

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยเริ่มจากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นจากเอกสาร บทความ งานวิจัย และหนังสือต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ซีเมนต์เส้นใย โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์กระเบื้องมุงหลังคา และเส้นใยที่พบมากในประเทศไทยอันได้แก่ เส้นใยกาบมะพร้าว และกากเยื่อไผ่ เพื่อนำมาปรับปรุงและพัฒนาวัสดุประเภทซีเมนต์เพสต์ และหาสัดส่วนผสมเส้นใยที่เหมาะสมก่อนที่จะพัฒนาเป็นวัสดุกระเบื้องมุงหลังคาตัวอย่าง มีการศึกษาและทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติเชิงกล และคุณสมบัติทางความร้อนของซีเมนต์เพสต์ และแผ่นกระเบื้องซีเมนต์เส้นใยตัวอย่างตามมาตรฐานสากล เช่น ความหนาแน่น กำลังต้านทานแรงอัด กำลังต้านทานแรงดัด ปริมาณความชื้น เป็นต้น และพัฒนาคุณสมบัติทางความร้อนให้ดีขึ้นเพื่อช่วยในการกันความร้อนก่อนที่จะเข้าสู่ภายในอาคารทางหลังคาอันส่งผลต่อพลังงานในการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ และมีการจำลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานไฟฟ้าระหว่างรูปแบบอาคารพักอาศัยอ้างอิงที่มุงกระเบื้องหลังคาแตกต่างกัน เพื่อเสนอแนะแนวทางการใช้กระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติแผ่นเรียบที่เหมาะสมกับประเภทอาคารพักอาศัยในภูมิภาคร้อนชื้น

3.1 การกำหนดตัวแปร

3.1.1 ซีเมนต์เพสต์ผสมเส้นใยกาบมะพร้าว และกากเยื่อไผ่ ประกอบด้วย

(1) ตัวแปรต้น สัดส่วนเส้นใยโดยน้ำหนักซีเมนต์ ได้แก่ 0 0.5 1.0 1.5 2.0 5.0 10.0 และ 15.0

(2) ตัวแปรตาม

คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ ได้แก่ ปริมาตรของวัสดุ (Volumes) ปริมาตรของรูพรุนอากาศและปริมาตรของส่วนที่ไม่ละลายน้ำ (Volumes of Open Pores and Impervious Portions) ค่าความพรุน (Apparent Porosity) ค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) ค่าความหนาแน่น (Bulk Density)

คุณสมบัติเชิงกล ได้แก่ กำลังต้านทานแรงอัด (Compressive Strength)

คุณสมบัติทางความร้อน ได้แก่ ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k-value) และค่าความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance)

(3) ตัวแปรควบคุม ได้แก่

(3.1) สภาพเส้นใยทั้งสองชนิดก่อนการผสม คือ มีการต้มในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนจะทำการผสม เส้นใยจะต้องอยู่ในสภาพอิมมัวด้วยน้ำผิวแห้ง คือ ผสมเส้นใยกับปริมาณน้ำที่เส้นใยต้องการดูดซึม

(3.2) ชนิดและความยาวของเส้นใยทั้งสองชนิด โดยเส้นใยจากมะพร้าวจากตลาดขายต้นไม้บริเวณสี่แยกอุรุพงษ์ กรุงเทพมหานคร และกากเยื่อใยปาล์มน้ำมันจากโรงงานบริษัท ทักษิณปาล์ม 2521 จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี และตัดเส้นใยทั้งสองชนิดให้มีความยาวในช่วงระหว่าง 5-10 มิลลิเมตร

(3.3) ส่วนผสมอื่นๆ ได้แก่ ปูนซีเมนต์พอตแลนด์ประเภทที่ 1 จากบริษัท ทีพีโอ จำกัด และน้ำ จากห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ โดยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.3 ในทุกกรณี

(3.4) ขั้นตอนในการผสม โดยเริ่มผสมเส้นใยที่สภาพอิมมัวแห้งกับซีเมนต์ก่อน แล้วจึงค่อยๆ เติมน้ำผสมลงไป

(3.5) ขนาดของวัสดุที่ใช้ทดสอบเท่ากับ 5 เซนติเมตร x 5 เซนติเมตร x 5 เซนติเมตร และ 5 เซนติเมตร x 5 เซนติเมตร x 2.5 เซนติเมตร (สำหรับทดสอบคุณสมบัติทางความร้อน)

ตารางที่ 3.1

ขนาดของก้อนทดสอบตัวอย่าง

การทดสอบ	ขนาดของก้อนทดสอบตัวอย่าง (ซม.)
คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติเชิงกล	5 x 5 x 5
ค่าการนำความร้อน ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน(k) และค่าความต้านทานความร้อน (R)	5 x 5 x 2.5

หมายเหตุ: จัดทำโดยผู้วิจัย เมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2553

3.1.2 ตัวอย่างแผ่นกระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยแผ่นเรียบ ประกอบด้วย

(1) ตัวแปรต้น สัดส่วนเส้นใยโดยน้ำหนักซีเมนต์ ได้แก่ 5.0 และ 10.0

(2) ตัวแปรตาม

คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ ได้แก่ ค่าความหนาแน่น (Density) การเปลี่ยนรูปเนื่องจากความชื้น (Moisture Movement) ค่าปริมาณความชื้น (Moisture Content) และค่าการไม่รั่วซึมน้ำ (Water Tightness)

คุณสมบัติเชิงกล ได้แก่ กำลังต้านทานแรงดัด (Flexural Strength)

(3) ตัวแปรควบคุม ได้แก่

(3.1) สภาพเส้นใยทั้งสองชนิดก่อนการผสม คือ มีการต้มในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนจะทำการผสม เส้นใยจะต้องอยู่ในสภาพอิมมัวด้วยน้ำผิวแห้ง คือ ผสมเส้นใยกับปริมาณน้ำที่เส้นใยต้องการดูดซึม

(3.2) ชนิดและความยาวของเส้นใยทั้งสองชนิด โดยเส้นใยคาบมะพร้าวจากตลาดขายต้นไม้บริเวณสี่แยกอุรุพงษ์ กรุงเทพมหานคร และกากเยื่อไผ่ปาล์มน้ำมันจากโรงงานบริษัท ทักษิณปาล์ม 2521 จำกัด จังหวัดสุราษฎร์ธานี และตัดเส้นใยทั้งสองชนิดให้มีความยาวในช่วงระหว่าง 5-10 มิลลิเมตร

(3.3) ส่วนผสมอื่นๆ ได้แก่ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 จากบริษัท ทีพีไอ จำกัด และน้ำ จากห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ โดยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.3 ในทุกกรณี

(3.4) ขั้นตอนในการผสม โดยเริ่มผสมเส้นใยที่สภาพอิมมัวแห้งกับซีเมนต์ก่อน แล้วจึงค่อยๆ เติมน้ำผสมลงไป

(3.5) ขนาดของวัสดุที่ใช้ทดสอบแบ่งเป็นขนาด 15 เซนติเมตร x 30 เซนติเมตร x 0.5 เซนติเมตร ขนาด 7.5 เซนติเมตร x 30 เซนติเมตร x 0.5 เซนติเมตร ขนาด 7.5 เซนติเมตร x 15 เซนติเมตร x 0.5 เซนติเมตร และขนาด 60 เซนติเมตร x 50 เซนติเมตร x 0.5 เซนติเมตร

ตารางที่ 3.2
ขนาดของแผ่นทดสอบตัวอย่าง

การทดสอบ	ขนาดของแผ่นทดสอบตัวอย่าง (ซม.)
ค่าความต้านทานแรงดัดในสภาวะแห้ง	30 x 15 x 0.5
ค่าความต้านทานแรงดัดในสภาวะบ่ม	30 x 15 x 0.5
ค่าความหนาแน่น	30 x 15 x 0.5
การวัดขนาด	
การเปลี่ยนรูปเนื่องจากความชื้น	30 x 7.5 x 0.5
ค่าปริมาณความชื้น	15 x 7.5 x 0.5
การไม่รั่วซึมน้ำ	60 x 50 x 0.5

หมายเหตุ: จัดทำโดยผู้วิจัย เมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2553

3.1.3 การจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารพักอาศัย โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ประกอบด้วย

