การพัฒนาระบบสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อก

ธรรมมา เจียรธราวานิช*
อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0-2287-6938 อีเมล: Thamma.J@rmutk.ac.th
รับเมื่อ 14 กันยายน 2556 ตอบรับเมื่อ 24 กรกฎาคม 2557
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2014.07.001 © 2015 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

การพัฒนาระบบสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อกครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาสัดส่วนของปูนซีเมนต์ในการสร้างสมบัติการสะสมความร้อนของแผ่นคอนกรีตบล็อก โดยอาศัยการสะสมพลังงานความร้อนเพื่อสร้างสภาพการเปลี่ยนเฟสของวัสดุเปลี่ยนเฟส ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้พาราฟินเป็นวัสดุสะสมความร้อน โดยผลการศึกษาแผ่นคอนกรีตบล็อกสะสมความร้อน พบว่าแผ่นคอนกรีตบล็อกสะสมความร้อนที่มีพาราฟินอยู่ร้อยละ 40 และร้อยละ 60 นั้นผ่านมาตรฐานมอก.378-2531 และที่พาราฟินร้อยละ 40 ได้ค่าเฉลี่ยแรงดัดตามขวางที่ 28 วันมากที่สุด คือ 7.83 เมกะพาสคัล ส่วนการทดสอบค่าความร้อนเมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างพบว่าตัวอย่างแบบพาราฟินร้อยละ 40 สะสมความร้อนได้จากอุณหภูมิปกติ 7.18 องศาเซลเซียส พบว่าตัวอย่างแบบพาราฟินร้อยละ 60 เก็บอุณหภูมิได้ต่ำกว่าเนื่องจากพาราฟินเยิ้มออกจากแผ่นตัวอย่างจึงทำให้สะสมความร้อนได้น้อยลง และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 ให้ค่าการนำความร้อนต่ำที่สุด เท่ากับ 0.385 ดังนั้นจึงเลือกนำผลของพาราฟินร้อยละ 40 ไปหล่อเป็นแผ่นคอนกรีตบล็อกและทั้งนี้เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการสะสมความร้อนให้มากขึ้น จึงให้ผิวหน้าของแผ่นคอนกรีตผสมเกลือและชั้นล่างผสมผงไฟเบอร์กลาส โดยทดลองแปรผลสัดส่วนของเกลือและผงไฟเบอร์เป็น 6 สูตรดังนี้ อัตราส่วน 5:5, 10:5, 15:5, 5:10, 10:10 และ 15:10 ตามลำดับ พบว่าคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตรที่ 4 สะสมความร้อนได้จากอุณหภูมิปกติมากที่สุดคือ 9.82 องศาเซลเซียส และนำความร้อนต่ำที่สุดเท่ากับ 0.213 ดังนั้น สรุปว่าการสะสมความร้อนที่สูงย่อมส่งผลดีกว่าจึงเลือกใช้สูตรที่ 4 (5:10) โดยมีเกลือผสมที่ผิวหน้าร้อยละ 5 ผงไฟเบอร์ผสมด้านล่างร้อยละ 10 และมีพาราฟินอยู่ตรงกลางร้อยละ 40 และเมื่อสร้างเป็นโรงอบแห้งพบว่า โรงอบแห้งมีอุณหภูมิและความชื้นสอดคล้องกับหลักการการอบแห้งเป็นอย่างดีและจุดของการเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำของอากาศชื้นนั้นคงที่

คำสำคัญ: สะสมความร้อน คอนกรีตบล็อก อาคารเก็บพืชผลทางการเกษตร

การอ้างอิงบทความ: ธรรมมา เจียรธราวานิช, "การพัฒนาระบบสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อก," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 25, ฉบับที่ 1, หน้า 1-10, ม.ค. - เม.ย. 2558. http://dx.doi.org/10.14416/j.kmutnb.2014.07.001

Development of Heat Storage System of Concrete Block

Thamma Jairtalawanich*
Lecturer, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0-2287-9638, E-mail: Thamma.J@rmutk.ac.th
Received 14 September 2013; Accepted 24 July 2014
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2014.07.001 © 2015 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

The main objective of the study on the development of heat storage system of concrete block was to investigate the mix proportion of cement which influences heat storage properties of concrete block based on phase transformation of phase change materials. Paraffin was used as heat storage material. The findings of the study indicated that the concrete blocks containing 40% and 60% of paraffin met the standard of TIS 378-2531. The concrete block containing 40% of paraffin had maximum flexural strength in 28 days at 7.83 MPa. The heat test of concrete block samples indicated that the concrete block containing 40% of paraffin could store heat at 7.18°C from normal temperature. The concrete block containing 60% of paraffin could store heat at lower temperature. Furthermore, the results revealed that the concrete block containing 60% of paraffin could store lower temperature due to paraffin leakage from concrete block, causing less heat storage. Additionally, the concrete block containing 40% of paraffin had minimum heat conduction value at 0.385. Therefore, 40% of paraffin was the appropriate proportion for casting concrete blocks. Moreover, to increase the effectiveness of heat storage, calcium chloride mix concrete block and fiberglass mix concrete block were applied. Six formulas with different ratios of calcium chloride to fiberglass were as follows: 5:5, 10:5, 15:5, 5:10, 10:10 and 15:10 respectively. It was found that paraffin mix concrete block with calcium chloride and fiberglass (formula 4) could store maximum heat at 9.82°C at normal temperature with the minimum heat conduction value at 0.213. It could be concluded that higher heat storage could yield better results. Therefore, the formula 4 (5:10) with 5% of calcium chloride on the surface, 10% of fiberglass at the bottom and 40% of paraffin in the middle could create the best concrete block. It can be seen from the drying chamber built from these concrete blocks that the temperature and moisture value were congruent to the principles of drying with constant condensation point.

