

การพัฒนาคอนกรีตมวลเบาโดยมีส่วนผสมจากฟางข้าวและไม้ไผ่
Development of autoclaved aerated concrete with a mixture of
rice straw and bamboo

¹*ประสิทธิ์ นนทะเสน, ²ประมุข ศรีชัยวงษ์, ³จักรี วิชัยระหัด และ⁴กมลพรรณ นนทะเสน

¹*Prasit Nonthasen, ²Pramuk Srichaiwong, ³Jakkree Wichairahad, and ⁴Kamonphun Nonthasen

¹สำนักงานคณบดีคณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

²สาขาสหวิทยาการเพื่อการพัฒนาท้องถิ่น คณะรัฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

³สาขาวิศวกรรมก่อสร้างและระบบราง โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

⁴สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ¹ Office of the Dean of the Faculty of Business Administration, Chaiyaphum Rajabhat University

²Interdisciplinary for Local Development, Faculty of Political Science, Chaiyaphum Rajabhat University

³In Construction And Railway System Engineering, Engineering & Industrial Technology, Chaiyaphum Rajabhat University

⁴Research and Development Institute, Chaiyaphum Rajabhat University

*ผู้นิพนธ์หลัก: prasit@cpru.ac.th

*Corresponding author: e-mail prasit@cpru.ac.th

Received	Reviewed	Revised	Accepted
09/09/2022	01/10/2022	14/11/2022	30/12/2022

บทคัดย่อ

การวิจัยการพัฒนาคอนกรีตมวลเบาโดยมีส่วนผสมจากฟางข้าวและไม้ไผ่ เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่าง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 โดยใช้ฟางข้าวและไม้ไผ่ ทดแทนทรายโดยน้ำหนักร้อยละของน้ำหนักทราย อัตราส่วนผสม ปูนซีเมนต์ : ทราย : (ฟางข้าว/ไม้ไผ่) อัตราส่วนเท่ากัน ร้อยละของน้ำหนักทรายทั้งหมด) ในอัตราร้อยละ 5, 10, 15, 20, 25 และปูนซีเมนต์สำเร็จรูป TPIPL (M220B) โดยใช้ฟางข้าวและไม้ไผ่ ทดแทนทรายโดยน้ำหนักร้อยละของน้ำหนักปูนซีเมนต์ TPIPL (M220B) อัตราส่วนผสม ปูนซีเมนต์ : (ฟางข้าว/ไม้ไผ่) อัตราส่วนเท่ากัน ร้อยละของน้ำหนักปูนซีเมนต์ TPIPL (M220B) ทั้งหมด) ในอัตราร้อยละ 5, 10, 15, 20, 25 และนำวัสดุแต่ละชนิดผสมกันตามสัดส่วนที่กำหนดลงในแบบทดสอบ ขนาด 15 x 15 x 15 cm บ่มน้ำทิ้งไว้ 28 วัน นำมาทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 2601-2556 พบว่า คอนกรีตมวลเบาที่ผสมฟางข้าวและไม้ไผ่ทดแทนในอัตราร้อยละ 5, 10, 15, 20, 25 มีค่าการต้านทานแรงอัดสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานกำหนดชนิดของ

คอนกรีตมวลเบา C16 ค่าการต้านทานแรงอัดที่ 51.0 MPa (kg/cm^2) คอนกรีตมวลเบาผสมฟางข้าว และไม้ไผ่ในอัตราส่วนทดแทนร้อยละ 25 ตัวอย่าง SFB5 ค่าการต้านทานแรงอัดที่ 126.67 kg/cm^2 ตัวอย่าง MFB5 ค่าการต้านทานแรงอัดที่ 105.93 kg/cm^2 และในการทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำพบว่า คอนกรีตมวลเบาที่ผสมฟางข้าวและไม้ไผ่ทดแทนในอัตราร้อยละ 5, 10, 15, 20, 25 ตัวอย่างทดสอบ SFB3 อัตราการดูดซึมน้ำร้อยละ 20.04 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนดชนิดของคอนกรีตมวลเบา C12 แตกต่างจากตัวอย่างทดสอบ MFB1 อัตราการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 35.37 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

จากผลทดสอบสรุปได้ว่าตัวอย่างทดสอบ SFB 3 ที่ใช้ส่วนผสมฟางข้าวและไม้ไผ่ทดแทนทราย ในอัตราร้อยละ 15 ค่าการต้านทานแรงอัดที่ 154.04 kg/cm^2 และอัตราการดูดซึมน้ำร้อยละ 20.04 เป็นสูตรที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมจากฟางข้าวและไม้ไผ่ตาม ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนดชนิดของคอนกรีตมวลเบา C16 มาตรฐาน มอก. 2601-2556

