RMUTP Research Journal, Vol. 1, No. 1, May 2007

การพัฒนาอิฐคอนกรีตน้ำหนักเบาที่มีเถ้าปาล์มน้ำมันเป็นส่วนผสม
Development of Lightweight Concrete Masonry Units with Oil Palm Ash

พัชราวรรณ เก๊อะเจริญ[1] และ เศรษฐพงศ์ เศรษฐบุปผา[2*]

[1]อาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต จ.ภูเก็ต 83000

[2]อาจารย์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ 50200

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสมของคอนกรีตที่มีเถ้าปาล์มเป็นส่วนผสม ที่จะสามารถนำไปผลิตอิฐคอนกรีตที่มีคุณสมบัติเทียบเท่าหรือดีกว่าวัสดุก่อผนังทั่วไป โดยใช้การทดลองปรับเปลี่ยนส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ ทราย และเถ้าปาล์มน้ำมัน ผลการทดลองพบว่าส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างวัสดุทั้งสาม คือ 1:1:2 โดยน้ำหนักคอนกรีตที่ได้มีความหนาแน่นเฉลี่ย 766 กก./ลบ.ม. สามารถนำไปทำอิฐคอนกรีตที่สามารถรับแรงอัดได้เฉลี่ยประมาณ 90 กก./ตร.ซม. สูงกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ฉบับ มอก. 58-2533 สำหรับคอนกรีตบล็อก มีค่าการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มีค่าการนำความร้อน 0.194 W/mK ซึ่งเทียบได้ใกล้เคียงกับอิฐมวลเบา แต่เมื่อนำไปก่อสร้างผนังแล้วมีราคาถูกกว่าอิฐมวลเบาประมาณตารางเมตรละ 100 บาท ที่สำคัญคือสามารถผลิตได้ง่ายและสามารถส่งเสริมให้เป็นอุตสาหกรรมในท้องถิ่นได้

Abstract

The objective of this research was to find an appropriate mixing ratio of concrete with oil palm to produce concrete masonry units with properties equivalent or better than other conventional masonry materials. By trying out method, the best proportion of Portland cement: sand: oil palm ash was found at 1:1:2 by weight. The ratio yielded a lightweight concrete with an average density of 766 kg/m^3, and average compressive strength of approximately 90 kg/cm^2, which is higher than the minimum requirement of Thai Industrial Standards (TIS) 58-2533 (1990) of 75 kg/cm^2. Water absorption of this proportion was at an acceptable standard level of 20% by weight. From cost analysis, the cost of a wall made with the obtained masonry units was about 100 baht per square meter cheaper than lightweight masonry units sold in the market. However, the heat conductivity (K) was similar (0.194 W/mk). Moreover, the manufacturing process of these masonry units is simple and can be run as a small local enterprise.

คำสำคัญ : เถ้าปาล์มน้ำมัน คอนกรีตมวลเบา อิฐคอนกรีต

Key words : Oil Palm Ash, Lightweight Concrete, Concrete Masonry Unit

*ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ sseth@mail.arc.cmu.ac.th โทร. 087-177-6652

1. บทนำ

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตน้ำมันปาล์ม ซึ่งมีการขยายตัวอย่างรวดเร็วอย่างมากในระยะ 10 ปีที่ผ่านมา กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2548) รายงานว่าในปี พ.ศ. 2548 มีโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการผลิตน้ำมันปาล์มมากกว่า 70 แห่ง อุตสาหกรรมนี้มีวัสดุเหลือทิ้งที่สำคัญคือทะลายปาล์ม เส้นใยปาล์ม และกะลาปาล์ม โรงงานจะนำวัสดุเหล่านี้มาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าใช้ในโรงงานซึ่งทำให้เกิดเถ้าปาล์มน้ำมันมากกว่า 100,000 ตันต่อปี เถ้าปาล์มจะมีลักษณะเป็นฝุ่นผงละเอียด สีเทาเข้ม ก่อให้เกิดปัญหาในการกำจัด ดังนั้นการหาแนวทางเพื่อนำเถ้าปาล์มน้ำมันมาใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะในการก่อสร้าง เช่นเดียวกับเถ้าถ่านหินหรือเถ้าจากวัสดุอื่นๆ ซึ่งได้มีการศึกษามามากพอสมควรแล้ว จะช่วยลดปัญหามลภาวะและเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งอีกด้วย

