

วัสดุกันความร้อนผ้าเพดานจากวัสดุเชิงประกอบนาโน ระหว่างดินขาวตามธรรมชาติและคาร์บอน Natural Kaolin/Carbon Nanocomposites for Ceiling Insulation Material

นิภาพรรณ กุลสุวรรณ* และบรรพต กุลสุวรรณ

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
ถนนมาลัยแมน อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม 73140

อภิสิทธิ์ชัย เอียดเอื้อ

วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

Nipawan Kunsuwan* and Bunpoat Kunsuwan

Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus,
Malaiman Road, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom 73140

Apiluck Eiad-ua

College of Nanotechnology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Chalong Krung Road, Ladkrabang, Bangkok 10520

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการพัฒนาวัสดุเชิงประกอบนาโนระหว่างดินขาวตามธรรมชาติและคาร์บอน (natural kaolin/carbon nanocomposite) เพื่อเป็นฉนวนกันความร้อนภายในอาคารสำหรับงานผ้าเพดาน โดยใช้ดินขาวจากแหล่งธรรมชาติและคาร์บอนจากดอกธูปฤๅษีที่สังเคราะห์มาจากวิธีไฮโดรเทอร์มอล โดยการเพิ่มสัดส่วนของคาร์บอนเป็นปริมาณตั้งแต่ร้อยละ 1-10 โดยน้ำหนัก ส่วนผสมละ 2 ตัวอย่าง วัสดุเชิงประกอบนาโนระหว่างดินขาวและคาร์บอนสามารถสังเคราะห์ได้ง่ายด้วยวิธีการหล่อเจล ขึ้นรูปด้วยขนาด $10 \times 10 \times 0.5$ ซม.³ จากนั้นทดสอบหาค่าความหนาแน่น การกันความร้อน การไม่ลามไฟ รวมทั้งทดสอบการรับแรงกดแตกและการดูดซึมน้ำ ผลการวิจัยพบว่าวัสดุตามสัดส่วนนี้ โดยภาพรวมมีสมบัติไม่ลามไฟ สามารถรับแรงกดแตกเฉลี่ยได้ในช่วง 202-350 นิวตัน มีความหนาแน่นเฉลี่ยตั้งแต่ 1.327-1.449 กรัม/ซม.³ (ตามสัดส่วนคาร์บอนที่ลดลง) สามารถกันความร้อนได้ดี โดยส่วนผสมที่มีคาร์บอนเป็นสัดส่วนร้อยละ 8-10 โดยน้ำหนัก จะสามารถกันความร้อนได้ดีที่สุดถึงร้อยละ 30 เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่เป็นดินขาวบริสุทธิ์ แต่ไม่เข้าข่ายเป็นผลิตภัณฑ์ประเภททนความร้อน ดังนั้นผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ในการพัฒนาวัสดุเชิงประกอบนาโนระหว่างดินขาวและคาร์บอน ให้เป็นฉนวนกันความร้อนสำหรับงานภายในอาคาร

คำสำคัญ : ดินขาว; คาร์บอน; วัสดุเชิงประกอบนาโน; ฉนวนกันความร้อนฝ้าเพดาน

Abstract

This research aimed to study the feasibility of developing the natural kaolin/carbon nanocomposites for ceiling insulation. Kaolin was obtained from natural resource and carbon was obtained from *Typha angustifolia* flower via hydrothermal method. A mixture of two composite samples was prepared by increasing the proportion of the carbon content ranging from 1-10 percent by weight. Kaolin/Carbon nanocomposites were successfully synthesized using gel casting method and molded the size of $10 \times 10 \times 0.5 \text{ cm}^3$. The engineering properties which were tested included density, insulation, fire retardant, breaking load and water absorption. The results showed that the new material was a fire retardant material, the breaking loads were averaged with the range of 202-350 newton and the densities were averaged among $1.327\text{-}1.449 \text{ g/cm}^3$ (with the decreasing of carbon ratio). It was found that the efficiency of this nanocomposite material was very high for insulation. In addition, the samples with the carbon ratio of 8-10 percent by weight were the most effective used for insulation by more than 30 percent comparing to the non-carbon material. However, it could not be used as a moisture resistance material. As a result, it could be said that a new nanocomposite material was introduced for ceiling insulation.

Keywords: kaolin; carbon; nanocomposite material; ceiling insulation

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาโลกร้อนได้ทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น และมีแนวโน้มที่อุณหภูมิของโลกจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอย่างไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ ความร้อนในบ้านส่วนใหญ่มาจากหลังคา ดังนั้นการแก้ปัญหาบ้านร้อนควรเริ่มที่หลังคา ก่อน ด้วยเหตุนี้ฉนวนกันความร้อนจึงถูกนำมาใช้เป็นแผ่นรองใต้หลังคาบ้านเพื่อ กันความร้อน แต่เนื่องจากยังมีราคาแพงและอันตรายเนื่องจากเป็นฉนวนใยแก้ว การใช้วัสดุช่วยลดโลกร้อนจากวัสดุธรรมชาติเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ และจากการศึกษาพบว่าคาร์บอนมีสมบัติเป็นตัวดูดซับและ กันความร้อนได้ดี งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการนำ

คาร์บอนที่มาจากวัสดุธรรมชาติ คือ ดอกธูปฤาษี ซึ่งเป็นวัชพืชที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว มาปรับเปลี่ยนโครงสร้างทางกายภาพและทางเคมี เพื่อเป็นวัสดุดูดซับและกันความร้อนได้ นอกจากนั้นยังเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดการแพร่พันธุ์ของธูปฤาษีได้