คำสำคัญ: การพัฒนา, คอนกรีตมวลเบา, ฟางข้าว, ไม้ไผ่

Abstract

The research on the development of autoclaved aerated concrete with a mixture of rice straw and bamboo aimed to study the mixture ratio of Portland Cement Type 1 using rice straw and bamboo instead of sand: the percentage of sand weight, mixing ratio of cement: sand: (equal ratio of bamboo and rice straw, percentage of total sand weight) at the rate of 5, 10, 15, 20, 25 percent and TPIPL Cement (M220B) using rice straw and bamboo instead of sand: percentage of TPIPL Cement weight (M220B), mixing ratio of cement: (equal ratio of bamboo rice straw, percentage of total TPIPL Cement weight (M220B) at the rate of 5, 10, 15, 20, 25 percent. All materials were mixed according to the specified proportions in the test box (15 x 15 x 15 cm) for 28 days. After that, it was tested according to the TIS 2601-2556 standard. It was found that the compressive strength of the autoclaved aerated concrete mixed with rice straw and bamboo at the rate of 5, 10, 15, 20, 25 percent was higher than the specified standard. The standard specifies the compressive strength of the C16 autoclaved aerated concrete at 51.0 MPa (kg/cm^2). The autoclaved aerated concrete mixed with rice straw and bamboo with the ratio of 25 percent, which was the test sample SFB5 had a compressive strength at 126.67 kg/cm^2 and the test sample MFB5 had a compressive strength at 105.93 kg/cm^2 . According to the water-absorption rate test, the autoclaved aerated concrete mixed with rice straw and bamboo at the rate of 5, 10, 15, 20, 25 percent, which was the test sample SFB3 had the water-absorption rate of 20.04%, which is in the standard of C12 autoclaved

aerated concrete. However, the water-absorption rate of test sample MFB1 is 35.37%, which was higher than the specified standard.

Based on the test results, it can be concluded that test sample SFB 3 using a mixture of rice straw and bamboo instead of sand at the rate of 15 % with the compressive strength of 154.04 kg/ cm² and the water-absorption rate of 20.04% is a suitable formula for making autoclaved aerated concrete with a mixture of rice straw and bamboo as it meets the standard of C16 autoclaved aerated concrete according to the TIS 2601-2556 standard.

Keywords: Development, autoclaved aerated concrete, rice straw and bamboo

บทนำ

อาคาร บ้านเรือน ที่อยู่อาศัย และสิ่งปลูกสร้างเพื่อใช้เป็นที่อยู่อาศัยทั้งถาวรและชั่วคราว ล้วนมีกระบวนการก่อสร้างและการเลือกใช้วัสดุในการก่อสร้างตามความต้องการของผู้อยู่อาศัย ดังคำสุภาษิตที่ว่าไว้ “ปลูกเรือนตามใจผู้อยู่ ผูกอุตามใจผู้นอน” ซึ่งความเป็นจริงแล้วการปลูกบ้านหรือการก่อสร้างอาคารที่พักอาศัยต้องคำนึงถึงส่วนประกอบหลักอยู่ 5 ประการ คือ 1.สถานที่ 2.รูปแบบ 3.วัสดุ 4.งบประมาณในการก่อสร้าง 5.ความต้องการของผู้อยู่ ซึ่งในการก่อสร้างนั้นปัจจุบันต้องการความรวดเร็วในการก่อสร้าง วัสดุที่นำมาในการก่อสร้างต้องตอบโจทย์เรื่องการลดขั้นตอนในการก่อสร้าง และประหยัด ดังนั้น กระบวนการในการก่อสร้างจึงต้องมีการควบคุมระยะเวลาในการก่อสร้าง คุณภาพ ความคงทน และอายุการใช้งานที่ยาวนาน สิ่งจำเป็นในการก่อสร้างที่สำคัญก็คือวัสดุในการก่อสร้าง

คอนกรีตมวลเบา คอนกรีตเบา อิฐมวลเบา หมายถึง คอนกรีตที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าคอนกรีตโดยทั่วไป ซึ่งส่วนผสมหลัก ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ตาม มอก.15 เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ, ซิลิกา หรือทรายควอตซ์, ตะกรันจากเตาถลุงแบบพ่นลม, หรือถ่านหิน, สารก่อฟอง, สารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีต ตาม มอก.733 โดยกระบวนการผลิตอิฐมวลเบาสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ระบบอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (Autoclaved System) และระบบที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (Non - Autoclaved System) คอนกรีตมวลเบากระบวนการผลิตแบบ AAC (Autoclaved Aerated Concrete) หมายถึงคอนกรีตมวลเบาที่ผลิตโดยใช้การอบไอน้ำภายใต้แรงดัน ซึ่งส่วนผสมหลักได้แก่ ปูนซีเมนต์ ปูนขาวเถ้าแกลบ หรือทราย โดยส่วนมากใช้วัสดุที่มีปริมาณซิลิกาเป็นองค์ประกอบสูง และผงอลูมิเนียมจะทำหน้าที่เป็นสารก่อให้เกิดการขยายตัว อัตราการใช้ประมาณ 5-8% โดยปริมาตร (วรพจน์ และสันติภาพ, 2552) คอนกรีตมวลเบากระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูงแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