ไตรเทพ และคณะ (2544) ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมัน พบว่าเถ้าปาล์มน้ำมันมีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลาน Class N และเมื่อนำเถ้าปาล์มมาใช้โดยไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ พบว่าสามารถใช้เถ้าปาล์มเพื่อทดแทนปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 10 โดยในช่วงแรกคอนกรีตที่ผสมเถ้าปาล์มจะรับกำลังอัดได้น้อยกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าปาล์ม แต่หลังจากอายุ 28 วัน คอนกรีตจะพัฒนากำลังอัดจนมีค่าใกล้เคียงหรือมากกว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าปาล์ม นอกจากนั้นยังพบว่าเถ้าปาล์มยังช่วยลดการขยายตัวที่เกิดจากปฏิกิริยาอัลคาไลน์และซิลิกาของคอนกรีตได้อีกด้วย

วีรชาติ และคณะ (2546) ได้ทำการทดลองในลักษณะเดียวกันแต่มีการปรับปรุงคุณภาพของเถ้าปาล์มด้วยการบดละเอียด พบว่าเถ้าปาล์มสามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ได้ในอัตราร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เถ้าปาล์มที่มีความละเอียดมากจะทำให้ระยะเวลาการก่อตัวและความต้องการน้ำของมอร์ต้าลดลงเมื่อเทียบกับการใช้เถ้าปาล์มที่ไม่ได้ผ่านการบดละเอียด

จากการศึกษาเถ้าที่ได้จากธรรมชาติชนิดอื่นๆ พบว่า เถ้าแกลบบด เถ้ากะลามะพร้าว เถ้าขี้เลื่อย และเถ้าเปลือกไม้ สามารถใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ได้ในอัตราส่วนประมาณร้อยละ 10-20 (Oyetola & Adullahi, 2006, สุรพันธ์ และคณะ, 2546, ชุติสรา ปะกิระตัง และ พุทธวรรณ แซ่แต้, 2546) และสามารถนำมาเป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐคอนกรีต และคอนกรีตบล็อกได้ นอกจากนั้นเถ้าแกลบไม่บดยังสามารถใช้แทนที่หินฝุ่นเพื่อผลิตคอนกรีตบล็อกแบบไม่รับน้ำหนักได้ (บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ ณรงค์ศักดิ์ มากุล, 2547)

เมื่อศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ด้านการก่อสร้างที่ได้จากการผสมเถ้าลอยและเถ้าก้นเตาเพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยพบว่า เถ้าลอยสามารถใช้ผลิตอิฐดินซีเมนต์ในอัตราส่วนปูนซีเมนต์ร้อยละ 9 และเถ้าลอยร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก (ณัฐพงศ์ ดำรง-วิริยะนุภาพ, 2546) คอนกรีตมวลเบาที่ใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 30 บล็อกประสานผสมเถ้าลอย โดยใช้ปริมาณเถ้าลอยร้อยละ 35-60 ทรายหยาบร้อยละ 35-70 และวัสดุประสานได้แก่ ปูนขาว ซีเมนต์หรือยิปซัม ร้อยละ 5-15 (Hydarform, 2006) นอกจากนั้นเถ้าลอยยังสามารถใช้เป็นส่วนผสมเพื่อผลิตอิฐก่อและอิฐบล็อก (Fly Ash Block) ในอัตราส่วนร้อยละ 30-50 (Naik, 2006) ก่อนหน้านั้น Kayali (2004) ได้นำเถ้าลอยมาใช้เป็นส่วนผสมหลักในการผลิตอิฐเถ้าลอยทั้งหมด โดยผสมเถ้าลอยกับสารผสมเพิ่มและเผาที่อุณหภูมิ 1,000-1,300°C เรียกว่า Flash Bricks ประเทศตุรกีมีการศึกษาเพื่อนำเถ้าลอยมาใช้ในการผลิตอิฐ โดยใช้เถ้าลอยร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก (Fatih & Umit, 2001)