อนึ่ง การประยุกต์ใช้วัสดุเชิงประกอบนาโน (nanocomposite material) เพื่อเป็นส่วนประกอบต่าง ๆ ได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นไม่ว่าจะเป็นเซนเซอร์ (sensor) การเร่งปฏิกิริยา (catalysis) ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (microelectronic) และเซรามิก (ceramic) [1-4] ดินขาวเป็นวัสดุเซรามิกอีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ ประกอบด้วยแร่คาโอลิไนต์ (kaolinite) ซึ่งเป็นแร่กลุ่มไฮเดรตอะลูมิโนซิลิเกต (hydrated aluminosilicate)

silicate) โดยมีสูตรโครงสร้างทางเคมีทั่วไปเป็น $[(OH)_4Al_2Si_2O_5]$ ซึ่งมีโครงสร้างแบบไตรคลินิก (triclinic) เกิดจากการจับตัวกันของแผ่นซิลิกาที่มีโครงสร้างแบบเตตระฮีดรอล (tetrahedral) วางตัวซ้อนกับแผ่นอะลูมินาที่มีโครงสร้างแบบออกตะฮีดรอล (octahedral) ใน อัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยเมื่อนำไปตรวจสอบธาตุและสารประกอบภายในดินขาวนั้นจะพบอัตราส่วนซิลิกา (SiO_2) ประมาณ 46 เปอร์เซ็นต์ และอะลูมินา (Al_2O_3) ประมาณ 43 เปอร์เซ็นต์ [5] โดยดินขาวสามารถพบได้หลากหลายในพื้นที่ของประเทศไทย โดยส่วนใหญ่จะพบที่อำเภอแจ้ห่ม จังหวัดลำปาง บริเวณดอยสุเทพ จังหวัดเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดปราจีนบุรี อำเภอแกลง จังหวัดระยอง อำเภอบางละมุงและอำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี อำเภอนาสาร จังหวัดสุราษฎร์ธานี จังหวัดระนอง จังหวัดอุดรดิตถ์ และจังหวัดราชบุรี เป็นต้น [6] ซึ่งเกิดขึ้นใหม่สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ คอนกรีต พลาสติก ยาง และสี [7] สำหรับคาร์บอนจากดอกธูปฤาษีที่สังเคราะห์มาจากวิธีไฮโดรเทอร์มอล (hydrothermal method) [8] และคาร์บอนไนเซชัน (carbonization) [9] นี้ให้สมบัติที่มีความสามารถในการใช้งานได้หลากหลาย เช่น เทคโนโลยีทางด้านการดูดซับ (adsorption technology) เซนเซอร์ (sensor) ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) และอิเล็กโทรด (electrode) [10] เป็นต้น

กล่าวโดยทั่วไป คือ ผนวกรวมสำหรับงานในอาคารนั้นเป็นวัสดุประเภทกันความร้อนเพื่อช่วยลดความร้อนที่ถ่ายเทจากการนำ การพา และการแผ่รังสีความร้อน สำหรับการศึกษาครั้งนี้ได้พิจารณาถึงความเป็นไปได้ของการพัฒนาวัสดุเชิงประกอบนาโนระหว่างดินขาวตามธรรมชาติและคาร์บอน (natural kaolin/carbon nanocomposite) ซึ่งเป็นงานในส่วนของวิศวกรรมวัสดุ ไปประยุกต์ใช้กับงานทางด้านวิศวกรรมโยธา โดย

คาดว่าจะเป็วัสดุที่มีสมบัติเชิงกลสูง กันผิวกันน้ำได้ และ เป็นวัสดุที่กันความร้อนได้ดี ผู้วิจัยได้พัฒนาวัสดุดังกล่าวเพื่อเป็นผนวกรวมกันความร้อนภายในอาคารสำหรับงานฝ้าเพดาน ซึ่งนอกจากได้มีการศึกษาสมบัติกันความร้อนแล้ว ยังมีการทดสอบการลามไฟ และสมบัติทางวิศวกรรมอื่น ๆ ด้วยเช่นกัน

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัตถุดิบ

งานวิจัยนี้มีวัตถุดิบ 2 ส่วนหลัก คือ ดอกธูปฤาษีและดินขาวตามธรรมชาติ โดยที่ดอกธูปฤาษีนั้นจะมีการแปรรูปเป็นผงคาร์บอน วิธีการเริ่มจากนำดอกธูปฤาษีไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล ในเตาอบ (in absence of air) ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อให้ได้เส้นใยคาร์บอน แล้วจึงนำมาบดจนมีลักษณะเป็นผงคาร์บอน สำหรับดินขาวธรรมชาติที่ใช้ เป็นดินขาว อำเภอแจ้ห่ม จังหวัดลำปาง ซึ่งมีลักษณะเป็นก้อนใหญ่ขนาดบั้ง จึงจำเป็นต้องนำมาบดหยาบและบดละเอียดด้วยเครื่องทดสอบการสึกกร่อนจากการเสียดสีลออสแอนเจลิส (Los Angeles abrasion machine) จากนั้นร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 100 จะได้ดินขาวที่มีความละเอียด สามารถผสมแล้วขึ้นรูปได้ วัตถุดิบหลักทั้ง 2 นี้สามารถเตรียมครั้งเดียวกันและใช้ได้ตลอดงานวิจัย แต่จะมีอัตราส่วนผสมที่ต่างกันทั้งสิ้น 8 แบบ ขึ้นรูปแบบละ 2 ตัวอย่าง โดยจะมีอัตราส่วนแสดงเป็นปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักระหว่างดินขาวต่อคาร์บอน ซึ่งมีการเพิ่มของอัตราส่วนของคาร์บอนโดยลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1

