

พฤติกรรมการหดตัวและกำลังรับแรงอัดของอิฐดินเหนียวเมื่อผสมกากซีเมนต์

วรินทร์ บัญชาพัฒนศักดิ์¹⁾ วิรัช ทวีปรีดา^{2,5)} ธันวดี เตชะภัททวรกุล สุขสาโรจน์^{3,5)} และ ชัยศรี สุขสาโรจน์^{*4,5)}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการกำจัดกากซีเมนต์ซึ่งเป็นของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้น โดยนำมาผลิตเป็นวัสดุก่อสร้างด้วยการผสมกับดินเหนียวเพื่อผลิตเป็นอิฐดินเหนียว การศึกษาทำในระดับห้องปฏิบัติการ โดยผสมดินเหนียวและกากซีเมนต์ ในสัดส่วนต่างๆกัน คือ 100 : 0, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40 และ 50 : 50 (w/w) ก่อนนำไปอบที่อุณหภูมิ 200 °C แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,050 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเมื่อนำตัวอย่างอิฐที่เผาได้มาทดสอบทางวิศวกรรม พบว่าพื้นผิวภายนอกของอิฐที่มีส่วนผสมของกากซีเมนต์มีลักษณะขรุขระ เป็นรูพรุนกระจายทั่วทั้งก้อน น้ำหนักเบาลงมากกว่าร้อยละ 30 ของน้ำหนักอิฐดินเหนียวที่ไม่มีส่วนผสมของกากซีเมนต์ สำหรับผลการหาค่าการหดตัวแบบแห้งของอิฐดินตัวอย่างพบว่า อิฐที่มีส่วนผสมของกากซีเมนต์ในอัตราส่วนที่สูงขึ้นจะเกิดการหดตัวมากขึ้นตามลำดับ และอิฐดินเหนียวที่ผสมกากซีเมนต์ยังมีค่าความต้านทานกำลังอัดอยู่ในช่วง 20 – 35 kg/cm² ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานของอิฐดินเหนียวที่ ASTM C-67 กำหนด

คำสำคัญ: กากซีเมนต์ อุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้น อิฐดินเหนียว กำลังรับแรงอัด การหดตัว

¹⁾ นักศึกษาปริญญาโท, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, จังหวัดสงขลา 90112,
อีเมลล์: pwarin4@hotmail.com

²⁾ อาจารย์, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, จังหวัดสงขลา 90112,
อีเมลล์: wirach.t@psu.ac.th

³⁾ อาจารย์, คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม/ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย
เครือข่ายมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, จังหวัดสงขลา 90112,
อีเมลล์: thunwadee.t@psu.ac.th

^{*4)} อาจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, จังหวัดสงขลา 90112,
Corresponding Author, อีเมลล์: schaisri@eng.psu.ac.th

⁵⁾ หน่วยวิจัยเทคโนโลยีสีเขียว มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, จังหวัดสงขลา 90112

Shrinkage and Compressive Strength Behaviors of Clay Brick Blended with Concentrated Latex Industry's Waste Residue

Warintorn Banchapattanasakda¹⁾ Wirach Taweepreda^{2,5)} Thunwadee Tachapattaworakul Suksaroj^{3,5)}
and Chaisri Suksaroj^{*4,5)}

Abstract

This research aims to study the utilization of the waste residue from concentrated latex industry as a raw material for clay brick making process, in order to dispose the waste residue from concentrated latex industry. The experiments were done in laboratory scale and the variation ratios of fat clay and waste residue, 100 : 0, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40 and 50 : 50 (w/w) were investigated. The blended materials were baked at 200°C and then burned at 1,050°C for 24 hours. The burned clay bricks obtained were tested for civil engineering purpose. The results found that the texture of the surface of the waste residue amended clay bricks was porous and their weights were lighter than native clay brick weight by 30%. Their linear shrinkage test showed the percentage of linear shrinkage increased accordingly the increasing of waste residue portion in clay brick. Beside, the waste residue amended clay brick had the compressive strength in range of 20-30 kg/cm³ that met the ASTM C-67 clay brick standard.

Keywords: Clay brick, Composite material, Compressive strength, Concentrated latex industrial, Shrinkage

¹⁾ Graduated Student, Department of Civil Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla 90112, E-mail: pwarin4@hotmail.com

²⁾ Lecturer, Department of Civil Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla 90112, E-mail: wirach.t@psu.ac.th

³⁾ Lecturer, Faculty of Environmental Management/National Excellence Center for Environmental and Hazardous Waste Management (EHWM)-Satellite Center at Prince of Songkla University, Prince of Songkla University, Songkhla 90112, Email: thunwadee.t@psu.ac.th

^{*4)} Lecturer, Department of Civil Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla 90112, Corresponding Author, Email: schaisri@eng.psu.ac.th

⁵⁾ Green Technology Research Unit, Prince of Songkla University, Songkhla 90112

1. บทนำ

กระบวนการผลิตของโรงงานน้ำยางข้นเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทั้งในรูปของน้ำเสียและของเสีย โดยของเสียชนิดหนึ่งที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นคือ ตม หรือ กากซีเมนต์ (รูปที่ 1) (Saowanee et al., 2004 และ Varasri, 2000) ซึ่งมีลักษณะเป็นของแข็งตะกอนสีขาวเกิดจากกระบวนการผลิตน้ำยางข้นซึ่งมีการปั่นแยกน้ำยาง (Centrifugation) โดยมีการเติมแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Diammonium Hydrogen Phosphate: DAHP) ลงในน้ำยางสดเพื่อรักษาสภาพน้ำยางก่อนเข้าสู่กระบวนการปั่นแยกเป็นน้ำยางข้นและแยกส่วนตะกอนแมกนีเซียมที่มีอยู่ในน้ำยางสด (Gazeley, 1988; Sathyseelan, 2006 และ White, 2001) จากกระบวนการปั่น



1ก.