สำหรับเถ้าก้นเตานั้น สามารถใช้ทดแทนมวลรวมละเอียดในคอนกรีตได้ เมื่อใช้ปริมาณเถ้าก้นเตาทดแทนทรายเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงอัดของมอร์ต้าลดลง (Suwanvitaya & Suwanvitaya, 2006) นอกจากนั้น เถ้าก้นเตาสามารถใช้เป็นมวลรวมในการผลิตอิฐคอนกรีตโดยใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมเป็น 1:6 (Phillips et al., 2005)

ผลจากการสำรวจเอกสารเกี่ยวกับงานวิจัยที่กล่าวมา ทำให้เชื่อได้ว่า น่าจะสามารถนำเถ้าปาล์มน้ำมันมาใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตที่ให้ความหนาแน่นต่ำได้ และเมื่อคอนกรีตมีความหนาแน่นต่ำก็น่าจะนำความร้อนได้น้อยด้วย คอนกรีตความหนาแน่นต่ำที่ได้นี้ น่าจะเหมาะสมสำหรับทำวัสดุก่อสร้างประเภทที่ไม่ใช่โครงสร้างหลัก ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายที่จะทดลองทำอิฐคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าปาล์มน้ำมัน

2. วิธีการทดลอง

2.1 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้คือ หาส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ มวลรวม และเถ้าปาล์มน้ำมัน ที่เหมาะสมที่สุดในการทำอิฐคอนกรีต ซึ่งคุณสมบัติของอิฐคอนกรีตผสมเถ้าปาล์มที่ต้องการมีดังต่อไปนี้

- มีความสามารถในการรับแรงอัดอย่างน้อยเทียบเท่ากับคอนกรีตบล็อกตาม มอก. 58-2533 คือ 75 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- มีความหนาแน่นต่ำ ประมาณ 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- มีการดูดซึมน้ำไม่เกินร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก
- มีค่าการนำความร้อน (Heat Conductivity: *K*) ต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกและอิฐมอญที่ใช้กันทั่วไป
- เป็นส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ มวลรวม และเถ้าปาล์ม ที่สามารถจดจำได้ง่าย และมีสัดส่วนการผสมน้ำ (Water Cement Ratio) ที่ให้ค่าการทดสอบการยุบตัว (Slump Test) ประมาณ 10 เซนติเมตร ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปอิฐคอนกรีต

2.2 วิธีวิจัย

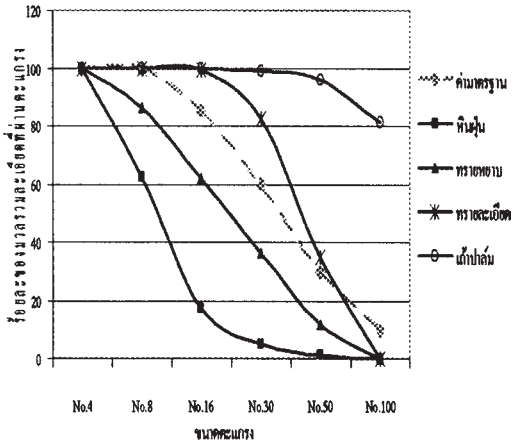
การวิจัยครั้งนี้มีลำดับขั้นตอนที่สำคัญดังต่อไปนี้

