

การทดสอบศักยภาพการกักเก็บพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในหินถม (Experimental Assessment of Solar Thermal Energy Storage in Rock Fills)

เดโช เผือกภูมิ และ กิตติเทพ เฟื่องขจร

หน่วยวิจัยกลศาสตร์ธรณี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000 โทรศัพท์ 0-4422-4758 โทรสาร 0-4422-4448 E-mail: d4740056@yahoo.com

Decho Phueakphum and Kittitip Fuenkajorn

Geomechanics Research Unit, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology

Muang District, Nakorn Ratchasima 30000 Thailand Tel: 0-4422-4448 Fax: 0-4422-4448 E-mail: d4740056@yahoo.com

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ เพื่อทดสอบและออกแบบระบบการกักเก็บพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ไว้ในหินถมในเวลากลางวัน และนำความร้อนที่ได้มาใช้ในเวลากลางคืน ซึ่งเป็นประโยชน์สำหรับให้ความอบอุ่นแก่อาคารบ้านเรือนในพื้นที่ที่ประสบภัยหนาว และยังช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานแก่โรงบ่มเมล็ดพันธุ์พืช โรงเลี้ยงสัตว์ ตัวอย่างหินมากกว่า 10 ชนิดที่พบอยู่ทั่วไปในประเทศไทยได้นำมาทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติด้านความจุความร้อนจำเพาะ (c_p) และสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อน (k) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคัดเลือกตัวอย่างหินที่จะมาใช้ในการออกแบบและสร้างแบบจำลองย่อส่วน ผลที่ได้พบว่าหินบะซอลต์จากจังหวัดบุรีรัมย์มีความเหมาะสมที่สุดเนื่องจากมีค่าความจุความร้อนสูงสุด ระบบการกักเก็บพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ถูกทดสอบโดยการสร้างแบบจำลองย่อส่วนซึ่งประกอบด้วย ระบบกักเก็บพลังงานที่สร้างโดยใช้หินบะซอลต์ย่อยและมีท่ออากาศร้อนเชื่อมต่อบริเวณส่วนบนของระบบกักเก็บเข้ากับบ้านจำลองที่สร้างจากไม้ และทำการตรวจวัดอุณหภูมิของระบบในหลายจุดตลอดฤดูหนาว ผลการตรวจวัดอุณหภูมิระบุว่าบ่อกักเก็บพลังงานสามารถทำให้อุณหภูมิในบ้านจำลองสูงขึ้นจากอุณหภูมิปกติประมาณ 5 องศาเซลเซียสเป็นอย่างน้อย อุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้เป็นการเปรียบเทียบกับอุณหภูมิก่อนบ้านและอุณหภูมิของบ้านที่มีการตรวจวัดโดยไม่เปิดท่อนำความร้อน อย่างไรก็ตาม เมื่อถึงเวลา 9:00 น. อุณหภูมิในบ่อกักเก็บความร้อนยังคงสูงกว่าอุณหภูมิในบ้านจำลองอยู่มาก อาจเป็นผลมาจากการส่งผ่านความร้อนของระบบยังไม่มีประสิทธิภาพดีเท่าที่ควร งานวิจัยที่กำลังดำเนินการอยู่คือการพยายามปรับปรุงแบบและระบบการส่งความร้อนให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

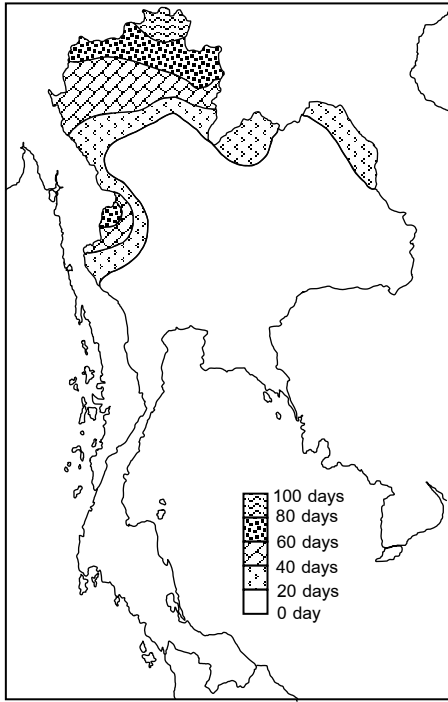
Abstract

The objective of the present research is to experimentally assess the performance of the storage system of solar thermal energy in rock fills. The thermal energy stored during the