Keywords: Heat Storage System, Concrete Block, Silo

Please cite this article as: T. Jairtalawanich, "Development of Heat Storage System of Concrete Block," *J. KMUTNB*, Vol. 25, No. 1, pp. 1-10, Jan. - Apr. 2015 (in Thai). http://dx.doi.org/10.14416/j.kmutnb.2014.07.001

1. บทนำ

เนื่องจากประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้น การเก็บเกี่ยวพืชผลทางการเกษตรหลักๆ ที่สำคัญ เช่น ข้าว ข้าวโพด และพริก ซึ่งเป็นพืชไร่ต้องเก็บไว้ในที่แห้งความชื้นต่ำ โดยเงื่อนไขดังกล่าวเป็นการช่วยยืดอายุในการเก็บรักษา เกษตรกรจึงต้องอาศัยวิธีการตากแห้งด้วยแสงแดด ซึ่งเป็นวิธีการทำให้แห้งที่ง่ายที่สุด และโดยทั่วไปแล้ว แสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านมายังประเทศไทยมีปริมาณความเข้มของแสงโดยเฉลี่ย 17.4 MJ/m^2-day [1] ซึ่งถือว่าเพียงพอต่อการทำให้พืชผลทางการเกษตรเหล่านั้นแห้งได้ดี แต่ถ้าอยู่ในช่วงฤดูฝนเทคนิคแบบพื้นบ้านนี้ก็ไม่ได้ช่วยให้เกิดประโยชน์มากนัก

ดังนั้น การสร้างโรงเก็บจะช่วยให้พืชผลมีความชื้นลดลง เป็นทางเลือกที่ช่วยสร้างมูลค่าให้กับผลิตผลทางการเกษตรเหล่านั้น แต่ในโรงเก็บแบบเดิมที่เกษตรกรสร้างขึ้นเอง พบว่าไม่สามารถช่วยสร้างประสิทธิภาพ เนื่องจากการออกแบบไม่ได้ถูกสร้างให้มีระบบระบายอากาศและการสร้างความร้อนที่ช่วยลดความชื้นได้ ดังนั้น คอนกรีตบล็อกเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ก่อสร้างที่สามารถสร้างให้มีกลไกการดูดความชื้นและสะสมความร้อนได้

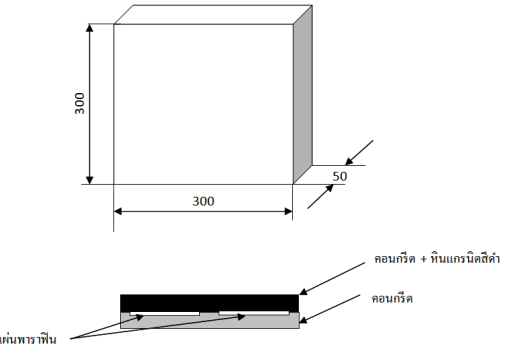
โดยจากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากเรื่องการศึกษาสมรรถนะทางความร้อนที่มีผลกระทบของสีทาภายนอกระหว่างสีฟ้าอ่อนกับสีครีมต่อบ้านจำลองภายใต้สภาวะอากาศแบบร้อนชื้นของกรุงเทพมหานคร พบว่างานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะทางความร้อนที่มีผลกระทบของสีทาภายนอกระหว่างสีฟ้าอ่อนกับสีครีมต่อบ้านจำลองภายใต้สภาวะอากาศแบบร้อนชื้นของกรุงเทพมหานคร โดยทำการศึกษาทดลองบ้านจำลองทั้งสองหลังที่ทาสีภายนอก ด้วยสีฟ้าอ่อนและสีครีม มีลักษณะโครงสร้างของบ้านจำลองทั้งสองหลังที่สร้างด้วยผนังคอนกรีตมวลเบา แบบบอบไอน้ำฉาบปูน ผนังภายนอกทั้ง 4 ด้าน มีขนาดพื้นที่ของผนังในแต่ละด้านเท่ากับ 1.5 เมตร × 1.8 เมตร ความหนา 0.10 เมตร สำหรับโครงสร้างหลังคาใช้กระเบื้อง CPAC สีแดง และบุด้วยอะลูมิเนียมฟอยด์สะท้อนความร้อน ฝ้าเพดานแผ่นยิปซั่มมีความหนา 0.01 เมตร ซึ่งเป็นฉนวนอย่างดีเพื่อป้องกันความร้อนจากห้องใต้หลังคาเข้าสู่ภายในบ้านจำลอง หลังคาทำมุมเอียง 30 องศาจากแนวนอน มีประตูขนาด 1.5 เมตร × 0.75 เมตร หนา 0.035 เมตร หน้าต่างเป็นกระจกใสขนาด 0.5 เมตร × 0.8 เมตร หนา 0.006 เมตร ในขณะทำการทดลองจะปิดประตูหน้าต่างทุกบาน ทดสอบที่สภาวะภูมิอากาศปกติ จากการศึกษาและทดลอง พบว่าอุณหภูมิอากาศ ความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในบ้านที่ทาด้วยสีฟ้าอ่อน จะมีค่าต่ำกว่าบ้านที่ทาด้วยสีครีม และการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังด้านทิศใต้ต่ำกว่าบ้านที่ทาด้วยสีครีม ดังนั้น สีฟ้าอ่อนจะสามารถลดภาระความร้อนภายในบ้านช่วยประหยัดพลังงานได้มากกว่าสีครีม [2]