- เก็บตัวอย่างเถ้าปาล์มน้ำมันมาศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นได้แก่การสำรวจสี รูปร่าง ความละเอียด ขนาดคละ ความถ่วงจำเพาะ และองค์ประกอบทางเคมี การวิจัยในขั้นตอนนี้เป็นการจ้างห้องปฏิบัติการภายนอกเป็นผู้วิเคราะห์ให้เกือบทั้งหมด
- ทดลองเพื่อหาส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์มวลรวม และเถ้าปาล์ม ที่ให้กำลังอัด การดูดซึมน้ำและความหนาแน่นตามที่ระบุไว้ การทดลองในขั้นตอนนี้มีอุปกรณ์ที่สำคัญคือ Universal Testing Machine ใช้ทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต
- นำส่วนผสมที่เลือกไปทำอิฐคอนกรีตต้นแบบเพื่อทดสอบหาค่าการนำความร้อน ซึ่งในการทดสอบต้องอาศัยการจ้างห้องปฏิบัติการภายนอก
- นำอิฐคอนกรีตต้นแบบไปก่อเป็นกล่องทดสอบเพื่อวัดการส่งผ่านความร้อนเทียบกับวัสดุผนังชนิดอื่น ๆเครื่องมือวิจัยที่สำคัญในขั้นตอนนี้คือ เครื่องตรวจวัดและบันทึกอุณหภูมิ
- วิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 ตัวอย่างเถ้าปาล์มและการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้ตัวอย่างเถ้าปาล์มจากโรงงานปาล์มน้ำมันขนาดใหญ่ 2 แห่งในจังหวัดกระบี่เป็นหลัก ซึ่งมีผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นดังต่อไปนี้



ภาพที่ 1 การกระจายขนาดอนุภาคของเถ้าปาล์มและมวลรวมต่าง ๆ เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานตาม ASTM C33

- เถ้าปาล์มมีความละเอียดมากกว่ามวลรวมชนิดอื่นที่ใช้ผลิตอิฐคอนกรีต ได้แก่ หินฝุ่น ทรายหยาบ และทรายละเอียด ดังแสดงในภาพที่ 1 ดังนั้นจึงไม่เหมาะต่อการนำไปใช้เป็นมวลรวมเพียงอย่างเดียว

- อนุภาคของเถ้าปาล์มมีรูพรุนมากกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ดังนั้นเมื่อนำไปใช้แทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะทำให้ Water-Cement Ratio ค่อนข้างสูงและคอนกรีตมีการดูดซึมน้ำค่อนข้างมาก

- เถ้าปาล์มจัดเป็นวัสดุปอซโซลาน Class N ซึ่งสามารถใช้แทนปูนซีเมนต์บางส่วนในคอนกรีตได้

3.2 การทดลองใช้เถ้าปาล์มน้ำมันเป็นส่วนผสมของคอนกรีต

การทดลองในขั้นตอนนี้เป็นการหาส่วนผสมของคอนกรีตหรือซีเมนต์มอร์ต้าที่มีเถ้าปาล์มน้ำมันผสมอยู่ด้วย โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ได้ซีเมนต์มอร์ต้าหรือคอนกรีตที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ โดยทำการทดสอบกำลังอัดของซีเมนต์มอร์ต้ารูปทรงลูกบาศก์ขนาด 5 ซม. × 5 ซม. × 5 ซม. ที่บ่มไว้หลังจากการผสม 3, 7, 14 และ 28 วัน สำหรับการทดสอบอื่น ๆ ได้แก่การหาค่าการดูดซึมน้ำและการหาความหนาแน่น ตัวแปรที่ทำการทดลองคือ ปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ปริมาณเถ้าปาล์มน้ำมัน และมวลรวมซึ่งได้แก่ทรายและหินฝุ่น โดยแบ่งการทดลองเป็นสองระยะคือ การทดลองเบื้องต้น และการทดลองเพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด

3.2.1 การทดลองเบื้องต้น เป็นการทดลองเพื่อทดสอบเป็นการทดลองแบบ Try Out เพื่อตรวจสอบว่าการเติมเถ้าปาล์มน้ำมันเพื่อทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์หรือทดแทนมวลรวมอย่างใดอย่างหนึ่งจะให้ผลอย่างไร จากการทดลองสามารถสรุปประเด็นที่สำคัญได้ดังต่อไปนี้

- ปริมาณเถ้าปาล์มที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ Water-Cement Ratio และการดูดซึมน้ำสูงขึ้นจากประมาณร้อยละ 5 เป็นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักตามไปด้วย

- ความหนาแน่นหรือหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตลดลง ตามปริมาณเถ้าปาล์มที่เพิ่มขึ้น แต่ยังมีค่าสูงเกินกว่า 2,000 กก./ลบ.ม.

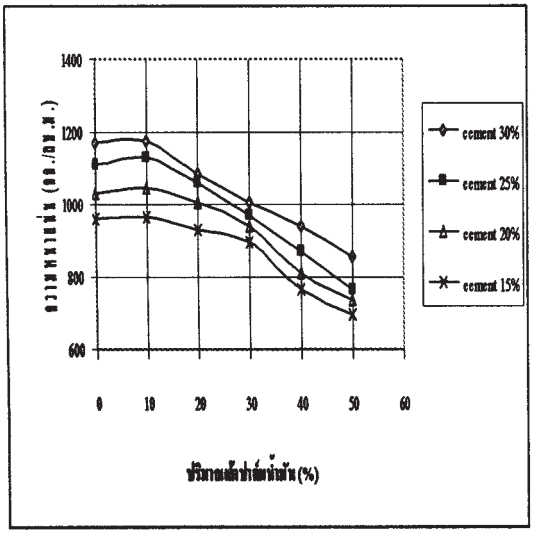
- กำลังอัดของคอนกรีตลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าปาล์ม แต่ยังเกินกว่าที่ต้องการคือ 75 กก./ตร.ซม.

- การผสมหินฝุ่นไม่ให้ผลแตกต่างกับการไม่ผสมนัก ดังนั้นในการทดลองระยะหลัง จึงพิจารณาไม่ใช้หินฝุ่น เนื่องจากเป็นวัสดุที่หาซื้อได้ไม่ง่าย

ในการทดลองเบื้องต้นนี้ใช้เถ้าปาล์ม เพียงประมาณไม่เกินร้อยละ 15 ของน้ำหนักคอนกรีตทั้งหมด ซึ่งพบว่าความหนาแน่นของคอนกรีตยังสูงถึงประมาณ 2,000 กก./ลบ.ม. ขึ้นไป อีกทั้งกำลังอัดยังสูงเกินค่าที่จำเป็นอยู่มากพอสมควร และยังสามารถยอมให้มีการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นได้อีก ดังนั้นในการทดลองเพื่อปรับหาส่วนผสมในขั้นต่อไปจึงสามารถเพิ่มปริมาณเถ้าปาล์มน้ำมันขึ้นได้อีก

3.2.2 การทดลองเพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด เมื่อพบว่าสามารถเพิ่มสัดส่วนของเถ้าปาล์มได้อีก จึงได้ทำการทดลองโดยใช้ส่วนผสมดังที่แสดงในตารางที่ 1

