



การพัฒนาวัสดุอาคารจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเพื่อการประหยัด  
พลังงานและลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

ผศ. ปราโมทย์ วีรานุกูล  
จักรวัฒน์ เรืองแรงสกุล  
สัจจะชาญ พรีดมะลิ  
ประชุม คำพูน

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณประจำปี ๒๕๕๔

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

การใช้ดินขาวผสม เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบเพิ่มประสิทธิภาพ  
การป้องกันความร้อนในผนังคอนกรีตบล็อก



ผศ. ปราโมทย์ วีรานุกูล  
จักรวัฒน์ เรืองแรงสกุล  
สัจจะชาญ พริตมะลิ  
ประชุม คำพุด

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณประจำปี ๒๕๕๔

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

**Development on Building Materials for Saving Energy and Reducing the Heat  
Transferred into Buildings by Using Agricultural Residue**

**Asst. Prof. Pramot Weeranukul**

**Jakrawat Ruengrangskul**

**Sajjachan Pradmali**

**Prachoom Khamput**



**This Report is Funded by Rajamangala University of Technology Phra Nakhon,  
Faculty of Industry Education, Fiscal 2011**

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรออกแบบบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ ทำการเลือกวัสดุฐาน (ชั้นที่ 1) จากอัตราส่วนปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1: หินฝุ่น: แกลบ: ฟางข้าว: น้ำ เท่ากับ 1: 3: 0: 0: 0.3, 1: 1: 0: 1: 0.5, 1: 1: 0.25: 0.75: 0.5, 1: 1: 0.5: 0.5: 0.5, 1: 1: 0.75: 0.25: 0.5, และ 1: 1: 1: 0: 0.5 โดยน้ำหนัก ส่วนวัสดุผิว (ชั้นที่ 2) ใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ขาวชนิดผสมซิลิกา: หินเกล็ดสีเหลืองทอง เบอร์ 4: น้ำ เท่ากับ 1: 4: 0.3 โดยน้ำหนัก ทำการทดสอบความหนาแน่น, การดูดซึมน้ำ, กำลังอัด, และอุณหภูมิผิวหน้าเทียบกับศิลาแลง, หินทราย, คอนกรีตบล็อกประสาน, หินอ่อน, และหินแกรนิต พบว่า บล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ อัตราส่วนปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1: หินฝุ่น: แกลบ: ฟางข้าว: น้ำ เท่ากับ 1: 1: 0.75: 0.25: 0.5 เป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุด โดยมีความหนาแน่น ที่ 28 วัน 1,939.43 กก./ลบ.ม., การดูดซึมน้ำ ที่ 28 วัน ร้อยละ 14.97, และกำลังอัด ที่ 28 วัน 284.69 กก./ตร.ซม. และมีอุณหภูมิผิวหน้าต่ำกว่าวัสดุปูพื้นอื่นๆ กว่า 3 – 13 องศาเซลเซียส

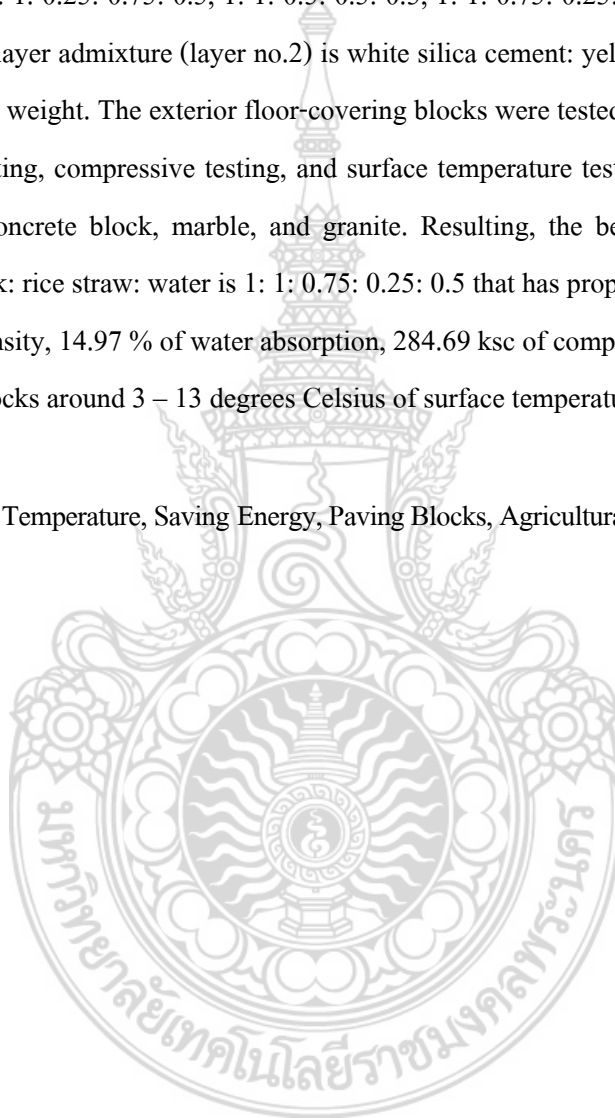
**คำสำคัญ:** อุณหภูมิอาคาร, ประหยัดพลังงาน, บล็อกปูพื้น, วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร



## ABSTRACT

The objective of this research is to study the implementing the agricultural residue to the design of outdoor paving block for lowering the building temperature. The base layer admixture (layer no.1) is selected from cement type1: quarry dust: rice husk: rice straw: water ratios equal to 1: 3: 0: 0: 0.3, 1: 1: 0: 1: 0.5, 1: 1: 0.25: 0.75: 0.5, 1: 1: 0.5: 0.5: 0.5, 1: 1: 0.75: 0.25: 0.5, and 1: 1: 1: 0: 0.5 by weight. The surface layer admixture (layer no.2) is white silica cement: yellow stone chip no.4: water equals to 1: 4: 0.3 by weight. The exterior floor-covering blocks were tested following density testing, water absorption testing, compressive testing, and surface temperature testing compare with laterite, sandstone, paving concrete block, marble, and granite. Resulting, the best ratio of cement type1: quarry dust: rice husk: rice straw: water is 1: 1: 0.75: 0.25: 0.5 that has properties at 28 days following 1,939.43 kg/m of density, 14.97 % of water absorption, 284.69 ksc of compressive strength, and lower than other paving blocks around 3 – 13 degrees Celsius of surface temperature.

**Keywords:** Building Temperature, Saving Energy, Paving Blocks, Agricultural Waste Materials



## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของเรื่อง	1
วัตถุประสงค์	3
ขอบเขตของงานวิจัย	4
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
การป้องกันและลดความร้อนภายในอาคาร	5
การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร	6
อิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์	6
การถ่ายเทความร้อน	7
ภาวะความร้อนและระบบปรับอากาศ	8
คอนกรีตเบา	8
เส้นใยธรรมชาติ	9
ฟางข้าว	9
แกลบ	10
หินล้าง	11
ศิลาแลง	12
หินทราย	12
คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น	12
หินอ่อน	12
หินแกรนิต	13
การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง	13
กรอบแนวความคิด	16

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	17
วัสดุและอุปกรณ์	17
การเตรียมวัสดุ	23
การออกแบบอัตราส่วนผสม	24
การขึ้นรูปบล็อกปูพื้นภายนอกอาคาร	25
การทดสอบบล็อกปูพื้นภายนอกอาคาร	26
การวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบ	28
แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย	28
บทที่ 4 ผลการทดสอบ	30
การเลือกสีของหินเกล็ดที่สะสมความร้อนต่ำ	30
การเลือกขนาดของหินเกล็ดที่สะสมความร้อนต่ำ	32
ความหนาแน่นของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ	33
การดูดซึมน้ำของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ	36
กำลังอัดของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ	37
อุณหภูมิผิวหน้าของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิตามสภาพแวดล้อมจริง	39
การใช้งานจริงของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ	46
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	49
สรุปผล	49
ข้อเสนอแนะ	50
บรรณานุกรม	51
ภาคผนวก	

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	สมบัติทางกายภาพของแกลบ	10
3.1	สมบัติของอินฟราเรดเทอร์โมมิเตอร์ รุ่น DIGICON DP-88 (Infrared Thermometer)	20
3.2	อัตราส่วนที่ใช้ในขั้นตอนที่ 1 การคัดเลือกขนาดและสีของหินเกล็ดสำหรับหล่อ วัสดุส่วนบนที่เหมาะสมต่อการลดการสะสมอุณหภูมิผิวหน้า	24
3.3	อัตราส่วนที่ใช้ในขั้นตอนที่ 2 การเลือกส่วนผสมวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรของ วัสดุส่วนล่างที่แข็งแรงและลดการสะสมอุณหภูมิได้ดี	24
4.1	ความหนาแน่นของบล็อกรูปร่างภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ ที่อายุ 28 วัน	34
4.2	การดูดซึมน้ำของบล็อกรูปร่างภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ ที่อายุ 28 วัน	36
4.3	กำลังอัดของบล็อกรูปร่างภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ ที่อายุ 28	38





## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	5
2.2	10
3.1	18
3.2	18
3.3	18
3.4	19
3.5	19
3.6	20
3.7	21
3.8	22
3.9	22
3.10	22
3.11	23
3.12	23
3.13	25
3.14	26
3.15	27
3.16	28
4.1	30
4.2	31

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.3	อุณหภูมิผิวหน้าของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิที่มีขนาดหินเกล็ดแตกต่างกัน	32
4.4	อุณหภูมิผิวหน้าเฉลี่ยของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิที่มีขนาดหินเกล็ดแตกต่างกัน	33
4.5	ความหนาแน่นของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ ที่อายุ 28 วัน	34
4.6	ภาพขยายฟางข้าวจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 200 เท่า	35
4.7	ภาพขยายเกล็ดจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า	36
4.8	การดูดซึมน้ำของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ ที่อายุ 28 วัน	37
4.9	กำลังอัดของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ ที่อายุ 28 วัน	38
4.10	อุณหภูมิผิวหน้าของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิเทียบกับวัสดุปูพื้นชนิดอื่นๆ บนพื้นที่แห้ง	39
4.11	อุณหภูมิผิวหน้าสูงสุดของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิเทียบกับวัสดุปูพื้นชนิดอื่นๆ บนพื้นที่แห้ง	40
4.12	อุณหภูมิผิวหน้าเฉลี่ยของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิเทียบกับวัสดุปูพื้นชนิดอื่นๆ บนพื้นที่แห้ง	40
4.13	อุณหภูมิผิวหน้าของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิเทียบกับวัสดุปูพื้นชนิดอื่นๆ บนพื้นที่เปียก	41
4.14	อุณหภูมิผิวหน้าสูงสุดของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิเทียบกับวัสดุปูพื้นชนิดอื่นๆ บนพื้นที่เปียก	41
4.15	อุณหภูมิผิวหน้าเฉลี่ยของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิเทียบกับวัสดุปูพื้นชนิดอื่นๆ บนพื้นที่เปียก	42
4.16	อุณหภูมิผิวหน้าของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิเทียบกับวัสดุปูพื้นชนิดอื่นๆ บนพื้นที่ชื้น	42
4.17	อุณหภูมิผิวหน้าสูงสุดของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิเทียบกับวัสดุปูพื้นชนิดอื่นๆ บนพื้นที่ชื้น	43

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.18	43
<p>อุณหภูมิผิวหน้าเฉลี่ยของเปลือกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิเทียบกับวัสดุปูพื้นชนิดอื่นๆ บนพื้นที่ชื้น</p>	
4.19	44
<p>อุณหภูมิผิวหน้าของเปลือกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิเทียบกับวัสดุปูพื้นชนิดอื่นๆ บนพื้นที่เฉลี่ย</p>	
4.20	44
<p>อุณหภูมิผิวหน้าสูงสุดของเปลือกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิเทียบกับวัสดุปูพื้นชนิดอื่นๆ บนพื้นที่เฉลี่ย</p>	
4.21	45
<p>อุณหภูมิผิวหน้าเฉลี่ยของเปลือกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิเทียบกับวัสดุปูพื้นชนิดอื่นๆ บนพื้นที่เฉลี่ย</p>	
4.22	46
<p>โพรงต่อเนื่องในศิลาแลงที่มีส่วนในการนำน้ำจากส่วนล่างขึ้นมาระบายความร้อนด้านบน</p>	
4.23	46
<p>การใช้งานจริงของเปลือกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ</p>	
รูปที่	หน้า
4.24	47
<p>อุณหภูมิภายในอาคารจำลองที่มีการปูและไม่มีการปูเปลือกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิตั้งบนพื้นที่แห้ง</p>	
4.25	47
<p>อุณหภูมิภายในอาคารจำลองสูงสุดที่มีการปูและไม่มีการปูเปลือกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิตั้งบนพื้นที่แห้ง</p>	
4.26	48
<p>อุณหภูมิภายในอาคารจำลองเฉลี่ยที่มีการปูและไม่มีการปูเปลือกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิตั้งบนพื้นที่แห้ง</p>	

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของเรื่อง

โครงการวิจัย “การใช้วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรออกแบบบล็อกรูปพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ” ภายใต้แผนงานวิจัย “การพัฒนาวัสดุอาคารจากเหลือทิ้งทางการเกษตรเพื่อการประหยัดพลังงานและลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร” เป็นโครงการวิจัยที่พัฒนาต่อยอดฐานความรู้ นวัตกรรมและเทคโนโลยีรวมทั้งประสบการณ์จากโครงการวิจัย “การใช้ดินขาวผสม เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าว และแกลบเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนในผนังคอนกรีตบล็อก (ปีงบประมาณ พ.ศ. 2552)” [1], “การศึกษาอิฐประกอบสำหรับปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ (การสนับสนุนจาก สทพ. ปีงบประมาณ 2549)” [2] และ “การศึกษาทดลองใช้ผงแกลบและเส้นใยฟางข้าวทำเป็นเม็ดวัสดุมวลรวมแทนหินปูนในผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อก” [3] ร่วมกับเทคโนโลยีสารเคมีที่ไร้สารพิษให้เกิดเป็น นวัตกรรมบล็อกรูปพื้นภายนอกอาคารที่มีค่าการประหยัดพลังงานสูง ทั้งมีกระบวนการผลิตที่เหมาะสม ในระดับภูมิปัญญาท้องถิ่น โดยเน้นการใช้วัสดุที่เหลือใช้และวัสดุที่เป็นผลพลอยได้จากการแปรรูปของ ผลผลิตทางการเกษตรของพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจมาประยุกต์ใช้ในวัสดุอาคารเพื่อตอบสนอง ความต้องการอาคารที่อยู่อาศัยในชุมชนในการพัฒนาสิ่งแวดล้อมที่อยู่อาศัยในชุมชนท้องถิ่นให้น่าอยู่มี สภาพแวดล้อม คุณภาพชีวิตที่ดี ลดการใช้พลังงานที่เพิ่มมากขึ้น และการเพิ่มมูลค่าของวัสดุที่เหลือใช้ และวัสดุที่เป็นผลพลอยได้จากการแปรรูปของผลผลิตทางการเกษตรที่มูลค่าต่ำหรือไม่มีมูลค่าเลย ใน รูปแบบของวัสดุอาคารที่มีคุณลักษณะที่ได้ดีเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศในประเทศไทยที่เป็นเมือง ร้อนมีความชื้นสูง [4] ซึ่งมีแนวโน้มราคาและความต้องการที่เพิ่มสูงขึ้น โดยมีรายละเอียดความสำคัญ และที่มาของปัญหาตามลำดับดังต่อไปนี้

ในปัจจุบันการลดการใช้พลังงานสิ้นเปลืองภายในประเทศนั้น ได้มีการสนับสนุนและส่งเสริม ให้พัฒนาการใช้พลังงานทดแทนจากหลากหลายหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชน แต่ในการพัฒนา ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับพลังงานทดแทนนั้นต้องใช้ทรัพยากรและการลงทุนทางด้านเทคโนโลยีอย่างมหาศาล ทั้งยังไม่สามารถประสบผลสำเร็จในระยะสั้นได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำพื้นฐานของการประหยัด พลังงานมาใช้ในระยะแรกอย่างเร่งด่วน [5] จากสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศของไทยอยู่ในเขตร้อนมี ภูมิอากาศที่ร้อนชื้น มีอุณหภูมิอากาศสูงตลอดเกือบทั้งปี ความร้อนที่เกิดขึ้นจากดวงอาทิตย์เกิดขึ้นทั้ง แบบโดยตรงและจากการคายรังสีความร้อนที่วัสดุเก็บความร้อนไว้ เป็นสาเหตุให้เกิดภาวะไม่น่าสบาย จากอุณหภูมิที่สูงขึ้น จากทั้งภายในอาคารและสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร ทำให้การให้ระบบปรับ อากาศเพิ่มมากขึ้น เพื่อที่จะสามารถประหยัดพลังงานภายในอาคารให้สามารถบังเกิดผลอย่างยั่งยืนได้ นั้น ควรให้ความสำคัญกับการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ในตัวอาคาร และการป้องกันรังสีความร้อน

จากดวงอาทิตย์โดยทางอ้อมจากการคายรังสีความร้อนที่วัสดุเก็บความร้อนไว้ รอบๆอาคาร ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้เองที่เป็นสาเหตุให้เกิดภาวะไม่น่าสบายจากอุณหภูมิที่สูงขึ้น จากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร แต่ในการใช้อาคารนั้นมีความต้องการที่จะใช้พื้นที่ภายนอกอาคารประกอบกันด้วย ทั้งสวนหย่อม ทางเดิน ระเบียง หรือลานอาคาร ถ้ามีภาวะไม่น่าสบายอันเกิดจากความร้อนดังกล่าวข้างต้น ทำให้พื้นที่รอบบริเวณอาคารไม่ได้รับการใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่ และยังเป็นพื้นที่สะท้อนความร้อน และสะสมความร้อนที่แผ่กลับคืน ทำให้อุณหภูมิโดยรอบอาคารขึ้น และส่งผลให้อาคารกลับมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นด้วย ผู้อยู่อาศัยจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศลดภาวะความร้อนที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะในช่วงเวลาตอนเย็นเพิ่มมากขึ้น ซึ่งย่อมที่จะเกิดผลกระทบกับการสูญเสียพลังงานภายในประเทศจากการนี้เป็นจำนวนมหาศาลอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

จากการศึกษาถึงสัดส่วนความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารที่ พักอาศัยของการไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค พลังงานที่ใช้ไปกับระบบปรับอากาศมีสัดส่วนที่สูงที่สุด แนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบปรับอากาศก็คือ การป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร โดยการป้องกันความร้อนให้กับเปลือกอาคารจากการสะท้อนและแผ่ความร้อนของบริเวณรอบอาคาร จะต้องพิจารณาถึงสถานะปัจจัยสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร โดยเบื้องต้นแล้ว ก็จะพบได้ว่า วัสดุพื้นผิวที่นำมาใช้งานนั้นเป็นปัจจัยหลักในการรับและคายรังสีความร้อน ซึ่งเป็นสาเหตุที่เกิดอุณหภูมิสูงขึ้นนั่นเอง และกระบวนการหนึ่งที่จะลดอุณหภูมิของวัสดุลงได้อย่างตรงไปตรงมามากที่สุด ก็คือ การที่พยายามปรับแต่งสภาพแวดล้อมที่อยู่บริเวณ โดยรอบอาคารให้มีความร่มรื่นเป็นธรรมชาติ [6] และโดยเฉพาะการเลือกใช้วัสดุตกแต่งพื้นผิว เพื่อลดความรุนแรงของอุณหภูมิอากาศลง ก็จะเป็นการแก้ปัญหาที่สมควรดำเนินการอย่างยิ่ง

ดังนั้น โครงการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะทำการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุตกแต่งผิวที่เหมาะสมในการใช้งานบริเวณภายนอกอาคารและเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการลดความร้อนได้ดีที่สุด จึงจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงมวลสารของบล็อกปูพื้นด้วย (Mass Paving) โดยประยุกต์ใช้วัสดุเหลือจากการเกษตรได้แก่ เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fibers) และแกลบ มาใช้ประโยชน์ในการป้องกันความร้อน ความแข็งแรง และน้ำหนักเบา อีกทั้งช่วยลดต้นทุนในผลิต โดยมีปัจจัยในการเลือกการนำเอาวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรชนิดแกลบ มาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุผลิต จากการพิจารณาคุณสมบัติเพิ่มการป้องกันความร้อน ความแข็งแรง น้ำหนักเบา และลดต้นทุนในผลิต โดยสอดคล้องกับการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม การเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมที่อยู่มาจากการสำรวจผลผลิตข้าวเปลือกนาปรังในเดือนพฤษภาคม 2550 จะมีประมาณ 7,440 ล้านตัน [7] และได้ผลผลิตข้าวปีละไม่ต่ำกว่า 24 ล้านตันข้าวเปลือกจะมีปริมาณแกลบสูงถึงประมาณ 5,878.14 พันตัน [8] จากปัญหาเกษตรกรเผาฟางข้าวเหลือทิ้งในนา การเผาฟางและแกลบออกไปจากพื้นที่หลังการเก็บเกี่ยว แม้เพียง 50% ของพื้นที่ทำนาในประเทศไทยก็จะเกิดความสูญเสียธาตุไนโตรเจนไปมากกว่า 97,500 ตันต่อปี ฟอสฟอรัส 3,600 ตันต่อปี

และโพแทสเซียมมากกว่า 61,500 ตันต่อปี รวมทั้งกำมะถันอีก 6,750 ตันต่อปี มูลค่าของธาตุอาหารที่สูญเสียคิดเฉลี่ยปีละประมาณ 3,981 ล้านบาท ไม่เพียงจะทำให้เกิดความสูญเสีย ทางด้านเศรษฐกิจและความอุดมสมบูรณ์ของดินนาที่ถูกทำลายไป ยังเกิดผลกระทบต่อระบบการเกษตรและสิ่งแวดล้อม โดยทำให้เกิดควันพิษในอากาศ อุณหภูมิของโลกเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากทำให้เกิดการสะสมปริมาณของก๊าซเรือนกระจกมากขึ้น ระบบนิเวศของสิ่งมีชีวิตถูกทำลาย [9] วิธีการหนึ่งในการกำจัดวัสดุเหลือใช้ที่ได้จากเกษตรกรรมและการลดการทำลายสิ่งแวดล้อม โดยใช้คุณสมบัติของเกลบที่เป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา ถ้านำมาผสมคอนกรีตจะทำให้ลดน้ำหนักของคอนกรีตลงและป้องกันความร้อนได้ และทำให้ราคาไม่สูงมากนักถ้าเทียบกับการผสมวัสดุอื่น แต่อาจทำให้กำลังของคอนกรีตตกลง ซึ่งสามารถนำไปใช้กับโครงสร้างที่ไม่ต้องรับแรงมากได้ จึงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของบล็อกปูพื้น เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตอีกด้วย

จากคุณสมบัติของเกลบมีอยู่มากมายในท้องถิ่น มาประยุกต์ใช้เป็นส่วนผสมของวัสดุก่อสร้าง และจากการศึกษาในเรื่องนี้สามารถแก้ปัญหาทำให้กำลังของคอนกรีตตกลงได้ [10] ดังนั้นจึงนับเป็นแนวความคิดที่มีประโยชน์ และบูรณาการการใช้วัสดุที่มีเหลือใช้จากการเกษตรจำนวนมากในท้องถิ่น เพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อม [11] เพื่อเพิ่มการมูลค่า เพื่อการส่งเสริมให้ชุมชน และบริษัทฯ ขนาดเล็กได้ผลิตเป็นวัสดุบล็อกปูพื้นที่มีรูปลักษณะสามารถลดอุณหภูมิโดยวิธีการระเหยและการระบายน้ำได้ดี และมีคุณสมบัติเพิ่มประสิทธิภาพ ในการต้านทานความร้อนได้ดีที่สุด ไม่ลามไฟ ไร้สารพิษ ได้ดีเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย ให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จริง ในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยที่อนุรักษ์พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและราคาถูก โดยวัสดุที่ได้ี้จะมีคุณสมบัติช่วยลดอุณหภูมิผิวภายนอก ทำให้อุณหภูมิบริเวณนั้น ๆ ต่ำลง ให้ผู้อยู่อาศัยสามารถใช้สอยพื้นที่ภายนอกอาคารได้อย่างสะดวกสบาย และจะส่งผลช่วยลดปริมาณการแผ่รังสีความร้อนจากภายนอกไปสู่ภายในอาคารอีกด้วย โดยผลจากการวิจัยในครั้งนี้สามารถทำให้ได้นวัตกรรมใหม่เป็นบล็อกปูพื้นที่มีรูปลักษณะภายนอกที่สวยงาม ราคาถูก และมีลักษณะเด่นในการที่อุณหภูมิผิวหน้าต่ำกว่าบล็อกปูพื้นที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป จึงมีความเป็นไปได้อย่างยิ่งที่จะได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในอนาคต สามารถสร้างรายได้และความคุ้มค่าในเชิงพาณิชย์ต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อพัฒนาวัสดุปูพื้นของอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานภายในอาคารสำนักงาน/ที่พักอาศัย
- 2) เพื่อทดสอบสมบัติของวัสดุปูพื้นของอาคารตามมาตรฐานของแต่ละสาขาที่ดำเนินการวิจัย