ส่วนเรื่องการพัฒนาคอนกรีตบล็อกพรุนสำหรับอาคารประหยัดพลังงาน พบว่างานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาคอนกรีตบล็อกที่มีคุณสมบัติในการอนุรักษ์พลังงาน โดยนำคอนกรีตเบาชนิดไร้ทราย มาผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกพรุน ซึ่งมีน้ำหนักน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป มีค่าการนำความร้อนต่ำ เพื่อช่วยลดความร้อนจากภายนอกที่เข้าสู่ตัวอาคาร และมีราคาใกล้เคียงกับคอนกรีตบล็อกทั่วไป เพื่อให้ประชาชนผู้มีรายได้น้อยสามารถนำไปสร้างบ้านราคาประหยัด การวิจัยนี้เป็นการศึกษาส่วนผสมที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ระหว่าง 0.25 - 0.45 และอัตราส่วนวัสดุผสมต่อปูนซีเมนต์ระหว่าง 6.0 - 12.0 มวลรวมที่ใช้เป็นหินปูนที่มีขนาดเดี่ยว โดยมีขนาด 3/8 นิ้ว (10 มิลลิเมตร) จากผลการวิจัยพบว่าเมื่อพิจารณาจากคุณสมบัติด้านกำลังอัด หน่วยน้ำหนัก และราคาของคอนกรีตบล็อกพรุน ส่วนผสมที่เหมาะสำหรับนำมาผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกพรุนได้แก่ส่วนผสมที่มีอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : มวลรวม เท่ากับ 1 : 9.33 โดยน้ำหนัก (1 : 11 โดยปริมาตร) และมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.367 คอนกรีตบล็อกพรุนที่ได้มีกำลังอัดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 52.22 กก./ตร.ซม. และมีหน่วยน้ำหนัก 1,629 กก./ลบ.ม. ซึ่งมีน้ำหนักและค่าการนำความร้อนน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไปประมาณร้อยละ 20 และ

ร้อยละ 45 ตามลำดับ ต้นทุนการผลิตประมาณ 2.12 บาทต่อก้อน (ไม่รวมค่าแรง) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับคอนกรีตบล็อกทั่วไป ดังนั้นจากคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วจึงสามารถสรุปได้ว่า คอนกรีตบล็อกพรุนที่ได้จากงานวิจัยนี้เป็นคอนกรีตบล็อกที่มีคุณสมบัติในการอนุรักษ์พลังงานทั้งสามารถลดน้ำหนักของโครงสร้าง และช่วยลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร เมื่อเทียบกับคอนกรีตบล็อกทั่วไป [3]

ส่วนเรื่องการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งแบบต่าง ๆ ในการอบแห้งเม็ดพลาสติก พบว่างานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของเครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนต่อการใช้พลังงานและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งเม็ดพอลิคาร์บอเนต โดยเปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งแบบถัง โดยอบแห้งเม็ดพอลิคาร์บอเนตด้วยเครื่องอบแห้งแบบถังที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อนำค่าความชื้นที่ได้ไปตั้งเป็นค่าความชื้นที่ต้องการ จากนั้นอบแห้งเม็ดพอลิคาร์บอเนตด้วยเครื่องอบแห้งทั้งสองแบบที่อุณหภูมิ 80, 100 และ 120 องศาเซลเซียส จนได้ค่าความชื้นที่ต้องการ จากการทดลองพบว่า ความชื้นที่ต้องการมีค่าอยู่ที่ 0.120% w.b. และเครื่องอบแห้งแบบถังทรงกระบอกหมุนสามารถอบแห้งเม็ดพอลิคาร์บอเนตให้เหลือความชื้นที่ต้องการได้เร็วกว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถัง ส่งผลให้มีค่าการใช้พลังงานและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ต่ำกว่า นอกจากนี้สีและรูปร่างของเม็ดพลาสติก PC ที่ได้รับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งทั้งสองชนิดที่สภาวะต่าง ๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือเกิดการเสื่อมสภาพ [4]

โดยการวิจัยนี้จะศึกษาประสิทธิภาพการสะสมความร้อนของแผ่นคอนกรีตบล็อก และศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซึมน้ำของแผ่นคอนกรีตบล็อก โดยมีขอบเขตการศึกษาคือ คอนกรีต ผสมด้วยสูตรงานคอนกรีตโครงสร้าง ได้แก่ ปูนซีเมนต์งานโครงสร้าง ทรายละเอียด และหินเกล็ด ถูกผสมกันและทำเป็นลักษณะแซนวิช คือ ลักษณะของผนังด้านนอกที่สัมผัสแสงแดดเป็นผิวคอนกรีตที่ผสมด้วยเส้นใยไฟเบอร์กลาส โครงสร้างบริเวณ



รูปที่ 1 ลักษณะของแผ่นคอนกรีตบล็อก

ตรงกลางแผ่นผสมด้วยสูตรคอนกรีตงานโครงสร้างสอดไส้พาราฟินแผ่น และผนังผิวด้านตรงข้ามเป็นคอนกรีตที่ผสมเกลือแกง แผ่นคอนกรีตบล็อกสร้างขึ้นมีขนาด 30 × 30 ตารางเซนติเมตร และหนา 5 เซนติเมตร ศึกษาการถ่ายเทความร้อนผ่านคอนกรีตบล็อกเข้าสู่บรรยากาศภายในห้องทดสอบ ศึกษาการสะสมความร้อนของแผ่นบล็อกคอนกรีตในตู้อบทดสอบ โดยทดสอบที่อุณหภูมิทดสอบ 40 องศาเซลเซียส และศึกษาประสิทธิภาพของการดูดความชื้น โดยทดสอบวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์

2. วิธีการทดลอง [5]