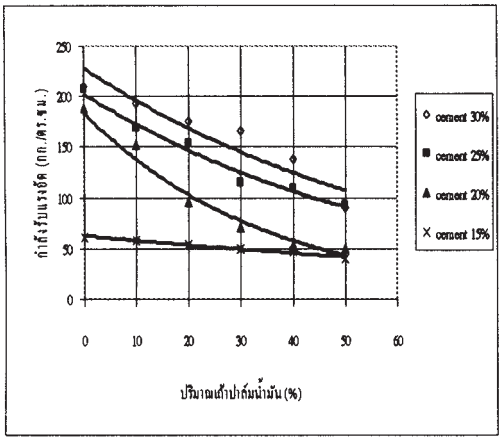
จากการทดลองชุดนี้พบว่าความหนาแน่นของคอนกรีตลดลงจากเดิม เหลือไม่เกิน 1,200 กก./ลบ.ม. ดังภาพที่ 2 ส่วนการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นจนบางตัวอย่างมีค่าเกินค่าที่ต้องการคือร้อยละ 20 ในขณะที่กำลังอัดของคอนกรีตดังที่แสดงในภาพที่ 3 ลดลง จนบางส่วนต่ำกว่า 75 กก./ตร.ซม. ที่ต้องการ ดังนั้นจากผลการทดลองนี้จึงเลือกอัตราส่วนผสมที่ให้คุณสมบัติตามที่ต้องการได้ 2 ส่วนผสมคือ ปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อเถ้าเท่ากับ 1:3:1 (ร้อยละ 20:60:20) และ 1:1:2 (ร้อยละ 25:25:50) โดยน้ำหนัก



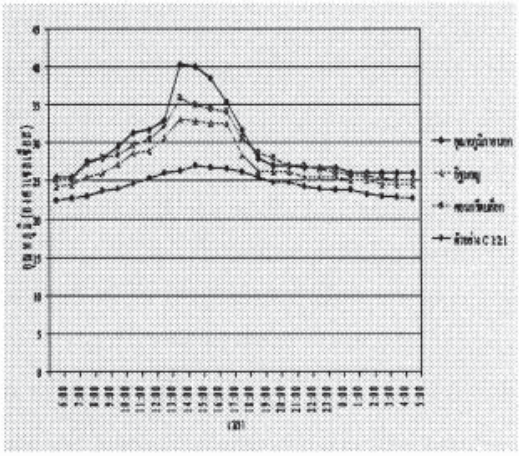
ภาพที่ 2 ความหนาแน่นของคอนกรีตผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมระหว่างซีเมนต์เถ้าปาล์มทราย และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ใช้ในการทดลอง

ปูนซีเมนต์ (%)	เถ้าปาล์ม (%)	ทราย (%)	W/C Ratio
30	0	70	0.700
30	10	60	0.850
30	20	50	0.950
30	30	40	0.950
30	40	30	1.000
30	50	20	1.300
25	0	75	0.750
25	10	65	0.875
25	20	55	1.125
25	30	45	1.375
25	40	35	1.375
25	50	25	1.450
20	0	80	0.750
20	10	70	0.875
20	20	60	1.125
20	30	50	1.375
20	40	40	1.450
20	50	30	1.550
15	0	85	0.800
15	10	75	0.875
15	20	65	1.200
15	30	55	1.400
15	40	45	1.550
15	50	35	1.600



ภาพที่ 3 กำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน



ภาพที่ 4 อุณหภูมิภายในกล่องทดสอบจากวัสดุต่างชนิดกัน

3.3 การทดสอบคุณสมบัติทางความร้อน

3.3.1 การทดสอบหาค่าการนำความร้อน โดยการส่งตัวอย่างอิฐคอนกรีตไปทดสอบที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ซึ่งได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าคอนกรีตที่ใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อเถ้าปาล์มในอัตราส่วน 1:1:2 ให้ค่าการนำความร้อนต่ำกว่าเมื่อเทียบกับส่วนผสมที่ใช้เถ้าปาล์มในอัตราส่วนอื่นๆ จึงนำตัวอย่างดังกล่าวมาสร้างกล่องทดสอบเพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายใน และความเป็นไปได้ในการใช้งานจริง

3.3.2 การทดสอบความสามารถในการส่งผ่านความร้อน กระทำโดยวัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในและภายนอกกล่องทดสอบเทียบกับวัสดุก่อผนังชนิดอื่นๆ ได้แก่ คอนกรีตบล็อก และอิฐมอญ ที่สร้างขึ้นมาเพื่อเปรียบเทียบกัน ซึ่งผลที่ได้รับแสดงในภาพที่ 4