(1) ตัวแปรต้น

(1.1) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k-value) ของวัสดุกระเบื้องมุงหลังคา ได้แก่ กระเบื้องคอนกรีต ($k = 1.87$ วัตต์ต่อเมตร เคลวิน) กระเบื้องซีเมนต์เส้นใยสังเคราะห์ ($k = 0.04$ วัตต์ต่อเมตร เคลวิน) กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน ($k = 0.62$ วัตต์ต่อเมตร เคลวิน) กระเบื้องดินเผา ($k = 1.8$ วัตต์ต่อเมตร เคลวิน) และกระเบื้องซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติที่ศึกษา (k เส้นใยกาบมะพร้าว = 0.6841 วัตต์ต่อเมตร เคลวิน และ k กากเยื่อไผ่ปาล์ม = 0.6869 วัตต์ต่อเมตร เคลวิน)

(1.2) ค่าความต้านทานความร้อน (Thermal Resistance) ของวัสดุกระเบื้องมุงหลังคา ได้แก่ กระเบื้องคอนกรีต ($R = 0.3$ h-ft²F/BTU) กระเบื้องซีเมนต์เส้นใยสังเคราะห์ ($R = 0.78$ h-ft²F/BTU) กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน ($R = 0.21$ h-ft²F/BTU) กระเบื้องดินเผา ($R = 0.03$ h-ft²F/BTU) และกระเบื้องซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติที่ศึกษา (R เส้นใยกาบมะพร้าว = 0.33 h-ft²F/BTU และ R กากเยื่อไผ่ปาล์ม = 0.33 h-ft²F/BTU)

(1.3) รูปแบบอาคารพักอาศัยอ้างอิง ประเภทบ้านเดี่ยว 2 ชั้น แบ่งเป็น 2 รูปแบบ ดังภาพที่ 3.1-3.2 และประเภททาวน์เฮ้าส์ 3 ชั้น แบ่งเป็น 2 รูปแบบ ดังภาพที่ 3.3-3.4 ซึ่งได้มาจากแหล่งข้อมูลจากผู้ประกอบการบ้านจัดสรร มีจำนวนทั้งสิ้น 43 หลัง

(2) ตัวแปรตาม ได้แก่ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียไปในการใช้งานระบบปรับอากาศภายในอาคารพักอาศัยต่อตารางเมตร

(3) ตัวแปรควบคุม ได้แก่

(3.1) ทิศทางการวางตัวของอาคารอ้างอิง

(3.2) สถานที่ตั้ง และวัสดุเปลือกอาคารอื่นๆ

(3.3) จำนวนผู้อยู่อาศัย 4 คนต่อหลัง

(3.4) ควบคุมอุณหภูมิภายในพื้นที่ปรับอากาศที่ 25 องศาเซลเซียส และเปิดใช้งานในวันจันทร์ถึงศุกร์ เวลา 19.00-6.00 น. วันเสาร์และอาทิตย์ ตลอดเวลา 24 ชั่วโมง

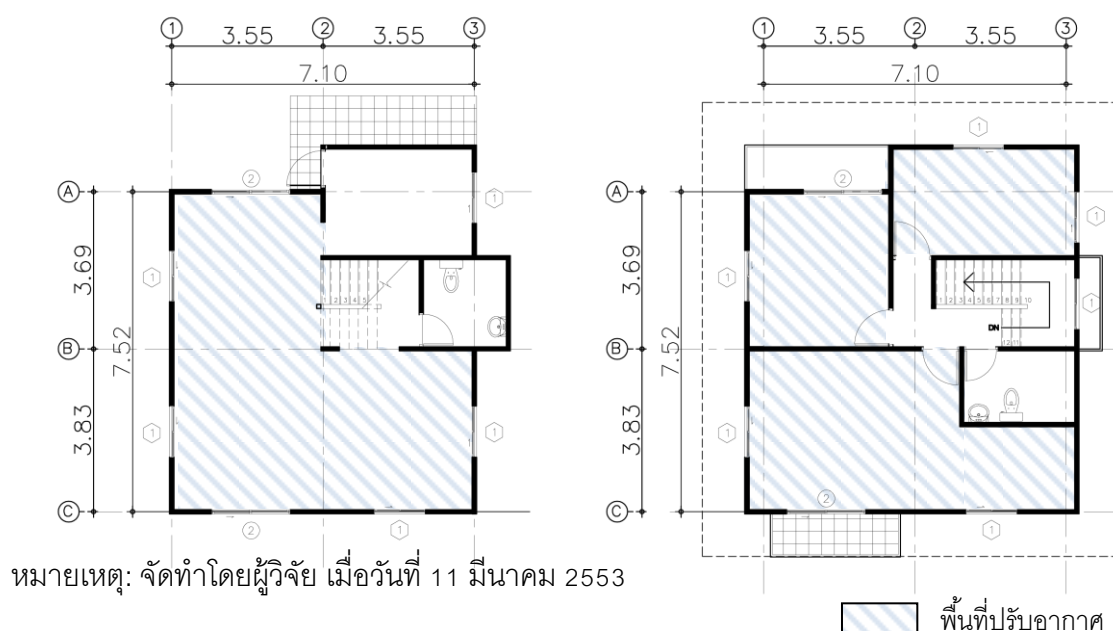
(3.5) ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท / หน่วย) : บ้านอยู่อาศัยไม่ถึง 30 KV (สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงาน, 2545) ค่าบริการรายเดือนเท่ากับ 228.17 บาท และค่าบริการเพิ่มเติม ดังนี้

On-Peak 2.6950 บาท ช่วงเวลา 9.00-22.00 น.

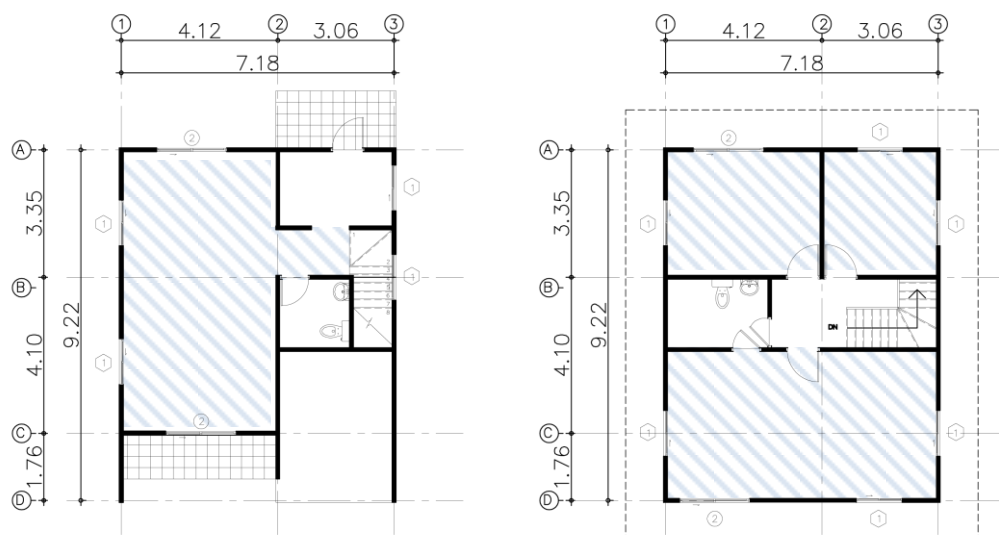
Off-Peak 1.1914 บาท ช่วงเวลา 22.00-9.00 น.

ภาพที่ 3.1

อาคารพักอาศัยอ้างอิง ประเภทบ้านเดี่ยว 2 ชั้น รูปแบบที่ 1



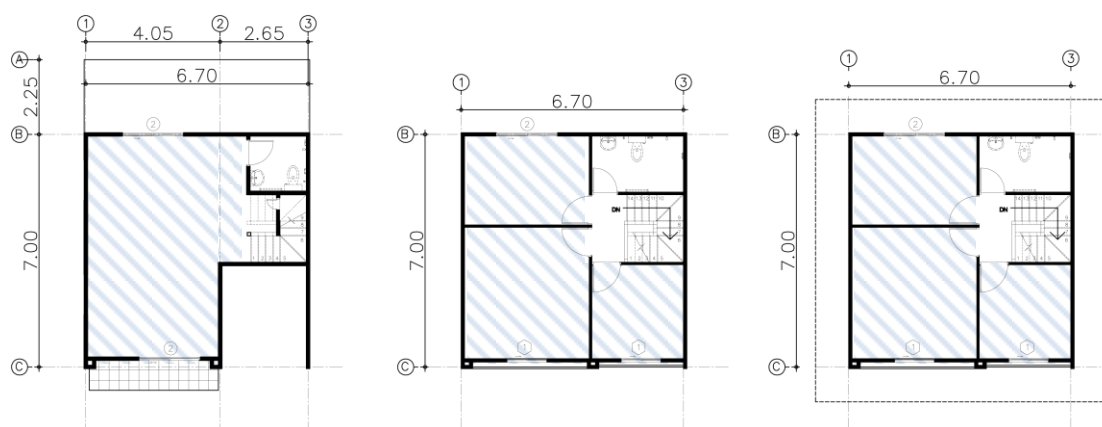
ภาพที่ 3.2
อาคารพักอาศัยอ้างอิง ประเภทบ้านเดี่ยว 2 ชั้น รูปแบบที่ 2