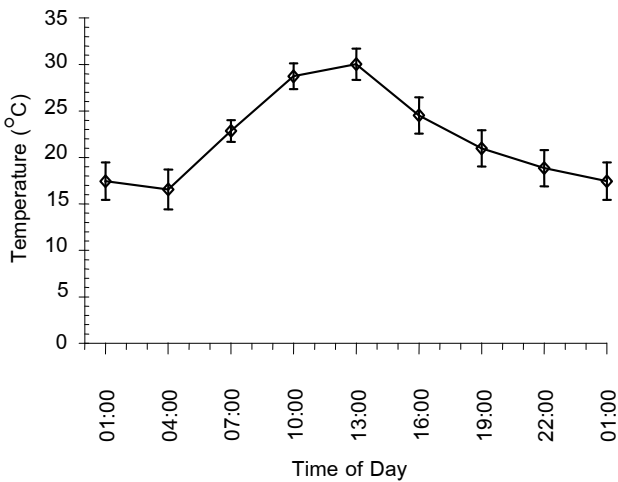
daytime can be used to warm up housings and agricultural facilities during the night time which may result in a reduction of the required energy during the winter. Here over 10 rock types commonly found in Thailand have been tested to determine their specific heat (c_p) and thermal conductivities (k). The results suggest that Burirum basalt is the most suitable rock for heat storage, as indicated by the highest specific heat value. Basalt fragments then have been tested in the pilot scale of the solar thermal storage system, comprising underground rock fills, housing model and connecting pipes. Temperatures have been monitored at various points in the system throughout the winter. The results indicate that the storage system can increase the temperature of the housing model by at least 5 Celsius from the ambient temperature. At about 9:00 AM of any day the temperature of the rock fills however remains higher than that of the housing model. This indicates that the heat circulation within the system has not reached its top efficiency. The ongoing work involves the design modification to maximize the efficiency of the storage system.

1. บทนำ

ในพื้นที่ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มักจะประสบปัญหาภัยหนาวในช่วงฤดูหนาวของทุกปี ปัญหาดังกล่าวก่อให้เกิดความเสียหายต่อสุขภาพของประชาชนและเศรษฐกิจของประเทศเป็นอย่างมาก จากสถิติของกรมอุตุนิยมวิทยาพบว่าบางพื้นที่มีอุณหภูมิต่ำถึง -2 องศาเซลเซียส [1] เช่น ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน และจังหวัดเลย ประกอบกับในบางพื้นที่มีระยะเวลาที่มีอากาศหนาวนานกว่า 3 เดือน (รูปที่ 1) และอุณหภูมิตอนกลางคืนลดต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส (รูปที่ 2) ทุกปีหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนได้ระดมเงินกว่า 20 ล้านบาท เพื่อช่วยเหลือบรรเทาความเดือดร้อนจากภัยหนาวที่เกิดขึ้น [2]



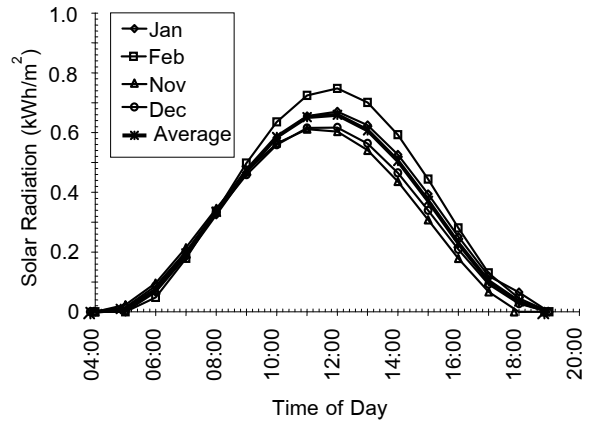
รูปที่ 1 แผนที่แสดงจำนวนวันที่มีอุณหภูมิต่ำสุดน้อยกว่า 16 องศาเซลเซียส เป็นข้อมูลระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2543 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2544 [1]



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิรายวันในฤดูหนาวบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย โดยเฉลี่ยข้อมูลอุณหภูมิของจังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง และเลย ปี พ.ศ. 2543 ถึง 2547 [3]

เทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในหินถมเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาภัยหนาวในเขตประเทศที่มีอุณหภูมิหนาวเย็น โดยมีแนวคิดคือ ทำการกักเก็บพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่มีอยู่มากในช่วงเวลากลางวันไว้ในหินถมที่สร้างขึ้นใต้ดิน และปล่อยพลังงานความร้อนที่เก็บไว้เพื่อสร้างความอบอุ่นให้กับที่พักอาศัยในช่วงเวลากลางคืนเมื่ออุณหภูมิต่ำลง

เทคโนโลยีดังกล่าวต้องพิจารณาถึงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์และคุณลักษณะของวัสดุที่เป็นตัวกักเก็บพลังงาน เมื่อพิจารณาพลังงานแสงอาทิตย์จากแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยใน



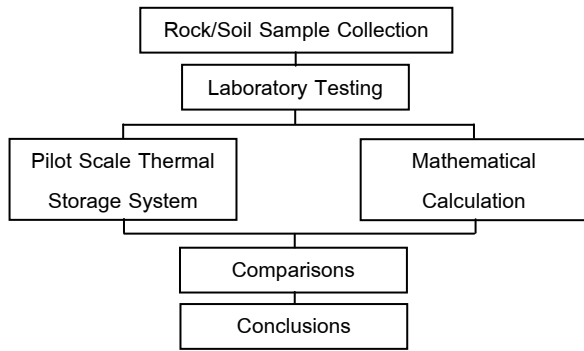
รูปที่ 3 ค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงฤดูหนาวบริเวณจังหวัดนครราชสีมา [4]

ปี พ.ศ. 2542 จัดทำโดยกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร พบว่าการกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จะมีค่าสูงสุดในช่วงเดือนเมษายนและพฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 20 ถึง 24 MJ/m².day แต่ในช่วงฤดูหนาวของประเทศ ไทย ความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์จะมีค่าลดลง โดยมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์อยู่ระหว่าง 15 ถึง 20 MJ/m².day รูปที่ 3 แสดงค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงฤดูหนาวบริเวณจังหวัดนครราชสีมา

