

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งานของคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวง กับคอนกรีตมวลเบาแบบปกติ

The Comparative Effectiveness of Practice of Autoclaved Aerated Concrete with Hollow Hole and Typical Autoclaved Aerated Concrete

จรัล รัตนโชตินันท์ และพิธาน ไพโรจน์

Jaran Ratanachotinun and Pithan Pairojn

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาบล็อกคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลมเพื่อใช้ในการก่อสร้างผนังอาคาร ทำการทดสอบสมบัติเปรียบเทียบระหว่างบล็อกคอนกรีตมวลเบาที่พัฒนาใหม่กับบล็อกคอนกรีตมวลเบาปกติในด้านการรับน้ำหนักตามมาตรฐาน มอก.2601-2556 และการกันความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยการทดสอบกับกล่องตัวอย่างที่นำไปวางไว้รับแสงอาทิตย์ ผลการทดสอบพบว่า คอนกรีตมวลเบาที่มีรูสามารถรับน้ำหนักได้ตามมาตรฐานการก่อสร้างและบล็อกคอนกรีตมวลเบาแบบมีรู 4 รู มีความสามารถในการกันความร้อนได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแบบปกติและแบบมีรู 3 รู

คำสำคัญ: คอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวง, การรับน้ำหนักคอนกรีตมวลเบา, การกันความร้อนคอนกรีตมวลเบา

Abstract

The objective of this research was to develop of a prototype autoclaved light weight aerated concrete (cinder) blocks with circular holes for use in building walls. Comparative tests were done to new development blocks (with 3 and 4 holes) and ordinary blocks in block strength according to TIS 2601-2556 standards and heat protection from sun ray by measuring temperature in site the test boxes disposed under the sun ray. The result of tests showed that the strength of all blocks were acceptable according to building standards. Blocks with 4 holes can conserve heat better than the 3 holes blocks and ordinary blocks.

Keywords: autoclaved aerated concrete with hollow hole, strength of autoclaved aerated concrete, thermal resistance of autoclaved aerated concrete



บทนำ

การก่อสร้างอาคารในงานวิศวกรรมโยธาได้มีการออกแบบกรอบของอาคารเพื่อป้องกันสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร เช่น ลม ฝนและแสงอาทิตย์ในประเทศไทยที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้นมีลักษณะอากาศที่ร้อนถึงร้อนมากตลอดทั้งปี การอ้างอิงข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา (Meteorological Department, 2013) แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิเฉลี่ยประเทศไทยโดยเฉพาะในกรุงเทพมหานครตลอดทั้งปี พ.ศ.2556 อยู่ระหว่าง 29-31 องศาเซลเซียส และมีแสงแดดเกือบตลอดทั้งปี กรอบอาคารจะต้องมีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนเพื่อช่วยรักษาอุณหภูมิภายในอาคารให้สามารถพักอาศัยได้ วัสดุก่อสร้างหรือรูปแบบกรอบของอาคารได้มีการศึกษาและพัฒนาเพื่อเพิ่มความสามารถในการป้องกันความร้อนถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคาร การศึกษารูปแบบการก่อสร้างกรอบของอาคารเพื่อระบายอากาศจากภายในอาคารออกสู่ภายนอกอาคาร งานวิจัยของ Ratanachotinun and Pairojn (2014) พบว่า ห้องตัวอย่างที่ติดตั้งผนังกระจกปล่องรังสีอาทิตย์จะมีอุณหภูมิภายในบ้านต่ำกว่าห้องที่ติดตั้งผนังกระจกแบบปกติชั้นเดียว และงานวิจัยของ จรัส รัตนโชตินันท์ และพิธาน ไพโรจน์ (2558) พบว่า บ้านตัวอย่างผนังกระจกปล่องรังสีอาทิตย์แบบบานเปิดมีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิต่ำกว่าบ้านตัวอย่างผนังกระจกชั้นเดียวแบบปกติตลอดทั้งปี โดยมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิลดลงเฉลี่ยประมาณ 2-4 องศาเซลเซียส และค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในบ้านตัวอย่างผนังกระจกปล่องรังสีอาทิตย์แบบบานเปิดมีค่าเฉลี่ยไม่เกิน 60% ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานที่เหมาะสมในการพักอาศัยและลดความเสี่ยงเป็นโรคมะเร็งของผู้พักอาศัย ส่วนการวิเคราะห์ความสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศได้ค่าเฉลี่ยประมาณ 10-20% และระยะเวลาคืนทุนโดยประมาณ 5-6 ปี การเลือกใช้วัสดุก่อสร้างกรอบอาคารที่มีความสามารถป้องกัน การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารเป็นอีกแนวทางหนึ่ง สำหรับการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน

วัสดุก่อสร้างกรอบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานที่นิยมเลือกใช้ในประเทศไทยคือ คอนกรีตมวลเบา (Autoclaved Aerated Concrete) ซึ่งคอนกรีตมวลเบาเกิดขึ้นจากการใช้งานวัสดุก่อสร้างกรอบอาคารรูปแบบเดิม เช่น