1ข.



1ค.

รูปที่ 1 ก. กากซีเมนต์จากเครื่องปั่นเหวี่ยง ข. กากซีเมนต์ที่จับตัวเป็นก้อน ค. กากซีเมนต์ผ่านการอบแห้งและบดละเอียด

กากซีเมนต์ ประกอบด้วยสิ่งเจือปนต่าง ๆ จำพวกฝุ่นทราย เศษไม้ ฟอสฟอรัส ซีเมนต์และตะกอนของโลหะแมกนีเซียม มี pH ค่อนข้างเป็นกลางถึงด่างอ่อน ๆ ซึ่งอาจเกิดจากการเติมแอมโมเนียเพื่อรักษาสภาพน้ำยาง (Wiphaphan, 2007) และมีค่าของแข็งระเหยได้ประมาณร้อยละ 60-70 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ในกากซีเมนต์บดแห้งยังประกอบไปด้วยธาตุอาหารที่สำคัญต่อพืช เช่น ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซีย และสังกะสี ในปริมาณประมาณร้อยละ 3, 15, 1.2, 10 และ 0.5

โดยน้ำหนัก ซึ่งค่าที่ได้อาจแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต และคุณภาพของน้ำยางสด เป็นต้น (Saowanee et al., 2004; Varasri, 2000 และ Blackley, 1997)

ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้น กากซีเมนต์ถือเป็นของเสียที่ทางโรงงานไม่ต้องการ จากการศึกษาข้อมูลของโรงงานผลิตน้ำยางข้นในเขตจังหวัดสงขลาพบว่า กากซีเมนต์จะเกิดขึ้นประมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของน้ำยางสดที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำยางข้น กล่าวคือ จะมีของเสียในรูปกากซีเมนต์เกิดขึ้นในแต่ละโรงงานประมาณ 0.39-1.58 ตันต่อวัน (Varasri, 2000 และ Wanchai, 1997) ขึ้นกับขนาดการผลิต และในการกำจัดกากซีเมนต์นั้น ทางโรงงานมักจะทำเนิกรกำจัดด้วยการทิ้งไปหรือใช้ถมพื้นที่ ถมถนน รวมทั้งการเผาทิ้ง (Somtip et al., 2002) ซึ่งอาจเป็นวิธีการกำจัดที่ไม่เหมาะสม เพราะอาจก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้

ดังนั้นหากนำกากซีเมนต์ดังกล่าวมาใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ ได้ ก็จะเป็นการช่วยลดปัญหาการจัดการของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้น ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่ากากซีเมนต์ถูกนำมาศึกษาถึงแนวทางในการนำมาใช้ในด้านเกษตร เช่น การทำปุ๋ย และวัสดุบำรุงดินเท่านั้น ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้ จึงศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากซีเมนต์จากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้นไปเป็นส่วนผสมในวัสดุก่อสร้างต้นแบบ ซึ่งยังไม่เคยมีการศึกษาเชิงวิจัยมาก่อน โดยมุ่งศึกษาการนำไปใช้เป็นส่วนผสมในการทำอิฐดินเหนียว เนื่องจากผู้วิจัยมีข้อสันนิษฐานว่า เมื่อนำกากซีเมนต์มาผสมกับดินเหนียว แล้วผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูงจนอิฐสุก อาจมีความเป็นไปได้ที่จะมีคุณสมบัติคล้ายอิฐมวลเบา คือมีน้ำหนักเบากว่าอิฐดินเหนียวธรรมดา และนำอิฐดินเหนียวผสมกากซีเมนต์ที่เผาได้ไปทดสอบค่าร้อยละการหดตัวแบบแห้ง ค่าการดูดซึมน้ำ และค่าความต้านทานกำลังรับแรงอัดเพื่อเปรียบเทียบกับอิฐดินเหนียวธรรมดา ซึ่งผลการศึกษาที่ได้ อาจเป็นแนวทางในการจัดการกากซีเมนต์ที่เหมาะสม โดยนำมาเป็นวัตถุดิบส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีมูลค่าต่อไป

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมตัวอย่างอิฐดินเหนียว

ดินเหนียวที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการทำอิฐได้รับความอนุเคราะห์จากโรงงานอิฐบ้านพรุ และกากซีเมนต์จากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลในจังหวัดสงขลา โดยทำการผสมกากซีเมนต์ที่ผ่านการบดละเอียดลงไปดินเหนียวเพื่อทำอิฐที่อัตราส่วนระหว่างดินเหนียว: กากซีเมนต์ 5 อัตราส่วน คือ 100:0, 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 โดยน้ำหนัก เมื่อดินเหนียวและกากซีเมนต์ผสมกันจนเป็นเนื้อเดียวกันแล้ว จึงนำมาอัดลงแบบหล่อลูกบาศก์ขนาด 5x5x5 เซนติเมตร โดยใช้แท่งแก้วกระทุ้งจำนวน 20 ครั้ง เพื่อให้ส่วนผสมกระจายทั่วแบบหล่อ จากนั้นฝั่งส่วนผสมในแบบหล่อให้แห้งด้วยลม เพื่อป้องกันการบิดเบี้ยวของอิฐขณะถอดแบบ เมื่ออิฐแห้งพอสมควร ซึ่งจะสังเกตได้จากสีของดินที่เปลี่ยนไปเป็นสีน้ำตาลที่อ่อนลง จึงทำการถอดแบบและนำอิฐที่ขึ้นรูปแล้วมาฝั่งลมต่ออีกประมาณ 1-2 วัน เมื่ออิฐที่ขึ้นรูปถูกตากให้แห้งแล้ว จึงนำมาทำการวัดขนาด ซึ่งน้ำหนัก และบันทึกค่า จากนั้นนำก้อนอิฐไปเข้าตู้อบอุณหภูมิ 200°C เป็นเวลา 1 คืน (Wacharaporn, 2008) เพื่อไล่ความชื้น อิฐตัวอย่างที่ผ่านการอบแล้วจะถูกนำไปเข้าเตาเผาโดยมีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5°C/min จนถึงอุณหภูมิ 600°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมงเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ จากนั้นจึงเพิ่มอุณหภูมิที่อัตรา 5°C/min เช่นเดิม จนถึงระดับอุณหภูมิ 1,050°C เป็นเวลา 13 ชั่วโมง เพื่อให้อิฐสุก และปล่อยให้เย็นในเตาเผา โดยมีระยะเวลาการเผาทั้งสิ้น 24 ชั่วโมง เมื่อนำอิฐออกจากเตาเผาแล้ว จึงทำการวัดขนาดและชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ทำการทดลองอัตราส่วนผสมละ 3 ตัวอย่าง

