

# การศึกษาสีทาอาคารที่ผสมซิลิกาแอโรเจลเพื่อความเป็นฉนวนกันความร้อน The Study of Paint with Silica Aerogel for Thermal Insulation

จรัล รัตนโชตินันท์<sup>1</sup> และพิธาน ไพโรจน์<sup>1</sup>

Jaran Ratanachotinun<sup>1</sup> and Pithan Pairojn<sup>1</sup>

<sup>1</sup>คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

<sup>1</sup>Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University

Received: April 24, 2019

Revised: May 29, 2019

Accepted: June 4, 2019

## บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการฉนวนกันความร้อนของสีทาอาคารที่ผสมซิลิกาแอโรเจล โดยการทดสอบในหน้างานจริงเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกันความร้อนกับสีทาอาคารกันความร้อนแบบเดิมที่จำหน่ายในท้องตลาดและสีแบบปกติทั่วไปตาม มอก. 2321-2549 การทดสอบจะสำรวจประสิทธิภาพการกันความร้อนของสีทั้ง 3 ชนิดในช่วงเวลาที่พร้อมกันและการรับแสงอาทิตย์ที่ไม่มีผลกระทบจากเงาแดด ผลการวิจัยพบว่า สีทาอาคารที่ผสมซิลิกาแอโรเจลมีประสิทธิภาพการลดอุณหภูมิภายในอาคารได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสีทาอาคารกันความร้อนที่ผสมเซรามิก สีแบบปกติ และอุณหภูมิภายนอกห้องมีค่าลดลงเฉลี่ย 0.73, 0.81 และ 3.58 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และมีความเป็นไปได้ในการลงทุนและใช้งานในบ้านพักอาศัยในประเทศไทยที่มีภูมิอากาศร้อนจัด

**คำสำคัญ:** สีทาอาคารกันความร้อน, ซิลิกาแอโรเจล, ฉนวนกันความร้อน

## Abstract

This research aims to study the thermal insulation performance of building paints that are mixed with silica aerogels by testing them on the actual work site and comparing the thermal protection performance with the thermal insulation paint and with the typical paint that is sold in the market according to TIS. 2321-2549. The testing was conducted to explore the performance of a heat-resistant paint for all paints during that time and when the sun was not affected by shadows. The results showed that

the paint with silica aerogels effectively reduced the temperature inside the building better than thermal insulation paints (ceramic). The typical paint and outdoor temperature are about 0.73, 0.81 and 3.58 Degree Celsius respectively and feasibility for costing and using building in Thailand which is tropical area.

**Keywords:** thermal insulation paints, silica aerogel, thermal insulation



## บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศของโลกในปัจจุบัน อันเนื่องจากสภาวะโลกร้อนที่มีระดับความรุนแรงเพิ่มขึ้น ส่งผลกระทบต่อสภาพอากาศของโลกที่ร้อนเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการพัฒนานวัตกรรมเพื่อมารองรับสภาวะโลกร้อนจึงได้รับความสนใจอย่างมากเพื่อการอยู่อาศัยของมนุษย์ที่สบายมากขึ้น อาคารที่พักอาศัยถือว่าเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญในการดำรงชีวิต การออกแบบก่อสร้างอาคารที่เหมาะสม จะช่วยให้การพักอาศัยและการใช้พลังงานภายในอาคารมีประสิทธิภาพมากขึ้น วัสดุสำหรับก่อสร้างกรอบอาคาร ซึ่งหมายถึงผนังและหลังคาถือว่ามีส่วนสำคัญที่จะช่วยป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยเฉพาะประเทศไทย ที่มีสภาพภูมิอากาศค่อนข้างร้อนจัด สีทาอาคารหรือสีทาบ้านเป็นวัสดุก่อสร้างสำหรับการตกแต่งอาคารบ้านเรือนเพื่อความสวยงามและป้องกันความร้อนถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคารโดยสีทาอาคารแบบปกติทั่วไปไม่มีคุณสมบัติกันความร้อน และมีราคาไม่แพงเหมาะกับการใช้งานในอาคารที่ต้นทุนต่ำ สีกันความร้อนที่จำหน่ายและนิยมใช้งานในปัจจุบัน มีต้นทุนที่สูงและมีส่วนผสมของเซรามิกหรือไทเทเนียมซึ่งเป็นตัวสะท้อนความร้อนที่มาจากแสงอาทิตย์ แต่เมื่อใช้งานไปในระยะเวลาหนึ่งจะมีคุณสมบัติการสะท้อนความร้อนลดลง อันเนื่องมาจากคุณสมบัติทางเคมีของวัสดุที่เสื่อมสภาพเป็นปกติของวัสดุกันความร้อนทุกชนิดจนไม่สะท้อนความร้อน ซึ่งส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบกับผนังอาคารเข้าสู่ภายในอาคารทั้งหมด การรายงานของ Yodyingyong (2017) อธิบายไว้ว่า Silica Aerogel เป็นวัสดุที่ได้รับการบันทึก Guinness World Records ว่าเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีที่สุดในปัจจุบัน