หมายเหตุ: จัดทำโดยผู้วิจัย เมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2553

พื้นที่ปรับอากาศ

ภาพที่ 3.3
อาคารพักอาศัยอ้างอิง ประเภททาวน์เฮ้าส์ 3 ชั้น รูปแบบที่ 1

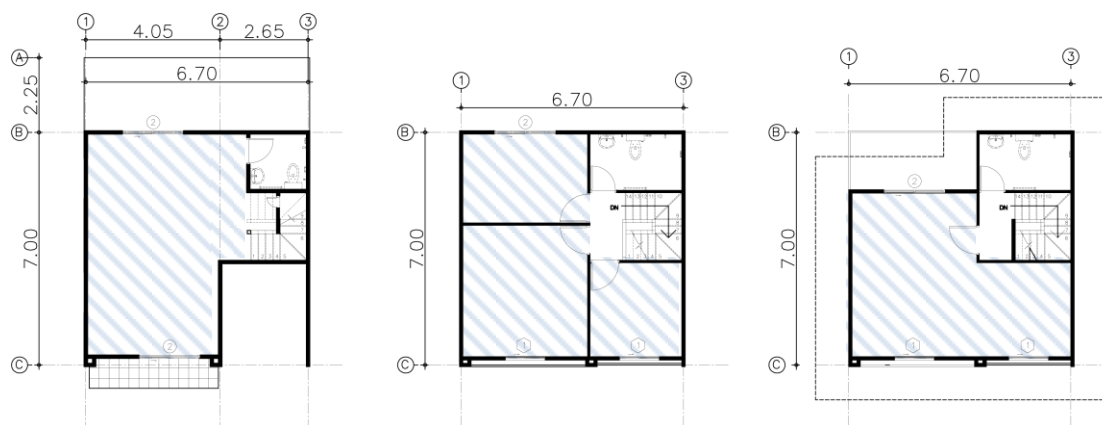


หมายเหตุ: จัดทำโดยผู้วิจัย เมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2553

พื้นที่ปรับอากาศ

ภาพที่ 3.4

อาคารพักอาศัยอ้างอิง ประเภททาวน์เฮ้าส์ 3 ชั้น รูปแบบที่ 2

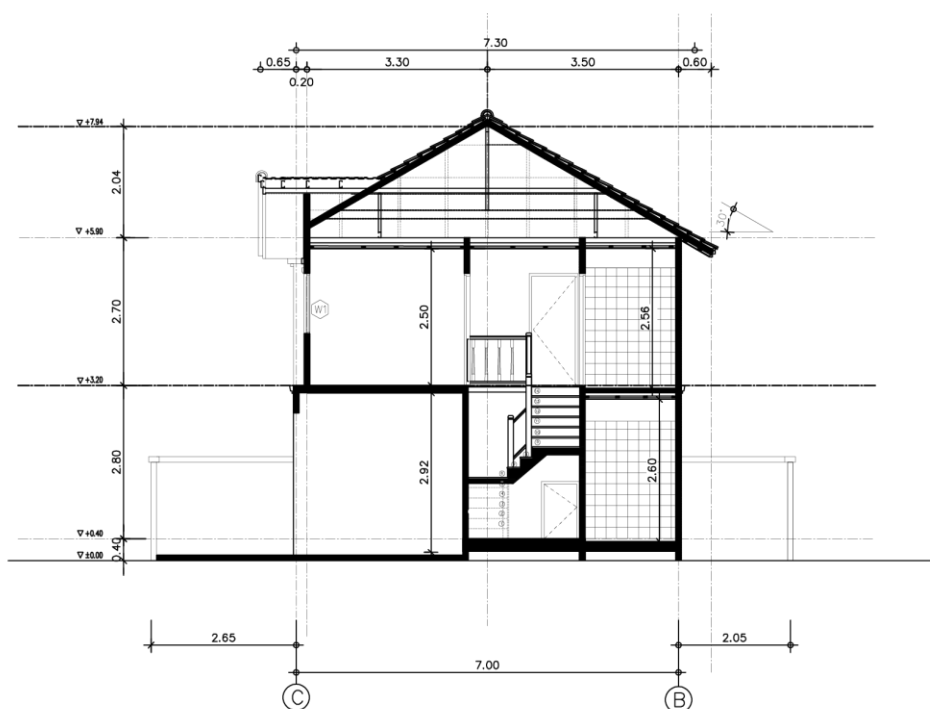


หมายเหตุ: จัดทำโดยผู้วิจัย เมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2553

 พื้นที่ปรับอากาศ

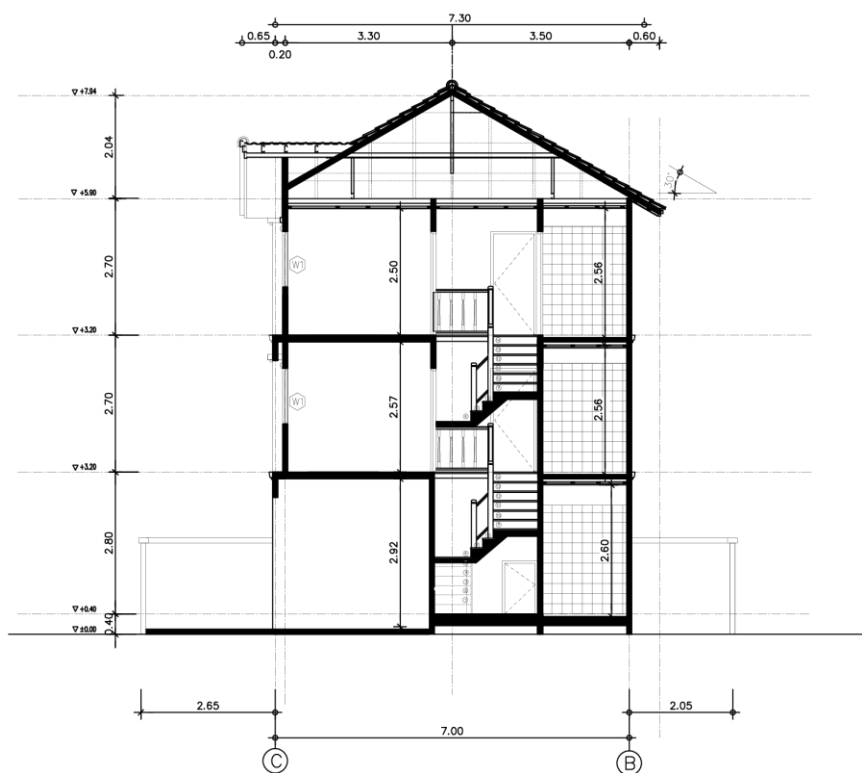
ภาพที่ 3.5

รูปตัดอาคารพักอาศัยอ้างอิง ประเภทบ้านเดี่ยว



หมายเหตุ: จัดทำโดยผู้วิจัย เมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2553

ภาพที่ 3.6
รูปตัดอาคารพักอาศัยข้างอิง ประเภททาวน์เฮ้าส์



หมายเหตุ: จัดทำโดยผู้วิจัย เมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2553

ตารางที่ 3.3
ค่ากำหนดต่างๆ ในการจำลองโปรแกรมคอมพิวเตอร์ eQUEST 3.6

ชุดข้อมูล	รายละเอียด	
อุณหภูมิอากาศ	Weather File	THA_Bangkok_IWEC
ค่าไฟฟ้า	ค่าบริการรายเดือน On-Peak 2.6950 บาท Off-Peak 1.1914 บาท	
ทิศทางการวางอาคาร		

ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

ชุดข้อมูล	รายละเอียด	
เปลือกอาคาร	เสาคาน คสล. หลังคาโครงสร้างเหล็ก	
	ไม่มีฉนวนกันความร้อนของอากาศ	
	หลังคา	วัสดุตามตัวแปรรัด
	เพดาน	ยิปซัมบอร์ด หนา 9 มม.
	ผนัง	ก่ออิฐ ฉาบปูนหนา 10 ซม.
		ไม่มีการติดตั้งแผงกันแดดทั้งภายในและภายนอก
	พื้น	วัสดุคอนกรีต 10 ซม.
		ไม่มีการติดตั้งฉนวนกันความร้อน
		กำหนดไม่ให้ความร้อนจากพื้นดินเข้าสู่ภายใน
ระบบปรับอากาศ	หน้าต่าง	กระจกใส วงกบไม้เนื้อแข็ง
		กระจกประเภทที่ 1 กว้าง 5.90 ฟุต สูง 3.30 ฟุต กระจกประเภทที่ 2 กว้าง 11.80 ฟุต สูง 6.67 ฟุต
	ชนิด	Split System Single Zone DX (ไม่มีระบบทำความร้อน)
	ขนาด	5 ตัน
	อุณหภูมิภายใน	พื้นที่ปรับอากาศ 77 องศาฟาเรนไฮต์ (25 °C)
	การใช้งาน	วันจันทร์-ศุกร์ 17.00-7.00 น.
		วันเสาร์,อาทิตย์ ตลอดเวลา 24 ชั่วโมง

หมายเหตุ: จัดทำโดยผู้วิจัย เมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2553

3.2 การเตรียมการทดลอง

3.2.1 การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตซีเมนต์เพสต์ผสมเส้นใยกาบมะพร้าว และกากเยื่อไผ่ปาล์ม

การผลิตซีเมนต์เพสต์ผสมเส้นใยกาบมะพร้าว และกากเยื่อไผ่ปาล์ม ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ จากห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ มีรายการ ดังนี้

(1) เส้นใยกาบมะพร้าว ที่มีความยาว 5-10 มิลลิเมตร มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.286 ปริมาณความชื้นร้อยละ 17.86 การดูดซึมน้ำร้อยละ 257.14 และความหนาแน่นเส้นใยแห้ง 163.33 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และกากเยื่อใยปาล์มที่มีความยาว 5-10 มิลลิเมตร มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.242 ปริมาณความชื้นร้อยละ 19.51 การดูดซึมน้ำร้อยละ 353.66 และความหนาแน่นเส้นใยแห้ง 175 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

(2) เครื่องชั่งน้ำหนักยี่ห้อ AND Electronic Balance รุ่น EP-20KA

(3) เต้าไฟฟ้า สำหรับต้มเส้นใยซึ่งสามารถปรับอุณหภูมิความร้อนได้

(4) เทอร์โมมิเตอร์ ต้องเป็นเทอร์โมมิเตอร์ที่สามารถวัดอุณหภูมิได้เกินจุดเดือด สำหรับวัดอุณหภูมิของน้ำในระหว่างการต้มน้ำจนเดือด

(5) ตู้อบสำหรับอบเพื่อลดความชื้นในเส้นใย ก่อนที่จะนำมาผสมในปูนซีเมนต์ และสามารถปรับอุณหภูมิได้ ยี่ห้อ Binder ขนาด 1 เมตร x 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร

(6) เครื่องผสมส่วนผสมซีเมนต์ที่สามารถปรับความแรงในการผสมได้ ยี่ห้อ World Materies รุ่น WM-10L และแบบหล่อก้อนซีเมนต์เพสต์

ภาพที่ 3.7

เต้าไฟฟ้า สำหรับต้มเส้นใย สามารถปรับอุณหภูมิความร้อนได้



หมายเหตุ: ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย เมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2553.

ภาพที่ 3.8
ตู้อบ สามารถปรับอุณหภูมิได้ ยี่ห้อ Binder



หมายเหตุ: ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย เมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2553

ภาพที่ 3.9
เครื่องผสมส่วนผสมซีเมนต์ ยี่ห้อ World Materies รุ่น WM-10L และแบบพิมพ์



หมายเหตุ: ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย เมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2553

3.2.2 การผลิตซีเมนต์เพสต์

- (1) เตรียมเส้นในทั้งสองชนิด ให้มีความยาวในช่วงระหว่าง 5-10 มิลลิเมตร และอยู่ในสภาพอิมมัวด้วยน้ำผิวแห้ง
- (2) เตรียมน้ำและปูนซีเมนต์ในอัตราส่วน 0.3
- (3) ผสมเส้นใยกับปูนซีเมนต์ก่อนในเครื่องผสม เป็นเวลา 30 วินาที แล้วจึงค่อยๆ เทน้ำลงไปผสมเป็นเวลา 30 วินาที และผสมต่อไปอีกเป็นเวลา 1 นาที

(4) เทส่วนผสมลงแบบพิมพ์ และใช้เกรียงปาดผิวหน้าแบบเรียบ

(5) เตรียมก้อนทดสอบในห้องบ่มควบคุมความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วถอดแบบก้อนทดสอบทั้งหมดสามารถนำไปทดสอบเป็องตันได้ หลังจากนั้นนำก้อนทดสอบแช่น้ำเป็นเวลา 28 วันเพื่อทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด

ภาพที่ 3.10

เส้นใยกาบมะพร้าว และกากเยื่อไผ่ปาล์ม



หมายเหตุ: ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย เมื่อวันที่ 9 มีนาคม 2553

ตารางที่ 3.4

สัดส่วนผสมซีเมนต์เพสต์

สัญลักษณ์	สัดส่วนเส้นใยที่ศึกษา (ร้อยละ)	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (กรัม)	น้ำ (กรัม)	เส้นใยที่ศึกษา (กรัม)
OPC	0	1,000	299.51	0
C 0.5	0.5	1,000	299.51	5
C 1	1	1,000	299.51	10
C 1.5	1.5	1,000	299.51	15
C 2	2	1,000	299.51	20

ตารางที่ 3.4 (ต่อ)

สัญลักษณ์	สัดส่วน เส้นใยที่ศึกษา (ร้อยละ)	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (กรัม)	น้ำ (กรัม)	เส้นใยที่ศึกษา (กรัม)
C 10	10	1,000	299.51	100
C 15	15	1,000	299.51	150
P 0.5	0.5	1,000	299.51	5
P 1	1	1,000	299.51	10
P 1.5	1.5	1,000	299.51	15
P 2	2	1,000	299.51	20
P 5	5	1,000	299.51	50
P 10	10	1,000	299.51	100
P 15	15	1,000	299.51	150

หมายเหตุ: จัดทำโดยผู้วิจัย เมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2553

OPC หมายถึง ซีเมนต์โพสต์ควมคุม

Cx หมายถึง ซีเมนต์โพสต์ที่มีการผสมเส้นใยกาบมะพร้าว

Px หมายถึง ซีเมนต์โพสต์ที่มีการผสมกากเยื่อไผ่ปาล์ม

x หมายถึง สัดส่วนการผสมเส้นใยที่ศึกษา

3.2.3 การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตแผ่นตัวอย่างกระเบื้องมุงหลังคาซีเมนต์เส้นใยแผ่นเรียบ

การผลิตแผ่นตัวอย่างกระเบื้องมุงหลังคาซีเมนต์เส้นใยแผ่นเรียบที่ผสมเส้นใยกาบมะพร้าว และกากเยื่อไผ่ปาล์ม ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ จากห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ มีรายการดังนี้

(1) เส้นใยกาบมะพร้าว ที่มีความยาว 5-10 มิลลิเมตร มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.286 ปริมาณความชื้นร้อยละ 17.86 การดูดซึมน้ำร้อยละ 257.14 และความหนาแน่นเส้นใยแห้ง 163.33 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และกากเยื่อไผ่ปาล์มที่มีความยาว 5-10 มิลลิเมตร มีค่าความ

ถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.242 ปริมาณความชื้นร้อยละ 19.51 การดูดซึมน้ำร้อยละ 353.66 และความหนาแน่นเส้นใยแห้ง 175 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

(2) เครื่องชั่งน้ำหนักยี่ห้อ AND Electronic Balance รุ่น EP-20KA

ภาพที่ 3.11

เครื่องชั่งน้ำหนักยี่ห้อ AND Electronic Balance รุ่น EP-20KA



หมายเหตุ: ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย เมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2553

(3) เต้าไฟฟ้า สำหรับต้มเส้นใยซึ่งสามารถปรับอุณหภูมิความร้อนได้

(4) เทอร์โมมิเตอร์ ต้องเป็นเทอร์โมมิเตอร์ที่สามารถวัดอุณหภูมิได้เกินจุดเดือด สำหรับวัดอุณหภูมิของน้ำในระหว่างการต้มน้ำจนเดือด