2.2 การทดสอบทางวิศวกรรม

นำอิฐที่ได้ไปทำการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมเพื่อนำไปวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการนำกากซีเมนต์มาเป็นส่วนผสมในการทำอิฐดินเหนียวเพื่อใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง

2.2.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ในการศึกษาครั้งนี้ทำการสังเกตลักษณะภายนอกของอิฐคือ ลักษณะพื้นผิวภายนอก ขนาด น้ำหนัก และความหนาแน่นแห้ง

ซึ่งใช้เครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.01 กรัมเป็นอุปกรณ์การวิเคราะห์ และเปรียบเทียบระหว่างอิฐที่มีกากซีเมนต์เป็นส่วนผสมกับอิฐดินเหนียวธรรมดา

2.2.2 การวิเคราะห์การหดตัวแบบแห้ง อิฐที่ผ่านการขึ้นรูปอบ และเผาแล้ว นำมาวิเคราะห์ขนาดโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์เป็นอุปกรณ์ในการวัด เพื่อวิเคราะห์หาร้อยละการหดตัวรวมเชิงเส้น (Total Linear Shrinkage; T.L.S) โดยวัดการหดตัวตั้งแต่หลังขึ้นรูป จนกระทั่งหลังเผา (Wet to Fire) มีวิธีการวิเคราะห์ คือ วัดขนาดกว้าง×ยาว×สูง ของก้อนอิฐหลังขึ้นรูป เป็นค่า L_p อบแห้งทดสอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 200°C เป็นเวลา 1 คืน จากนั้นนำแท่งทดสอบเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 1,050°C วัดความยาวหลังเผาบันทึกค่าเป็น L_f และสุดท้ายคำนวณหาร้อยละการหดตัวรวมเชิงเส้นรวมถึงค่าร้อยละการหดตัวรวมเชิงปริมาตร (Total Volumetric Shrinkage; T.V.S) ตามสมการ (1) และ (2)

$$T.L.S = \left[\frac{(L_p - L_f)}{L_p} \right] \times 100 \quad (1)$$

$$T.V.S = \left[\frac{(V_p - V_f)}{V_p} \right] \times 100 \quad (2)$$

โดย V_p คือ ปริมาตรของก้อนอิฐหลังขึ้นรูป และ V_f คือ ปริมาตรของก้อนอิฐหลังการเผา

2.2.3 การวิเคราะห์ค่าการดูดซึมน้ำ นำก้อนอิฐตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิทัล บันทึกน้ำหนักอิฐแห้งเป็น W_1 จากนั้นนำไปแช่ในน้ำกลั่นจนท่วมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดนำก้อนอิฐตัวอย่างขึ้นจากน้ำ ใช้ผ้าเปียกซับน้ำบนผิวก้อนอิฐตัวอย่างที่ละก้อนแล้วชั่งน้ำหนักให้เสร็จภายใน 3 นาที บันทึกน้ำหนักอิฐที่ดูดซึมน้ำเป็นค่า W_2 จากนั้นจึงคำนวณหาร้อยละการดูดซึมน้ำ (Water Absorption: W.A) จากสมการ (3)

$$W.A = \left[\frac{(W_2 - W_1)}{W_1} \right] \times 100 \quad (3)$$

2.2.4 การวิเคราะห์ค่าความต้านทานกำลังอัดของอิฐ ทำการวิเคราะห์ตามมาตรฐานการทดสอบของสมาคมเพื่อการทดสอบและวัสดุของอเมริกัน (American Society for Testing and Materials) หรือ ASTM C495-07 โดยใช้เครื่องทดสอบกำลังอัด แบบเกลียวหมุนโยกด้วยมือ (Proving Ring) ค่ากำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) หาได้จากสมการ (4)

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (4)$$

โดย f_c คือ กำลังรับแรงอัดประลัย มีหน่วยเป็น kg/cm^2 P คือ แรงอัด มีหน่วยเป็น kg และ A คือ พื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่าง มีหน่วยเป็น cm^2

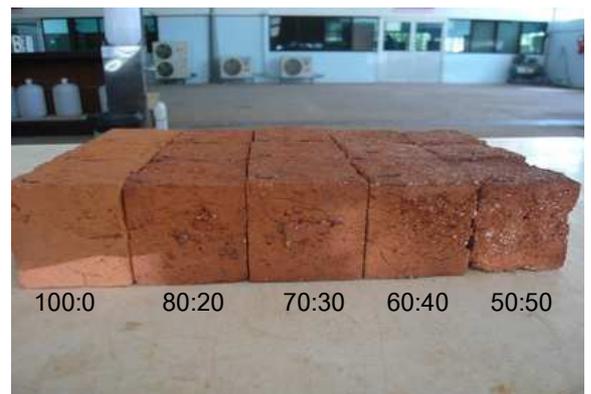
3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