ประเภทที่ 1 ใช้วัสดุเบาเข้ามาทดแทน โดยการนำดินเหนียวมาผสมกับวัสดุธรรมชาติ เช่น ภูเขาไฟ แอชต์ เถ้าแกลบ กากมะพร้าว ดินแดง ขี้เลื่อย ขี้เถ้า ขานอ้อย หรือเม็ดโพม เป็นต้น นำมาเผาแล้วจะสลายตัวเกิดเป็นช่องว่างในเนื้ออิฐ ทำให้ความหนาแน่นของอิฐลดลง ทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบาขึ้น

ราคาถูก แต่จะมีอายุการใช้งานที่สั้นและเสื่อมสภาพได้เร็วและหากเกิดไฟไหม้สารเหล่านี้อาจเป็นพิษต่อผู้อยู่อาศัยใช้ในงานโครงสร้างเพื่อเป็นฉนวนกันความร้อนหรือใช้สำหรับประดับผนัง

ประเภทที่ 2 ใช้สารเคมี (Circular Lightweight Concrete) ผสมผสานเพื่อให้เนื้อคอนกรีตฟู สารเคมีจะทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ทำให้เกิดฟองอากาศในเนื้อวัสดุและเมื่อทิ้งไว้จะทำให้แข็งตัวคอนกรีตประเภทนี้จะมีการหดตัวมากกว่า ทำให้ปูนฉาบแตกร้าวได้ง่าย ไม่ค่อยแข็งแรงคอนกรีตที่ไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูงนี้ส่วนใหญ่เนื้อผลิตภัณฑ์มักจะมีสีเป็นสีปูนซีเมนต์ ต่างจากคอนกรีตที่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูงซึ่งจะมีเนื้อผลิตภัณฑ์เป็นผลึกสีขาว (จตุพร และ วรพจน์, 2552 อ้างถึงใน นิติยรรตี, 2552)

ดังนั้นหากจะพิจารณานำกระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบา ประเภทที่ 1 มาทดลองผลิตโดยใช้ส่วนผสมจากฟางข้าวและไม้ไผ่ ให้มีคุณสมบัติตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 2601-2556 สามารถนำมาใช้ในการผลิตชิ้นงานในการก่อสร้างได้ ตามผลการวิจัยของ (สมชาย และชนิดา, 2558) พบว่าการใช้ฟางข้าวเพื่อผลิตแผ่นซีเมนต์บอร์ดฉนวนกันความร้อนที่มีอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์บอร์ดแลนต์ประเภทที่ 1 ต่อ ทราย เท่ากับ 1:0.8, 1:1 และ 1:1.2 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำฟางข้าวบดละเอียดบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4, 8 และ 16 ไปแทนที่ทรายในปริมาณ 0.04, 0.05, 0.06, 0.07 และ 0.08 kg ตามลำดับ ทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นซีเมนต์บอร์ด ได้แก่ ความหนาแน่นและร้อยละการดูดซึมน้ำ และคุณสมบัติทางกล ได้แก่ กำลังรับแรงกดแตก ตามมาตรฐาน มอก. 219-2552 เพื่อหาอัตราส่วนของซีเมนต์บอร์ดผสมฟางข้าวที่เหมาะสมที่สุดจากนั้นใช้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดมาปรับปรุงคุณภาพโดยเติมสารซีเอ็มซี และทำการทดสอบกำลังแรงกดแตก และค่าสภาพการนำความร้อน จากผลการทดสอบ พบว่า ที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อทราย 1:0.8 โดยผสมฟางข้าวขนาดค้ำบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 16 เพิ่มในปริมาณ 0.04 kg เป็นส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด คือ มีกำลังรับแรงกดแตกสูงสุด เท่ากับ 20.43 kg/cm² และมีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 20.82 และการเติมสารซีเอ็มซีร้อยละ 0.2 และร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนักของซีเมนต์ ทำให้ได้แผ่นยิปซัมบอร์ดมีค่าสภาพการนำความร้อนลดลงแต่กำลังรับแรงกดแตกก็ลดลงด้วยเช่นกัน สอดคล้องกับผลวิจัย (บุญส่ง และคณะ, 2556) ในการนำคุณสมบัติของไม้ไผ่บางชนิดมาเพื่อใช้ในการก่อสร้าง โดยนำไม้ไผ่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 5 ชนิด คือ ไม้หก (*Dendrocalamus hamiltonii* Nees et Arn. Ex Munro) จากท้องที่ จังหวัดแม่ฮ่องสอน ไม้ป่า (*Bambusa bambos* (L) Voss) ไม้รวกใหญ่ (*Thyrsostachys oliveri* Gamble) ไม้รวกเล็ก (*Thyrsostachys siamensis* Gamble) และไม้ลำมะลอก (*Dendrocalamus longispathus* Kurz) จากท้องที่จังหวัดกาญจนบุรี มาทดสอบคุณสมบัติเชิงกล และกายสมบัติพบว่า ไม้ป่ามีการหดตัว และจุดหดมากที่สุด ทางด้านความแข็งแรงพบว่า ไม้ป่ามีค่าความแข็งแรงดัดสถิติสูงสุด รองลงมาคือ ไม้รวกเล็ก ไม้รวกใหญ่ ไม้ลำมะลอก และไม้หก ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่ากลสมบัติของไม้ทั้ง 5 ชนิด พบว่า ค่าความแข็งแรง มีค่าใกล้เคียงกับไม้เนื้อแข็ง จำพวกไม้วงค์ยาง จากค่าความแข็งแรงดังกล่าวทำให้เห็นว่า ไม้ป่ามีความเหมาะสมสามารถใช้เป็นวัสดุก่อสร้างแทนไม้จริงได้