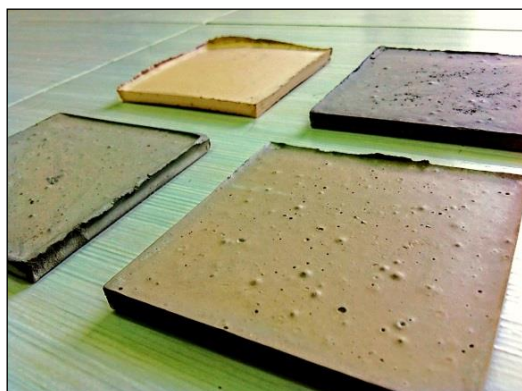
2.2 การเตรียมสารละลายที่ใช้ในการขึ้นรูป

แต่ละแบบของวัสดุตัวอย่าง ใช้สารละลายที่มีส่วนผสมของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้มข้น 10 โมลาร์ ปริมาณ 45 กรัม

และสารละลายโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) ปริมาณ 15 กรัม สำหรับการขึ้นรูปในแม่พิมพ์เทฟลอนขนาด $10 \times 10 \times 0.5$ เซนติเมตร³

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ระหว่างดินขาวธรรมชาติกับคาร์บอน จากดอกธูปฤาษี

ตัวอย่าง	ดินขาวธรรมชาติ : คาร์บอนจากดอกธูปฤาษี (อัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนัก)
1	100:0
2	99:1
3	97:3
4	96:4
5	94:6
6	93:7
7	92:8
8	90:10



รูปที่ 1 วัสดุตัวอย่าง (solidified green body)

2.3 การขึ้นรูปวัสดุตัวอย่าง

นำส่วนผสมทั้งหมดตามแต่ละอัตราส่วนเทลงในแม่แบบทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 1 ชั่วโมง แล้วจึงนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็น

เวลา 24 ชั่วโมง นำวัสดุตัวอย่างออกจากแม่แบบ ขั้นตอนสุดท้ายคือนำวัสดุตัวอย่างผ่านกระบวนการเผาในอากาศ (pyrolysis in air) ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่ต้องการ (solidified green body) วัสดุตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 1

2.4 การวิเคราะห์สมบัติทางโครงสร้างของวัสดุตัวอย่าง

เพื่อให้ทราบถึงลักษณะโครงสร้างทางกายภาพหรือสัณฐานวิทยาของวัสดุตัวอย่างวัสดุเชิงประกอบนาโนระหว่างดินขาวตามธรรมชาติและคาร์บอน (natural kaolin/carbon nanocomposite) นี้ ได้ใช้วิธีการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy, SEM) รุ่น Hitachi S-3400N ที่เรือนไข ZEISS, EVO MA10 กำลังขยาย 10,000 เท่า โดยตัวอย่างก่อนนำไปวัดจะต้องเคลือบทองด้วยเทคนิคสปัตเตอร์ (sputtering) ก่อนเพื่อทำให้เห็นภาพได้คมชัดมากยิ่งขึ้น เนื่องจากตัวอย่างไม่มีสมบัติในการนำไฟฟ้า

2.5 การทดสอบสมบัติทางวิศวกรรม

งานวิจัยนี้มีการศึกษาสมบัติเช่นเดียวกับแผ่นผ้าทั่วไปคือ การกันความร้อน ความหนาแน่น และ ไม่มีการติดไฟ นอกจากนี้ได้นำวิธีการตรวจสอบสมบัติบางคุณลักษณะเช่นเดียวกับแผ่นยิปซัม ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 219-2552) [9] คือ การรับแรงกดแตก และการดูดซึมน้ำซึ่งเป็นการทดสอบเฉพาะแผ่นยิปซัมประเภททนความชื้น มีวิธีการทดสอบดังนี้

2.5.1 การทดสอบการกันความร้อน

อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วย ตู้ประกอบแบบมีชั้นกันตรงกลางเพื่อวางวัสดุตัวอย่างสำหรับเป็นฉนวนกันความร้อน ชั้นบนถูกจำลองให้เป็นส่วนที่รับความร้อนโดยตรง ส่วนชั้นล่างถูกจำลองเป็นห้อง

ภายในอาคาร หลอดไฟส่องสว่าง (หลอดไส้ขนาด 40 วัตต์) เทอร์โมมิเตอร์ปรอท 2 ชุด สำหรับวัดอุณหภูมิอากาศส่วนที่เป็นตู้ชั้นบนและชั้นล่าง และ เทอร์โมมิเตอร์ดิจิตอล 2 ชุด สำหรับวัดอุณหภูมิที่ผิวบนและผิวล่างของวัสดุตัวอย่าง วิธีการทดสอบ คือ ติดตั้งวัสดุตัวอย่าง เทอร์โมมิเตอร์ปรอทและเทอร์โมมิเตอร์ดิจิตอลดังรูปที่ 2 ในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นเปิดไฟ ใช้ระยะเวลาในการทดสอบตัวอย่างละ 20 นาที บันทึกข้อมูล



รูปที่ 2 ห้องจำลอง (ตู้ทดสอบ) สำหรับทดสอบการกักความร้อน

2.5.2 การหาค่าความหนาแน่น

นำวัสดุตัวอย่างซึ่งที่อุณหภูมิห้อง แล้วหาปริมาตรของวัสดุตัวอย่างโดยใช้หลักการแทนที่ปรอทตามมาตรฐาน ASTM D 427-04 จากนั้นนำไปคำนวณหาค่าความหนาแน่น อุปกรณ์ประกอบด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล ปรอท และโมลเหล็กใส่ตัวอย่าง

2.5.3 ทดสอบการไม่ติดไฟ/การลามไฟ

เพื่อทดสอบว่าวัสดุตัวอย่างติดไฟหรือมีการลามไฟหรือไม่ โดยใช้เครื่องพ่นไฟพร้อมแท่นจับขึ้น

วัสดุตัวอย่าง ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 1300 ± 40 องศาเซลเซียส จับเวลา สังเกตดูลักษณะการติดไฟ/ลามไฟ

