# การใช้ประโยชน์จากเถ้าไม้ยางพาราในผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

# Utilization of Parawood Ash in Concrete Paving Blocks

ทวิช กล้าแท้ * นภดล ศรภักดี ชยณัฐ บัวทองเกื้อ และ นฤพล ดีดาษ

Tawich Klathae *, Napadon Sornpakdee, Chayanut Buathongkhue and Naruapol Deedard

Received: 10 November 2017, Revised: 4 July 2019, Accepted: 6 September 2019

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้เถ้าไม้ยางพาราแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ที่ร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ควบคุมปริมาณน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.330, 0.365, 0.405 และ 0.455 ตามลำดับ ผลการทดสอบค่ากำลังอัดที่ 7, 14, 28 วัน และทดสอบการดูดกลืนน้ำที่ 28 วัน พบว่าการเพิ่มปริมาณของเถ้าไม้ยางพารา ทำให้ค่ากำลังอัดลดลง และมีการดูดกลืนน้ำเพิ่มขึ้น โดยการใช้เถ้าไม้ยางพาราแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ร้อยละ 10 และ 20 ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 827-2531 และ มอก. 2035-2543 ตามลำดับ

**คำสำคัญ:** คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น, เถ้าไม้ยางพารา, กำลังอัด, การดูดกลืนน้ำ, อายุบ่ม

## ABSTRACT

This research was conducted to study the use of parawood ash (PWA) as the replacement of Portland cement type 1 in producing concrete paving blocks. The mixtures of PWA which contain 0, 10, 20 and 30% by weight of binder were examined in this study. The control variable is the ratio between water and binder material (0.330, 0.365, 0.405 and 0.455). The compressive strength of the concrete blocks was tested on different curing periods of 7, 14, 28 days and the water absorption at 28 days. The result showed that the increasing amount of PWA decreased the compressive strength but increased water absorption. The concrete blocks using PWA to replace Portland cement type 1 at 10 and 20 percent meet the standard of TIS. 827-2531 and TIS. 2035-2543, respectively.

---

สาขาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช เลขที่ 99 หมู่ 4 ตำบลท้องเนียน อำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช 80210

Department of Civil Engineering, College of Industrial Technology and Management, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Nakhon Si Thammarat Campus, 99 Moo 4, Thong Nian, Khanom, Nakhon Si Thammarat, 80210, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): Tawich.k@rmutsv.ac.th Tel: 08 4149 7426

**Key words:** concrete paving block, parawood ash, compressive strength, water absorption, curing

## บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีเนื้อที่ปลูกยางพารามากเป็นอันดับสองของโลกรองจากประเทศอินโดนีเซีย มีเกษตรกรที่ปลูกยางพารารวมทั้งประเทศประมาณ 6 ล้านคน หรือประมาณร้อยละ 10 ของประชากรทั้งประเทศ (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2558) โดยในปี 2560 สำนักนโยบายและแผน สำนักงานปลัดกระทรวงมหาดไทย คาดการณ์ว่าประเทศไทยจะมีพื้นที่ปลูกยางพาราที่กรีดได้ประมาณ 20.61 ล้านไร่ มีผลผลิตประมาณ 4.84 ล้านตัน ผลผลิตต่อไร่ 235 กิโลกรัมต่อไร่ โดยคาดว่าจะมีความต้องการใช้ยางพาราเพิ่มขึ้นเป็น 0.62 ล้านตันจากปี 2559 เนื่องจากมีความต้องการใช้ยางพาราในอุตสาหกรรมยานยนต์รวมทั้งนโยบายของรัฐบาลที่ส่งเสริมและสนับสนุนการใช้ยางพาราภายในประเทศมากขึ้น (สำนักงานปลัดกระทรวงมหาดไทย, 2560) หลังจากยางพาราที่ไม่สามารถให้ผลผลิตน้ำยางได้แล้วจะถูกนำไปแปรรูปใช้เป็นวัสดุในการทำเฟอร์นิเจอร์ เป็นผลทำให้เหลือเศษไม้ยางพาราเป็นจำนวนมาก ซึ่งเศษไม้ยางพาราเหล่านี้จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ และปัจจุบันยังนำไปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2556) โดยเถ้าไม้ยางพาราเป็นวัสดุพลอยได้จากการนำเศษไม้ยางพารามาเผาเป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อกำเนิดไอน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า มีอุณหภูมิในการเผาไหม้ประมาณ 1,000 องศาเซลเซียส โดยในการผลิตกระแสไฟฟ้า 22 เมกะวัตต์ ต้องใช้เศษไม้ยางพารา 750 ตัน ซึ่งจะได้เถ้าไม้ยางพาราประมาณ 15 ตัน (อาบีดีน และคณะ, 2554) ส่งผลให้มีปริมาณเถ้าไม้ยางพาราหลังกระบวนการผลิตเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นปัญหาในการขจัดทิ้งและใช้พื้นที่ในการกองเก็บ โดยในปี 2551 อาบีเด็ง และ ดนุพล (2551) ได้ทำการศึกษาสมบัติของคอนกรีตมวลเบาหินพัมมิซผสมเถ้าไม้ยางพาราและเถ้าแกลบ โดยพบว่าองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าไม้ยางพารา (PWA) มีองค์ประกอบหลัก คือแคลเซียมออกไซด์ (CaO) โดยมีปริมาณของ CaO เท่ากับร้อยละ 41.19 ซึ่งปริมาณ CaO ส่งผลโดยตรงต่อสมบัติด้านกำลังอัด ส่วนองค์ประกอบของซิลิกอนไดออกไซด์ ($SiO_2$) อะลูมิเนียมไดออกไซด์ ($Al_2O_3$) และไอออนออกไซด์ ($Fe_2O_3$) พบว่าใน PWA มีองค์ประกอบร้อยละ 2.57, 0.53 และ 0.56 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1 ต่อมาอาบีดีน และคณะ (2554) ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของอิฐที่มีส่วนผสมของเถ้าไม้ยางพารา โดยมีส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 เถ้าไม้ยางพาราและทราย ในอัตราส่วน 50: 45 : 5, 60 : 35 : 5 และ 70 : 25 : 5 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสาน 0.80, 1.07 และ 1.76 จากผลการทดสอบพบว่าความแข็งแรงของอิฐที่มีส่วนผสมของเถ้าไม้ยางพาราจะเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาสำคัญ 2 ปฏิกิริยา ได้แก่ ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ เป็นปฏิกิริยาหลักที่ทำให้เกิดความแข็งแรงแก่อิฐ และปฏิกิริยาปอซโซลาน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดหลังจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างซิลิกอนไดออกไซด์ ($SiO_2$) และอะลูมิเนียมออกไซด์ ($Al_2O_3$) ที่มีอยู่ในเถ้าไม้ยางพารากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ $Ca(OH)_2$ ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ทำให้เกิดสารเชื่อมประสานขึ้น จากนั้น อาบีดีน และคณะ (2557) ได้ทำการศึกษาสมบัติของอิฐบล็อกประสานจากเถ้าไม้ยางพาราผสมดินขาวนราธิวาส โดยมีส่วนผสมในการทำอิฐบล็อกประสาน ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ดินขาว เถ้าไม้ยางพารา