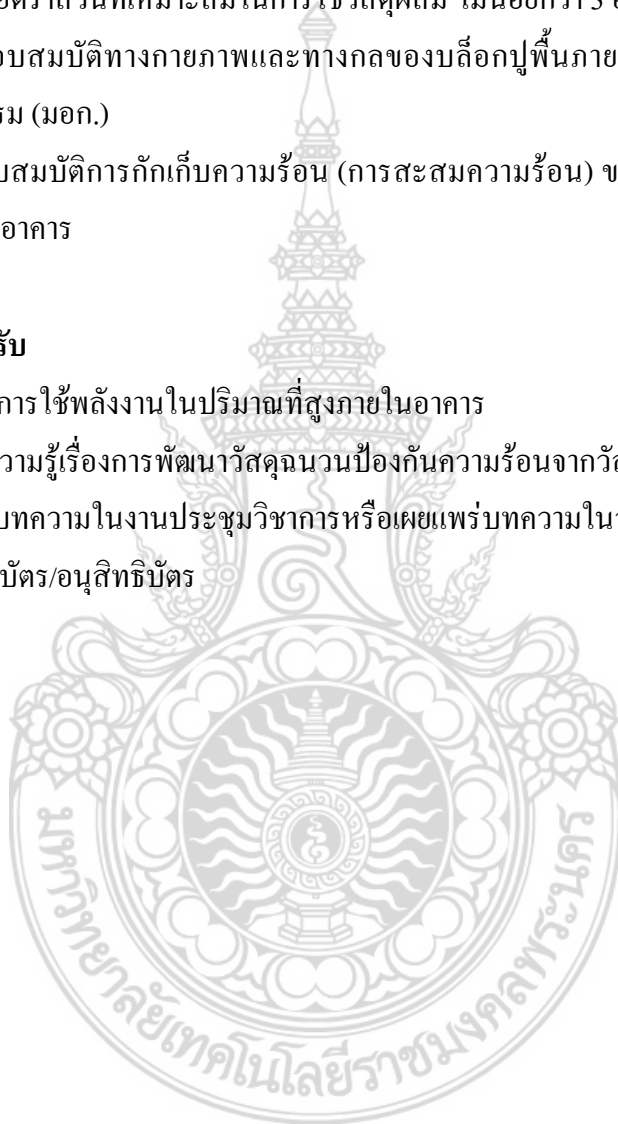
### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

เพื่อให้การศึกษาบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารที่ช่วยในการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร บรรลุตามจุดมุ่งหมายที่วางไว้ ทางผู้วิจัยจึงได้กำหนดขอบเขตการศึกษา ดังนี้

- 1) ใช้แปลบในเขตภาคกลาง
- 2) ใช้ฟางข้าวในเขตภาคกลาง
- 2) ออกแบบอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้วัสดุผสม ไม่น้อยกว่า 3 อัตราส่วน
- 3) ทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.)
- 4) ทดสอบสมบัติการกักเก็บความร้อน (การสะสมความร้อน) ของวัสดุปูพื้นที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

### 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) แก้ปัญหาการใช้พลังงานในปริมาณที่สูงภายในอาคาร
- 2) เป็นองค์ความรู้เรื่องการพัฒนาวัสดุฉนวนป้องกันความร้อนจากวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร
- 3) เผยแพร่บทความในงานประชุมวิชาการหรือเผยแพร่บทความในวารสารวิชาการไม่น้อยกว่า 1 เล่ม หรือยื่นจดสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร



## บทที่ 2

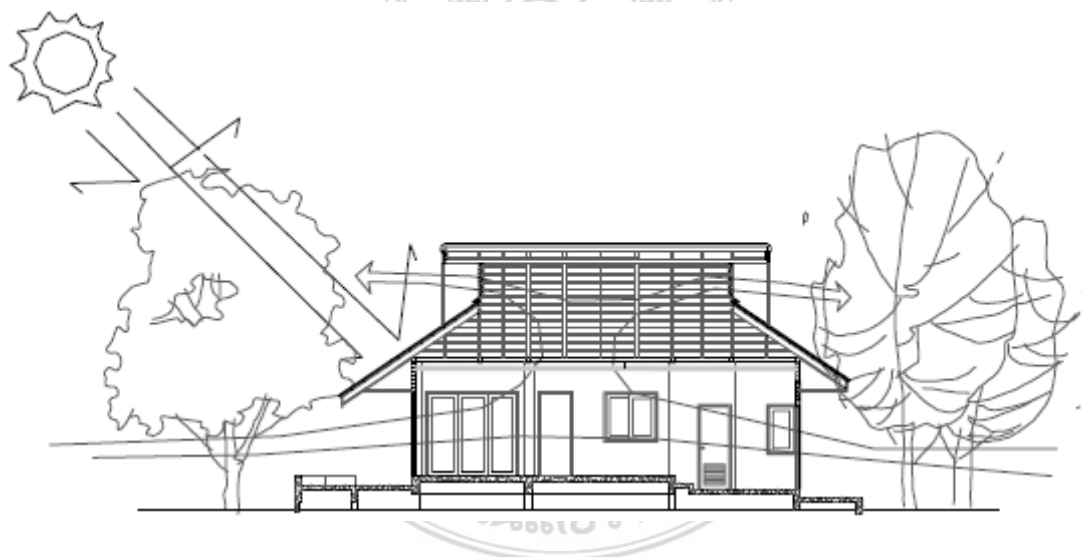
### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การใช้วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรออกแบบเปลือกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ สามารถสรุปรายละเอียดของทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวความคิดในด้านการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อช่วยในการพัฒนาเปลือกปูพื้นภายนอกอาคารให้ใช้งานได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ ดังนี้

#### 2.1 การป้องกันและลดความร้อนภายในอาคาร

เนื่องจากเมืองไทยเป็นประเทศที่อยู่ในภูมิอากาศแบบร้อนชื้น แนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดค่าไฟฟ้า โดยเฉพาะจากระบบปรับอากาศได้ก็คือ การป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร ซึ่งสามารถทำได้หลายแนวทาง อาทิเช่น

- การสร้างความเย็นให้กับสภาพแวดล้อม
- การป้องกันความร้อนให้กับเปลือกอาคาร
- การเลือกใช้การระบายอากาศภายในอาคารอย่างเหมาะสม



รูปที่ 2.1 การป้องกันและลดความร้อนเข้าสู่อาคาร

อย่างไรก็ตามการป้องกันความร้อนที่เข้ามาภายในอาคารที่มีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นจะต้องมีการลดการสะสมความร้อนบริเวณรอบๆ อาคารควบคู่กันไปด้วย เนื่องจากความร้อนดังกล่าวจะมีส่วนอย่างมากต่อความร้อนภายในอาคารจากการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งเปลือกปูพื้นภายนอกอาคารที่พัฒนาขึ้น จะมีการสะสมความร้อนที่ต่ำ ทำให้การแผ่รังสีความร้อนเข้ามาภายในอาคารเกิดขึ้นได้น้อยลง [4]



## 2.2 การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

ความร้อนที่อยู่ภายในอาคารมาจากแหล่งกำเนิดความร้อน 2 ส่วน หลักๆ คือ ความร้อนจากภายนอก และความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคารเอง โดยทั่วไปส่วนมากแล้ว ความร้อนรวมในอาคารจะมาจากภายนอกมากกว่าและเป็นความร้อนที่ได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ โดยการส่งผ่านความร้อนจะมาจากตัวกลางหลายชนิดเข้าสู่อาคาร และความร้อนเหล่านั้นก็จะส่งผ่านทางเปลือกอาคารสู่ภายในอีกชั้นหนึ่ง ซึ่งในเรื่องของการถ่ายเทความร้อนสู่อาคาร จะต้องคำนึงถึงประเด็นในหัวข้อที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ อิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์, การถ่ายเทความร้อน, และการระความร้อนและระบบปรับอากาศ ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในหัวข้อต่อไป [12]

## 2.3 อิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์

ปัจจัยในอากาศเป็นส่วนร่วมของข้อมูลที่มีความแตกต่างกันทางอุตุนิยมวิทยา ซึ่งเป็นการยากที่จะแสดงถึงความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกันเพียงแค่อุณหภูมิของอากาศได้ การออกแบบให้สภาวะภายในอาคารมีความสมดุลทางบรรยากาศ จึงต้องวิเคราะห์ถึงความสำคัญที่เกี่ยวข้องกันของปัจจัยทั้งหมดในอากาศ ซึ่งปัจจัยสำคัญที่มีส่วนร่วมในสภาวะน่าสบายดังกล่าว คือ อุณหภูมิอากาศ การแผ่รังสีความร้อน ความชื้นสัมพัทธ์ และกระแสลมการเปลี่ยนแปลงความแตกต่างของอุณหภูมิประจำปี รวมทั้งการเหนี่ยวนำให้เกิดการพัดของกระแสลม ขึ้นอยู่กับปริมาณการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ ซึ่งเกิดเนื่องจากการโคจรผ่านโลกแตกต่างกันไปตามฤดูกาล ดังนั้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิ การแผ่รังสี การโคจรของดวงอาทิตย์ และกระแสลม จึงเป็นส่วนสำคัญในการวิเคราะห์เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบ [12]

- อุณหภูมิอากาศ: ความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตลอดวัน ขึ้นอยู่กับสภาพของท้องฟ้า ในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใสรังสีความร้อนสามารถผ่านชั้นบรรยากาศได้สะดวกกว่าวันที่ฟ้าครึ้ม ทำให้วันที่ฟ้าใสจะร้อนกว่าโดยเฉพาะในฤดูร้อนจะทำให้อุณหภูมิสูงกว่าปกติ แต่วันฟ้าโปร่งในฤดูหนาวจะหนาวไม่มากนักเนื่องจากดวงอาทิตย์โคจรห่างออกไป

- การแผ่รังสีความร้อน: ดวงอาทิตย์แผ่รังสีความร้อนและแสงสว่างให้กับโลก ซึ่งรังสีความร้อนเข้ามาถึงผิวโลกประมาณ  $420 \text{ Btu} / \text{ft}^2 / \text{hr}$  หรือเท่ากับ  $1.94 \text{ Cal} / \text{cm}^2 / \text{min}$  ทั้งนี้โลกได้รับรังสีความร้อนน้อยกว่าที่ควรจะเป็นมาก เนื่องจากมีบรรยากาศโลกห่อหุ้มไว้ ส่วนหนึ่งของรังสีถูกดูดซึมไว้ในบรรยากาศ บางส่วนกระจายออกเพราะกระทบกับโมเลกุลของบรรยากาศ ส่วนหนึ่งพื้นดินจะรับไว้และเก็บในรูปของความร้อนและค่อยๆ คายออกมาสู่อากาศผิวดิน ยิ่งผิวโลกที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลมากเท่าไรรังสีความร้อนที่ได้รับก็จะเพิ่มขึ้นตามความสูง

- การถ่ายเทรังสีความร้อน: การถ่ายเทรังสีความร้อนมีอยู่หลายลักษณะ ตามชนิดของต้นกำเนิดและลักษณะการถ่ายเท [12] คือ

- 1) คลื่นรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์
- 2) คลื่นรังสีสั้นแผ่กระจาย
- 3) คลื่นรังสีสั้นสะท้อนจากพื้นดิน และสิ่งใกล้เคียง
- 4) คลื่นรังสียาวจากพื้นดิน หรือสิ่งใกล้เคียงที่ร้อน
- 5) คลื่นรังสียาวที่อาคารแผ่กลับให้บรรยากาศ

คลื่นรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์กับคลื่นรังสีแผ่กระจาย รวมกันเรียกว่า คลื่นรังสีรวม หรือการแผ่รังสีรวม (Total Radiation) ซึ่งมีความสำคัญในการพิจารณาเรื่องการได้รับความร้อนทางด้านต่างๆ ของอาคาร วิเคราะห์ในเรื่องทิศทางการวางอาคาร รูปร่างสัดส่วนของอาคารในเขตร้อน การควบคุมอุณหภูมิของอาคาร เทคนิคการก่อสร้างอาคารในเขตร้อน เป็นต้นการแผ่รังสีสะท้อนจากสิ่งที่อยู่ใกล้เคียง ปกติพื้นที่แนวนอนได้รับรังสีเป็น 2 เท่าของพื้นที่แนวตั้ง ในช่วงเวลาที่เกิดความร้อนวิกฤต (Overheated Period) เช่นช่วง 14.00 – 16.00 น. ฉะนั้นอาคารข้างเคียง ส่วนของอาคาร หรือระดับพื้นแนวนอนที่มีผิววัสดุบางอย่างที่จะสะท้อนความร้อนจำนวนมากที่เข้ามาในอาคาร โดยง่าย การออกแบบอาคารโดยมีคาน้ำคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดใหญ่จะสะท้อนแสงและส่งผ่านความร้อนเข้าในห้องชั้นบน จึงควรหลีกเลี่ยงให้มาก และควรมีการวิเคราะห์ที่ตั้ง โครงการให้สัมพันธ์กับทิศทางแดดลม ซึ่งจะสัมพันธ์ไปถึงการวางตำแหน่งห้องต่างๆของอาคารและรวมไปถึงการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ประกอบอาคารด้วย

## 2.4 การถ่ายเทความร้อน

เป็นค่าที่ใช้แสดงความร้อนทั้งหมดที่ผ่านเข้ามาภายในอาคาร ซึ่งอาจเรียกอีกอย่าง ว่าค่า “Q” สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน, พื้นที่ทั้งหมดที่มีการรับแสงแดด และ ค่าความต่างอุณหภูมิเทียบเท่าระหว่างภายนอกและภายในอาคาร [13]

$$Q = U \cdot A \cdot dT \quad (2.1)$$

เมื่อ	Q	=	ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม (W / m <sup>2</sup> °C)
	U	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน
	A	=	พื้นที่ทั้งหมดที่มีการรับแสงแดด (m <sup>2</sup> )
	dT	=	ค่าความต่างอุณหภูมิระหว่างภายนอกและภายในอาคาร(°C)

การคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคาร สามารถแบ่งการคำนวณออกเป็น 2 ส่วน เพื่อให้สะดวกต่อการกำหนดค่า คือ ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนัง (OTTV) และค่าการถ่ายเท

ความร้อนรวมของหลังคา (RTTV) และเมื่อนำทั้งสองส่วนมารวมกันก็จะได้เป็นค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของอาคารทั้งหมด

## 2.5 ภาระความร้อนและระบบปรับอากาศ

ภาระความร้อน (Heat Load) มักจะแบ่งเป็นประเภทตามสถานที่ที่ได้รับความร้อน คือ ภาระความร้อนห้อง (Room Heat Load) และภาระความร้อนอุปกรณ์ (Apparatus Heat Load) ภาระความร้อนห้อง เช่น ความร้อนสัมผัส (HS) และความร้อนแฝง (HL) เป็นปริมาณความร้อนที่อากาศจากเครื่องทำความเย็นได้รับเพื่อที่จะให้ได้อุณหภูมิภายในห้องตามที่ต้องการ [12] ประกอบด้วย

- ความร้อนที่เข้ามาภายในห้องจากภายนอก
- ความร้อนที่ผลิตขึ้นภายในห้อง

ภาระความร้อนอุปกรณ์ คือ ปริมาณความร้อนที่เครื่องปรับอากาศได้รับเพื่อที่จะให้อากาศที่เป่าออกไปจากเครื่องมีอุณหภูมิและความชื้นตามที่กำหนด- ภาระความร้อนห้อง

- ภาระความร้อนจากอากาศใหม่
- ภาระความร้อนจากกำลังที่ใช้ขับเคลื่อนและอื่นๆ
- ภาระความร้อนที่รั่วไหลเข้ามาทางท่อลมและอื่นๆ

ภาระความร้อนห้อง และภาระความร้อนอุปกรณ์ มักจะแบ่งแยกออกเป็นความร้อนสัมผัส และความร้อนแฝง ความร้อนแฝงเป็นความร้อนของการระเหยของน้ำ มีค่าเท่ากับปริมาณน้ำที่ระเหย (kg/h) x 597.3 (kcal/kg)

## 2.6 คอนกรีตเบา

คอนกรีตเบา คือ คอนกรีตที่มีความหนาแน่นหรือหน่วยน้ำหนักน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป [14] สำหรับคอนกรีตเบาที่นำมาพัฒนาเป็นบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารนี้ จะเป็นประเภทที่ใช้มวลรวมน้ำหนักเบาเป็นส่วนประกอบที่ทำให้น้ำหนักคอนกรีตเบาลง โดยที่มวลรวมน้ำหนักเบาสามารถแบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ

1) มวลรวมเบาที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ หิน Vermiculite, Perlite, Pumice และ Scoria ซึ่งเป็นลาวาที่พองตัวโดยธรรมชาติ เกิดขึ้นเมื่อมีภูเขาไฟระเบิด มวลรวมชนิดนี้ใช้สำหรับผสมคอนกรีตที่ไม่ต้องการกำลังสูงมาก และมวลรวมก็มีคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำสูง

2) มวลรวมเบาที่ได้จากขบวนการผลิต ได้แก่ ดินเหนียวผสมสารที่ก่อให้เกิดฟองอากาศ (Expanded Clay Aggregate) และดินดานผสมถ่านที่บดละเอียดแล้ว (Expanded Shale Aggregate) ดินเหนียวผสมสารที่ก่อให้เกิดฟองอากาศ (Expanded Clay Aggregate) เป็นการนำดินเหนียวมาผสมกับสารก่อฟองอากาศแล้วนำไปเผาในหม้อดินที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ณ อุณหภูมินี้ จะมีการ

ขยายตัวของของดินเหนียว เนื่องจากการเผาไหม้ของสารอินทรีย์ภายในและเกิดเป็นฟองอากาศอยู่ภายในเนื้อดิน เมื่อผ่านการเผาแล้ว ดินจะมีความแข็ง ผิวเรียบแน่น แต่มีเนื้อภายในเป็นโพรงอากาศสำหรับดินดานผสมถ่านที่บดละเอียดแล้ว (Expanded Shale Aggregate) เป็นการนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส วัตถุประสงค์จะถูกหลอมรวมกัน และจะมีฟองอากาศถูกกักเก็บไว้ภายในเนื้อดิน ลักษณะของดินที่ได้จะมีความแข็งแรงมากหลังจากการเผาที่จะนำไปย่อยให้ได้ขนาดตามต้องการ มวลรวมเบาทั้งสองชนิดนี้มีความแข็งแรงค่อนข้างดี และเป็นมวลรวมที่นิยมนำมาใช้เป็นวัสดุผสมคอนกรีตเบามากที่สุด

3) มวลรวมเบาที่ได้จากสารอินทรีย์ ได้แก่ การใช้ไม่บางชนิดใส่ผสมเข้ากับเนื้อคอนกรีต

4) มวลรวมเบาที่ได้จากของเหลือจากขบวนการผลิต ได้แก่ ขี้เถ้าหนัก (Fuymace Bottom Ash) ที่ได้จากโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง

## 2.7 เส้นใยธรรมชาติ

เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fibers) แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ เส้นใยจากพืชหรือเส้นใยเซลลูโลส เส้นใยจากสัตว์หรือเส้นใยโปรตีน เส้นใยแร่ โลหะ เส้นใยเซลลูโลส เป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งเกิดจากเซลลูโลสยึดเกาะกันด้วยพันธะเคมีเป็น โมเลกุลใหญ่มีสูตรเป็น  $(C_6H_{10}O_5)_x$  โครงสร้างและการยึดเกาะของโมเลกุลแสดงในภาพประกอบ โครงสร้างเคมีของเซลลูโลสมีความสำคัญต่อคุณสมบัติของเส้นใย กล่าวคือในโมเลกุลเซลลูโลสจะเกิดจากหน่วยโมเลกุลซ้ำ (Repeat units) ยึดจับกันเป็นสายยาว หน่วยโมเลกุลซ้ำ คือ เซลโลไบโอส (Cellobiose) เกิดจากบีต้า กลูโคส 2 โมเลกุลยึดเกาะกันด้วยพันธะ C-O-C ในโมเลกุลเซลลูโลสจะมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) อยู่มากมายจะทำหน้าที่ดึงดูดน้ำ หรือเกิดปฏิกิริยาจับกับหมู่ธาตุอื่นๆ การจัดเรียงตัวของโมเลกุลเซลลูโลสมีความเป็นระเบียบ (Crystalline) ค่อนข้างมากคือ 85 – 95 % และระหว่างสายโมเลกุลจะมีการยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) เป็นระยะๆ ซึ่งมีผลทำให้เส้นใยเซลลูโลสมีความเหนียวแข็งแรงค่อนข้างสูง จากข้อมูลคุณสมบัติทางโครงสร้างโมเลกุลของเส้นใยธรรมชาติ จะเห็นว่าสามารถนำมาเป็นส่วนประกอบของคอนกรีตได้ ดังนั้นแนวความคิดในการนำเส้นใยธรรมชาติมาผสมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักจึงมีความเป็นไปได้อย่างยิ่ง และสมควรนำมาทำการศึกษาวิจัยอย่างเป็นจริงจัง เพื่อที่จะได้มีวัสดุก่อสร้างชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีและมีราคาถูกกว่าวัสดุฉนวนชนิดอื่น ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดต่อไป [15]

## 2.8 ฟางข้าว

ฟางข้าวเป็นผลพลอยได้หรือเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการเก็บเกี่ยวข้าวแล้ว โดยในแต่ละปีจะมีฟางข้าวเหลือในนาหลังจากเก็บเกี่ยวแล้วประมาณ 300–1,500 กิโลกรัม/ไร่ [16] จากการประเมินอย่าง

คร่าวๆ พบว่า จะมีฟางข้าวประมาณ 35 ล้านตัน/ปี [17] ซึ่งในปัจจุบันการใช้ประโยชน์จากฟางข้าวยังมีน้อยมาก เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่ไม่ให้ความสำคัญปล่อยทิ้งปล่อยขว้าง และบางรายจุดไฟเผาทำลายอย่างน่าเสียดาย ทั้งที่ฟางข้าวนั้นมีประโยชน์มากมาย ที่พอจะเห็นประโยชน์ได้อย่างชัดเจนคือการนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ เช่น โค กระบือ เป็นต้น [18]

## 2.9 แกลบ

ข้าวเป็นผลิตผลทางการเกษตรที่สำคัญมาก ในปีหนึ่งจะมีการเก็บเกี่ยวข้าวได้ทั่วโลกประมาณ 600 ล้านตันซึ่ง ประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกข้าวมากที่สุด มีกำลังการผลิตข้าวปีละประมาณ 25 ล้านตัน ในปีหนึ่งๆ ในกระบวนการสีข้าวเปลือกสะอาด 100% จะได้แกลบ 20-30% รำ 8-11% ทำให้ประเทศไทยได้แกลบจากการสีข้าวประมาณ 5 ล้านตัน ในแต่ละตัน (1,000 กิโลกรัม) ของข้าวเปลือกเมื่อสีแล้วจะมีแกลบอยู่ประมาณ 200 กิโลกรัม [10]



รูปที่ 2.2 กองแกลบ

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพของแกลบ [10]

สมบัติ	รายละเอียด
สี	เหลือง/ทอง
ความยาว (มม.)	5-10
ความกว้าง (มม.)	2.5-5
ความแกร่ง (Mohr' s scale)	5.5-6.5
ความหนาแน่นรวม (กก./ม <sup>3</sup> .)	96-160
มุมเอียงเวลาดอง (Angle of repose)	35

## 2.10 หินล้าง

หินล้าง เป็นการนำเอาหินเกล็ดที่มีการแบ่งขนาดออกเป็นเบอร์ต่างๆ มาผสมเข้ากับปูนซีเมนต์ชนิดต่างๆ และเติมน้ำลงไป จากนั้นนำไปฉาบบนพื้นหรือผนังของอาคาร เมื่อฉาบเรียบร้อยแล้ว ให้ล้างปูนซีเมนต์ที่เคลือบหน้าหินเกล็ดออกก่อนที่ปูนซีเมนต์จะแข็งตัว เพื่อให้เห็นผิวหน้าของหินเกล็ด หลังจากนั้นจึงทำการล้างด้วยกรดอ่อนเป็นอันเสร็จสมบูรณ์ หินล้างนั้นเหมาะสำหรับพื้นนอกบ้าน ลานจอดรถ รอบสระว่ายน้ำ รั้วบ้าน กันลื่นได้ และสามารถผสมกับวัสดุตกแต่งพื้นอย่างอื่นได้ เช่น หินอ่อน หินกาบ เซรามิค และโมเสก เป็นต้น [13]