(5) ตู้อบสำหรับอบเพื่อลดความชื้นในเส้นใย ก่อนที่จะนำมาผสมในปูนซีเมนต์ และสามารถปรับอุณหภูมิได้ ยี่ห้อ Binder ขนาด 1 เมตร x 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร

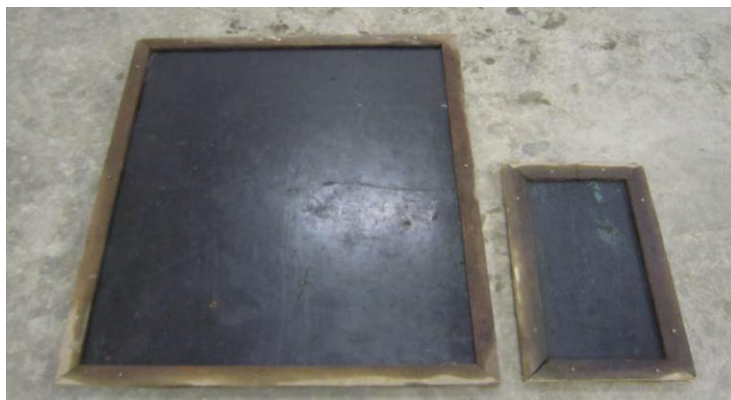
(6) เครื่องผสมส่วนผสมซีเมนต์ที่สามารถปรับความเร็วในการผสมได้ ยี่ห้อ World Materies รุ่น WM-10L

(7) ขนาดของแบบพิมพ์ ได้แก่ ขนาด 15 เซนติเมตร x 30 เซนติเมตร x 0.5 เซนติเมตร และขนาด 60 เซนติเมตร x 50 เซนติเมตร x 0.5 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3.12

(8) เลื่อยไฟฟ้าความเร็วสูง ยี่ห้อ MARUI

ภาพที่ 3.12

ขนาดของแบบพิมพ์ ได้แก่ ขนาด 15 เซนติเมตร x 30 เซนติเมตร x 0.5 เซนติเมตร
และ ขนาด 60 เซนติเมตร x 50 เซนติเมตร x 0.5 เซนติเมตร



หมายเหตุ: ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย เมื่อวันที่ 14 มกราคม 2554

ภาพที่ 3.13

เลื่อยไฟฟ้าความเร็วสูง ยี่ห้อ MARUI



หมายเหตุ: ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย เมื่อวันที่ 14 มกราคม 2554

3.2.4 การผลิตแผ่นตัวอย่างกระเบื้องมุงหลังคาซีเมนต์เส้นใยแผ่นเรียบ

(1) เตรียมเส้นใยทั้งสองชนิด ให้มีความยาวในช่วงระหว่าง 5-10 มิลลิเมตร และอยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำผิวแห้ง

- (2) เตรียมน้ำและปูนซีเมนต์ในอัตราส่วน 0.3
- (3) ผสมเส้นใยกับปูนซีเมนต์ก่อนในเครื่องผสม เป็นเวลา 30 วินาที แล้วจึงค่อยๆ เทน้ำลงไปผสมเป็นเวลา 30 วินาที และผสมต่อไปอีกเป็นเวลา 1 นาที
- (4) เทส่วนผสมลงแบบพิมพ์ และใช้เกรียงปาดผิวหน้าแบบเรียบ
- (5) เตรียมตัวอย่างแผ่นทดสอบในห้องควบคุมความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วถอดแบบ ชั่งน้ำหนัก วัดขนาด และความหนาของแผ่นทดสอบ หลังจากนั้นแบ่งแผ่นทดสอบเป็น 5 ชุด โดย

ชุดที่ 1 เก็บแผ่นทดสอบไว้ในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน จำนวน 3 แผ่น

ชุดที่ 2 แช่แผ่นทดสอบไว้ในน้ำเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จำนวน 3 แผ่น

ชุดที่ 3 ตัดแผ่นทดสอบด้วยเลื่อยไฟฟ้าความเร็วสูงให้ได้ขนาด 7.5 เซนติเมตร x 30 เซนติเมตร x 0.5 เซนติเมตร และเก็บไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 23 องศาเซลเซียส และความชื้น 30% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จำนวน 4 แผ่น

ชุดที่ 5 เก็บแผ่นทดสอบขนาด 60 เซนติเมตร x 50 เซนติเมตร x 0.5 เซนติเมตรไว้ในตู้แช่เย็นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน จำนวน 3 แผ่น

3.2.5 การจำลองการใช้พลังงานภายในอาคารโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

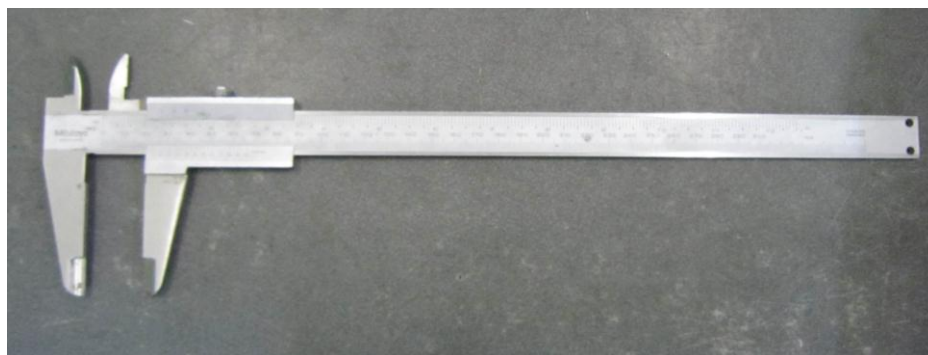
โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เลือกใช้ พิจารณาจากความสามารถในการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆ เพื่อตอบสนองการวิจัยนี้ได้ การนำค่าพลังงานไฟฟ้าและพลังงานในการปรับอากาศมาใช้ได้โดยง่าย รวมไปถึงเป็นโปรแกรมที่เป็นที่ยอมรับและสามารถนำไปอ้างอิง และใช้ในการเผยแพร่ได้ จึงเลือกโปรแกรม eQUEST 3.6 ในการจำลองหาการใช้พลังงานของอาคารพักอาศัยอ้างอิง โดยการระบุค่าตัวแปรในการจำลอง เกิดจากการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลจริงของอาคารพักอาศัยสำหรับผู้มีรายได้น้อยถึงปานกลาง ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ดังกล่าวข้างต้น

3.3 การทดสอบ

3.3.1 เตรียมเครื่องมือทดสอบซีเมนต์เพสต์และแผ่นกระเบื้องตัวอย่างที่ผสมเส้นใยกาบมะพร้าว และกากเยื่อไผ่ปาล์ม และเครื่องมือสำหรับจำลองการเปรียบเทียบการใช้พลังงานภายในอาคาร

- (1) เครื่องชั่งน้ำหนัก ยี่ห้อ AND Electronic Balance รุ่น EP-20KA
- (2) แคลิเปอร์เวอร์เนียแบบเลื่อน สำหรับวัดขนาดแผ่นทดสอบที่สามารถวัดได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิเมตร

ภาพที่ 3.14
แคลิเปอร์เวอร์เนียแบบเลื่อน



หมายเหตุ: ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย เมื่อวันที่ 11 มีนาคม 2553

- (3) ตู้อบสำหรับอบเพื่อลดความชื้น และสามารถปรับอุณหภูมิได้ ยี่ห้อ Binder ขนาด 1 เมตร x 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร
- (4) เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด (Universal Testing Machine) ยี่ห้อ Shimadzu
- (5) เครื่อง Thermal Constant Analyzer (Hot Disk TCA)
- (6) เครื่องทดสอบกำลังรับแรงดัด
- (7) ตู้แช่เย็นที่สามารถปรับอุณหภูมิได้
- (8) โปรแกรมคอมพิวเตอร์ eQUEST 3.6 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองเพื่อหาพลังงานในการใช้ระบบปรับอากาศ

3.3.2 การทดสอบซีเมนต์เพสต์ผสมเส้นใยกาบมะพร้าว และกากเยื่อไผ่

การทดสอบซีเมนต์เพสต์นั้นได้กำหนดลักษณะคุณสมบัติและการทดสอบของวัสดุตามมาตรฐาน ASTM C 20-00 (2005) และค่าการนำความร้อนตามมาตรฐาน JIS R 2618

