากยางล้อรถบรรทุก มาผ่านกระบวนการบดยางที่อุณหภูมิ ห้อง (ambient grinding) โดยทำการบดให้เป็นชิ้นเล็กๆ ที่อุณหภูมิห้องโดยใช้เครื่องบดที่มีการเขาระว่ง (cracker mill) เครื่องแกรนูลเลเตอร์ (granulator) เครื่องฟัลเวอร์ไรเซอร์ (pulverizer) รวมถึงเครื่องบด 2 ลูก กลิ้ง (two roll mill) ซึ่งขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของอนุภาคยางผงที่ได้จากกระบวนการขึ้นกับจำนวนรอบของการไปผ่านเครื่องบด โดยงานวิจัยนี้จะใช้ผงยางขนาด 30 เมช (mesh)



ภาพที่ 10 กระบวนการบดยางรถเก่าที่หมดอายุการใช้งานให้เป็นยางผงด้วยวิธีทางกล
ที่มา: สถาบันพลาสติก, 2559

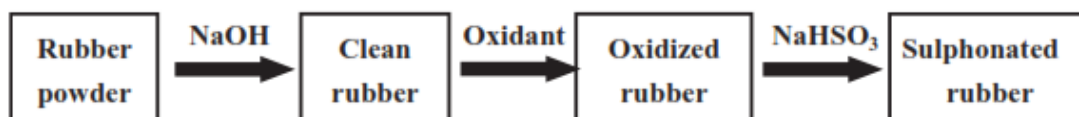
2.4.2 การปรับปรุงพื้นผิวของยางผง โดยวิธีการทางเคมี (Chemical surface modification)

สารเคมีที่ใช้:

- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
- สารละลายโปตัสเซียมเปอร์มังกานेट
- กรดซัลฟูริก
- โซเดียมไบซัลเฟต

วิธีการ

- นำยางผงแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 5% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- เมื่อครบเวลานำมาล้างด้วยน้ำจนสะอาด เติมสารละลายโปตัสเซียมเปอร์มังกานेट ที่ความเข้มข้น 5% แล้วทำการปรับค่า pH จนได้ค่า pH ในช่วง 2-3 โดยใช้กรดซัลฟูริก
- นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และกวนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ควบคุมค่า pH ให้อยู่ในช่วง 2-3 โดยการเติม สารละลายโปตัสเซียมเปอร์มังกานेट ที่ความเข้มข้น 5% และ กรดซัลฟูริก ในการควบคุม
- หลังจากครบเวลา 2 ชั่วโมงแล้ว นำยางผงที่ผ่านการปรับปรุงผิว มาล้างด้วยน้ำสะอาด และแช่ใน สารละลายโซเดียมไบซัลเฟต ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ถึง 1 ชั่วโมง เป็นอันจบ



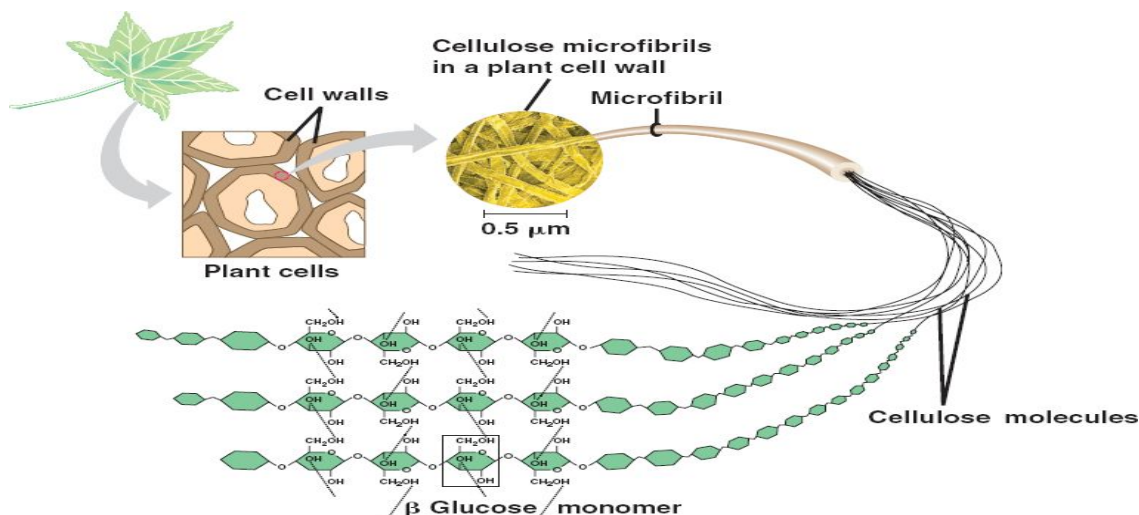
กระบวนการ

ภาพที่ 11 กระบวนการปรับปรุงผิวของยางผงด้วยวิธีการทางเคมี
ที่มา: Construction and Building Materials, 2016

2.5 เส้นใย (Fiber)

เส้นใย หมายถึง สิ่งที่มีลักษณะเป็นเส้นยาวเรียว องค์ประกอบของเซลล์ ส่วนใหญ่เป็นเซลลูโลส เกิดจากการรวมตัวของพอลิแซคคาไรด์ (polysaccharide) ของกลูโคส (glucose) ซึ่งโมเลกุลของเซลลูโลสเรียงตัวกันในผนัง

เซลล์ของพืช เป็นหน่วยเส้นใยขนาดเล็กมาก เกิดการเกาะจับตัวกันเป็นเส้นใยขึ้น



ภาพที่ 12 โครงสร้างเส้นใยเซลลูโลส

ที่มา: <http://bio1151.nicerweb.com/Locked/media/ch05/cellulose.html>

2.5.1 ประเภทของเส้นใย

1) เส้นใยจากธรรมชาติ ได้แก่ เส้นใยที่มีอยู่ในธรรมชาติ แบ่งได้เป็น

1.1) เส้นใยเซลลูโลสธรรมชาติ (Natural cellulose fibers) เป็นเส้นใยที่ได้จากพืช เช่น ฝ้าย ลิ้นปี่ ป่าน ปอ ลิ้นปี่ ใยสับปะรด ใยมะพร้าว หนุ่น ทรนารายณ์ ปาล์ม มะพร้าว เป็นต้น โครงสร้างโฮโมพอลิเมอร์ ของโมเลกุลกลูโคสจำนวนมาก เกาะเกี่ยวกันเป็นสายโซ่ยาวจนเกิดเป็นเส้นใย และยิ่งมีความยาวมาก จะมีผลทำให้เซลลูโลสมีความเหนียวมากขึ้น โขโมเลกุลจะยาวมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ จำนวนโมเลกุลกลูโคส กลูโคสแต่ละหน่วยประกอบด้วยคาร์บอน 44.4% ไฮโดรเจน 1.2% และออกซิเจน 49.4% การจัดเรียงตัวของ โมเลกุลเซลลูโลสนั้น บางตอนก็ขนานกันเป็นระเบียบเรียกว่า Crystalline บางตอนเรียงกันไม่เป็นระเบียบ เรียกว่า Amorphous การเรียงตัวไม่เป็นระเบียบของโมเลกุลเซลลูโลสนี้ จะทำให้เกิดช่องว่างแทรกอยู่ระหว่าง โมเลกุลกันละกันทำให้การยึดเกาะกันระหว่างโมเลกุลมีน้อย เส้นใยขาดความแข็งแรง ส่วนโมเลกุลเซลลูโลสที่ เรียงตัวกันเป็นระเบียบ จะทำให้เส้นใย มีความแข็งแรง ยึดตัวออกได้น้อย มีแรงยึดเกาะระหว่างโมเลกุลข้างเคียง ด้วย Hydrogen bond จะเห็นว่าโมเลกุลกลูโคสจะมีหมู่ - OH อยู่หลายแห่ง ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาเคมี ได้ เช่น ปฏิกิริยากับสีย้อมสารตกแต่ง การดูดความชื้น โดยหมู่ - OH จะยึดจับกับโมเลกุลของน้ำที่ ผ่านเข้ามา ในเส้นใยได้ดี

1.2) เส้นใยโปรตีนจากธรรมชาติ (Natural protein fibers) เป็น เส้นใยโปรตีนที่ได้ จากสัตว์ เช่น ขนสัตว์ (wool) ไหม (silk) ผม (hair) เล็บ เขา ใยไหม เป็นต้น เส้นใยเหล่านี้เมื่อเปียกน้ำ ความ เหนียวและความแข็งแรงจะลดลง ถ้าสัมผัสแสงแดดนานๆ จะสลายตัว เส้นใยโปรตีนธรรมชาติ เป็นเส้นใยที่ดูด ความชื้นได้ดี ให้ความอบอุ่น มากกว่าเส้นใยเซลลูโลส เป็นตัวนำไฟฟ้าไม่ดี ทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตขึ้นได้ ไม่ทนต่อ สารด่าง ละลายได้ในโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5% เมื่อเดือด และไม่ทนต่อการฟอกขาวจากสารประเภทคลอรีน ทนต่อการกัดได้ดี การติดไฟนั้น จะลุกไหม้ได้ช้าๆ และจะดับไปเองเมื่อเอาออกจากไฟ เส้นใยโปรตีนธรรมชาติ ประกอบด้วย กรดอะมิโนซึ่งจับกันในรูปของโพลีเปปไทด์ (polypeptide chains) มีน้ำหนักโมเลกุลค่อนข้างสูง

ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน มีความหนาแน่น ธรรมชาติ จึงทำให้มีน้ำหนักเท่าๆกัน เส้นใยโปรตีนคินตัวใยโปรตีนธรรมชาติมีปริมาณการผลิตเส้นใยสังเคราะห์ เช่น เกิดขึ้นมาอย่างมากมาย และใหม่ ให้คุณสมบัติที่คล้ายคลึงได้ด้วย อย่างไรก็ตามปริมาณใยที่ได้จาก ขนและผมของสัตว์ที่มีอากาศหนาว

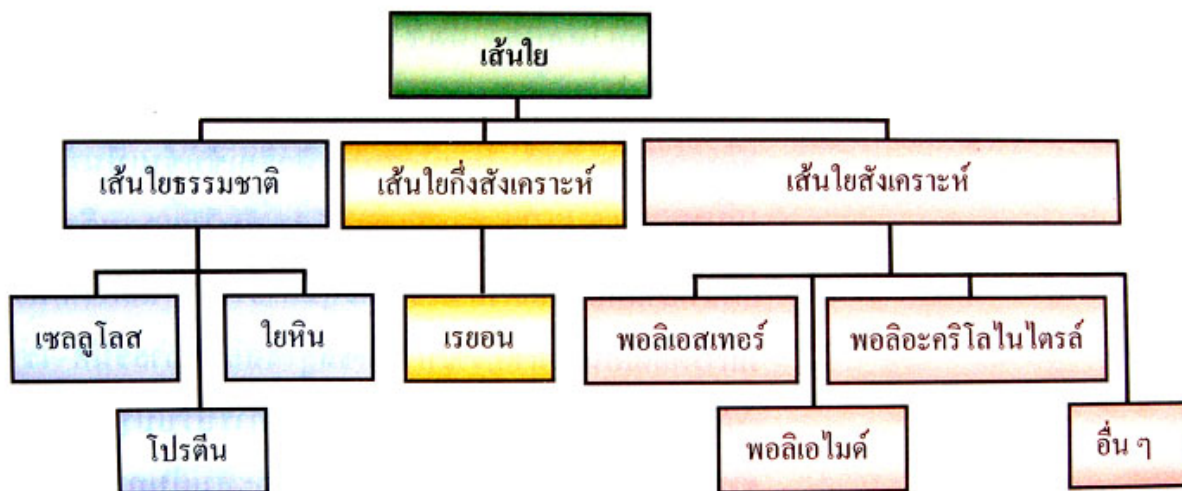


ไฮโดรเจน ออกซิเจน น้อยกว่าเส้นใยเซลลูโลส เบากว่าเซลลูโลสในปริมาณที่และยืดหยุ่นได้ดี ในปัจจุบันเส้นใยไม่เพิ่มมากนักเนื่องจากมีไนลอน โพลีเอสเตอร์ อะคริลิก ยังสามารถสังเคราะห์ทดแทนกับ เส้นใยโปรตีนจากธรรมชาติ การใช้เส้นใยโปรตีนโดยเฉพาะ ยังคงเป็นที่ต้องการในประเทศ