ด้วยโครงสร้างภายในที่ประกอบด้วยรูพรุนขนาดเล็กระดับนาโนเมตรทำให้การถ่ายเทความร้อนผ่าน Silica Aerogel เกิดขึ้นได้ช้าหรือน้อยมาก Silica Aerogel จึงเป็นฉนวนกันความร้อนและกันเสียงที่ดีมาก อีกทั้งยังมีน้ำหนักเบา กันน้ำ และไม่ดูดซับความชื้น จึงสามารถใช้เคลือบพื้นผิววัสดุเพื่อให้มีคุณสมบัติเป็นพื้นผิวที่ทำความสะอาดตัวเองได้ (self-cleaning surface) จึงเหมาะสำหรับการนำไปใช้เป็นส่วนผสมในวัสดุที่ต้องการให้มีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันร้อน กันเสียง กันน้ำ โดยสามารถประยุกต์ใช้ได้กับวัสดุต่าง ๆ อาทิ ผสมกับกาวเพื่อใช้สำหรับการเคลือบ (coatings) ผสมใยแก้วเพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่น (blankets) ผสมกับ Gypsum Cement หรือ PU เพื่อทำเป็นแผ่นฉนวน (composite boards) ผสมกับ Polymer ทำเป็นฟิล์มบางเคลือบผิววัสดุ วัสดุซิลิกาสามารถผลิตได้จากผลผลิตทางการเกษตร จากรายงานของ Worathanakul (2010) ได้ศึกษาการผลิตซิลิกาจากซีเถ้าขานอ้อย โดยขานอ้อยนั้นเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่มีจำนวนมากของประเทศไทย และการศึกษาของ Jongsuwanpaisan (2009) ที่ใช้ซิลิกาที่สกัดจากแกลบมาตัดแปลงใช้กับผนังภายในอาคารเพื่อลดความชื้น วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในประเทศไทยที่มีมากมายสามารถนำมาใช้เป็นตัวตั้งในการผลิตซิลิกาด้านต้นทุนต่ำได้ต่อไปในอนาคต งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสีกันความร้อน อาทิ เช่น การศึกษาสีอะคริลิกสำหรับหลังคาเย็นของอาคารโดยสำรวจในฤดูร้อน และอายุการใช้งานสำหรับพื้นที่เมดิเตอร์เรเนียน โดย De Masia et al. (2018) มีการแสดงข้อมูลการใช้สีอะคริลิกสีขาวสำหรับทาหลังคาเย็นของอาคารที่สำรวจในช่วงฤดูร้อนที่มีผลต่ออายุการใช้งานของสีและค่าการสะท้อนความร้อนที่เปลี่ยนแปลง การศึกษาสีอะคริลิกสำหรับใช้งานเคลือบเพื่อลดการใช้พลังงานในช่วงฤดูร้อนในสภาพ

ภูมิอากาศแบบเมดิเตอร์เรเนียนแบบการทดลองในห้องปฏิบัติการและวิเคราะห์เชิงตัวเลข โดย Antonaia et al. (2016) งานวิจัยนี้อธิบายสื่อบรรจุเพื่อการใช้งานอาคาร ผลการทดลองแสดงว่าพลังงานและประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมเปรียบเทียบกับหลังคาแบบดั้งเดิม สามารถช่วยด้านค่าใช้จ่ายที่ลดลงประมาณ 50% ในส่วนต้นทุนของวัสดุและแรงงาน การศึกษาอิทธิพลของไททาเนียมไดออกไซด์ต่อการป้องกันของสีฉนวนกันความร้อนที่โดนน้ำของโครงสร้างเหล็ก โดย Mariappan, Agarwal and Ray (2017) โดยศึกษาผลกระทบของ TiO<sub>2</sub> ต่อสีฉนวนกันความร้อนที่มีผลต่อการป้องกันตัวจากน้ำ อัตราส่วนน้ำหนักที่แตกต่างกันของ TiO<sub>2</sub> กับแอมโมเนียมรวม (APP) รวมถึงสีที่ไม่มีส่วนผสมของ TiO<sub>2</sub> ผลการทดลองพบว่า สัดส่วนของทั้งสองส่วนผสม (TiO<sub>2</sub>: APP) มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อประสิทธิภาพการป้องกันตัวของสีฉนวนกันความร้อนที่ทาบนโครงสร้างเหล็ก การพัฒนาและประเมินสมรรถนะของการเก็บความร้อนของสีด้วย MPCM สำหรับการใช้กับวัสดุหลังคา โดย Jeong et al. (2016) เป็นการทดสอบวัสดุ microencapsulated phase-change materials--MPCM ที่เป็นส่วนผสมในสีสำหรับทาหลังคาอาคารและผลกระทบต่อการเก็บความร้อนของหลังคา ผลการทดลองพบว่า ส่วนผสมในสีที่เป็น (MPCM) มีผลกระทบโดยตรงต่อการเก็บความร้อนในสีที่ทาหลังคาอาคารส่งผลต่อการลดภาระทำความเย็นและการประหยัดพลังงานอย่างมีนัยสำคัญ ในอาคาร การศึกษาทดสอบการเคลื่อนฉนวนกันความร้อนด้วย โดย Bozsaky (2015) เป็นการทดสอบเพื่อพิสูจน์ความสามารถในการนำความร้อนที่ต่ำและการสะท้อนความร้อนของนาโนเซรามิคเหลว ผลการทดลองอธิบายได้ว่า คุณภาพฉนวนกันความร้อนที่ดีของฉนวนกันความร้อนที่เคลือบด้วยนาโนเซรามิคเหลวเกิดจากการนำความร้อนต่ำมากและความต้านทานการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศและพื้นผิวของโครงสร้างอาคารนอกที่มีประสิทธิภาพ จากงานวิจัยที่ผ่านพบว่ายังไม่มี การนำซิลิกาแอโรเจลไปผสมสีทาอาคารเพื่อการป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารจากสาเหตุต้นขุซิลิกาแอโรเจลที่สูงและต้องนำเข้ามาจาก ต่างประเทศแต่ในปัจจุบันสามารถผลิตในประเทศได้แล้ว และด้วยคุณสมบัติและข้อได้เปรียบของซิลิกาแอโรเจลจึงมีความเป็นไปได้ในการผสมลงในสีทา

อาคารสำหรับงานก่อสร้างเพื่อป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น กว่าผลิตภัณฑ์แบบเดิมที่กำหนดในท้องตลาด โดยในปัจจุบัน ทั้งในประเทศและต่างประเทศยังไม่มีการผลิตซิลิกาแอโรเจลลงในสีทาอาคารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความเป็นฉนวนกันความร้อน ช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคารให้เย็นลง และมีต้นทุนที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสีกันความร้อนที่มีอยู่เดิม จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ งานวิจัยนี้จะทำการศึกษสีทาอาคารที่ผสมซิลิกาแอโรเจลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพฉนวนกันความร้อนและศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้งาน โดยทดสอบในหน่วยงานจริงเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพความเป็นฉนวนกันความร้อนกับสีทาอาคารกันความร้อนแบบเดิมที่กำหนดในท้องตลาด และวิเคราะห์ความคุ้มค่าการลงทุนสำหรับการใช้งานในบ้านพักอาศัยในประเทศไทย

## วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกันความร้อนของสีทาอาคารที่ผสมซิลิกาแอโรเจลกับสีทาอาคารกันความร้อนแบบทั่วไปที่ผสมเซรามิค
2. เพื่อศึกษาความคุ้มค่าทางการลงทุนของสีทาอาคารที่ผสมซิลิกาแอโรเจลสำหรับการใช้งานจริง

## แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ผนังและหลังคาถือว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอาคารสำหรับการป้องกันความร้อนถ่ายเทเข้าสู่อาคารจากการที่ประเทศไทยอยู่ใกล้บริเวณเส้นศูนย์สูตรส่งผลให้มีสภาพภูมิอากาศของแบบร้อนชื้น ความสามารถป้องกันความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารจึงต้องให้ความสำคัญในการออกแบบอาคาร หลักการทั่วไปนิยมเลือกก่อสร้างผนังและหลังคาของอาคารที่ใช้วัสดุที่มีค่าความต้านการถ่ายเทความร้อนสูงเพื่อลดการสะสมความร้อนและสภาพอุณหภูมิภายในอาคารไม่ให้สูงมาก การถ่ายเทความร้อนผ่านผนังและหลังคาอาคารเข้าสู่ภายในอาคารมี 3 รูปแบบ คือ การนำความร้อน (conduction) โดยสำหรับตัวกลางที่มีสถานะไม่แข็งของไหล ในการถ่ายเทความร้อนที่ผ่านตัวกลาง โดยอนุภาคภายในตัวกลางมีการเคลื่อนที่กระทบกัน จึงส่งผลให้เกิดการถ่ายพลังงานระหว่างอนุภาคจากการชนกัน ใน

ระยะทางการส่งผ่านความร้อนจะมีอุณหภูมิที่แตกต่าง ชนิดหรือคุณสมบัติของวัสดุตัวนำความร้อนและพื้นที่รับความร้อนจะมีอิทธิพลต่อการสร้างการนำความร้อน การพาความร้อน (convection) สำหรับตัวกลางที่มีสถานะเป็นของไหลทั้งแบบของเหลวและก๊าซ และการแผ่รังสี (radiation) เป็นการถ่ายเทความร้อนในลักษณะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อวัสดุหรือตัวกลางที่ได้รับความร้อนจนส่งผลให้เกิดการแผ่รังสีความร้อน การถ่ายเทความร้อนจากแสงอาทิตย์เข้าสู่ภายในอาคารซึ่งผ่านตัวกลางที่เป็นผนังและหลังคาจะเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อนเป็นหลัก ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพการนำความร้อนของวัสดุผนังและหลังคาโดยให้มีค่าการนำความร้อนต่ำที่สุดจะสามารถช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคารได้ดีที่สุด เช่น การใช้วัสดุก่อสร้างที่เป็นฉนวนกันความร้อนและการทาสีกันความร้อนซึ่งเป็นอีกทางเลือกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพดังกล่าว

สีทาอาคารกันความร้อนที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดในปัจจุบันมักมีส่วนผสมชนิดพิเศษที่ช่วยป้องกันและสะท้อนความร้อนได้ มีวัสดุผสมหลักที่ทำหน้าช่วยสะท้อนความร้อนคือ เซรามิก โดยปกติเซรามิกโดยทั่วไปที่พบเห็นในชีวิตประจำวันจะมีทั้ง ถ้วย ชาม สุขภัณฑ์ห้องน้ำ กระเบื้อง คุณสมบัติการนำความร้อน (thermal conductivity) ขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาผลิตตัวเซรามิกซึ่งมีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 1.50–3 W/m.K มีเซรามิกเป็นส่วนผสมที่สำคัญของสีทาอาคารกันความร้อน ที่มีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนให้กับกระสวยอวกาศ คุณลักษณะที่มีความเกลี้ยงของพื้นผิวเซรามิก จึงสามารถสะท้อนความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้ และคุณสมบัติความกลวงทำหน้าที่เสมือนสารกันร้อนที่ช่วยลดซับความร้อน ในสีบางยี่ห้อจะมีวัสดุผสมที่ทำหน้าที่สะท้อนความร้อน คือ ไทเทเนียม ซึ่งมีค่าการนำความร้อนประมาณ 22 W/m.K ราคาของสีทาอาคารกันความร้อนที่จำหน่ายในท้องตลาดประเทศไทยอ้างอิงในปี

2560 ขนาดถังใหญ่ 18 ลิตร มีราคาตั้งแต่ 2,700 บาท ถึง 6,500 บาทต่อถัง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับยี่ห้อและคุณลักษณะพิเศษเพิ่มเติมที่ทางผู้ผลิตกำหนดไว้

Yodyingyong (2017) ได้อธิบายถึงซิลิกาแอโรเจล (silica aerogel) ซึ่งเกิดจากการสังเคราะห์ทางเคมีด้วยวิธีที่พิเศษโดยทำให้โครงสร้างของซิลิกาเปลี่ยนแปลงเกิดรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก (ระดับนาโนเมตร) โดยทั่วไปแล้วซิลิกาแอโรเจลจะมีอากาศอยู่ภายในโครงสร้างมากกว่า 90% ซิลิกาแอโรเจลเป็นที่รู้จักกันว่าเป็นฉนวนที่ดีที่สุดในโลก เพราะมีความสามารถในการนำความร้อนที่ต่ำมากเหมาะสำหรับการนำไปประกอบเป็นวัสดุที่ประหยัดพลังงาน (energy saving material) นอกจากคุณสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีแล้ว ซิลิกาแอโรเจลยังมีความสามารถอื่นอีก เช่น การเป็นวัสดุของแข็งที่เบาที่สุดในโลก ฉนวนกันเสียงที่ดี (มีรูพรุนสูง) เป็นวัสดุดูดซับสารที่ไม่ละลายน้ำ และสามารถนำไปใช้เป็น filler ในงานอุตสาหกรรมได้อีก ปัจจุบันในต่างประเทศมีผู้ผลิตซิลิกาแอโรเจลรายใหญ่เพียง 3-4 บริษัทเท่านั้น ที่สามารถผลิตซิลิกาแอโรเจลได้มากพอที่จะจำหน่ายในเชิงอุตสาหกรรม โดยมากจะจำหน่ายในรูปของซิลิกาแอโรเจลแบบผง และซิลิกาแอโรเจลแบบแผ่น ซึ่งนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ของบริษัทประเภท ฉนวนกันความร้อน ฉนวนกันเสียง สี ทนความร้อน ยิปซัม และงาน textile เป็นต้น คุณสมบัติโดยทั่วไปของซิลิกาแอโรเจลที่ใช้ในการทดสอบงานวิจัยนี้ ซึ่งได้จาก Yodyingyong (2017) สามารถแสดงได้ดังนี้ คือ Particle size range  $\pm 20\mu\text{m}$ , Pore diameter 20 nm (mean), Bulk density 0.05-0.10 g/cm<sup>3</sup>, Surface chemistry Super hydrophobic (contact angle > 150°), Thermal conductivity 0.010-0.020 W/m.K และ Surface Area 800-1,000 m<sup>2</sup>/g, Porosity > 95% ดังภาพ 1