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุที่ศึกษา

ตัวอย่างวัสดุ	ค่าการนำความร้อน (*K*) (W/mK)	ความต้านทานความร้อน (*R*) (m^2K/W)
อิฐมอญ	0.473	0.150
คอนกรีตบล็อก	0.519	0.149
คอนกรีตมวลเบา	0.089–0.132	0.580
คอนกรีตที่ใช้เถ้าปาล์มแทนที่ทราย 25%	0.505	0.198
คอนกรีตที่ใช้เถ้าปาล์มแทนที่หินฝุ่น 25%	0.324	0.309
คอนกรีตที่ผสม ปูน-ทราย-เถ้า 1-1-2	0.194	0.515
คอนกรีตที่ผสม ปูน-ทราย-เถ้า 1-3-1	0.215	0.465

จากการทดสอบนี้พบว่าอุณหภูมิภายในกล่องทดสอบที่ทำด้วยตัวอย่างอิฐคอนกรีตผสมเถ้าปาล์มน้ำมันมีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิภายนอกน้อยกว่ากล่องทดสอบที่ทำด้วยอิฐมอญและคอนกรีตบล็อก ซึ่งเมื่อนำไปใช้เป็นวัสดุเปลือกอาคาร สามารถคาดการณ์ได้ว่าจะเกิดผลเช่นเดียวกัน ภายในอาคารจะมีความสบายมากกว่า และใช้พลังงานในการปรับอากาศน้อยใกล้เคียงกับอิฐมวลเบา

3.4 การประมาณค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง

เนื่องจากเนื้อผิวสัมผัสของอิฐคอนกรีตผสมเถ้าปาล์มน้ำมันที่ได้จากการทดลองนี้ค่อนข้างเรียบ ซึ่งไม่จำเป็นต้องฉาบ ดังนั้น จากการประมาณราคาค่าก่อสร้างผนังอาคารด้วยวัสดุต่างๆ จึงพบว่าค่าก่อสร้างผนังอิฐคอนกรีตผสมเถ้าปาล์มน้ำมันมีราคาประมาณ 300 บาทต่อตารางเมตร ซึ่งต่ำกว่าผนังที่ทำด้วยอิฐมอญเล็กน้อย และต่ำกว่าผนังที่ทำด้วยอิฐมวลเบาค่อนข้างมาก

4. บทสรุป

เถ้าปาล์มน้ำมันที่บดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 แล้วนั้น สามารถนำมาเป็นส่วนผสมสำหรับทำอิฐคอนกรีตได้เป็นอย่างดี โดยใช้ปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อเถ้าปาล์ม ในอัตราส่วน 1:1:2 (สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 1.45) ซึ่งเป็นสูตรที่สามารถจดจำและใช้งานง่าย อิฐคอนกรีตผสมเถ้าปาล์มที่ได้จากการวิจัยนี้มีค่าการนำความร้อนต่ำใกล้เคียงกับอิฐมวลเบา แต่มีราคาใกล้เคียงกับผนังอิฐมอญ ดังนั้นจึงสมควรอย่างยิ่งที่จะต้องส่งเสริมให้มีการผลิตอิฐคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าปาล์มน้ำมันอย่างจริงจังต่อไป ซึ่งนอกจากจะเป็นวัสดุผนังอาคารที่ช่วยลดการใช้กระแสไฟฟ้าในการปรับอากาศแล้ว ยังช่วยลดปัญหาในการกำจัดเถ้าปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมากในแต่ละปีอีกด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณโครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำปี 2548 ที่ให้การสนับสนุนทุนสำหรับดำเนินการวิจัย อย่างไรก็ตาม ความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้รับทุน สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