1.3) เส้นใยธรรมชาติจากแร่ (Mineral Fibers) เส้นใยหิน (Asbestos) เป็นเส้นใยธรรมชาติที่แยกจากหินชนิดหนึ่งที่มีสีเขียว ที่เรียกว่า Serpentine หรือ amphibole rock มีความเหนียว แข็งแรง ทนความร้อนได้สูงในช่วงระยะเวลาสั้นๆได้ถึง 6,000 F ใยหินทนต่อสารเคมีได้ดี การทำความสะอาดผ้าใยหิน เวลาซักต้องระมัดระวัง ควรทำความสะอาดโดยใช้ฟองน้ำชุบน้ำเช็ดบริเวณที่เปื้อน ก็จะ สามารถเช็ดออกไปได้อย่างง่ายดาย เส้นใยหินที่จะทำเป็นเส้นใยนั่นจะต้องผสมกับใยผ้าฝ้าย 5-20% หรือไม่ก็เรยอน และขนสัตว์ เพื่อปั่นให้เป็นเส้นด้ายและทอเป็นผ้าต่อไป ผ้าที่ผลิตจากใยหินนั้นมีคุณสมบัติคือทนไฟ สามารถทอเป็นผ้าได้หลากหลายชนิด ใช้ทำผ้าม่านกันไฟ ชุดเสื้อผ้านักไฟที่ใช้สำหรับพนักงานดับเพลิง ผ้าฉนวนป้องกันไฟฟ้า เป็นต้น

ภาพที่ 13 รูปใยหินจากก้อนหิน

ที่มา: <http://en.wikipedia.org/wiki/Asbestos>



ภาพที่ 14 แผนผังประเภทของเส้นใย

ที่มา: <http://www.vcharkarn.com/lesson/1465>

2) เส้นใยสังเคราะห์ (Synthetic fiber) เป็นเส้นใยที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้นจากสารอินทรีย์หรือสารอินทรีย์ใช้ทดแทน เส้นใยจากธรรมชาติ แบ่งเป็น 3 ประเภท

2.1) เส้นใยพอลิเอสเตอร์ เช่น เททรอน ใช้บรรจุในหมอน เพราะมีความฟูยืดหยุ่นไม่เป็นอันตรายต่อผิวหนัง สำหรับตาครอน (Dacron) เป็นเส้นใยสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์อีกชนิดหนึ่ง ซึ่งเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Mylar มีประโยชน์ทำเส้นใยทำเชือก และฟิล์ม

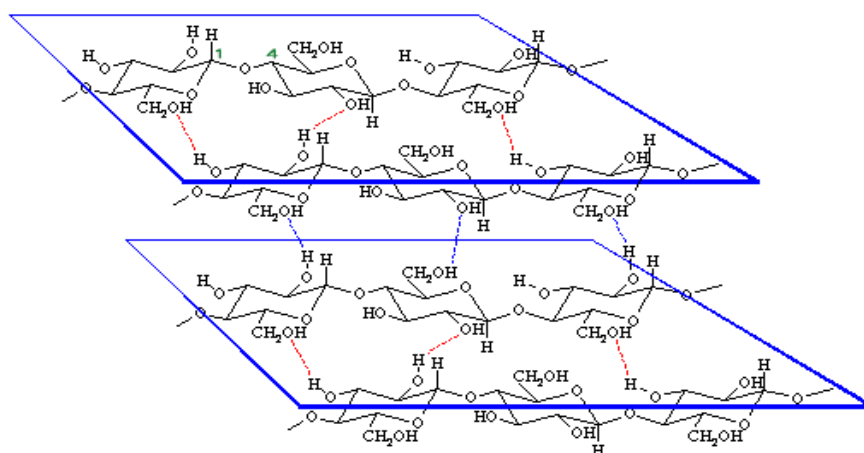
2.2) เส้นใยพอลิเอไมด์ เช่น ไนลอน (Nylon) เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์มีหลายชนิด เช่น ไนลอน 6,6 ไนลอน 6,10 ไนลอน 6 ซึ่งตัวเลขที่เขียนกำกับหลังชื่อจะแสดงจำนวนคาร์บอนอะตอมในมอนอเมอร์ของเอมีนและกรดคาร์บอกซิลิก ไนลอนจัดเป็นพอลิเมอร์พลาสติก มีความแข็งแรงมากกว่าพอลิเมอร์แบบเติมชนิดอื่น (เพราะมีแรงดึงดูดที่แข็งแรงของพันธะเปปไทด์) เป็นสารที่ติดไฟยาก (เพราะไนลอนมีพันธะ C-H ในโมเลกุลน้อยกว่าพอลิเมอร์แบบเติมชนิดอื่น)

2.3) เส้นใยอะคริลิก เช่น ใช้ในการทำเสื้อผ้า ร่มชายหาด หลังคากันแดด ผ้าม่าน พรหม เป็นต้น

3.) เส้นใยกึ่งสังเคราะห์ (Semi-synthetic fiber) เป็นเส้นใยที่ได้จากการนำสารจากธรรมชาติ มาปรับปรุงโครงสร้างให้เหมาะกับการใช้งาน เช่น การนำเซลลูโลสจากพืชมาทำปฏิกิริยากับสารเคมีบางชนิด เส้นใยกึ่งสังเคราะห์นี้นำมาใช้ประโยชน์ได้มากกว่าเส้นใยธรรมชาติ ตัวอย่างเส้นใยกึ่งสังเคราะห์ เช่น เซลลูโลสแอซีเตต เป็นพอลิเมอร์ที่เตรียมได้จากการใช้ เส้นใยเซลลูโลสจากธรรมชาติ ทำปฏิกิริยากับกรดอะซิติกเข้มข้น โดยมีกรดซัลฟริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา การใช้ประโยชน์จากเซลลูโลสอะซีเตต เช่น ผลิตเป็นเส้นใยอาร์แนล 60 ผลิตเป็นแผ่นพลาสติกที่ใช้ทำแผงสวิตช์และหุ้มสายไฟ

2.5.2 เส้นใยธรรมชาติจากปาล์มน้ำมัน ใช้เป็นวัตถุดิบในงานวิจัยฉบับนี้

วัสดุเหลือใช้จากสวนปาล์มน้ำมันมีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็น เส้นใยเซลลูโลส ซึ่งเป็นสารที่มีโครงสร้างเป็นประเภทสารโพลีเมอร์ทางธรรมชาติ ที่มีการเรียงตัวอย่างมีโครงสร้างเฉพาะ และมีความแข็งแรง แต่ไม่ได้ประกอบด้วย เส้นใยเซลลูโลสเพียงชนิดเดียว แต่ประกอบด้วยเส้นใยเซลลูโลสหลายๆชนิด คือ ไฮโลเซลลูโลส (Holocellulose), อัลฟาเซลลูโลส (Alphacellulose), และลิกนิน (Lignin) เนื่องจากโมเลกุลของกลูโคสจำนวนมากในการยึดเกาะกันจนเกิดเป็นเส้นใย จะเห็นว่าโมเลกุลกลูโคสจะมี หมู่ - OH อยู่หลายแห่ง ซึ่งหมู่ - OH นี้ จะยึดจับกับโมเลกุลของน้ำที่ผ่านเข้ามาในเส้นใยได้เป็นอย่างดี ดังนั้นเมื่อนำเส้นใยปาล์มมาผสมกับซีเมนต์และน้ำ จะทำให้ปริมาณน้ำบางส่วนผ่านเข้ามายึดจับในเส้นใยได้ ปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เกิดขึ้นจะไม่สมบูรณ์ เพราะเกิดการเสียปริมาณน้ำ อันเป็นสาเหตุของการแตกร้าวของคอนกรีต จากปฏิกิริยาไฮเดรชันไม่สมบูรณ์ จึงต้องทำการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยปาล์ม เพื่อป้องกันการยึดจับโมเลกุลน้ำ และเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์อย่างสมบูรณ์



เส้นประสีแดง แทนพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายเซลลูโลสในชั้นเดียวกันและระหว่างชั้น

ภาพที่ 15 การเชื่อมต่อกันของกลูโคสในโมเลกุลของเซลลูโลส

ที่มา: http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/biomolecule/chapter2_4.html



(ค)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 16 ปาล์มน้ำมัน (ก), ทะลายปาล์มสกัดน้ำมันแล้วนำมาแปรรูปเป็นเส้นใย(ข), เส้นใยปาล์ม (ค)

2.5.3 การปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติจากปาล์มน้ำมัน

วัสดุที่ใช้:

- BNC – Bacterial nanocellulose (*Gluconacetobacter xylinus*)
- น้ำประปา

วิธีการ

- นำเจล BNC มาล้างด้วย NaOH ความเข้มข้น 1 % ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา

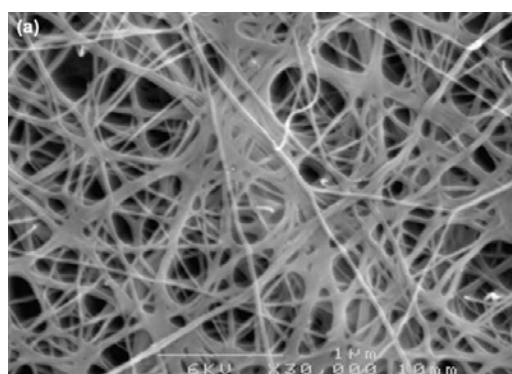
1 ชั่วโมง

- หลังจากนั้นล้างด้วย น้ำกลั่นจน ค่า pH เป็น กลาง
- นำเจล BNC ไปปั่น แล้วผสมในน้ำกลั่น ที่ความเข้มข้น 1% of BNC
- ใส่เส้นใยปาล์มน้ำมัน ลงไปในสารละลายโดยให้สารละลายท่วมเส้นใย กวนให้เข้ากัน
- เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- หลังจากครบ 24 ชั่วโมงแล้ว ทำการกรองแยก เส้นใยปาล์มน้ำมัน กับ สารละลาย BNC
- นำเส้นใยปาล์มน้ำมัน ที่ผ่านการปรับปรุงผิว ไปอบต่อให้แห้ง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

เป็นเวลา 24 ชั่วโมง



(ก)



(ข)

ภาพที่ 17 BNC Gel (ก), ลักษณะโครงสร้าง BNC (ข)

2.6 การประเมินสมรรถนะเชิงคุณภาพ

ทำการทดสอบสมรรถนะเชิงคุณภาพของ ผลิตภัณฑ์กระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติจาก ปาล์มน้ำมันผสมเศษยางรถยนต์ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) 1427-2540 สำหรับกระเบื้อง ซีเมนต์เส้นใยแบบเรียบ เป็นตัวชี้วัดโดยมีตัวแปรที่สำคัญดังนี้

มอก. 1427-2540 กระเบื้องซีเมนต์เส้นใยแบบเรียบ

1. ประเภท

กระเบื้องแบ่งตามลักษณะการใช้งานออกเป็น 2 ประเภท คือ

- 1.1 ประเภทที่ถูกแสงแดดและ/ หรือน้ำโดยตรง สัญลักษณ์ A
- 1.2 ประเภทที่ไม่ถูกแสงแดดและ/ หรือน้ำโดยตรง สัญลักษณ์ B

2. ชนิด

กระเบื้องแบ่งตามความต้านแรงดัด ดังนี้

- 2.1 ประเภท A แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ
 - 2.1.1 ชนิดที่ 3
 - 2.1.2 ชนิดที่ 4
 - 2.1.3 ชนิดที่ 5

หมายเหตุ ไม่มีการกำหนดกระเบื้องประเภท A ชนิดที่ 1 และ 2 เนื่องจากไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานที่ถูกแสงแดด หรือน้ำ โดยตรง

2.2 ประเภท B แบ่งออกเป็น 5 ชนิด คือ

- 2.2.1 ชนิดที่ 1
- 2.2.2 ชนิดที่ 2
- 2.2.3 ชนิดที่ 3
- 2.2.4 ชนิดที่ 4
- 2.2.5 ชนิดที่ 5

3. การทดสอบ

3.1 ความกว้าง ความยาว และเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ให้เป็นไปตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ความกว้าง ความยาว

ความกว้าง หรือ ความยาว มิลลิเมตร	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน
ไม่เกิน 1 000	± 5 มิลลิเมตร
เกิน 1 000 แต่ไม่เกิน 1 600	$\pm 0.5 \%$
เกิน 1 600	± 8 มิลลิเมตร

กระเบื้องที่จะนำมาทดสอบต้องมีอายุไม่น้อยกว่า 7 วัน

3.1.1 เครื่องมือ

สายวัดโลหะที่วัดได้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตรและยาวพอที่จะวัดแผ่นตัวอย่างได้ตลอดในครั้งเดียว