อิฐมอญ อิฐบล็อก ได้มีการนำวัสดุที่มีอยู่มาศึกษาและพัฒนาให้เป็นวัสดุก่อสร้างกรอบอาคารรูปแบบใหม่ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการใช้งานที่ดีกว่าเดิม เช่น มีความสามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร น้ำหนักเบา ซึ่งมีผลกระทบต่อกรอบโครงสร้างหลักของอาคารที่ประหยัดมากขึ้น คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบา คือผลิตภัณฑ์คอนกรีตที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับงานก่อสร้างผนังและพื้น ด้วยคุณสมบัติพิเศษที่เป็นผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักเบาและสามารถป้องกันความร้อนได้ดีทำให้ประหยัดการใช้พลังงาน ทนต่อเพลิงไหม้ที่อุณหภูมิสูงสามารถกันไฟได้นานกว่าผนังอิฐมอญและคอนกรีตบล็อกทั่วไป 2-4 เท่า อิฐมวลเบาความจริงไม่ใช่อิฐแต่เป็นคอนกรีตซึ่งทำมาจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยใช้เทคนิคเดิมสารเคมีให้คอนกรีตพองฟู มีรูพรุนเล็ก ๆ เกิดขึ้นในเนื้อคอนกรีต จึงทำให้มีน้ำหนักเบา และมีคุณสมบัติเป็นฉนวนแบบเดียวกับโฟม ซึ่งเรียกว่า “โฟมคอนกรีต” (PCC Autoclaved Aerated Concrete) งานวิจัยที่ผ่านมาในอดีตทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศจะนิยมศึกษาการพัฒนาอัตราส่วนผสมและวัตถุดิบสำหรับการผลิตอิฐมวลเบาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านการกันความร้อนและประหยัดพลังงาน ดังตัวอย่างการวิจัย Koci, Maderaand Cerny (2015) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนที่เหมาะสมกับการคำนวณการใช้พลังงานของอิฐแบบมีรูกลวง Kus, Özkan, Göcer & Edis (2013) ศึกษาการผสมหินภูเขาไฟในการผลิตอิฐแบบมีรูกลวง Ortega, Garcia, Cabello & Garcia (2016) ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิผลอิฐแบบปกติกับอิฐมีรูกลวงที่ผสมเศษยางที่เหลือจากอุตสาหกรรม Songsukyat, et al. (2007) ศึกษาเปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์ระหว่างบ้านที่ใช้ผนังอิฐมอญกับผนังมวลเบาด้านการถ่ายเทความร้อนและคุณสมบัติทางความร้อน Boonin, Saraphon & Deesui (2012) ศึกษา คอนกรีตมวลเบาจากดินตะกอนน้ำประปาใช้แทนวัสดุมวลรวมหยาบ Thongpen & Ratjaroen (2012) ศึกษาน้ำยาโฟมดันแบบสำหรับคอนกรีตมวลเบา (Sahachaisaeree, et al., 2013) ศึกษาคุณสมบัติความเป็นฉนวนความร้อนของคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมจากวัสดุเหลือใช้อุตสาหกรรมรองเท้า Dolah (2009) ศึกษาวัสดุมวลเบาที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมก่อสร้าง Chatveera, Naimee & Makul (2011) ศึกษาสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบา

ผสมหินฝุ่นแอนดิไซด์ Khamput & Suweero (2010) ศึกษาคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมเถ้าแกลบเสริมแผ่นยางธรรมชาติ Powpitthayadhorn (2012) ศึกษาอิฐอัดที่มีการผสมเถ้าชีวมวล Samana, Euathitaporn & Horpibulsuk (2014) ศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้เศษอิฐมวลเบาเป็นมวลรวมละเอียดแทนทราย Thongklay & Kimapong (2010) ศึกษาคอนกรีตมวลเบาที่ผลิตจากกากดินตะกอนกระเบื้องหลังคาเซรามิกและ Prachakiew (2008) ได้เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและเศรษฐศาสตร์ของการผลิตอิฐมวลเบาที่มีส่วนผสมของเถ้าแกลบและเถ้าลอยผ่านหินรูปแบบของคอนกรีตมวลเบาที่มีวางจำหน่ายและใช้กันอยู่ทั่วไปในประเทศไทยและต่างประเทศจะมีลักษณะแบบปกติ คือ มีรูปทรงเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ต้นงานวิจัยนี้มีแนวความคิดที่จะพัฒนารูปแบบทางกายภาพของอิฐมวลเบาแบบมีรูกลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานก่อสร้างจริงโดยเฉพาะทางด้านความสามารถในการกันความร้อนโดยที่ความสามารถการรับน้ำหนักยังอยู่ในระดับมาตรฐาน จากการศึกษาของ Diaz, et al. (2014) ที่ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์วิเคราะห์อิฐมวลเบาแบบมีรูกลวงหลายรูปแบบ โดยใช้ Surface methodology และ Finite element method การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการนำความร้อนและการประหยัดพลังงาน ได้ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองพบว่า ผนังที่ก่อด้วยอิฐมวลเบาแบบมีรูกลวงทั้งหมด 6 รูปแบบ สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพความเป็นฉนวนกันความร้อน

งานวิจัยที่ผ่านมาจะเน้นการศึกษาทางด้านวัสดุที่ผสมในการผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านการป้องกันการถ่ายเทความร้อนเป็นส่วนมาก หรือการศึกษาคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวงก็ยังไม่มีการทดสอบในการใช้งานจริงเป็นเพียงการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นหลักในการแสดงผลการศึกษา ดังนั้นการพัฒนาคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวงเพื่อประสิทธิภาพในการใช้งานจริงทางด้านความสามารถในการรับน้ำหนักและการลดอุณหภูมิภายในอาคาร โดยเฉพาะการใช้งานในประเทศไทยที่มีลักษณะสภาพอากาศแบบร้อนจัดควรมีการทดสอบการรับน้ำหนักคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวง ที่มีข้อได้เปรียบด้านการลดน้ำหนักวัสดุและลดการถ่ายเทความร้อนของผู้ภายในอาคารรวมทั้งยังสามารถใช้งานได้จริงในการก่อสร้างจึงเป็นที่มาของงานวิจัย

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรับกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบปกติกับคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวงลักษณะวงกลม
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบปกติกับคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวงลักษณะวงกลม

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. การทดสอบประสิทธิภาพค่าการรับกำลังอัด (compressive strength) ของคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวงตามหลักมาตรฐาน มอก. 2601-2556 ซึ่งจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 20.40 kg/cm^2 โดยทำการทดสอบความสามารถในการรับกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวงทั้งแบบ 3 รู และ 4 รูและคอนกรีตมวลเบาแบบปกติ
2. การทดสอบประสิทธิภาพการกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวงลักษณะวงกลมโดยการประเมินจากค่าอุณหภูมิภายในกล่องตัวอย่างที่ติดตั้งคอนกรีตมวลเบาแบบปกติกับคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวงลักษณะวงกลม

กรอบแนวคิดการวิจัย

การพัฒนาคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวง สามารถช่วยลดน้ำหนักตัววัสดุและยังคงมีความสามารถในการรับกำลังอัดที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 2601-2556 และความสามารถในการกันความร้อนคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวงโดยอุณหภูมิภายในกล่องตัวอย่างที่ต่ำกว่าคอนกรีตมวลเบาแบบปกติ การทดสอบคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวงจะทำการสำรวจข้อมูลในสภาพแวดล้อมและในเวลาเดียวกันเปรียบเทียบกับคอนกรีตมวลเบาแบบปกติ

สมมติฐานการวิจัย

1. คอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวงลักษณะวงกลมมีค่าการรับกำลังอัดได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 2601-2556 คือ ไม่ต่ำกว่า 20.40 kg/cm^2
2. คอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวงลักษณะวงกลม

มีประสิทธิผลในการลดอุณหภูมิภายในกล่องตัวอย่าง ดีกว่าคอนกรีตมวลเบาแบบปกติ

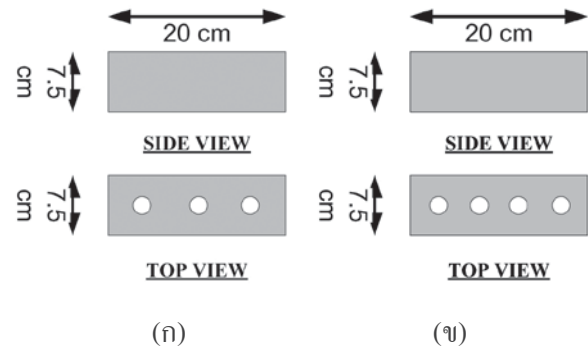
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยศึกษารูปแบบคอนกรีตมวลเบาแบบมี รุกหลวงเป็นการพัฒนามาจากคอนกรีตมวลเบาแบบเดิม ที่มีลักษณะแบบตันที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไป โดยการทดสอบ จะเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิผลการใช้งานกับคอนกรีต มวลเบาแบบเดิม ในงานวิจัยนี้มีขั้นตอนในการดำเนินการ ดังต่อไปนี้

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

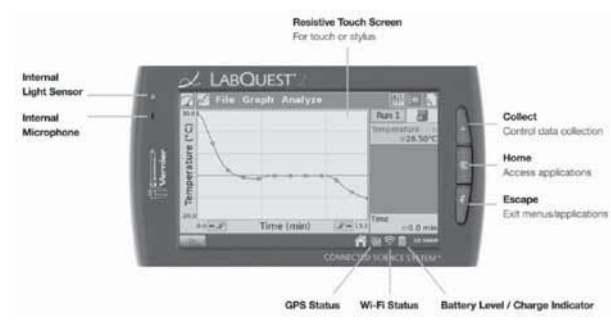
การทดสอบประสิทธิผลการใช้งานคอนกรีต มวลเบาแบบมีรูกหลวงเปรียบเทียบกับคอนกรีตมวลเบาแบบ ปกติทั่วไป โดยคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกหลวงที่ทดสอบ แบ่งเป็น 2 รูปแบบ คือ รุกหลวง 3 รู และรูกหลวง 4 รู ขนาด รุกหลวงมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.02 เมตร มีความยาว ทะลุตัวคอนกรีตมวลเบา(ภาพที่ 1)การผลิตคอนกรีตมวลเบา ตัวอย่างสำหรับทดสอบนี้ได้ใช้ระบบการผลิตแบบอบไอน้ำ ภายใต้ความดันสูง (autoclaved system) วัตถุดิบที่ใช้ในการ ผลิตเป็นประเภท Cement Base ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต เป็นระบบที่ทำให้ คอนกรีต มีคุณภาพได้มาตรฐานสม่ำเสมอและช่วยให้เกิด การตกผลึก (Calcium Silicate) ในเนื้อคอนกรีตทำให้ คอนกรีตมีความแข็งแรง และทนทาน ซึ่งอัตราส่วนผสม มีรายละเอียดคือ ทรายละเอียด (สัดส่วน 50%) ยิปซัม (สัดส่วน 9%) ปูนขาว (สัดส่วน 9%) ปูนซีเมนต์ (สัดส่วน 30%) ผงอลูมิเนียม (สัดส่วน 2%) โดยทดสอบและรับรอง ตามมาตรฐานคุณภาพ 2 (G2) และชั้นคุณภาพ 4 (G4) ของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 2601-2556) ซึ่งการทดสอบแบ่งเป็น 2 แบบ คือ การทดสอบประสิทธิผล ในการรับน้ำหนักตามหลักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และการทดสอบประสิทธิผลการกันความร้อน กล่อง ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบมีขนาด 1.0x1.0x1.0 เมตร คือ ผนัง

ด้านนอกเป็นแบบก่อคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกหลวง 1 ด้าน คือ ผนังด้านบนสุด และผนังด้านข้างที่เหลือกรุด้วยฉนวน กันความร้อน คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ผลิตคอนกรีตมวลเบา ในงานวิจัยนี้จะยึดตามมาตรฐานการผลิตคอนกรีตมวลเบา ที่มีอยู่ในท้องตลาดประเทศไทยและกำหนดให้เป็นตัวแปร คงที่



ภาพ 1 รูปแบบคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกหลวงสำหรับการทดสอบ (ก) แบบ 3 รู (ข) แบบ 4 รู

เครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ (ภาพที่ 2) ใช้สำหรับ เก็บข้อมูลอุณหภูมิตลอด 24 ชั่วโมง ของบริษัท Vernier Software & Technology รุ่น LabQuest 2 สามารถ เก็บข้อมูลได้ 100,000 ข้อมูลต่อวินาที ดำเนินการสำรวจ ข้อมูลในเวลาพร้อมกันทั้ง 3 กล่องตัวอย่างซึ่งอยู่ในสภาพ แวดล้อมเดียวกัน โดยวัดค่าอุณหภูมิภายนอก (ภาพที่ 3) อุณหภูมิภายในกล่องตัวอย่าง (ภาพที่ 4) และความเข้ม แสงอาทิตย์ (ภาพที่ 5) ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องเก็บข้อมูล อัตโนมัติ



ภาพ 2 เครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ



ภาพ 3 เครื่องมือวัดอุณหภูมิภายนอก (Stainless Steel Temperature Probe)



ภาพ 4 เครื่องมือวัดอุณหภูมิภายใน (Extra-Long Temperature Probe)

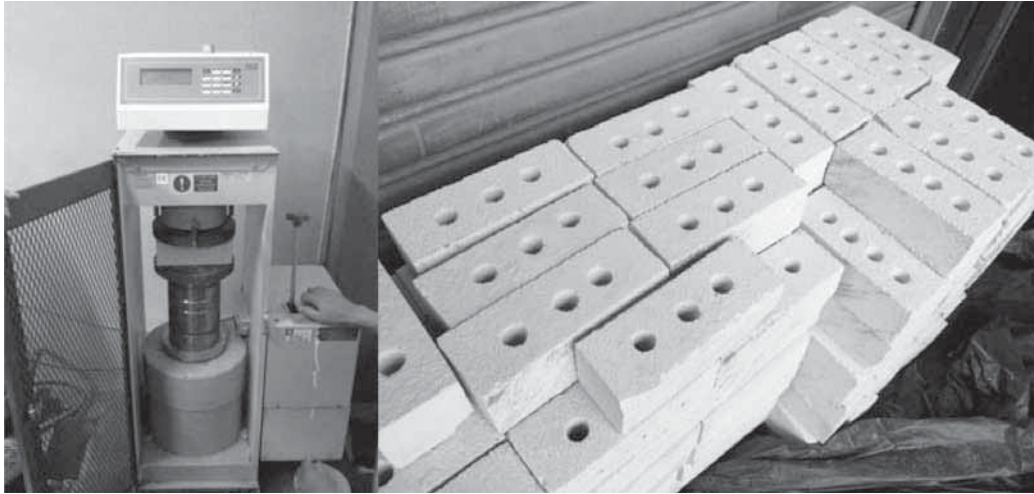


ภาพ 5 เครื่องมือวัดความเข้มแสงอาทิตย์ (Pyranometer)