ภาพ 1 ซิลิกาแอโรเจล (silica aerogel)

จากข้อมูลเบื้องต้น พบว่า ค่าการนำความร้อนของวัสดุผสมในสีทาอาคารกันความร้อนที่นิยมใช้ในงานก่อสร้างทั้ง เซรามิคและไทเทเนียม ( $3 \text{ W/m.K}$  และ  $22 \text{ W/m.K}$  ตามลำดับ) ยังมีค่าที่สูงอยู่ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการนำความร้อนของซิลิกาแอโรเจลที่มีค่าประมาณ  $0.02 \text{ W/m.K}$  ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้และเหมาะสมที่จะผสมซิลิกาแอโรเจลลงในสีทาอาคารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกันความร้อนที่ดีขึ้นเพื่อการใช้งานจริงและความคุ้มค่าทางด้านการลงทุน

### กรอบแนวคิดการวิจัย

การพัฒนาสีทาอาคารผสมซิลิกาแอโรเจลที่มีประสิทธิภาพกันความร้อนได้ดีกว่าสีทาอาคารแบบปกติ และสีทาอาคารกันความร้อนแบบทั่วไป และมีความเป็นไปได้ในการใช้งานจริงและความคุ้มค่าเหมาะสมในการลงทุนเชิงพาณิชย์

### สมมติฐานการวิจัย

1. สีทาอาคารที่ผสมซิลิกาแอโรเจลมีประสิทธิภาพกันความร้อนดีกว่าสีทาอาคารกันความร้อนแบบทั่วไปที่ผสมเซรามิค
2. สีทาอาคารที่ผสมซิลิกาแอโรเจลมีประสิทธิภาพกันความร้อนดีกว่าสีทาอาคารกันความร้อนแบบทั่วไปที่ผสมเซรามิค

3. สีทาอาคารที่ผสมซิลิกาแอโรเจลมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการใช้งานจริง

### วิธีดำเนินการวิจัย

สร้างห้องตัวอย่างทดสอบจำนวน 3 ห้อง ขนาด  $1.0 \times 1.0 \times 1.0$  เมตร (ภาพ 2) โดยโครงสร้างหลักเป็นเหล็กและกรุผนังซีเมนต์บอร์ดเสริมฉนวนกันความร้อน 4 ด้าน เพื่อป้องกันความร้อนและกำหนดให้ความร้อนถ่ายเททางด้านผนังที่ทำสีสำหรับทดสอบด้านเดียว เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของสีทาอาคารที่ผสมซิลิกาแอโรเจลเปรียบเทียบกับสีทาอาคารกันความร้อนแบบทั่วไปและสีทาอาคารแบบปกติ โดยตั้งอยู่บริเวณข้างอาคาร 12 ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม การทาสีทั้ง 3 ประเภท จะทำตามมาตรฐานการก่อสร้าง คือ ทาสีรองพื้น 1 รอบ และทาสีจริง 2 รอบ เครื่องมือวิจัยได้ทำการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ และความเข้มแสงอาทิตย์อัตโนมัติโดยใช้เครื่องมือตรวจวัดยี่ห้อ Vernier รุ่น Labquest2 (ภาพ 3-6)

### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. สีทาอาคารแบบปกติทั่วไปมาตรฐาน มอก. 2321-2549 สีทาอาคารแบบกันความร้อนและซิลิกาแอโรเจล
2. บ้านกล่องตัวอย่างขนาด  $1.0 \times 1.0 \times 1.0$  เมตร จำนวน 3 กล่อง ดังแสดงในภาพ 2

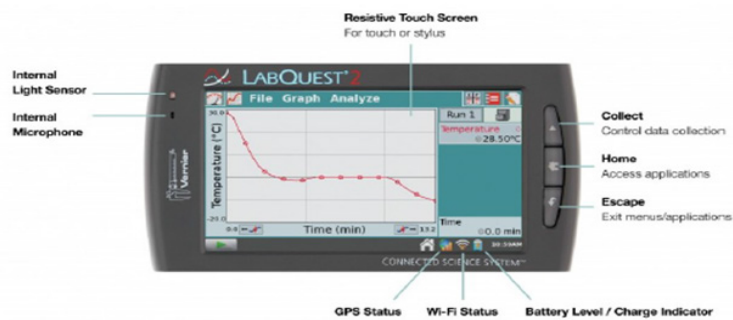




ภาพ 2 บ้านกล่องตัวอย่างสำหรับทดสอบ

3. เครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติใช้สำหรับเก็บข้อมูล อุณหภูมิตลอด 24 ชั่วโมง ยี่ห้อ Vernier รุ่น LabQuest2 (range -50 to 150 °C, accuracy  $\pm 0.2$  °C, resolution 0.07 °C) แสดงดังภาพ 3 ซึ่งการสำรวจจะพิจารณาข้อมูลในช่วง กลางวันมาวิเคราะห์สำหรับการแสดงผล และอุปกรณ์วัดค่า ต่าง ๆ คือ อุณหภูมิภายนอกและภายในบ้านกล่องตัวอย่าง