3.1.2 วิธีวัด

วัดความกว้าง และความยาวอย่างละ 3 ตำแหน่ง คือที่กึ่งกลางแผ่น และที่ประมาณ 50 มิลลิเมตร จากขอบ

3.1.3 การรายงานผล

รายงานผลค่าที่วัดได้ ทุกค่า

- 3.2 ความหนา ต้องเป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก แต่ต้องไม่น้อยกว่า 3 มิลลิเมตร โดยและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ให้เป็นไปตามตารางที่ 6 และผลต่างระหว่างค่าสูงสุดกับค่าต่ำสุดที่วัดได้ ต้องไม่เกินร้อยละ 15 ของค่าสูงสุด

ตารางที่ 6 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนความหนา

ความหนา มิลลิเมตร	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน
ไม่เกิน 6	± 0.6 มิลลิเมตร
มากกว่า 6	$\pm 10 \%$

3.2.1 เครื่องมือ

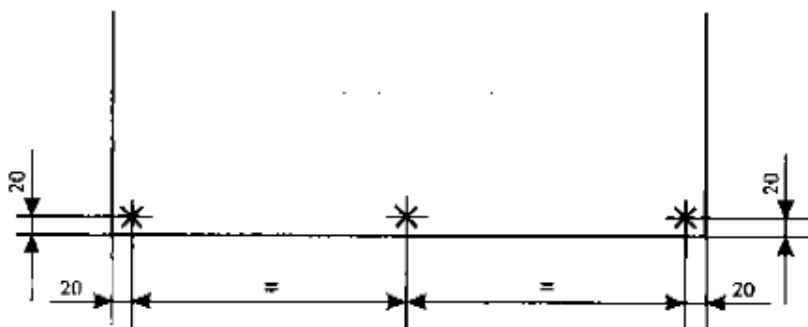
ไมโครมิเตอร์ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางปากจับ 10 ถึง 15 มิลลิเมตร

3.2.2 วิธีวัด

วัดความหนา 3 ค่า ที่ด้านกว้างด้านหนึ่ง ที่ตำแหน่งตาม ภาพที่ 15

3.2.3 การรายงานผล

รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย และผลต่างระหว่างค่าสูงสุดกับค่าต่ำสุด



x คือ ตำแหน่งวัดความหนา

ภาพที่ 18 การวัดความหนา, หน่วยเป็นมิลลิเมตร

3.3 ลักษณะทางกายภาพ

3.3.1 ลักษณะทั่วไป

ผิวด้านบนของกระเบื้องต้องเรียบเกลี้ยง หรือมีลายที่เกิดจากการผลิตตามปกติปราศจากตำหนิที่เป็นผลเสียต่อการใช้งาน เช่น บิ่น ปริ ร้าว

3.3.2 การทดสอบ

ให้ทำโดยการตรวจพินิจ

3.4 ความสำเร็จจากผลต่างของเส้นทแยงมุมผลต่างของความกว้างและผลต่างของความยาวจะต้องไม่เกิน

2.5 มิลลิเมตรต่อเมตรของเส้นหรือด้านที่ยาวกว่า

3.4.1 เครื่องมือ

เครื่องมือที่วัดได้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร

3.4.2 วิธีวัด

วัดความยาวของเส้นทแยงมุม 2 เส้น ความกว้าง 2 ด้าน และความยาว 2 ด้านของกระเบื้องตัวอย่าง

3.4.3 การรายงานผล รายงานผลต่างของเส้นทแยงมุม ผลต่างของความกว้าง และผลต่างของความยาว

3.5. ความตรงขอบแนวของขอบกระเบื้องคลาดเคลื่อนไปจากแนวตรงได้ไม่เกินร้อยละ 0.3 ของความยาวของกระเบื้องด้านที่วัด

3.5.1 เครื่องมือ

(1) เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร

(2) ด้าย

3.5.2 วิธีวัด

ซึ่งด้ายที่มุมของแผ่นกระเบื้องตัวอย่างทั้ง 4 ด้าน วัดระยะตั้งฉากห่างที่สุดระหว่างด้ายกับขอบกระเบื้องตัวอย่างแต่ละด้าน

3.5.3 การรายงานผล

รายงานค่าที่วัดได้ทุกค่า

3.6. ความต้านทานแรงดัด

ค่าเฉลี่ยของมอดุลัสแตกหักต้องเป็นไปตามตารางที่ 7 และ ตารางที่ 8

ตารางที่ 7 มอดุลัสแตกหักของกระเบื้องประเภท A

ชนิด	มอดุลัสแตกหัก ต่ำสุด เมกะพาสคัล
3	7
4	13
5	18

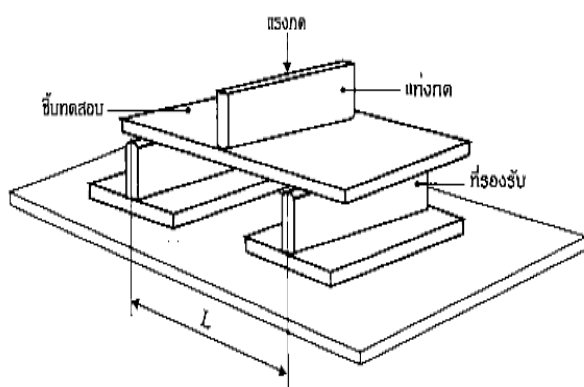
ตารางที่ 8: มอดุลัสแตกหักของกระเบื้องประเภท B

ชนิด	มอดุลัสแตกหักต่ำสุด เมกะพาสคัล
1	4
2	7

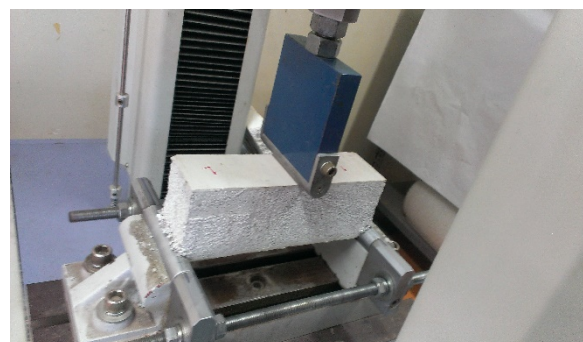
3	10
4	16
5	22

3.6.1 เครื่องมือทดสอบ (อย่างน้อยดังภาพที่ 16 หรือ ดีกว่า)

- (1) ที่รองรับ 2 ที่มีภาคตัดขอบบนเป็นส่วนโค้ง รัศมีไม่น้อยกว่า 3 มิลลิเมตร แต่ไม่เกิน 25 มิลลิเมตร วางขนาน และมีระยะที่รองรับ เท่ากับ L ตามตารางที่ 9
- (2) เครื่องกดที่ส่งน้ำหนัผ่านแท่งกด มีข้อบ่งชี้เฉพาะเดียวกับที่รองรับ
- (3) ไมโครมิเตอร์ที่วัดได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางปากจับ 10 ถึง 15 มิลลิเมตร



(ก)



(ข)

ภาพที่ 19 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดัด แบบManual (ก), แบบ Computer control (ข)

ตารางที่ 9 ระยะระหว่างที่รองรับ

รูปร่างชิ้นทดสอบ	ระยะระหว่างที่รองรับ L หน่วยเป็นมิลลิเมตร
สี่เหลี่ยมจัตุรัส	215
สี่เหลี่ยมผืนผ้า	ไม่น้อยกว่า 18t

หมายเหตุ: 1. t คือ ความหนา ที่ทำการทดสอบตามข้อ 3.2

2. กรณีชิ้นทดสอบสี่เหลี่ยมผืนผ้ายาวน้อยกว่า ระยะระหว่างที่รองรับ + 40 มิลลิเมตร ให้กำหนดระยะระหว่างที่รองรับตามที่ผู้ที่เกี่ยวข้องจะตกลงกัน

3.6.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

3.6.2.1 รูปร่างและขนาดชิ้นทดสอบ โดยทำการตัดกระเบื้องตัวอย่างเป็นชิ้นทดสอบ ดังนี้

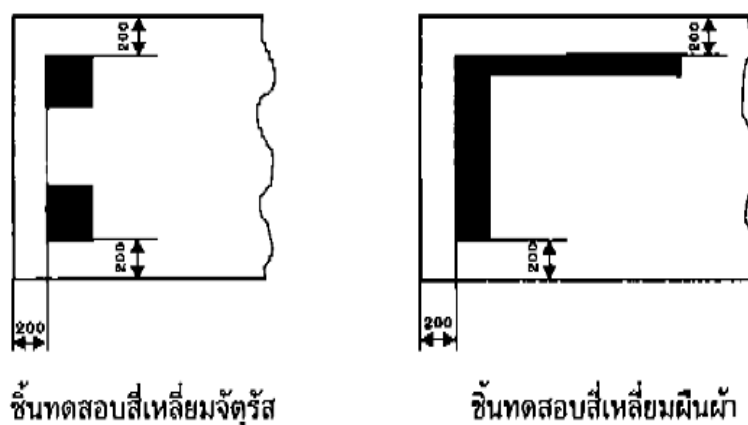
- (1) กระเบื้องตัวอย่างหนาไม่เกิน 9 มิลลิเมตร ตัดเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสจำนวน 2 ชิ้นต่อกระเบื้อง ตัวอย่าง 1 แผ่น
- (2) กระเบื้องตัวอย่างหนาเกิน 20 มิลลิเมตร ตัดเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้า จำนวน 4 ชิ้นต่อกระเบื้อง ตัวอย่าง 1 แผ่น
- (3) กระเบื้องตัวอย่างที่หนาเกิน 9 มิลลิเมตร แต่ไม่เกิน 20 มิลลิเมตร ตัดเป็นชิ้นทดสอบตามข้อ (1) หรือ (2) ก็ได้
- (4) ขนาดชิ้นทดสอบ ให้เป็นไปตามตารางที่ 10

ตารางที่ 10 รูปร่างและขนาดชิ้นทดสอบ, หน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปร่างชิ้นทดสอบ	ขนาดชิ้นทดสอบ	
	ความยาว	ความกว้าง
สี่เหลี่ยมจัตุรัส	250	250
สี่เหลี่ยมผืนผ้า	ระยะระหว่างที่รองรับ +40	100

หมายเหตุ :กรณีกระเบื้องตัวอย่างสี่เหลี่ยมผืนผ้ายาวน้อยกว่าระยะระหว่างที่รองรับ ± 40 มิลลิเมตร ให้ตัดเป็นชิ้นทดสอบเท่ากับความยาวของกระเบื้องตัวอย่าง

3.6.3 ตำแหน่งการตัดกระเบื้องตัวอย่าง ให้เป็นไปตามภาพที่ 17



ภาพที่ 20 ตำแหน่งการตัดกระเบื้องตัวอย่าง

3.6.4 การปรับสภาวะชิ้นทดสอบ

- (1) กระเบื้องประเภท A ก่อนทดสอบให้แช่ชิ้นทดสอบในน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ยกเว้นชิ้นทดสอบที่หนาเกิน 20 มิลลิเมตร ให้แช่น้ำเป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำมาทดสอบทันที
- (2) กระเบื้องประเภท B ก่อนทดสอบให้เก็บชิ้นทดสอบไว้ในที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 5 เป็นเวลา 7 วันโดยเก็บไว้ในลักษณะที่ด้านทุกด้านของชิ้นทดสอบมีอากาศถ่ายเทสะดวก

3.6.5 วิธีทดสอบ

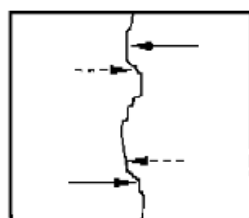
(1) ขึ้นทดสอบสี่เหลี่ยมผืนผ้าวางขึ้นทดสอบลงบนที่รองรับให้ด้านข้างอยู่ด้านบน จัดตำแหน่งแท่ง กด อยู่กึ่งกลาง และขนานกับที่รองรับ ทั้ง 2 ข้าง เพิ่มแรงกดในอัตราคงที่ประมาณ 6000 นิวตันต่ออนาที่ จนกระทั่งขึ้นทดสอบแตกหัก บันทึกแรงกดเมื่อแตกหัก เป็นนิวตัน และวัดความหนาเป็น มิลลิเมตรที่รอยแตกหัก 2 ตำแหน่ง สำหรับกระเบื้องเรียบเกลี้ยง และ 4 ตำแหน่งสำหรับกระเบื้องมีลาย (ภาพที่ 18)