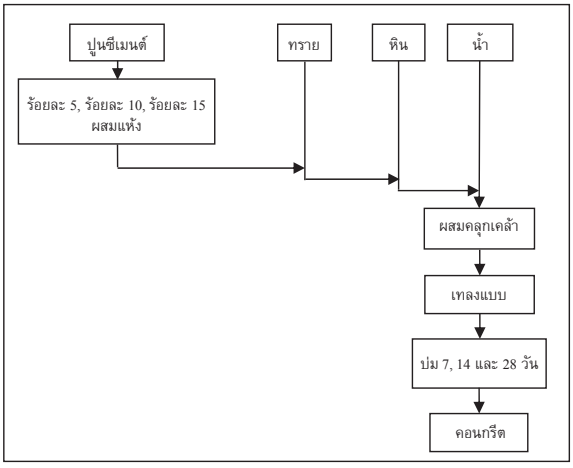
2.1 ขนาดทั่วไปของคอนกรีตที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดสอบวัดหาค่าความชื้นและการขึ้นรูปเป็นแผ่นบล็อกคอนกรีตนั้น กำหนดขนาดของคอนกรีตให้มีขนาดมาตรฐานความหนา 50 มิลลิเมตร ความกว้าง 300 มิลลิเมตร และความยาว 300 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 1

2.2 การเรียงตัวของชิ้นงาน

2.2.1 คอนกรีต คอนกรีตที่ใช้เป็นคอนกรีตที่ผสมตามอัตราส่วน 1 : 2 : 4 วางอยู่ด้านนอกสุด โดยใช้มวลรวมเป็นหินแกรนิตสีดำ

2.2.2 วัสดุสะสมความร้อน การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือการทดสอบคอนกรีตบล็อกเบื้องต้น และการทดสอบคอนกรีตบล็อกเมื่อผสมเกลือและผงไฟเบอร์ สามารถอธิบายได้ดังนี้



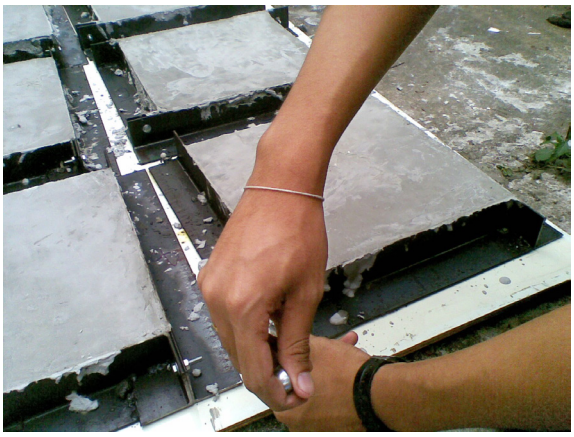
รูปที่ 2 แผนผังแสดงการผสมคอนกรีต

2.2.2.1 การทดสอบคอนกรีตบล็อกเบื้องต้น ทดสอบแผ่นคอนกรีตบล็อก 2 แบบคือสูตรผสมพาราฟินร้อยละ 40 และสูตรผสมพาราฟินร้อยละ 60 ดังนี้

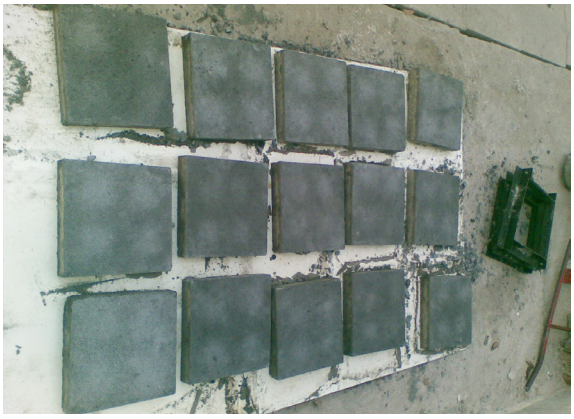
- แบบที่ 1 แบ่งออก 3 ชั้น ในชั้นที่ 1 คอนกรีตหนา 30 มิลลิเมตร ชั้นที่ 2 พาราฟินร้อยละ 40 ของหน้าตัด และชั้นที่ 3 ซีเมนต์แกรนิตหนา 15 มิลลิเมตร
- แบบที่ 2 แบ่งออก 3 ชั้น ในชั้นที่ 1 คอนกรีตหนา 30 มิลลิเมตร ชั้นที่ 2 พาราฟินร้อยละ 60 ของหน้าตัด และชั้นที่ 3 ซีเมนต์แกรนิตหนา 15 มิลลิเมตร

โดยตัดสินใจเลือกสูตรที่ให้ผลดีกว่าจากผลการทดสอบสมบัติของคอนกรีต หลังจากนั้นจึงนำสูตรที่เลือกไปทดลองผสมส่วนของเกลือและผงไฟเบอร์ เพื่อศึกษาการเพิ่มของการดูดความชื้นและการถ่ายเทความร้อนต่อไป

2.2.2.2 การทดสอบคอนกรีตบล็อกเมื่อผสมเกลือและผงไฟเบอร์ ทั้งนี้ในส่วนของผิวหน้าคอนกรีตผสมกับหินแกรนิตสีดำนั้น โดยสัดส่วนได้ทดลองผสมส่วนของเกลือเพื่อศึกษาการดูดความชื้นที่เกิดขึ้น และด้านล่างของแผ่นได้ผสมส่วนของผงไฟเบอร์ เพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนลงสู่พื้นล่างของแผ่นคอนกรีต โดยคอนกรีตชนิดต่าง ๆ ที่ได้ทำการทดลอง ได้แก่ คอนกรีตผสมไฟเบอร์กลาสร้อยละ 5 ร้อยละ 10 และร้อยละ 15 ของปูนซีเมนต์ และคอนกรีตผสมเกลือ ร้อยละ 5 ร้อยละ 10 และร้อยละ 15 ของปูนซีเมนต์