2.5.4 ทดสอบการรับแรงกดแตก

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความสามารถในการรับแรงกดของวัสดุตัวอย่าง ซึ่งนำวิธีการทดสอบแผ่นยิปซัม จากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 219-2552) มาเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องมือให้มีขนาดเหมาะสมสามารถนำมาทดสอบกับวัสดุตัวอย่างได้ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ทดสอบประกอบด้วย หัวกด ฐานรองวัสดุตัวอย่าง และเครื่องมือสำหรับการให้แรงกด วิธีการทดสอบคือ ให้แรงกดวัสดุตัวอย่างด้วยความเร็ว 5 มิลลิเมตรต่อวินาที บันทึกแรงกดที่ทำ

2.5.5 ทดสอบการดูดซึมน้ำ

วัตถุประสงค์ของการทดสอบนี้เพื่อหาอัตราการดูดซึมน้ำสัดส่วนโดยน้ำหนักของวัสดุตัวอย่างตามวิธีการทดสอบ มอก. 219-2552 โดยชั่งน้ำหนักแห้งของวัสดุตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิ 20 ± 2 องศาเซลเซียส ให้ระดับน้ำอยู่สูงกว่าผิวหน้าของแผ่นทดสอบ 25 - 35 มิลลิเมตร วางขึ้นทดสอบในแนวนอนโดยไม่สัมผัสกับส่วนล่างของภาชนะ ทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ± 2 นาที นำขึ้นทดสอบออกจากอ่างน้ำ เช็ดน้ำส่วนเกินออกจากผิวหน้าและขอบของชิ้นทดสอบ แล้วจึงชั่งน้ำหนักขึ้นทดสอบทันที คำนวณน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของชิ้นทดสอบเป็นร้อยละของน้ำหนักเริ่มต้น

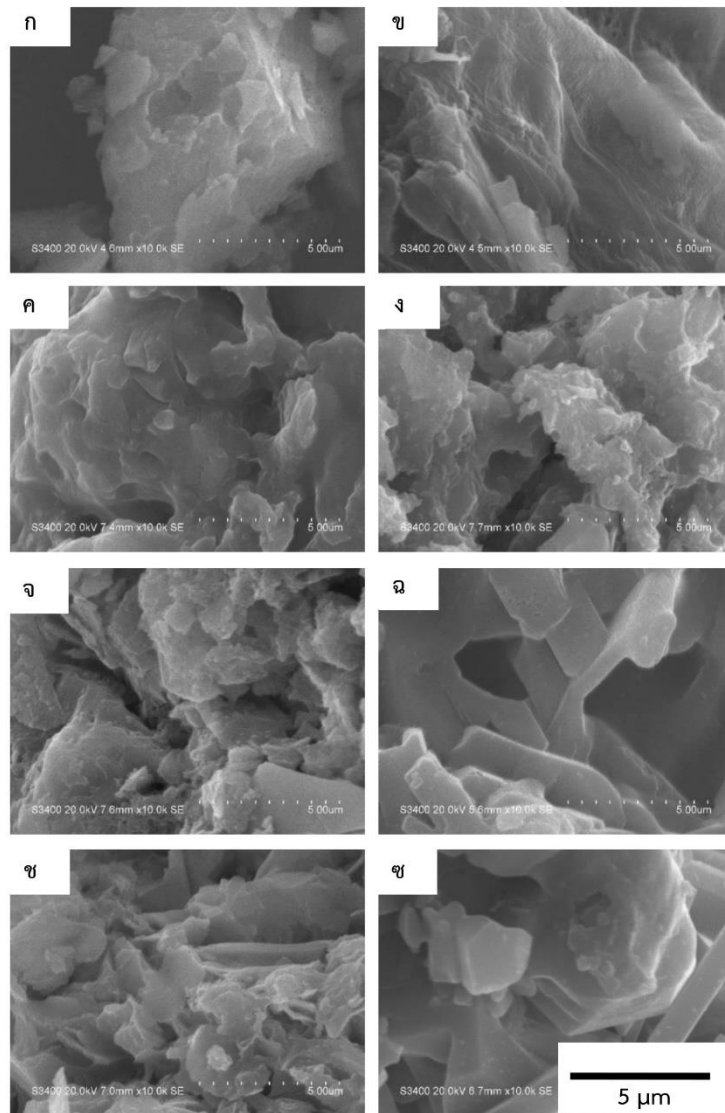
3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

ผลการวิจัยแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ผลจากการวิเคราะห์โครงสร้างและสมบัติของวัสดุตัวอย่าง และ ผลจากการทดสอบสมบัติทางวิศวกรรม

3.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางโครงสร้างของวัสดุตัวอย่าง

จากรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่าดินขาวบริสุทธิ์ในรูป 3ก มีลักษณะโครงสร้างเป็นแผ่น ๆ แต่เมื่อปริมาณคาร์บอนเพิ่มมากขึ้น จากรูป 3ข ถึง 3จ จะเห็นคาร์บอนแทรกตัวไปตามโครงสร้างของดินขาวมากขึ้น และรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ของวัสดุเชิงประกอบนาโนระหว่างดินขาวและคาร์บอนมากขึ้น ซึ่งทำให้ความหนาแน่นของโครงสร้างชิ้นงานลดลง ซึ่งจะ

ส่งผลต่อสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางเคมีของวัสดุตัวอย่าง [12] การที่จะแยกแยะเฟสใดเป็นดินขาว เฟสใดเป็นคาร์บอน ควรมีการใช้การวิเคราะห์ธาตุในเชิงปริมาณและคุณภาพ โดยเทคนิคการตรวจวัดรังสีเอ็กซ์ (energy dispersive X-ray spectrometer, EDX)