(range -40 to 135 °C, accuracy  $\pm 0.2$  °C, resolution 0.03 °C) ตามภาพ 4 อุณหภูมิที่ผิวผนังภายนอกและภายใน บ้านกล่อง (Range -25 to 125 °C, Accuracy  $\pm 0.2$  °C, Resolution 0.03 °C) ตามภาพ 5 ตัวอย่าง และความเข้ม แสงอาทิตย์ (range 0 to 1100 watts/m<sup>2</sup>, accuracy  $\pm 5\%$ , resolution 0.3 watts/m<sup>2</sup>) ตามภาพ 6



ภาพ 3 เครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ ยี่ห้อ Vernier รุ่น LabQuest2



ภาพ 4 เครื่องมือวัดอุณหภูมิภายนอกและภายใน (stainless steel temperature probe)



ภาพ 5 เครื่องมือวัดอุณหภูมิผิวผนัง (surface temperature probe)



ภาพ 6 เครื่องมือวัดความเข้มแสงอาทิตย์ (pyranometer)

### การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บข้อมูลจะสำรวจข้อมูลอุณหภูมิภายในและภายนอกบ้านห้องตัวอย่างทั้ง 3 ห้อง โดยติดตั้งเครื่องทดสอบดังแสดงในภาพ 7 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการกันความร้อนของสีทาอาคารที่ผสมซิลิกาแอโรเจล เปรียบเทียบกับสีทาอาคารกันความร้อนแบบทั่วไปและสีทาอาคารแบบปกติ โดยตัวอย่างสีทาอาคารที่ผสมซิลิกาแอโรเจลจะกำหนดสัดส่วนที่ผสมร้อยละ 0.5, 1.5 และ 2.5 ของน้ำหนักสีโดยผสมกับสีทาอาคารแบบปกติ การกำหนดสัดส่วนดังกล่าวอันเนื่องมาจากต้นทุนซิลิกาแอโรเจลที่ค่อนข้างสูงมากและการผสมสัดส่วนที่มากจะทำให้เนื้อสีมีความข้นมากจนไม่สามารถใช้งานทาได้สะดวก การเตรียมตัวอย่างสีสำหรับทดสอบสามารถแสดงในภาพ 8 การทดสอบจะทาสีที่ผสมซิลิกาแอโรเจลตามสัดส่วนที่กำหนดไว้ เปรียบเทียบกับสีทาอาคารกันความร้อนทั่วไปที่นิยมใช้งาน (สีผสมเซรามิก) และสีทา

อาคารแบบปกติเป็น สีน้ำอะคริลิกสำหรับทาภายนอกและภายในระดับมาตรฐานทั่วไป โดยทาสีที่ผนังห้องทดสอบ 1 ด้านต่อห้องโดยมีขนาด 1.0x1.0 เมตรโดยประมาณ ทาสีตัวอย่าง 2 รอบต่อด้าน ตามมาตรฐานการก่อสร้างในประเทศไทย และหันหน้าขึ้นด้านบนฟ้าเพื่อรับแสงอาทิตย์ในแนวตั้งฉากมากที่สุดและทิศทางเดียวกันทั้ง 3 ห้องทดสอบ ผนังที่เหลื่อและหลังคาของห้องทดสอบจะกรุด้วยผนังเบาและเสริมฉนวนกันความร้อนเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในห้องทดสอบจากผนังที่ไม่ได้ทาสีตัวอย่าง โดยให้ความร้อนถ่ายเทผ่านเข้าห้องทดสอบเกิดจากด้านที่ทาสีเพียงด้านเดียว การเก็บข้อมูลเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ผิวผนังภายนอก ผิวผนังภายใน และอุณหภูมิภายในห้องตัวอย่างทดสอบ การสำรวจข้อมูลแต่ละสัดส่วนซิลิกาแอโรเจล จะเก็บข้อมูลช่วงละ 3 วันตลอด 24 ชั่วโมงเพื่อนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยต่อไป



ภาพ 7 การติดตั้งเครื่องมือสำรวจข้อมูล



ภาพ 8 การผสมซิลิกาแอรโรเจลในสีทาอาคาร

### การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่สำรวจได้มาวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของห้องตัวอย่างที่ทำสีผสมซิลิกาแอรโรเจลในแต่ละสัดส่วนเพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องทดสอบ จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่สำรวจสำหรับการวิเคราะห์จะสำรวจในแต่ละสัดส่วนของซิลิกาแอรโรเจลโดยระยะเวลาสำรวจ 3 วันต่อสัดส่วนโดยการเก็บข้อมูลตลอด 24 ชั่วโมง โดยนำอุณหภูมิช่วงเวลา 9.00-16.00 น. มาเฉลี่ยอัตราการถ่ายเทความร้อนและภาพถ่ายความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณผิวผนังที่

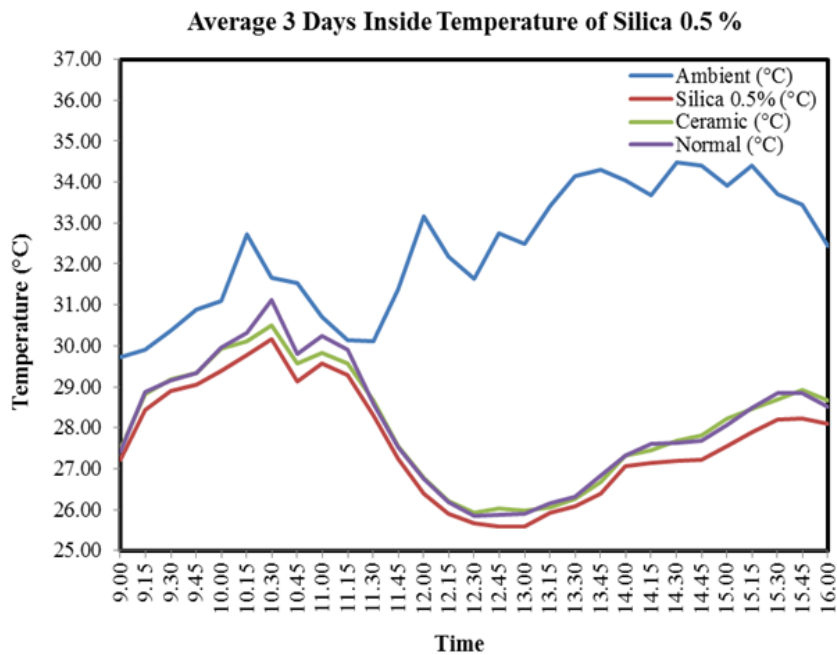
ทดสอบจากนั้นสรุปผลการทดลองสำหรับบ้านกล่องตัวอย่างแล้วทำการประเมินสัดส่วนผสมของซิลิกาแอรโรเจลที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพการกันความร้อน การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการใช้งานจริงและความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อความเหมาะสมกับการใช้งานจริงและเชิงพาณิชย์ในด้านต้นทุนการผลิตสีทาอาคารที่ผสมซิลิกาแอรโรเจลและความคุ้มค่าในการลงทุน