และทราย ผลการศึกษาพบว่า เมื่อพิจารณาตามมาตรฐาน มอก. 57-2533 และ มอก. 58-2530 อิฐบล็อกประสานที่มีอัตราส่วนของดินขาว เถ้าไม้ยางพาราและทรายที่อัตราส่วน 3:1:2 โดยน้ำหนัก ผ่านมาตรฐานบล็อกประสานชั้นคุณภาพไม่รับน้ำหนัก

**ตารางที่ 1** องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (OPC) และเถ้าไม้ยางพารา (PWA)

| Chemical Composition (%) | OPC | PWA |
|---|---|---|
| Silicon dioxide ($SiO_2$) | 20.80 | 2.57 |
| Aluminum oxide ($Al_2O_3$) | 5.50 | 0.53 |
| Ferric oxide ($Fe_2O_3$) | 3.16 | 0.56 |
| Calcium oxide (CaO) | 64.97 | 41.19 |
| Magnesium oxide (MgO) | 1.06 | 4.52 |
| Potassium oxide ($K_2O$) | 0.55 | 16.11 |
| Sodium oxide ($Na_2O$) | 0.08 | - |
| Sulfur trioxide ($SO_3$) | 2.96 | 5.54 |
| Phosphorus pentoxide ($P_2O_5$) | - | 3.06 |
| Loss on ignition (L O I) | 1.40 | 23.28 |

OPC = ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1, PWA = เถ้าไม้ยางพารา. (อาบีเด็ง, 2551)

หากเมื่อพิจารณาตามมาตรฐาน ASTM C618 (ASTM, 2008) แล้วจะพบเถ้าไม้ยางพาราไม่จัดเป็นสารปอซโซลาน เนื่องจากผลรวมของปริมาณซิลิคอนไดออกไซด์ อะลูมิเนียมไดออกไซด์และไอรอนออกไซด์ น้อยกว่าร้อยละ 50 และปริมาณซัลเฟอร์ไตรออกไซด์เกินร้อยละ 5 ถึงแม้ว่าเถ้าไม้ยางพาราไม่จัดเป็นสารปอซโซลาน แต่ปริมาณแคลเซียมออกไซด์ที่สูงก็เป็นปัจจัยหลักในการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน เพราะซิลิกอนไดออกไซด์และอะลูมิเนียมไดออกไซด์ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของปอซโซลานทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเกิดจากการรวมตัวของแคลเซียมออกไซด์กับน้ำ ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นไอออนไปทำปฏิกิริยาทำให้เกิดสารเชื่อมประสานขึ้น (สุวัฒนา, 2553)

จากผลการศึกษาที่ผ่านมาของเถ้าไม้ยางพารา ผู้วิจัยคาดว่าเถ้าไม้ยางพารานั้นจะให้ผลดีต่อคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว เมื่อมีการใช้ในปริมาณที่เหมาะสม และสามารถลดปัญหาสภาพแวดล้อมและการจัดการขยะ จึงมีแนวความคิดที่จะนำเถ้าไม้ยางพารามาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 บางส่วนเพื่อผลิตบล็อกประสานปูพื้น โดยพิจารณากำลังรับแรงอัดและการดูดกลืนน้ำ และเพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 827-2531 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2531) และ มอก. 2035-2543 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2543) ตามลำดับ

## วิธีดำเนินการวิจัย

**1. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย**

1) ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการศึกษาเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตราช้าง