(1) การเตรียมตัวอย่างทดสอบ ดังนี้

(1.1) ก้อนทดสอบขนาด 5 เซนติเมตร x 5 เซนติเมตร x 5 เซนติเมตร ที่ผสมเส้นใยกาบมะพร้าวในสัดส่วนเส้นใยร้อยละ 0.5 1 1.5 และ 2 จำนวน 3 ตัวอย่าง 1 ชุด กากเยื่อไผ่ในสัดส่วนเส้นใยร้อยละ 0.5 1 1.5 และ 2 จำนวน 3 ตัวอย่าง 1 ชุด สำหรับหาค่าความหนาแน่น และกำลังต้านทานแรงอัดหลังจากทำการบ่มในน้ำเป็นเวลา 28 วัน

(1.2) ก้อนทดสอบขนาด 5 เซนติเมตร x 5 เซนติเมตร x 5 เซนติเมตร ที่ผสมเส้นใยกาบมะพร้าวในสัดส่วนเส้นใยร้อยละ 5 10 และ 15 จำนวน 3 ตัวอย่าง 1 ชุด กากเยื่อไผ่ในสัดส่วนเส้นใยร้อยละ 5 10 และ 15 จำนวน 3 ตัวอย่าง 1 ชุด สำหรับหาค่าปริมาตรของวัสดุ (Volumes) ปริมาตรของรูพรุนอากาศและปริมาตรของส่วนที่ไม่ละลายน้ำ (Volumes of Open Pores and Impervious Portions) ค่าความพรุน (Apparent Porosity) ค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) และค่าความหนาแน่น (Bulk Density) และกำลังต้านทานแรงอัดหลังจากทำการบ่มในน้ำเป็นเวลา 28 วัน

(1.3) ก้อนทดสอบขนาด 5 เซนติเมตร x 5 เซนติเมตร x 2.5 เซนติเมตร ที่ผสมเส้นใยกาบมะพร้าวในสัดส่วนเส้นใยร้อยละ 5 10 และ 15 จำนวน 2 ตัวอย่าง 1 ชุด กากเยื่อไผ่ในสัดส่วนเส้นใยร้อยละ 5 10 และ 15 จำนวน 2 ตัวอย่าง 1 ชุด สำหรับหาค่าการนำความร้อน (C) ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และค่าความต้านทานความร้อน (R) โดยเทคนิค TCA

ในการทดสอบมีการทดสอบสัดส่วนละ 3 ตัวอย่างเพื่อนำผลที่ได้จากการทดสอบมาหาค่าเฉลี่ย

(2) การทดสอบเพื่อหาค่าปริมาตรของก้อนทดสอบ ปริมาตรของรูพรุนอากาศและปริมาตรของส่วนที่ไม่ละลายน้ำ ค่าความพรุน ค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำ และค่าความหนาแน่น ตามมาตรฐาน ASTM C20-00 (2005) โดยชั่งน้ำหนักของก้อนทดสอบก่อนที่จะอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนัก (Dry Weight, D) จากนั้นแช่ก้อนทดสอบทั้งหมดในน้ำเป็นเวลา 12 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักในน้ำ (Suspended Weight, S) จากนั้น

ชั่งก้อนทดสอบแบบหมด (Saturated Weight, W) แล้วนำค่าที่ได้แทนค่าเพื่อหาค่าคุณสมบัติต่างๆ ดังสมการ (ASTM International C 20-00, 2005)

ปริมาตรของก้อนทดสอบ (Volumes, V)

$$\text{Volumes, cubic.cm.} = W - S$$

สมการที่ 3.1

ปริมาตรรูพรุนอากาศ (Volumes of Open Pores)

$$\text{Volumes of Open Pores, cubic.cm.} = W - D$$

สมการที่ 3.2

ปริมาตรของส่วนที่ไม่ละลายน้ำ (Volumes of Impervious Portions)

$$\text{Volumes of Impervious Portions, cubic.cm.} = D - S$$

สมการที่ 3.3

ค่าความพรุน (Apparent Porosity, P)

$$P, \% = [(W - D) / V] \times 100$$

สมการที่ 3.4

ค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำ (Water Absorption, A)

$$A, \% = [(W - D) / D] \times 100$$

สมการที่ 3.5

ค่าความหนาแน่น (Bulk Density)

$$B, \text{g/cubic.cm.} = D / V$$

สมการที่ 3.6

ภาพที่ 3.15

การชั่งน้ำหนักก้อนทดสอบในน้ำ



หมายเหตุ: ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย เมื่อวันที่ 21 ธันวาคม 2553

(3) การทดสอบกำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์เฟสต์ตามมาตรฐาน ASTM C 109 โดยวางตัวอย่างทดสอบบนแป้นปาทรงกลมบนเครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด เพิ่มแรงอัดด้วยอัตราสม่ำเสมอจนตัวอย่างทดสอบแตกภายในเวลา 20-80 วินาที หลังจากเริ่มกดแรง บันทึกค่าแรงอัดสูงสุด (แรงอัดประลัย) หน่วยเป็นกิโลกรัม

คำนวณค่ากำลังอัดประลัย จากสมการที่ 3.7

ค่ากำลังอัดประลัย (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)

$$= \text{แรงอัดประลัย} / \text{พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างทดสอบ} \quad \text{สมการที่ 3.7}$$

(4) การทดสอบคุณสมบัติทางความร้อน โดยเทคนิค TCA (Thermal Constant Analysis) เข้าเครื่อง Hot Disk Thermal Constant Analyzer ในห้องที่มีการควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส และนำค่าการนำความร้อนที่ได้ (C) มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) และค่าความต้านทานความร้อน (R) ดังสมการที่ 3.8

$$C = k / \text{ค่าความหนาวัสดุ} = 1 / R \quad \text{สมการที่ 3.8}$$

เมื่อ C คือ ค่าการนำความร้อน (วัตต์ ต่อตารางเมตร เคลวิน)

k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (วัตต์ ต่อเมตร เคลวิน)

R คือ ค่าความต้านทานความร้อน (ตารางเมตร เคลวิน ต่อวัตต์)

ภาพที่ 3.16

กระบวนการทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เฟสต์



หมายเหตุ: ถ่ายภาพโดยผู้วิจัย เมื่อวันที่ 17 มกราคม 2554

ภาพที่ 3.17

เครื่อง Thermal Constant Analyzer (Hot Disk TCA)



ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2554

3.3.3 การทดสอบกระเบื้องมุงหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติที่ผสมเส้นใยกาบมะพร้าว และกากเยื่อไผ่ปาล์ม

การทดสอบแผ่นกระเบื้องตัวอย่างนั้นได้กำหนดการทดสอบของวัสดุตามมาตรฐาน ASTM C 1185-03 และพิจารณาว่าคุณสมบัติที่ได้แต่ละตัวอย่างผ่านเกณฑ์หรือไม่ ตามมาตรฐาน ASTM C 1186-02

ตัวอย่างแผ่นทดสอบชุดที่ 1 เพื่อทดสอบค่าความต้านทานแรงดัดในสภาวะแห้ง

ตัวอย่างแผ่นทดสอบชุดที่ 2 เพื่อทดสอบค่าความต้านทานแรงดัดในสภาวะบ่ม

ตัวอย่างแผ่นทดสอบชุดที่ 3 เพื่อทดสอบการเปลี่ยนรูปเนื่องจากความชื้น

ตัวอย่างแผ่นทดสอบชุดที่ 4 เพื่อทดสอบค่าปริมาณความชื้น

ตัวอย่างแผ่นทดสอบชุดที่ 5 เพื่อทดสอบการไม่รั่วซึมน้ำ

ในการทดสอบใช้จำนวนแผ่นตัวอย่าง 3 แผ่นต่อหนึ่งสัดส่วนเส้นใย เพื่อนำผลการทดสอบมาหาค่าเฉลี่ย

(1) การหาค่าความต้านทานแรงดัดที่สภาวะแห้งและสภาวะบ่ม ตามมาตรฐาน ASTM C 1185-03 โดยวางแผ่นทดสอบบนแท่นรองรับบนเครื่องทดสอบความต้านทานแรงดัด โดยเครื่องกดต้องอยู่กึ่งกลางของแผ่นทดสอบ และเริ่มกดแผ่นทดสอบ ใช้ความเร็วในการกดไม่เกิน 5 กิโลนิวตันต่อวินาที จนกว่าแผ่นทดสอบเกิดการแตกหัก แล้วบันทึกค่าแรงกดสูงสุดที่แผ่นทดสอบสามารถรับได้ และนำไปแทนค่าในสมการที่ 3.9

ค่าความต้านทานแรงดัด (Flexural Strength, R)

$$R = (3PL) / (2bd^2)$$

สมการที่ 3.9

เมื่อ	R	คือ ค่าความต้านทานแรงดัด (เมกะปาสคาล)
	P	คือ แรงกดสูงสุด (นิวตัน)
	L	คือ ระยะห่างของแท่นรองรับ (มม.)
	b	คือ ความกว้างที่จุดกึ่งกลางด้านยาวของแผ่นทดสอบ (มม.)
	d	คือ ความหนาที่จุดกึ่งกลางด้านยาวของแผ่นทดสอบ (มม.)