3.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

3.1.1 ลักษณะพื้นผิวและการขึ้นรูป จากการทดลองนำของเสี้ยกากซีเมนต์จากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางขึ้น ไปเป็นส่วนผสมในอิฐดินเหนียวในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่ได้ออกแบบไว้ นั้น พบว่ากากซีเมนต์และดินเหนียวสามารถผสมกันเป็นเนื้อเดียวกัน และสามารถขึ้นรูปได้ โดยอิฐที่มีกากซีเมนต์เป็นส่วนผสมมีพื้นผิวที่ขรุขระกว่าอิฐดินเหนียวธรรมดาเล็กน้อยและความสามารถในการขึ้นรูปโดยเฉพาะที่ผิวหน้าจะลดลง เมื่ออิฐดินเหนียวมีอัตราส่วนผสมของกากซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น ตามลำดับ ซึ่งสังเกตได้จาก เมื่อถอดแบบจะมีเศษพื้นผิวของตัวอย่างติดที่ผนังแบบหล่อ ทำให้พื้นผิวของตัวอย่างไม่เรียบเสมอกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากากซีเมนต์นั้นไม่มีคุณสมบัติเป็นตัวประสาน (Binder) ที่ช่วยเพิ่มการยึดเกาะ แต่เป็นเพียงสารเพิ่มเนื้อ (Filler) และอิฐตัวอย่างมีสีใกล้เคียงกันคือเป็นสีน้ำตาลอ่อน

เมื่อนำอิฐตัวอย่างที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ไปเผาที่อุณหภูมิ $1,050\text{ }^{\circ}\text{C}$ อิฐตัวอย่างจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดง และสังเกตลักษณะพื้นผิว พบว่าอิฐดินเหนียวที่มีกากซีเมนต์เป็นส่วนผสมจะมีลักษณะเป็นรูพรุน โดยจะมีปริมาณรูพรุนเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นของกากซีเมนต์ ทั้งนี้รูพรุนที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลมาจากมวลของกาก

ซีเมนต์ที่ผสมแทรกอยู่ในอิฐดินเหนียวบางส่วนหายไปในช่วงขั้นตอนการเผา ส่งผลให้เกิดรูพรุนกระจายอยู่ทั่วทั้งก้อนของอิฐดินเหนียวที่มีกากซีเมนต์ผสม ซึ่งจะแตกต่างอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับอิฐดินเหนียวที่ไม่มีกากซีเมนต์เป็นส่วนผสม ดังรูปที่ 2 ทั้งนี้เนื่องมาจากธรรมชาติของดินเหนียวที่นำมาใช้ในการทำอิฐนั้น จะมีอนุภาคของดินที่หนาแน่นและมีลักษณะเป็นแผ่นแตก ซึ่งอนุภาคของดินเหล่านี้สามารถละลายได้ เมื่อผ่านการเผาที่มีอุณหภูมิสูงตั้งแต่ $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ ขึ้นไป และสามารถไหลไปตามช่องว่างต่าง ๆ ซึ่งจะช่วยลดความพรุนในเนื้อดินได้ (Burachat, 2002) ด้วยเหตุนี้ อิฐดินเหนียวที่ไม่มีกากซีเมนต์เป็นส่วนผสม จึงไม่ปรากฏรูพรุนขนาดใหญ่ หรือรูพรุนที่สังเกตได้ง่ายด้วยตาเปล่ากระจายตัวอยู่บนก้อนอิฐตัวอย่าง



รูปที่ 2 เปรียบเทียบขนาดและรูพรุนของอิฐตัวอย่างในอัตราส่วนต่างๆ

3.1.2 ขนาด น้ำหนักและความหนาแน่น เมื่อทำการเปรียบเทียบขนาดและน้ำหนักของอิฐดินเหนียวตั้งแต่หลังขึ้นรูปจนกระทั่งผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูง พบว่าอิฐตัวอย่างมีขนาดเล็ก และน้ำหนักเบา โดยอิฐดินเหนียวที่มีอัตราส่วนผสมของกากซีเมนต์มากขึ้นจะมีน้ำหนักหลังขึ้นรูปน้อยลงตามลำดับและน้ำหนักหลังการเผาจะลดลงมากกว่าอิฐดินเหนียวที่มีกากซีเมนต์ผสมอยู่น้อยกว่า ดังแสดงในตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าอิฐดินเหนียวที่มีส่วนผสมของกากซีเมนต์มีน้ำหนักลดลงตามปริมาณกากซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการขจัดน้ำออกไปที่อุณหภูมิ $100\text{-}125\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Burachat, 2002) ในขั้นตอนการอบแห้ง และมวลของกากซีเมนต์บางส่วนในอิฐตัวอย่าง

ซึ่งมีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบได้ระเหยไปในขั้นตอนการเผา เนื่องจากในกากชี้แบ่งมีปริมาณของแข็งที่สามารถระเหยได้สูงถึงร้อยละ 60-70 โดยน้ำหนัก (Saowanee et al., 2004; Varasri, 2000 และ Blackley, 1997) กล่าวคือ อีฐดินเหนียวที่มีอัตราส่วนผสมของกากชี้แบ่งที่สูงขึ้น มีโอกาสที่จะสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นเช่นกัน และจากผลการทดสอบ จะเห็นได้ว่าอีฐตัวอย่างที่อัตราส่วน 50:50 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่มีกากชี้แบ่งผสมอยู่สูงที่สุดนั้น มีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดถึงร้อยละ 44.36 เมื่อเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น นอกจากนี้เมื่อเทียบน้ำหนักกับอีฐดินเหนียวที่ไม่มีกากชี้แบ่งเป็นส่วนผสม จะเห็นว่าน้ำหนักของอีฐดินเหนียวที่มีกากชี้แบ่งเป็นส่วนผสมเบาลงประมาณร้อยละ 30-55 ของน้ำหนักอีฐดินเหนียวธรรมดา ซึ่งค่าน้ำหนักที่ลดลงนี้มีความสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่น และมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ อีฐดินเหนียวที่มีกากชี้แบ่งเป็นส่วนผสมมีความหนาแน่นลดลงตามปริมาณกากชี้แบ่งที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3