2) เถ้าไม้ยางพาราที่ใช้จาก บริษัท เซฟสกินเมดดิคอล แอนด์ ไซเอนทิฟิก (ประเทศไทย) จำกัด อำเภอสะเดา จังหวัดสงขลา ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 4 จากนั้นอบด้วยอุณหภูมิ 105± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อกำจัดความชื้น

3) ทรายหยาบ เป็นทรายบกในเขตอำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช

4) หินฝุ่น ใช้หินฝุ่นจากโรงโม่หินผาทอง ตำบลพลายวาส อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ที่ ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ลงมาจนถึงส่วนที่เป็นฝุ่น

5) คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น แบบตัวหนอน (คชกริช) ขนาด 22.5 × 11.5 × 6 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 1

(ก) ขั้นตอนการอัดบล็อกประสาน

(ข) ขั้นตอนการบ่มบล็อกประสานปูพื้น

**ภาพที่ 1** การผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นตัวอย่าง

อัตราส่วนผสม ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1: ทราย: หินฝุ่น และทำการผสมเถ้าไม้ยางพาราทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่ร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสานโดยสัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิจัย ดังแสดงในตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** แสดงอัตราส่วนผสมการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

| Concrete Paving Block Symbols | kg/m$^3$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | OPC | PWA | Sand | Stone Dust | Water | W/B |
| OPC100 | 605.00 | - | 928 | 580 | 199 | 0.330 |
| OPC90PWA10 | 544.50 | 60.50 | 928 | 580 | 220 | 0.365 |
| OPC80PWA20 | 484.00 | 121.00 | 928 | 580 | 245 | 0.405 |
| OPC70PWA30 | 423.50 | 181.50 | 928 | 580 | 275 | 0.455 |

หมายเหตุ : OPC:ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1, PWA:เถ้าไม้ยางพารา, W/B:อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

ทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่อายุการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน และทดสอบค่าการดูดกลืนน้ำที่อายุ 28 วัน เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 827-2531 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2531) และ มอก. 2035-2543 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2543) โดยจำนวนตัวอย่างของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น แสดงในตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** แสดงจำนวนตัวอย่างคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

| Mixture | Number of concrete paving block | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Compressive strength | | Water absorption | | Total |
| | 7 Days | 14 Days | 28 Days | 28 Days | (Block) |
| OPC100 | 5 | 5 | 5 | 5 | 20 |
| OPC90PWA10 | 5 | 5 | 5 | 5 | 20 |
| OPC80PWA20 | 5 | 5 | 5 | 5 | 20 |
| OPC70PWA30 | 5 | 5 | 5 | 5 | 20 |
| Total | 20 | 20 | 20 | 20 | 80 |

**2. การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ**

1) ทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดกลืนน้ำของวัสดุผสมตามมาตรฐาน ASTM C128 (ASTM, 2015)

2) ทดสอบหาหน่วยน้ำหนักและช่องว่างของวัสดุผสมตามมาตรฐาน ASTM C29 (ASTM, 2007)

3) ทดสอบหาขนาดคละและค่าโมดูลัสความละเอียดของวัสดุผสมตามมาตรฐาน ASTM C33 (ASTM, 2011) และ ASTM C136 (ASTM, 2001)

4) ทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะตามมาตรฐาน ASTM C188 (ASTM, 2009)

5) ทดสอบความต้องการน้ำของวัสดุประสานโดยใช้ชุดทดสอบโต๊ะการไหลแผ่ตามมาตรฐาน ASTM C230 (ASTM, 2014)

**3. การทดสอบกำลังรับแรงอัดและการดูดกลืนน้ำของตัวอย่างคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น**

1) การทดสอบกำลังรับแรงอัด ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 827-2531 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2531)

2) การทดสอบการดูดกลืนน้ำ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2035-2543 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2543)

## ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

**1. ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุผสม**

จากผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งหินฝุ่นและทรายมีเท่ากับ 2.65 และ 2.61 ตามลำดับ โดยทั่วไปจะมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 2.4 ถึง 2.9 (วินิต, 2539) จะเห็นได้ว่าหินฝุ่นและทรายมีค่าความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกัน แสดงว่าวัสดุทั้งสองชนิดนั้นมีขนาดของอนุภาคและน้ำหนักในหนึ่งหน่วยปริมาตรที่ใกล้เคียงกัน ส่วนการทดสอบการดูดกลืนน้ำพบว่าหินฝุ่นมีค่าการดูดกลืนน้ำเท่ากับร้อยละ 0.73 ซึ่งมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดอยู่เล็กน้อย ซึ่งวัสดุผสมโดยทั่วไปจะมีค่าการดูดกลืนน้ำไม่เกินร้อยละ 0.70 สาเหตุที่ทำให้หินฝุ่นมีค่าการดูดกลืนน้ำเกินกว่าที่กำหนด เนื่องจากในหินฝุ่นจะมีปริมาณฝุ่นรวมอยู่อนุภาคขนาดเล็กของฝุ่นทำให้มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงส่งผลให้ต้องเพิ่มปริมาณน้ำมากขึ้นเพื่อเคลือบผิววัสดุ ส่วนทรายมีค่าการดูดกลืนน้ำเท่ากับ ร้อยละ 0.61 ซึ่งมีค่าการดูดกลืนน้ำอยู่ในช่วงวัสดุผสมโดยทั่วไปจะมีค่าการดูดกลืนน้ำไม่เกินร้อยละ 0.70 ดังแสดงในตารางที่ 4