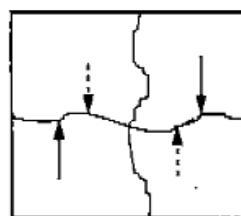
ภาพที่ 21 ตำแหน่งการวัดความหนาที่รอยแตกหักของขึ้นทดสอบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

(2) ขึ้นทดสอบรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส

วางขึ้นทดสอบลงบนที่รองรับให้ด้านข้างอยู่ด้านบน จัดตำแหน่งแท่งกดอยู่กึ่งกลางและขนานกับที่รองรับ ทั้ง 2 ข้าง เพิ่มแรงกดในอัตราคงที่ประมาณ 6000 นิวตันต่ออนาที่ จนกระทั่งขึ้นทดสอบแตกหัก บันทึกแรงกดเมื่อแตกหัก เป็นนิวตัน แต่หลังจากที่ขึ้นทดสอบหักแล้ว ให้ประกอบกลับให้เป็นแผ่น เช่นเดิม แล้วนำไปทดสอบความต้านแรงดัดในแนวตั้งฉากกันกับการทดสอบครั้งแรก จนกระทั่งขึ้นทดสอบแตกหักและวัดความหนาเป็นมิลลิเมตรที่รอยแตกหักรอยใหม่ 2 ตำแหน่ง สำหรับกระเบื้องเรียบเกลี้ยง และ 4 ตำแหน่งสำหรับกระเบื้องมีลาย (ภาพที่ 19)



ทดสอบครั้งแรก



ทดสอบครั้งหลัง

ภาพที่ 22 ตำแหน่งการวัดความหนาที่รอยแตกหักของขึ้นทดสอบสี่เหลี่ยมจัตุรัส

3.6.6 วิธีคำนวณ

คำนวณหาค่ามอดุลัสแตกหัก (R_f) ในแต่ละทิศทาง เป็นเมกะพาสคัล จากสูตร

$$R_f = \frac{3PL}{2be^2}$$

- เมื่อ
- P คือ แรงกดที่ทำให้ขึ้นทดสอบหัก, หน่วยเป็น นิวตัน
 - L คือ ระยะระหว่างที่รองรับ, หน่วยเป็น มิลลิเมตร
 - b คือ ความกว้างของขึ้นทดสอบ, หน่วยเป็น มิลลิเมตร
 - e คือ ค่าเฉลี่ยของความหนาที่รอยแตกหักที่ 2, 2 2 ตำแหน่ง สำหรับกระเบื้องเรียบเกลี้ยง และ 4 ตำแหน่งสำหรับกระเบื้องมีลาย

3.6.7 การรายงานผล รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยของมอดูลัสแตกหัก

3.7 ความหนาแน่นปรากฏ

3.7.1 เครื่องมือ

(1) เตาอบ ที่ถ่ายเทอากาศและควบคุมอุณหภูมิได้ 100 ถึง 105 องศาเซลเซียส เมื่อมีขึ้นทดสอบเต็มอัตรา

(2) เครื่องชั่ง มีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 0.1 % ของมวลที่ชั่ง

3.7.2 การเตรียมขึ้นทดสอบ

นำกระเบื้องตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบตามข้อ 3.6 ความต้านทานแรงดัดแล้ว มาใช้ เป็นขึ้นทดสอบโดยก่อนทดสอบให้แช่ขึ้นทดสอบในน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ยกเว้นขึ้นทดสอบหนาเกิน

20 มิลลิเมตร ให้แช่น้ำเป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำมาทดสอบทันที

3.7.3 วิธีทดสอบ

(1) การหาปริมาตร

นำขึ้นทดสอบที่มีน้ำอิมมัวแล้วไปชั่งในอากาศและชั่งในน้ำ หาน้ำหนักที่หายไปในน้ำซึ่งสมนัยกับปริมาตรของน้ำที่ขึ้นทดสอบแทนที่ (v)

(2) การหามวล (m)

อบขึ้นทดสอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 100 ถึง 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วนำมาชั่ง

3.7.4 วิธีคำนวณ

คำนวณหาความหนาแน่น เป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จากสมการ

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{m}{v}$$

เมื่อ	m	คือ	มวลของขึ้นทดสอบหลังจากอบแห้ง, หน่วยเป็น กรัม
	v	คือ	ปริมาตรของขึ้นทดสอบ, หน่วยเป็น ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.8 ความต้านการร้าวซึม

3.8.1 เครื่องมือ

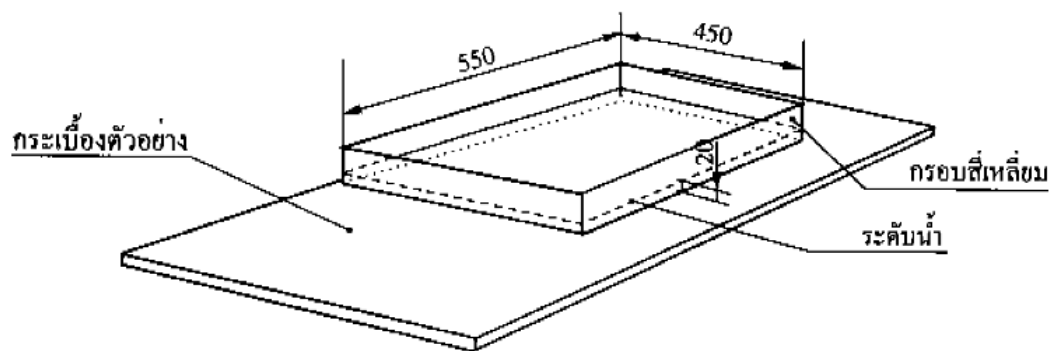
กรอบสี่เหลี่ยม ยาว 550 มิลลิเมตร และกว้าง 450 มิลลิเมตร

3.8.2 การเตรียมตัวอย่าง

ปรับสภาวะกระเบื้องตัวอย่างโดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 7 วัน

3.8.3 วิธีการทดสอบ

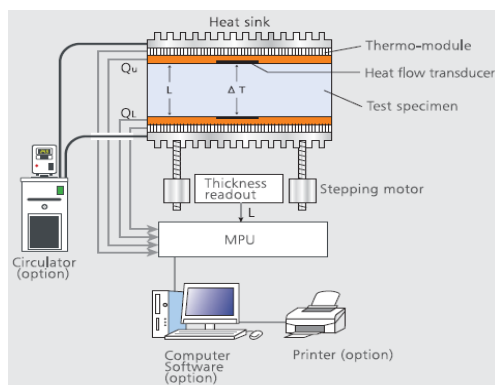
นำกรอบสี่เหลี่ยมวางบนกระเบื้องตัวอย่างซึ่งวางบนที่รับ 2 ข้างขนานกันอยู่ตรงตำแหน่ง ห่างจากขอบของกระเบื้องตัวอย่างพอสมควร ยึดตามแนวสัมผัสเพื่อไม่ให้น้ำรั่วได้ ใส่ น้ำในกรอบให้มีระดับ ความสูงคงที่เท่ากับ 20 มิลลิเมตรจากผิวบนของ กระเบื้องตัวอย่างเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตามภาพที่ 23 แล้ว ตรวจสอบผิวด้านล่างของตัวอย่าง



ภาพที่ 23 วิธีการทดสอบการต้านการรั่วซึม

2.7 การทดสอบสมบัติด้านความร้อน

โดยทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของกระเบื้องมุงหลังคาซีเมนต์เส้นใยปาล์มน้ำมันผสม เศษยางรถยนต์ ตามมาตรฐาน ASTM C-518 ดังภาพที่ 24



(ก)

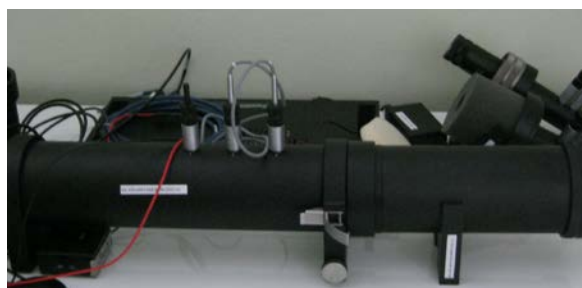
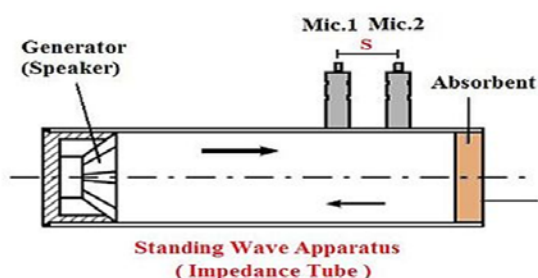


(ข)

ภาพที่ 24 เครื่องทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

2.8 การทดสอบสมบัติด้านการดูดซับเสียงของ

โดยทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของกระเบื้องมุงหลังคาซีเมนต์เส้นใยปาล์มน้ำมันผสม เศษยางรถยนต์ ตามมาตรฐาน ISO 10534-2 ดังภาพที่ 25



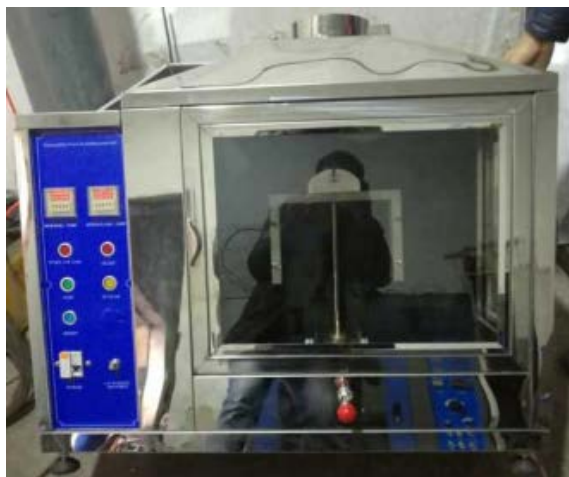
(ก)

(ข)

ภาพที่ 25 เครื่องทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

2.9 การทดสอบการลามไฟของวัสดุ

โดยทดสอบการลามไฟของวัสดุประกอบอาคาร ตามมาตรฐาน 11925-2:2002E “Building Materials Flammability Test Methods” DIN 53483, DIN 4102-1 ดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 การทดสอบการลามไฟของวัสดุ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

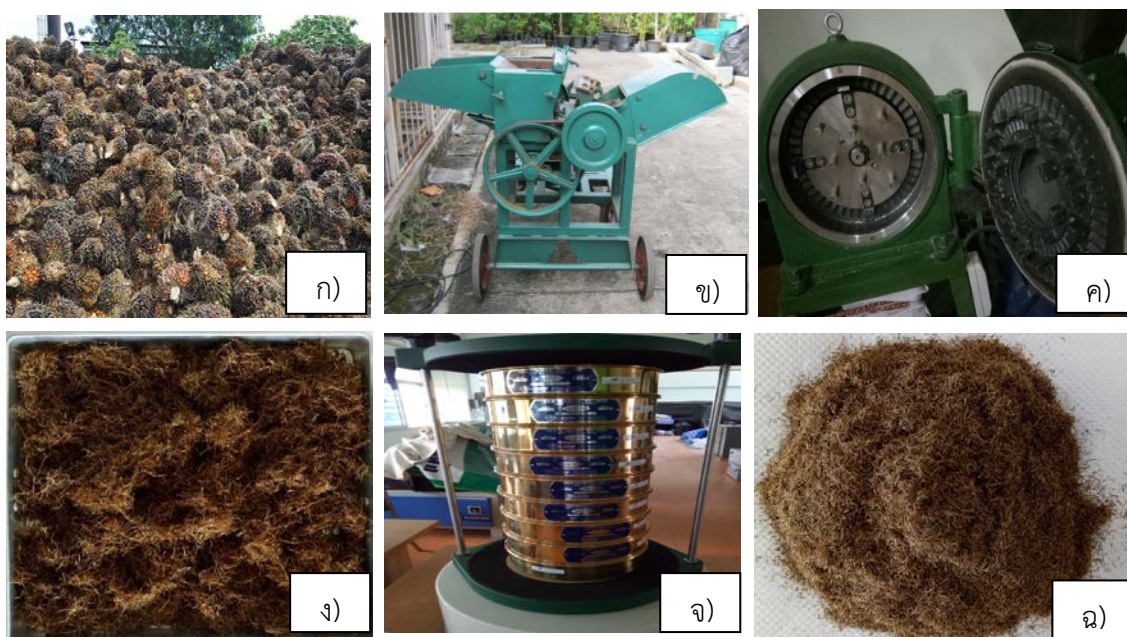
การดำเนินการวิจัยของโครงการนี้ คือการศึกษาและทดลองผลิตวัสดุต้นแบบกระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติผสมเศษยางรถยนต์ และทดสอบวัสดุต้นแบบตามมาตรฐานอุตสาหกรรมกระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยแผ่นเรียบ มอก. 1407-2540 นต์เส้นใยแบบเรียบ เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกใหม่ ๆ ในเชิงพาณิชย์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. การเตรียมวัตถุดิบเพื่อใช้เป็นวัสดุผสมในซีเมนต์