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การทดสอบค่าการรับน้ำหนัของคอนกรีตมวลเบา ยึดตามมาตรฐาน มอก. 2601-2556 โดยมีจำนวนตัวอย่าง สำหรับการทดสอบอย่างละ 6 ตัวอย่าง ใช้เครื่องทดสอบ การรับน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาที่อายุ 28 วัน ต้องมีค่า ความต้านทานแรงอัดไม่น้อยกว่า 20.40 kg/cm^2 (ภาพที่ 6)

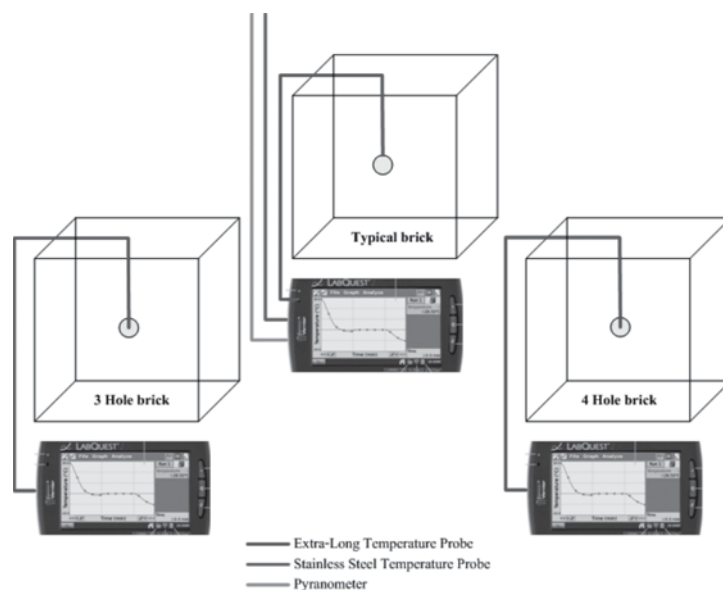
และทดสอบคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวงโดยติดตั้ง บนกล่องตัวอย่างสำหรับการทดลอง ซึ่งทดสอบบริเวณ ข้างอาคาร 12 ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม กล่องตัวอย่างทดสอบมีจำนวน 3 กล่อง ขนาด $1.0 \times 1.0 \times 1.0$ เมตร (ภาพที่ 7) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพผลคอนกรีตมวลเบา แบบมีรูกลวงเปรียบเทียบกับคอนกรีตมวลเบาแบบปกติ การก่อสร้างกล่องตัวอย่างสำหรับทดสอบมีรายละเอียด การก่อสร้าง คือ โครงสร้างหลักของกล่องตัวอย่างจะ ก่อสร้างด้วยเหล็กกล่อง กล่องตัวอย่างจะประกอบไปด้วย ผนังทั้งหมด 6 ด้าน ที่สามารถถอดประกอบได้ ผนังด้าน ที่ 1 คือ ด้านบนสุดจะเป็นผนังก่ออิฐฉาบเรียบ 2 ด้าน ซึ่งก่อสร้างด้วยคอนกรีตมวลเบาและผนังด้านที่ 2-6 จะก่อสร้างด้วยแผ่นซีเมนต์และกรุด้วยฉนวนกันความร้อน กล่องตัวอย่างทดสอบอื่นที่ 1 จะก่อด้วยคอนกรีตมวลเบา แบบปกติกล่องตัวอย่างทดสอบอื่นที่ 2 จะก่อด้วยคอนกรีต มวลเบาแบบมีรูกลวง 3 รู และกล่องตัวอย่างทดสอบอื่นที่ 3 จะก่อด้วยคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวง 4 รู การสำรวจ ข้อมูลโดยการติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิภายในอุณหภูมิ ภายนอกกล่องตัวอย่าง และความเข้มแสงอาทิตย์ (ภาพ ที่ 8) โดยจะเก็บข้อมูลจากกล่องตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่าง แหล่งความร้อนที่กล่องตัวอย่างได้รับมาจากแสงอาทิตย์ โดยตำแหน่งการติดตั้งกล่องตัวอย่างสำหรับการทดสอบ อยู่ในที่กลางแจ้งไม่มีการปิดบังแสงอาทิตย์ ระยะเวลา การเก็บข้อมูลจะเน้นในช่วงฤดูร้อนที่อากาศร้อนจัด เป็นหลัก (เดือน เมษายน พ.ศ.2559) และสำรวจข้อมูล ในเวลาและสภาพแวดล้อมเดียวกันการวิเคราะห์ผลการ ถอดข้อมูลที่ได้จากการสำรวจได้เป็นการแสดงลักษณะแนวโน้ม ความสัมพันธ์เบื้องต้นเท่านั้นเองการทดสอบและสำรวจ ข้อมูลในกล่องตัวอย่างจำลองเป็นการทดสอบประสิทธิภาพ การลดอุณหภูมิภายในกล่องจำลองและสามารถนำไป ใช้งานได้จริงโดยการลดอุณหภูมิภายในห้องพักอาศัยขนาด พื้นที่ใช้งานจริง ซึ่งเป็นขั้นตอนการวิจัยในอนาคตต่อไป



ภาพ 6 เครื่องทดสอบความสามารถการรับน้ำหนักคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวงกับคอนกรีตมวลเบาแบบปกติและตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวงสำหรับการทดสอบ



ภาพ 7 การสร้างและทดสอบกล่องตัวอย่างสำหรับการเปรียบเทียบคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวงกับคอนกรีตมวลเบาแบบปกติ



ภาพ 8 การติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิภายในอุณหภูมิภายนอกกล่องตัวอย่าง และความเข้มแสงอาทิตย์

การวิเคราะห์ข้อมูลและประมวลผล

ข้อมูลที่สำรวจได้นำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกล่องตัวอย่างที่ติดตั้งคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวงทั้ง 3 รู และ 4 รู กับคอนกรีตมวลเบาแบบปกติทั่วไป จากนั้นสรุปผลการทดลองภาคสนาม แล้วทำการประเมินประสิทธิภาพของคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวง การนำเสนอข้อแนะนำสำหรับงานวิจัยในอนาคต