สำหรับวัสดุที่จะนำมาใช้เป็นตัวกลางในการสะสมพลังงานความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพต้องเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการกักเก็บความร้อนได้สูงและเป็นระยะเวลานาน โดยพิจารณาวัสดุที่มีค่าความจุความร้อนเชิงปริมาตรสูง (Volumetric energy capacity) ซึ่งมีผลดีในด้านการออกแบบ กล่าวคือ จะลดปริมาตรของบ่อกักเก็บพลังงานได้ [5] จากงานวิจัยที่ดำเนินการในต่างประเทศพบว่าหินบางชนิดเป็นวัสดุที่เหมาะสมกับเทคโนโลยีนี้ เช่น หินภูเขาไฟและหินอัคนี จากการสำรวจของกรมทรัพยากรธรณีพบว่า หินดังกล่าวมีการกระจายตัวอยู่ในหลายพื้นที่ของประเทศไทย จึงสมควรนำหินที่สามารถหาได้ในท้องถิ่นมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้ถูกพัฒนาและดำเนินการจนประสบความสำเร็จมาแล้วในหลายประเทศ [6, 7, 8, 9] แต่เป็นลักษณะของการใช้เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ หรือโคมปริกิริยาเรือนกระจกเป็นตัวรับแสงและส่งพลังงานความร้อนไปยังชั้นหินถม ผ่านอุปกรณ์เพิ่มและถ่ายเทความร้อน แต่เทคนิคดังกล่าวต้องใช้ต้นทุนสูงในการก่อสร้าง ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้มีการประยุกต์และปรับเปลี่ยนเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่และสภาวะทางเศรษฐกิจของประเทศไทยโดยเลือกใช้วัสดุราคาถูกแต่ให้ประสิทธิภาพสูง ข้อได้เปรียบของเทคโนโลยีนี้คือแหล่งพลังงานต้นกำเนิดที่นำมาเป็นพลังงานหลักคือ พลังงานจากแสงอาทิตย์ซึ่งมีอยู่จำนวนมากและเป็นแหล่งพลังงานที่ไม่ต้องลงทุน นอกจากนี้หินที่มีอยู่จัดเป็นวัสดุในท้องถิ่นที่ราคาถูก มีอายุการใช้งานที่ยาวนานและปลอดภัย นอกจากคุณประโยชน์ดังกล่าวแล้ว การกักเก็บพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ในช่วงเวลากลางวันแล้วนำมาใช้ในช่วงเวลากลางคืนในขณะที่มีอุณหภูมิต่ำยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรม การเกษตร เช่น การบ่มเมล็ดพันธุ์พืช โรงเลี้ยงสัตว์ขนาดเล็ก และการเพาะปลูกในเรือนกระจก เป็นต้น

2. วิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ เพื่อทดสอบและออกแบบระบบการกักเก็บพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ไว้ในหินฉนวนในเวลากลางวัน และนำเอาพลังงานความร้อนที่กักเก็บได้มาใช้ในเวลากลางคืน ซึ่งเป็นประโยชน์สำหรับอาคารบ้านเรือน โรงบ่มเมล็ดพันธุ์พืช โรงเลี้ยงสัตว์ โดยช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในพื้นที่ที่ประสบภัยหนาว ในการวิจัยได้ทำการทดสอบคุณสมบัติด้านความร้อน ได้แก่ คุณสมบัติด้านความจุความร้อนจำเพาะ (c_p) และสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อน (k) และคุณสมบัติทางกลวิทยาของหินที่พบอยู่ทั่วไปในประเทศไทย เพื่อใช้ประกอบการคัดเลือกหินที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับเป็นตัวกักเก็บพลังงานความร้อน พร้อมทั้งวิเคราะห์ขนาดผลของดินด้วยตะแกรงและไฮโดรมิเตอร์ และคุณสมบัติด้านความร้อนของดินที่เป็นบ่อกักเก็บพลังงาน นอกจากนี้ยังได้คำนวณพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและการเก็บความร้อนด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ประกอบกับการสร้างแบบจำลองทางกายภาพสำหรับตรวจวัดพฤติกรรมจริงของการเก็บพลังงานและการถ่ายเทพลังงานความร้อนในระบบ แล้วจึงนำ -



รูปที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ผลที่ได้จากการตรวจวัดมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณเพื่อประเมินความสามารถของระบบต่อไป รูปที่ 4 แสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

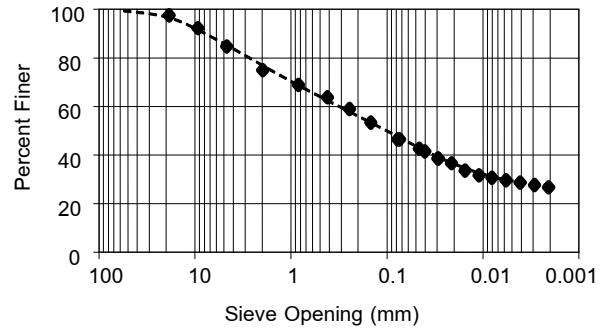
3. คุณสมบัติของดินและหิน

3.1 คุณสมบัติทางกายภาพของดิน

ดินที่เป็นบ่อกักเก็บพลังงานอยู่ในชุดดินสูงเนิน [10] มีลักษณะเป็นดินร่วนปนทรายอยู่ในบริเวณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จากการวิเคราะห์ขนาดผลด้วยตะแกรงและไฮโดรมิเตอร์ระบุว่าดินดังกล่าวเป็นดินประเภท "Clayey Sand" โดยการจำแนกตามระบบ The Unified Soil Classification System -USCS [11] รูปที่ 5 แสดงผลการศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพของดิน

3.2 คุณสมบัติด้านกลวิทยา

ตัวอย่างหินที่นำมาทดสอบประกอบไปด้วยหิน 12 ชนิดได้แก่ หินแกรนิต 3 ชนิดจากจังหวัดตาก หินทราย 4 ชนิดจากจังหวัดนครราชสีมาและสระบุรี หินอ่อน 2 ชนิดจากจังหวัดสระบุรีและลพบุรี หินบะซอลต์ 1 ชนิดจากจังหวัดบุรีรัมย์ และเกลือหินชั้นกลางและชั้นล่างจากแอ่งโคราช ผลการศึกษาแร่ประกอบหินได้สรุปไว้ในตารางที่ 1



รูปที่ 5 การกระจายขนาดของดินที่เป็นบ่อกักเก็บพลังงาน

ตารางที่ 1 สรุปผลการศึกษาลักษณะทางแร่วิทยาของตัวอย่างหิน

Rock Types	Mineral composition	Description
Burirum Basalt (aphanitic basalt)	50/50% of pyroxene and plagioclase	Very dark grey to black, densed with a few vesicles, no olivine crystal observed
Vietnamese Granite (quartz syenite)	orthoclase 75%, quartz 10%, plagioclase 10% and amphibole 7%	Appearing pink, fine grained with average size of 2-5 mm in length
Tak Garnite (plagiogranite)	plagioclase 40%, quartz 30%, orthoclase 5%, amphibole 3% and biotite 2%	Appearing grey with black and white spotted, fine grained with average size of 4-5 mm
Chinese Granite (quartz monzonite)	plagioclase 70%, quartz 15%, orthoclase 7%, amphibole 5% and biotite 3%	Appearing white with scattered black, coarse grained, quartz and feldspar generally of equal size, average size of more than 5 mm
Saraburi Marble (limestone marble)	100% calcite	Appearing yellowish brown, showing original texture of limestone with metamorphosed fossils and rock fragments
Lopburi Marble (limestone marble)	100% calcite	Appearing white, grains size average of 2 mm, equidimensional
Phu Kradung Sandstone (calcareous lithic sandstone)	lithic fragment 70%, quartz 18%, mica 7%, feldspar 3%, and other 2%	Fine grained sandstone, grayish green, lithic fragment and quartz dominated with less mica, well sorted, angular
Phu Phan Sandstone (quartz sandstone)	quartz 72%, feldspar 20%, rock fragment 3%, mica 3%, and other 2%	Fine grained sandstone, brownish yellow, quartz and feldspar dominated with a few mica, well sorted, angular
Phra Wihan Sandstone (white quartz sandstone)	quartz 75%, feldspar 15%, mica 7%, and lithic fragment 3%	Fine grained sandstone, brownish white with scattered black, quartz and feldspar dominated with less mica, well sorted, angular
Sao Khua Sandstone (arkosic feldspathic sandstone)	feldspar 70%, quartz 18%, mica 7%, rock fragment 3%, and other 2%	Fine grained sandstone, appearing red, feldspar and quartz dominated with less mica, well sorted, angular
Middle Salt	halite 98%, anhydrite 1%, clay mineral 1%	Smoky color, Average grain size 5 mm
Lower Salt	Halite 99%, clay mineral 1%	Colorless, Average grain size 5 mm

พบว่าแร่ประกอบหินกลุ่มหินอัคนีได้แก่ pyroxene, plagioclase, orthoclase, amphibole, biotite, hornblende และ quartz แร่ประกอบหินกลุ่มหินตะกอนได้แก่ feldspar, quartz, mica, rock fragments และ lithic fragments ส่วนหินอ่อนทั้งสองชนิดจะเป็นแร่ calcite หินทรายจากหมวดหินภูพานและพระวิหารมีแร่ quartz เป็นแร่ประกอบหลักซึ่งมีมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ หินทรายจากหมวดหินภูกระดึงมี lithic fragments เป็นองค์ประกอบหลัก และหินทรายจากหมวดหินเสาขัวมีแร่ feldspar มากที่สุด ส่วนเกลือหินทั้ง 2 ชนิดจากแอ่งโคราชมีแร่เฮไลต์เป็นองค์ประกอบมากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์

3.3 คุณสมบัติด้านความร้อน

หินจำนวน 12 ชนิดและดิน 1 ชนิด ถูกนำมาทดสอบหาคุณสมบัติด้านความร้อน ได้แก่ คุณสมบัติด้านการนำความร้อน และความจุความร้อนจำเพาะด้วยเครื่อง Thermal Constants Analyzer (TCA) แบบ Hot Disk โดยใช้ตัวอย่างขนาด 3×3×1 เซนติเมตร จำนวน 2 ชิ้น ประกบกันโดยที่ติดตั้งแผ่นความร้อนระหว่างชิ้นตัวอย่างทั้งสองแห่ง ผลจากการศึกษาแสดงไว้ในตารางที่ 2 หินที่มีความเหมาะสมมากที่สุดได้แก่หินบะซอลต์เนื่องจากมีค่าความจุความร้อนจำเพาะสูงที่สุด ส่วนดินที่ใช้เป็นผนังบ่อกักเก็บพลังงานเป็นดินประเภท Clayey sand มีค่าการนำความร้อนอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวมีความเหมาะสมที่จะนำมาเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดี

4. การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์

การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์จะประกอบด้วย 1) การเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานในหินของบ่อกักเก็บขณะรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ 2) การถ่ายเทความร้อนจากบ่อกักเก็บพลังงานสู่บ้านจำลอง 3) การหา -

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบหาค่าคุณสมบัติทางด้านความร้อนของตัวอย่าง - หิน 12 ชนิดและดิน 1 ชนิด

No.	Materials	Thermal conductivity (W/m.K)	Specific Heat (MJ/m ³ .K)
1	Clayey Sand	1.19 ± 0.00	2.43 ± 0.01
2	Saraburi Marble	3.01 ± 0.00	2.91 ± 0.05
3	Burirum Basalt	1.70 ± 0.05	3.30 ± 0.71
4	Lopburi Limestone	2.93 ± 0.00	2.54 ± 0.01
5	Phu Kradung Sandstone	4.02 ± 0.01	1.80 ± 0.03
6	Phu Phan Sandstone	2.69 ± 0.01	2.00 ± 0.04
7	Phra Wihan Sandstone	3.75 ± 0.00	1.77 ± 0.02
8	Sao Khua Sandstone	2.06 ± 0.01	1.79 ± 0.02
9	Chinese Granite	3.16 ± 0.00	1.69 ± 0.01
10	Tak Granite	2.84 ± 0.00	2.21 ± 0.01
11	Vietnamese Granite	3.26 ± 0.00	2.04 ± 0.03
12	Middle Salt	5.80 ± 0.01	1.83 ± 0.01
13	Lower Salt	5.51 ± 0.01	2.54 ± 0.01

ประสิทธิภาพในการกักเก็บพลังงานของหินภายในบ่อในช่วงเวลากลางวัน และ 4) ประสิทธิภาพรวมของระบบ กิจกรรรมที่ได้ดำเนินการไปแล้วมีดังนี้

การคำนวณประสิทธิภาพในการกักเก็บพลังงานของหินในบ่อกักเก็บ ซึ่งกำหนดโดยปัจจัยทางด้านพลังงานที่ได้รับจากแสงอาทิตย์และการสูญเสียพลังงานจากการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนของหินในระบบ และอัตราส่วนระหว่างพลังงานสุทธิที่มีการกักเก็บไว้ในมวลหิน (พิจารณาการสูญเสียพลังงานในด้านต่าง ๆ) กับพลังงานสุทธิที่แสงอาทิตย์ส่องผ่านมายังผิวของหิน

พลังงานจากแสงอาทิตย์: จากกราฟแสดงพลังงานจากแสงอาทิตย์ในรูปที่ 3 สามารถคำนวณปริมาณพลังงานในช่วง 9.00 – 15.00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่มีการเปิดผ้าใบให้หินรับพลังงานมากที่สุดได้เท่ากับ 7.93 MJ/m²

พลังงานที่เก็บกักไว้ในมวลหินสุทธิ: สามารถคำนวณได้จาก การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของหินที่เป็นตัวกลางในการเก็บกักพลังงาน ดังสมการ

$$Q_{bed} = m C_p \Delta T \tag{1}$$

เมื่อ Q_{bed} คือพลังงานกักเก็บ (KJ), m คือ มวลของหินในระบบ (kg), C_p คือ ความจุความร้อนจำเพาะ (KJ/kg.K) และ ΔT คือ อุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงในระบบ (K) แบบจำลองใช้หินบะซอลต์ 600 กิโลกรัม มีความหนาแน่น 2,800 kg/m³ มีค่าความจุความร้อนจำเพาะ 3.3 MJ/m³.K และจากผลการตรวจวัดหินมีอุณหภูมิของหินมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงที่เปิดบ่อโดยเฉลี่ยเท่ากับ 5 K หรือคิดเป็นพลังงานที่สะสมได้เท่ากับ 3.45 MJ การกักเก็บพลังงานของหินในระบบกักเก็บมีประสิทธิภาพ 45 เปอร์เซ็นต์

5. แบบจำลองทางกายภาพ

แบบจำลองทางกายภาพประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ บ่อกักเก็บพลังงานและบ้านจำลอง ตัวอย่างหินบะซอลต์ที่ได้จากการคัดขนาด 4 ถึง 5 นิ้ว ประมาณ 400 ก้อน ได้นำมาจัดเรียงในบ่อกักเก็บความร้อนที่ขุดลงไปจากผิวดินมีปริมาตรประมาณ 3.25 ลูกบาศก์เมตร (1.75×1.75×0.75 เมตร) ส่วนบนของบ่อจะถูกปิดด้วยแผ่นพลาสติกใส เพื่อให้แสงอาทิตย์ส่องผ่านถึงหินถมได้และป้องกันการรั่วไหลของพลังงานความร้อนที่สะสมอยู่ ท่อนำความร้อนมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 2, 4 และ 8 นิ้วเชื่อมต่อระหว่างส่วนบนของบ่อกับบ้านจำลองที่สร้างด้วยไม้มีปริมาตร 3.5 ลูกบาศก์เมตร (1.5×1.5×1.5 เมตร) และมีการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบอัตโนมัติในหลายจุดได้แก่