### 1) อุปกรณ์ที่ใช้ในงานหินล้าง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงานหินล้างนั้น จะใช้อุปกรณ์ที่มีใช้กันอยู่ในงานก่อสร้างทั่วไป ดังนี้

- 1.1) เกียงก่อ
- 1.2) เกียงฉาบหรือเกียงตบ
- 1.3) แปลงน้ำ
- 1.4) ถังผสม
- 1.5) แบบหล่อ
- 1.6) ลวดผูกเหล็ก

### 2) วิธีการทำหินล้าง [13]

สำหรับวิธีการทำหินล้าง โดยทั่วไปจะมีวัสดุ อัตราส่วน และขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

- 2.1) ทำการเข้าแบบหล่อแล้วรัดด้วยลวดผูกเหล็ก
- 2.2) ทำการผสมวัสดุต่างๆ โดยทำการตวงเป็นปริมาณ ดังนี้
 

เม็ดหินเกล็ด	7	ส่วน
ปูนซีเมนต์	6	ส่วน
น้ำ	3	ส่วน
- 2.3) นำส่วนผสมที่ผสมเข้ากันดีแล้วมาปาดเข้าแบบหล่อ
- 2.4) ทำการตบด้วยเกียงก่อหรือเกียงฉาบเพื่อให้หินเกล็ดลอยตัวขึ้นมา
- 2.5) ปาดให้เรียบ จากนั้นปล่อยให้ทิ้งไว้ประมาณ 1/2 ชั่วโมง
- 2.6) ใช้แปรงน้ำจุ่มน้ำแล้วราดลงบนผิวหน้า
- 2.7) ทำการปาดปูนซีเมนต์ออกจากผิวหน้าหินล้างด้วยแปรงน้ำ
- 2.8) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2.6) ถึงขั้นตอนที่ 2.7) จนเกล็ดหินปรากฏชัดเจน ทิ้งไว้ประมาณ

12 ชั่วโมง

## 2.9) ผสมกรวดเกลือก้อนน้ำในอัตราส่วน

กรวดเกลือก้อน	1	ส่วน
น้ำ	3	ส่วน

2.10) ใช้แประงน้ำจุ่มกรวดเกลือก้อนที่ผสมแล้ว จากนั้นราดลงบนหินล้าง

2.11) ใช้แประงปาดจนครบเศษปูนหลุดออก

## 2.11 ศิลาลง

ศิลาลง (Laterite) เป็นหินตะกอนซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการผุพังสลายตัวของหินอัคนี ซึ่งมีเหล็กออกไซด์เป็นวัตถุประสาน ศิลาลงจึงมีสีน้ำตาลปนแดงเป็นหินที่มีความแข็ง ทนทาน สวยงาม พบที่จังหวัดบุรีรัมย์ และศรีสะเกษ ศิลาลง หรือ แม่รัง เป็นวัสดุในธรรมชาติอย่างหนึ่ง มีลักษณะคล้ายกับหิน สีแดง ส้ม หรือน้ำตาลเข้มมีรูพรุนทั่วไป นับเป็นวัสดุที่มีความสำคัญในการก่อสร้างในอดีต เนื่องจากมีความอ่อนนุ่มและมีความแข็งพอสมควร [19]

## 2.12 หินทราย

หินทราย (Sandstone) เป็นหินมีลักษณะ เนื้อหยาบ จับดูระคายมือ เพราะประกอบด้วยเม็ดทรายขนาดแตกต่างกัน (1/16 – 2 มม.) ส่วนมากเป็นพวกซิลิกา (ควอร์ตซ์ หรือเชิร์ต) แคลไซต์ โดโลไมต์ เหล็กออกไซด์ ซึ่งมักทำให้หินมีสีเหลือง น้ำตาล แดง เป็นหินที่มีอยู่ทั่วไป ทั้งนี้อาจมีแร่ชนิดอื่นๆ และเศษหินดินปะปนอยู่ด้วย เพราะมีวัตถุประสานมีความแข็งแรงมากสามารถขุดเหล็กเป็นรอยได้มีสีต่าง ๆ เช่น แดง น้ำตาล เทา เขียว เหลืองอ่อน พบมากทางภาคอีสาน จังหวัดราชบุรี เพชรบุรี กาญจนบุรี และทางภาคใต้บางแห่ง [13]

## 2.13 คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นหรืออิฐตัวหนอน (Paver Brick) ทำจากส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์กับหินและทรายสามารถรับแรงอัดได้สูงประมาณ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จึงเป็นที่นิยมใช้ในงานปูพื้นและทางเข้า การปูพื้นทำได้ง่าย สะดวก และรวดเร็ว ไม่ทิ้งรอยสกปรก [20]

## 2.14 หินอ่อน

หินอ่อน เกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูป หินอ่อนมีโครงสร้างทางเคมีเหมือนหินปูน หินอ่อนสามารถขัดได้ หินอ่อนบริสุทธิ์เมื่อขัดแล้วจะมีสีขาว แต่ตามปกติหินอ่อนมีรูวหลายหลายสี หินอ่อนเป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้ทำผนัง ชั้นบันได พื้น ทำอุปกรณ์ไฟฟ้า รูปปั้นเครื่องประดับและตกแต่ง อาคาร [13]

## 2.15 หินแกรนิต

คล้ายกับหินอ่อน แต่มีความแข็งแรงและ ราคาแพงกว่า หินแกรนิต มีสีเทาอ่อน เทาเข้ม สีดำ สีแดง ผิวมีความแกร่ง เป็นรอยขีดข่วนได้ยากกว่าหินอ่อน ไม่เก็บความร้อน เป็นหินที่ดูความเย็นแข็งแรงแต่มิให้น้ำหนักมาก มีสี และลวดลายต่างๆ ให้เลือกมากมาย ทั้งนี้เป็นหินที่ค่อนข้างมีราคาแพง ราคาแพง เมื่อเทียบกับหินธรรมชาติด้วยกัน [13]

## 2.16 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้องงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้เส้นใยธรรมชาติผสมในซีเมนต์ที่รวบรวมมาพอสังเขป สำหรับใช้เป็นแนวทางการขึ้นรูปบล็อกปูพื้นภายนอกอาคาร มีดังต่อไปนี้

1) เลิศลักษณ์ วุฒิสวรรณ (2544) [12] ได้ศึกษาความร้อนจากสิ่งแวดล้อมรอบอาคาร เกิดจากรังสีของดวงอาทิตย์สะสมที่บล็อกปูพื้นภายนอกอาคาร ส่งผลทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น การใช้น้ำมาระเหยผ่านวัสดุ เพื่อให้หน้าทำหน้าที่เป็นตัวกลางดึงความร้อนจากผิววัสดุมาระเหยกลายเป็นไอ จะเป็นผลทำให้ผิววัสดุที่สัมผัสกับโมเลกุลของน้ำมีอุณหภูมิต่ำลง และเมื่อพิจารณาจากแผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric Chart) ซึ่งเป็นแผนภูมิที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาสภาพอากาศ สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อเกิดการระเหยน้ำ อุณหภูมิที่น้ำระเหยจะเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียก ดังนั้นอุณหภูมิผิววัสดุที่มีการระเหยของน้ำ จะมีอุณหภูมิลดลงวัตถุประสงค์ของการทดลอง คือ ศึกษาหาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการลดอุณหภูมิของวัสดุปูพื้นภายนอกอาคาร เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่อการลดความร้อนวัสดุปูพื้นภายนอกอาคาร และนำเสนอวิธีการลดการสะสมความร้อนของวัสดุปูพื้นภายนอกอาคาร สำหรับประยุกต์ใช้กับงานจริง วิธีการวิจัย โดยศึกษาทดสอบอิทธิพลรังสีดวงอาทิตย์ อิทธิพลของลมและอิทธิพลของชนิดวัสดุปูพื้นในเรื่องของมวลสาร(Mass) การนำความร้อน (Conductivity) การดูดซึมน้ำ (Water Absorption) การดูดซับรังสีความร้อน(Thermal Absorption) การคายรังสีความร้อน (Emissivity) การทดสอบทั้งหมดประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่1 เพื่อหาสาเหตุของความร้อนที่สะสมที่ผิวบล็อกปูพื้นภายนอกอาคาร ทดสอบอิทธิพลของดวงอาทิตย์ อิทธิพลของลม และชนิดของวัสดุ การเลือกวัสดุทดสอบ พิเคราะห์ที่ค่าการนำความร้อนและค่าการดูดซึมน้ำซึ่งแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ มาก ปานกลาง น้อย ดังนั้นจึงได้เลือกใช้ หิน อิฐ และคอนกรีตมวลเบา เพื่อทดสอบในการวิจัยครั้งนี้ ผลจากขั้นตอนที่1 พบว่า กลางแจ้ง รังสีดวงอาทิตย์เป็นตัวแปรที่เพิ่มอุณหภูมิ ส่วนลมเป็นตัวแปรที่ช่วยลดอุณหภูมิ จากนั้นจึงทดสอบในขั้นตอนที่2 การทดสอบในขั้นตอนนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่1 เพื่อลดสาเหตุของความร้อนทดสอบลดอิทธิพลรังสีดวงอาทิตย์ และเพิ่มอิทธิพลของลม วางวัสดุในร่ม ซึ่งมีลมพัดผ่านและศึกษาการนำความร้อน โดยเปรียบเทียบอุณหภูมิผิว หินทรายและคอนกรีตมวลเบา ศึกษาการคายรังสีความร้อนในเรื่องลักษณะพื้นผิว โดยเปรียบเทียบ



คอนกรีตบล็อกปูพื้นผิวเรียบกับคอนกรีตบล็อกผิวกรวด และศึกษาการดูดซับรังสีความร้อนในเรื่องสีผิว โดยเปรียบเทียบคอนกรีตมวลเบาผิวสีขาวกับคอนกรีตมวลเบาผิวสีดำ ส่วนที่ 2 เพื่อเพิ่มอิทธิพลความเย็นให้กับผิวบล็อกปูพื้นภายนอกอาคาร ทดลองใช้วิธีการระเหยของน้ำผิววัสดุด้านบนและศึกษาเปรียบเทียบวัสดุต่างๆเหมือนกับการทดสอบส่วนที่ 1 การทดสอบส่วนที่ 3 เพื่อเพิ่มอิทธิพลความเย็นเหมือนกับการทดสอบส่วนที่ 2 แต่ทดลองใช้ทั้งวิธีการระเหยและใช้ลมพัดผ่าน ศึกษาเปรียบเทียบอิทธิพลกระแสลม จากนั้นจึงทำการทดสอบขั้นตอนที่ 3 เป็นการประยุกต์นำมาใช้งาน ทำการทดลองใช้งานกับงานภูมิสถาปัตยกรรมในประเทศไทย เพื่อนำความเย็นที่ได้ มาใช้ลดอุณหภูมิสภาพแวดล้อมนอกอาคารผลการวิจัยพบว่า เมื่อวางวัสดุกลางแจ้ง และใช้วิธีการระเหยน้ำผ่านผิววัสดุ วัสดุที่มีการดูดซึมน้ำขึ้นมาที่ผิวด้านบนมาก จะมีอุณหภูมิผิวที่ต่ำกว่าวัสดุที่มีการดูดซึมน้ำขึ้นมาที่ผิวบนน้อย วัสดุทั้งหมดมีอุณหภูมิผิวสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุที่อยู่ในร่ม และใช้วิธีการระเหยน้ำ วัสดุกลุ่มนี้จะมีอุณหภูมิผิวต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อวางวัสดุในร่ม และไม่ใช้วิธีการระเหยน้ำคุณสมบัติการนำความร้อนของวัสดุจะมีอิทธิพลต่อการลดอุณหภูมิผิววัสดุมากกว่าคุณสมบัติการดูดซึมน้ำ ส่วนในกรณีที่วางวัสดุในร่ม และใช้วิธีการระเหยน้ำ คุณสมบัติการดูดซึมน้ำของวัสดุจะมีอิทธิพลต่อการลดอุณหภูมิผิววัสดุมากกว่าคุณสมบัติการนำความร้อน จึงสามารถสรุปได้ว่า วัสดุที่อยู่ในร่ม และใช้วิธีการระเหยน้ำผ่านผิววัสดุ อุณหภูมิผิววัสดุจะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศโดยเฉลี่ย 5 องศาเซลเซียส ในช่วง 8.00-17.00น. วัสดุที่เหมาะสมต่อการใช้งานปูพื้นภายนอกอาคาร ในที่ร่ม และใช้วิธีการระเหยน้ำผ่านผิววัสดุ ควรมีความหนาแน่นน้อย มีคุณสมบัติการดูดซึมน้ำที่ดี และมีค่าการคายความร้อนสูงซึ่งหมายถึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสอากาศมาก ส่วนลักษณะสีผิวของวัสดุที่มีการระเหยน้ำในที่ร่มพบว่า วัสดุที่มีสีเข้มจะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับวัสดุสีอ่อน สีผิวจึงเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลน้อยมากต่ออุณหภูมิผิววัสดุสำหรับการทดลองครั้งนี้

2) ประชุม คำพุ่ม และคณะ (2550) [2] ได้ศึกษาการเลือกวัสดุที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นอิฐปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิที่ผิวหน้าของวัสดุลงให้น้อยกว่าบล็อกปูพื้นทั่วไป ให้สามารถลดความร้อนเท้าของผู้ใช้งานขณะทำกิจกรรมต่าง ๆ กลางแจ้ง โดยทำการเลือกวัสดุฐาน (ชั้นล่าง) ให้มีสมบัติในการดูดความชื้นได้ดีและสามารถพาความชื้นสู่ผิวด้านบนได้ ส่วนวัสดุผิว (ชั้นบน) เลือกใช้วัสดุที่มีสมบัติในการสะสมความร้อนได้น้อย ซึ่งวัสดุที่นำมาทดสอบจะเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีจำหน่ายทั่วไป ตามท้องตลาด ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำพบว่า คอนกรีตมวลเบามีความเหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัสดุฐานมากที่สุด และปูนซีเมนต์ที่เลือกใช้ทำกรวดล่างคือปูนซีเมนต์ขาว เมื่อนำมาประดิษฐ์เป็นอิฐปูพื้นหน้ากรวดล่าง โดยใช้กรวดสีดำเบอร์ 4 กรวดสีขาวเบอร์ 4 กรวดสีเหลืองทองเบอร์ 5 เบอร์ 4 และเบอร์ 3 ½ และทำการทดสอบอุณหภูมิผิวหน้าโดยใช้เครื่องอินฟราเรดเทอร์โมมิเตอร์ พบว่า กรวดสีเหลืองทอง เบอร์ 5 มีการสะสมความร้อนน้อยที่สุดส่งผลทำให้อิฐปูพื้นที่ได้มีอุณหภูมิที่ผิวหน้าต่ำกว่าอิฐปูพื้นที่ใช้กรวดชนิดอื่น แสดงว่างานวิจัยในครั้งต่อไปควรเลือกใช้ คอนกรีตมวลเบา ปูนซีเมนต์ขาว

และกรวดสี่เหลี่ยมทองเบอร์ 5 เป็นวัสดุหลักในการศึกษาพัฒนาผลิตภัณฑ์อิฐปูพื้นลดอุณหภูมิภายนอกอาคารเพื่อใช้งานกลางแจ้ง

3) บุตรี หิรัญ (2551) [21] ได้ศึกษาศึกษาส่วนผสมของคอนกรีตพูนที่สามารถอัดขึ้นรูปเป็นบล็อกปูถนนได้ โดยทำการศึกษาความสัมพันธ์ด้านกำลังรับแรงอัด ความชื้นน้ำ และความสามารถในการอัดขึ้นรูปบล็อกของบล็อกปูถนน ส่วนผสมของคอนกรีตพูนใช้หินกรวดที่ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน ASTM และเลือกใช้หินกรวดที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 2 (3/8"), เบอร์ 4 และ เบอร์ 8 มาผสมกัน โดยใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 18% , 20% และ 22% โดยน้ำหนักหินและอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.35 และ 0.40 จากการวิจัยพบว่าส่วนผสมคอนกรีตพูนที่ใช้สัดส่วนคละของหินกรวดที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 2 (3/8") และเบอร์ 8 อย่างละเท่าๆกัน โดยน้ำหนักหิน และส่วนผสมคอนกรีตพูนที่ใช้สัดส่วนคละของหินกรวดที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 2 (3/8"), เบอร์ 4 และเบอร์ 8 อย่างละเท่าๆกัน โดยน้ำหนักหิน และใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 20% หรือ 22% โดยน้ำหนักหิน จะมีความสามารถในการอัดขึ้นรูปบล็อกปูถนนได้ดี และส่วนผสมที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) 0.40 ซีเมนต์เพสต์จะเคลือบผิวมวลรวมได้ดี

4) กรณ์ชัย โสภณพละกุล (2548) [22] ได้ศึกษาวัตถุประสงค์ของงานวิจัยครั้งนี้ เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำตะกอนประปาเพื่อนำ มาใช้เป็นสารปอชโซลาน การหาค่ากำลังอัดประลัยของก้อนบล็อกคอนกรีตปูพื้นที่มีตะกอนประปาเป็นส่วนผสม และเปรียบเทียบกำลังอัดประลัยกับก้อนตัวอย่างมาตรฐาน ซึ่งมีการทดสอบโดยการนำตะกอนประปามาใช้ผสมบล็อกคอนกรีตปูพื้น ในปริมาณตะกอนประปา ร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนักเทียบกับหินเกร็ด บ่มที่ 7, 14 และ 28 วัน จากนั้น ทำการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัด ค่าความหนาแน่น และค่าการดูดซึม เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับคอนกรีตปูพื้นธรรมดาผลการทดลองพบว่าบล็อกคอนกรีตปูพื้นผสมตะกอนประปา ร้อยละ 10 ที่ค้ำน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.6 เป็นอัตราส่วน ที่เหมาะสมที่สุดในการทดสอบครั้งนี้ ซึ่งผลทดสอบที่ระยะเวลาการบ่มที่ 28 วัน มีดังนี้คือ กำลังอัดประลัยมีค่า 407.52 กก./ชม<sup>2</sup> ความหนาแน่นมีค่า 2540 กก./ม<sup>3</sup> ค่าการดูดซึมมีค่า ร้อยละ 4.03 ซึ่งมีกำลังอัดประลัยน้อยกว่าก้อนบล็อกคอนกรีตปูพื้นธรรมดา เท่ากับ 22.4 กก./ชม<sup>2</sup> จากผลการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่า ตะกอนประปาสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุปอชโซลาน ในการทำบล็อกคอนกรีตปูพื้นได้

5) ประชุม คำพุ่ม (2550) [23] ได้ศึกษาสมบัติของมอร์ตาร์น้ำหนักเบา โดยการใช้เส้นใยจากขยะเปลือกทุเรียนเป็นวัสดุผสมเพิ่ม ออกแบบส่วนผสมของมอร์ตาร์ให้มีอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1: ทรายละเอียดร่อนค้ำตะแกรงเบอร์ 200 เท่ากับ 1: 2.75 โดยน้ำหนัก และกำหนดอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ในสัดส่วนประมาณ 0.83 ซึ่งจะใช้เส้นใยเปลือกทุเรียนแทนที่ปูนซีเมนต์เท่ากับ ร้อยละ 0, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10 และ 0.12 โดยน้ำหนัก นำไปหล่อก้อนตัวอย่างมอร์ตาร์ทดสอบ โดยขนาด 5×5×5 ลบ.ซม. สำหรับทดสอบกำลังอัด ขนาด 4×4×16 ลบ.ซม. สำหรับ

ทดสอบกำลังอัด นำตัวอย่างทั้ง 2 ขนาด มาหาค่าการดูดซึมน้ำและหน่วยน้ำหนักของมอร์ตาร์ ที่อายุมอร์ตาร์ 7, 14 และ 28 วัน ผลการทดสอบพบว่า เมื่อผสมเส้นใยเปลือกทุเรียนแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มอร์ตาร์มีกำลังอัดและการดูดซึมน้ำสูงขึ้น ส่วนกำลังอัดและหน่วยน้ำหนักจะต่ำลง ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วสามารถนำเส้นใยจากขยะเปลือกทุเรียน ไปพัฒนาใช้ในงานคอนกรีตน้ำหนักเบา

6) ปิติ พานิชายุนนท์ และคณะ (2552) [24] ได้ศึกษาและพัฒนาคอนกรีตบล็อกมวลเบาจากฟางข้าวที่เหลือใช้ในชุมชนจังหวัดพัทลุง ในการศึกษาครั้งนี้พิจารณาที่อัตราส่วนผสมแตกต่างกันหลายส่วนผสม และทำการผลิตส่วนผสมละ 5 ก้อนการทดสอบตัวอย่างจะทำการทดสอบน้ำหนัก ความหนาแน่น เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำและค่าแรงอัด จากผลการทดสอบพบว่า การเพิ่มฟางข้าวเป็นส่วนผสมสามารถลดน้ำหนักและความหนาแน่นของตัวอย่างได้ ซึ่งอัตราส่วนโดยปริมาตรของ ดิน: ทราย: ซีเมนต์: ฟาง ที่ให้สมบัติของบล็อกดีที่สุด คือ 10:5:8:8 มีความหนาแน่น 1,591 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าแรงกด 37.56 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรและมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ 19.84เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีฟางข้าว พบว่า น้ำหนักและความหนาแน่นลดลงอย่างเห็นได้ชัดคือ 29.38 เปอร์เซ็นต์ และ 47.40 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

## 2.17 กรอบแนวความคิด

จากทฤษฎีตามที่กล่าวมาแล้ว สามารถตั้งสมมติฐานและกำหนดกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัยเรื่องการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรออกแบบบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ ได้ว่า วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรจำพวกแกลบและฟางข้าว สามารถช่วยลดน้ำหนัก การสะสมความร้อน และต้นทุนของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ รวมทั้งมีการดูดซึมน้ำสูงได้ โดยนำมาผสมในวัสดุส่วนล่างของบล็อกปูพื้น แต่ส่วนบนใช้วัสดุที่มีการวิจัยมาแล้วจากงานวิจัยในหัวข้อ 2.16 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้องว่า มีการสะสมความร้อนต่ำ ได้แก่ หินล้างที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์ขาวชนิดผสม ทั้งนี้เพื่อให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตและก่อสร้างบ้านพักอาศัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ และราคาถูกลง

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

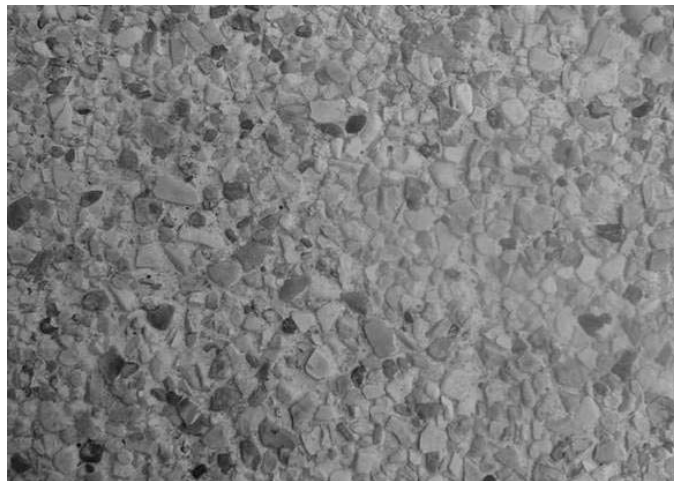
เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการทดลอง โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุที่มีมาตรฐาน ได้แก่

- 1) สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- 2) สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตเครื่องมือและแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- 3) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- 4) ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

#### 3.1 วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการวิจัยเรื่องการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรออกแบบบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ โดยบล็อกปูพื้นที่พัฒนาจะใช้โครงสร้างเป็น 2 ชั้น ซึ่งสามารถแบ่งรายละเอียดส่วนต่างๆ ได้ ดังนี้

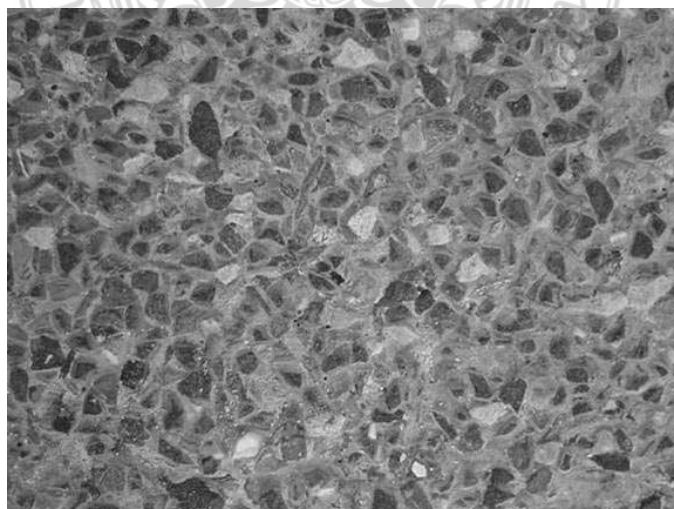
- 1) วัสดุส่วนบน เลือกว่าวัสดุที่สะท้อนความร้อนได้ดี หรือสะสมความร้อนต่ำ ประกอบด้วย
  - 1.1) ปูนซีเมนต์ขาวชนิดผสมซิลิกา
  - 1.2) หินเกล็ดสีและขนาดต่างๆ ได้แก่
    - สีเหลืองทอง เบอร์ 3 ½
    - สีเหลืองทอง เบอร์ 4 ดังรูปที่ 3.1
    - สีขาว เบอร์ 4 ดังรูปที่ 3.2
    - สีดำ เบอร์ 4 ดังรูปที่ 3.3
    - สีเหลืองทอง เบอร์ 5