ผลการวิจัย

1. การทดสอบประสิทธิภาพในการรับกำลังอัดตามหลักมาตรฐาน มอก.2601-2556 ของคอนกรีตมวลเบาแบบปกติและแบบมีรูกลวง

การทดลองและสำรวจข้อมูลการรับกำลังอัด (compressive strength) เปรียบเทียบระหว่างของคอนกรีต

มวลเบาแบบมีรูกลวงกับคอนกรีตมวลเบาแบบปกติ ดังแสดงผลการทดสอบในตารางที่ 1-3 พบว่าความสามารถในการรับกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาแบบปกติมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.22 kg/cm^2 และตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.06 kg/cm^2 และ 23.72 kg/cm^2 สำหรับแบบ 3 รูและ 4 รู ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน มอก. 2601-2556 ซึ่งกำหนดไว้จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 20.40 kg/cm^2 ดังนั้นความสามารถในการรับกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวงทั้งแบบ 3 รูและ 4 รู สามารถใช้งานก่อสร้างได้จริงและมีความแข็งแรงได้มาตรฐานน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาตัวอย่างจะมีค่าไม่เท่ากันเนื่องจากการความแตกต่างของปริมาณฟองอากาศหรือความพรุนที่มีไม่เท่ากันจากการผลิตในโรงงาน ในขณะที่ขนาดปริมาตรของคอนกรีตมวลเบา มีขนาดที่เท่ากัน

ตาราง 1

ผลการทดสอบการรับกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบปกติ

No.	Date	Size of Specimen (cm x cm x cm)	Weight (kg)	Cross- section Area (cm ²)	Volume (cm ³)	Density (kg/m ³)	Compressive Load (kg)	Compressive Strength (kg/cm ²)
1	10/09/2558	7.5x7.5x20	0.690	150	1,125	613	4,251	28.34
2	10/09/2558	7.5x7.5x20	0.695	150	1,125	618	3,619	24.13
3	10/09/2558	7.5x7.5x20	0.766	150	1,125	681	4,495	29.97
4	10/09/2558	7.5x7.5x20	0.789	150	1,125	702	4,873	32.48
5	10/09/2558	7.5x7.5x20	0.810	150	1,125	720	4,913	32.76
6	10/09/2558	7.5x7.5x20	0.829	150	1,125	737	5,046	33.64
Average								30.22

ตาราง 2

ผลการทดสอบการรับกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวง 3 รู

No.	Date	Size of Specimen (cm x cm x cm)	Weight (kg)	Cross-section Area (cm ²)	Volume (cm ³)	Density (kg/m ³)	Compressive Load (kg)	Compressive Strength (kg/cm ²)
1	10/09/2558	7.5x7.5x20	0.803	150	1,125	714	4,873	32.48
2	10/09/2558	7.5x7.5x20	0.761	150	1,125	676	4,353	29.02
3	10/09/2558	7.5x7.5x20	0.770	150	1,125	684	4,241	28.27
4	10/09/2558	7.5x7.5x20	0.751	150	1,125	668	4,302	28.68
5	10/09/2558	7.5x7.5x20	0.726	150	1,125	645	3,710	24.74
6	10/09/2558	7.5x7.5x20	0.730	150	1,125	649	3,772	25.14
Average								28.06

ตาราง 3

ผลการทดสอบการรับกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวง 4 รู

No.	Date	Size of Specimen (cm x cm x cm)	Weight (kg)	Cross-section Area (cm ²)	Volume (cm ³)	Density (kg/m ³)	Compressive Load (kg)	Compressive Strength (kg/cm ²)
1	10/09/2558	7.5x7.5x20	0.718	150	1,125	638	4,241	28.27
2	10/09/2558	7.5x7.5x20	0.656	150	1,125	583	2,742	18.28
3	10/09/2558	7.5x7.5x20	0.672	150	1,125	598	3,344	22.29
4	10/09/2558	7.5x7.5x20	0.698	150	1,125	620	3,547	23.65
5	10/09/2558	7.5x7.5x20	0.688	150	1,125	612	3,537	23.58
6	10/09/2558	7.5x7.5x20	0.713	150	1,125	634	3,935	26.23
Average								23.72

จากตารางที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์อัตราส่วนช่องว่าง (void ratio) กับปริมาตรเนื้อคอนกรีตมวลเบาแบบปกติ (typical brick) แบบมีรูกลวง 3 รู (3 hole brick) และแบบมีรูกลวง 4 รู (4 hole brick) เปรียบเทียบกับการรับกำลังอัด สามารถคำนวณเป็นสมการถดถอยเพื่อให้เห็นแนวโน้มความสัมพันธ์ดังแสดงในภาพที่ 9 ซึ่งมีค่า

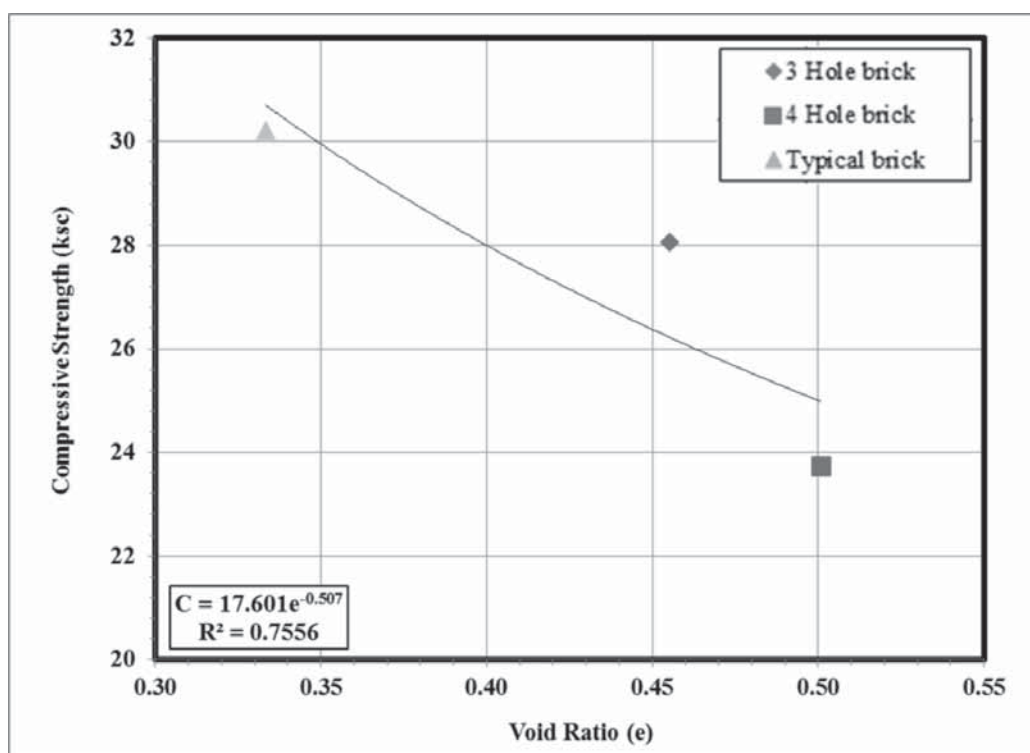
สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(r)เท่ากับ -0.90 (อัตราส่วนช่องว่างกับการรับกำลังอัดมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง) แสดงว่าอัตราส่วนช่องว่างกับปริมาตรเนื้อคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวงที่มากขึ้นจะทำให้ความสามารถการรับกำลังอัดลดลง