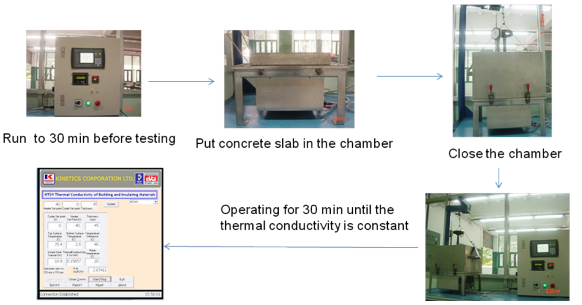
รูปที่ 3 ลักษณะวางแผ่นพาราฟิน



รูปที่ 4 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

2.3 ขั้นตอนการผสม

ขั้นตอนการผสมคอนกรีต [6] ได้เขียนแผนผังการผสมดังแสดงในรูปที่ 2-4 ทั้งนี้ในขั้นตอนการผสมได้ผสมและเทลงในแบบเหล็ก โดยวางแผ่นพาราฟินสำเร็จรูปลงบนคอนกรีตเหลวที่ยังไม่เซ็ทตัว จากนั้นจึงเททับด้วยผิวหน้าหินแกรนิตผสมเกลือลงไป จากนั้นในขั้นตอนการบ่มนั้นได้ทำการบ่มในน้ำเพื่อนำค่าที่ได้ไปทดสอบความแข็งแรง ทั้งนี้ยังต้องทำการทดสอบต่าง ๆ เพื่อหาคุณลักษณะเฉพาะของคอนกรีต



รูปที่ 5 แผนการทดลองวัดค่าความร้อน

2.4 การทดสอบการนำความร้อนของคอนกรีต

การทดสอบการนำความร้อนของคอนกรีต [7] เป็นการศึกษาสมบัติทางความร้อนของชั้นคอนกรีตที่ผสมด้วยวัสดุต่าง ๆ ในการศึกษาสมบัติทางความร้อนได้ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM 177 C ดังรูปที่ 5

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อกเบื้องต้น

การทดสอบแผ่นคอนกรีตบล็อกในเบื้องต้นแบ่งเป็น 2 แบบคือ 1) สูตรผสมพาราฟินร้อยละ 40 และ 2) สูตรผสมพาราฟินร้อยละ 60 โดยคอนกรีตบล็อกแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ประกอบด้วยชั้นที่ 1 คอนกรีตหนา 30 มิลลิเมตร ชั้นที่ 2 พาราฟิน หนา 5 มิลลิเมตร และชั้นที่ 3 ซีเมนต์แกรนิตหนา 15 มิลลิเมตร และทำการทดสอบสมบัติของคอนกรีตบล็อกทั้ง 2 แบบ เปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน โดยมีรายละเอียดการทดสอบ 5 รายการดังนี้

1) การทดสอบมิติ การเปรียบเทียบมิติแผ่นคอนกรีตบล็อกปูพื้นกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรม มอก. 378-2531 ซึ่งต้องมีเกณฑ์การคลาดเคลื่อนไม่เกิน 3 มิลลิเมตรจากค่าคอนกรีตมาตรฐาน คือความหนา 50 มิลลิเมตร ความกว้าง 300 มิลลิเมตร และความยาว 300 มิลลิเมตร จากผลการทดสอบด้านมิติสรุปได้ว่า มิติด้านความหนา ความกว้าง และความยาวของทั้งคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 ให้ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงมาตรฐานและผลไม่แตกต่างกัน

2) การทดสอบค่าความแข็งแรง (การทดสอบแรงอัดหรือกำลังอัดของคอนกรีต) วัดได้จากค่าความต้านแรงดัดตามขวาง โดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 378-2531 กำหนดให้การรับแรงดัดตามขวางของคอนกรีตปูพื้นต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะพาสคัล และค่าเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 3 เมกะพาสคัล จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าทั้งคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 ให้ค่าความต้านแรงดัดตามขวางอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และค่าเฉลี่ยความต้านแรงดัดตามขวางของคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 ให้ค่าสูงกว่าคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 และคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน และจำนวนวันที่ทำการบ่มคอนกรีตมีผลต่อค่าความต้านแรงดัดตามขวาง โดยหากระยะเวลาการบ่มมาก จะให้ค่าความต้านแรงดัดตามขวางมากขึ้นด้วยเช่นกัน และระยะเวลาการบ่มคอนกรีตบล็อกที่ให้ค่าแรงดัดตามขวางมากที่สุดคือ 28 วัน ซึ่งคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน มีค่าเฉลี่ย 7.24 เมกะพาสคัล คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 ของหน้าตัดมีค่าเฉลี่ย 7.83 เมกะพาสคัล และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 ของหน้าตัดมีค่าเฉลี่ย 7.74 เมกะพาสคัล

3) การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.378-2531 ต้องไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ซึ่งผลจากการทดสอบสรุปว่าค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกทุกประเภทอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และให้ค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งถือว่าคอนกรีตบล็อกอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ทั้ง 3 ประเภท โดยคอนกรีตบล็อกมาตรฐานดูดซึมน้ำน้อยที่สุด เท่ากับร้อยละ 1.11 คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 เท่ากับร้อยละ 1.28 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 ดูดซึมน้ำมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 1.38

4) การทดสอบการสะสมความร้อน ทำได้โดยการเปรียบเทียบการวัดค่าอุณหภูมิของคอนกรีตกลางแสงแดดแต่ละช่วงเวลาในอากาศปกติกับการสร้างห้องจำลองขนาด 390×390×190 มิลลิเมตรเพื่อใช้ทดสอบและหาความแตกต่าง