6. เอกสารอ้างอิง

1. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. **"ข้อมูลโรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม"**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.diw.go.th/diw/m6_index.html
2. ชุติสรา ปะกิระตัง และ พุทธวรรณ แซ่แต้. 2546. **"การพัฒนาคอนกรีตบล็อกโดยใช้เถ้ามะพร้าว"**. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www. techno. msu.ac.th
3. ณัฐพงศ์ ดำรงวิริยะนุภาพ. 2544. **การหาปริมาณที่เหมาะสมของเถ้าลอยสำหรับดินซีเมนต์** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
4. ไตรเทพ แสนวงศ์, สุภาพร เขื่อนขันธ์ และ โสภณ มุสิกะสังข์. 2544. **รายงานโครงงานเรื่อง การศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมด้วยขี้เถ้าปาล์มและขี้เถ้าไม้ยางพารา**, รายงานโครงงานภาควิชาครุศาสตร์โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
5. บุรฉัตร ฉัตรวีระ, ณรงค์ศักดิ์ มากุล และ บัณฑิต รักษาดี. 2547. **"การใช้เถ้าแกลบไม่บดในการผลิตคอนกรีตบล็อก."** [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.eit.or.th/article/show.asp?id=01020023
6. วีรชาติ ตั้งจิรภัทร, จตุพล ตั้งประกาศิต, ศักดิ์สินธุ์ แววคุ้ม และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. 2546. **วัสดุปอซโซลานชนิดใหม่จากเถ้าปาล์มน้ำมัน.** วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม-

เกล้าธนบุรี. 4 (ตุลาคม-ธันวาคม 2546): 459-473.

7. สุรพันธ์ สุคันธปรีย์, จตุพล ตั้งประกาศิต และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. 2546. **การศึกษาอิฐดอนกรีตที่มีเถ้าแกลบ-เปลือกไม้เป็นส่วนผสม.**, ปีที่ 14 ฉบับที่ 3 2546: 1-7.
8. American Society for Testing and Material. 1995. "**ASTM C618, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as Mineral Admixture in Concrete.**," 1995 Annual Book of ASTM Standards, United State of America.
9. American Society for Testing and Material. 2001. "**ASTM C331 - 05 Standard Specification for Lightweight Aggregates for Concrete Masonry Units.**" 2001 Annual Book of ASTM Standards, United State of America.
10. Augustine Uche Elinwa and Yakubu Abba Mahmood. 2002. "**Ash from timber waste as cement replacement material.**" Cement and Concrete Composites, 24: 219-222.
11. Fatih, T. and mit, A. 2001. "**Utilization of fly ash in manufacturing of building brick.**" [Online] Available: http://www.flyash.info (25 September 2005).
12. Hydraform. 2005. "**Technical Information: Hydraform interlocking block.**" [Online]. Available: http://www.hydraformindia.com/ (20 November 2005).
13. Kayali, O. 2004. "**High performance bricks from fly ash.**" [Online]. Available: www.flyash.info/2005/5kay.pdf (18 December 2005).
14. Naik,T.R., 2004. "**Production of masonry blocks for developing countries.**" [Online]. Available: http://www.pubs.asce.org/WWWdisplay.cgi?8901201 (15 January 2006).
15. Oyetola, E.B. and Adullahi, M.. 2006. "**The use of rice husk ash in low-cost sandcrete block production.**" Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, 8: 58-70.
16. Phillips, B.L., Groppe, J. G., and Peronne, R. 2005. "**Evaluation of processed bottom ash for use as lightweight aggregate in production of concrete masonry units.**" [Online]. Available: http://www.flyash.info/2005/2phi.pdf (8 November 2005).
17. Suwanvitaya, P. and Suwanvitaya, P. 2006. "**Utilization of Mae Moh bottom ash as fine aggregate replacement in mortar.**" International Conference on Pozzolan, Concrete and Geopolymer Khon Kaen, Thailand May 24-25, pp.127-132.
18. Tay, J. and Show, K. 1995. "**Use of ash derived from oil-palm waste incineration as a cement replacement material.**" Resource, Conservation and Recycling, 13: 27-36.