ตาราง 4

ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่างช่องว่างกับปริมาตรเนื้อคอนกรีตมวลเบา

Type	Compressive Strength (kg/cm ²)	Void Volume (Vv, cm ³)	Solid Volume (Vs, cm ³)	Void Ratio (e)
Typical brick	30.22	281.25	843.75	0.333
3 Hole brick	28.06	351.90	773.10	0.455
4 Hole brick	23.72	375.45	749.55	0.501

หมายเหตุ: Void Ratio (e) = Vv/Vs



ภาพ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนช่องว่างกับการรับกำลังอัด ($r = -0.90$)

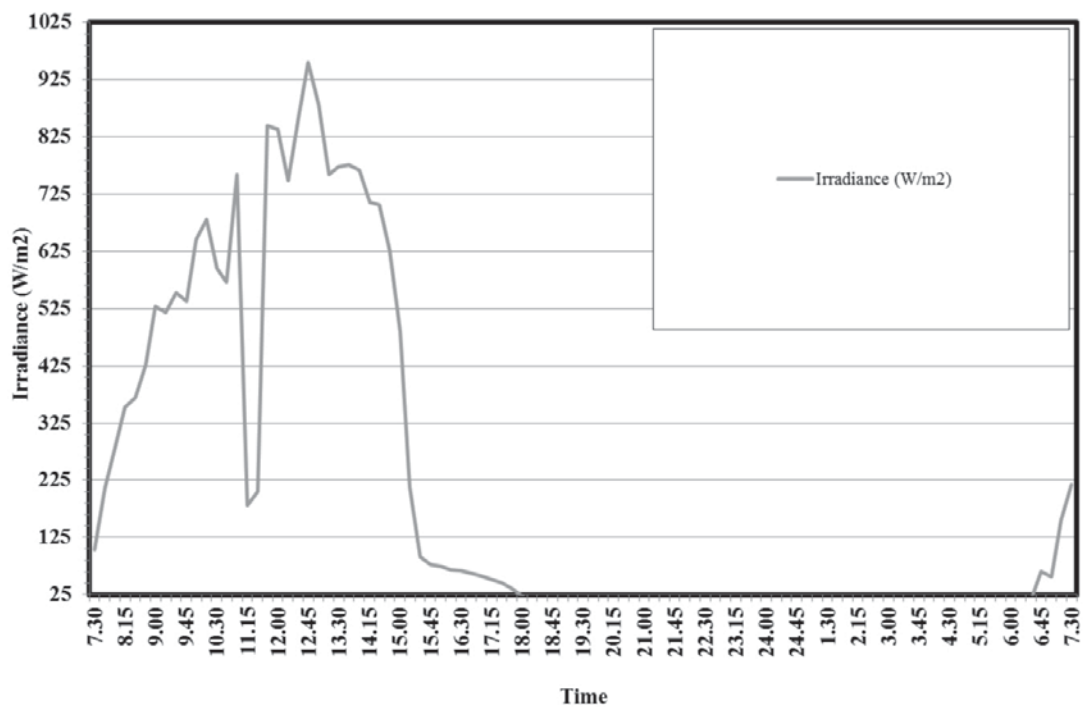
2. การทดสอบประสิทธิภาพในการกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวง

จากผลการทดลองพบว่าความเข้มแสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาที่ทดสอบตามแสดงในภาพที่ 10 เป็นแหล่งความร้อนที่กล่องตัวอย่างได้รับพร้อมกัน คอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวงลักษณะวงกลมสามารถกันความร้อนและลดอุณหภูมิภายในกล่องตัวอย่างได้ต่ำกว่าคอนกรีตมวลเบาแบบปกติโดยคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวง 4 รูจะมีประสิทธิภาพในการลดความร้อนภายในกล่องตัวอย่างดีที่สุด (ภาพที่ 11) การวิเคราะห์สมการถดถอยระหว่างอัตราส่วนของรูกลวงและปริมาตรทั้งหมดเปรียบเทียบ