เพื่อบ่งบอกถึงการสะสมความร้อนของคอนกรีตบล็อกที่เกิดขึ้น ผลจากการทดสอบสรุปได้ว่าค่าอุณหภูมิปกติภายนอกและอุณหภูมิในห้องทดลองของคอนกรีตบล็อกมีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และอุณหภูมิในห้องทดลองจะสูงกว่าอุณหภูมิปกติ โดยวัสดุคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 จะให้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงที่สุด สำหรับประเภทคอนกรีตบล็อกนั้น มีผลต่อการสะสมความร้อนที่แตกต่างกัน โดยคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 ให้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่สะสมได้มากที่สุด และลดลงตามช่วงเวลาอย่างช้าๆ รองลงมาคือคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 และคอนกรีตบล็อกมาตรฐานเก็บอุณหภูมิได้ 7.18 6.28 และ 2.38 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าพาราฟินที่ใส่เข้าไปในแผ่นคอนกรีตบล็อกส่งผลต่อการสะสมความร้อนได้ดีขึ้น

5) การทดสอบการนำความร้อน จะบ่งบอกถึงอัตราเร็วของการส่งผ่านพลังงานความร้อน วัสดุที่มีค่าการนำความร้อนต่ำเรียกว่าฉนวน จะใช้เพื่อต้องการเก็บรักษาอุณหภูมิไว้ในวัสดุนั้นๆ เช่น คอนกรีตบล็อกที่ต้องการสะสมความร้อนนี้ จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าเมื่อใส่พาราฟินในแผ่นคอนกรีตบล็อก จะทำให้ความสามารถในการนำความร้อนน้อยลงมาก ซึ่งการนำความร้อนนี้เป็นผลทำให้เกิดการแผ่ความร้อนลงสู่พื้นล่างและทุกทิศทางของแผ่นคอนกรีตบล็อก ซึ่งแสดงว่ามีความสามารถในการเก็บสะสมความร้อนได้ดีขึ้น สรุปได้ว่าคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 ให้ค่าการนำความร้อนต่ำที่สุด เท่ากับ 0.385 ย่อมหมายความว่ามีความสามารถในการเก็บสะสมความร้อนได้ดีที่สุด

สรุปผลการทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อกทั้ง 3 ประเภท คือคอนกรีตบล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 ด้วยการทดสอบ 5 รายการ ได้แก่ การทดสอบมิติ ความแข็งแรง การดูดซึมน้ำ การสะสมความร้อน และการนำความร้อนร้อน ได้ผลสรุปดังตารางที่ 1

สรุปผลการทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อกดังตารางที่ 1 นั้น สรุปได้ว่ารายการทดสอบที่ต้องเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 378-2531 มี 3 รายการ คือ ด้านมิติ ความแข็งแรง และการดูดซึมน้ำ ซึ่งคอนกรีตทั้ง 3 ประเภท คือ คอนกรีตบล็อกมาตรฐาน คอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 60 ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 มีความแข็งแรงมากที่สุดที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน แต่คอนกรีตบล็อกมาตรฐานมีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด ดังนั้นเมื่อพิจารณาการทดสอบด้านการสะสมความร้อนและการนำความร้อน พบว่าคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินให้ค่าที่ดี แสดงว่าพาราฟินมีกลไกสำคัญที่ช่วยเก็บสะสมพลังงานความร้อนอยู่ในรูปของพลังงานความร้อนแฝงจนทำให้พาราฟินเปลี่ยนสถานะได้ แต่พาราฟินที่ร้อยละ 60 จะละลายเมื่อได้รับความร้อนและซึมออกมาที่ผิวของคอนกรีต ทำให้สูญเสียการสะสมความร้อนได้มากกว่าพาราฟินที่ร้อยละ 40 ดังนั้นคอนกรีตผสมพาราฟินร้อยละ 40 ให้ผลดีที่สุดทั้ง 2 รายการทดสอบ งานวิจัยนี้จึงตัดสินใจเลือกใช้พาราฟินร้อยละ 40 เป็นตัวอย่างในการใส่ในแผ่นคอนกรีตบล็อกเพื่อการพัฒนาคุณสมบัติในลำดับต่อไป

ตารางที่ 1 สรุปผลการทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อกประเภทต่างๆ

ลำดับ	รายการทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อก	เกณฑ์มาตรฐาน	ประเภทคอนกรีตบล็อก			การตัดสินใจ
			มาตรฐาน	พาราฟิน 40	พาราฟิน 60	
1	มิติ	50*300*300 (± 3 มม.^{3})	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	-
2	ความแข็งแรง (28 วัน)	≥ 3 เมกะพาสคัล	7.24 (ผ่าน)	7.83 (ผ่าน)	7.74 (ผ่าน)	พาราฟินร้อยละ 40
3	การดูดซึมน้ำ	≤ ร้อยละ 10	11.1 (ผ่าน)	1.38 (ผ่าน)	1.28 (ผ่าน)	คอนกรีตมาตรฐาน
4	การสะสมความร้อน	-	2.38	7.18	6.28	พาราฟินร้อยละ 40
5	การนำความร้อน	-	1.852	0.385	0.390	พาราฟินร้อยละ 40

หมายเหตุ: การทดสอบลำดับที่ 1, 2 และ 3 ต้องผ่านเกณฑ์มาตรฐาน มอก.