รูปที่ 3.1 หินเกล็ดสีเหลืองทอง เบอร์ 4



รูปที่ 3.2 หินเกล็ดสีขาว เบอร์ 4



รูปที่ 3.3 หินเกล็ดสีดำ เบอร์ 4

1.3) น้ำประปา

1.4) กรดเกลือ (HCl)

2) วัสดุส่วนล่าง เลือกวัสดุที่มีน้ำหนักเบา สะสมความร้อนต่ำ ดูดซึมน้ำดี และราคาถูก ประกอบด้วย

2.1) ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1

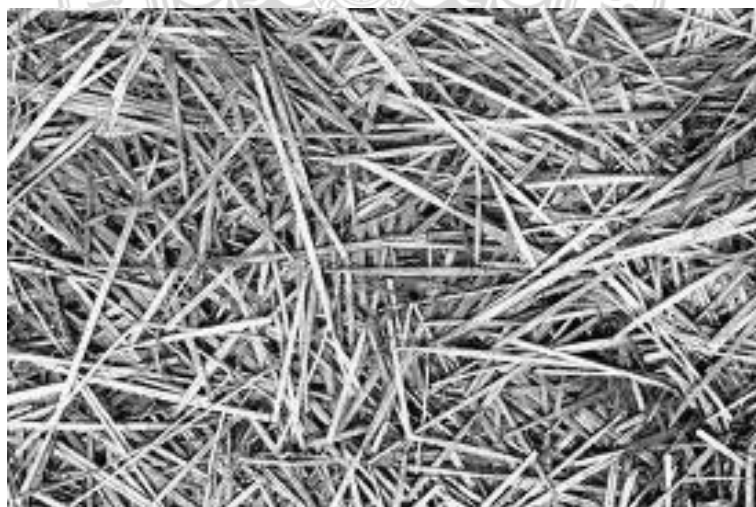
2.2) หินฝุ่น

2.3) แกลบ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แกลบ

2.4) ฟางข้าว ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ฟางข้าว

## 2.5) น้ำประปา

## 3) อุปกรณ์ ประกอบด้วย

3.1) แบบหล่ออบลือกปูนพื้น ขนาด 30 x 30 x 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.2) เครื่อง Universal Testing Machine (UTM)

3.3) เทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะแห้ง

3.4) อินฟราเรดเทอร์โมมิเตอร์ รุ่น DIGICON DP-88 ซึ่งมีรายละเอียดของสมบัติ ดังรูป

ที่ 3.6 และตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.6 อินฟราเรดเทอร์โมมิเตอร์ รุ่น DIGICON DP-88

ตารางที่ 3.1 สมบัติของอินฟราเรดเทอร์โมมิเตอร์ รุ่น DIGICON DP-88 (Infrared Thermometer)

สมบัติ	รายละเอียด
การแสดงผล	จอ LCD 4 หลักพร้อมไฟ Backlight
อัตราส่วนระหว่างระยะทางต่อขนาดวัตถุ	8 : 1
การแสดงผลที่เป้าหมาย	จุดของแสงเลเซอร์
ย่านการวัดอุณหภูมิ	-20 ~ +500°C, -4 ~ +932°F
ความเที่ยงตรง	±2°C (4°F) หรือ ±2% rdg
ความสามารถในการทำซ้ำ	ภายใน ±1% rdg หรือ ±1°C (2°F)
อุณหภูมิ/ ความชื้นขณะใช้งาน	0 ~ 4°C (32 ~ 104°F)/ 10 ~ 90%RH
อุณหภูมิ/ ความชื้นขณะเก็บรักษา	-10 ~ +60°C (14 ~ 140°F), สูงสุด 75%RH

- 3.5) เครื่องขัด
- 3.6) ตู้อบปรับอุณหภูมิได้
- 3.7) เครื่องย่อยเส้นใยให้สั้น
- 3.8) อุปกรณ์ก่อสร้าง เช่น เกียงก่อ, แปร่งน้ำ, กระจ่างปูน เป็นต้น
- 3.9) น้ำมันเครื่อง



รูปที่ 3.7 แปร่งน้ำสำหรับล้างผิวหน้าของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ

- 4) วัสดุปูพื้นที่นำมาเปรียบเทียบการสะสมความร้อน ประกอบด้วย
  - 4.1) ศิลาแลงธรรมชาติ ดังรูปที่ 3.8
  - 4.2) หินทราย ดังรูปที่ 3.9
  - 4.3) คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นหรืออิฐตัวหนอน ดังรูปที่ 3.10
  - 4.4) หินอ่อน ดังรูปที่ 3.11
  - 4.5) หินแกรนิต ดังรูปที่ 3.12





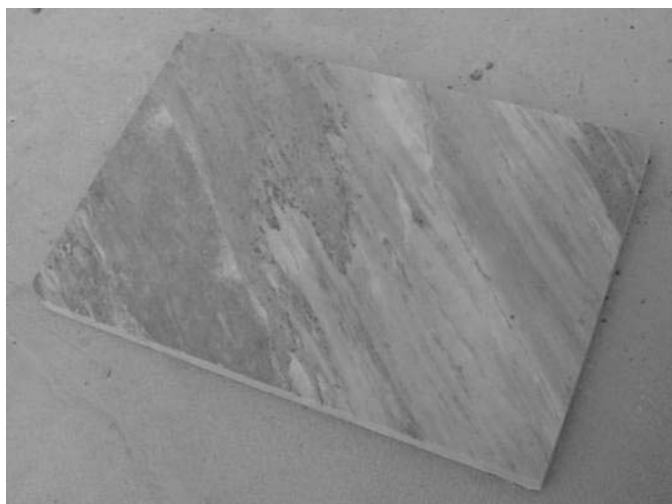
รูปที่ 3.8 ศิลาแลงธรรมชาติ



รูปที่ 3.9 หินทราย



รูปที่ 3.10 คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นหรืออิฐตัวหนอน



รูปที่ 3.11 หินอ่อน



รูปที่ 3.12 หินแกรนิต

### 3.2 การเตรียมวัสดุ

จากวัสดุที่นำมาใช้ใน โครงการวิจัยเรื่องการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรออกแบบบล็อกรปูพื้น ภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ ต้องมีการเตรียมก่อนการขึ้นรูป ดังนี้

- 1) ย่อยฟางข้าวด้วยเครื่องย่อยเส้นใยให้มีความยาว ประมาณ 4 เซนติเมตร
- 2) ทาน้ำมันเครื่องลงบนแบบหล่อ เพื่อไม่ให้บล็อกรปูพื้นที่ทำการขึ้นรูปติดกับแบบหล่อ จนอาจเกิดการแตกหักขณะถอดแบบ
- 3) ทำการอบแกลบและฟางข้าวในตู้อบปรับอุณหภูมิ เพื่อให้ได้ความชื้นก่อนนำวัสดุไปผสม โดยใช้อุณหภูมิในการอบ ไม่เกิน 80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง
- 4) ทำการร่อนหินเกล็ด เบอร์ 5 ให้ผ่านตะแกรง เบอร์ 5 เพื่อให้ได้ขนาดหินเกล็ดตามต้องการ

### 3.3 การออกแบบอัตราส่วนผสม

สำหรับอัตราส่วนที่ใช้ในโครงการวิจัยเรื่องการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรออกแบบบล็อกรูปพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 การคัดเลือกขนาดและสีของหินเกล็ดสำหรับหล่อวัสดุส่วนบนที่เหมาะสมต่อการลดการสะสมอุณหภูมิผิวหน้า ขั้นตอนที่ 2 การเลือกส่วนผสมวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรของวัสดุส่วนล่างที่แข็งแรงและลดการสะสมอุณหภูมิได้ดี โดยอัตราส่วนที่ใช้ ทั้ง 2 ขั้นตอน สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 3.2 และ 3.3

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนที่ใช้ในขั้นตอนที่ 1 การคัดเลือกขนาดและสีของหินเกล็ดสำหรับหล่อวัสดุส่วนบนที่เหมาะสมต่อการลดการสะสมอุณหภูมิผิวหน้า

ชนิดของวัสดุ	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก
วัสดุส่วนบน	
- ปูนซีเมนต์ขาวชนิดผสมซัลเฟต	1
- หินเกล็ด (สีและขนาดต่างๆ)	4
- น้ำประปา	0.3

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนที่ใช้ในขั้นตอนที่ 2 การเลือกส่วนผสมวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรของวัสดุส่วนล่างที่แข็งแรงและลดการสะสมอุณหภูมิได้ดี

ชนิดของวัสดุ	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก					
	R0F0	R0F4	R1F3	R2F2	R3F1	R4F0
วัสดุส่วนบน						
- ปูนซีเมนต์ขาวชนิดผสมซัลเฟต	1	1	1	1	1	1
- หินเกล็ด (สีและขนาดที่เหมาะสม)	4	4	4	4	4	4
- น้ำประปา	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
วัสดุส่วนล่าง						
- ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1	1	1	1	1	1	1
- หินฝุ่น	3	1	1	1	1	1
- แกลบ	0	0	0.25	0.5	0.75	1
- ฟางข้าว	0	1	0.75	0.5	0.25	0
- น้ำประปา	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

### 3.4 การขึ้นรูปบล็อกปูพื้นภายนอกอาคาร

การขึ้นรูปตัวอย่างบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ สำหรับนำไปทำการทดสอบนั้น สามารถสรุปได้ ดังนี้

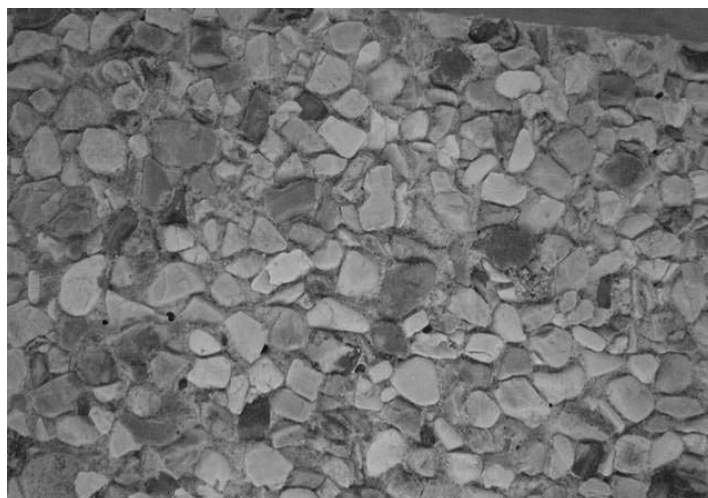
- 1) เริ่มจากการขึ้นรูปวัสดุส่วนล่างก่อน โดยผสมส่วนผสมให้เข้ากันตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ในหัวข้อที่ 3.3
- 2) เทส่วนผสมลงแบบหล่อ ขนาด 30x30x5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ให้หนาประมาณ 3.75 เซนติเมตร โดยทำการแบ่งเท พร้อมทั้งกระทุ้งส่วนผสมให้ทั่ว และปาดผิวหน้าเรียบๆ
- 3) จากนั้นจึงผสมวัสดุส่วนบน หรือผิวหน้าตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ในหัวข้อที่ 3.3 ให้เข้ากัน
- 4) เทส่วนผสมดังกล่าวลงแบบหล่อ ขนาด 30x30x5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ให้หนาประมาณ 1.25 เซนติเมตร หรือเต็มแบบหล่อ กระทุ้งส่วนผสมให้ทั่ว ปาดผิวหน้าให้เรียบ ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การเทผิวหน้าของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ

5) จากนั้นทำการตบเพื่อให้หินที่ผิวหน้าเรียงตัวกันแน่นขึ้น ทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที แล้วทำการล้างหน้าด้วยแรงน้ำเพื่อให้เกิดเป็นพื้นผิวหินล้าง

6) ทิ้งไว้ให้แข็งตัว 12 ชั่วโมง แล้วล้างเศษปูนที่ไม่ต้องการออกด้วยกรด HCl ที่ผสมกับน้ำสะอาด ในอัตราส่วน 1: 3 เพื่อให้ผิวหน้าหินล้างมีความสวยงามและลดอุณหภูมิได้ดี ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ผิวหน้าหินล้างของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ

7) บ่มในอากาศ ตามการทดสอบในขั้นต่อไป

### 3.5 การทดสอบบล็อกปูพื้นภายนอกอาคาร

สำหรับการทดสอบสมบัติต่างๆ ของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมินั้น ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการทดสอบทดสอบสมบัติการสะสมความร้อนบนผิวหน้าของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิเปรียบเทียบกับกระเบื้องสีและขนาดของหินเกล็ดที่เหมาะสมจะใช้ทำวัสดุส่วนบน โดยทำการวัดอุณหภูมิผิวหน้าทุกๆ 2 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 36 ชั่วโมง (1 วันครึ่ง และไม่มีหลังคาคลุม) ด้วยเครื่องอินฟราเรดเทอร์โมมิเตอร์ ซึ่งมีวิธีการทดสอบ คือ เมื่อต้องการวัดอุณหภูมิ ให้เล็งเลเซอร์ของอินฟราเรดเทอร์โมมิเตอร์ไปยังผิวหน้าของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารที่ต้องการ และทำการกดไก ทั้งนี้ต้องตรวจสอบให้แน่ใจเกี่ยวกับอัตราส่วนระยะทางขนาดจุดที่วัด และขอบเขตการมองเห็น เลเซอร์ที่จะใช้เพื่อเล็งจุดเป้าหมาย อุณหภูมิที่วัดได้จะแสดงผลบนหน้าจอ LCD เมื่อปล่อยไคค่าที่วัดได้จะคงค้างบนจอ LCD โดยอัตโนมัติเป็นเวลาประมาณ 10 วินาที และเมื่อผ่านไป 10 วินาที เครื่องวัดจะปิดตัวเองโดยอัตโนมัติ จากผลการทดสอบที่ได้จะนำหินเกล็ดสีและขนาดที่เหมาะสมไปเป็นวัสดุสำหรับใช้ทำวัสดุส่วนบน และปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของวัสดุส่วนล่างเพื่อทดสอบในขั้นตอนที่ 2 ต่อไป

ส่วนในขั้นตอนที่ 2 เป็นการทดสอบตามมาตรฐาน มอก.827-2531 เรื่อง คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น [20] เป็นหลัก รวมทั้งมีการเพิ่มการทดสอบสมบัติของการสะสมความร้อนเพิ่มตามไปด้วย โดยสามารถสรุปได้ คือ

1) การทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกลตามมาตรฐาน มอก.827-2531 เรื่อง คอนกรีตบดอัดประสานปูนพื้น [20] จำนวนการทดสอบละ 10 ตัวอย่างต่อ 1 อัตราส่วน ประกอบด้วย

1.1) การทดสอบความหนาแน่น ตาม มอก.1743-2542 [25]

1.2) การทดสอบการดูดซึมน้ำ ตาม มอก.1743-2542 [25]

1.3) การทดสอบกำลังอัด ตาม มอก.409-2525 [26]

2) การทดสอบสมบัติการสะสมความร้อนบนผิวหน้าของบดอัดปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ เปรียบเทียบกับวัสดุปูพื้นชนิดอื่นๆ ได้แก่ สีลาแสงธรรมชาติ, หินทราย, คอนกรีตบดอัดประสานปูนพื้น, หินอ่อน, และหินแกรนิต โดยทำการวัดอุณหภูมิผิวหน้าทุกๆ 1 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 36 ชั่วโมง (1 วันครึ่ง) ด้วยเครื่องอินฟราเรดเทอร์โมมิเตอร์



รูปที่ 3.15 อินฟราเรดเทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้ในการวัดการสะสมความร้อนของบดอัดปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ

โดยในขั้นตอนนี้มีการทดสอบในสถานที่แตกต่างกัน ทั้งหมด 3 แบบ ได้แก่

- 2.1) พื้นที่แห้ง ทำการปูลงบนพื้นคอนกรีต หนา 10 เซนติเมตร
- 2.2) พื้นที่ยื่น ทำการปูลงบนพื้นดินที่มีความชื้น
- 2.3) พื้นที่ยื่น ทำการปูบริเวณที่มีน้ำขังลึก 2.5 เซนติเมตร

จากนั้น จึงนำผลการวัดอุณหภูมิที่ได้มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย เพื่อเปรียบเทียบสมบัติในการสะสมความร้อนที่แตกต่างกันของบดอัดปูพื้นภายนอกอาคารอัตราส่วนต่างๆ



**รูปที่ 3.16** สถานที่ทดสอบอุณหภูมิผิวหน้าของปลอกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ และวัสดุปูพื้นอื่นๆ ทั้งหมด 3 แบบ ได้แก่ พื้นที่แห้ง, พื้นที่เปียก, และพื้นที่ชื้น

3) การทดสอบการใช้งานจริงของปลอกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ ทำได้โดยการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในอาคารจำลองที่บริเวณรอบอาคารเป็นคอนกรีตทั่วไปขนาดพื้นที่ 20 ตารางเมตร กับอาคารจำลองที่มีการปูปลอกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมিরอบบริเวณคิดเป็นขนาดพื้นที่ 20 ตารางเมตร โดยด้านหน้าของอาคารจำลอง ทั้ง 2 หลัง ติดตั้งแผ่นอะคลิลิกใสเพื่อให้การแผ่ความร้อนจากพื้นทำได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ทำการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์ชนิดระยะเปาะแห้งและควบคุมการผ่านของลมด้วยการบรูชช่องว่างของอาคารจำลอง ทั้ง 2 หลัง เพื่อควบคุมสภาวะให้มีความใกล้เคียงกันมากที่สุด โดยปลอกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิที่นำมาปูพื้นเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานจริง

### 3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบ

- 1) ทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบ
- 2) วิเคราะห์ เปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบกับผลิตภัณฑ์ปกติทั่วไป
- 3) หาอัตราส่วนที่เหมาะสมของปลอกปูพื้นจากการทดสอบ
- 4) วิเคราะห์ปัญหา สาเหตุ การแก้ไข และข้อเสนอแนะ สำหรับการทดสอบในครั้งต่อไป
- 5) จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์และถ่ายทอดเทคโนโลยี ประกอบด้วย
  - เอกสารแผ่นพับประชาสัมพันธ์เผยแพร่/ส่งให้กับผู้ที่เกี่ยวข้องและผู้สนใจทั่วไป
  - เขียนบทความวิจัยส่งลงในวารสารวิชาการต่างๆหรือร่วมเสนอผลงานในงานประชุมสัมมนาวิชาการต่างๆ

### 3.7 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

เมื่อดำเนินงานวิจัยสำเร็จตามวัตถุประสงค์และระยะเวลาที่กำหนดแล้ว

- 1) จัดทำเอกสารและแผ่นพับประชาสัมพันธ์เผยแพร่ให้กับผู้ที่เกี่ยวข้องและผู้สนใจทั่วไป
- 2) เขียนบทความวิจัยส่งลงในวารสารวิชาการหรือร่วมเสนอผลงานในงานประชุมสัมมนาวิชาการต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง จำนวนไม่น้อยกว่า 1 งาน
- 3) วางเป้าหมายดำเนินการวิจัยในขั้นสูงต่อไป โดยดำเนินงานแบบบูรณาการร่วมกับหน่วยงานอื่นๆ เพิ่มมากขึ้น ให้มีผู้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีมากขึ้น





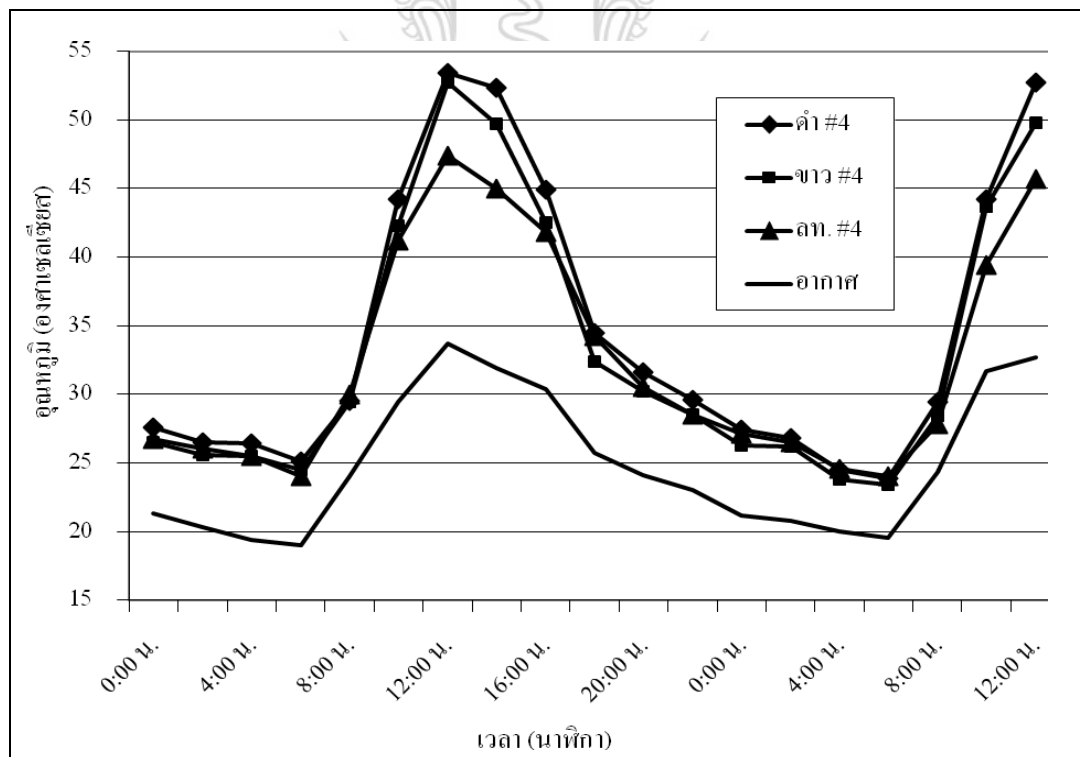
## บทที่ 4

### ผลการทดสอบ

จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพ ทางกล และอุณหภูมิผิวหน้าของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคาร เพื่อลดอุณหภูมิที่มีการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรเป็นส่วนผสมนั้น สามารถสรุปผลแบ่งตามแต่ละการทดสอบได้ ดังนี้

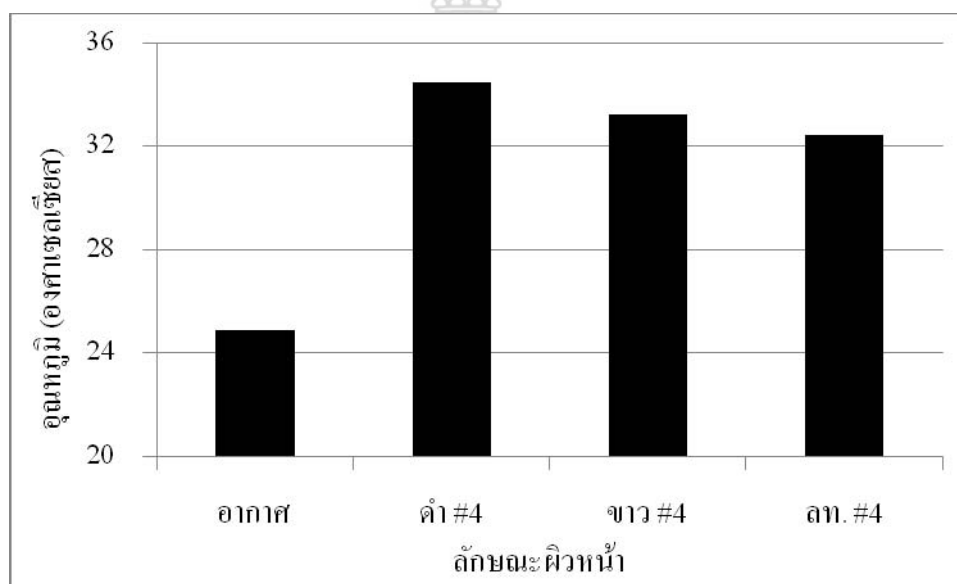
#### 4.1 การเลือกสีของหินเกล็ดที่สะสมความร้อนต่ำ