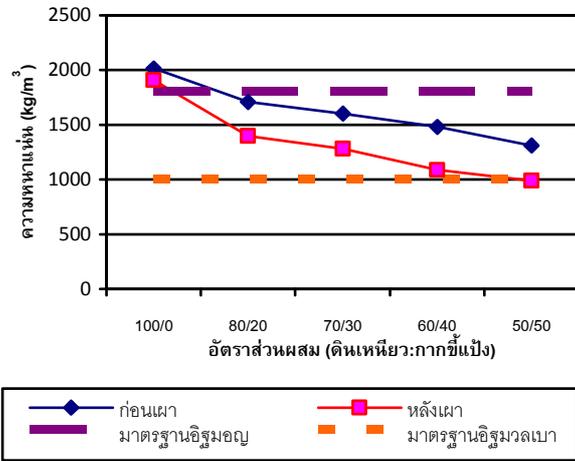
ตารางที่ 1 เปรียบเทียบน้ำหนักของอีฐตัวอย่างระหว่างก่อนและหลังเผา

อัตราส่วน	น้ำหนัก หลังขึ้น รูป (g)	น้ำหนัก หลังเผา (g)	%การ สูญเสียน้ำ หนัก	% น้ำหนัก ที่ลดลง ¹
100 : 0	212.67	170.02	20.04	0.00
80 : 20	171.38	119.92	29.98	29.47
70 : 30	168.81	112.81	33.15	33.65
60 : 40	155.40	93.18	40.02	45.19
50 : 50	135.85	75.56	44.36	55.56

¹ น้ำหนักหลังเผาเทียบกับอีฐดินเหนียวที่ไม่มีกากชี้แบ่งเป็นส่วนผสม

จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่า ความหนาแน่นของอีฐดินเหนียวที่มีกากชี้แบ่งเป็นส่วนผสมในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น มีค่าลดลงทั้งก่อนเผาและหลังเผาอีฐตัวอย่าง นอกจากนี้ความหนาแน่นของอีฐตัวอย่างหลังเผายังมีค่าน้อยกว่า

ความหนาแน่นของอีฐตัวอย่างก่อนเผาอย่างเห็นได้ชัด ยกเว้นความหนาแน่นของอีฐตัวอย่างที่ไม่มีกากชี้แบ่งเป็น



รูปที่ 3 ความหนาแน่นของอีฐตัวอย่างในอัตราส่วนต่างๆ

ส่วนผสมหลังเผามีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยความหนาแน่นของอีฐตัวอย่างก่อนเผาอยู่ในช่วง 1,300-2,000 kg/m³ ส่วนความหนาแน่นของอีฐตัวอย่างหลังเผานั้นอยู่ในช่วง 990-1,900 kg/m³ ทั้งนี้สาเหตุหลักเนื่องมาจากที่ได้กล่าวไปแล้ว นั่นคือ ตัวกากชี้แบ่งเองที่มีคุณสมบัติเป็นเพียงสารเพิ่มเนื้อ (Filler) ซึ่งไม่ช่วยประสานอนุภาคของดินเหนียวให้มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น มีปริมาณสารอินทรีย์ระเหยได้ในสัดส่วนที่มากกว่าร้อยละ 60 ทำให้เกิดรูพรุนจากมวลของกากชี้แบ่งที่หายไป รวมถึงการลดลงของดินเหนียวละลายซึ่งไหลแทรกไปอุดรูพรุนหลังการเผาที่อุณหภูมิสูง ส่งผลให้ความหนาแน่นของอีฐดินเหนียวที่มีกากชี้แบ่งเป็นส่วนผสมนั้นลดลง จนมีลักษณะคล้ายอีฐมวลเบาที่มีความหนาแน่นในช่วง 800-1,000 kg/m³ ซึ่งอีฐตัวอย่างที่อัตราส่วน 50:50 เพียงตัวอย่างเดียวเท่านั้นที่มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับอีฐมวลเบา

3.2 การหดตัวแบบแห้ง

3.2.1 การหดตัวรวมเชิงเส้น การหดตัวของอีฐดินเหนียวเกิดจากการระเหยของน้ำในโครงสร้างเนื้อดินและกากชี้แบ่ง ทำให้น้ำขนาดของอนุภาคมีขนาดเล็กและบีบตัวเข้าหากัน ซึ่งค่าร้อยละการหดตัวรวมเชิงเส้นในการทดลอง

ครั้งนี้ทำการวัดการหดตัวตั้งแต่หลังขึ้นรูปจนกระทั่งหลังเผา (Wet to Fire) ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ร้อยละการหดตัวรวมเชิงเส้นเฉลี่ย

อัตราส่วน	ร้อยละการหดตัวรวมเชิงเส้นเฉลี่ย		
	ด้านกว้าง	ด้านยาว	ด้านสูง
100 : 0	5.81	5.49	5.04
80 : 20	5.55	4.25	5.40
70 : 30	5.36	6.20	5.87
60 : 40	6.10	5.82	6.10
50 : 50	9.06	10.26	9.06

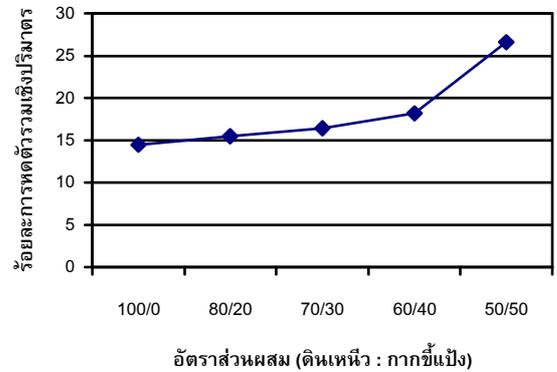
จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่า ค่าร้อยละการหดตัวรวมเชิงเส้นอยู่ในช่วงร้อยละประมาณ 4-10 โดยอิฐดินเหนียวที่มีส่วนผสมของกากซีเมนต์ที่สูงขึ้นจะยังมีค่าร้อยละการหดตัวรวมเชิงเส้นสูงขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าการหดตัวของอิฐดินเหนียวอาจจะส่งผลสองประการ คือ อาจทำให้ขนาดของก้อนอิฐเกิดการบิดเบี้ยว หรืออาจทำให้อิฐเกิดรอยร้าวโดยเฉพาะที่บริเวณผิวหน้าของอิฐตัวอย่างหากเกิดการหดตัวไม่เท่ากัน