1.1 เส้นใยธรรมชาติจากทะเลสาปาล์มเหลือทิ้ง

ทำการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยวิธีทางชีวภาพ เพื่อให้สามารถผสมเข้ากับสารละลายซีเมนต์ได้ดีกว่าไม่ปรับปรุงผิว โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ คือ

1.1.1 นำทะเลสาปาล์ม (ก) มาทำความสะอาดด้วยน้ำเพื่อชำระล้างฝุ่น คราบสกปรกต่างๆ ออกจากทะเลสาปาล์มแล้วนำไปตากแดดให้แห้ง หรือ นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปบดย่อยด้วยเครื่องสับบดทะเลสาปาล์ม (ข), (ค) แล้วนำมาร่อนคัดขนาดด้วยเครื่องร่อนแยกขนาด (sieve shaker, ง) ที่ความยาวเส้นใยประมาณ 10 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.595 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 27



ภาพที่ 27 ภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมเส้นใยปาล์มด้วยวิธีทางกล

1.1.2 นำเส้นใยปาล์มที่ผ่านการร่อนแยกขนาดแล้วไปแช่ในสารละลายของแบคทีเรียวัณมะพร้าวที่อัตราส่วน 1 ส่วนในน้ำ 100 ส่วน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ก)

1.1.3 หลังจากนั้นทำการล้างเส้นใยด้วยน้ำสะอาด (ข) นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วใช้เป็นวัตถุดิบในการผสมในซีเมนต์เพื่อเสริมแรง



(ก)



(ข)

ภาพที่ 28 ภาพแสดงขั้นตอนการปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มด้วยสารละลายแบคทีเรียวันมะพร้าว

1.2 เศษยางรถยนต์

ทำการปรับปรุงผิวเศษยางรถยนต์ด้วยวิธีทางเคมี เพื่อใช้เป็นวัสดุผสมรวมในการผสมเข้ากับสารละลาย ซีเมนต์ได้ดีกว่าไม่ปรับปรุงผิว โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ คือ

1.2.1 เลือกใช้เศษยางรถยนต์ขนาด 0.595 มิลลิเมตร หรือ 30 mesh มาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 1% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

1.2.2 หลังจากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำสะอาด แล้วนำมาแช่ในสารละลายโปตัสเซียมเปอร์มันกานेट หรือต่างทับทิมที่ความเข้มข้น 5% ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ขณะเกิดปฏิกิริยาต้องควบคุมอุณหภูมิ และควบคุมค่าความเป็นกรด - ด่าง ให้อยู่ในช่วง pH 2-3 โดยเลือกใช้กรดซัลฟริกที่ความเข้มข้น 6 โมล คอยเติมจนครบตามเวลา แล้วนำมาล้างด้วยน้ำสะอาด

1.2.3 นำเศษยางรถยนต์ที่ล้างด้วยน้ำสะอาดแล้ว มาแช่ในสารละลาย 1% โซเดียมลอเรทซัลเฟต ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำมาล้างด้วยน้ำสะอาด นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วใช้เป็นวัสดุผสมรวมในการผสมต่อไป

2 กระบวนการผสมเพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นผลิตภัณฑ์ต้นแบบชนิดแผ่นเรียบ

2.1 สูตรการผสม

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบสูตรผสมเพื่อนำไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ออกเป็น 4 ประเภท คือ

2.1.1 ชุดซีเมนต์ควบคุม (CC)

2.1.2 ชุดซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติ (CF) โดยใช้ปริมาณเส้นใย 5% และ 10% โดยน้ำหนัก

2.1.3 ชุดซีเมนต์ผสมเศษยางรถยนต์ (CR) โดยใช้ปริมาณยาง 10%, 20%, 30%, 40% และ 50% โดยน้ำหนัก

2.1.4 ขุดซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติและเศษยาง (CFR) โดยเลือกใช้ปริมาณเส้นใย 10% และ เศษยาง 50% ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 สูตรผสมเพื่อขึ้นรูปผลิตภัณฑ์กระเบื้องหลังคาแผ่นเรียบ

สูตรการผสม	ปริมาณ (ส่วนโดยน้ำหนัก, กรัม)			
	ซีเมนต์	เส้นใย	เศษยาง	น้ำ (w/c 0.5)
1.ขุดซีเมนต์ควบคุม (CC)	500	-	-	250
2.ขุดซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติ (CF5%)	500	25	-	250
3.ขุดซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติ (CF10%)	500	50	-	250
4.ขุดซีเมนต์ผสมเศษยางรถยนต์ (CR10%)	500	-	50	250
5.ขุดซีเมนต์ผสมเศษยางรถยนต์ (CR20%)	500	-	100	250
6.ขุดซีเมนต์ผสมเศษยางรถยนต์ (CR30%)			150	250
7.ขุดซีเมนต์ผสมเศษยางรถยนต์ (CR40%)			200	250
8.ขุดซีเมนต์ผสมเศษยางรถยนต์ (CR50%)			250	250
9.ขุดซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติและเศษยาง (CF10%R50%)	500	25	250	250

2.2 กระบวนการผสม

สูตรการผสมแต่ละสูตรใช้ขั้นตอนดังนี้

2.1.1 ชั่งเศษยางรถยนต์ปริมาณดังในตารางใส่ลงหม้อผสม เดินเครื่องผสมที่ความเร็วรอบต่ำสุด เพื่อคลุกเคล้าวัสดุในหม้อผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 1 นาที

2.1.2 เติมน้ำในสัดส่วนปริมาณ $\frac{1}{2}$ ของปริมาณที่ใช้ใส่ลงในหม้อผสมขณะเดินเครื่องโดยเทลงในหม้อช้าๆ กวนเครื่องผสมต่อเป็นเวลา 1 นาที

2.1.3 ชั่งเส้นใยปริมาณดังในตารางค่อยๆ ใส่ลงหม้อผสม ขณะที่เดินเครื่องผสม และเติมน้ำที่เหลือลงในหม้อผสมช้าๆ กวนเครื่องผสมต่อเป็นเวลา 2 นาที

2.1.4 ชั่งซีเมนต์ปริมาณดังในตารางใส่ลงหม้อผสมขณะเดินเครื่องช้าๆจนหมด กวนเครื่องผสมต่อเป็นเวลา 5 นาที ขณะกวนผสมต้องคอยกวาดขอบหม้อผสมให้ส่วนผสมที่กระเด็นติดขอบกลับไปผสมให้เข้ากันจนครบเวลา ดังแสดงในภาพ 28 (ก)

2.1.5 เทส่วนผสมที่เข้ากันแล้วลงในแบบหล่อตัวอย่างชนิดอะคริลิก รูปแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร หนา 1.0 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพ 28 (ข) ทำการเขย่าไล่ฟองอากาศก่อนนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 – 48 ชั่วโมง สังเกตจากการแข็งตัวของตัวอย่าง เพื่อสามารถแกะออกจากแบบหล่อได้โดยไม่แตกหัก

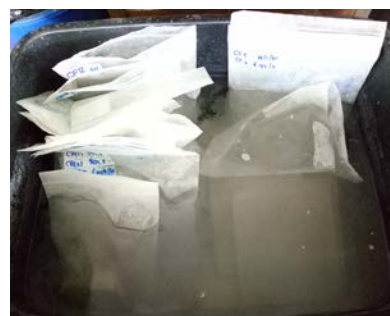
2.1.6 เมื่อครบเวลาที่สามารถแกะแบบได้แล้ว ให้ทำการแกะตัวอย่างออกจากแบบแล้วนำไปบ่มต่อในน้ำสะอาด จนครบเวลา 28 วัน (ภาพ 28 (ค)) ก่อนทำการทดสอบทางด้านคุณสมบัติต่างๆตามมาตรฐาน มอก.



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 29 ภาพแสดงขั้นตอนการผสมในเครื่องผสม (ก), เทแบบ (ข), บ่มตัวอย่างในน้ำ 28 วัน (ค)

3. การทดสอบสมบัติของผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

อ้างอิงการทดสอบสมบัติตาม มอก. 1427-2540 กระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยชนิดแผ่นเรียบ

ตารางที่ 12 การทดสอบผลิตภัณฑ์ต้นแบบของกระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติผสมเศษยางรถยนต์

สมบัติที่ทดสอบ	มาตรฐานที่ใช้/วิธี	ขนาด/ลักษณะชิ้นงาน
ความหนาแน่น Density	- มอก. 1427-2540 - เวอร์เนียคาลิเปอร์, ความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร - เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง ความละเอียด 0.01 กรัม	ขนาด 20X20x1 ลบ.ซม.
ค่าการดูดซึมน้ำ Water absorption	- มอก. 1427-2540 - เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง ความละเอียด 0.01 กรัม	ขนาด 20X20x1 ลบ.ซม.
สมบัติการต้านทานแรงดัด Flexural strength	- มาตรฐาน ASTM C293 - Universal testing machine	ขนาด 20X20x1 ลบ.ซม.
ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน Thermal conductivity	- มาตรฐาน ASTM C518 - Thermal conductivity meter	ขนาด 20X20x1 ลบ.ซม.
ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง Sound absorption coefficient	- มาตรฐาน ISO 10543 - Acoustic testing material	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.8 ซม. และ 2.9 ซม.
ค่าการลามไฟของวัสดุอาคาร Building Materials Flammability Test	- มาตรฐาน 11925-2:2002E, DIN 53483, DIN 4102-1	-

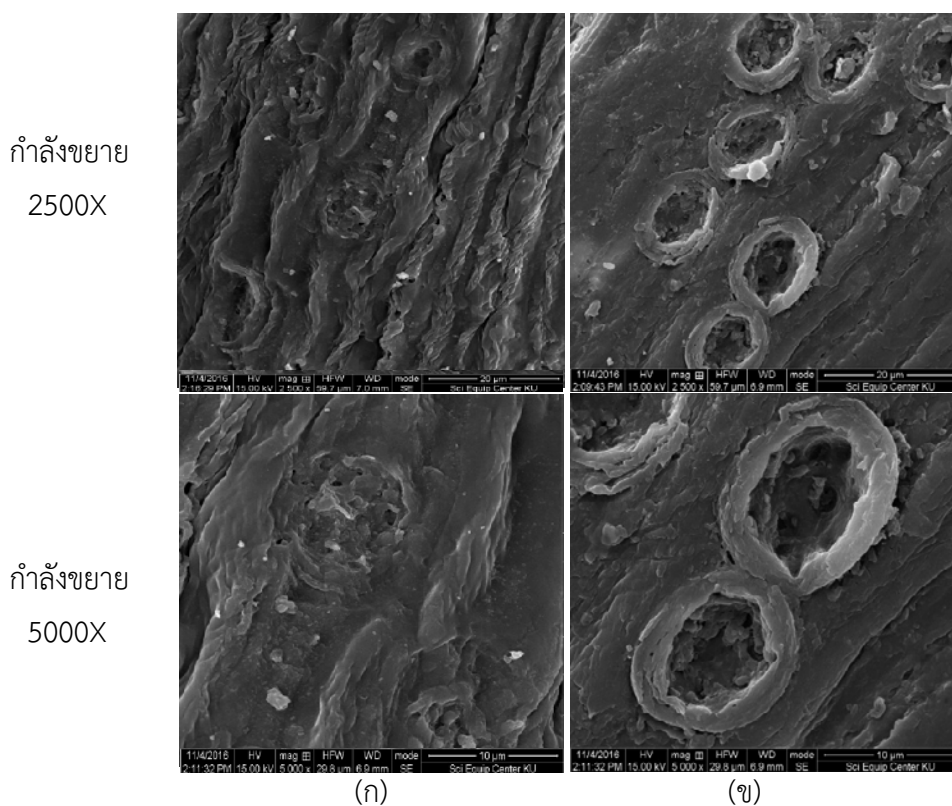
บทที่ 4

ผลการดำเนินการวิจัย

4.1 ผลจากการเตรียมวัตถุดิบเพื่อใช้เป็นวัสดุผสมในซีเมนต์

4.1.1 ผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยวิธีทางชีวภาพ

เมื่อทำการศึกษาลักษณะผิวของเส้นใยหลังการปรับปรุงผิวแล้วด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าเส้นใยที่ถูกปรับปรุงผิวจะถูกเคลือบด้วยเซลลูโลสจากแบคทีเรียวันมะพร้าว ดังภาพที่ 29 (ก) ทำให้เส้นใยมีความเรียบกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงผิว (ภาพที่ 29 (ข))