รูปที่ 3 โครงสร้างและสัณฐานวิทยาของวัสดุตัวอย่าง (ก) ตัวอย่างที่ 1 (ข) ตัวอย่างที่ 2 (ค) ตัวอย่างที่ 3 (ง) ตัวอย่างที่ 4 (จ) ตัวอย่างที่ 5 (ฉ) ตัวอย่างที่ 6 (ช) ตัวอย่างที่ 7 และ (ซ) ตัวอย่างที่ 8

3.2 ผลการทดสอบสมบัติทางวิศวกรรม

3.2.1 การกันความร้อน

ผลการวัดอุณหภูมิอากาศที่ชั้นบนและชั้นล่างของห้องจำลอง (ตู้ทดสอบ) แสดงดังตารางที่ 2 โดยมีการควบคุมอุณหภูมิในตู้ทดสอบ ณ เวลาเริ่มต้น

เท่ากับ 28 องศาเซลเซียส พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศที่ห้องชั้นบนและชั้นล่าง อยู่ในช่วง 28-90.75 องศาเซลเซียส และ 28-36 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และความต่างของอุณหภูมิที่ชั้นบนและชั้นล่าง อยู่ในช่วง 28.25-54.75 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 2 ข้อมูลอุณหภูมิที่วัดได้จากห้องจำลองของแต่ละตัวอย่าง

เวลา (นาทีก)	ตู้ทดสอบ	อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยของแต่ละตัวอย่าง วัดได้จากเทอร์โมมิเตอร์ปรอท (องศาเซลเซียส)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
0	บน	28	28	28	28	28	28	28	28
	ล่าง	28	28	28	28	28	28	28	28
	ผลต่าง	0	0	0	0	0	0	0	0
5	บน	58.00	60.00	61.25	61.75	58.00	58.25	65.75	66.50
	ล่าง	29.25	28.75	29.50	29.75	29.75	29.25	29.00	29.25
	ผลต่าง	28.75	31.25	31.75	32.00	28.25	29.00	36.75	37.25
10	บน	69.50	71.25	74.00	72.75	72.25	72.50	79.00	81.50
	ล่าง	30.25	30.75	31.75	31.75	31.75	31.25	31.50	31.50
	ผลต่าง	39.25	40.50	42.25	41.00	40.50	41.25	48.00	50.00
15	บน	74.50	77.00	79.50	80.25	79.25	79.75	86.50	88.00
	ล่าง	32.25	31.50	33.00	33.75	34.25	34.25	33.50	34.00
	ผลต่าง	42.25	45.50	46.75	46.50	45.00	45.50	53.00	54.00
20	บน	77.50	81.25	82.50	83.25	82.50	84.25	89.50	90.75
	ล่าง	33.00	32.50	34.75	34.75	35.75	35.50	35.50	36.00
	ผลต่าง	44.50	48.25	47.75	48.50	46.75	48.75	54.00	54.75

อย่างไรก็ดี เมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่เวลาต่างๆ แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ทดสอบแต่ละตัวอย่างมีความแตกต่างกันมาก ส่งผลให้ไม่สามารถนำข้อมูลอุณหภูมิอากาศที่วัดได้จากชั้นล่างของแต่ละตัวอย่าง มาเปรียบเทียบได้โดยตรง จึงต้องใช้ค่าความต่างของอุณหภูมิที่ชั้นบนและชั้นล่างมาวิเคราะห์แทน ผลแสดงดังรูปที่ 4

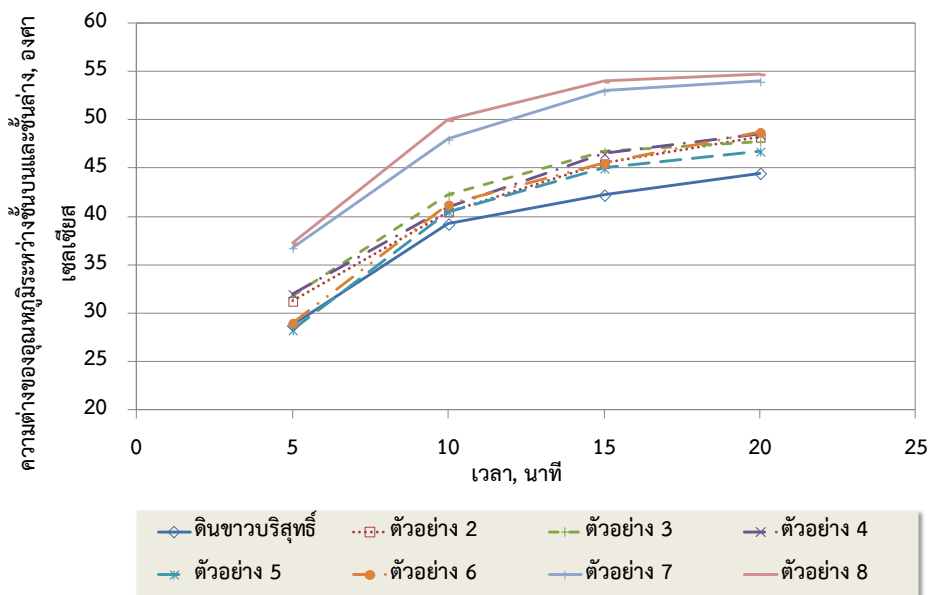
จากรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าวัสดุตัวอย่างที่มีส่วนผสมของคาร์บอนจะมีความสามารถในการกันความร้อนได้ดีกว่า ตัวอย่างที่เป็นดินขาวบริสุทธิ์ และ

ยังพบอีกว่าจากสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นของคาร์บอนในตัวอย่างที่ 7 และ 8 (ร้อยละ 8-10 โดยน้ำหนัก) เป็นสัดส่วนที่สามารถกันความร้อนได้ดีกว่าในตัวอย่างอื่นๆ แต่อย่างไรก็ดี ในตัวอย่างที่ 2 จนถึงตัวอย่างที่ 6 นั้นไม่สามารถสรุปได้ว่าความสามารถในการกันความร้อนจะแปรผันไปตามสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นของคาร์บอน (ในส่วนที่มีคาร์บอนเป็นส่วนผสมร้อยละ 1, 3, 4, 6 และ 7 โดยน้ำหนัก)