3.2.2 การหดตัวรวมเชิงปริมาตร ค่าร้อยละการหดตัวรวมเชิงปริมาตรในการทดลองครั้งนี้ทำการวัดเช่นเดียวกับการหาค่าร้อยละการหดตัวรวมเชิงเส้น โดยทำการวัดการหดตัวตั้งแต่หลังขึ้นรูปจนกระทั่งหลังเผา (Wet to Fire) ดังแสดงในรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าค่าร้อยละการหดตัวรวมเชิงปริมาตรอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 15-27 โดยอิฐดินเหนียวที่มีส่วนผสมของกากซีเมนต์ที่สูงขึ้นจะยังมีค่าร้อยละการหดตัวรวมเชิงปริมาตรสูงขึ้นเช่นเดียวกับค่าร้อยละการหดตัวรวมเชิงเส้น

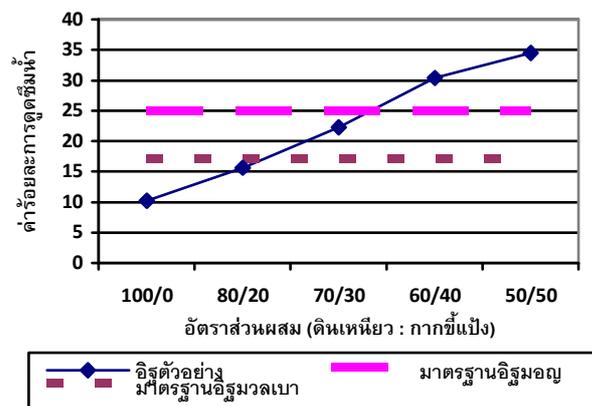
3.3 ค่าการดูดซึมน้ำของอิฐ

หลังจากการแช่ก้อนอิฐตัวอย่างในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าการผสมกากซีเมนต์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้ความสามารถในการดูดซึมน้ำของอิฐตัวอย่างเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5 ทั้งนี้เนื่องมาจากกากซีเมนต์ที่เหลืออยู่ในก้อนอิฐตัวอย่างนั้นมีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้ดี อีกทั้งปริมาณรูพรุนที่เกิดขึ้นก็เปรียบเสมือนการ

เพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้กากซีเมนต์สามารถดูดซึมน้ำได้ดียิ่งขึ้น (Vasconcelos, 1997)



รูปที่ 4 ค่าร้อยละการหดตัวเชิงปริมาตรของก้อนอิฐตัวอย่าง



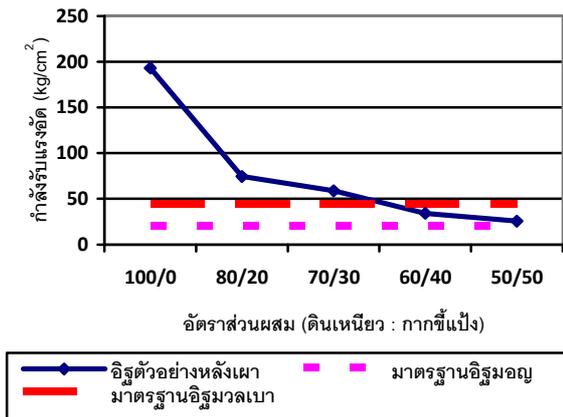
รูปที่ 5 ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของก้อนอิฐตัวอย่าง

จากรูปที่ 5 จะเห็นว่าค่าร้อยละการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 10-35 โดยมีเพียง 3 อัตราส่วน นั่นคือ อัตราส่วน 100:0, 80:20 และ 70:30 ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานของอิฐมอญ คือ มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำน้อยกว่าร้อยละ 25 และมีเพียง 2 อัตราส่วน คือ อัตราส่วน 100:0 และ 80:20 ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานสำหรับอิฐมวลเบา คือ มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำน้อยกว่าร้อยละ 17

3.4 ค่าความต้านทานกำลังรับแรงอัด

จากการทดสอบค่าความต้านทานกำลังรับแรงอัดของอิฐหลังการเผา พบว่าแนวโน้มของค่าความต้านทานกำลังรับแรงอัดของอิฐตัวอย่างนั้นแปรผกผันกับปริมาณกากซีเมนต์ที่เป็นส่วนผสมในอิฐดินเหนียว โดยในการทดสอบเมื่อหน่วยแรงกดอัดมีค่าสูงสุด จะเริ่มมีการวิบัติเกิดขึ้น

ในลักษณะของการแตกร้าวในแนวยาวของก้อนอิฐ ในทิศทางการกระทำของแรงกดอัดหรือในแนวดิ่ง จากนั้น จะเกิดการกะเทาะร่อนที่ผิวรอบ ๆ ของก้อนอิฐ การวิบัติ ดังกล่าวเป็นการวิบัติเนื่องจากแรงดึง ซึ่งเป็นผลมาจากค่า Poisson's Ratio ของอิฐ ซึ่งการวิบัติในลักษณะนี้เป็น การวิบัติแบบค่อย ๆ เป็นค่อย ๆ ไป (Sittichai, 1999)