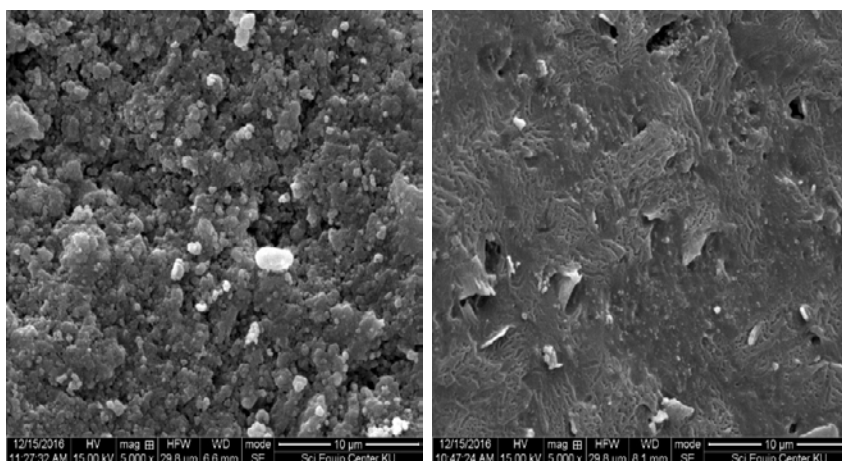


ภาพที่ 30 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงลักษณะผิวของเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิว (ก) และ (ข) ไม่ได้ปรับปรุงผิว ที่กำลังขยาย 2500x และ 5000x

เมื่อทำการผสมกับสารละลายซีเมนต์ จะพบว่าเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิวสามารถที่จะผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีกว่าและใช้ปริมาณมากกว่า เส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวเพราะเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวจะดูดน้ำเข้าไปตามช่องอากาศของเส้นใย ซึ่งทำให้ซีเมนต์ถูกแย่งน้ำ จึงทำให้สูตรผสมไม่สามารถแข็งตัว เนื่องจากไม่มีน้ำเพียงพอให้ซีเมนต์เกิดปฏิกิริยา

4.1.2 ผลจากการปรับปรุงผิวเศษยางรถยนต์ด้วยวิธีทางเคมี

ทำการศึกษาลักษณะผิวเศษยางรถยนต์หลังการปรับปรุงด้วยวิธีทางเคมีด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าผิวของเศษยางรถยนต์หลังการปรับปรุงผิวมีความหยาบมากกว่าผิวของเศษยางรถยนต์ที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงผิว เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยากับสารละลายซีเมนต์ ทำให้ส่วนผสมระหว่างซีเมนต์กับเศษยางเข้ากันได้ดีกว่า ในขณะที่ถ้านำเศษยางรถยนต์ที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงผิวมาผสมกับซีเมนต์จะพบว่าการจับกันเป็นก้อนๆ ดังภาพที่ 30



(ก)

(ข)

ภาพที่ 31 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงลักษณะผิวของเศษยางรถยนต์ที่ผ่านการปรับปรุงผิว (ก) และ (ข) ไม่ได้ปรับปรุงผิว ที่กำลังขยาย 50000x

4.1.3 ผลจากกระบวนการผสมตามสูตร

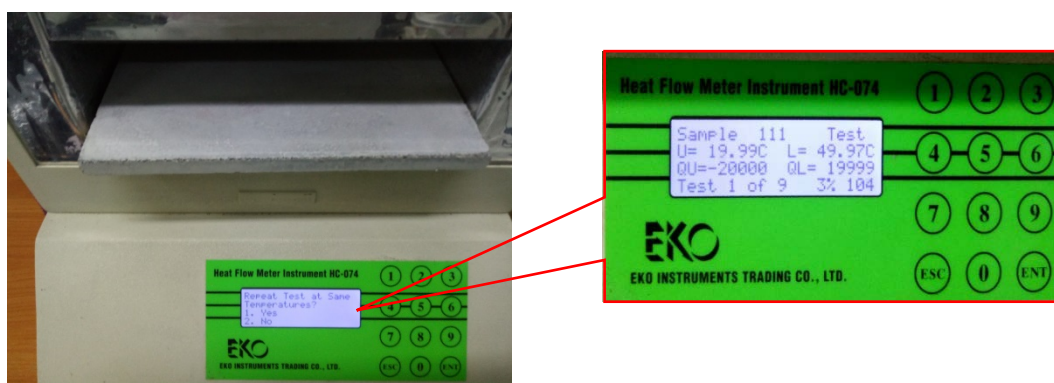
จากกระบวนการผสมตามสูตรที่ต้องการศึกษาเบื้องต้น จะได้ผลิตภัณฑ์ต้นแบบทั้งหมด 9 สูตรผสม

4.1.3.1 ผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity)

โดยเบื้องต้นได้ทำการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของผลิตภัณฑ์ต้นแบบทั้งหมด 9 สูตรผสมก่อน ด้วยเครื่อง Thermal conductivity meter รุ่น HC-074 ยี่ห้อ EKO Instruments ผลิตภัณฑ์ประเทศญี่ปุ่น ตามมาตรฐาน ASTM C518 เพื่อเลือกค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่มีค่าน้อยที่สุด ในการพัฒนาเป็นกระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติผสมเศษยางรถยนต์ ที่มีสมบัติต้านกันความร้อน หรือสมบัติของความเป็นฉนวนในตัวผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ได้จากการทดสอบ โดยเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดสอบเทียบกับ ชนิดของวัสดุ และปริมาณของวัสดุแต่ละชนิดที่แตกต่างกันตามสูตรผสมที่ได้กำหนดไว้ในการศึกษา พบว่าค่าที่ได้จากการทดสอบเป็นดังนี้ คือ

ตารางที่ 13 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (uncertainty at 90% confident)

ชุดตัวอย่าง	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน K (W/m.K)
1.ชุดซีเมนต์ควมคุม (CC)	0.9270 ± 0.005
2.ชุดซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติ (CF5%)	0.8820 ± 0.005
3.ชุดซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติ (CF10%)	0.5429 ± 0.005
4.ชุดซีเมนต์ผสมเศษยางรถยนต์ (CR10%)	0.9114 ± 0.005
5.ชุดซีเมนต์ผสมเศษยางรถยนต์ (CR20%)	0.8916 ± 0.005
6.ชุดซีเมนต์ผสมเศษยางรถยนต์ (CR30%)	0.8478 ± 0.005
7.ชุดซีเมนต์ผสมเศษยางรถยนต์ (CR40%)	0.7850 ± 0.005
8.ชุดซีเมนต์ผสมเศษยางรถยนต์ (CR50%)	0.5860 ± 0.005
9.ชุดซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติและเศษยาง (CF10%R50%)	0.2308 ± 0.005



ภาพที่ 32 ภาพการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนด้วยเครื่อง Thermal conductivity meter รุ่น HC-074 ยี่ห้อ EKO Instruments ผลิตภัณท์ประเทศญี่ปุ่น ตามมาตรฐาน ASTM C518

จากผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนในตารางที่ 13 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของชุดซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติและเศษยาง (CF10%R50%) มีค่า 0.2308 ± 0.005 W/m.K ซึ่งเป็นค่าต่ำที่สุด รองลงมาคือ ชุดซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติ (CF10%) และ ชุดซีเมนต์ผสมเศษยางรถยนต์ (CR50%) มีค่า 0.5429 ± 0.005 W/m.K และ 0.5860 ± 0.005 W/m.K ตามลำดับ ส่วนชุดซีเมนต์ตัวอย่างสูตรอื่นๆ มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนใกล้เคียง และ/หรือ ไม่แตกต่างจาก ชุดซีเมนต์ควบคุม (CC)

จากผลการทดลองข้างต้น จึงเลือกนำตัวอย่างชุดซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติและเศษยาง (CF10%R50%) ชุดซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติ (CF10%) และ ชุดซีเมนต์ผสมเศษยางรถยนต์ (CR50%) มาพัฒนาและศึกษาต่อด้านสมบัติทางกล และสมบัติทางด้านอื่นๆที่มีประโยชน์ต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบเพื่อนำไปใช้ในงานด้านอาคารประหยัดพลังงาน หรืออาคารเขียวตามวัตถุประสงค์ในการศึกษา และปริมาณที่ใช้วัสดุเสริมแรงชนิดเส้นใยธรรมชาติ และ วัสดุผสมรวมเศษยางรถยนต์ในปริมาณที่มากที่สุดที่สามารถขึ้นรูปได้

4.1.3.2 ผลการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ (Water absorption test)

จากการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำของผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐาน มอก.1427-2540 ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 14



ภาพที่ 33 ภาพการทดสอบการดูดซึมน้ำ

ชุดตัวอย่าง	ค่าการดูดซึมน้ำ คิดเป็น % ที่เวลา 24 ชั่วโมง
1.ชุดซีเมนต์ควมคุม (CC)	0.93 ± 0.05
3.ชุดซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติ (CF10%)	13.5 ± 0.05
8.ชุดซีเมนต์ผสมเศษยางรถยนต์ (CR50%)	1.19 ± 0.05
9.ชุดซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติและเศษยาง (CF10%R50%)	1.93 ± 0.05

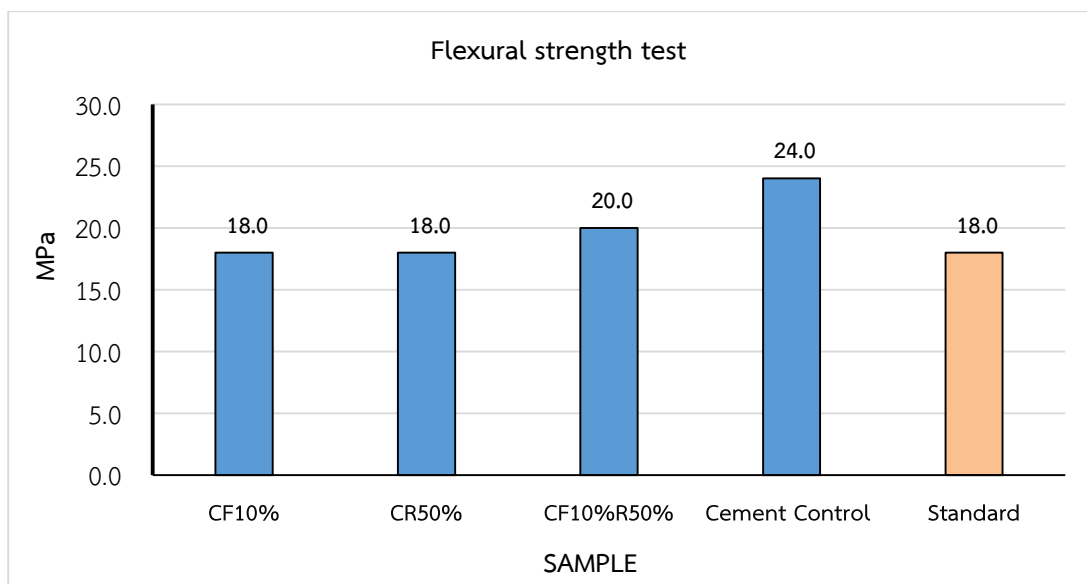
ตารางที่ 14 ผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ (uncertainty at 90% confident)

จากผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ โดยคิดเป็น % ที่เวลา 24 ชั่วโมง ตามตารางที่ 14 พบว่า ชุดซีเมนต์ควมคุม (CC) มีค่าน้อยที่สุด รองลงมาคือ ชุดซีเมนต์ผสมเศษยางรถยนต์ (CR50%) ชุดซีเมนต์ผสมเส้นใย

ธรรมชาติและเศษยาง (CF10%R50%) และชุดซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติ (CF10%) ตามลำดับ จากผลการทดสอบนี้ พบว่า CR50% และ CF10%R50% ผ่านมาตรฐานที่ 5% ในขณะที่ CF10% มีค่าสูงเกินมาตรฐาน

4.1.3.3 ผลการทดสอบค่าการต้านทานแรงดัด (Flexural strength test)