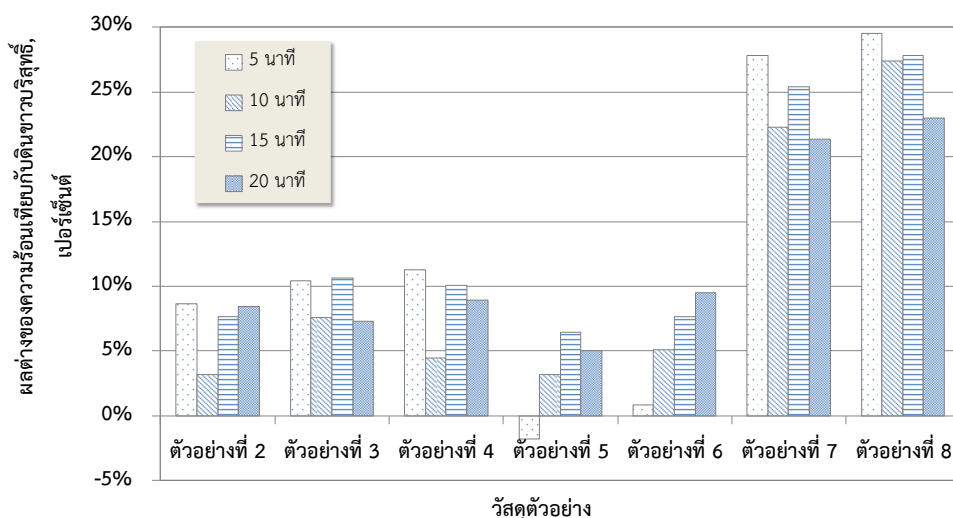
จากผลดังกล่าวข้างต้นนำมาวิเคราะห์ถึงความสามารถในการกันความร้อนของแต่ละตัวอย่าง

เทียบกับตัวอย่างที่เป็นดินขาวบริสุทธิ์ ดังรูปที่ 5 ผลปรากฏว่าโดยภาพรวมตัวอย่างที่ 2, 3 และ 4 สามารถกันความร้อนได้สูงกว่าในช่วงร้อยละ 5 ถึงร้อยละ 10 สำหรับ ตัวอย่างที่ 7 และ 8 สามารถกันความร้อนได้สูงกว่าตัวอย่างอื่น อยู่ในช่วงร้อยละ 22 ถึงร้อยละ 30 ในขณะที่ตัวอย่างที่ 5 และ 6 นั้น มีความสามารถในการ

การกันความร้อนได้ต่ำกว่าตัวอย่างอื่น จากการวิเคราะห์ด้วยข้อมูลดังกล่าวสอดคล้องกับผลที่แสดงในรูปที่ 4 กล่าวคือ คาร์บอนมีส่วนช่วยให้วัสดุสามารถกันความร้อนได้ แต่ความสามารถในการกันความร้อนไม่ได้เพิ่มขึ้นไปตามสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นของคาร์บอนในช่วงร้อยละ 1 ถึง 7 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4 ค่าความต่างของอุณหภูมิอากาศระหว่างชั้นบนและชั้นล่างของแต่ละตัวอย่าง



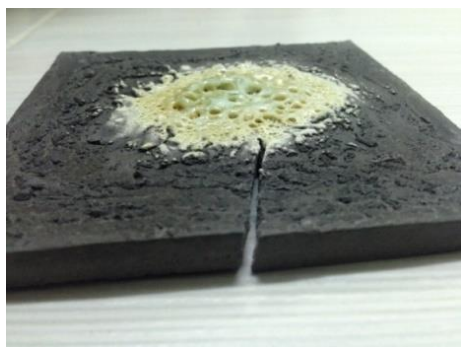
รูปที่ 5 ความต่างของอุณหภูมิระหว่างชั้นบนและชั้นล่างของแต่ละตัวอย่างเทียบกับตัวอย่างที่เป็นดินขาวบริสุทธิ์

3.2.2 ค่าความหนาแน่น

ความหนาแน่นเฉลี่ยของวัสดุตัวอย่างมีค่าอยู่ระหว่าง 1.327-1.526 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยที่วัสดุตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของคาร์บอนมากจะมีความหนาแน่นน้อยกว่า ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความหนาแน่นเฉลี่ยของวัสดุตัวอย่าง

ตัวอย่าง	1	2	3	4	5	6	7	8
ความหนาแน่นเฉลี่ย (กรัม/ซม. ³)	1.526	1.449	1.432	1.402	1.459	1.424	1.383	1.327



รูปที่ 6 ผลจากการทดสอบการไม่ติดไฟ/การลามไฟ

3.2.4 การรับแรงกดแตก

พฤติกรรมในการรับแรงกดของแต่ละส่วนผสม แบบละ 2 ตัวอย่างนั้น ทดสอบโดยพิจารณาที่ระยะยืดของวัสดุ ซึ่งจุดสุดท้ายคือแรงกดที่ทำให้วัสดุเกิดการแตกหัก โดยระยะยืดที่จุดแตกหักนี้จะไม่ใช่ระยะยืดสุดท้ายที่แท้จริง เป็นไปตามรูปที่ 7 (เช่น ส่วนผสมแบบที่ 1 มี 2 ตัวอย่าง คือ 1-1 และ 1-2) จะ