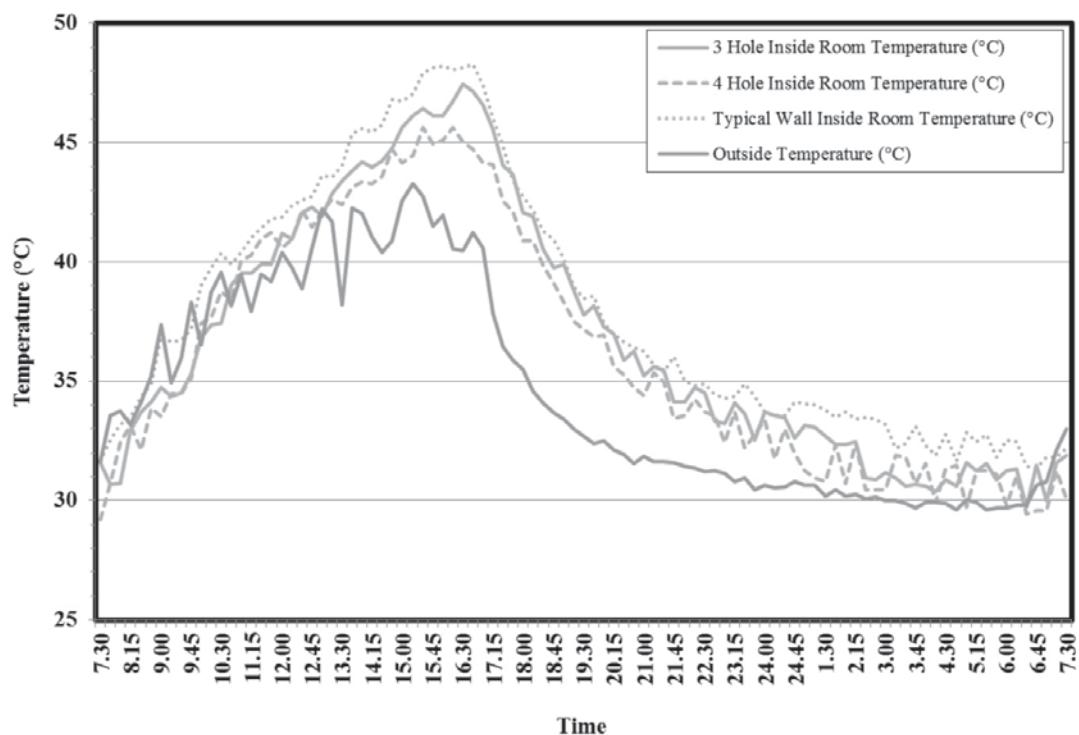
กับอุณหภูมิภายในกล่องตัวอย่างเพื่อให้เห็นแนวโน้มของความสัมพันธ์ดังแสดงในภาพที่ 12 ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ -1.00 (มีความสัมพันธ์กันในระดับสูงมาก) แสดงว่า ปริมาตรรูกลวงที่มากขึ้นสามารถช่วยลดการถ่ายเทความร้อนและลดอุณหภูมิภายในกล่องตัวอย่าง การวิเคราะห์ประสิทธิภาพผลของคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวงลักษณะวงกลม ในส่วนความสามารถในการรับกำลังอัดและการลดอุณหภูมิภายในกล่องตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับแล้วพบว่า มีข้อดีและข้อเสีย คือ ความสามารถในการรับกำลังอัดจะลดลงเมื่ออัตราส่วนปริมาตรรูกลวงกับปริมาตรทั้งหมดเพิ่มขึ้น แต่อัตราส่วนปริมาตร

รูกลวงกับปริมาตรทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นสามารถช่วยป้องกันความร้อนและลดอุณหภูมิภายในกล่องตัวอย่างได้ต่ำกว่า

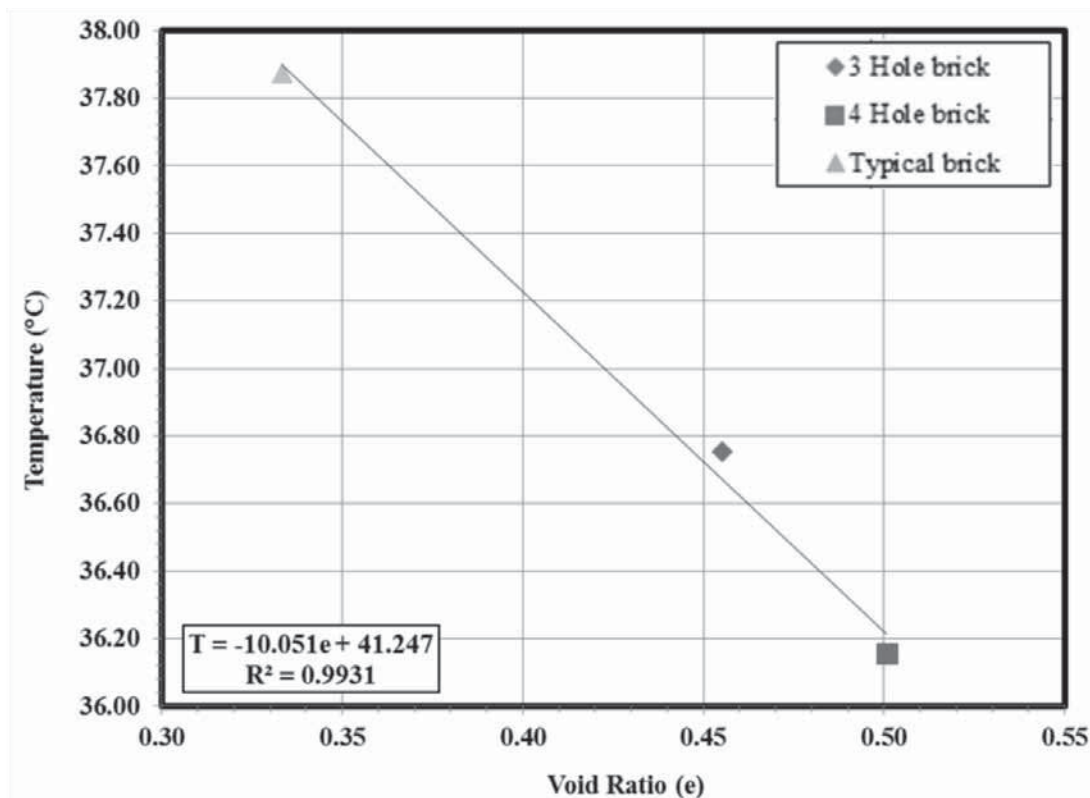
คอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวงที่มีค่าอัตราส่วนปริมาตรรูกลวงกับปริมาตรทั้งหมดที่น้อยกว่า



ภาพ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิภายนอกกับช่วงเวลา



ภาพ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอกของกล่องตัวอย่างทั้งหมดกับช่วงเวลา



ภาพ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิภายในกล่องตัวอย่างกับอัตราส่วนช่องว่าง ($r = -1.00$)

การอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนารูปแบบคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวงลักษณะวงกลมตันแบบและมีการทดสอบประสิทธิภาพเปรียบเทียบกับคอนกรีตมวลเบาแบบปกติทั่วไป การทดสอบการรับน้ำหนักโดยการวัดค่ากำลังอัดและการกันความร้อนโดยการลดอุณหภูมิภายในอาคารโดยเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตมวลเบาแบบปกติกับคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวงลักษณะวงกลม การทดสอบและสำรวจข้อมูลจากกล่องตัวอย่าง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า คอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวงลักษณะวงกลมที่มี 4 รู จะมีประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิภายในกล่องตัวอย่างได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตมวลเบาแบบปกติทั่วไปและแบบมีรูกลวง 3 รู ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานในประเทศไทยที่มีลักษณะสภาพอากาศแบบร้อนจัด ความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวงลักษณะวงกลมจะลดลงตามค่าอัตราส่วนปริมาตรรูกลวงกับปริมาตรทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น แต่ก็ยังอยู่ในค่ามาตรฐาน มอก. 2601-2556 (ไม่ต่ำกว่า 20.40 kg/cm^2) ที่ยอมรับได้และสามารถนำไป