จากผลการทดสอบค่าการต้านทานแรงดัด รุ่น CY-6040A4 ยี่ห้อ Chun Yen Testing Machine ผลิตภัณฑ์ประเทศไต้หวัน ตามมาตรฐาน ASTM C293 ดังแสดงในรูปที่ 33 พบว่า ชุดซีเมนต์ควบคุม (CC) มีค่าการต้านทานแรงดัดมากที่สุด คือ 24.0 MPa รองลงมาคือ CF10%R50% มีค่า 20 MPa และ CR50% กับ CF10% มีค่าเท่ากันที่ 18.0 MPa ตามลำดับ จากผลการทดสอบนี้ แสดงให้เห็นว่าการใส่วัสดุเสริมแรงประเภทเส้นใยธรรมชาติและวัสดุมวลรวมเศษยางรถยนต์ลงในผลิตภัณฑ์ซีเมนต์ทั้งสองชนิด มีส่วนช่วยให้ค่าการต้านทานแรงดัด มีค่ามากกว่าการใส่วัสดุอย่างใดอย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียว แต่อย่างไรก็ตามจากการทดสอบค่าการต้านทานแรงดัดของชุดตัวอย่างทั้งหมด ยังพบอีกว่าค่าที่ได้ผ่านมาตรฐานที่กำหนด ตาม มอก. 1427-2540



ภาพที่ 34 กราฟแสดงค่าการต้านทานแรงดัดของชุดตัวอย่าง

4.1.3.4 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่น (Density test)

จากผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของชุดตัวอย่างโดยเปรียบเทียบกับ ชุดควบคุม ทำให้เห็นว่า ชุดตัวอย่างที่ได้ใส่วัสดุเสริมแรงเส้นใยธรรมชาติและวัสดุมวลรวมเศษยางรถยนต์ จะมีความหนาแน่นน้อยกว่า ชุดควบคุม ทุกสูตรผสม โดย CF10% มีความหนาแน่นน้อยกว่าถึง 53.30% ในขณะที่ CR50% และ CF10%R50%มีค่าความหนาแน่นน้อยกว่าในระดับ 18.77% และ 20.50% ตามลำดับ

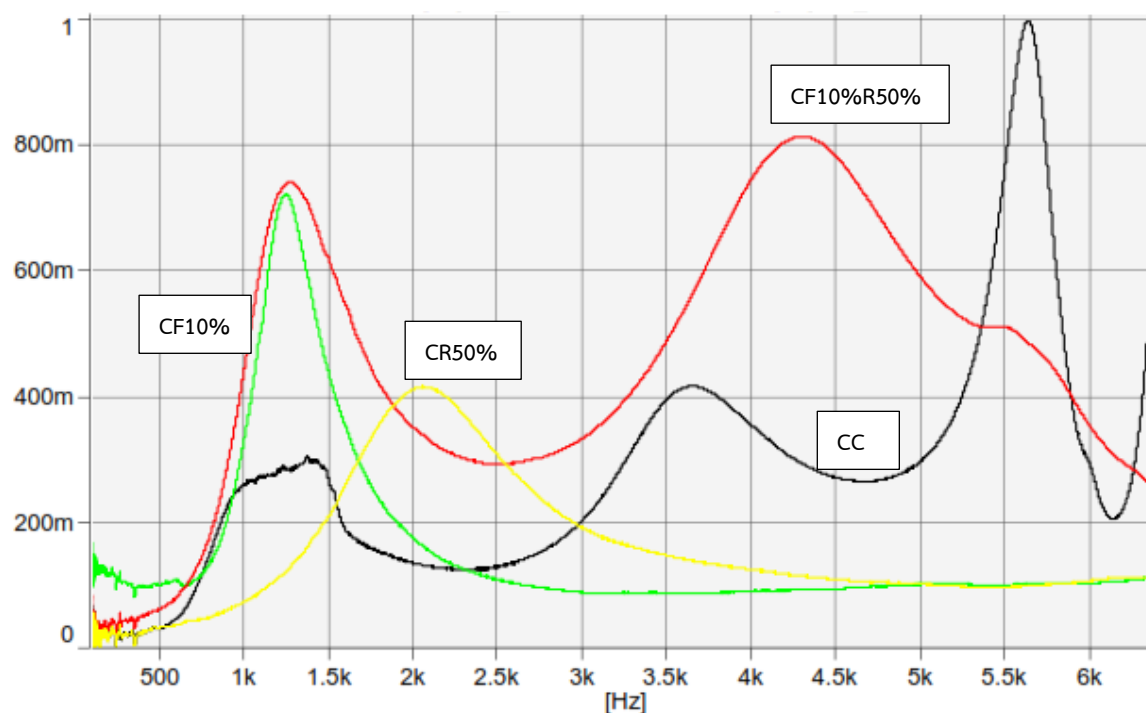
ตารางที่ 15 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่น (uncertainty at 90% confident)

ชุดตัวอย่าง	ค่าความหนาแน่น (kg/m^3)
1.ชุดซีเมนต์ควบคุม (CC)	$1,954.90 \pm 0.08$
3.ชุดซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติ (CF10%)	912.95 ± 0.08
8.ชุดซีเมนต์ผสมเศษยางรถยนต์ (CR50%)	$1,587.91 \pm 0.08$
9.ชุดซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติและเศษยาง (CF10%R50%)	$1,554.03 \pm 0.08$

4.1.3.5 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง (Sound absorption coefficient)

จากผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของชุดตัวอย่าง ด้วยเครื่อง Acoustic testing machine รุ่น Type 4206 ยี่ห้อ Bruel & Kjaer ผลิตกันที่ประเทศเดนมาร์ก ตามมาตรฐาน ISO 10534-2 โดยการทดสอบตั้งแต่ ช่วงความถี่ 50Hz – 6400Hz ได้ผลการทดสอบดังนี้

Sound absorption coefficient



ภาพที่ 35 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของชุดตัวอย่าง

ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงเป็นดัชนีที่บ่งชี้ถึงความสามารถในการดูดซับเสียงของวัสดุที่ระดับความถี่ต่างๆ ในงานวิจัยนี้ทดสอบตลอดทุกช่วงของความถี่ตั้งแต่ 50 Hz ถึง 6400 Hz ช่วงการวัดในช่วง 0 – 1 ถ้าวัสดุมีค่า เท่ากับ 0 แสดงว่าวัสดุสะท้อนหมด ถ้าค่าเท่ากับ 1 0 แสดงว่าวัสดุมีความสามารถในการดูดซับได้ 100% ตัวอย่างเช่น วัสดุชนิดหนึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง เท่ากับ 0.8 แสดงว่าวัสดุมีความสามารถในการดูดซับเสียงได้ 80% หรือในทางการตลาดจะคำนวณหาค่าเฉลี่ยในทุกช่วงกลางของแต่ละความถี่ (octave band) เป็นค่า NRC (Noise reduction coefficient) ซึ่งค่าที่เหมาะสมสำหรับเป็นวัสดุดูดซับเสียงคือ **0.4**

จากกราฟแสดงผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง พบว่า ชุดซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติและเศษยาง (CF10%R50%) มีความสามารถในการดูดซับเสียงดีที่สุด เมื่อเทียบกับ ชุดตัวอย่างสูตรอื่น และเมื่อคำนวณค่าทางการค้า (NRC) ดังตารางที่ 16 ปรากฏว่าค่า NRC ของสูตร CF10%R50% มีค่าเท่ากับ 0.321 ซึ่งเทียบเท่ากับความสามารถในการดูดซับเสียงได้ถึง 32.10% ซึ่งใกล้เคียงกับค่าทางการค้ามากที่สุด คือ พรหมบนพื้นคอนกรีต ซึ่งมีค่า NRC เท่ากับ 0.29 (ภาพที่ 35)

ตารางที่ 16 ผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่น (uncertainty at 90% confident)

Sample Type	Sound Absorption Coefficient (%) & Noise Reduction Coefficient (NRC)					AVERAGE/NRC.*
	250 Hz.	500 Hz.	1000 Hz.	2000 Hz.	4000 Hz	
CC	1.737%	2.907%	25.826%	13.315%	35.146%	15.785/ 0.157
CF10%	10.823%	9.878%	33.545%	17.120%	8.954%	16.064/ 0.161
CR50%	1.585%	3.122%	7.272%	40.906%	12.258%	13.029/ 0.131
CF10%R50%	3.188%	6.054%	44.637%	34.772%	74.373%	32.065/ 0.321

Materials	Frequency (Hz)						NRC
	125	250	500	1000	2000	4000	
คอนกรีต	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
แผ่นอิฐฉาบฉวย	0.29	0.10	0.05	0.04	0.07	0.09	0.07
ไม้	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07	0.09
แผ่นไม้อัดหนา 10 มม	0.28	0.22	0.17	0.09	0.10	0.11	0.15
กระจก	0.35	0.25	0.18	0.12	0.08	0.04	0.16
พรมบนพื้นคอนกรีต	0.02	0.06	0.14	0.37	0.60	0.66	0.29
แผ่นโฟมโพลียูรีเทน 12mm	0.05	0.12	0.25	0.57	0.89	0.98	0.46
ฉนวนใยแก้ว 160K 25mm	0.09	0.30	0.80	1.12	1.01	0.79	0.80

ภาพที่ 36 ภาพแสดงค่า NRC ของ วัสดุทางการค้า

4.1.3.6 ผลการทดสอบการลามไฟของวัสดุ

จากผลการทดสอบการลามไฟของวัสดุของชุดตัวอย่าง ด้วยเครื่อง Building materials flammability test furnace รุ่น HST-2 ยี่ห้อ Kason Testing ผลิตภัณฑ์ประเทศไต้หวัน ตามมาตรฐาน 11925-2:2002E “Building Materials Flammability Test Methods” DIN 53483, DIN 4102-1 พบว่า ชุดตัวอย่างทุกสูตร การผสมไม่ลามไฟ ทุกช่วงเวลาการทดสอบ

ตารางที่ 17 ผลการทดสอบการลามไฟของวัสดุ

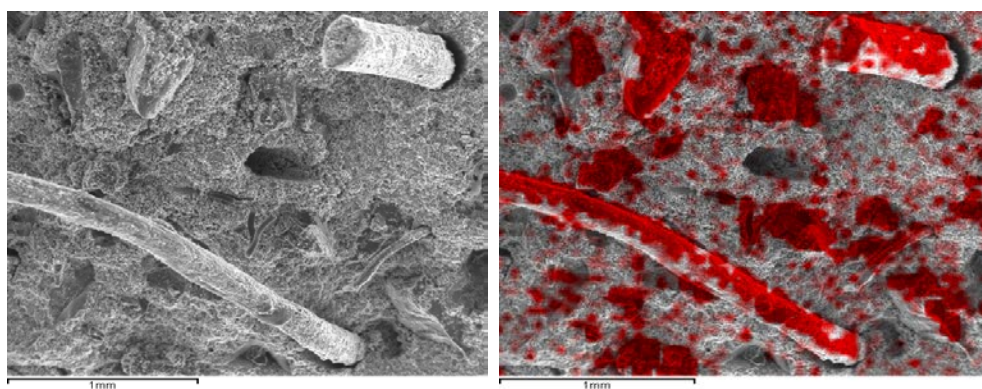
ชุดตัวอย่าง	การลามไฟ	
	3 sec	5 sec
1.ชุดซีเมนต์ควบคุม (CC)	NO	NO
3.ชุดซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติ (CF10%)	NO	NO
8.ชุดซีเมนต์ผสมเศษยางรถยนต์ (CR50%)	NO	NO
9.ชุดซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติและเศษยาง (CF10%R50%)	NO	NO



ภาพที่ 37 ภาพแสดงการทดสอบการลามไฟของวัสดุ

4.1.3.7 ผลการศึกษาในด้านกระบวนการผสมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ทำการศึกษาลักษณะภายในชุดตัวอย่างซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติและเศษยาง (CF10%CR50%) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าการผสมของวัสดุเสริมแรงเส้นใยธรรมชาติและวัสดุมวลรวมเศษยางรถยนต์ในซีเมนต์มีความเข้ากันได้ดี



ภาพที่ 38: ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงลักษณะการกระจายตัวของวัสดุเสริมแรงเส้นใยธรรมชาติและวัสดุมวลรวมเศษยางรถยนต์ในชุดตัวอย่างที่กำลังขยาย 2500x