การเลือกสีผิวหน้าส่วนบนของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ เป็นการคัดเลือกสีของหินเกล็ดที่มีการสะสมความร้อนต่ำ ซึ่งเป็นผลมาจากค่าการดูดกลืนรังสีความร้อนที่แตกต่างกันในแต่ละสี โดยทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิตามผิวหน้าของบล็อกปูพื้นที่มีสีของหินเกล็ดต่างกัน ได้แก่ สีขาว, สีดำ, และสีเหลืองทอง เพื่อให้ได้สีของหินเกล็ดที่เหมาะสมในการลดอุณหภูมิต่อไป โดยมีผลการทดสอบ ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 อุณหภูมิผิวหน้าของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิที่มีสีหินเกล็ดแตกต่างกัน

จากรูปที่ 4.1 พบว่า กลุ่มของหินเกล็ดที่มีสีสว่าง จะมีการสะสมความร้อนน้อยหรือมีอุณหภูมิผิวหน้าที่ต่ำกว่ากลุ่มของหินเกล็ดที่มีสีเข้ม โดยสีเหลืองทอง จะมีอุณหภูมิต่ำที่สุด รองลงมาคือ สีขาว และสีดำ มีอุณหภูมิสูงที่สุด ตามลำดับ ซึ่งการที่ผิวหน้าสีเหลืองทองมีอุณหภูมิต่ำกว่าสีขาว เป็นผลมาจากการดูดกลืนรังสีความร้อนของวัตถุที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะวัตถุที่มีสีดำหรือที่เรียกว่า “ วัตถุดำ ” (Black Body) จะเป็นสีที่ดูดกลืนความร้อนมากที่สุด เนื่องจากวัตถุดำเป็นวัตถุที่ดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบตัวมันทั้งหมด ไม่มีการทะลุผ่านและไม่มีการสะท้อน ทำให้วัตถุดำเป็นวัตถุในอุดมคติของการแผ่รังสีความร้อน ทั้งนี้จำนวนและความยาวคลื่นของการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแปรผันตรงกับอุณหภูมิ [27] ทำให้สีมีผลต่อการสะสมความร้อนที่แตกต่างกันตามไปด้วย นอกจากนี้ผิวหน้าที่ใช้หินเกล็ดสีขาว จะมีลักษณะออกโทนสีเทาๆ ไม่ได้เป็นสีขาวล้วน โดยสามารถสรุปเป็นค่าอุณหภูมิเฉลี่ยได้ ดังรูปที่ 4.2

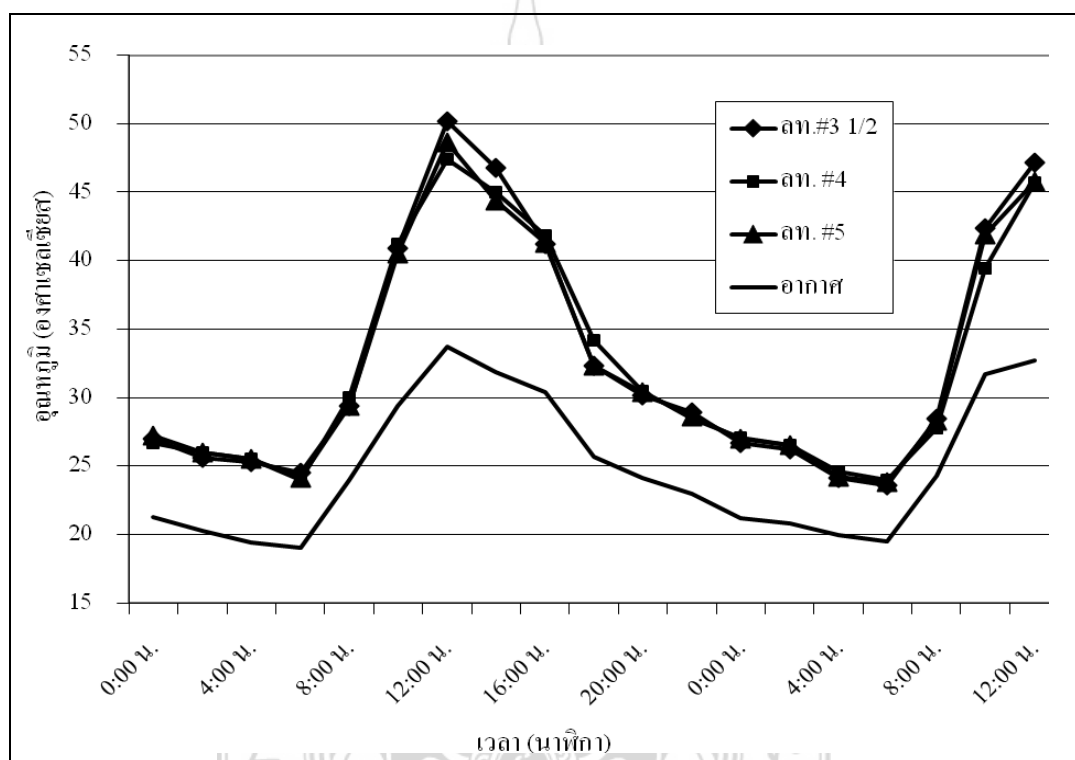


รูปที่ 4.2 อุณหภูมิผิวหน้าเฉลี่ยของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิที่มีสีหินเกล็ดแตกต่างกัน

ทำให้สามารถสรุปว่า สีของหินเกล็ดมีผลต่อการสะสมความร้อนของผิวหน้าวัสดุปูพื้น โดยสีที่สว่างกว่าจะมีการสะสมความร้อนที่น้อยกว่าสีที่เข้ม จึงทำการเลือกหินเกล็ดสีเหลืองทองสำหรับใช้ทำผิวหน้าต่อไป

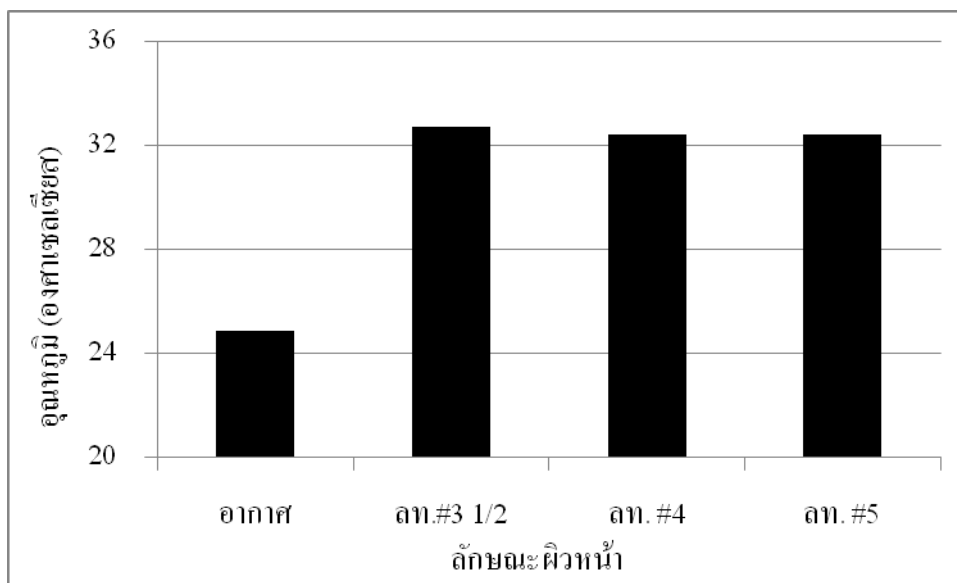
#### 4.2 การเลือกขนาดของหินเกล็ดที่สะสมความร้อนต่ำ

ในการทดสอบการเลือกขนาดของหินเกล็ดที่สะสมความร้อนต่ำ เป็นเปรียบเทียบการสะสมความร้อนของผิวหน้าหินเกล็ดสี่เหลี่ยมทองที่มีการใช้ขนาดของเม็ดหินเกล็ดที่แตกต่างกัน ได้แก่ หินเกล็ดเบอร์ 3 ½ (ขนาดใหญ่), หินเกล็ดเบอร์ 4 (ขนาดกลาง), และหินเกล็ดเบอร์ 5 (ขนาดเล็ก) โดยขนาดของเม็ดหินที่ต่างกันจะมีผลต่อความขรุขระและการสะท้อนรังสีความร้อนของพื้นผิวที่ต่างกันไปด้วย ซึ่งผลทดสอบสามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 อุณหภูมิผิวหน้าของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิที่มีขนาดหินเกล็ดแตกต่างกัน

จากรูปที่ 4.3 พบว่า ขนาดของหินเกล็ดมีที่ต่างกันมีผลต่อการสะสมความร้อนที่ใกล้เคียงกัน [2, 13] โดยหินเกล็ดเบอร์ 5 มีอุณหภูมิผิวหน้าต่ำที่สุด รองลงมาคือ หินเกล็ดเบอร์ 4, และหินเกล็ดเบอร์ 3 ½ มีอุณหภูมิผิวหน้าสูงที่สุด ซึ่งสามารถสรุปเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยได้ ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 อุณหภูมิผิวหนังเฉลี่ยของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิที่มีขนาดหินเกสส์แตกต่างกัน

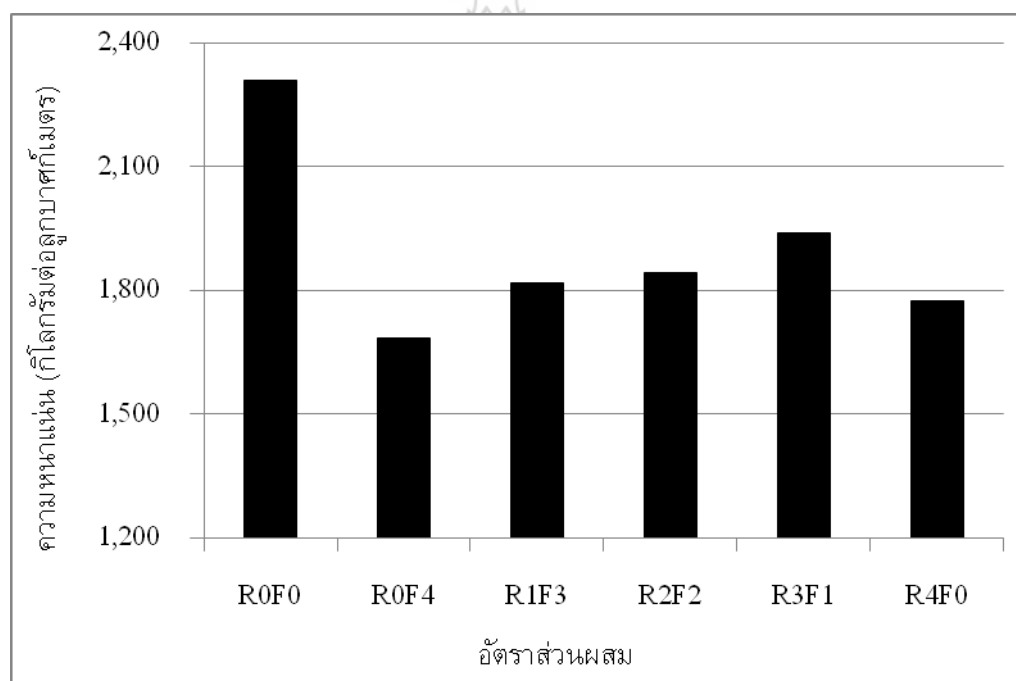
จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวหนังที่มีหินเกสส์ขนาดต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน แต่มีแนวโน้มว่า หินเกสส์ที่มีขนาดกลาง (เบอร์ 4) และขนาดเล็ก (เบอร์ 5) จะมีการสะสมอุณหภูมิที่ต่ำกว่าหินเกสส์ที่มีขนาดใหญ่ (เบอร์ 3 1/2) ทั้งนี้การเลือกขนาดจะพิจารณาด้วยความสวยงาม และความง่ายต่อการผสมและตกแต่งพื้นผิว ซึ่งในการทดลองนี้จะเลือกหินเกสส์ขนาดเบอร์ 4 (ขนาดกลาง) สำหรับใช้เป็นผิวหนังของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิต่อไป

#### 4.3 ความหนาแน่นของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ

จากผลการทดสอบเพื่อเลือกสีและขนาดของหินเกสส์ที่จะทำเป็นผิวหนังของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ ทำให้ได้บล็อกปูพื้นสำหรับทดสอบความหนาแน่น ซึ่งจะแตกต่างกันตามปริมาณแกลบและฟางข้าวที่ผสม ดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.1 ความหนาแน่นของบด็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ ที่อายุ 28 วัน

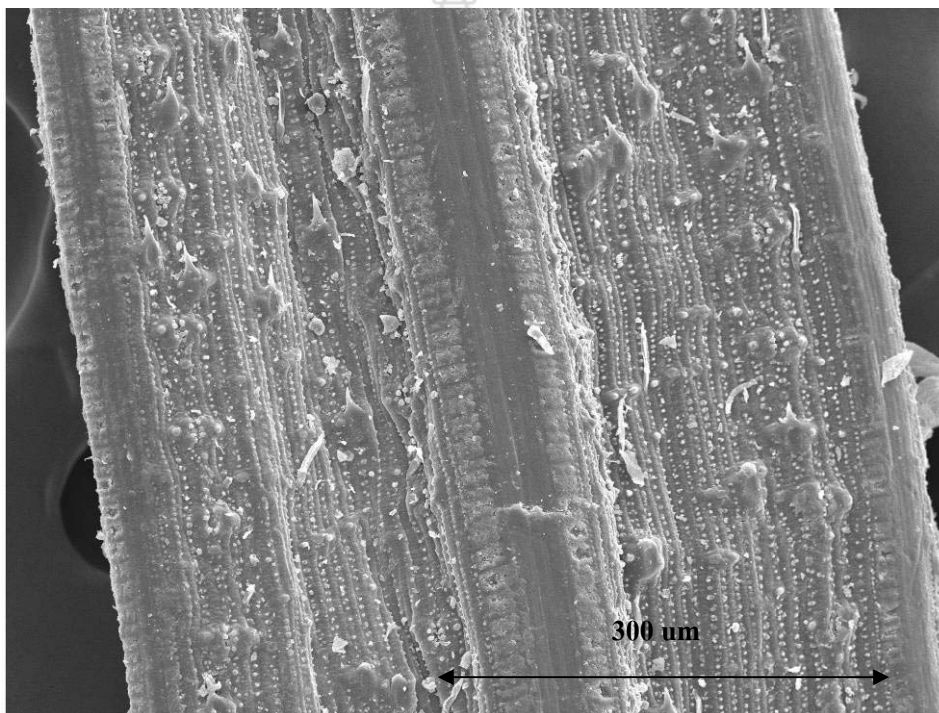
อัตราส่วน	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	ร้อยละที่เปลี่ยนแปลง เมื่อเทียบกับ R0F0
R0F0	2,309.66	0.00
R0F4	1,683.81	37.17
R1F3	1,817.12	27.11
R2F2	1,843.67	25.28
R3F1	1,939.43	19.09
R4F0	1,774.34	30.17



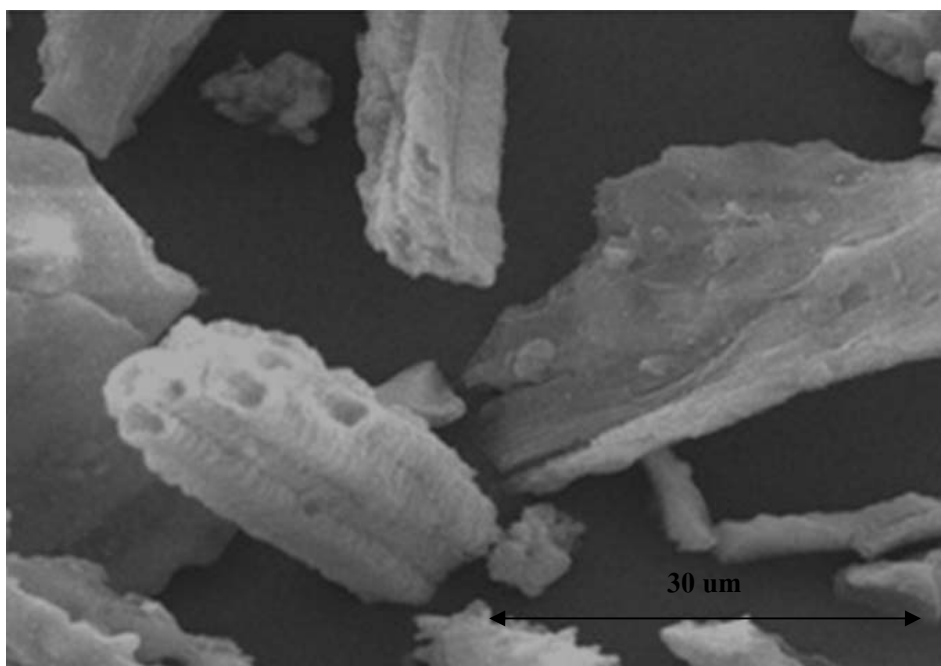
รูปที่ 4.5 ความหนาแน่นของบด็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ ที่อายุ 28 วัน

จากตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.5 พบว่า ปริมาณแกลบและฟางข้าวที่ผสมลงในบด็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิมีผลต่อความหนาแน่น โดยอัตราส่วน R0F4 จะมีความหนาแน่นต่ำที่สุด (ต่ำกว่าอัตราส่วน R0F0 เท่ากับ ร้อยละ 37.17) รองลงมาคือ R4F0 (ต่ำกว่าอัตราส่วน R0F0 เท่ากับ ร้อยละ 30.17), R1F3 (ต่ำกว่าอัตราส่วน R0F0 เท่ากับ ร้อยละ 27.11), R2F2 (ต่ำกว่าอัตราส่วน R0F0 เท่ากับ ร้อยละ 25.28), R3F1 (ต่ำกว่าอัตราส่วน R0F0 เท่ากับ ร้อยละ 19.09), และ R0F0 มีความหนาแน่นสูงที่สุด ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลมาจากความหนาแน่นและรูปร่างของแกลบและฟางข้าวที่แตกต่างกัน ซึ่งจะ

มีผลโดยตรงต่อขนาดคละที่ดีหรือไม่ดี ถ้าขนาดคละดีจะทำให้เนื้อของบดลือกปูพื้นแน่นและความหนาแน่นสูง แต่ถ้านำขนาดคละไม่ดีจะทำให้เนื้อของบดลือกปูพื้นหลวมหรือมีช่องว่างมากและความหนาแน่นต่ำ [28] โดยฟางข้าวมีรูปร่างเป็นเส้นยาวและมีขนาดใหญ่กว่าแกลบ (รูปที่ 4.6 ถึง 4.7) ทำให้การผสมฟางข้าวในปริมาณมากจะทำให้บดลือกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิเกิดช่องว่างมากกว่าการผสมแกลบ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการผสมแกลบและฟางข้าวในอัตราส่วน R3F1 จะมีขนาดคละที่ดีที่สุด สังเกตได้จากความหนาแน่นที่มากที่สุดในงานอัตราส่วนบดลือกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิที่ผสมแกลบและฟางข้าวทั้งหมด



รูปที่ 4.6 ภาพขยายฟางข้าวจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 200 เท่า



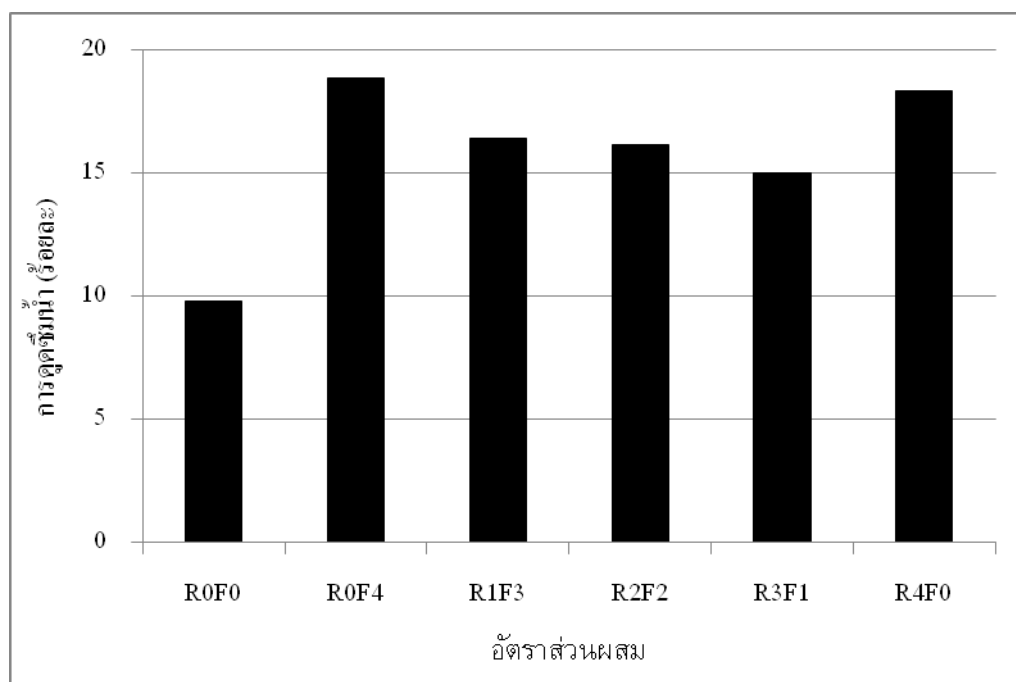
รูปที่ 4.7 ภาพขยายแถบจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 2,000 เท่า

#### 4.4 การดูดซึมน้ำของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ

สำหรับผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.2 การดูดซึมน้ำของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ ที่อายุ 28 วัน

อัตราส่วน	การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	ร้อยละที่เปลี่ยนแปลง เมื่อเทียบกับ R0F0
R0F0	9.76	0.00
R0F4	18.84	48.20
R1F3	16.41	40.52
R2F2	16.11	39.42
R3F1	14.97	34.80
R4F0	18.32	46.72



รูปที่ 4.8 การดูดซึมน้ำของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ ที่อายุ 28 วัน

จากตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.8 พบว่า ค่าการดูดซึมน้ำของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิที่อัตราส่วน R0F0 ซึ่งไม่มีการผสมแกลบและฟางข้าวจะมีค่าที่ต่ำที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน R3F1 (สูงกว่าอัตราส่วน R0F0 เท่ากับ ร้อยละ 34.80), R2F2 (สูงกว่าอัตราส่วน R0F0 เท่ากับ ร้อยละ 39.42), R1F3 (สูงกว่าอัตราส่วน R0F0 เท่ากับ ร้อยละ 40.52), R4F0 (สูงกว่าอัตราส่วน R0F0 เท่ากับ ร้อยละ 46.72), และ R0F4 มีค่าการดูดซึมน้ำสูงที่สุด (สูงกว่าอัตราส่วน R0F0 เท่ากับ ร้อยละ 48.20) ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลมาจากช่องว่างภายในเนื้อของบล็อกปูพื้น โดยช่องว่างมีมากจะดูดซึมน้ำสูงและช่องว่างมีน้อยจะดูดซึมน้ำต่ำ ซึ่งจะสัมพันธ์กับความหนาแน่น [28]

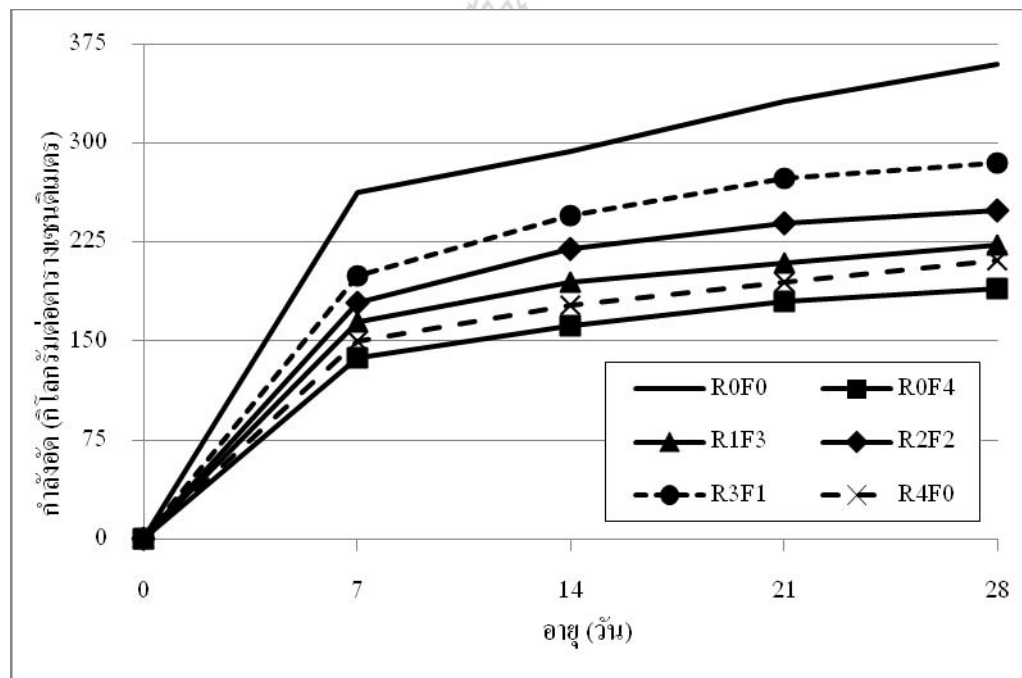
#### 4.5 กำลังอัดของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ

จากการทดสอบกำลังอัดหรือความต้านทานแรงอัดของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ ทั้งที่มีและไม่มีการผสมแกลบและฟางข้าว สามารถสรุปผลการทดสอบแบ่งตามอายุของบล็อกปูพื้น ที่ 7, 14, 21, และ 28 วัน ได้ ดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.9



ตารางที่ 4.3 กำลังอัดของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ ที่อายุ 28 วัน

อัตราส่วน	กำลังอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	ร้อยละที่เปลี่ยนแปลง เมื่อเทียบกับ R0F0
R0F0	359.32	0.00
R0F4	189.92	89.20
R1F3	223.11	61.05
R2F2	248.58	44.55
R3F1	284.69	26.21
R4F0	210.67	70.56



รูปที่ 4.9 กำลังอัดของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ ที่อายุ 28 วัน

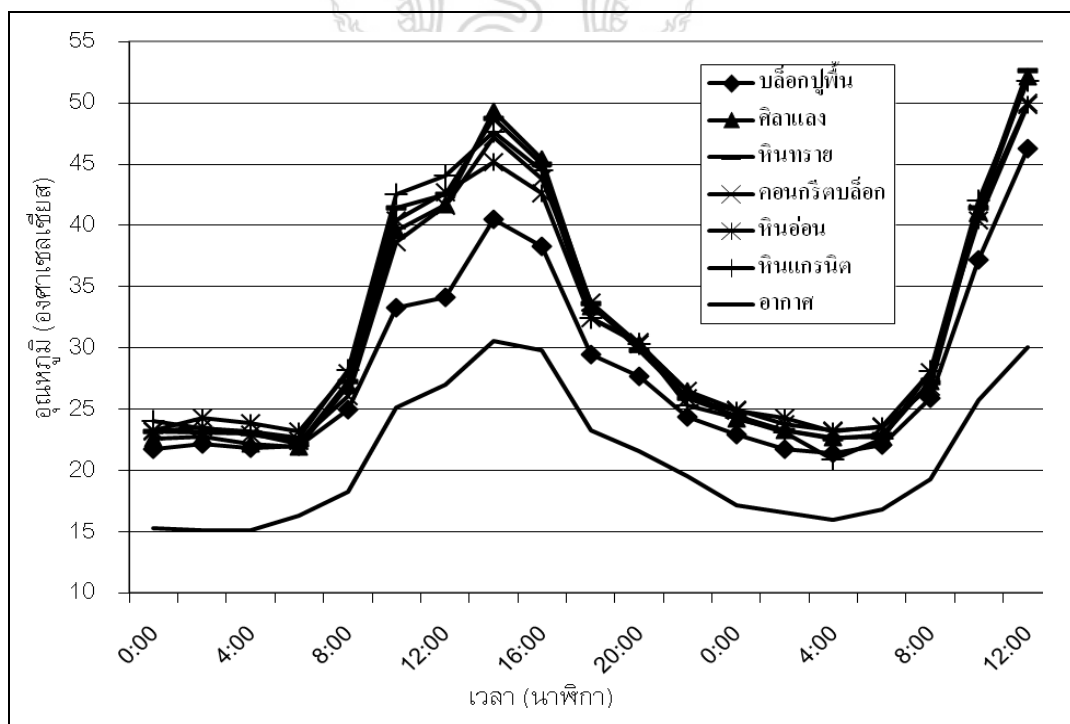
จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.9 พบว่า อัตราส่วนของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิที่ไม่มีส่วนผสมของแกลบและฟางข้าว หรืออัตราส่วน R0F0 มีกำลังอัดสูงที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน R3F1, R2F2, R1F3, R4F0, และ R0F4 มีกำลังอัดต่ำที่สุด ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลมาจากพื้นที่รับแรงอัดภายในบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารลดอุณหภูมิ ที่เมื่อพื้นที่รับแรงอัดมากก็จะรับกำลังอัดได้สูง แต่ถ้าพื้นที่รับแรงอัดน้อยก็จะรับกำลังอัดได้ต่ำ [28] โดยบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิที่มี

ส่วนผสมของแกลบและฟางข้าวทั้งหมด มีกำลังอัดต่ำกว่ามาตรฐาน มอก.827-2531 [20] อย่างไรก็ตาม บล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิที่มีแกลบและฟางข้าวดังกล่าว ก็ยังมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะสามารถใช้งานได้

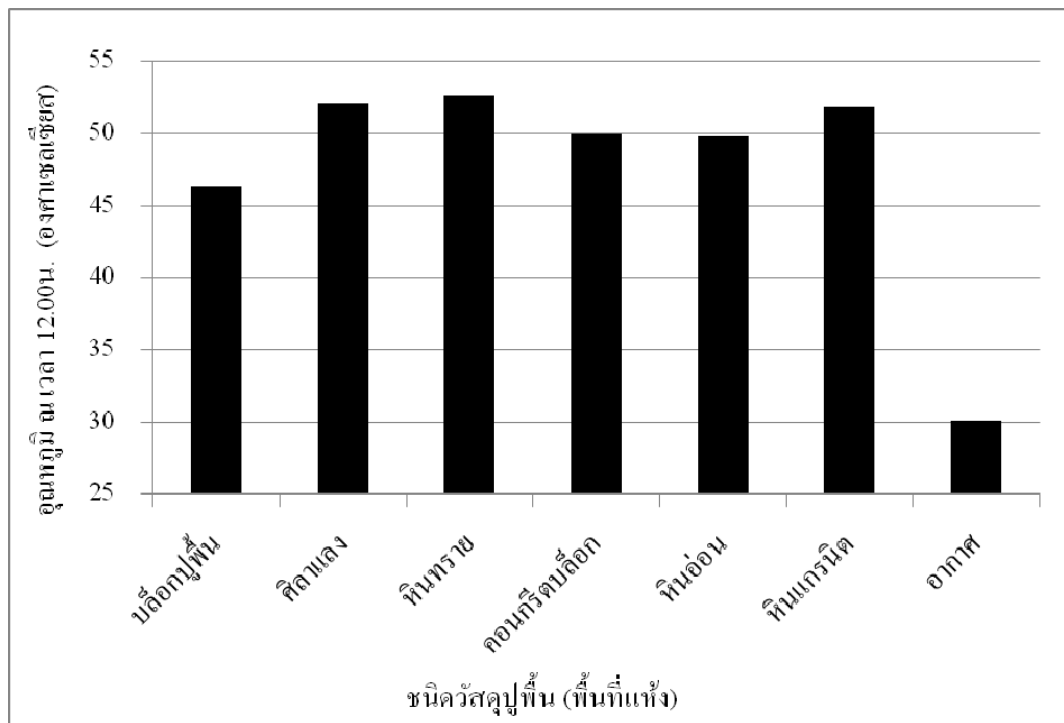
จากผลการทดสอบสมบัติด้านความหนาแน่น, การดูดซึมน้ำ, และกำลังอัดของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารลดอุณหภูมิ ทำให้เลือกอัตราส่วน R3F1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มีขนาดละเอียดดี เนื้อเรียบ ช่องว่างไม่มากเกินไป น้ำหนักเบา ดูดซึมน้ำไม่สูงเกินไป และมีกำลังอัดที่ดี ให้เป็นบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิที่ผสมแกลบและฟางข้าว สำหรับเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหน้ากับวัสดุอื่นๆ ต่อไป

#### 4.6 อุณหภูมิผิวหน้าของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิตามสภาพแวดล้อมจริง

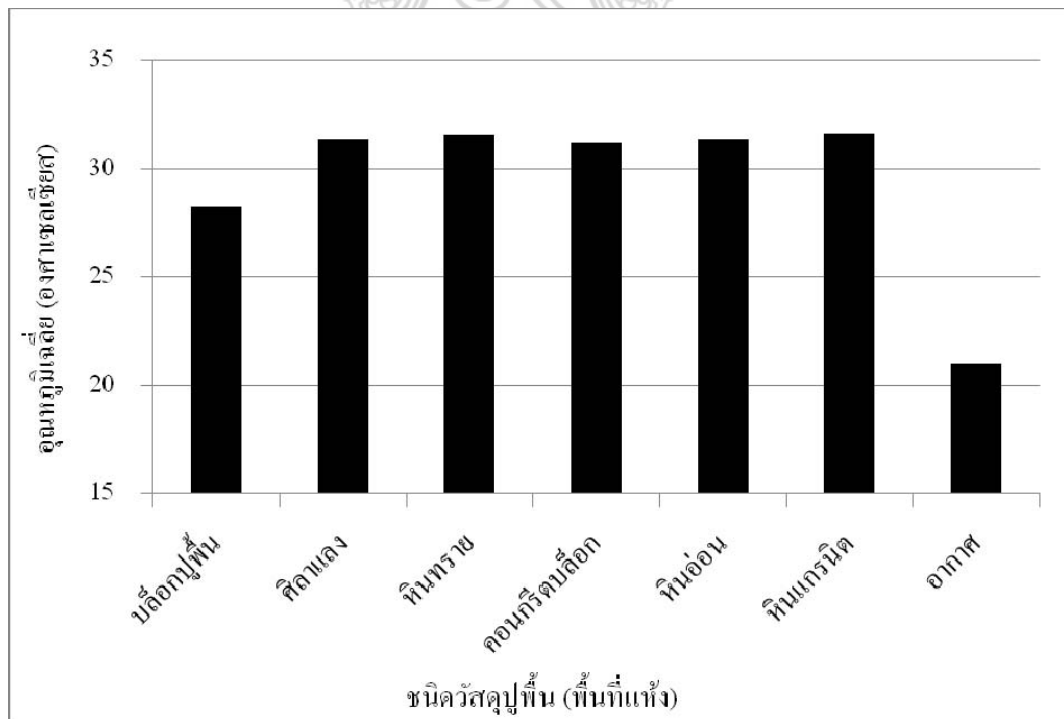
จากการทดสอบเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวหน้าของบล็อกปูพื้นลดอุณหภูมิกับวัสดุปูพื้นชนิดต่างๆ ได้แก่ ศิลาแลง, หินทราย, คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นหรืออิฐตัวหนอน, หินอ่อน, และหินแกรนิต ซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมใช้ปูพื้นภายนอกอาคารในปัจจุบัน โดยทำการทดสอบเปรียบเทียบบนพื้นที่ 3 แบบ ซึ่งสามารถสรุปได้ ดังนี้ พื้นที่แห้ง (รูปที่ 4.10 ถึง 4.12), พื้นที่เปียก (รูปที่ 4.13 ถึง 4.15), พื้นที่ชื้น (รูปที่ 4.16 ถึง 4.18), และพื้นที่เฉลี่ย 3 พื้นที่ (รูปที่ 4.19 ถึง 4.21)



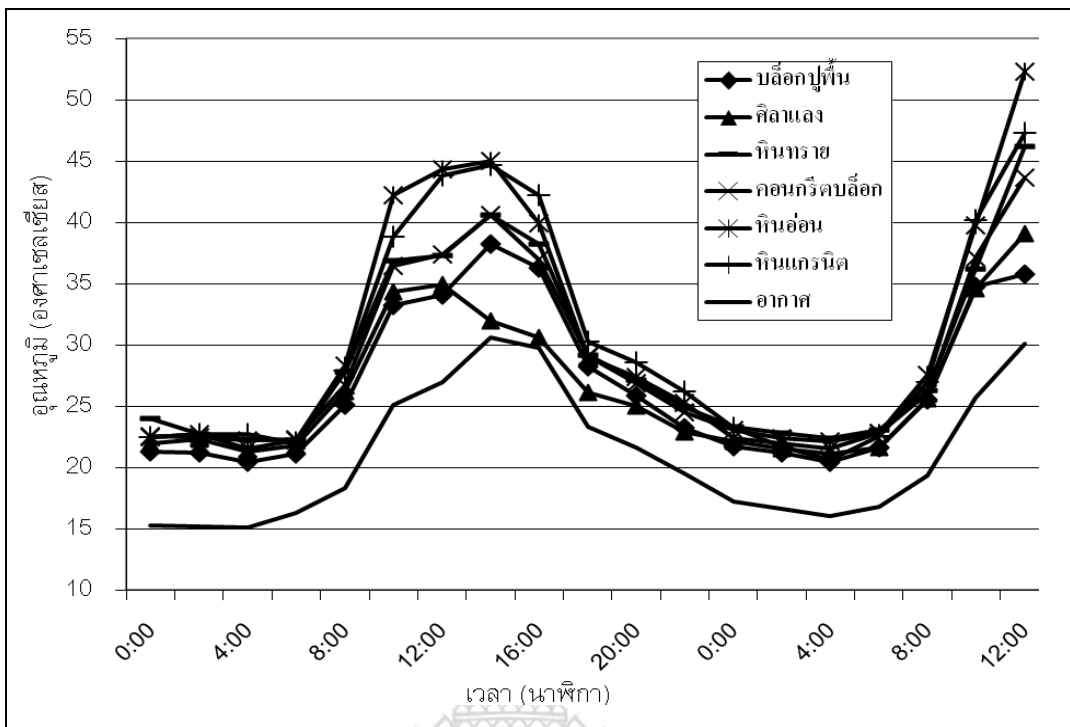
รูปที่ 4.10 อุณหภูมิผิวหน้าของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิเทียบกับวัสดุปูพื้นชนิดอื่นๆ บนพื้นที่แห้ง



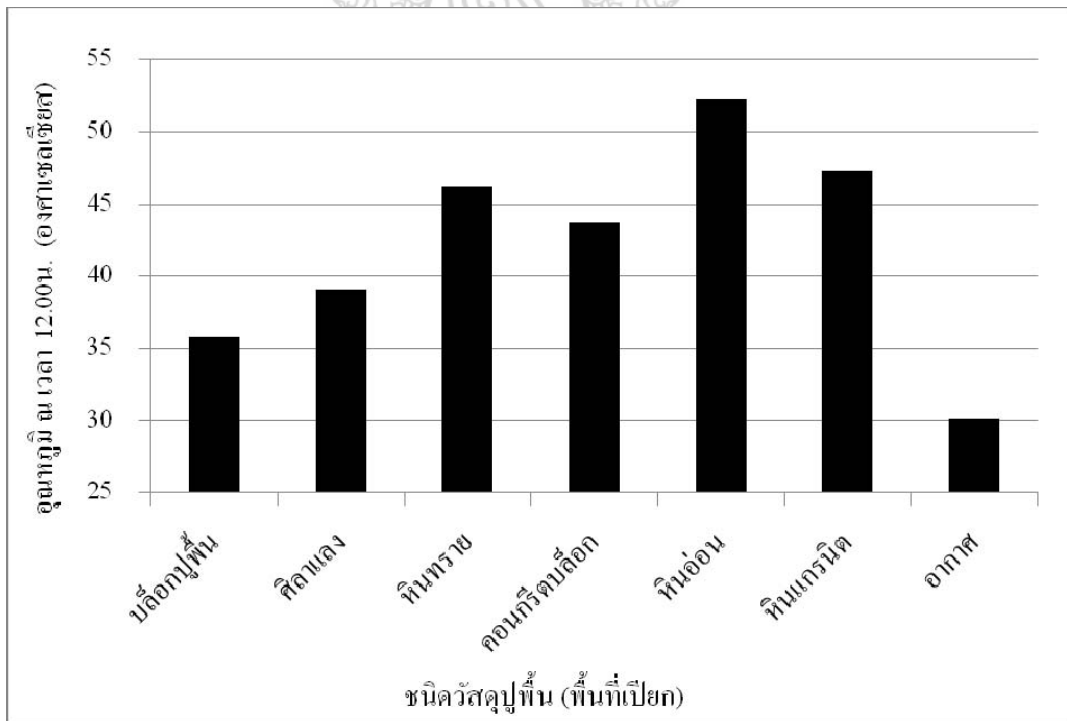
รูปที่ 4.11 อุณหภูมิผิวหน้าสูงสุดของเปลือกกล้วยภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิเทียบกับวัสดุปุ๋ยหมักชนิดอื่นๆ บนพื้นที่แห้ง



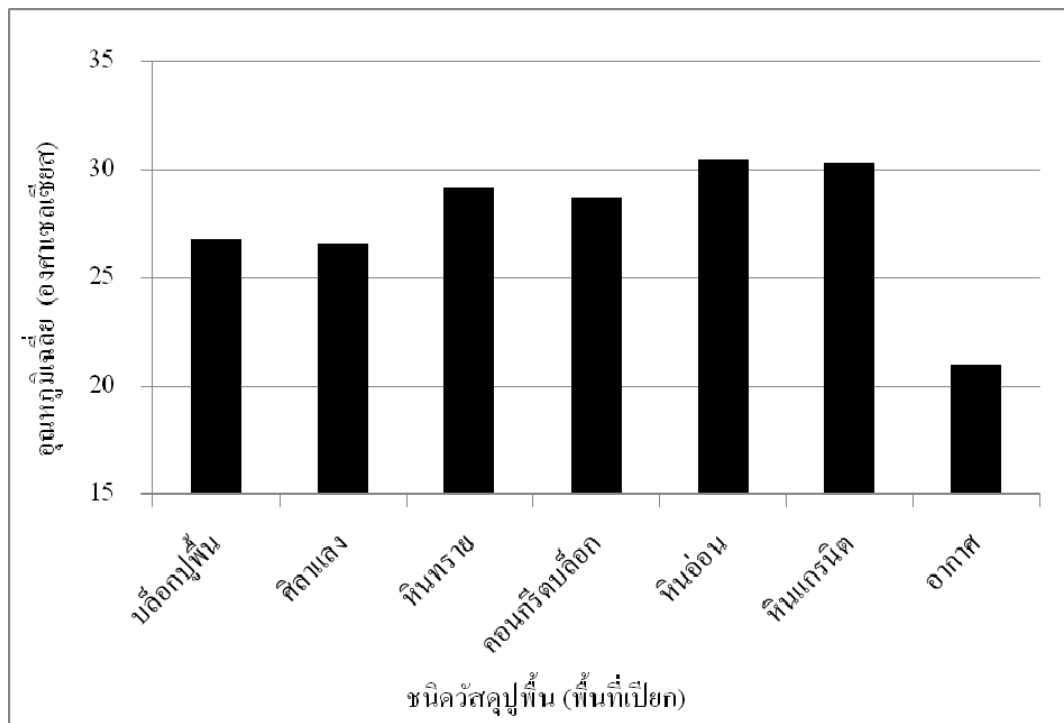
รูปที่ 4.12 อุณหภูมิมินิมัของเปลือกกล้วยภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิเทียบกับวัสดุปุ๋ยหมักชนิดอื่นๆ บนพื้นที่แห้ง



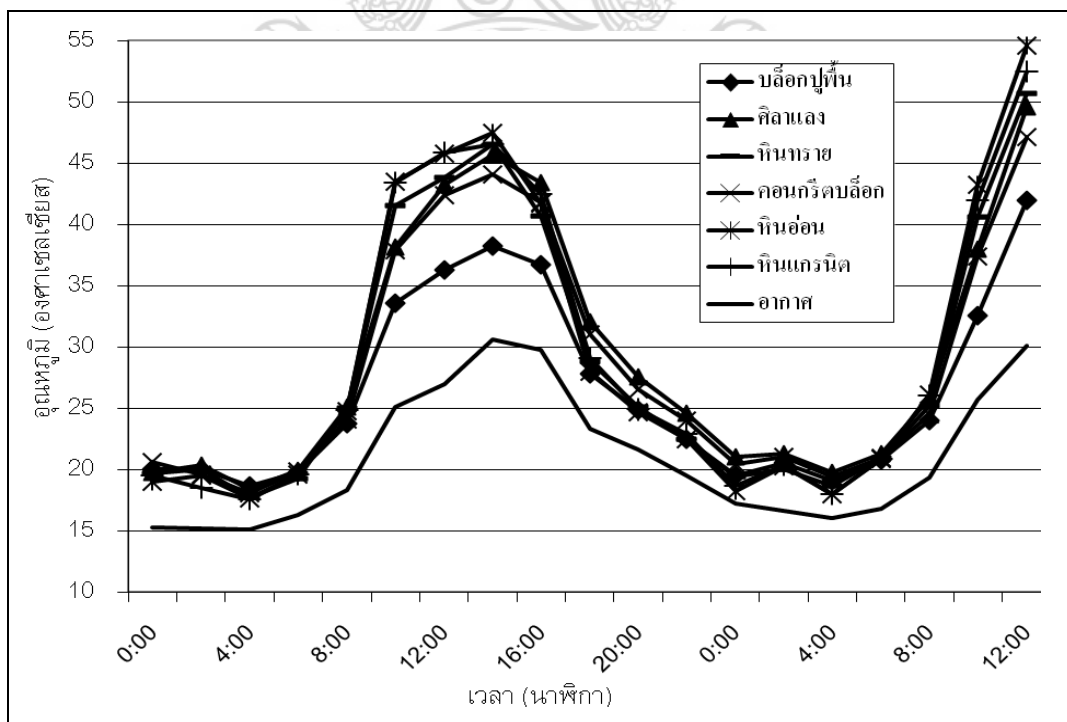
รูปที่ 4.13 อุณหภูมิผิวหน้าของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิเทียบกับวัสดุปูพื้นชนิดอื่นๆ บนพื้นที่เปียก



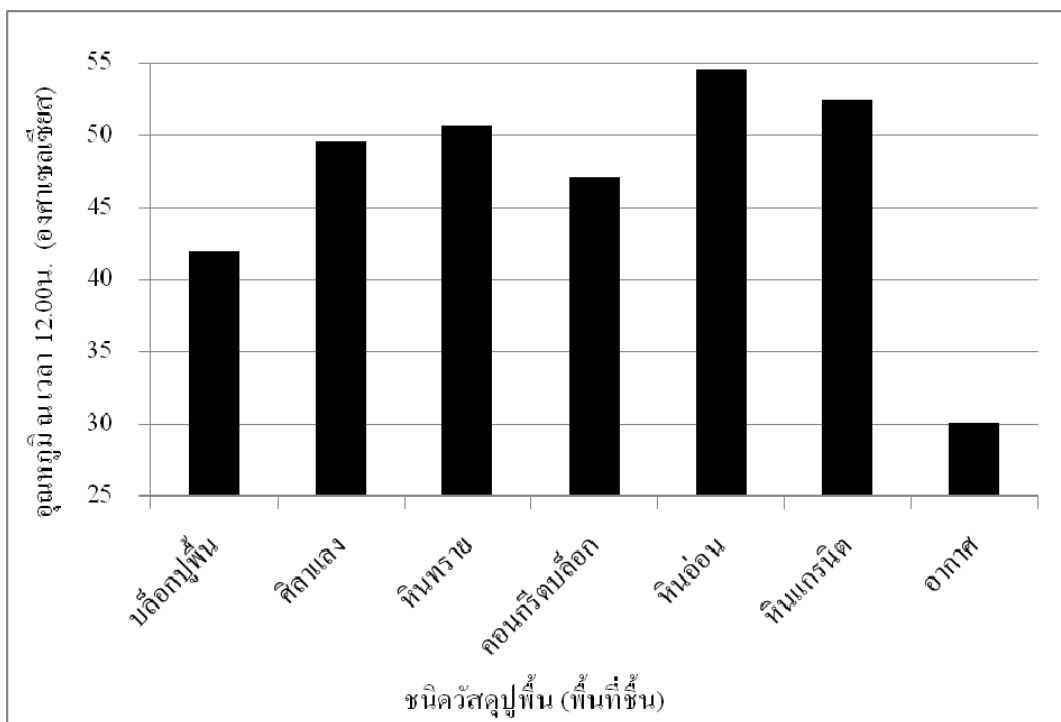
รูปที่ 4.14 อุณหภูมิผิวหน้าสูงสุดของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิเทียบกับวัสดุปูพื้นชนิดอื่นๆ บนพื้นที่เปียก