**ตารางที่ 4** แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุผสม

| Properties | Stone dust | Sand | Standard |
|---|---|---|---|
| Specific gravity | 2.65 | 2.61 | 2.4-2.9 |
| Water absorption (%) | 0.73 | 0.61 | <0.7 |
| Unit weight (kg/m$^3$) | 1,810.59 | 1,753.24 | 1,440-1,940 |
| Fineness modulus (F.M.) | 3.69 | 3.49 | 2.25-3.25 |

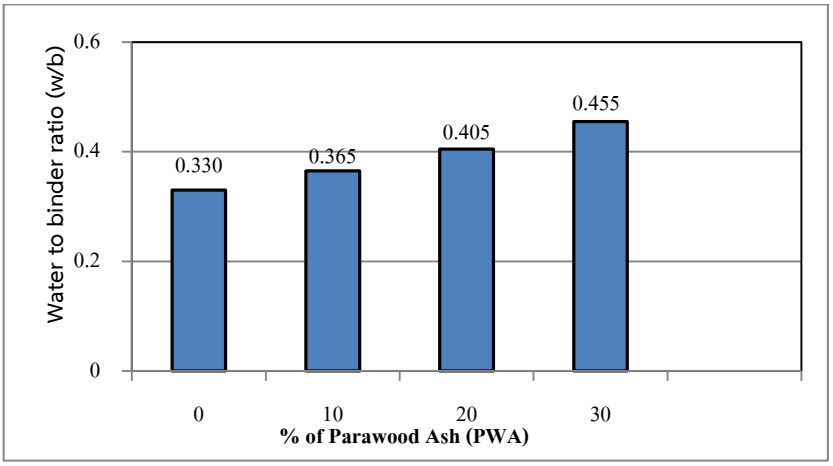
ผลการทดสอบหน่วยน้ำหนักและช่องว่าง พบว่าหินฝุ่นและทรายมีค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1,810.59 และ 1,753.24 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งวัสดุผสมโดยทั่วไปจะมีค่าหน่วยน้ำหนักอยู่ระหว่าง 1,440 ถึง 1,940 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (วินิต, 2539) จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าทั้งหินฝุ่นและทรายจะมีหน่วยน้ำหนักค่อนข้างสูงซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุทั้งสองมีปริมาณช่องว่างระหว่างอนุภาคต่ำ ซึ่งแสดงว่าวัสดุทั้งสองชนิดมีการจัดขนาดคละที่ดีนั่นเอง ซึ่งเมื่อนำมาผสมคอนกรีตจะช่วยลดปริมาณเนื้อซีเมนต์เพสต์ลงได้ และยังมีความสามารถในการทำงานและการปรับแต่งผิวหน้าได้ดีอีกด้วย

จากผลการทดสอบค่าโมดูลัสความละเอียดของหินฝุ่นและทราย พบว่าหินฝุ่นและทรายมีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 3.69 และ 3.49 ซึ่งมีค่าโมดูลัสความละเอียดเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนด โดยทั่วไปค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายจะอยู่ในช่วง 2.25 ถึง 3.25 (วินิต, 2539) จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าทั้งหินฝุ่นและทรายมีค่าโมดูลัสความละเอียดสูงกว่าค่ามาตรฐานค่อนข้างมาก วัสดุยิ่งหยาบค่าโมดูลัสความละเอียดก็จะยิ่งมีค่าสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าหินฝุ่นมีความหยาบมากกว่าทราย แต่อย่างไรก็ตามผลการทดสอบค่าโมดูลัสความละเอียดของหินฝุ่น ก็ยังสอดคล้องกับการศึกษาของ เผ่าพงศ์ และ ประชุม (2548) ซึ่งค่าโมดูลัสความละเอียดของหินฝุ่นเท่ากับ 3.682 ดังนั้นค่าโมดูลัสความละเอียดที่ได้นี้ จะสอดคล้องกับผลการทดสอบการวิเคราะห์ขนาดคละในข้างต้น คือทั้งหินฝุ่นและทรายมีลักษณะของอนุภาคที่ค่อนข้างหยาบ

**ภาพที่ 2** กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ผ่านสะสมกับขนาดตะแกรง

ภาพที่ 2 แสดงการทดสอบการวิเคราะห์ขนาดคละของหินฝุ่นและทราย พบว่าหินฝุ่นและทรายมีขนาดคละไม่เป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด ASTM C33(ASTM, 2011) คือหินฝุ่นจะมีร้อยละผ่านสะสมในช่วงขนาดตะแกรงเบอร์ 8 และเบอร์ 16 ต่ำกว่าที่เกณฑ์กำหนดค่อนข้างมาก ซึ่งแสดงว่าอนุภาคของหินฝุ่นส่วนใหญ่จะค้างบนตะแกรงเบอร์ 8 และเบอร์ 16 ซึ่งหมายความว่าหินฝุ่นที่ทดสอบนั้นจะมีลักษณะค่อนข้างหยาบนั่นเอง ส่วนทรายนั้นจะมีร้อยละผ่านสะสมในช่วงขนาดตะแกรงเบอร์ 8 ต่ำกว่าที่เกณฑ์กำหนดค่อนข้างมาก และขนาดตะแกรงเบอร์ 16 ต่ำกว่าที่เกณฑ์กำหนดอยู่เล็กน้อย ซึ่งแสดงว่าทรายมีความหยาบเพียงเล็กน้อย