- **อุณหภูมิของหินกลางบ่อ:** เป็นการวัดอุณหภูมิเฉลี่ยของหินในบ่อกักเก็บพลังงาน ซึ่งเป็นตัวชี้วัดระดับพลังงานที่หินสามารถเก็บสะสมได้ขณะรับพลังงานและปริมาณพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทออกไปสู่บ้านขณะเปิดต่ออากาศร้อน

- **อุณหภูมิของอากาศภายในบ่อกักเก็บ:** ตำแหน่งการตรวจวัดแขวนลอยอยู่ในอากาศระหว่างตะแกรงหินทั้ง 4 ตะแกรง ใช้ตรวจสอบการไหลเวียนของอากาศร้อน และการถ่ายเทความร้อนของหินสู่อากาศที่ล้อมรอบ

- **อุณหภูมิของอากาศปลายท่อร้อน:** ตำแหน่งการวัดจะอยู่บริเวณปลายท่อนำความร้อน ข้อมูลนี้เป็นตัวตรวจวัดว่าพลังงานความร้อนจากบ่อกักเก็บพลังงานมีการส่งผ่านมายังบ้านจำลองหรือไม่

- **อุณหภูมิของอากาศกลางบ้าน:** ตำแหน่งที่ตรวจวัดจะอยู่ที่ระดับกลางบ้าน ข้อมูลนี้จะเป็นตัวระบุว่าบ้านมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเพียงใด

- **อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมนอกบ้าน:** ตำแหน่งการวัดจะอยู่ที่ด้านหลังคาบ้านซึ่งมีการไหลเวียนของลม ใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในบ้านหลังจากเปิดท่ออากาศร้อน

6. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลเบื้องต้น

การตรวจวัดอุณหภูมิได้ทำทุก 30 นาทีตลอด 24 ชั่วโมงอย่างต่อเนื่องเริ่มตั้งแต่วันที่ 20 พ.ย. 2548 ถึงวันที่ 20 เม.ย. 2549 เป็นระยะเวลา 150 วัน ตลอดการดำเนินการได้มีการพัฒนาและปรับปรุงระบบหลายครั้ง เช่น เปลี่ยนท่อนำความร้อน การติดแผ่นโฟมที่ผนังบ้าน เปลี่ยนเวลาปิด-เปิดบ้านและบ่อกักเก็บพลังงาน และการติดตั้งพัดลมดูดอากาศ มีรายละเอียดดังนี้คือ

- ท่อนำความร้อนขนาด 2 นิ้ว

ระบบดังกล่าวนี้ไม่มีผ้าใบฉนวนปิดทับด้านบนของบ่อ (รูปที่ 6) ผลการตรวจวัดอุณหภูมิระบุว่ามีการถ่ายเทความร้อนไปสู่บ้านจำลองใน



รูปที่ 6 แบบจำลองทางกายภาพ ประกอบด้วยบ่อกักเก็บพลังงาน (ซ้าย) และบ้านจำลอง (ขวา) โดยมีท่ออากาศร้อนขนาด 2 นิ้วต่ออยู่

ปริมาณน้อยมาก อาจเป็นเพราะมีการถ่ายเทความร้อนผ่านแผ่นพลาสติกใสในปริมาณสูง ขนาดของท่อไม่เหมาะสม หรือเกิดการรั่วไหลของพลังงานความร้อนของบ้านจำลอง รูปที่ 7 แสดงตัวแทนผลการตรวจวัดอุณหภูมิในระบบที่สามารถวัดได้