รูปที่ 6 ค่าความต้านทานกำลังรับแรงอัดของอิฐตัวอย่างใน อัตราส่วนต่าง ๆ

จากรูปที่ 6 จะเห็นว่าอิฐดินเหนียวที่ไม่มีกากซีเมนต์เป็นส่วนผสม จะมีค่าความต้านทานกำลังรับแรงอัดมากที่สุด คือ 193 kg/cm² และอิฐตัวอย่างที่อัตราส่วน 50:50 นั้นมีค่าความต้านทานกำลังรับแรงอัดน้อยสุด คือ 26 kg/cm² โดยมีค่าความต้านทานกำลังรับแรงอัดลดลงคิดเป็นร้อยละ 87 จากอิฐดินเหนียวที่ไม่ผสมกากซีเมนต์ ส่วนอิฐตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสม 80:20, 70:30 และ 60:40 นั้นมีค่าความต้านทานกำลังรับแรงอัดลดลงคิดเป็นร้อยละ 61, 70 และ 82 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสามารถสังเกตเห็นถึงความสัมพันธ์ได้อีกว่า อิฐตัวอย่างที่มีกากซีเมนต์เป็นส่วนผสมในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น จะมีการตอบสนองต่อแรงกดอัดที่น้อยลง ในอัตราที่เท่ากัน ทั้งนี้เนื่องมาจาก ธรรมชาติของดินเหนียวโดยทั่วไป จะมีซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) และ อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) เป็นองค์ประกอบหลัก (Burachat, 2002) และมีโครงสร้างผลึกจำพวกเคโอลิไนต์ (Kaolinite) มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) และอิลไลต์ (Illite) (Boonsean, 2009) โดย Burachat (2002) พบว่าเมื่อเผาดินเหนียวที่

อุณหภูมิสูงตั้งแต่ 900 °C ขึ้นไปจะทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี โดยซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) และอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) บางส่วนจะแปรรูปผลึกรวมกับสารประกอบทางเคมีในดินเกิดเป็นผลึกใสคล้ายแก้ว เรียกว่ามูไลต์ (3Al₂O₃·2SiO₂) ที่มีลักษณะเป็นผลึกรูปตาข่ายที่ทำให้ดินมีความแข็งแกร่งเพิ่มขึ้น (Preeda, 1999) ซึ่งสามารถอธิบายผลการทดลองค่าความต้านทานกำลังรับแรงอัดที่ได้นั้นคือ กากซีเมนต์ ซึ่งเป็นเพียงสารเพิ่มเนื้อ (Filler) มีคุณสมบัติที่แตกต่างจากดินเหนียวด้านการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกเมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูง เมื่ออิฐดินเหนียวถูกแทนที่ด้วยกากซีเมนต์ ทำให้ปริมาณดินเหนียวซึ่งมีคุณสมบัติในการเพิ่มความแข็งแกร่งเมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่ำน้อยลง และรูพรุนที่เกิดจากมวลของกากซีเมนต์ที่หายไประหว่างการเผาลง จึงส่งผลให้อิฐดินเหนียวที่มีกากซีเมนต์เป็นส่วนผสมมีค่าความต้านทานกำลังรับแรงอัดลดลง (Calabria et al., 2008 และ Bouguerra, 1998) แต่อย่างไรก็ตามอิฐตัวอย่างทั้งหมดมีค่าความต้านทานกำลังรับแรงอัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของสมาคมเพื่อการทดสอบและวัสดุของอเมริกา (American Society for Testing and Materials) หรือ ASTM C-67 ที่กำหนดไว้สำหรับอิฐดินเหนียวอยู่ในช่วง 15-40 kg/cm² และอิฐตัวอย่างบางอัตราส่วน (80:20 และ 70:30) อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ ASTM C-495 ที่กำหนดไว้สำหรับอิฐมวลเบาคือมากกว่า 45 kg/cm²

4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองกำจัดของเสียกากซีเมนต์โดยนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐดินเหนียวตามอัตราส่วนดินต่อกากซีเมนต์คือ 100:0, 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 นั้น ดินเหนียวและกากซีเมนต์สามารถปั้นขึ้นรูปเป็นก้อนและอยู่ทรงได้ แต่พื้นผิวอาจมีความขรุขระจากความละเอียดของกากซีเมนต์ที่ไม่สม่ำเสมอ และการหลุดร่อนของพื้นผิวดินที่ผ่นแบบหล่อน และเมื่อผ่านการเผาน้ำหนักของอิฐที่ผสมกากซีเมนต์นั้นเบาลง และเกิดรูพรุนกระจายทั่วพื้นผิวโดยรอบของก้อนอิฐตัวอย่าง ซึ่งมีความเห็นว่าเป็นไปได้ที่จะนำไปประยุกต์ใช้เป็นอิฐดินเหนียว