**2. ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุประสาน**



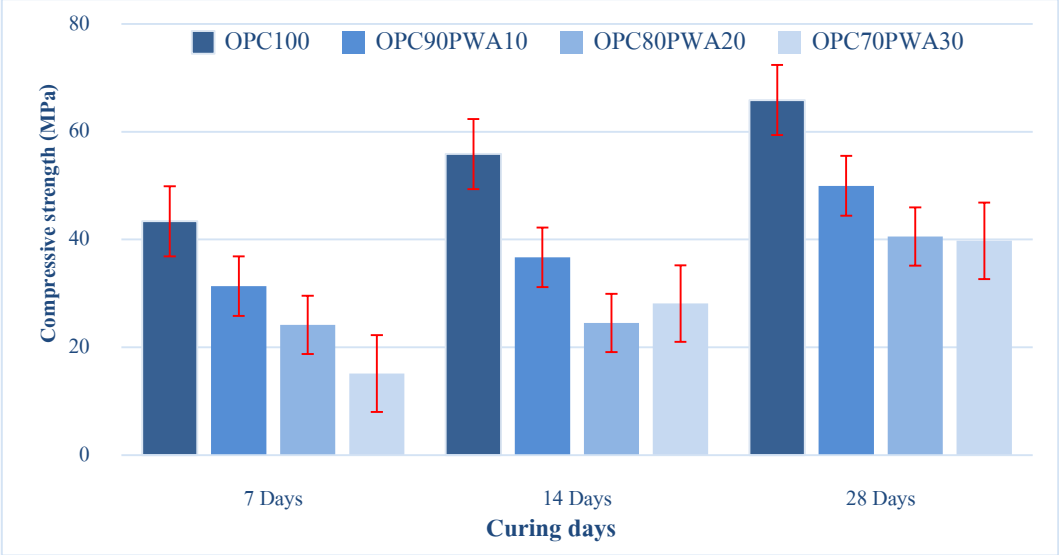

**ภาพที่ 3** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการน้ำกับปริมาณเถ้าไม้ยางพารา

การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของเถ้าไม้ยางพาราเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตราช้าง พบว่าเถ้าไม้ยางพารามีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.59 ซึ่งน้อยกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 อยู่ประมาณร้อยละ 17.5 แสดงว่าเมื่อนำเถ้าไม้ยางพารามาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 บางส่วนในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น จะทำให้คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นมีน้ำหนักลดลง

ในภาพที่ 3 เป็นการแสดงผลการทดสอบความต้องการน้ำของซีเมนต์มอร์ต้าร์ เมื่อนำเถ้าไม้ยางพาราแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ในอัตราร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยควบคุมให้ซีเมนต์มอร์ต้าร์มีอัตราการไหลแผ่เท่ากับซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ล้วนที่ค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (W/B) เท่ากับ 0.330 โดยใช้ชุดทดสอบโต๊ะการไหลแผ่ พบว่าว่าซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าไม้ยางพารามีความต้องการน้ำสูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ล้วน และมีแนวโน้มความต้องการน้ำที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณร้อยละการแทนที่ของเถ้าไม้ยางพาราที่เพิ่มขึ้น โดยมีความต้องการน้ำที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ล้วนที่ร้อยละ 107, 115 และ 125 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษามอร์ต้าร์ผสมขี้เถ้าแกลบของ กันยาพร (2546) และวัสดุประเภทปอซโซลานธรรมชาติชนิดอื่นๆ (ปริญญา และ ชัย, 2555) ซึ่งสาเหตุเกิดจากอนุภาคของเถ้าไม้ยางพารามีความพรุนภายในอนุภาค

สูงกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ด้วยเหตุนี้ จึงทำให้ซีเมนต์มอร์ต้าร์ที่ผสมเถ้าไม้ยางพารามีความต้องการน้ำเพิ่มมากขึ้น เพราะความพรุนที่มาก ทำให้เถ้าไม้ยางพารามีการดูดซับน้ำได้มาก จึงมีความต้องการน้ำมากกว่าซีเมนต์มอร์ต้าร์ควบคุมเพื่อให้มีการไหลแผ่ที่เท่ากัน (อาบีเด็ง, 2551)

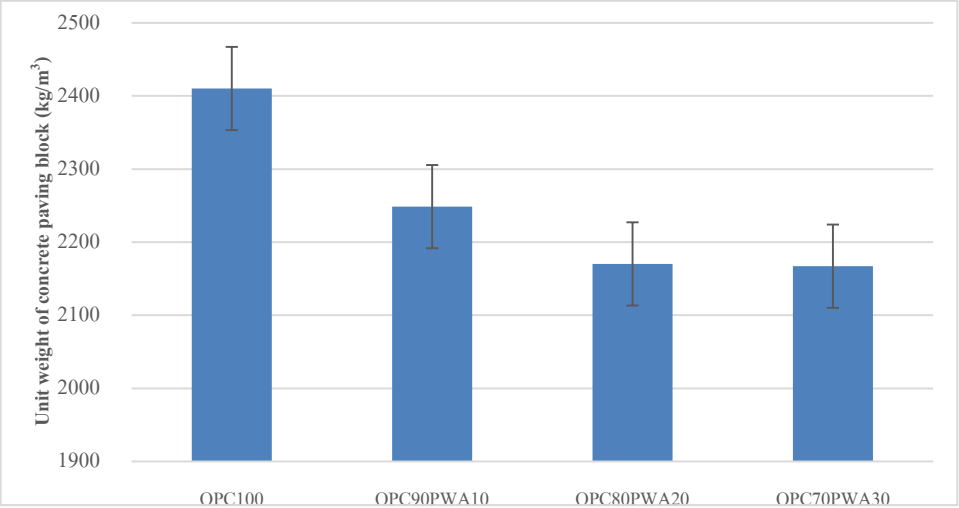
**3. ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น**