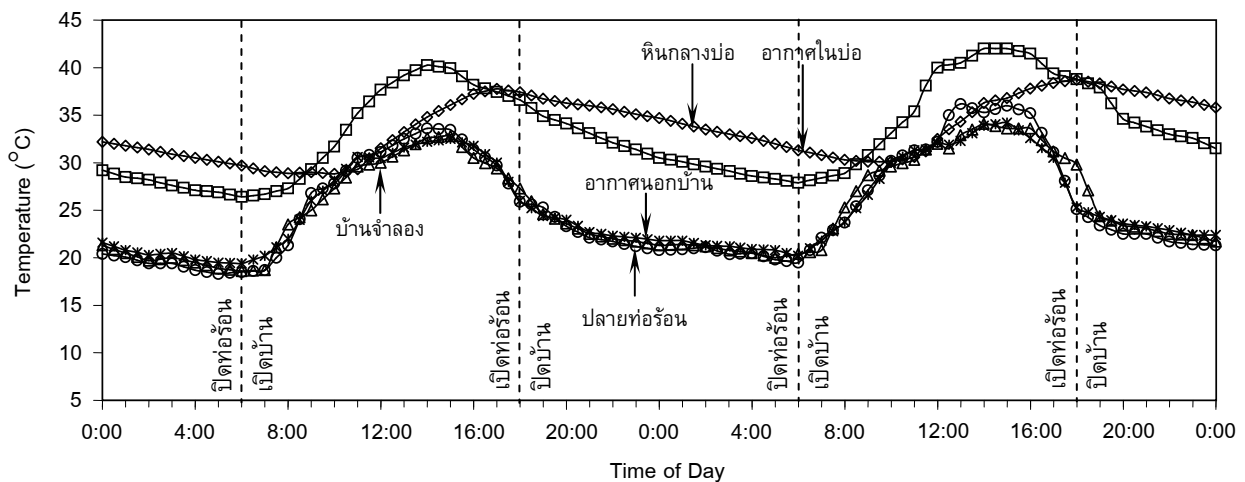
- ท่อนำความร้อนขนาด 4 นิ้ว

เมื่อเปลี่ยนท่อนำความร้อนเป็นขนาด 4 นิ้ว โดยติดตั้งทำมุมเอียงประมาณ 30 องศา (รูปที่ 8) พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทไปสู่บ้านจำลองยังมีปริมาณน้อย ซึ่งไม่แตกต่างจากที่ใช้ท่อขนาด 2 นิ้ว และเมื่อปิดบ่อด้วยแผ่นผ้าใบ พลังงานความร้อนมีการถ่ายเทจากบ่อไปสู่บ้านจำลองได้บ้าง มีผลทำให้อุณหภูมิในบ้านจำลองสูงกว่าสิ่งแวดล้อมเล็กน้อย (<1 องศาเซลเซียส)

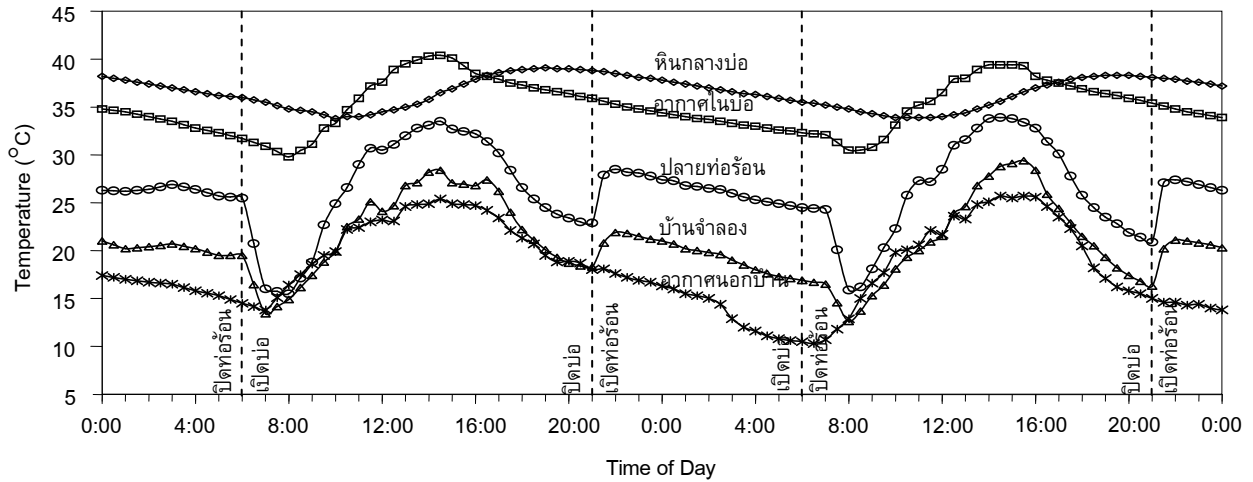
หลังจากทำการที่ติดแผ่นโฟมที่ผนังบ้านทั้ง 6 ด้านเพื่อลดการสูญเสียความร้อน ผลการตรวจวัดของอุณหภูมิระบุว่าพลังงานความร้อนมีการถ่ายเทไปสู่บ้านจำลองโดยทำให้อุณหภูมิในบ้านเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมมากกว่า 5 องศาเซลเซียส (รูปที่ 9)



รูปที่ 8 แบบจำลองทางกายภาพ ประกอบด้วยบ่อกักเก็บพลังงาน และบ้านจำลองย่อยส่วน โดยมีท่ออากาศร้อนขนาด 4 นิ้วต่ออยู่



รูปที่ 7 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอด 24 ชั่วโมงระหว่างวันที่ 27-28 พฤศจิกายน 2548 ซึ่งปิดท่ออากาศร้อนและเปิดบ้านจำลองเวลา 6.00 น. และเปิดท่อร้อนและปิดบ้านจำลองเวลา 18.00 น.



รูปที่ 9 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอด 24 ชั่วโมงระหว่างวันที่ 18 -19 ธันวาคม 2548 ซึ่งมีการเปิดบ่อเพื่อให้หินรับพลังงานแสงแดดในเวลา 6.00 น. ปิดบ่อในเวลา 15.00 น. และทำการเปิดท่อร้อนเวลา 21.00 น.

จากรูปที่ 9 จะเห็นว่าเวลาการปิด-เปิดบ่อกักเก็บพลังงาน และเวลาเปิดท่ออากาศร้อนนั้นยังมีความไม่เหมาะสม เพราะในช่วงเวลา ก่อน 9.00 น. และหลังจาก 15.00 น. ระดับพลังงานจากแสงอาทิตย์มีปริมาณน้อยทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากบ่อกักเก็บมากกว่าการพลังงานที่กักเก็บได้ ประกอบกับอุณหภูมิหลังจาก 6.00 น. ยังไม่สูงมากนัก จึงต้องทำการเปลี่ยนแปลงเวลาเปิดบ่อกักเก็บเป็นเวลา 9.00 น. และปิดในเวลา 15.00 น. โดยเปิดท่ออากาศร้อนเวลา 21.00 น.