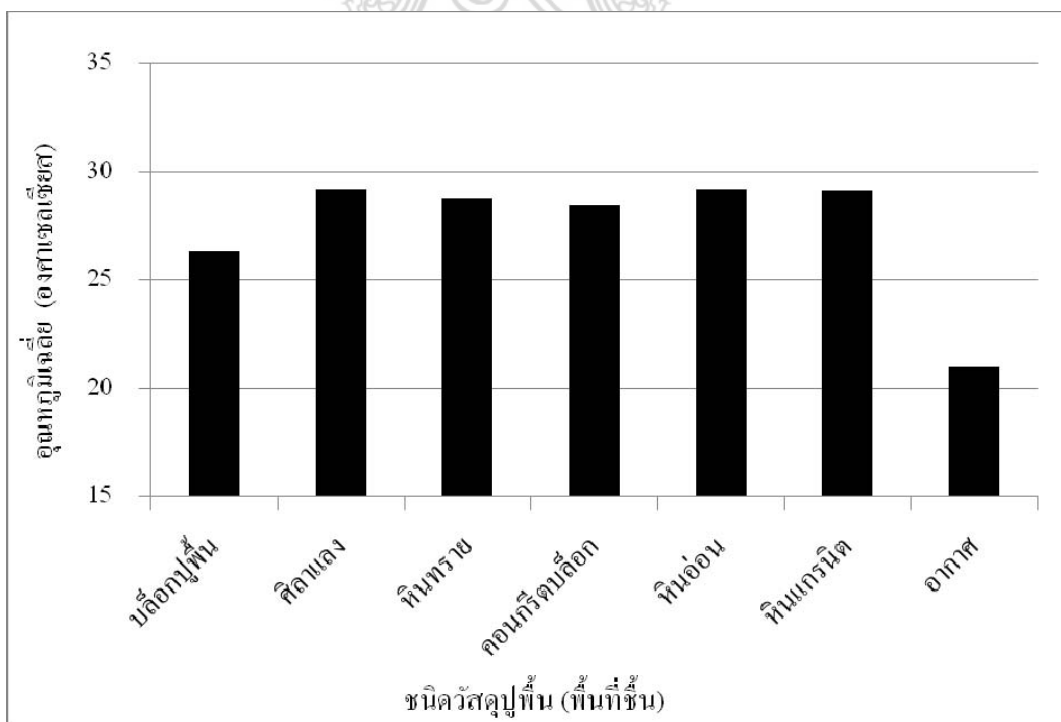
รูปที่ 4.15 อุณหภูมิผิวหน้าเฉลี่ยของบดักปุ๋ยพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิเทียบกับวัสดุปุ๋ยพื้นชนิดอื่นๆ บนพื้นที่เป็ยก



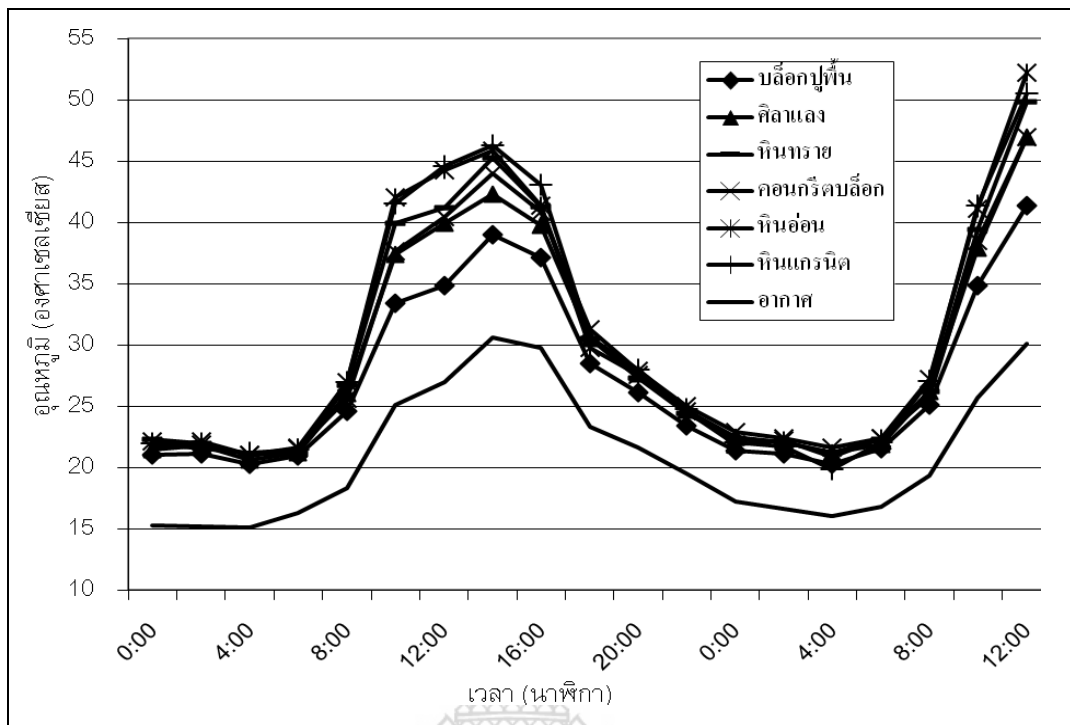
รูปที่ 4.16 อุณหภูมิผิวหน้าของบดักปุ๋ยพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิเทียบกับวัสดุปุ๋ยพื้นชนิดอื่นๆ บนพื้นที่ชั้น



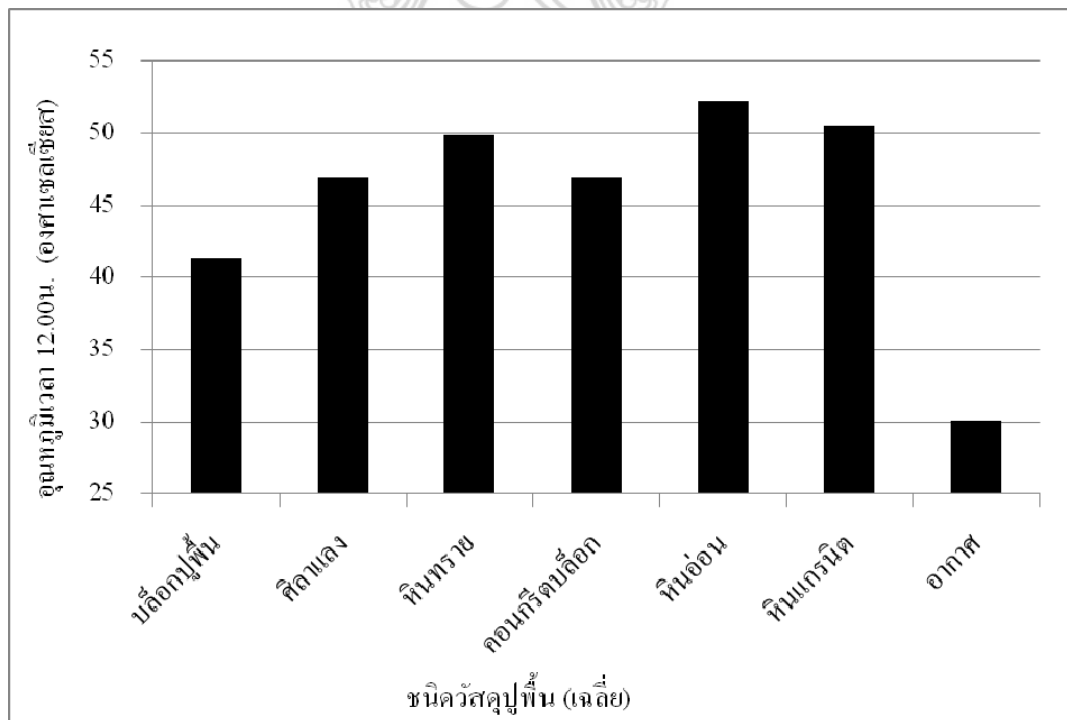
รูปที่ 4.17 อุณหภูมิผิวหน้าสูงสุดของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิเทียบกับวัสดุปูพื้นชนิดอื่นๆ บนพื้นที่ขึ้น



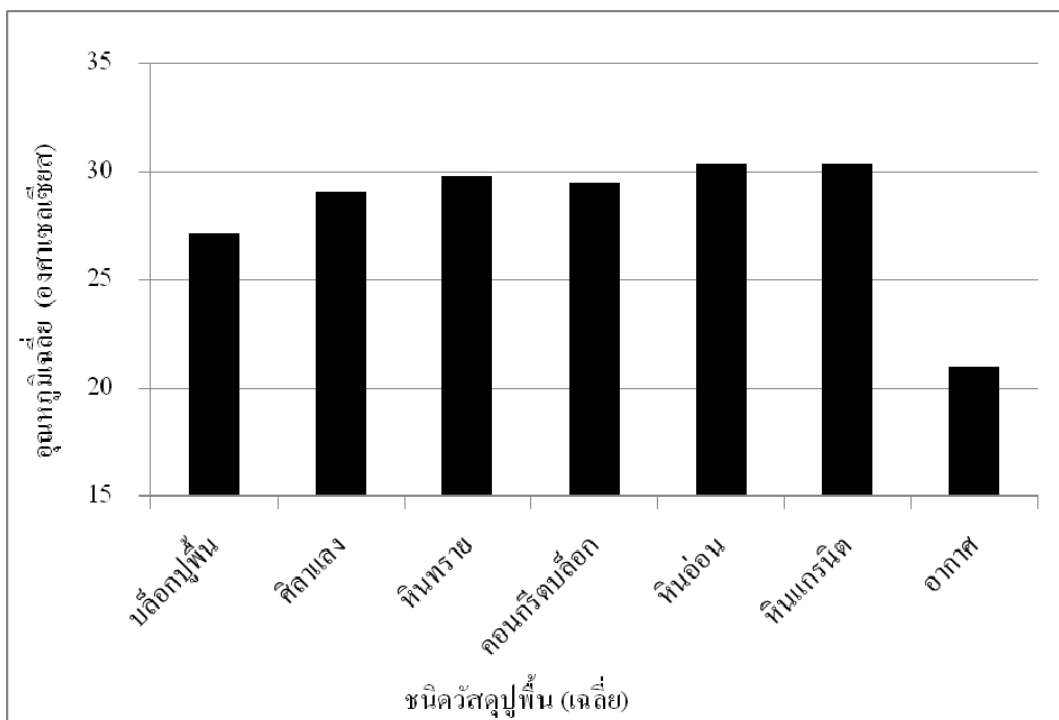
รูปที่ 4.18 อุณหภูมิผิวหน้าเฉลี่ยของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิเทียบกับวัสดุปูพื้นชนิดอื่นๆ บนพื้นที่ขึ้น



รูปที่ 4.19 อุณหภูมิผิวหน้าของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิเทียบกับวัสดุปูพื้นชนิดอื่นๆ บนพื้นที่เฉลี่ย



รูปที่ 4.20 อุณหภูมิผิวหน้าสูงสุดของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิเทียบกับวัสดุปูพื้นชนิดอื่นๆ บนพื้นที่เฉลี่ย



**รูปที่ 4.21** อุณหภูมิผิวหน้าเฉลี่ยของบดอวกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิเทียบกับวัสดุปูพื้นชนิดอื่นๆ บนพื้นที่เฉลี่ย

จากรูปที่ 4.10 ถึง 4.21 แสดงถึงอุณหภูมิผิวหน้าของบดอวกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิเทียบกับวัสดุปูพื้นชนิดอื่นๆ ได้แก่ ศิลาแลง, หินทราย, คอนกรีตบดบล็อกประสานปูพื้นหรืออิฐตัวหนอน, หินอ่อน, และหินแกรนิต โดยปูบนพื้นที่แห้ง, พื้นที่เปียก, พื้นที่ชื้น, และพื้นที่เฉลี่ย 3 พื้นที่ พบว่า บดอวกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิมิอุณหภูมิมิผิวหน้าต่ำกว่าวัสดุปูพื้นอื่นๆ ทั้งหมด ในเกือบทุกสถานที่ รองลงมาคือ ศิลาแลง, คอนกรีตบดบล็อก, หินทราย, หินอ่อน, และหินแกรนิต มีอุณหภูมิสูงที่สุดตามลำดับ โดยบดอวกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิมิอุณหภูมิมิผิวหน้าต่ำกว่าวัสดุปูพื้นชนิดอื่นๆ กว่า 3 ถึง 13 องศาเซลเซียส ยกเว้น ในพื้นที่เปียกหรือพื้นที่ที่มีน้ำขัง ซึ่ง ศิลาแลง จะมีอุณหภูมิมิที่ต่ำกว่า เนื่องจากโพรงต่อเนื่องในศิลาแลงมีส่วนในการนำน้ำจากส่วนล่างขึ้นมาตามเนื้อของศิลาแลง หรือที่เรียกว่า “ปรากฏการณ์คาปิลลารี” (Capillary Tubes) [29] เพื่อใช้ในการระบายความร้อนออกไปได้ ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 4.22 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความชื้นของน้ำที่ไหลผ่านโพรงดังกล่าวของศิลาแลงขึ้นมาเพื่อใช้ในการระบายความร้อน





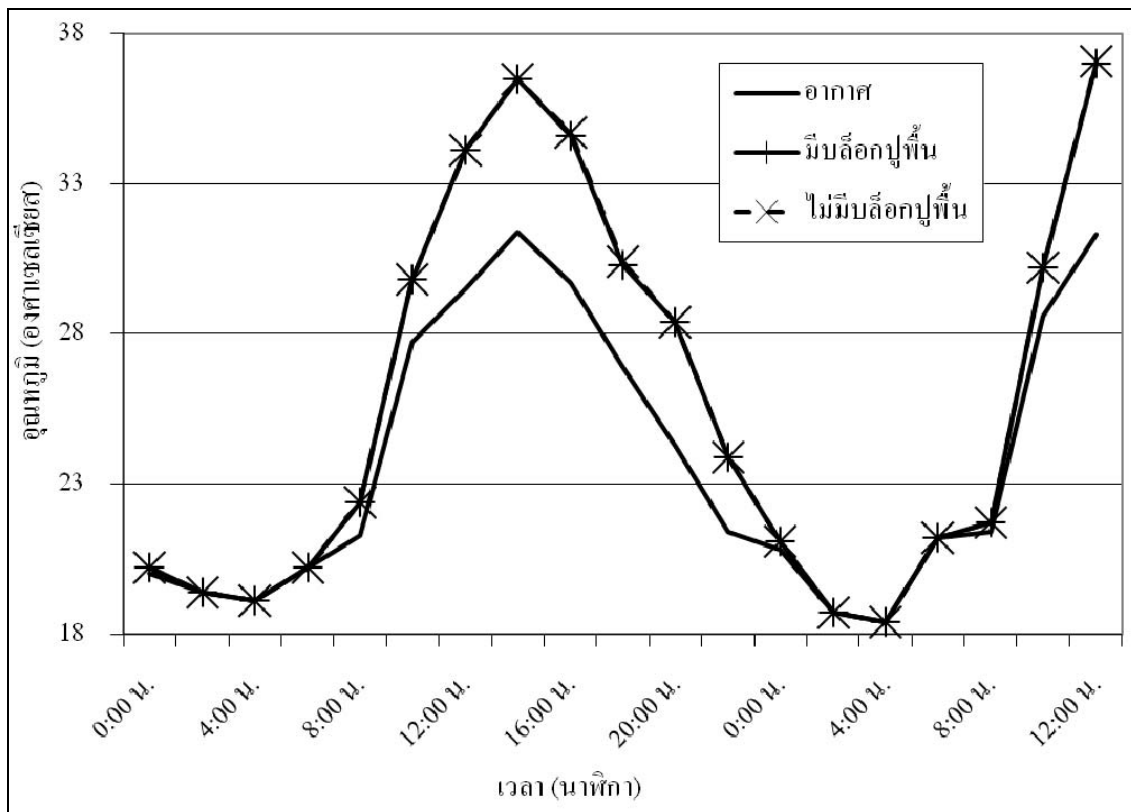
รูปที่ 4.22 โพรงต่อเนื่องในศิลาแลงที่มีส่วนในการนำน้ำจากส่วนล่างขึ้นมาระบายความร้อนด้านบน

#### 4.7 การใช้งานจริงของบล็อกรูปพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ

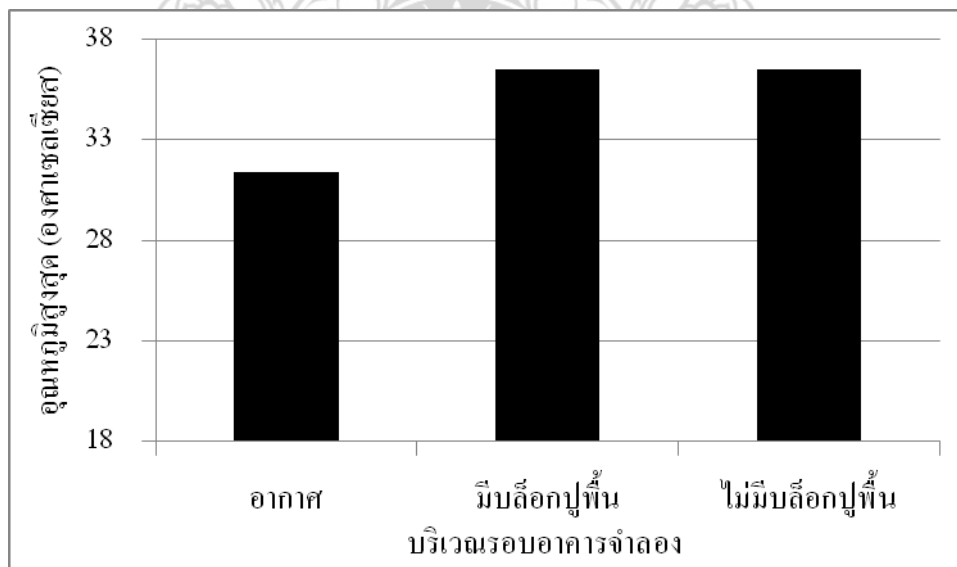
จากการทดสอบการใช้งานจริงของบล็อกรูปพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ โดยการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในอาคารจำลอง 2 หลังที่ด้านหน้าเป็นแผ่นอะคลิลิกใส ซึ่งบริเวณรอบอาคารหลังแรกเป็นคอนกรีตทั่วไปและอาคารหลังที่สองมีการปูบล็อกรูปพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิรอบบริเวณ โดยบล็อกรูปพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิที่นำมาปูพื้นเป็นอัตราส่วน R3F1 ซึ่งเหมาะสมกับการนำไปใช้งานจริง ทั้งนี้ผลการทดสอบสามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4.23 ถึง 4.26



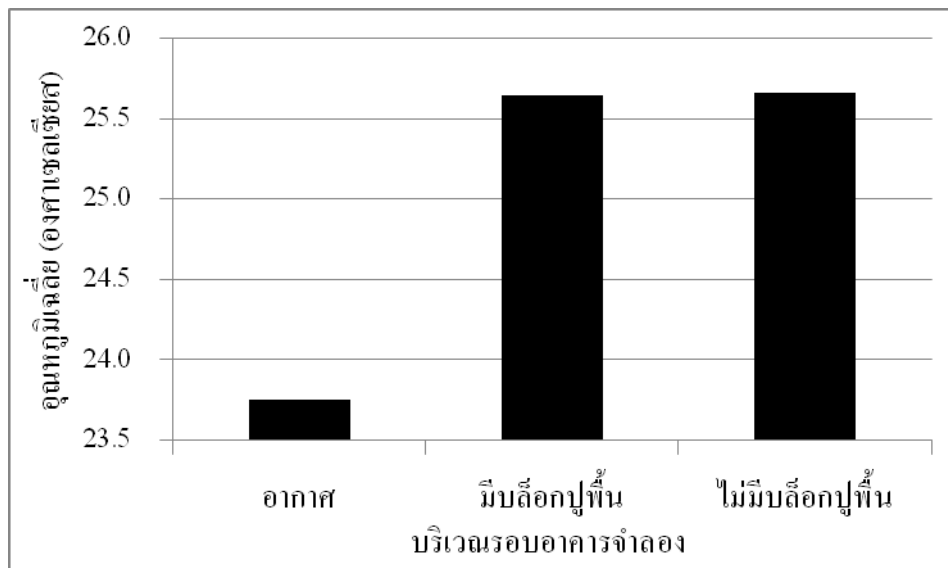
รูปที่ 4.23 การใช้งานจริงของบล็อกรูปพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ



รูปที่ 4.24 อุณหภูมิภายในอาคารจำลองที่มีการปูและไม่มีการปูปลอกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิบนพื้นที่แห้ง



รูปที่ 4.25 อุณหภูมิภายในอาคารจำลองสูงสุดที่มีการปูและไม่มีการปูปลอกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิบนพื้นที่แห้ง



รูปที่ 4.26 อนุภาคภายในอาคารจำลองเฉลี่ยที่มีการปูและไม่มีการปูบด็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอนุภาคมบนพื้นที่แห้ง

จากรูปที่ 4.23 ถึง 4.26 พบว่า อนุภาคภายในอาคารจำลองเฉลี่ยที่มีการปูและไม่มีการปูบด็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอนุภาคมบนพื้นที่แห้งมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่อาคารจำลองที่มีการปูบด็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอนุภาคจะมีอนุภาคมต่ำกว่า โดยเฉพาะในช่วงที่อาคารจำลองเริ่มจะคลายความร้อน ทั้งนี้จะเห็นได้ว่า อนุภาคมผิวหนังที่สะสมมีผลต่ออนุภาคภายในอาคาร เนื่องจากความร้อนบริเวณรอบๆ อาคารจะแผ่เข้าสู่ตัวอาคารได้

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และอุณหภูมิผิวหน้าของบล็อกรูปพื้นที่ได้จากศึกษาในโครงการการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรออกแบบบล็อกรูปพื้นที่ภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ สามารถสรุปผลและข้อเสนอแนะได้ ดังนี้

#### 5.1 สรุปผล

สำหรับการสรุปผลการศึกษาในโครงการการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรออกแบบบล็อกรูปพื้นที่ภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมินั้น สามารถสรุปเป็นข้อๆ เพื่อให้เกิดความชัดเจนในประเด็นต่างๆ ได้ ดังนี้

1) สีของผิวหน้ามีผลต่อการสะสมอุณหภูมิของวัสดุรูปพื้นที่ภายนอกอาคาร โดยวัสดุที่มีสีสว่างหรือมีสีอ่อนจะมีอุณหภูมิผิวหน้าต่ำกว่าวัสดุที่มีสีเข้มกว่า ซึ่งในการทดสอบได้เลือก “หินเกล็ดสีเหลืองทอง” ในการทำบล็อกรูปพื้นที่ภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิต่อไป

2) ขนาดหรือความขรุขระของวัสดุรูปพื้นที่ภายนอกอาคารมีผลต่อการสะท้อนรังสีความร้อนไม่มากนัก โดยจะมีอุณหภูมิผิวหน้าที่ใกล้เคียงกัน แต่วัสดุที่มีขนาดหรือความขรุขระที่ค่อนข้างเล็กจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่า ซึ่งในการทดสอบได้เลือก “หินเกล็ดเบอร์ 4” ในการทำบล็อกรูปพื้นที่ภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ

3) เมื่อผสมแกลบและฟางข้าวลงในบล็อกรูปพื้นที่ภายนอกอาคารในอัตราส่วนต่างๆ จะเห็นได้ว่าการผสมแกลบและฟางข้าวรวมกันในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อให้มีขนาดละเอียดดี จะสามารถลดความหนาแน่นได้ดี ในขณะที่บล็อกรูปพื้นที่ดังกล่าว ยังคงมีการดูดซึมน้ำที่ไม่สูงมาก และรับกำลังอัดได้ดี

4) จากโครงการการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรออกแบบบล็อกรูปพื้นที่ภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ สามารถเลือกอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมได้ คือ วัสดุส่วนบน อัตราส่วนปูนซีเมนต์ขาวชนิดผสมซิลิกา: หินเกล็ดสีเหลืองทองเบอร์ 4: น้ำ เท่ากับ 1: 4: 0.3 และวัสดุส่วนล่าง อัตราส่วนปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1: หินฝุ่น: แกลบ: ฟางข้าว: น้ำ เท่ากับ 1: 1: 0.75: 0.25: 0.5 และแม้ว่า กำลังอัด จะไม่ผ่านตามมาตรฐาน มอก.827-2531 เรื่องคอนกรีตบล็อกรูปพื้นที่ แต่บล็อกรูปพื้นที่ดังกล่าวก็แข็งแรงและสามารถใช้งานได้ดี เนื่องจากการใช้งานผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกรูปพื้นที่ ยังไม่ถูกบังคับให้ต้องผ่านมาตรฐาน

5) บล็อกรูปพื้นที่ภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ มีอุณหภูมิผิวหน้าที่ต่ำกว่าวัสดุรูปพื้นที่อื่นๆ ได้แก่ สีลาแลง, คอนกรีตบล็อก, หินทราย, หินอ่อน, และหินแกรนิต ถึงประมาณ 3 ถึง 13 องศาเซลเซียส

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับนำไปเป็นแนวทางของการวิจัยในครั้งต่อไป มีดังต่อไปนี้

- 1) ควรทำการพัฒนาโปรแกรมต่อเนื่องภายในเนื้อของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิเพื่อให้สามารถนำน้ำหรือความชื้นจากด้านล่างขึ้นมาระบายความร้อนที่ผิวด้านบนได้มากยิ่งขึ้น
- 2) ควรพัฒนากำลังอัดของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิที่มีการใช้วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรให้ดียิ่งขึ้น โดยการปรับเปลี่ยนวัสดุชนิดใหม่



## บรรณานุกรม

- [1] สัจจะชาญ พรีดมะลิ และคณะ, 2552. การใช้ดินขาวผสม เส้นใยมะพร้าว ฟางข้าว และ แกลบเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนในผนังคอนกรีตบล็อก, รายงานฉบับสมบูรณ์ งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2552, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- [2] ประชุม คำพุ่ม และกิตติพงษ์ สุวีโร, 2549. การศึกษาอิฐประกอบสำหรับปูพื้นภายนอก อาคารเพื่อลดอุณหภูมิ, รายงานฉบับสมบูรณ์, สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน.
- [3] สัจจะชาญ พรีดมะลิ และคณะ, 2553. การศึกษาทดลองใช้ผงแกลบและเส้นใยฟางข้าวทำ เป็นเม็ดวัสดุมวลรวมแทนหินฝุ่นในผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อก, รายงานฉบับสมบูรณ์ งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2553, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- [4] สำนักส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (สสอ.), 2552. **ฉนวนความร้อน**, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน, [online] เข้าถึงได้จาก <http://www2.dede.go.th/dede/homesafe/book/acc.htm>.
- [5] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน และกรมการปกครอง, 2546. **รายงานพลังงานของประเทศไทย, 2544.**
- [6] อุบลศรี ชัยสาม และ เขียวลักษณ์ นิสสกา, 2537. **คุณลักษณะของแร่ตามมาตรฐานการใช้งานและมาตรฐานการซื้อขายในตลาดแร่**, ฝ่ายข้อมูลและสถิติ กองวิชาการและวางแผน กรมทรัพยากรธรณี, พิมพ์ครั้งที่ 2, หน้า 140-155.
- [7] กรมการค้าต่างประเทศ, 2550. **ผลสำรวจผลผลิตข้าวเปลือกนาปรัง เดือนพฤษภาคม 2550**, กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์.
- [8] สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ข้าว, 2550. **สถานการณ์ข้าวรายเดือน, ฉบับที่ 6 มิถุนายน 2550**, สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ข้าว กรมการค้าข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- [9] ลัดดาวัลย์ วรรณนุช, 2548. **หุตุเผาฟางข้าวรักษาสิ่งแวดล้อม**, มติชนรายวัน, ฉบับวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2548.
- [10] อัสวิน น้อยสุวรรณ และคณะ, 2548. **คอนกรีตผสมแกลบ, ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [11] ศักดิ์สิทธิ์ ศรีแสง , อุปวิทย์ สุวคันธกุล, และสุดใจ เหง้าสีไพร, 2550. การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสม สำหรับคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนักที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราบ และเส้นใยมะพร้าว, วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา, ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2550, 77-87.