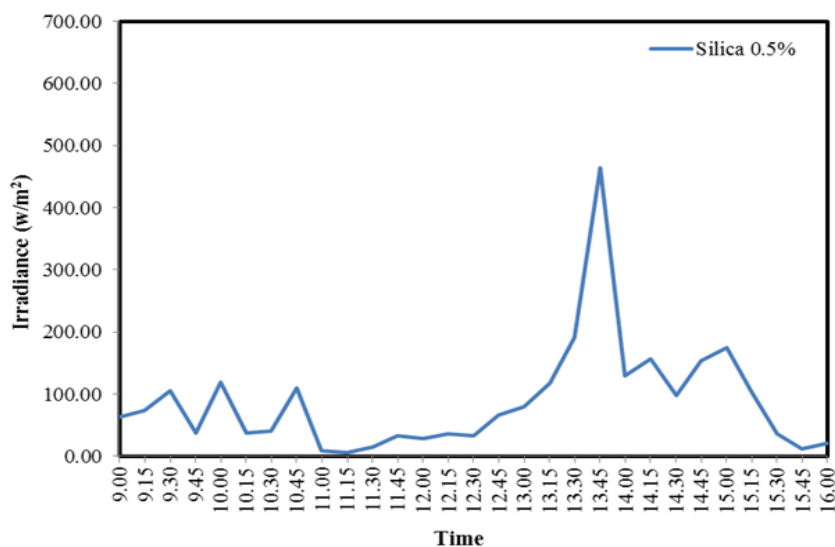
## ผลการวิจัย

1. จากผลการวิจัยประสิทธิภาพกันความร้อนโดยความสามารถในการลดอุณหภูมิภายในห้องพบว่า ห้องตัวอย่างที่ใช้สีทาผสมซิลิกาแอโรเจลร้อยละ 0.5 มีอุณหภูมิภายในเฉลี่ย 30.16 องศาเซลเซียส สีทาอาคารกันความร้อนแบบ

ทั่วไปมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ย 30.49 องศาเซลเซียส และสีทาอาคารแบบปกติมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ย 31.11 องศาเซลเซียส อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ย 34.49 องศาเซลเซียส และค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ย  $463.85 \text{ W/m}^2$  (ภาพ 9 และ 10)



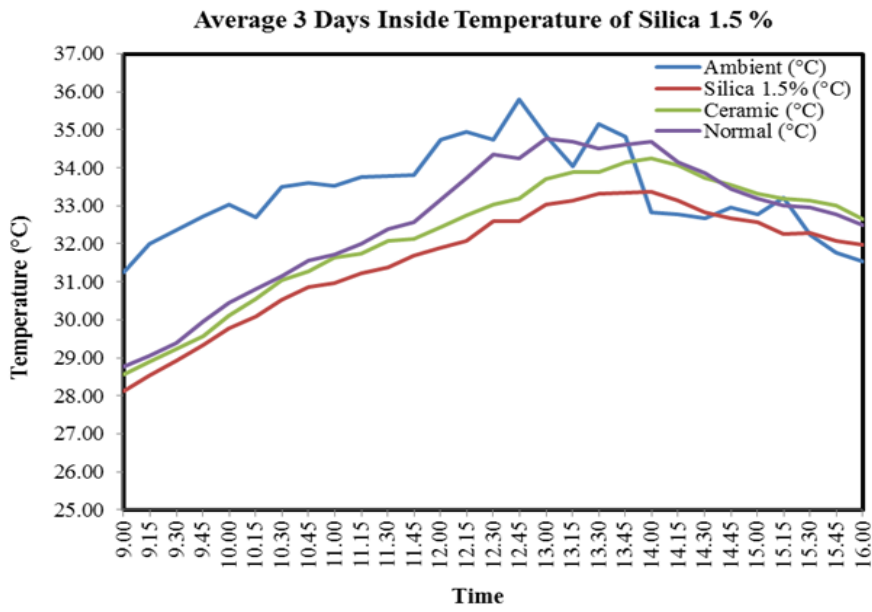
ภาพ 9 การเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องตัวอย่างที่ใช้สีทาผสมซิลิกาแอโรเจลร้อยละ 0.5 สีทาอาคารกันความร้อนแบบทั่วไปและสีทาอาคารแบบปกติ