จากข้อมูลและงานวิจัยข้างต้นจะเห็นว่าหากนำคุณสมบัติและข้อดีของวัสดุทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ปูนซีเมนต์บอร์ดแลนต์คุณภาพสูง ฟางข้าวและไม้ไผ่ มาทำการทดลองเพื่อทำคอนกรีตมวลเบาขึ้น

ผู้วิจัยเห็นว่ามีความเป็นไปได้สูงที่จะสามารถทำได้และเป็นการส่งเสริมให้ใช้วัสดุจากธรรมชาติทดแทน และต่อยอดในการผลิต และได้องค์ความรู้ในการผลิตคอนกรีตมวลเบาโดยมีส่วนผสมจากฟางข้าวและไม้ไผ่ เพื่อลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมการผลิตคอนกรีตมวลเบา เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับฟางข้าวและไม้ไผ่ เป็นทางเลือกในการใช้วัสดุทดแทนจากธรรมชาติ เพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตของภาคประชาชน และภาคธุรกิจ ส่งเสริมและต่อยอดสู่อุตสาหกรรม การก่อสร้างต่อไป

วิธีการวิจัย

การดำเนินการวิจัยนี้ เป็นการใช้อวิธีการเชิงทดลองเพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างซีเมนต์, ทราย, ฟางข้าว และไม้ไผ่ เพื่อดำเนินการทดลองสร้าง คอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมจากฟางข้าวและ ไม้ไผ่ โดยวิธีดำเนินการศึกษาวิจัยประกอบด้วย 7 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง กระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบา โดยการเก็บรวบรวม ข้อมูลด้วยวิธีการ การวิจัยเอกสาร (Documentary Research) เพื่อจัดเก็บเปรียบเทียบข้อมูลต่าง ๆ ในการดำเนินการวิจัยในขั้นต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 เตรียมวัสดุและอุปกรณ์

ขั้นตอนที่ 3 ออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมของ ฟางข้าวและไม้ไผ่ และ กำหนดสัญลักษณ์แทนกลุ่มตัวอย่างทดสอบ

ขั้นตอนที่ 4 ทดลองผสมส่วนผสมคอนกรีตต้นแบบ

ขั้นตอนที่ 5 ทดสอบความหนาแน่นเชิงปริมาตร ตามมาตรฐาน มอก. 2601-2556

ขั้นตอนที่ 5 ทดสอบความต้านทานแรงอัด ตามมาตรฐาน มอก. 2601-2556

ขั้นตอนที่ 6 ทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐาน มอก. 2601-2556

ขั้นตอนที่ 7 ประเมินผลตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 2601-2556

เตรียมวัสดุอุปกรณ์

วัสดุในการดำเนินการ

1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ มอก. 15 เล่ม 1-2555

2) ปูนซีเมนต์สำเร็จรูปสำหรับบล็อกมวลเบา TPIPL (M220B) ชนิดไม่อบไอน้ำ

3) ทรายละเอียด

4) ฟางข้าวบดละเอียด

5) ไม้ไผ่บดละเอียด

6) น้ำสะอาด

อุปกรณ์ในการดำเนินการ

1) เครื่องผสมปูนฉาบ

2) เครื่องสับย่อยอนุภาค

- 3) แบบหล่อคอนกรีตเพื่อทดสอบ ขนาด 15 x 15 x 15 cm
- 4) แม่พิมพ์คอนกรีตมวลเบา ขนาด 7.5 x 20 x 60 cm
- 5) กระบะผสมปูน ถังน้ำ จอบ พลั่ว เกรียง

ออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีตมวลเบา

การวิจัยในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดอัตราส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาโดยใช้ส่วนผสมของ ฟางข้าวและไม้ไผ่ และกำหนดสัญลักษณ์แทนกลุ่มตัวอย่างทดสอบ ดังนี้

ตารางที่ 1 กลุ่มตัวอย่างทดสอบ (SFB) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1

สัญลักษณ์ (SFB)	อัตราส่วนผสม = 1 : 0.5 : ร้อยละของฟางข้าวไม้ไผ่			
	ปูนซีเมนต์ : ทราย : โดยใช้ฟางข้าวและไม้ไผ่ทดแทนทรายโดยน้ำหนักร้อยละของน้ำหนักทราย			
	อัตราส่วน / 1 kg	ซีเมนต์ (kg)	ทราย (kg)	ฟางข้าว / ไม้ไผ่ (kg)
SFB1	1 : 0.5 : 5 %	25	12.5	0.6
SFB2	1: 0.5 : 10 %	25	12.5	1.25
SFB3	1: 0.5 : 15 %	25	12.5	1.86
SFB4	1: 0.5 : 20%	25	12.5	2.5
SFB5	1: 0.5 : 25 %	25	12.5	3.12