ก่อสร้างผนังอาคารได้จริงความคลาดเคลื่อนในการทดลองที่เกิดขึ้นเนื่องจากความพรุนของเนื้อคอนกรีตมวลเบาที่ไม่เท่ากันในขนาดปริมาตรที่เท่ากันสาเหตุจากขั้นตอนการผลิตในโรงงาน ส่งผลต่อความสามารถในการรับกำลังอัดและการกันความร้อนซึ่งควรมีการพิจารณาในการวิจัยขั้นต่อไป ผลประโยชน์ในทางอ้อม คือ การลดน้ำหนักของตัววัสดุและส่งผลต่อการลดน้ำหนักต่อโครงสร้างทำให้สามารถออกแบบโครงสร้างอาคารเพื่อประหยัดต้นทุนก่อสร้าง รวมทั้งการลดต้นทุนของวัตถุดิบสำหรับการผลิตคอนกรีตมวลเบา ดังนั้นคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวงลักษณะวงกลมสามารถนำไปใช้งานก่อสร้างอาคารได้จริงและมีประสิทธิภาพในการกันความร้อนและลดอุณหภูมิภายในอาคารได้

ข้อเสนอแนะ

ในอนาคตงานวิจัยควรมีการพัฒนานำไปทดสอบก่อสร้างผนังอาคารในหน่วยงานจริงและการทดสอบวัดค่าการนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวงลักษณะวงกลมโดยใช้เครื่องมือสำหรับทดสอบหาค่า

การนำความร้อนของวัสดุโดยเฉพาะ การศึกษาอิทธิพลของ เป็นไปได้ในการลงทุนเชิงพาณิชย์และความคุ้มค่าทางด้าน
 รุพรูปในเนื้อคอนกรีตมวลเบาต่อประสิทธิภาพการใช้งาน เศรษฐศาสตร์ และการพัฒนาเครื่องจักรและกระบวนการ
 คอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวงรวมทั้งการประเมินความ ผลผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบมีรูกลวงที่เหมาะสม



References

- Boonin, P., Saraphon, C. & Deesui, S. (2012). *Properties of light weight concrete used sediment soil from water supply process as coarse aggregate*. Master of Engineering Thesis, Khon Kaen University. (in Thai)
- Chatveera, B. Naimee, R., & Makul, N. (2011). Mechanical properties of lightweight concrete containing andesite-dusty rock. *KMUTT Research and Development Journal*, 34(4), 395-414. (in Thai)
- Diaz, J. J. C., Nieto, P. J. G., Rabanal, F. P. A., Martinez, M. A., Hernandez, J. D., & Bella, J. M. P. (2014). The use of response surface methodology to improve the thermal transmittance of lightweight concrete hollow bricks by FEM. *Construction and Building Materials*, 52(1), 331-344.
- Dolah, N. (2009). Light materials used in construction industry. *Princess of Naradhiwas University Journal*, 1(3), 48-62. (in Thai)
- Khamput, P., & Suweero, K. (2010). *A study of light weight concrete mixed with rice husk ash added natural-rubber sheet*. Master of Education Thesis, Rajamangala University of Technology Thanyaburi. (in Thai)
- Koci, J., Madera, J. & Cerny, R. (2015). A fast computational approach for the determination of thermal properties of hollow bricks in energy-related calculations. *Energy*, 83(1), 749-755.
- Kus, H., Özkan, E., Göcer, Ö., & Edis, E. (2013). Hot box measurements of pumice aggregate concrete hollow block walls. *Construction and Building Materials*, 38(1), 837-845.
- Ministry of Industry. (2013). *Standard of aerated lightweight concrete 2601-2556*. Retrieved from <http://www.elcprolicon.com/attachments/tis-2601-2556.pdf> (in Thai)
- Meteorological Department. (2013). *Average temperature of Thailand in 2556*. Retrieved from <http://www.tmd.go.th/index.php> (in Thai)
- Ortega, E. S., Garcia, E. F., Cabello, J. F., & Garcia, A. S. (2016). Evaluation of crumb rubber as aggregate for automated manufacturing of rubberized long hollow blocks and bricks. *Construction and Building Materials*, 106(1), 305-316.
- Powpitthayadhorn, M. (2012). *Compressed brick made from bio-mass ash*. Master of Education Thesis, Mahasarakham University. (in Thai)
- Prachakiew, S. (2008). *A comparisons of physical properties and economic of autoclave aerated concrete mixed with rice husk fly ash*. Master of Science Thesis, Naresuan University. (in Thai)
- Ratanachotinun, J., & Pairojn, P. (2014). A feasibility study of glass solar chimney wall for tropical area, case study: Bangkok, Thailand. *International Energy Journal*, 14(1), 95-106. (in Thai)

- Rattanachotinun, J., & Pairojn, P. (2014). *The assessment of effectiveness and practical feasibility of glass solar chimney walls by open frame for Thailand*. Bangkok: Chandrakaem Rajabhat University. (in Thai)
- Sahachaisaeree, N. Singhirunnusorn, W. Kusolchoo, A. Kaenwichit, K., & Ronruengrit, J. (2013). *Thermal condition and insulation properties of lightweight concrete with footwear industrial waste content*. The 9th Mahasarakham University Research Conference. Mahasarakham: Mahasarakham University. (in Thai)
- Samana. R., Euathitaporn, C., & Horpibulsuk, S. (2014). A study of ultimate compressive strength of concrete using concrete and lightweight brick wastes as aggregates. *The Journal of KMITNB*, 5(1), 18-24. (in Thai)
- Sittikan, P. (2001). *Role of subdistrict administrative organization for forest management: A case study for Chiang Mai province*. Master of Public Administration Thesis. Chiang Mai University. (in Thai)
- Songsukyat, K., Chaisayan, I., Chankrapoe, A., Chantawong, P., Wimanchan, W., & Namprakai, P. (2007). Economical comparative analysis between house built using red clay bricks wall and aerated concrete wall for heat transfers and thermal properties. *The Journal of KMITNB*, 17(2), 34-42. (in Thai)
- Thongklay, S., & Kimapong, K. (2010). *Lightweight concrete from sediment sludge of ceramic roof tile*. The 8th Kasetsart University Conference. Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)
- Thongpen, J., & Ratjaroen, R. (2012). *The prototype of foaming agent for lightweight*. Master of Engineering Thesis, Khon Kaen University. (in Thai)