(2) การหาค่าความหนาแน่นของแผ่นทดสอบ ตามมาตรฐาน ASTM C 1185-03 โดยทำการวัดขนาดแผ่นทดสอบก่อนอบแผ่นทดสอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และแช่น้ำเป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักขณะอิ่มตัว (Saturated Weight, w) นำแผ่นทดสอบชั่งน้ำหนักในน้ำ จะได้น้ำหนักในน้ำ (Suspended Weight, S) นำค่าทั้งสองไปแทนค่าในสมการที่ 3.10

ค่าความหนาแน่น (Density)

$$\text{Density, kg/m}^3 = (W \times 10^6) / V$$

สมการที่ 3.10

เมื่อ	W	คือ น้ำหนักแผ่นทดสอบแห้ง (กรัม)
	V	คือ ปริมาตรแผ่นทดสอบ (ลบ.มม.) หาได้จาก w - S

(3) การหาการเปลี่ยนรูปเนื่องจากความชื้น ตามมาตรฐาน ASTM C 1185-03 โดยนำแผ่นทดสอบขนาด 30 เซนติเมตร x 7.5 เซนติเมตร x 0.5 เซนติเมตร เก็บไว้ในห้องที่มีความชื้น 30% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้ววัดความยาวของแผ่นทั้งด้านสั้นและด้านยาว และนำแผ่นทดสอบดังกล่าวเก็บไว้ในห้องที่มีความชื้น 90% เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้ววัดความยาวของแผ่นทั้งด้านสั้นและด้านยาว นำค่าที่ได้แทนในสมการที่ 3.10

ค่าการเปลี่ยนรูปเนื่องจากความชื้น (Linear Change, %)

$$\text{Linear Change, \%} = \frac{[(L) \text{ at } 90\% - (L) \text{ at } 30\%]}{(L) \text{ at } 30\%} \times 100$$

สมการที่ 3.11

(4) การหาค่าปริมาณความชื้น ตามมาตรฐาน ASTM C1185-03 โดยนำแผ่นทดสอบ ขนาด 15 เซนติเมตร x 7.5 เซนติเมตร x 0.5 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักเพื่อเป็นน้ำหนักต้น (w) และอบ แผ่นทดสอบดังกล่าวในตู้อบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นแล้วชั่ง น้ำหนักแห้ง (F)

ค่าปริมาณความชื้น (Moisture Content, M)

$$M, \% = 100 [(w - F) / F]$$

สมการที่ 3.12

(5) การตรวจสอบการไม่รั่วซึมน้ำ ตามมาตรฐาน ASTM C 1185-03 นำแผ่นทดสอบ ขนาด 60 เซนติเมตร x 50 เซนติเมตร x 0.5 เซนติเมตร เก็บไว้ในห้องอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 5 วัน จากนั้นนำกรอบขนาด 55 เซนติเมตร x 45 เซนติเมตร มาวางบนแผ่น ทดสอบ 4 ด้าน แล้วยาแนวตามรอยสัมผัสไม่ให้เกิดรอยรั่วได้ ใส่ น้ำในกรอบโดยรักษาระดับความ สูงของน้ำให้คงที่ที่ 5 เซนติเมตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วตรวจดูได้แผ่นทดสอบว่ามีหยดน้ำหรือไม่ อาจมีรอยน้ำซึมแต่ต้องไม่ถึงกับเป็นหยดน้ำ

3.3.4 การจำลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน

การจำลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานระหว่างอาคารพักอาศัยที่มุง กระเบื้องหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติที่ผสมเส้นใยกาบมะพร้าว และกากเยื่อไผ่ปาล์ม กับ กระเบื้องคอนกรีต กระเบื้องซีเมนต์เส้นใยสังเคราะห์ กระเบื้องซีเมนต์ใยหิน และกระเบื้องดินเผา ซึ่งเป็นกระเบื้องที่นิยมใช้ในประเทศไทยในปัจจุบัน โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ eQUEST 3.6 ในการจำลองอาคาร โดยแบ่งการจำลองเป็น 2 ช่วง ได้แก่

ช่วงที่ 1 การศึกษาอิทธิพลของกระเบื้องมุงหลังคาแต่ละประเภทที่มีค่าสัมประสิทธิ์การ นำความร้อน และค่าความต้านทานความร้อนที่ต่างกัน ต่ออาคารพักอาศัยประเภทบ้านเดี่ยวและ ทาวน์เฮ้าส์ โดยวัสดุกระเบื้องมุงหลังคาที่คัดเลือกมานั้นเป็นวัสดุที่นิยมในการก่อสร้างอาคารพัก อาศัยในปัจจุบัน

ตารางที่ 3.5
ค่าคุณสมบัติของวัสดุกระเบื้องมุงหลังคา

วัสดุกระเบื้องมุงหลังคา	ความหนา (ฟุต)	ค่าสัมประสิทธิ์ การนำความร้อน (วัตต์ต่อเมตร เคลวิน)	ค่าความต้านทาน ความร้อน (h-ft °F/BTU)
ซีเมนต์เส้นใยสังเคราะห์* (Synthetic Fiber)	0.018	0.04	0.78
ดินเผา** (Clay Tile)	0.031	1.8000	0.03
ใยหิน** (Rock Wool)	0.131	0.6200	0.21
เส้นใยกาบมะพร้าว (ร้อยละ 5)	0.131	0.6841	0.33
กากเยื่อใยปาล์ม (ร้อยละ 5)	0.131	0.6869	0.33
คอนกรีต** (Concrete)	0.328	1.8700	0.30

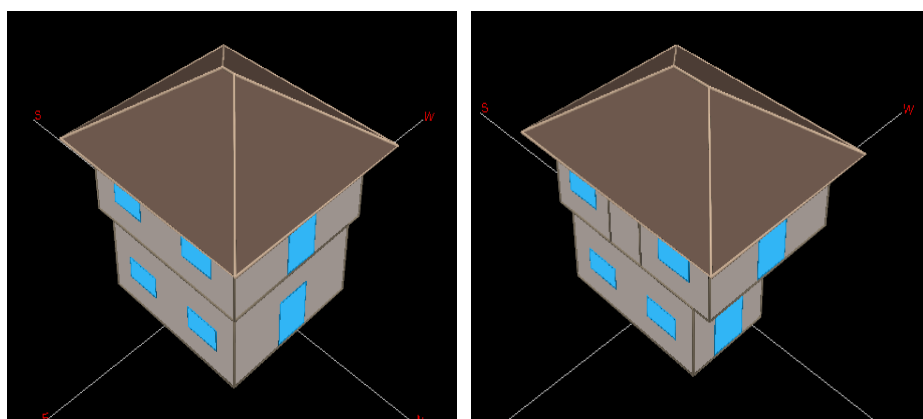
ที่มา: *บริษัท กระเบื้องกระดาศไทย จำกัด, 2550

** Center for Development Technology, 1971

วิเคราะห์ผลจากการทดลอง คือ ค่าการใช้พลังงานในอาคาร ในหน่วยกิโลวัตต์ ชั่วโมง ต่อปี ของอาคารพักอาศัยที่ใช้กระเบื้องมุงหลังคาต่างประเภทมาเปรียบเทียบ เพื่อศึกษาความสามารถในการลดการใช้พลังงานในการปรับอากาศ

ช่วงที่ 2 การศึกษาประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานระหว่างอาคารพักอาศัยประเภทบ้านเดี่ยว 2 ชั้น 2 รูปแบบ และทาวน์เฮ้าส์ 3 ชั้น 2 รูปแบบ เพื่อเสนอแนวทางการใช้กระเบื้องมุงหลังคาซีเมนต์เส้นใยธรรมชาติที่ศึกษาให้เหมาะสมกับประเภทของอาคารพักอาศัย ที่ส่งผลต่อการประหยัดพลังงานสูงสุด โดยคำนึงถึงการใช้งานอาคารพักอาศัยอย่างอิงแต่ละประเภทที่ใช้กระเบื้องมุงหลังคาซีเมนต์เส้นใยที่ศึกษา พร้อมทั้งติดตั้งฉนวนโพลียูรีเทน (Polyurethane) หนา 4 นิ้ว บริเวณใต้กระเบื้องหลังคาและแผ่นฝ้าดงภาพที่ 2.5 และ 2.7 และเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นต่อพื้นที่ใช้สอยต่อปี