ตารางที่ 2 กลุ่มตัวอย่างทดสอบ (MFB) ปูนซีเมนต์ TPIPL (M220B)

สัญลักษณ์ (MFB)	อัตราส่วนผสม = 1 : ฟางข้าวไม้ไผ่ %			
	ปูนซีเมนต์ TPIPL (M220B) : โดยใช้ฟางข้าวและไม้ไผ่ทดแทนทรายโดยน้ำหนักร้อยละของน้ำหนักปูนซีเมนต์ TPIPL (M220B)			
	อัตราส่วน / 1 kg	ซีเมนต์ (kg)	ทราย (kg)	ฟางข้าว / ไม้ไผ่ (kg)
MFB1	1 : 5%	25	-	1.25
MFB2	1 : 10%	25	-	2.5
MFB3	1 : 15%	25	-	3.75
MFB4	1 : 20%	25	-	5
MFB5	1 : 25%	25	-	6.25

ทดลองผสมส่วนผสมคอนกรีตต้นแบบ

การดำเนินการวิจัยในขั้นตอนนี้ ดำเนินการโดยจัดเตรียมวัสดุเพื่อทำการผสมตามอัตราส่วนที่กำหนด ตามตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ตามลำดับดังนี้

1) เตรียมฟางข้าวและไม้ไผ่ด้วยการบดสับ ผ่านตะแกรง ขนาด 2 cm, ขนาด 1.5 cm, และขนาด 0.5 cm ตามลำดับเพื่อให้ได้ฟางข้าว และไม้ไผ่ละเอียดที่สุด



ภาพที่ 1 ฟางข้าวบดสับละเอียด



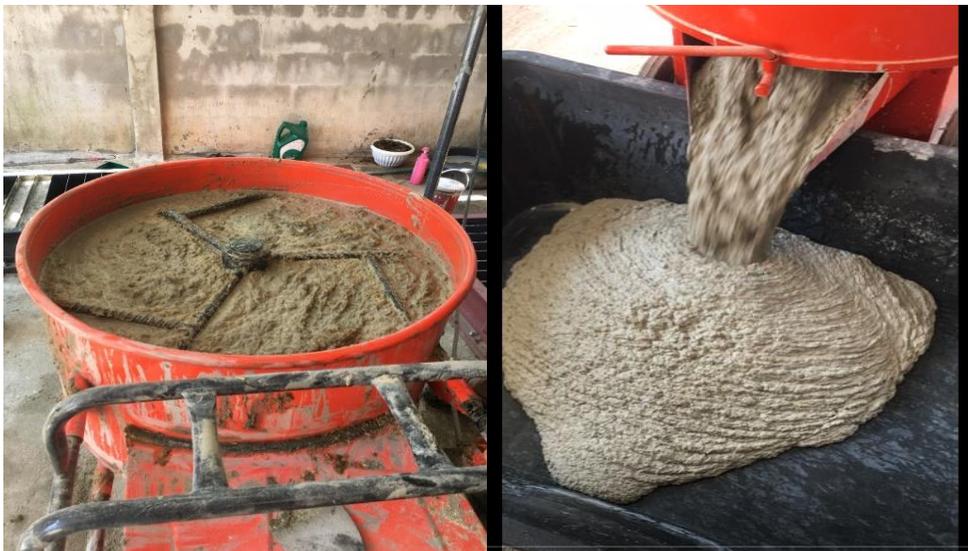
ภาพที่ 2 ไม้ไผ่บดสับละเอียด

2) ผสมส่วนผสมตามอัตราส่วน ตามตาราง 1 กลุ่มตัวอย่างทดสอบ (SFB) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1



ภาพที่ 3 ส่วนผสมตามอัตราส่วน ตามตาราง 1 กลุ่มตัวอย่างทดสอบ (SFB)

3) ผสมส่วนผสมตามอัตราส่วน ตารางที่ 2 กลุ่มตัวอย่างทดสอบ (MFB) ปูนซีเมนต์ TPIPL (M220B)



ภาพที่ 4 ส่วนผสมตามอัตราส่วน ตารางที่ 2 กลุ่มตัวอย่างทดสอบ (MFB)

4) นำส่วนผสมลงแบบหล่อคอนกรีต ขนาด 15 x 15 x 15 cm



ภาพที่ 5 นำส่วนผสมลงแบบหล่อคอนกรีต ขนาด 15 x 15 x 15 cm

ทดสอบความหนาแน่นเชิงปริมาตร ตามมาตรฐาน มอก. 2601-2556

การดำเนินการวิจัยในขั้นตอนนี้ ดำเนินการวิจัยโดยการนำคอนกรีตตัวอย่างทำการทดสอบความหนาแน่นเชิงปริมาตรด้วยวิธีการตามมาตรฐาน มอก. 2601-2556 ดังนี้

1) การเตรียมชิ้นทดสอบ

หล่อชิ้นทดสอบให้มีขนาด 150 mm x 150 mm x 150 mm โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

± 1 mm

2) เครื่องมือ

2.1 เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1 mm

2.2 เครื่องชั่งที่ชั่งได้ละเอียดถึง 1 g

2.3 ตู้อบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ $(105 \pm 5$ °C)