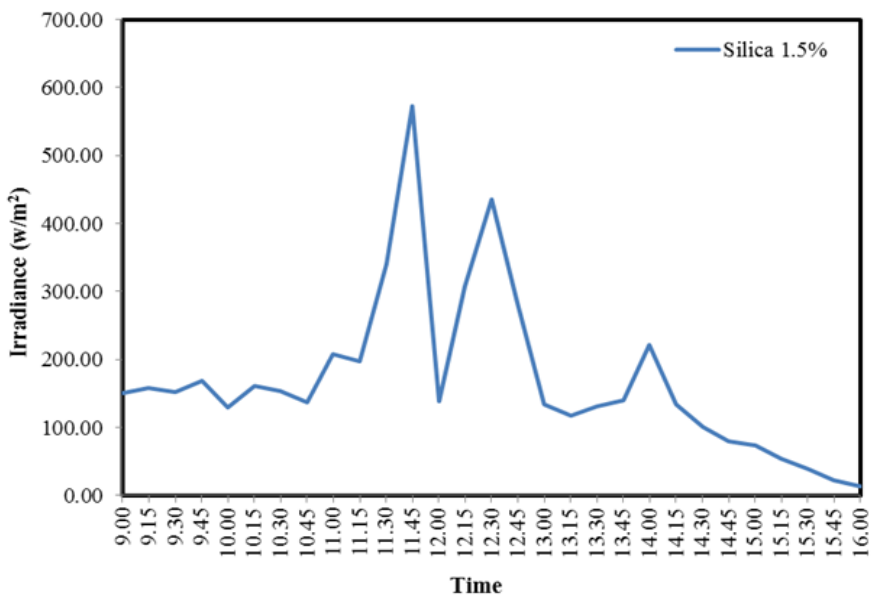
ภาพ 10 ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ระหว่างการเก็บข้อมูลสีทาผสมซิลิกาแอโรเจลร้อยละ 0.5

2. ห้องตัวอย่างที่ใช้สีทาผสมซิลิกาแอโรเจลร้อยละ 1.5 มีอุณหภูมิภายในเฉลี่ย 33.38 องศาเซลเซียส สีทาอาคารกันความร้อนแบบทั่วไปมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ย 34.25 องศาเซลเซียส และสีทาอาคารแบบปกติมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ย

34.76 องศาเซลเซียส ณ อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ย 35.80 องศาเซลเซียส และค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ย 572.08 W/m<sup>2</sup> (ภาพ 11 และ 12)



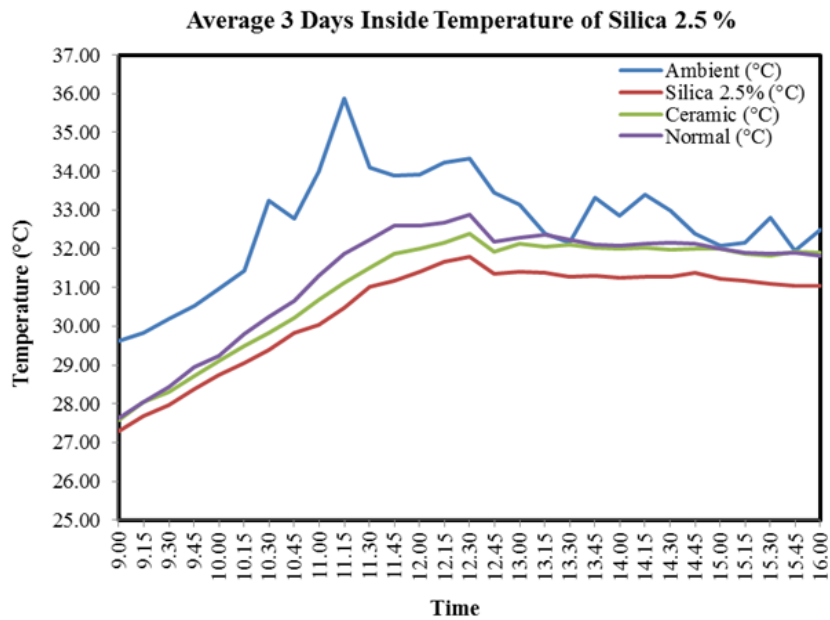
ภาพ 11 การเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องตัวอย่างที่ใช้สีทาผสมซิลิกาแอโรเจลร้อยละ 1.5 สีทาอาคารกันความร้อนแบบทั่วไปและสีทาอาคารแบบปกติ



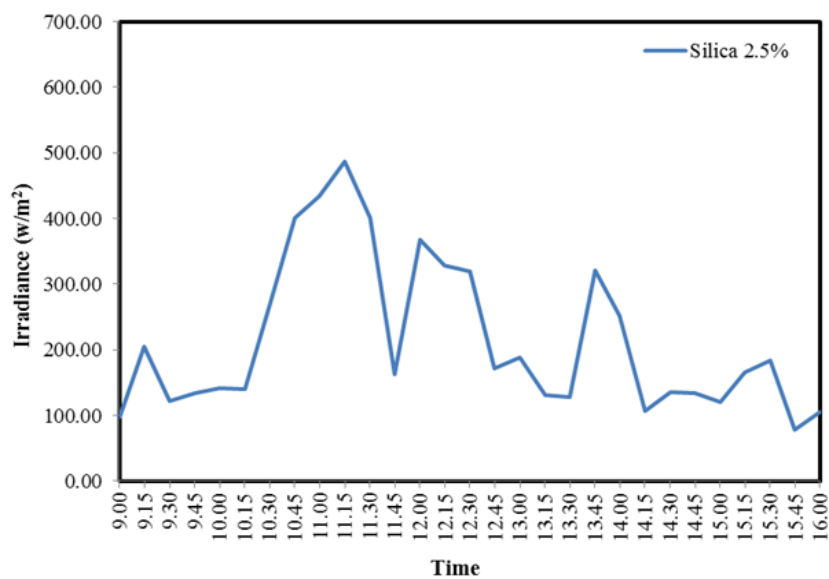
ภาพ 12 ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ระหว่างการเก็บข้อมูลสีทาผสมซิลิกาแอโรเจลร้อยละ 1.5

3. ห้องตัวอย่างที่ใช้สีทาผสมซิลิกาแอโรเจลร้อยละ 2.5 มีอุณหภูมิภายในเฉลี่ย 31.79 องศาเซลเซียส สีทาอาคารกันความร้อนแบบทั่วไปมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ย 32.38 องศาเซลเซียส และสีทาอาคารแบบปกติมีอุณหภูมิภายใน

เฉลี่ย 32.87 องศาเซลเซียส ณ อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ย 35.87 องศาเซลเซียส และค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ย 486.42 W/m<sup>2</sup> (ภาพ 13 และ 14)



ภาพ 13 การเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องตัวอย่างที่ใช้สีทาผสมซิลิกาแอโรเจลร้อยละ 2.5 สีทาอาคารกันความร้อนแบบทั่วไปและสีทาอาคารแบบปกติ