3.2.3 ผลจากการทดสอบการไม่ติดไฟ/การลามไฟ

จากผลการทดสอบพบว่าไม่เกิดการลามไฟแต่เกิดการหลอมละลายดังรูปที่ 6 หรืออาจกล่าวได้ว่าสามารถเป็นวัสดุที่ใช้ในอาคารได้เป็นอย่างดี

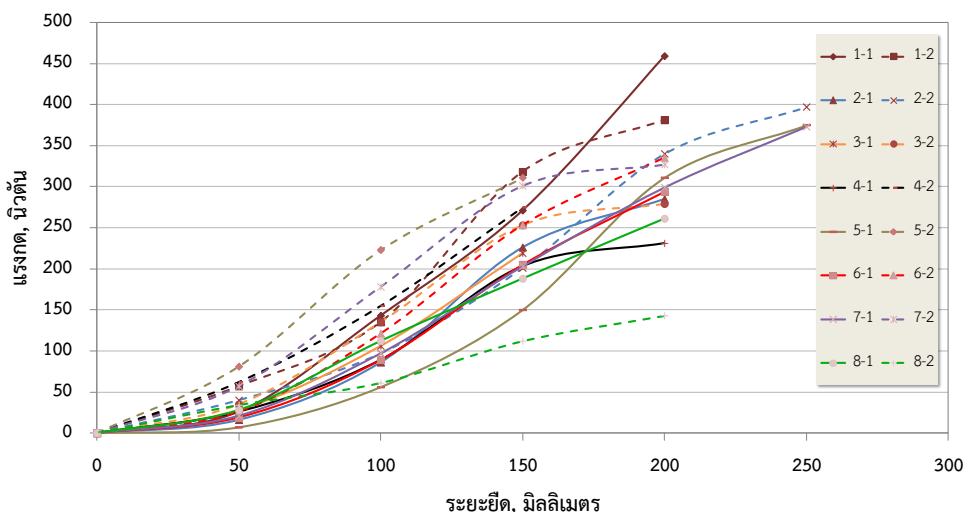
เห็นได้ว่า ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะยืดของแต่ละส่วนผสมมีแนวโน้มเป็นลักษณะที่สอดคล้องกับสมบัติเชิงกลของวัสดุ (mechanical properties of material) ด้านความแข็งแรง (strength) ดังนั้นจึงสามารถนำข้อมูลมาเปรียบเทียบถึงความแข็งแรงในการรับแรงกดแตกได้

อนึ่ง หากนำผลการทดสอบมาเทียบกับเคียงกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (แผ่นยิปซัม) ซึ่งมีการทดสอบที่ความหนา 6 มิลลิเมตร การรับแรงกดแตกตามยาว (400 มิลลิเมตร) และ ตามขวาง (300 มิลลิเมตร) ต้องไม่น้อยกว่า 222 นิวตัน และ 89 นิวตัน ตามลำดับ จะเห็นว่า วัสดุผสมที่ขึ้นรูปด้วยความหนา 5 มิลลิเมตร ความยาว 100 มิลลิเมตร โดยภาพรวมนั้นสามารถรับแรงกดแตกได้อยู่ในช่วง 140 นิวตัน ถึง 460 นิวตัน อาจกล่าวได้ว่าสามารถรับแรงกดแตกได้เป็นอย่างดี

นอกจากนี้หากพิจารณาเปรียบเทียบแรงกดแตก (ค่าแรงกดที่ทำให้วัสดุถึงจุดแตกหัก) ของแต่ละส่วนผสม พบว่า ดินขาวบริสุทธิ์ มีแรงกดแตกเฉลี่ย 420 นิวตัน ซึ่งสามารถรับแรงกดแตกได้สูงกว่าส่วนผสมอื่น ในขณะที่วัสดุตัวอย่างที่ 2 ถึง 8 นั้น มีแรงกดแตกเฉลี่ยดังนี้ 341, 249, 253, 343, 314.5, 350 และ 202 นิวตัน ตามลำดับ จะเห็นว่าตัวอย่างที่ 2, 5,

6 และ 7 นั้น มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนตัวอย่างที่ 3 และ 4 มีค่าไม่ต่างกันแต่มีค่าต่ำกว่า โดยที่ตัวอย่างที่ 8 นั้นมีค่าต่ำที่สุด จากผลดังกล่าวจึงไม่สามารถสรุปได้ถึง

ความสัมพันธ์ระหว่างการรับแรงกดแตกและการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนคาร์บอนโดยน้ำหนัก



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยัดและค่าเฉลี่ยการรับแรงกดของวัสดุที่ส่วนผสมต่าง ๆ

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยอัตราการดูดซึมน้ำโดยน้ำหนักของวัสดุตัวอย่าง

ตัวอย่าง	1	2	3	4	5	6	7	8
ค่าเฉลี่ยอัตราการดูดซึมน้ำโดยน้ำหนัก (ร้อยละ)	10.77	16.56	16.30	19.00	15.61	17.06	17.57	18.99

3.2.5 การดูดซึมน้ำ

วัสดุที่เป็นดินขาวบริสุทธิ์ มีอัตราการดูดซึมน้ำสัดส่วนโดยน้ำหนักเฉลี่ยร้อยละ 10.77 โดยที่วัสดุที่มีส่วนผสมของคาร์บอนจะมีค่าอัตราการดูดซึมน้ำสัดส่วนโดยน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 15.61 ถึงร้อยละ 19.00 ซึ่งข้อมูลนั้นไม่ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนคาร์บอนกับอัตราการดูดซึมน้ำอย่างชัดเจน แสดงดังตารางที่ 4

จากเกณฑ์ของแผ่นยิปซัมประเภทความชื้นซึ่งกำหนดว่า อัตราการดูดซึมน้ำสัดส่วนโดยน้ำหนักต้องไม่เกินร้อยละ 5 นั้น ผลสรุปว่าทุกชิ้น