3) วิธีทดสอบ

ให้วัดปริมาตรและชั่งน้ำหนักของชิ้นทดสอบหลังอบในตู้อบที่อุณหภูมิ $(105 \pm 5$ °C) เป็นเวลา 24 h

4) การรายงานผล

ให้รายงานค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งของชิ้นทดสอบแต่ละค่าและค่าเฉลี่ยจากสูตร

$$p = \frac{m}{v}$$

เมื่อ p คือ ความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้ง เป็น kg/m^3

m คือ มวลของชิ้นทดสอบหลังอบในตู้อบ เป็น kg

v คือ ปริมาตรของชิ้นทดสอบ เป็น m^3

ทดสอบความต้านทานแรงอัด ตามมาตรฐาน มอก. 2601-2556

การดำเนินการวิจัยในขั้นตอนนี้ ดำเนินการวิจัยโดยการนำคอนกรีตตัวอย่างทำการทดสอบกำลังอัดด้วยวิธีการตามมาตรฐาน มอก. 2601-2556 ดังนี้

1) การเตรียมชิ้นทดสอบ

หล่อชิ้นทดสอบให้มีขนาด 150 mm x 150 mm x 150 mm โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

± 1 mm

2) เครื่องมือ

2.1 เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1 mm

2.2 เครื่องกดที่อ่านได้ละเอียดถึง 100 N และสามารถควบคุมอัตราเพิ่มแรงอัดได้ระหว่าง 0.05 ถึง 0.20 N/mm²/s

3) วิธีทดสอบ

กดชิ้นทดสอบด้วยวิธีตามระบุใน มอก. 109 จนได้ค่าแรงอัดสูงสุดเมื่อชิ้นทดสอบแตกเสียหาย

4) การรายงานผล

ให้รายงานค่าความต้านแรงอัดของชิ้นทดสอบแต่ละค่า

ทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐาน มอก. 2601-2556

การดำเนินการวิจัยในขั้นตอนนี้ ดำเนินการวิจัยโดยการนำคอนกรีตตัวอย่างทำการทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำด้วยวิธีการตามมาตรฐาน มอก. 2601-2556 ดังนี้

1) การเตรียมชิ้นทดสอบ

หล่อชิ้นทดสอบให้มีขนาด 150 mm x 150 mm x 150 mm โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

± 1 mm

2) เครื่องมือ

2.1 เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 1 mm

2.2 เครื่องชั่งที่ชั่งได้ละเอียดถึง 1 g

2.3 ตู้อบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ (105 \pm 5 °C)

3) วิธีทดสอบ

3.1 อบชิ้นทดสอบในตู้อบให้แห้งจนได้มวลคงที่ เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 h ที่อุณหภูมิ (105 \pm 5 °C) ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องไม่น้อยกว่า 4 h จากนั้นชั่งมวลแต่ละก้อนเป็นมวลชิ้นทดสอบเมื่อแห้ง

3.2 แช่ชิ้นทดสอบตามข้อ 3.1 ในน้ำสะอาดให้ท่วมเป็นเวลา 24 h แล้วยกออก ใช้ผ้าชุมน้ำเช็ดที่ผิวที่ละก้อนแล้วชั่งใหม่ให้เสร็จภายใน 3 min มวลที่ชั่งได้นี้ถือเป็นมวลชิ้นทดสอบเมื่อเปียกกรณีชิ้นทดสอบไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด ให้ทำการทดสอบซ้ำอีก 1 ครั้ง

4) วิธีคำนวณและการรายงานผล

4.1 การคำนวณหาอัตราการดูดซึมน้ำ

$$A = \frac{(m_2 - m_1)}{m_1} \times 100$$

เมื่อ A คือ อัตราการดูดซึมน้ำ เป็นร้อยละ (เศษส่วนโดยมวล)

m_1 คือ มวลของชั้นทดสอบเมื่อแห้ง เป็น g

m_2 คือ มวลของชั้นทดสอบเมื่อเปียก เป็น g

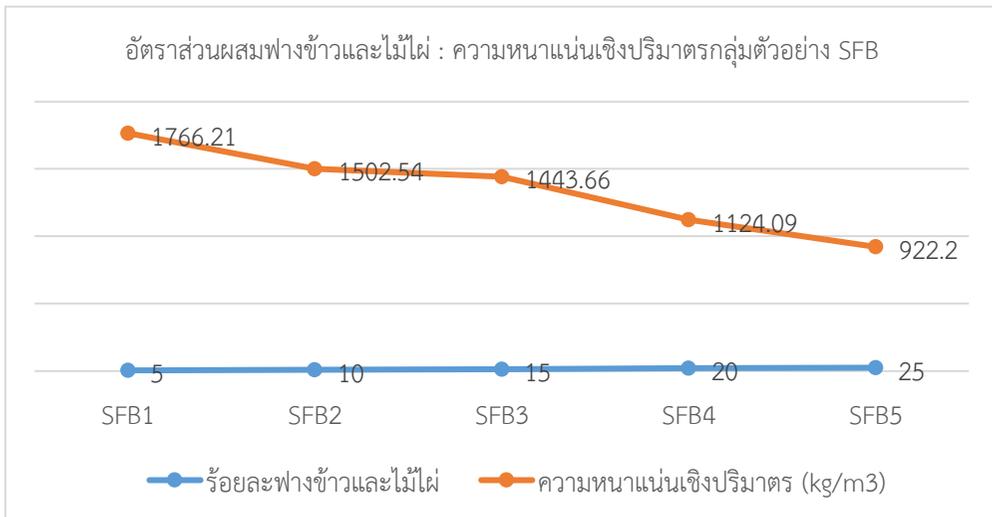
4.2 การรายงานผล ให้รายงานค่าอัตราการดูดซึมน้ำของชั้นทดสอบทุกก้อน