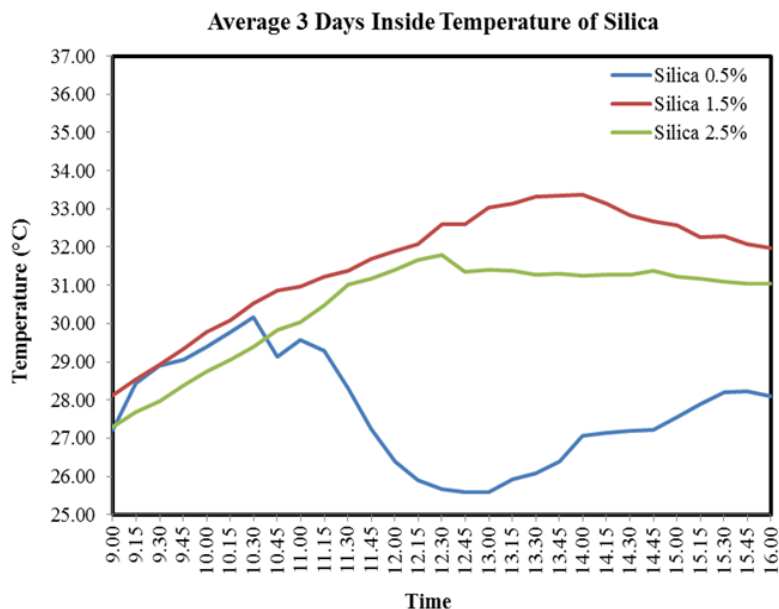
ภาพ 14 ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ระหว่างการเก็บข้อมูลสีทาผสมซิลิกาแอโรเจลร้อยละ 2.5

## การอภิปรายผล

1. สีที่ใช้ทดสอบเป็นสีมาตรฐาน มอก. 2321-2549 ห้องตัวอย่างที่ใช้สีทาผสมซิลิกาแอโรเจลร้อยละ 0.5 มีอุณหภูมิภายในต่ำที่สุด ต่ำกว่าสีทาอาคารกันความร้อนแบบทั่วไปที่ผสมเซรามิก 0.34 องศาเซลเซียส ต่ำกว่าสีทาอาคารแบบปกติ 0.95 องศาเซลเซียส และต่ำกว่าอุณหภูมิภายในห้องและกันความร้อนได้ดีที่สุดเนื่องจากคุณสมบัติการนำความร้อนที่ต่ำมากของซิลิกาแอโรเจลที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกันความร้อนและปริมาณซิลิกาการแอโรเจลที่เหมาะสมไม่มากเกินไปทำให้ความสามารถกันความร้อนมีประสิทธิภาพดีที่สุด

2. เมื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการลงทุนของสีทาอาคารที่ผสมซิลิกาแอโรเจลร้อยละ 0.5 ซึ่งใช้ซิลิกาแอโรเจลผสมในราคา 2 บาทต่อกรัมต่อตารางเมตร หรือ 10 บาทต่อตารางเมตร รวมแล้วมีราคา 87 บาทต่อตารางเมตร ซึ่งถูกกว่าการใช้สีทาอาคารกันความร้อนแบบทั่วไปที่มีราคา 114 บาทต่อตารางเมตร จึงมีความคุ้มค่าในการลงทุน (ภาพ 15)

3. ผลลัพธ์สีทาอาคารที่ผสมซิลิกาแอโรเจลจากงานวิจัยนี้ (ภาพ 16) สามารถนำไปใช้ทาอาคารทั่วไปเพื่อลดอุณหภูมิภายในห้องทำให้ประหยัดค่าไฟจากการใช้งานเครื่องปรับอากาศ และมีราคาถูกกว่าสีทาอาคารกันความร้อนทั่วไป (สีผสมเซรามิก) อีกด้วย



ภาพ 15 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในของสีทาอาคารที่ผสมซิลิกาแอโรเจลในอัตราส่วนที่ต่างกัน



ภาพ 16 สีทาผสมซิลิกาแอโรเจล (CRU Cool)

## ข้อเสนอแนะ

การศึกษาในอนาคตควรมีการพัฒนากระบวนการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมเพื่อการลดต้นทุนของสีทาอาคารที่ผสมซิลิกาแอรโอเจลซึ่งจะสามารถลดต้นทุนที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ และการพัฒนาโชนสีที่หลากหลาย

มากขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค งานวิจัยได้รับการสนับสนุนจากทุนวิจัยงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 ของมหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม



## References

- Jongsuwanpaisan, T. (2009). Rice-husk silica dehumidifying wall unit. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies*, 6(1), 49-63.
- Worathanakul, P. (2010). Sol-gel. *Technology Bio*, 36(209), 39-43.
- Antonaia, A., Ascione, F., Castaldo, A., D'Angelo, A., Rosa, F., Ferrara, M., ..., & Vitiello, G. (2016). Cool materials for reducing summer energy consumptions in Mediterranean Climate: In-lab experiments and numerical analysis of a new coating based on acrylic paint. *Applied Thermal Engineering*, 102(1), 91-107.
- Bozsaky, D. (2015). Laboratory tests with liquid nano-ceramic thermal insulation coating. *Procedia Engineering*, 123(1), 68-75.
- Jeong, S.G., Chang, Seong J., Wi, S., Kang, Y., & Kim, S. (2016). Development and performance evaluation of heat storage paint with MPCM for applying roof materials as basic research. *Energy and Buildings*, 112(1), 62-68.
- Mariappan, T., Agarwal, A., & Ray, S. (2017). Influence of titanium dioxide on the thermal insulation of waterborne intumescent fire protective paints to structural steel. *Progress in Organic Coatings*, 111(1), 67-74.
- Yodyingyong, S. (2017). Method of preparing a spherical silica aerogel. *13th Taipei international invention show & technomart* (pp. 9-10). Taipei: Taiwan External Trade Development Council.
- De Masia, R.F., Ruggieroa, S., & Vanoli, G.P. (2018). Acrylic white paint of industrial sector for cool roofing application: Experimental investigation of summer behavior and aging problem under Mediterranean Climate. *Solar Energy*, 169(1), 468-487.