ตัวอย่างไม่เข้าข่ายผลิตภัณฑ์ประเภทความชื้น

4. สรุป

วัสดุเชิงประกอบนาโนระหว่างดินขาวตามธรรมชาติและคาร์บอน (natural kaolin/carbon nanocomposite) ที่มีส่วนผสมของคาร์บอนจากดอกธูปฤๅษีทั้ง 7 สัดส่วนโดยน้ำหนักในนี้ จะมีความหนาแน่นที่น้อยลงตามสัดส่วนของคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น นอกจากจะเป็นวัสดุที่มีสมบัติไม่ลามไฟแล้วยังมีความสามารถในการกันความร้อนได้ดี ได้สูงกว่าวัสดุที่เป็นดินขาวบริสุทธิ์ กว่าร้อยละ 5 ถึง 30 โดยส่วนผสม

ที่มีคาร์บอนเป็นส่วนร้อยละ 8-10 โดยน้ำหนัก (ตัวอย่างที่ 7 และ 8) จะสามารถกันความร้อนได้ดีที่สุด และจากการนำข้อกำหนด มอก. 219-2552 มาเป็นแนวทางในการทดสอบนั้น สามารถสรุปได้ว่าวัสดุตัวอย่างนี้มีความแข็งแรงเทียบได้กับมาตรฐานแผ่นยิปซัม แต่ไม่ได้เป็นวัสดุกันความร้อนที่เข้าข่ายผลิตภัณฑ์ประเภททนความร้อน นอกจากนี้ยังไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนคาร์บอนกับความแข็งแรงและการดูดซึมน้ำแต่อย่างใด ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณร้อยละของคาร์บอนในช่วงต้นเป็นการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยโดยไม่มีนัยสำคัญต่อค่าความแข็งแรงและการดูดซึมน้ำ อย่างไรก็ตามก็เพื่อให้ได้สัดส่วนที่เหมาะสมของคาร์บอนที่เป็นส่วนผสมของดินขาวตามธรรมชาติและคาร์บอน วัสดุเชิงประกอบนาโน ควรทดลองตัวอย่างเพิ่มเติมโดยการเพิ่มสัดส่วนของคาร์บอน แล้วทดสอบการกันความร้อน การดูดซึมน้ำ และการรับแรงกดแตกอีกครั้ง ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุที่จะใช้เป็นผ้าเพดานควรจะเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักไม่มากนัก หากมีส่วนผสมของคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นจะมีน้ำหนักที่ลดลง ซึ่งจะต้องพิจารณาถึงสมบัติของการกันความร้อน การดูดซึมน้ำและการรับแรงกดแตกควบคู่ไปด้วย นอกจากนี้ควรจะมีการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของแต่ละส่วนผสม เพื่อจะได้พิจารณาถึงความคุ้มค่าอีกประการหนึ่ง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณดร.นาวันวิริยะเอี่ยมพิกุลสำนักงานกองทุนสนับสนุนวิจัย (สกว.) ที่ปรึกษาโครงการวิจัย เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน และวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับการทำ

วิจัย ขอขอบคุณผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามในที่นี้ซึ่งมีส่วนช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

6. รายการอ้างอิง

- [1] Serena, C., Elisa, P., Andrea, P. and Giacomo, R., 2015, Nanocomposites based on plastic polymers and functional nanofiller for sensor applications, Materials. 8: 3377-3427.
- [2] Fe, Y., Xiaorong, C., Lin, Y., Shengzhou, C. and Weiming, L., 2012, Synthesis and catalytic performance of PtRuMo nanoparticles supported on graphene-carbon nanotubes nanocomposites for methanol electro-oxidation, Int. J. Electrochem. Sci. 7: 1251-1265.
- [3] Tyagi, M. and Tyagi, D., 2014, Polymer nanocomposites and their applications in electronics industry, Int. J. Elec. Elec. Eng. 7: 603-608.
- [4] Clement, S., Beatriz, J., Philippe, B. and Michael, P., 2005, Application of hybrid organic and inorganic nanocomposites, J. Mater. Chem. 15: 3559-3592.
- [5] กรมทรัพยากรธรณี, ดินขาว, แหล่งที่มา : <http://www.dmr.go.th/download/document/minerals/clays.pdf> 29 มกราคม 2559.
- [6] นายวิรัชชัย ทอดเสียง, ดิน หิน แร่, แหล่งที่มา : <http://www.bwc.ac.th/e-learning/virachai/mineralborn.html>, 29 มกราคม 2559. [ออนไลน์.] จาก
- [7] ภาณุรุจ อัครวรฤทธิ, 2558, การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเป็นกรดสูงจากดินขาวตาม

- ธรรมชาติเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำมันชีวภาพ, ปริญญาณิพนธ์ปริญาตรี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, 99 น.
- [8] วชิราภรณ์ กันพุ่ม, 2557, เส้นใยนาโนคาร์บอนที่มีความไม่ชอบน้ำสูงด้วยกระบวนการไฮโดรเทอมัลคาร์บอนไนเซชันจากดอกกุหลาบเพื่อประยุกต์ใช้ในการดูดซับน้ำมัน, ปริญญาณิพนธ์ปริญาตรี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, 99 น.
- [9] Sevilla, M. and Fuertes, A.B., 2009, The production of carbon materials by hydrothermal carbonization of cellulose, Carbon 47: 2281-2289.
- [10] Charles, C.O., 2013, Nanocomposites: An overview, Int. J. Eng. Res. Develop. 8: 17-23.
- [11] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผ่นยิปซัม, 2552, มอก.219-2552, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ, 16 น.
- [12] Eiad-ua, A., Insuang, K., Changsuwan, S. and Viriya-empikul, N., 2014, Preparation of nanocomposite particles from *Typha angustifolia* and egg shells, Key Eng. Mater. 608: 68-72.