มวลเบาโดยเฉพาะอิฐตัวอย่างที่อัตราส่วน 80:20 และ 70:30 เพราะนอกจากจะมีความสามารถในการขึ้นรูปใกล้เคียงกับอิฐดินเหนียวธรรมดาแล้ว ยังมีน้ำหนักที่เบาลงถึงร้อยละ 30 เมื่อเทียบกับอิฐดินเหนียวที่ไม่มีกากซีเมนต์เป็นส่วนผสม และมีค่าร้อยละการหดตัวรวมเชิงเส้นหลังเผาเนื้อคือประมาณร้อยละ 5 อีกทั้งยังมีค่าความต้านทานกำลังรับแรงอัดที่ค่อนข้างสูง คือประมาณ 60-70 kg/cm² และผ่านเกณฑ์มาตรฐานตาม ASTM C-67 กำหนด ถึงแม้ว่าค่าความต้านทานกำลังรับแรงอัดจะลดลงเมื่อเทียบกับอิฐดินเหนียวธรรมดาก็ตาม สำหรับอิฐตัวอย่างที่อัตราส่วนผสมระหว่างดินเหนียวและกากซีเมนต์เท่ากับ 60:40 และ 50:50 นั้นมีการหลุดร่อนที่ผิวค่อนข้างมาก มีค่าร้อยละการหดตัวที่ค่อนข้างสูง และขึ้นรูปได้ยากกว่าอิฐตัวอย่างที่อัตราส่วนผสมอื่น ๆ จึงมีความเห็นว่ามันไม่เหมาะที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการใช้งานด้านการก่อสร้างที่ต้องการการรับน้ำหนักและความทนทานสูง แต่มีความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้งานด้านอื่น ๆ เช่น การทำวัสดุตกแต่งทั้งภายในและภายนอกได้ เช่น งานด้านการตกแต่งสวนจำพวก กระถางต้นไม้ อิฐปูทางเดินในสวน เป็นต้น ซึ่งจำเป็นต้องทำการทดสอบหาปริมาณแร่ธาตุละลายเพื่อหาความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้ต่อไป ส่วนประเด็นความเป็นไปได้ที่จะนำไปประยุกต์ใช้เป็นอิฐดินเหนียวมวลเบา จำเป็นต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมทั้งในเรื่อง ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) อัตราการทนไฟ (Fire Rating) อัตราการกันเสียง (Sound Transmission Class) และค่าความยืดหยุ่น (Static Modulus of Elasticity) เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ผ่านไปได้ด้วยดีและสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ต้องขอขอบคุณ คุณภาณี ยศมูรธา เจ้าของโรงงานอิฐบ้านพุก ที่ให้ความอนุเคราะห์ดินเหนียวเพื่อนำมาใช้ทำอิฐตัวอย่าง บุคลากรภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง นาย จารึก ไชยวรรณ นายพลวัฒน์ คงสม นายสุกิจ แสงทอง และนางสาวสุพิศ นนทะสร ที่คอยอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย โรงงานฉลุงน้ำ

ยางชั้นที่เอื้อเพื่อกากซีเมนต์ในการทำวิจัย คณะผู้วิจัยจึงใคร่ขอแสดงความขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย และงานวิจัยนี้อยู่ในระหว่างการดำเนินการจดสิทธิบัตรอัตราส่วนผสมและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผสมระหว่างดินเหนียวและกากซีเมนต์อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- Boonsean Teilnugultom. Soil Science. Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology. Nakhon Sawan Rajabhat University. (Cited 2005). Available from: http://www.nsr.u.ac.th/e-learning/soil/index_1.php (accessed on March 16, 2009). (In Thai).
- Burachat Chatveera (2002). Properties of Rice Husk Ash Brick, J. Natl. Res. Council Thailand, Vol. 35, No. 1, 95-111 (In Thai).
- Preeda Pimkaodam. (1999). Ceramic. Department of Material Science. Faculty of Science. Chulalongkorn University. (In Thai).
- Sittichai Seangatith (1999). Testing for Mechanical Properties of Soil Cement Brick Compared With Mansory Brick. Suranaree Journal of Science and Technology, Suranaree University of Technology, Vol. 6, No. 2, 97-103 (In Thai).
- Somtip Dantearawanit et al. (2002). Investigation of waste management of concentrated latex industry (Research Project Report No. 05011505). Prince of Songkla University
- Saowanee Kowuttikunrangsri et al. (2004). Research and Development of Natural Rubber Latex and Products-PSU small project group (2): Preliminary study of liquid fertilizer preparation from concentrated latex sludge (Report). The Thailand Research Fund (In Thai).
- Varasri Tekjprasit (2000). The Utilization of The Centrifuged Residue from Concentrated Latex

- Industry as a Soil Conditioner (Thesis). Master of Science Thesis in Environmental Management. Prince of Songkla University (In Thai).
- Wacharaporn Pongkarn (2008). The Utilization of The Centrifuged Residue from Concentrated Latex Industry as a Component in Construction Material (Senior Project). Department of Civil Engineering. Prince of Songkla University (In Thai).
- Wanchai Kaewyord (1997). The Investigation of Rubber Wastewater Management : A Case Study of Changwat Songkhla (Thesis). Master of Science Thesis in Environmental Management. Prince of Songkla University (In Thai).
- Wiphaphan Ubon (2007). The Utilization of Organic Residues from Concentrated Latex, Fish Processing and Palm Oil Industries in the Preparation of Planting Material for Garden Grass (Thesis). Master of Science Thesis in Applied Chemistry. Prince of Songkla University (In Thai).
- ASTM C495 – 07 Standard Test Method for Compressive Strength of Lightweight Insulating Concrete, American Society for Testing and Materials, PA, USA.
- ASTM C67 - 97 Standard Test Method of Sampling and Testing Brick and Structural Clay, American Society for Testing and Materials, PA, USA.
- Blackley, D.C. (1997). Polymer Latices. vol. 2, Types of Latices, Chapman & Hall, London
- Bouguerra A., De Barquin, F., Dheilily, R.M. and Que'neudec, M. (1998). Effect of Microstructure on the Mechanical and Thermal Properties of Lightweight Concrete Prepared From Clay, Cement, and Wood Aggregates. Cement and Concrete Research. 28: 1179-1190
- Calabria J.A., Vasconcelos, W.L, and Boccaccini, A.R. (2008). Microstructure and chemical degradation of adobe and clay bricks. Ceramics International. 35: 665-671.
- Gazeley K.F., Gorton A.D.T. and Pendle T.D. (1988). In: E.D. Roberts, Editor. Natural Rubber Science and Technology. Oxford Univ. Press, New York.
- Sathyseelan S. (2006). Latex Sludge-An Alternate Cheap Phosphorus Source in Crop Production. World congress of soil science 18th Philadelphia Pennsylvania, USA, July. 9-15: 154-158.
- Vasconcelos W.L. (1997) Description of permeability in pourous ceramics. Certamica. 43: 120-123.
- White J.R. and De S.K., (2001). Rubber Technologist's Handbook. Rapra Technology Limited: UK.