3.2 ผลการทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาส

จากผลการศึกษาในเบื้องต้นที่ได้ว่าคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 ให้การสะสมความร้อนที่ดีที่สุด แต่ค่าการดูดซึมน้ำยังให้ผลไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้นจึงจะทำการศึกษาพัฒนาคอนกรีตบล็อกให้มีความสามารถในการสะสมความร้อนและการดูดซึมน้ำที่ดียิ่งขึ้น โดยเลือกวัสดุที่มีความสามารถในการดูดความชื้น และป้องกันการถ่ายเทความร้อนมาใช้ผสมในคอนกรีตบล็อกเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ดีขึ้น จึงทดลองผสมเกลือในส่วนผิวหน้าคอนกรีตบล็อก เพื่อศึกษาการดูดความชื้นที่เกิดขึ้น และผสมผงไฟเบอร์กลาสที่ด้านล่างของแผ่นคอนกรีตบล็อกเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนลงสู่พื้นล่างของแผ่นคอนกรีตบล็อก จึงเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบโดยผสมไฟเบอร์กลาสในชั้นที่ 1 ในสัดส่วนร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักคอนกรีต และผสมเกลือแกงในชั้นที่ 3 ในสัดส่วนร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนักคอนกรีต โดยยังคงมีพาราฟินร้อยละ 40 ในชั้นที่ 2 ของคอนกรีตตามผลการทดลองในเบื้องต้น จึงได้สูตรการทดลอง 6 สูตรดังนี้ สูตรที่ 1 (พาราฟิน : เกลือ : ไฟเบอร์กลาส 40 : 5 : 5) สูตรที่ 2 (พาราฟิน : เกลือ : ไฟเบอร์กลาส 40 : 10 : 5) สูตรที่ 3 (พาราฟิน : เกลือ : ไฟเบอร์กลาส 40 : 15 : 5) สูตรที่ 4 (พาราฟิน : เกลือ : ไฟเบอร์กลาส 40 : 5 : 10) สูตรที่ 5 (พาราฟิน : เกลือ : ไฟเบอร์กลาส 40:10:10)และสูตรที่ 6 (พาราฟิน : เกลือ : ไฟเบอร์กลาส 40 : 15 : 10) ซึ่งสามารถสรุปผลการทดสอบสมบัติของคอนกรีตบล็อกทั้ง 6 สูตร เปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกพาราฟินร้อยละ 40 ที่ได้เลือกจากการทดสอบในเบื้องต้น โดยมีรายละเอียดการทดสอบดังนี้

1) การทดสอบมิติ ซึ่งต้องมีเกณฑ์การคลาดเคลื่อนไม่เกิน 3 มิลลิเมตรจากค่าคอนกรีตมาตรฐาน คือความหนา 50 มิลลิเมตร ความกว้าง 300 มิลลิเมตร และความยาว 300 มิลลิเมตร จากผลการทดสอบด้านมิติสรุปได้ว่า มิติด้านความหนา ความกว้าง และความยาวของทั้งคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาส ให้ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงมาตรฐานทั้งหมด

2) การทดสอบค่าความแข็งแรง (การทดสอบแรงอัดหรือกำลังอัดของคอนกรีต) วัดได้จากค่าความต้านแรงดัดตามขวาง โดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 378-2531 กำหนดให้การรับแรงดัดตามขวางของคอนกรีตปูพื้นต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะพาสคัล และค่าเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 3 เมกะพาสคัล จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าทั้งคอนกรีตบล็อกพาราฟิน และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสทั้ง 6 สูตร ให้ค่าความต้านแรงดัดตามขวางอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และจำนวนวันที่ทำการบ่มคอนกรีตมีผลต่อค่าความต้านแรงดัดตามขวาง โดยหากระยะเวลาการบ่มมาก จะให้ค่าความต้านแรงดัดตามขวางมากขึ้นด้วยเช่นกัน และระยะเวลาการบ่มคอนกรีตบล็อกที่ให้ค่าแรงดัดตามขวางมากที่สุดคือ 28 วัน ซึ่งคอนกรีตบล็อกพาราฟิน ให้ค่าเฉลี่ยสูงที่สุดคือ 7.83 เมกะพาสคัล และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตร 1 (40 : 5 : 5) ให้ค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดคือ 6.80 เมกะพาสคัล

3) การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 378-2531 ต้องไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ซึ่งผลจากการทดสอบสรุปว่าค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของทั้งคอนกรีตบล็อกพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสทั้ง 6 สูตร อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และให้ค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ดีมาก แต่หากพิจารณาที่ค่าการดูดซึมน้ำที่ดีที่สุด (ดูดซึมน้ำน้อย) คือคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตรที่ 1 (40 : 5 : 5) ให้ค่าร้อยละ 0.97 ซึ่งดีกว่าคอนกรีตบล็อกพาราฟิน 40 ในเบื้องต้นที่ให้ค่าเท่ากับร้อยละ 1.38

4) การทดสอบการสะสมความร้อน มีผลจากการทดสอบสรุปได้ว่าค่าอุณหภูมิปกติภายนอกและอุณหภูมิในห้องทดลองของคอนกรีตบล็อกมีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และอุณหภูมิในห้องทดลองจะสูงกว่าอุณหภูมิปกติ สำหรับประเภทคอนกรีตบล็อกนั้น

ตารางที่ 2 สรุปผลการทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อกพาราฟินประเภทต่าง ๆ

ลำดับ	รายการทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อก	ประเภทคอนกรีตบล็อกพาราฟิน							การตัดสินใจ
		พาราฟิน 40	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5	สูตร 6	
1	การสะสมความร้อน	7.18	4.92	8.10	4.98	9.82	6.40	5.58	สูตร 4 (40 : 5 : 10)
2	การนำความร้อน	0.385	0.335	0.342	0.371	0.213	0.220	0.254	สูตร 4 (40 : 5 : 10)

มีผลต่อการสะสมความร้อนที่แตกต่างกัน โดยคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตรที่ 4 (40 : 5 : 10) ให้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงที่สุด และค่าอุณหภูมิที่สะสมได้มากที่สุด ซึ่งเก็บอุณหภูมิได้ 9.82 องศาเซลเซียส ดีกว่าคอนกรีตบล็อกพาราฟิน 40 ในเบื้องต้น ที่เก็บอุณหภูมิได้ 7.18 องศาเซลเซียส