**ภาพที่ 4** แสดงผลกำลังอัดคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าไม้ยางพาราที่อัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 กับอายุการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

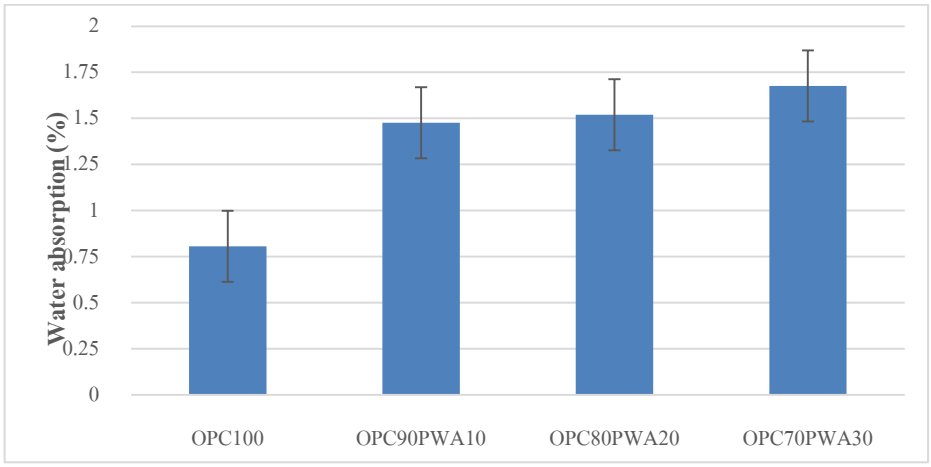
ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกประสาน ที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าไม้ยางพาราที่อัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 ที่อายุการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ได้ผลดังในภาพที่ 4 พบว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นทุกอัตราส่วนผสม มีค่าลดลงตามอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าไม้ยางพาราที่เพิ่มขึ้น โดยกำลังรับแรงอัดที่อายุทดสอบ 28 วัน ของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นตัวอย่างที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าไม้ยางพาราที่อัตราส่วนร้อยละ 10, 20 และ 30 รับกำลังอัดเฉลี่ยได้ 49.90, 40.60 และ 39.80 เมกะปาสกาล ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 76, 62, และ ร้อยละ 60 ของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่มีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานเพียงอย่างเดียว ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ได้ไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.827-2531 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2531) กำหนดให้ความต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นแต่ละก้อนต้องไม่น้อยกว่า 35 เมกะปาสกาล และค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 40 เมกะปาสกาล ที่อายุทดสอบ 28 วัน พบว่าตัวอย่างคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่อัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 10 และ 20 ให้ค่ากำลังรับแรงอัดคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.827-2531 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2531)

**4. ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งและการดูดกลืนน้ำของบล็อกประสานปูพื้น**




**ภาพที่ 5** ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งของบล็อกประสานปูพื้น ที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (ภาพที่ 5) แสดงให้เห็นว่าปริมาณเถ้าไม้ยางพาราเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ซึ่งความหนาแน่นแห้งของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจะแปรผกผันกับการดูดกลืนน้ำ โดยจะเห็นได้ว่าเมื่อความหนาแน่นแห้งสูงจะทำให้มีค่าการดูดกลืนน้ำต่ำ และในทางตรงกันข้ามเมื่อความหนาแน่นแห้งต่ำค่าการดูดกลืนน้ำก็จะสูง เนื่องจากค่าความหนาแน่นแห้งคือ ค่าน้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ดังนั้นเมื่อคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นมีน้ำหนักมาก ความหนาแน่นก็จะมาก ช่องว่างและรูพรุนภายในก้อนตัวอย่างจะมีน้อย ทำให้มีความทึบแน่นสูง การดูดกลืนน้ำก็จะน้อยลง แต่ในทางตรงกันข้าม ถ้าคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นมีน้ำหนักน้อยความหนาแน่นก็จะน้อยลง ช่องว่างและรูพรุนภายในก้อนตัวอย่างจะมีมาก ทำให้มีความทึบแน่นต่ำการดูดกลืนน้ำก็จะมากขึ้นเช่นกัน




**ภาพที่ 6** ผลการทดสอบการดูดกลืนน้ำของบล็อกประสานปูพื้น ที่อายุการบ่ม 28 วัน

ผลการทดสอบการดูดกลืนน้ำของตัวอย่างคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ที่อายุการบ่ม 28 วัน ที่อัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 มีค่าร้อยละ 0.81, 1.48, 1.52 และ 1.68 ตามลำดับ ดังในภาพที่ 6 แสดงให้เห็นว่าการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณเถ้าไม้ยางพาราที่มากขึ้น ซึ่งผลการทดสอบเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับผลที่ได้จากการศึกษาของ อาบีเด็ง และ ดนุพล (2551) ซึ่งกล่าวไว้ว่า ปริมาณเถ้าไม้ยางพารามีผลต่อการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นเนื่องจากเถ้าไม้ยางพารามีความพรุนและพื้นที่ผิวจำเพาะสูง เมื่อเปรียบเทียบกับ มอก. 2035-2543 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2543) พบว่าการทดสอบการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจากเถ้าไม้ยางพาราเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนดคือ ต้องมีค่าการดูดกลืนน้ำเฉลี่ยไม่มากกว่าร้อยละ 5 และต้องไม่มีก้อนใดก้อนหนึ่งมากกว่าร้อยละ 7 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2543)