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

- 1) ผลการทดสอบความหนาแน่นเชิงปริมาตร เพื่อเป็นการทดสอบความหนาแน่นเชิงปริมาตรตามมาตรฐาน มอก. 2601-2556

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรกลุ่มตัวอย่าง SFB

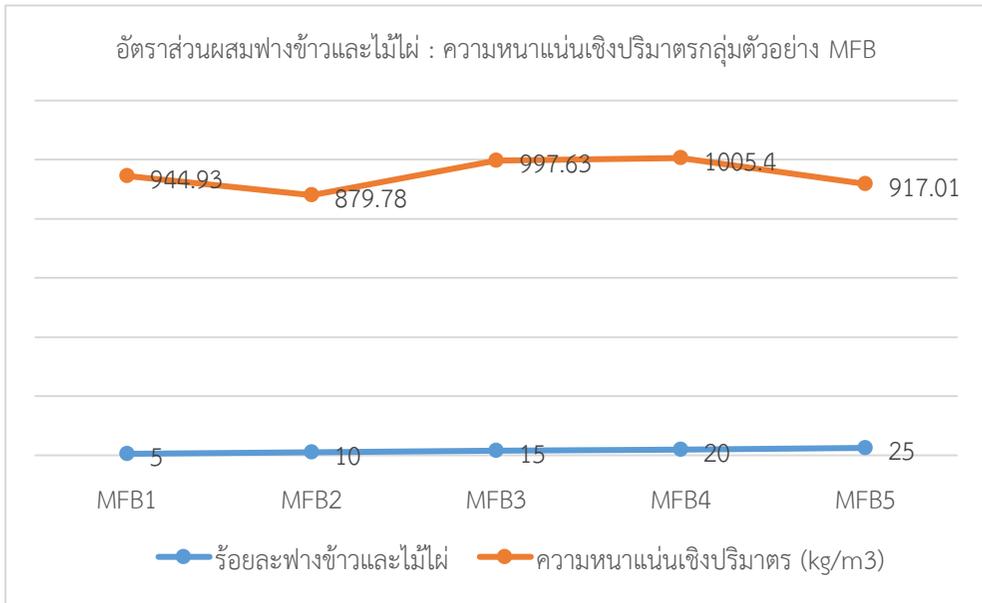
ลำดับ ที่	รหัสตัวอย่าง	ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรกลุ่มตัวอย่าง SFB		
		มวลของชั้น ทดสอบ หลังอบ = m/kg	ปริมาตรชั้นทดสอบ หลังอบ = v/m ³	ความหนาแน่น เชิงปริมาตร (kg/m ³)
1	SFB1	5.98	0.003385	1766.21
2	SFB2	5.08	0.003381	1502.54
3	SFB3	4.9	0.003394	1443.66
4	SFB4	3.68	0.003273	1124.09
5	SFB5	3.2	0.003225	922.2
	เฉลี่ย	4.56	0.003332	1351.74



ภาพที่ 6 อัตราส่วนผสมฟางข้าวและไม้ไผ่ : ความหนาแน่นเชิงปริมาตรกลุ่มตัวอย่าง SFB

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรกลุ่มตัวอย่าง MFB

ลำดับ ที่	รหัสตัวอย่าง	ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรกลุ่มตัวอย่าง MFB		
		มวลของชิ้น ทดสอบหลังอบ = m/kg	ปริมาตรชิ้นทดสอบ หลังอบ = v/m ³	ความหนาแน่น เชิงปริมาตร (kg/m ³)
1	MFB1	3.262	0.003452	944.93
2	MFB2	3.015	0.003426	879.78
3	MFB3	3.385	0.003393	997.63
4	MFB4	3.425	0.003406	1005.4
5	MFB5	3.097	0.003377	917.01
	เฉลี่ย	3.236	0.003411	948.95