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินการวิจัย

โครงการวิจัยนี้สามารถศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบกระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติผสมกับเศษยางรถยนต์ชนิดแผ่นเรียบ โดยประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก ขั้นตอนแรกเป็นส่วนของการเตรียมวัตถุดิบในการผสมกับซีเมนต์ ประกอบด้วยการปรับปรุงผิววัสดุเสริมแรงประเภทเส้นใยธรรมชาติด้วยวิธีทางชีวภาพและวัสดุมวลรวมเศษยางรถยนต์ด้วยวิธีทางเคมี ซึ่งจากการปรับปรุงผิวของวัสดุทั้ง 2 ชนิด ทำให้ส่วนประกอบในการผสมเข้ากันได้เป็นอย่างดี มากกว่าการไม่ปรับปรุงผิว เพราะโดยปกติวัสดุเสริมแรงประเภทเส้นใยจะเป็นส่วนที่ขบ น้ำดังนั้นเมื่อผสมกับซีเมนต์จะดูดน้ำ หรือ แยกน้ำจากซีเมนต์ทำให้ซีเมนต์ไม่เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน คือซีเมนต์จะไม่แข็งตัวดังนั้นการปรับปรุงผิวของเส้นใยคือการปิดช่องอากาศบนผิวเส้นใยเพื่อป้องกันไม่ให้เส้นใยแยกน้ำจากซีเมนต์ในขณะทำการปรับปรุงผิววัสดุมวลรวมเศษยางรถยนต์ด้วยวิธีทางเคมี ช่วยทำให้เศษยางรถยนต์ลดแรงดึงผิวที่มีต่อน้ำ ดังนั้นเมื่อผสมเข้ากับซีเมนต์ โดยปกติเศษยางรถยนต์จะลอยอยู่ด้านบน เมื่อได้ทำการการปรับปรุงผิวแล้วทำให้เศษยางรถยนต์ผสมเข้ากับซีเมนต์ได้ดีกว่า ส่วนในขั้นตอนที่สองเป็นการทดลองสูตรการผสมเพื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบกระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติผสมกับเศษยางรถยนต์ชนิดแผ่นเรียบ โดยได้ทำสูตรผสมทั้งหมด 9 สูตรการผสม คือ โดยใช้อัตราส่วนของเส้นใยธรรมชาติที่ปรับปรุงผิวด้วยวิธีทางชีวภาพ 5% และ 10% ต่อน้ำหนักซีเมนต์เพื่อช่วยสมบัติในด้านการเสริมแรงและสมบัติด้านกันความร้อน ในขณะที่ใช้เศษยางรถยนต์ที่ปรับปรุงผิวด้วยวิธีทางเคมีแทนวัสดุมวลรวมในอัตราส่วน 10%, 20%, 30%, 40% และ 50% ตามลำดับ ต่อน้ำหนักซีเมนต์ โดยเศษยางรถยนต์จะช่วยเสริมสมบัติทางด้านกันความร้อนและกันเสียง อีกทั้งลดน้ำหนักโดยรวมของผลิตภัณฑ์ให้น้อยลง ถ้าเทียบกับการใช้มวลรวมแบบเดิม ประเภททราย และใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) 0.5 พบว่า สูตรการผสมที่ใช้ ซีเมนต์ : เส้นใย : เศษยางรถยนต์ ที่อัตราส่วน 1:0.1:0.5 มีสมบัติที่เหมาะสมที่สุดในการจะนำไปผลิตกระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติผสมกับเศษยางรถยนต์ชนิดแผ่นเรียบ ด้วยสมบัติที่ดีในด้านกันความร้อน และกันเสียง พร้อมด้วยสมบัติทางกายภาพ และทางกลที่ผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 1427-2540 ในด้านต้นทุนการผลิต กระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติผสมกับเศษยางรถยนต์ชนิดแผ่นเรียบ ใช้วัตถุดิบจากของเหลือทิ้งทางการเกษตรในส่วน of เส้นใยธรรมชาติจากทะลายปาล์ม และเศษยางรถยนต์ มาผสมเป็นวัสดุเสริมแรงและวัสดุมวลรวม โดยการนำวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มาทำการปรับปรุงผิวเพื่อใช้ผสม ดังนั้นเมื่อคิดต้นทุนของผลิตภัณฑ์ต่อแผ่น ราคาประมาณ 20.04 บาท ต่อแผ่น ถ้าคิดราคาในการปูกระเบื้องหลังคาต่อตารางเมตร เท่ากับ 501.00 บาทต่อตารางเมตร ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับราคาผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดแล้ว นับว่าราคาอยู่ระหว่างการปูกระเบื้องหลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์ กับ หลังคาเซรามิก นับเป็นแนวทางในการพัฒนาและออกแบบเพื่อจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้ มีความสามารถในการแข่งขันกับผลิตภัณฑ์ในปัจจุบันได้ด้วยสมบัติทางกลที่ผ่านมาตรฐาน มอก.1427-2540 และสมบัติที่เสริมศักยภาพในด้านกันความร้อน และกันเสียงที่ดีกว่า โดยไม่ต้องสิ้นเปลืองงบประมาณในการติดตั้งฉนวนกันความร้อนเพิ่มเติม และน้ำหนักของกระเบื้องก็มีน้ำหนักเบา สะดวกในการขนส่งอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องซีเมนต์เส้นใยแผ่นเรียบ มาตรฐานเลขที่ มอก. 1427-2540, ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2290(พ.ศ. 2540) สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2540.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องเซรามิก มาตรฐานเลขที่ มอก. 2508-2555, ประกาศ กระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 4391 (พ.ศ. 2555) สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2555.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องคอนกรีตมุงหลังคา มาตรฐานเลขที่ มอก.535-2556, ประกาศ กระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 4591 (พ.ศ. 2556) สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2556.
- สำนักนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) กระทรวงพลังงาน, 2554 - 2555. **บทความ (ระบบออนไลน์)**
[http:// www.eppo.go.th](http://www.eppo.go.th)
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. ยางพารา ปี 2559. **บทความ (ระบบออนไลน์)**
[http://www.oae.go. th/download/prcai/farmcrop/rubber.pdf](http://www.oae.go.th/download/prcai/farmcrop/rubber.pdf)
- เอกชัย วิมลมาลา ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ ชีรศักดิ์ หมากผิน และ ณัฐตา เหมะวิริยาพรวัฒนา, 2553. อิทธิพลของความหนาผิวเคลือบพอลิยูรีเทนและปริมาณผงไททาเนียมไดออกไซด์ในผิวเคลือบที่มีต่อสมบัติการถ่ายเทความร้อนของผลิตภัณฑ์หลังคayangจากวัสดุผสมยางธรรมชาติและซีเมนต์. **สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)** รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. RDG5150066
- Jing Lv, Tianhua Zhou, Qiang Du and Hanheng Wu., (2015). Effect of rubber particles on mechanical properties of lightweight aggregate concrete. **Construction and Building Materials**, 91:145-149.
- Liang He, Yu Ma, Quantao Liu, and Yuanhua MuSihabut T., (2016). Surface modification of crumb rubber and its influence on the mechanical properties of rubber-cement concrete. **Construction and Building Materials**, 120:403-407.
- Ling TC, Nor HM, and Lim SK., (2010). Using recycled tyre in concrete paving blocks. **Waste Resource Manage.**163(1):37-45.

Shu X. and Baoshan H., (2014). Recycling of waste tire rubber in asphalt and Portland cement concrete. **Construction and Building Materials**. 67:217-224.

Sombatsompop N., Ekachai W., Teerasak M. and Chatchawan kantala., (2009). Material Formations and Processing Technology of Rubber-Wood Composites for Rubber roofs. **National Proceeding of the Thailand Research Fund**. 169-176.

Sombatsompop N., Jakkarin P., Saksan I., Ekachai W. and Chatchawan kantala., (2006). Production and Development of Natural Rubber Roofs and PVC Wood from Wood Sawdust Particles. **National Proceeding of the Thailand Research Fund**. 53-60.

Sombatsompop N., Ekachai W., Teerasak M. and Chatchawan kantala., (2009). Material Formations and Processing Technology of Rubber-Wood Composites for Rubber roofs. **National Proceeding of the Thailand Research Fund**. 169-176.

The greenhouse gases / ของ UNEP/GEMS. แปลโดย ประหยัด ชิดทอง, กรุงเทพฯ: สถาบันการแปลหนังสือ กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ, 2544

Yamsaengsamsung W., (2008). Materials Formations and Processing Technology of Natural Rubber-Wood Composites for Environmentally Friendly and Energy Saving Roofs. **Thesis. King Mongkut's University of Technology Thonburi**.

ภาคผนวก

ตารางที่ 18 ต้นทุนการผลิตกระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติผสมกับเศษยางรถยนต์ชนิดแผ่นเรียบ

ต้นทุน	กระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติผสมกับเศษยางรถยนต์ชนิดแผ่นเรียบ			
	รายการ	ราคาต่อหน่วย	จำนวนหน่วยที่ใช้	จำนวนเงิน (บาท)
ค่าวัตถุดิบ	- ปูนซีเมนต์	2.60 บาท /กก.	1.0 กก.	2.60
	- ทะลายปาล์ม	0.04 บาท /กก.	0.10 กก.	0.004
	- แบคทีเรียวัณมะพร้าว	76.00 บาท /กก.	0.01 กก.	0.76
	- เศษยางรถยนต์	8.00 บาท /กก.	0.50 กก.	4.00
	- โซเดียมไฮดรอกไซด์	70.00บาท/กก.	0.01 กก.	2.10
	- โปตัสเซียมเปอร์แมงกาเนต	146.00บาท/กก.	0.05 กก.	7.30
	- Texapon (N70)	95.00บาท/กก.	0.01 กก.	<u>0.95</u>
ค่าโสหุ้ย การผลิต	- ค่าไฟฟ้า (เครื่องผสม, ตู้อบที่ 60°C)	1.80 บาท/หน่วย	2.03 หน่วย	3.654
	- ค่าน้ำที่ใช้ในการล้าง และ ผสม	9.50 บาท/ลบ.ม.	0.010 ลบ.ม.	0.095
	- ค่าแรงงาน	310.0 บาท/8ชั่วโมง	1 ชั่วโมง	38.75
รวม (จะผลิตกระเบื้องได้ 3 แผ่น) ต้นทุนเฉลี่ย ต่อ กระเบื้องได้ 1 แผ่น				60.11 <u>(20.04)</u>

*ราคาวัตถุดิบ ณ.วันที่ 30 เมษายน 2561

ตารางที่ 19 เปรียบเทียบต้นทุนและปริมาณเศษยางรถยนต์ในการผลิตกระเบื้องหลังคาต่อแผ่น

กระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติผสมกับเศษยางรถยนต์ชนิดแผ่นเรียบ		
จำนวนการผลิต	ปริมาณเศษยางรถยนต์	ประมาณราคาต้นทุน
3 แผ่น	500 กรัม	4.00 บาท
1 แผ่น	166.67 กรัม	1.33 บาท
ตัวอย่างการปูหลังคาบ้าน: ขนาด กว้าง 4 เมตร ลึก 8 เมตร (บ้าน เอื้ออาทร) พื้นที่ในการปู 53 ตารางเมตร ใช้กระเบื้องปู 1,325 แผ่น	1,325 แผ่น x 166.67 กรัม เท่ากับ 220.84 กิโลกรัม	1,766.72 บาท

ตารางที่ 20 ตารางเปรียบเทียบราคาการปูกระเบื้องหลังคาต่อตารางเมตร

ชนิด	ขนาด /หน่วย เซนติเมตร กว้าง x ยาว x หนา	น้ำหนัก	จำนวนต่อตาราง เมตร	ราคาต่อแผ่น ราคาต่อตาราง เมตร
กระเบื้องหลังคา ซีเมนต์เส้นใย ธรรมชาติผสมกับ เศษยางรถยนต์	20 x 20 x 1	0.5 kg.	25pieces/m ² 18 kgs/m ²	20.04 Baht 501.00 Baht
กระเบื้องคอนกรีต	33 x 42 x 0.9	4.5 kg.	10 pieces/m ² 45.0 kgs/m ²	11 Baht 110 Baht
กระเบื้องไฟเบอร์ ซีเมนต์	60 x 44 x 0.6	2.5 kg.	11.11 pieces/m ² 27.78 kgs/m ²	40.70 Baht 452.18 Baht
กระเบื้องเซรามิก	34.5 x 42 x 0.8	3.8 kg.	10.5 pieces/m ² 39.9 kgs/m ²	74.45 Baht 781.73 Baht

*ราคาผลิตภัณฑ์ ณ.วันที่ 30 เมษายน 2561