**5. การวิเคราะห์ราคาต้นทุนในการผลิต**

**ตารางที่ 5** วิเคราะห์หาราคาต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น 1 ลูกบาศก์เมตร

| Specimen | Mix proportions (kg/m$^3$) [kg. (Baht/kg.)] | | | | Baht/m$^3$ | Baht/Block |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | OPC | PWA | Sand | Stone dust | | |
| OPC100 | 605.00 (2.93) | - | 928 (0.31) | 580 (0.15) | 2,147.33 | 3.26 |
| OPC90PWA10 | 544.50 (2.93) | 60.50 (0,.17) | 928 (0.31) | 580 (0.15) | 1,980.35 | 3.01 |
| OPC80PWA20 | 484.00 (2.93) | 121.00 (0.17) | 928 (0.31) | 580 (0.15) | 1,813.37 | 2.75 |
| OPC70PWA30 | 423.50 (2.93) | 181.50 (0.17) | 928 (0.31) | 580 (0.15) | 1,646.39 | 2.50 |

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเถ้าไม้ยางพารามาผสมในผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น เพื่อทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (OPC) บางส่วน ในอัตราร้อยละ ๐'0, 10, 20, และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน เมื่อนำมาวิเคราะห์หาราคาต้นทุนในการผลิต ดังตารางที่ 5 พบว่าการใช้เถ้าไม้ยางพาราซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานชีวมวลซึ่งไม่มีค่าใช้จ่ายในส่วนของราคาวัสดุ แต่อาจจะมีในส่วนของค่าขนส่ง เฉลี่ยกิโลกรัมละ 0.17 บาท (เฉลี่ยจากค่าขนย้าย 1 ครั้ง 1,000 บาท ต่อปริมาณเถ้า 7,000 กิโลกรัม หรือ 1 คันรถบรรทุก 6 ล้อ ขนาดใหญ่) ในขณะที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ซึ่งมีราคาประมาณ 2.93 บาทต่อกิโลกรัม (ราคากลาง ณ เดือน กันยายน 2561)

จากข้อมูลข้างต้น พบว่า คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่มีการใช้เถ้าไม้ยางพาราผลิต มีราคาประมาณ 2.50-3.00 บาท โดยต้นทุนขึ้นอยู่กับปูนซีเมนต์ ทราย และหินฝุ่น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับราคาคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ขายทั่วไปมีราคาประมาณ 5-6 บาท ซึ่งมีราคาถูกกว่าประมาณร้อยละ 50 ซึ่งต้นทุนนี้ไม่รวมกับค่าแรง และค่าใช้จ่ายอื่นๆ สำหรับกรณีการผลิตเชิงอุตสาหกรรม ดังนั้นการใช้เถ้าไม้ยางพาราจึงเป็นวัสดุทางเลือกในการนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ซึ่งนอกจากจะสามารถประหยัดพลังงาน และลด

ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์โดยตรงแล้ว ยังสามารถประหยัดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นลงได้อีกด้วย

## สรุป

จากการศึกษาหาปริมาณการใช้เถ้าไม้ยางพาราที่เหมาะสมเพื่อใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น โดยพิจารณาที่กำลังรับแรงอัดและการดูดกลืนน้ำเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 827-2531 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2531) และมอก. 2035-2543 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2543) ตามลำดับ สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ผสมเถ้าไม้ยางพาราแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ที่อัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 ที่อายุการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน พบว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นทุกอัตราส่วนผสม จะมีค่าลดลงตามอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าไม้ยางพาราที่เพิ่มขึ้น โดยกำลังรับแรงอัดที่อายุทดสอบ 28 วัน ของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นตัวอย่างที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าไม้ยางพาราที่อัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 รับกำลังอัดเฉลี่ยได้ 65.9, 49.9, 40.6 และ 39.8 เมกะปาสกาล ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ได้ไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.827-2531 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2531) กำหนดให้ความต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นแต่ละก้อนต้องไม่น้อยกว่า 35 เมกะปาสกาล และค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 40 เมกะปาสกาล ที่อายุทดสอบ 28 วัน จะพบว่าสามารถนำมาใช้ได้ที่อัตราส่วนการแทนที่ได้ถึงร้อยละ 10-20 ซึ่งจะให้ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.827-2531 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2531)

การทดสอบการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ที่ผสมเถ้าไม้ยางพาราแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ที่อัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 ที่อายุการบ่ม 28 วัน พบว่าการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าไม้ยางพาราที่เพิ่มขึ้น โดยการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าไม้ยางพาราที่อัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 มีค่าเท่ากับ 0.81, 1.48, 1.52 และ 1.68 ร้อยละ ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำค่าการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ได้ไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2035-2543 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2543) ซึ่งกำหนดให้การดูดกลืนน้ำเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นต้องไม่มากกว่าร้อยละ 5 จะเห็นได้ว่าการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจากเถ้าไม้ยางพาราทุกอัตราส่วนผสมมีค่าการดูดกลืนน้ำผ่านตามมาตรฐาน