- ท่อนำความร้อนขนาด 8 นิ้ว

การเปลี่ยนท่ออากาศร้อนเป็นขนาด 8 นิ้ว สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทพลังงานความร้อนสู่บ้านให้สูงกว่าที่ใช้ท่อขนาด 4 นิ้วได้เพียงเล็กน้อย และเมื่อมีการติดตั้งพัดลมขนาดเล็กเพื่อตรวจสอบการหมุนเวียนของอากาศ (พัดลม AC 12 V) โดยการดูดเอาอากาศเย็นในบ้านเข้าไปยังบ่อกักเก็บพลังงานเพื่อช่วยในการหมุนเวียนของอากาศ และดึงเอาพลังงานความร้อนมาสู่บ้าน พบว่าพัดลมสามารถทำให้อุณหภูมิสูงภายในบ้านขึ้นกว่าเดิมได้ แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้จะไม่นำเอาพลังงานอื่นนอกเหนือจากพลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาใช้ในระบบ การเพิ่มประสิทธิภาพด้วยพัดลมดูดอากาศจึงไม่ทำการศึกษาในขั้นต่อไป

7. สรุปผลการทดสอบ

ระบบที่มีประสิทธิภาพในงานวิจัยที่กำลังดำเนินการอยู่ในขณะนี้ คือ การใช้ท่อขนาดมากกว่า 4 นิ้ว โดยมีผ้าใบปิดทับด้านบนของบ่อกักเก็บพลังงาน ซึ่งสามารถทำให้อุณหภูมิภายในบ้านเพิ่มขึ้นมากกว่า 5 องศาเซลเซียส แต่เมื่อปล่อยให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากบ่อกักเก็บสู่บ้านจำลองจนถึงเวลา 9:00 น. อุณหภูมิในบ่อกักเก็บความร้อนยังคงสูงกว่าอุณหภูมิในบ้านจำลองอยู่มาก อาจเป็นผลมาจากการส่งผ่านความร้อนของระบบยังไม่มีประสิทธิภาพดีเท่าที่ควร ขั้นตอนต่อไปของการวิจัยคือการพยายามปรับรูปแบบและระบบการส่งความร้อนให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น กล่าวคือเพื่อให้อุณหภูมิในบ้านจำลองใกล้เคียงกับอุณหภูมิในบ่อกักเก็บในช่วงเวลาที่มีการเปิดท่อส่งความร้อน โดยจะมีการปรับเปลี่ยนการติดตั้งพัดลมให้ดูดเอาอากาศร้อนออกจากบ่อกักเก็บพลังงานสู่บ้านแทนการดูดอากาศจากบ้านไปสู่บ่อกักเก็บพลังงาน และจะมีการคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อจำลองพฤติกรรมการณ์การ

ถ่ายเทความร้อนในระบบเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดจากแบบจำลอง ท้ายสุดผลงานวิจัยที่ได้จากการทดสอบระบบของแบบจำลองย่อส่วนนี้จะสามารถนำมาปรับเปลี่ยนเพื่อประยุกต์ใช้กับโครงสร้างที่มีขนาดเท่าของจริงต่อไป

8. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีงบประมาณ 2547

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมอุตุนิยมวิทยา, 2546, "ฤดูหนาวของประเทศไทยประจำปี 2543-2544", เอกสารวิชาการเลขที่ 551.582-01-2546, สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา, กรุงเทพมหานคร.
- [2] ศูนย์อำนวยการบรรเทาสาธารณภัย, 2548, "สรุปสถานการณ์ภัยหนาวของประเทศไทยตั้งแต่ พ.ศ. 2543-2548", กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย, กระทรวงมหาดไทย.
- [3] กรมอุตุนิยมวิทยา, 2545, "ข้อมูลสถิติภูมิอากาศ ปี พ.ศ. 2543 – 2547", งานบริการข้อมูล กลุ่มภูมิอากาศ, สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา, กรุงเทพมหานคร.
- [4] Exell, R. H. B. and Kumar, R., 1981, "Solar radiation tables for architects in Thailand" AIT research report no. 128, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 40 pp.
- [5] Garg, H. P., Mullick, S. C., and Bhargava, A. K., 1985, "Solar Thermal Energy Storage", D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland, 642 pp.
- [6] Coutier, J. P. and Farber, E. A., 1982, "Two applications of a numerical approach of heat transfer process within rock beds", Solar Energy, Vol. 29, No. 6, pp. 451-462.
- [7] Meier, A., Winkler, C., and Wuillemin, S., 1991, "Experiment for modeling high temperature rock bed storage", Solar Energy, Vol. 24, pp. 255-264.

- [8] Choudhury, C., Chauhan, P. M., and Garg, H. P., 1995, "Economic design of a rock bed storage device for storing solar thermal energy", *Solar Energy*, Vol. 55, No. 1, pp. 29-37.
- [9] Kurklu, A., Bilgin, S., and Ozkan, B., 2003, "A study on the solar energy storing rock-bed to heat a polyethylene tunnel type greenhouse", *Renewable Energy*, Vol. 28, pp. 683-697.
- [10] กรมพัฒนาที่ดิน, 2548, "แผนที่ดินจังหวัดนครราชสีมา มาตราส่วน 1:50,000", กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพมหานคร.
- [11] ASTM C136-06, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. In *Annual Book of ASTM Standards*, 04.08, American Society for Testing and Materials, Philadelphia.