5) การทดสอบการนำความร้อน จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตรที่ 4 (40 : 5 : 10) ให้ค่าการนำความร้อนต่ำที่สุด เท่ากับ 0.213 แสดงว่ามีความสามารถในการเก็บสะสมความร้อนได้ดีที่สุด ซึ่งจะเห็นว่าดีกว่าคอนกรีตบล็อกพาราฟิน 40 ในเบื้องต้น ซึ่งเท่ากับ 0.385 นั่นแสดงให้เห็นว่าไฟเบอร์กลาสมากจะสามารถสะสมความร้อนได้ดี และถ้าเกลือมากจะส่งผลให้การนำความร้อนได้ดีขึ้น ทำให้สะสมความร้อนได้น้อยลง สรุปผลการทดสอบสมบัติคอนกรีตบล็อกพาราฟินทุกประเภท คือคอนกรีตบล็อกพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสทั้ง 6 สูตร ให้ผลการทดสอบ 5 รายการ ดังตารางที่ 2

4. สรุป

4.1 ผลการทดลองสรุปได้ว่ารายการทดสอบที่ต้องเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 378-2531 มี 3 รายการคือด้านมิติความแข็งแรงและการดูดซึมน้ำ ซึ่งคอนกรีตทุกประเภท คือคอนกรีตบล็อกพาราฟินร้อยละ 40 และคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสทั้ง 6 สูตร ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด และคอนกรีตบล็อกผสมพาราฟินร้อยละ 40 มีความแข็งแรงมากที่สุดที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน แต่คอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตรที่ 1 (40 : 5 : 5) มีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด

4.2 เมื่อพิจารณาการทดสอบด้านการสะสมความร้อนและการนำความร้อน พบว่าคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตรที่ 4 (40 : 5 : 10) ให้ค่าที่ดีที่สุด แสดงว่านอกจากพาราฟินมีกลไกสำคัญที่ช่วยเก็บสะสมพลังงานความร้อนอยู่ในรูปของพลังงานความร้อนแฝงจนทำให้พาราฟินเปลี่ยนสถานะได้แล้วนั้น ไฟเบอร์กลาสยังมีความสามารถสะสมความร้อนได้ดี และเกลือมีคุณสมบัติช่วยให้การนำความร้อน ทำให้สะสมความร้อนได้น้อยลง ดังนั้นคอนกรีตบล็อกพาราฟินผสมเกลือและไฟเบอร์กลาสสูตรที่ 4 (40 : 5 : 10) ให้ผลดีที่สุดทั้ง 2 รายการทดสอบ

4.3 งานวิจัยนี้จึงแนะนำการใช้พาราฟินร้อยละ 40 ใส่ตรงกลาง เกลือร้อยละ 5 ผสมที่ผิวหน้า และไฟเบอร์กลาสร้อยละ 10 ผสมที่ผิวล่าง ใส่ในแผ่นคอนกรีตบล็อก เพื่อสร้างคอนกรีตบล็อกที่มีสมบัติการสะสมความร้อนได้ดี เหมาะสมในการนำไปใช้เพื่อปูพื้นโรงอบแห้งได้ต่อไป

4.4 ข้อเสนอแนะ

- จากการศึกษาทดลอง ควรมีการขัดหน้าแผ่นตัวอย่างให้เรียบมากกว่านี้เพื่อป้องกันการเยิ้มของพาราฟิน ออกจากแผ่นตัวอย่าง

- งานวิจัยนี้อาจมีความเป็นไปได้ที่สามารถนำพาราฟินมาทดลองอัตราส่วนที่มากหรือน้อยกว่านี้เพื่อหาค่าที่เหมาะสมต่อไป

- การศึกษาวิจัยเรื่องผนังบล็อกคอนกรีตที่สามารถเก็บความชื้นได้ อาจทำให้ได้ประสิทธิภาพของโรงอบ

ที่ช่วยดูดความชื้นไว้ในตอนกลางคืน และสามารถลดความชื้นในโรงอบได้ดียิ่งขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ หน่วยงานที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปี พ.ศ. 2556 สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ สำหรับความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ ตลอดระยะเวลาในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] S. Janjai et al., “Development of Rainfall Maps from satellite Data for Thailand,” Silpakorn University, 2012 (in Thai).

[2] P. Chantawong et al., “Study of the Thermal Performance of Effects on Exterior Surface Colour between of Sky White and Lily White Colour of House Model Under Hot Humid Climate of Bangkok,” *The Journal of Industrial Technology*, vol. 4, no. 2, pp. 68-76, 2008 (in Thai).

[3] S. Tongaroonsri et al., “Development of Porous Lightweight Concrete Block for Green Building,” *The Journal of Industrial Technology*, vol. 7, no. 2, pp. 22-30, 2011 (in Thai).

[4] A. Simpraditpan et al., “Comparison of Energy Consumption of Various Dryers in Plastic Pellets Drying,” *The Journal of Industrial Technology*, vol. 8, no. 1, pp. 21-27, 2012 (in Thai).

[5] T. Jairtalawanich, “The Concrete Block Development in Heat Storage System for Postharvest Building,” Rajamangala University of Technology Krungthep, 2013 (in Thai).

[6] T. Jairtalawanich, “The Study of the Thermal Insulation of Concrete Mixed with Dust from the Waste of Forming a Fiberglass Tank,” *Kasem Bundit Engineering Journal*, vol. 3, no. 1, pp. 84-94, 2013 (in Thai).

[7] T. Jairtalawanich, et al., “Preliminary of Phase Change Materials in Solar Collectors Concrete Block (CT009),” in *The 6th Thailand Renewable Energy for Community Conference (TREC-6)*, 2013, pp. 424-435 (in Thai).