เมื่อพิจารณาผลข้างต้นแล้วสามารถสรุปได้ว่า เถ้าไม้ยางพาราสามารถนำมาเป็นวัสดุทางเลือกอีกชนิดหนึ่งในงานคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นได้ เมื่อมีการใช้ในปริมาณที่เหมาะสม ที่อัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 20 และเมื่อมีการควบคุมปริมาณความข้นเหลว เนื่องจากเถ้าไม้ยางพารามีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับใช้ในงานคอนกรีต ซึ่งจากการศึกษาจะเห็น

ได้ว่าเถ้าไม้ยางพารามีความทึบน้ำค่อนข้างสูงและมีแนวโน้มการพัฒนากำลังอัดที่สูงขึ้นเมื่อมีระยะเวลามากขึ้น

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่เอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการ เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดลองวิจัย และขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

กันยาพร เหลืองวิสุทธิ์ศิริ. 2546. การศึกษาการใช้ขี้เถ้าแกลบผสมปูนซีเมนต์ในการทำบล็อกปูพื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

เผ่าพงศ์ นิจจันทร์พันธ์ศรี และ ประชุม คำพุฒ. 2548. **รายงานการวิจัย การใช้หินฝุ่นผสมคอนกรีตแทนทราย.** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

ปริญญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. 2555. **ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต.** พิมพ์ครั้งที่ 7. สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

วินิต ช่อวิเชียร. 2539. **คอนกรีตเทคโนโลยี.** พิมพ์ครั้งที่ 8. ห้างหุ้นส่วนจำกัด ป.สัมพันธ์พาณิชย์, กรุงเทพฯ.

ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. 2558. **ฝ่าวิกฤติยางพาราไทยปี 2558: ทางเลือก&ทางรอดของชาวสวนยางท่ามกลางแรงกดดันด้านราคา.** ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. แหล่งที่มา: http://library.dip.go.th/multim6 /edoc/2558 /24084 .pdf, 30 มิถุนายน 2560.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2531. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น.** มอก. 827-2531, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. แหล่งที่มา: https://WWW.tisi.go.th/data /PR/pdf/ R827 _2531_00.pdf, 26 มิถุนายน 2560.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2543. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นสำหรับงานหนัก.** มอก. 2035-2543, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. แหล่งที่มา: https://WWW.tisi.go.th/data/PR/pdf/R2035_2543_00.pdf, 14 มิถุนายน 2560.

สำนักงานปลัดกระทรวงมหาดไทย. 2560. **ข้อมูลนโยบายด้านการเกษตร ปี 2560.** แหล่งที่มา: http://WWW.mukdahan.go.th/muk_download/pdf/428.pdf, 30 มิถุนายน 2561.

สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2556. **สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและแนวโน้ม ปี 2557.** แหล่งที่มา: http://WWW.oae.go.th/assets/portals/1/files/ebook/OAEAnnual2556.pdf, 30 มิถุนายน 2560.

สุวัฒนา นิคม. 2553. คุณลักษณะของยิปซั่มเพสต์โดยใช้ยิปซั่มเทียมเถ้าลอยไม้ยางพาราและดินขาวแปร. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อาบีเด็ง ฮาวา และ ดนุพล ตันนโยภาส. 2551. ผลกระทบของเถ้าลอยไม้ยางพาราที่มีต่อสมบัติของคอนกรีตมวลรวมพัมมิซ, น. 43-48. *ใน* **การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 6.** มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

อาบีเด็ง ฮาวา. 2551. สมบัติของคอนกรีตมวลเบาหินพัมมิซผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราและเถ้าแกลบ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อาบีดีน ดะแซสาเมาะ, จินดา มะมิง, โนรีสะ ราแดง และ ยาเซ็ง อาแว. 2554. สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของอิฐที่มีส่วนผสมของเถ้าไม้ยางพารา. **วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา** 6(1): 25-35.

อาบีดีน ดะแซสาเมาะ, ฮาปือเสาะ มาหะ และ ฮาลีเมาะ เจ๊ะบือราเฮง. 2557. สมบัติของอิฐบล็อกประสานจากเถ้าไม้ยางพาราผสมดินขาวนราธิวาส. **วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้** 5(2): 202-208.

ASTM. 2001. ASTM C136-96a. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. Annual Book of ASTM Standards. American Society for Testing and Materials, West Cons hohocken, PA.

ASTM. 2007. ASTM C29. Standard Test Method for Unit Weight of Aggregate. Annual Book of ASTM Standards. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.

ASTM. 2008. ASTM C618-08a. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. Annual Book of ASTM Standards. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.

ASTM. 2009. ASTM C188. Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement. Annual Book of ASTM Standards. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.

ASTM. 2011. ASTM C33/C33M-11. Standard Specification for Concrete Aggregates. Annual Book of ASTM Standard. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.

ASTM. 2014. ASTM C230/C230M-14. Standard Specification for Flow Table for Use in Test of Hydraulic Cement. Annual Book of ASTM Standards. American Society for Testing and Materials, West Con shohocken, PA.

ASTM. 2015. ASTM C128-15. Standard test method for relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate. Annual Book of ASTM Standards. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.