ภาพที่ 3.18
หุ่นจำลองอาคารพักอาศัยประเภทบ้านเดี่ยวรูปแบบที่ 1 และ 2



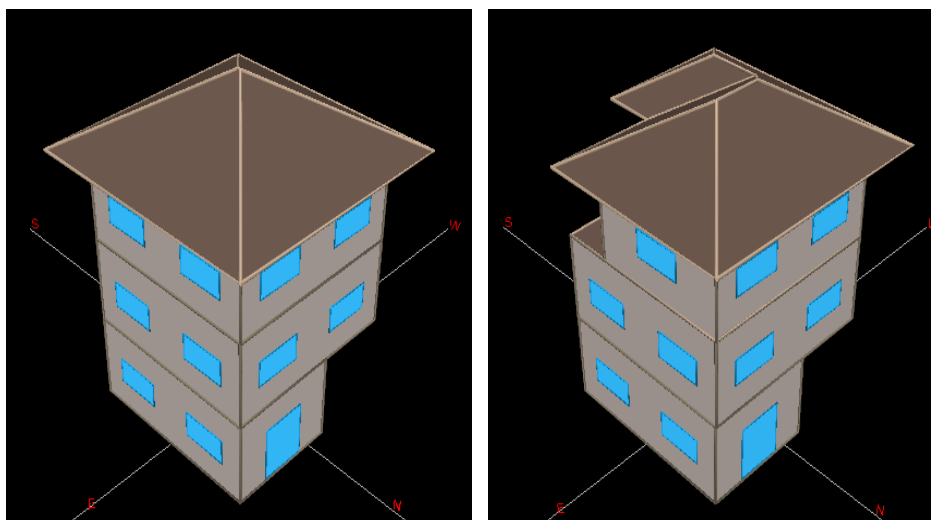
หมายเหตุ: จำลองโดยผู้วิจัย เมื่อวันที่ 3 เมษายน 2554

ตารางที่ 3.6
ลักษณะอาคารพักอาศัยประเภทบ้านเดี่ยว

ประเภทอาคาร พักอาศัย	พื้นที่ภายใน ทั้งหมด (ตร.ม.)	พื้นที่ปรับ อากาศ (ตร.ม.)	พื้นที่กรอบ อาคาร; ผนัง (ตร.ม.)	พื้นที่หลังคา (ตร.ม.)	อัตราส่วน หน้าต่างต่อ ผนัง (WWR, %)
บ้านเดี่ยว รูปแบบที่ 1	126	100	200	105	23.9
บ้านเดี่ยว รูปแบบที่ 2	120	93	188	105	25.4

หมายเหตุ: จัดทำโดยผู้วิจัย เมื่อวันที่ 3 เมษายน 2554

ภาพที่ 3.19
 หุ่นจำลองอาคารพักอาศัยประเภททาวน์เฮ้าส์รูปแบบที่ 1 และ 2



หมายเหตุ: จำลองโดยผู้วิจัย เมื่อวันที่ 3 เมษายน 2554

ตารางที่ 3.7
 ลักษณะอาคารพักอาศัยประเภททาวน์เฮ้าส์

ประเภทอาคาร พักอาศัย	พื้นที่ภายใน ทั้งหมด (ตร.ม.)	พื้นที่ปรับ อากาศ (ตร.ม.)	พื้นที่กรอบ อาคาร; ผนัง (ตร.ม.)	พื้นที่หลังคา (ตร.ม.)	อัตราส่วน หน้าต่างต่อ ผนัง (WWR, %)
ทาวน์เฮ้าส์ รูปแบบที่ 1	129	104	252	80.08	14.06
ทาวน์เฮ้าส์ รูปแบบที่ 2	122	97	252	73.23	14.06

หมายเหตุ: จัดทำโดยผู้วิจัย เมื่อวันที่ 3 เมษายน 2554

3.4 สถานที่ทดลอง

ทำการผลิตก้อนซีเมนต์เพสต์และกระเบื้องมุงหลังคาแผ่นเรียบที่ผสมเส้นใยกาบมะพร้าว และกากเยื่อไผ่ปาล์ม และทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ณ ห้องปฏิบัติการและทดสอบภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ทดสอบเพิ่มเติมในเรื่องการหาค่าความต้านทานแรงดัดจากห้องปฏิบัติการสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย กรุงเทพมหานคร

3.5 การเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลในส่วนของการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุทั้งทางกายภาพ และเชิงกล ได้ใช้ก้อนซีเมนต์เพสต์ที่ผสมเส้นใยกาบมะพร้าว 3 ตัวอย่างต่อหนึ่งสัดส่วนเส้นใยซึ่งมีค่าตั้งแต่ร้อยละ 0 – 15 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ และใช้ก้อนซีเมนต์เพสต์ที่ผสมกากเยื่อไผ่ปาล์มในทำนองเดียวกัน แล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยเป็นผลการทดสอบของประเภทตัวอย่างนั้นๆ ส่วนการทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนของก้อนซีเมนต์เพสต์ ได้ใช้ก้อนซีเมนต์เพสต์ที่ผสมเส้นใยกาบมะพร้าว 2 ตัวอย่างต่อหนึ่งสัดส่วนเส้นใยซึ่งมีค่าตั้งแต่ร้อยละ 0 – 15 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ และใช้ก้อนซีเมนต์เพสต์ที่ผสมกากเยื่อไผ่ปาล์มในทำนองเดียวกัน สำหรับทดสอบตามมาตรฐาน

การเก็บข้อมูลในส่วนของการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาแผ่นเรียบได้ทำการทดสอบแบ่งเป็น 5 ชุด โดยผสมสัดส่วนเส้นใยเพียง 2 สัดส่วน คือ ร้อยละ 5 และ 10 เนื่องจากไม่สามารถหล่อแบบผลิตภัณฑ์ที่สัดส่วนร้อยละ 15 ขึ้นเป็นรูปได้ และผลิตแผ่นทดสอบเป็นจำนวน 3 ตัวอย่างต่อสัดส่วนต่อชุด แล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยเป็นผลการทดสอบของประเภทตัวอย่างนั้นๆ

การเก็บข้อมูลในส่วนของการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ได้ทำการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารต่อพื้นที่ใช้สอยต่อปี (kWh/sq.m./year) ของอาคารพักอาศัยแต่ละประเภทที่มุงกระเบื้องหลังคาที่แตกต่างกัน เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในส่วนการทดสอบคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมเส้นใยกาบมะพร้าว และกากเยื่อไผ่ปาล์มนั้น นอกจากจะมีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองแต่ละตัวอย่างเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้ว ต้องนำค่ากำลังต้านทานแรงดัดที่ได้จากการทดสอบไปเปรียบเทียบกับ

มาตรฐาน ASTM C1186-02 ว่าตัวอย่างกระเบื้องมุงหลังคาที่ได้ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดหรือไม่ โดยเปรียบเทียบดังตารางที่ 3.8 และในส่วนผลจากการทดสอบคุณสมบัติทางความร้อนของผลิตภัณฑ์ที่ได้ จะนำมาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติทางความร้อนของกระเบื้องมุงหลังคาประเภทอื่นตามท้องตลาด โดยวิเคราะห์ประกอบกับค่าการใช้พลังงานในการปรับอากาศต่อปีของในแต่ละวัสดุของบ้านเดี่ยวและทาวน์เฮ้าส์อ้างอิงแต่ละประเภท และเพื่อหารูปแบบอาคารพักอาศัยที่เหมาะสมกับการนำแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาที่ศึกษาไปใช้งานแล้วเกิดประโยชน์สูงสุดในการประหยัดพลังงานที่สูญเสียไปในการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ

ตารางที่ 3.8
เกณฑ์มาตรฐานสำหรับค่ากำลังต้านทานแรงดัด
ของกระเบื้องมุงหลังคาแผ่นเรียบ

ระดับ	ค่ากำลังต้านทานแรงดัด (ขั้นต่ำ)	
	ในสถานะแห้ง (เมกะปาสคาล)	ในสถานะบ่ม (เมกะปาสคาล)
1	4	4
2	7	10
3	13	16
4	18	22

ที่มา: ASTM International, 2002