- [12] เลิศลักษณ์ วุฒิสวรรณ, 2544. การลดอุณหภูมิวัสดุปูพื้นภายนอกอาคารโดยวิธีการระเหย, **วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต**, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [13] กิตติพงษ์ สุวีโร และคณะ, 2550. การเลือกวัสดุสำหรับใช้ออกแบบอิฐปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ, **ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [14] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2541. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ (มอก. 1505-2541)**, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- [15] วิจิตรา เจริญชัย, 2543. การศึกษาการใช้เส้นใยธรรมชาติเป็นวัสดุเสริมแรงในโพลีโพรพิลีน, **วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต**, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [16] สุจินต์ สุภาเส, 2549. ฟางข้าว...ผลพลอยได้อันล้ำค่า. บรรณาธิการข่าวส่งเสริมการเกษตร. [online] เข้าถึงได้จาก <http://khonkaen.doae.go.th/srichompu/data>.
- [17] กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2549. วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, [online] เข้าถึงได้จาก <http://www.environment.in.th/evdb/info/mineral/mineral12.html>.
- [18] กรมปศุสัตว์, 2549. ฟางข้าว, [online] เข้าถึงได้จาก <http://www.dld.go.th/nutrition/exhibition/feedstuff/hay.htm>.
- [19] ชีระพันธุ์ ทองประวัตติ, 2530. การใช้ศิลาแลงเป็นวัสดุก่อสร้าง, **นิตยสารท้องถิ่น** 27, ฉบับ 4 ประจำเดือนเมษายน 2530, 58-68.
- [20] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2531. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (มอก. 827-2531)**, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- [21] ชูวดี หิรัญ และคณะ, 2551. บล็อกปูถนนคอนกรีตพูน, **เอกสารประกอบการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 4**, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร.
- [22] กรณ์ชัย โสภณพลกุล และคณะ, 2548. การศึกษาบล็อกปูพื้นคอนกรีตผสมตะกอนประปา, **วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต**, เทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม สาขาเทคโนโลยีโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

- [23] ประชุม คำพุ่ม และคณะ, 2550. การศึกษาสมบัติของมอร์ตาร์น้ำหนักเบา โดยการใช้เส้นใยจากขยะเปลือกทุเรียนเป็นวัสดุผสมเพิ่ม, รายงานฉบับสมบูรณ์ งบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2550, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [24] ปิติ พาณิชยูนนท์, จัตรี ผลนาค, สุวิทย์ เพชรห้วยลึก, ธวัฒน์ชัย เทพนवल, นพนนท์ นานคงแนบ, และ อนุจิตร จันทศรี, 2552. การพัฒนาคอนกรีตบล็อกมวลเบาจากฟางข้าว, *ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต*, มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- [25] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2542. *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมวลผสมหยาบสำหรับคอนกรีต – การหาความหนาแน่นของวัสดุและการดูดซึมน้ำ* (มอก. 1743-2542), สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- [26] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2525. *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวิธีทดสอบความต้านทานแรงอัดของแท่งคอนกรีต* (มอก. 409-2525), สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- [27] Landau, L. D.; E. M. Lifshitz, 1996. *Statistical Physics*, 3rd Edition Part 1 Edition, Oxford: Butterworth–Heinemann, ISBN 0521653142.
- [28] เครือซีเมนต์ไทย, 2548. *ปูนซีเมนต์และการประยุกต์ใช้งาน*, บริษัทปูนซีเมนต์ไทย อุตสาหกรรมจำกัด, พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ.
- [29] G.K. Batchelor, 1967. *An Introduction To Fluid Dynamics*, Cambridge University Press, ISBN 0-521-66396-2.



ภาคผนวก



ตารางที่ 1 ผลการทดสอบอุณหภูมิผิวหนังของบล็อกรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ  
(องศาเซลเซียส)

ช่วงเวลา	เวลา	อากาศ	ดำ #4	ขาว #4	ลท. #4	ลท. #5	ลท.#3 1/2
1	0:00 น.	21.3	27.6	26.5	26.7	27.2	27.0
2	2:00 น.	20.3	26.5	25.6	26.0	26.0	25.6
3	4:00 น.	19.4	26.4	25.5	25.5	25.5	25.3
4	6:00 น.	19.0	25.1	24.5	24.0	24.1	24.5
5	8:00 น.	24.0	29.5	29.4	30.0	29.4	29.4
6	10:00 น.	29.4	44.2	42.3	41.2	40.5	40.9
7	12:00 น.	33.7	53.4	52.7	47.4	48.6	50.2
8	14:00 น.	31.9	52.3	49.7	45.0	44.4	46.8
9	16:00 น.	30.4	44.9	42.5	41.8	41.3	41.2
10	18:00 น.	25.7	34.5	32.4	34.2	32.3	32.3
11	20:00 น.	24.1	31.6	30.2	30.5	30.4	30.2
12	22:00 น.	23.0	29.6	28.5	28.5	28.6	28.9
13	0:00 น.	21.2	27.4	26.3	27.1	27.0	26.7
14	2:00 น.	20.8	26.8	26.2	26.5	26.5	26.2
15	4:00 น.	20.0	24.5	23.8	24.6	24.2	24.1
16	6:00 น.	19.5	23.9	23.4	24.0	23.8	23.6
17	8:00 น.	24.3	29.4	28.4	27.8	28.3	28.5
18	10:00 น.	31.7	44.2	43.7	39.4	41.9	42.4
19	12:00 น.	32.7	52.7	49.8	45.7	45.8	47.2
เฉลี่ย		24.9	34.4	33.2	32.4	32.4	32.7

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบอุณหภูมิผิวหนังของบล็อกรูปพื้นที่ภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ  
(องศาเซลเซียส)

ชนิดของวัสดุ	ช่วงเวลา	เวลา	อุณหภูมิ (°c)			อุณหภูมิ
			พื้นคอนกรีต	แผ่นน้ำ	ดินชั้น	เฉลี่ย
บล็อกรูปพื้นที่	1	0:00	21.70	21.30	20.03	21.01
	2	2:00	22.20	21.20	20.03	21.14
	3	4:00	21.80	20.40	18.70	20.30
	4	6:00	22.00	21.10	19.80	20.97
	5	8:00	25.00	25.10	23.75	24.62
	6	10:00	33.30	33.20	33.60	33.37
	7	12:00	34.10	34.10	36.25	34.82
	8	14:00	40.50	38.20	38.20	38.97
	9	16:00	38.30	36.30	36.75	37.12
	10	18:00	29.50	28.20	27.85	28.52
	11	20:00	27.70	25.90	24.85	26.15
	12	22:00	24.40	23.20	22.50	23.37
	13	0:00	22.90	21.70	19.48	21.36
	14	2:00	21.70	21.20	20.50	21.13
	15	4:00	21.40	20.40	19.05	20.28
	16	6:00	22.10	21.60	20.80	21.50
	17	8:00	25.90	25.50	24.00	25.13
	18	10:00	37.20	34.80	32.58	34.86
	19	12:00	46.30	35.80	42.00	41.37
รวม			28.32	26.80	26.35	27.16

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบอุณหภูมิผิวหนังของศิลาแลง

(องศาเซลเซียส)

ชนิดของวัสดุ	ช่วงเวลา	เวลา	อุณหภูมิ (°c)			อุณหภูมิ (°c)
			พื้นคอนกรีต	แขน้า	ดินชั้น	เฉลี่ย
ศิลาแลง	1	0:00	22.60	22.00	19.73	21.44
	2	2:00	22.80	22.30	20.35	21.82
	3	4:00	22.20	21.30	18.38	20.63
	4	6:00	21.90	21.80	19.93	21.21
	5	8:00	26.90	26.20	25.13	26.08
	6	10:00	39.60	34.30	38.18	37.36
	7	12:00	41.70	34.90	43.28	39.96
	8	14:00	49.30	32.00	45.68	42.33
	9	16:00	45.40	30.60	43.38	39.79
	10	18:00	33.40	26.10	32.05	30.52
	11	20:00	30.30	25.00	27.53	27.61
	12	22:00	26.50	22.90	24.63	24.68
	13	0:00	24.20	22.10	21.08	22.46
	14	2:00	23.30	21.50	21.28	22.03
	15	4:00	22.70	21.10	19.73	21.18
	16	6:00	22.80	21.60	21.30	21.90
	17	8:00	27.30	25.60	25.75	26.22
	18	10:00	41.10	34.60	37.95	37.88
	19	12:00	52.10	39.10	49.60	46.93
รวม			31.37	26.58	29.20	29.05

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบอุณหภูมิผิวหน้าของหินทราย

(องศาเซลเซียส)

ชนิดของวัสดุ	ช่วงเวลา	เวลา	อุณหภูมิ (°c)			อุณหภูมิ (°c)
			พื้นคอนกรีต	น้ำ	ดินชั้น	เฉลี่ย
หินทราย	1	0:00	23.20	24.00	19.68	22.29
	2	2:00	23.10	22.70	19.98	21.93
	3	4:00	23.00	22.30	17.75	21.02
	4	6:00	22.20	22.20	19.28	21.23
	5	8:00	27.30	27.80	25.05	26.72
	6	10:00	41.40	36.90	41.58	39.96
	7	12:00	42.50	37.30	43.85	41.22
	8	14:00	48.70	40.60	46.58	45.29
	9	16:00	45.00	38.20	40.70	41.30
	10	18:00	33.60	29.20	28.85	30.55
	11	20:00	29.80	27.10	25.10	27.33
	12	22:00	25.90	24.90	22.50	24.43
	13	0:00	24.50	23.30	19.40	22.40
	14	2:00	23.30	22.80	20.03	22.04
	15	4:00	22.60	22.40	18.70	21.23
	16	6:00	22.90	23.10	20.95	22.32
	17	8:00	27.20	26.30	25.18	26.23
	18	10:00	41.40	36.20	40.58	39.39
	19	12:00	52.60	46.20	50.73	49.84
รวม			31.59	29.13	28.76	29.83

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบอุณหภูมิผิวหน้าของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น  
(องศาเซลเซียส)

ชนิดของวัสดุ	ช่วงเวลา	เวลา	อุณหภูมิ (°c)			อุณหภูมิ (°c)
			พื้นคอนกรีต	น้ำ	ดินชั้น	เฉลี่ย
คอนกรีต บล็อก	1	0:00	23.20	22.60	20.58	22.13
	2	2:00	23.50	22.50	19.63	21.88
	3	4:00	22.90	22.20	18.03	21.04
	4	6:00	22.40	22.30	19.83	21.51
	5	8:00	26.10	26.70	24.10	25.63
	6	10:00	38.60	36.50	37.90	37.67
	7	12:00	41.60	37.40	42.38	40.46
	8	14:00	47.20	40.60	44.10	43.97
	9	16:00	43.80	37.00	41.80	40.87
	10	18:00	33.70	29.10	31.00	31.27
	11	20:00	30.30	26.90	26.50	27.90
	12	22:00	26.50	24.50	24.00	25.00
	13	0:00	25.00	23.10	20.48	22.86
	14	2:00	23.80	22.40	21.00	22.40
	15	4:00	23.30	22.10	19.45	21.62
	16	6:00	23.50	22.80	20.95	22.42
	17	8:00	26.80	26.00	24.50	25.77
	18	10:00	41.00	37.10	37.40	38.50
	19	12:00	50.00	43.70	47.13	46.94
รวม			31.22	28.71	28.46	29.46

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบอุณหภูมิผิวหน้าของหินอ่อน

(องศาเซลเซียส)

ชนิดของวัสดุ	ช่วงเวลา	เวลา	อุณหภูมิ (°c)			อุณหภูมิ (°c)
			พื้นคอนกรีต	แผ่น้ำ	ดินชั้น	เฉลี่ย
หินอ่อน	1	0:00	23.30	22.50	18.98	21.59
	2	2:00	24.30	22.70	19.48	22.16
	3	4:00	23.90	21.50	17.68	21.03
	4	6:00	23.20	22.20	19.60	21.67
	5	8:00	27.90	28.30	24.80	27.00
	6	10:00	40.40	42.20	43.53	42.04
	7	12:00	42.70	44.30	45.75	44.25
	8	14:00	45.20	45.00	47.48	45.89
	9	16:00	42.60	39.90	41.68	41.39
	10	18:00	32.40	29.00	27.98	29.79
	11	20:00	30.50	27.40	24.70	27.53
	12	22:00	25.90	25.30	22.50	24.57
	13	0:00	24.90	22.40	18.25	21.85
	14	2:00	24.30	22.00	20.28	22.19
	15	4:00	23.20	21.50	17.98	20.89
	16	6:00	23.60	22.80	20.85	22.42
	17	8:00	28.00	27.60	26.10	27.23
	18	10:00	40.40	39.80	43.20	41.13
	19	12:00	49.80	52.30	54.60	52.23
รวม			31.39	30.46	29.23	30.36

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบอุณหภูมิผิวหน้าของหินแกรนิต  
(องศาเซลเซียส)

ชนิดของวัสดุ	ช่วงเวลา	เวลา	อุณหภูมิ (°c)			อุณหภูมิ (°c)
			พื้นคอนกรีต	น้ำ	ดินชั้น	เฉลี่ย
หินแกรนิต	1	0:00	24.00	22.50	19.50	22.00
	2	2:00	23.40	22.70	18.45	21.52
	3	4:00	23.20	22.70	17.60	21.17
	4	6:00	22.70	22.00	19.58	21.43
	5	8:00	28.20	27.90	24.85	26.98
	6	10:00	42.50	38.80	43.40	41.57
	7	12:00	44.10	43.80	45.83	44.58
	8	14:00	47.60	44.70	46.58	46.29
	9	16:00	44.50	42.20	42.45	43.05
	10	18:00	32.40	30.30	29.10	30.60
	11	20:00	30.30	28.60	24.93	27.94
	12	22:00	25.30	26.20	22.90	24.80
	13	0:00	24.30	23.20	18.65	22.05
	14	2:00	23.10	21.70	20.33	21.71
	15	4:00	20.90	20.60	17.98	19.83
	16	6:00	22.60	22.60	20.85	22.02
	17	8:00	28.10	27.00	26.08	27.06
	18	10:00	42.00	40.20	41.95	41.38
	19	12:00	51.80	47.30	52.50	50.53
รวม			31.63	30.26	29.13	30.34



ตารางที่ 8 ผลการทดสอบอุณหภูมิของอากาศ

(องศาเซลเซียส)

ชนิดของวัสดุ	ช่วงเวลา	เวลา	อุณหภูมิ (°c)
			อากาศ
อากาศ	1	0:00	15.30
	2	2:00	15.15
	3	4:00	15.10
	4	6:00	16.30
	5	8:00	18.30
	6	10:00	25.10
	7	12:00	27.00
	8	14:00	30.60
	9	16:00	29.80
	10	18:00	23.30
	11	20:00	21.60
	12	22:00	19.50
	13	0:00	17.20
	14	2:00	16.60
	15	4:00	16.00
	16	6:00	16.80
	17	8:00	19.30
	18	10:00	25.70
	19	12:00	30.10
รวม			20.99

ตารางที่ 9 ผลการทดสอบกำลังอัดของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ อัตราส่วน ROF0  
(กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

ROF0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
0 วัน	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 วัน	270.00	267.38	254.28	275.25	264.76	256.90	249.03	272.63	251.65	259.52	262.14
14 วัน	302.25	284.65	296.38	287.58	290.52	308.12	299.32	305.19	281.71	278.78	293.45
21 วัน	318.30	344.82	328.24	334.88	348.14	338.19	314.98	341.51	324.93	321.61	331.56
28 วัน	373.69	370.10	366.51	377.29	348.54	362.91	352.13	355.73	341.35	344.95	359.32

ตารางที่ 10 ผลการทดสอบกำลังอัดของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ อัตราส่วน R0F4  
(กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

R0F4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
0 วัน	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 วัน	139.52	132.68	129.94	143.62	131.31	138.15	134.04	142.25	140.88	135.41	136.78
14 วัน	162.71	154.66	157.88	156.27	167.54	169.16	153.05	165.93	159.49	164.32	161.10
21 วัน	178.45	183.86	171.24	176.65	173.04	174.84	189.26	187.46	182.05	185.66	180.25
28 วัน	180.42	191.82	195.62	197.52	188.02	193.72	184.22	186.12	199.42	182.32	189.92

ตารางที่ 11 ผลการทดสอบกำลังอัดของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ อัตราส่วน R1F3  
(กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

<b>R1F3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>เฉลี่ย</b>
0 วัน	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 วัน	173.01	159.83	163.12	168.07	161.47	171.36	156.53	166.42	158.18	169.71	164.77
14 วัน	190.33	192.27	184.50	196.15	200.04	203.92	186.44	198.09	201.98	188.38	194.21
21 วัน	219.31	198.43	213.05	206.78	215.14	204.69	200.52	202.60	217.22	210.96	208.87
28 วัน	227.57	216.42	211.95	234.27	214.19	225.34	218.65	232.03	229.80	220.88	223.11

ตารางที่ 12 ผลการทดสอบกำลังอัดของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ อัตราส่วน R2F2  
(กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

R2F2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
0 วัน	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 วัน	181.14	173.97	175.76	188.32	177.56	184.73	172.18	186.52	170.38	182.94	179.35
14 วัน	224.41	217.81	226.61	215.61	209.01	213.41	228.81	231.01	211.21	222.21	220.01
21 วัน	232.20	227.41	246.56	251.35	244.17	241.77	248.96	234.59	229.80	236.99	239.38
28 วัน	258.52	241.12	238.64	253.55	236.15	246.09	256.04	251.07	243.61	261.01	248.58

ตารางที่ 13 ผลการทดสอบกำลังอัดของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ อัตราส่วน R3F1  
(กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

R3F1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
0 วัน	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 วัน	207.05	193.12	191.13	203.07	189.14	197.10	205.06	201.08	195.11	209.04	199.09
14 วัน	252.56	235.39	255.01	247.65	240.30	250.10	242.75	257.46	232.94	237.84	245.20
21 วัน	283.61	278.15	261.79	269.97	259.07	280.88	275.43	264.52	286.34	267.25	272.70
28 วัน	279.00	287.54	281.84	270.46	293.23	273.30	298.92	290.38	276.15	296.08	284.69

ตารางที่ 14 ผลการทดสอบกำลังอัดของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ อัตราส่วน R4F0  
(กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

<b>R4F0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>เฉลี่ย</b>
0 วัน	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 วัน	145.20	146.70	157.17	155.68	148.19	151.19	143.70	152.68	142.21	154.18	149.69
14 วัน	175.28	182.36	173.51	185.90	168.20	180.59	184.13	178.82	169.97	171.74	177.05
21 วัน	184.66	200.21	204.10	190.49	198.27	188.55	202.16	192.44	186.60	196.32	194.38
28 วัน	204.35	202.24	214.88	212.78	200.14	219.10	216.99	221.20	206.46	208.56	210.67

ตารางที่ 15 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ ที่อายุ 28 วัน  
(ร้อยละ)

อัตราส่วน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
R0F0	9.47	10.25	9.86	9.56	9.37	9.66	9.27	10.15	10.05	9.96	9.76
R0F4	19.03	18.46	18.65	19.78	18.09	17.90	19.22	19.59	19.41	18.27	18.84
R1F3	16.25	16.57	17.23	16.74	16.08	15.92	15.59	16.90	15.75	17.07	16.41
R2F2	16.43	16.92	15.63	16.27	15.30	15.47	15.79	15.95	16.75	16.59	16.11
R3F1	15.42	14.52	14.67	14.82	15.72	15.27	14.22	15.12	14.37	15.57	14.97
R4F0	17.59	18.69	19.05	17.40	17.77	18.50	18.87	19.24	18.14	17.95	18.32



ตารางที่ 16 ผลการทดสอบความหนาแน่นของบล็อกปูพื้นภายนอกอาคารเพื่อลดอุณหภูมิ ที่อายุ 28 วัน  
(กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

อัตราส่วน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
R0F0	2,355.85	2,286.56	2,378.95	2,263.47	2,194.18	2,240.37	2,402.05	2,425.14	2,217.27	2,332.76	2,309.66
R0F4	1,633.30	1,599.62	1,734.32	1,768.00	1,717.49	1,700.65	1,751.16	1,650.13	1,616.46	1,666.97	1,683.81
R1F3	1,889.80	1,762.61	1,744.44	1,853.46	1,726.26	1,798.95	1,871.63	1,835.29	1,780.78	1,907.98	1,817.12
R2F2	1,898.98	1,769.92	1,917.42	1,862.11	1,806.80	1,880.54	1,825.23	1,935.85	1,751.49	1,788.36	1,843.67
R3F1	2,017.01	1,978.22	1,861.85	1,920.04	1,842.46	1,997.61	1,958.82	1,881.25	2,036.40	1,900.64	1,939.43
R4F0	1,738.85	1,792.08	1,756.60	1,685.62	1,827.57	1,703.37	1,863.06	1,809.83	1,721.11	1,845.31	1,774.34

ตารางที่ 17 ผลการทดสอบอุณหภูมิอากาศจำลองจากการใช้งานจริง  
(องศาเซลเซียส)

ช่วงเวลา	เวลา (นาฬิกา)	อากาศ	มีปลีอกปูพื้น	ไม่มีปลีอกปูพื้น
1	0:00	20.00	20.20	20.20
2	2:00	19.40	19.40	19.40
3	4:00	19.10	19.10	19.10
4	6:00	20.20	20.20	20.20
5	8:00	21.30	22.40	22.40
6	10:00	27.70	29.80	29.80
7	12:00	29.50	34.10	34.10
8	14:00	31.40	36.50	36.50
9	16:00	29.70	34.60	34.70
10	18:00	26.90	30.30	30.40
11	20:00	24.30	28.40	28.40
12	22:00	21.40	23.90	23.90
13	0:00	20.80	21.10	21.10
14	2:00	18.70	18.70	18.70
15	4:00	18.40	18.40	18.40
16	6:00	21.20	21.20	21.20
17	8:00	21.40	21.70	21.70
18	10:00	28.60	30.20	30.20
19	12:00	31.30	37.00	37.10
เฉลี่ย		23.75	25.64	25.66