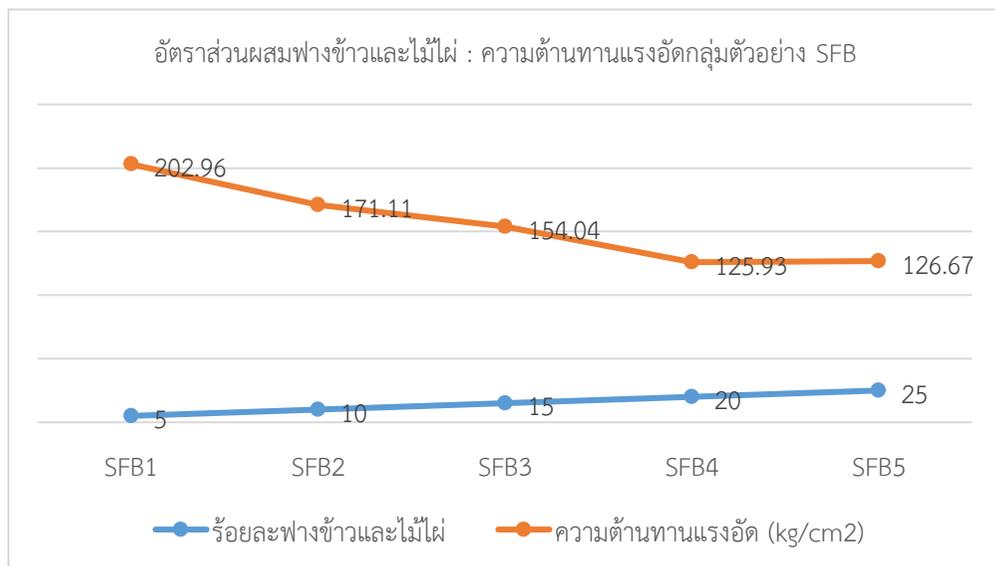
ภาพที่ 7 อัตราส่วนผสมฟางข้าวและไม้ไผ่ : ความหนาแน่นเชิงปริมาตรกลุ่มตัวอย่าง MFB

จากผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร กลุ่มตัวอย่าง SFB จำนวน 5 กลุ่มตัวอย่าง ตามตารางที่ 3 และภาพที่ 6 พบว่า ตัวอย่าง SFB1 ความหนาแน่นมากที่สุด 1,766.21 kg/m³ SFB2 ความหนาแน่น 1,502.54 kg/m³ SFB3 ความหนาแน่น 1,443.66 kg/m³ SFB4 ความหนาแน่น 1,124.09 kg/m³ SFB5 ความหนาแน่น 922.20 kg/m³ และกลุ่มตัวอย่าง MFB1 ความหนาแน่นมากที่สุด 944.93 kg/m³ MFB2 ความหนาแน่น 879.78 kg/m³ MFB3 ความหนาแน่น 997.63 kg/m³ MFB4 ความหนาแน่น 1005.4 kg/m³ MFB5 ความหนาแน่น 917.01 kg/m³ โดยค่าเฉลี่ยรวมความหนาแน่นเชิงปริมาตรทั้ง 5 กลุ่มตัวอย่าง SFB เท่ากับ 1351.74 kg/m³ กลุ่มตัวอย่าง MFB เท่ากับ 948.95 kg/m³ สรุปได้ว่า หากเพิ่มปริมาณฟางข้าวบดละเอียดและไม้ไผ่บดละเอียดมากขึ้น ความหนาแน่นเชิงปริมาตรก็จะลดลง แสดงให้เห็นได้ชัดเจนว่าอัตราส่วนผสมฟางข้าวบดละเอียด และไม้ไผ่บดละเอียดที่มากขึ้นทำให้ความหนาแน่นลดลง ซึ่งหมายความว่าน้ำหนักของอิฐมวลเบาจะลดลงตามไปด้วยเช่นกัน ความหนาแน่นเชิงปริมาตรของกลุ่มตัวอย่างโดยเฉลี่ยนั้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 2601-2556 ชนิดของคอนกรีตมวลเบา C16 ตามลำดับ สอดคล้องกับผลวิจัยของ ดนุพล และกัลยาณี (2553) ในการทดสอบความหนาแน่นเชิงปริมาตรความหนาแน่นรวมของก้อนคอนกรีตทดสอบที่ไม่เติมหินฟูนแกรนิต มีความหนาแน่นสูงสุด 1,940 kg/m³ แตกต่างก้อนคอนกรีตที่เติมส่วนผสมของหินฟูนแกรนิตนั้นจะมีความหนาแน่นลดลงซึ่งก้อนทดสอบที่มีค่าน้อยที่สุดมีความหนาแน่นอยู่ที่ 1,840 kg/m³ จากงานวิจัยทั้งสองเรื่อง แสดงให้เห็นถึงนัยสำคัญของส่วนผสมที่นำมาผสมในก้อนคอนกรีตหากผสมส่วนผสมที่กำหนดมาอีกอัตราความหนาแน่นก็จะลดลงตามปริมาตรของชิ้นทดสอบ

2) ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัด เพื่อเป็นการทดสอบความแข็งแรงของชิ้นงานตามมาตรฐาน มอก. 2601-2556 โดยการนำชิ้นงานที่มีส่วนผสมของฟางข้าวและไม้ไผ่ตามสูตรที่กำหนด ไปทดสอบด้วยเครื่องกดทดสอบแรงอัดคอนกรีต (Compressive Strength machine) เพื่อหาค่าความต้านทานแรงอัดและความแข็งแรงของชิ้นงาน

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดกลุ่มตัวอย่าง SFB

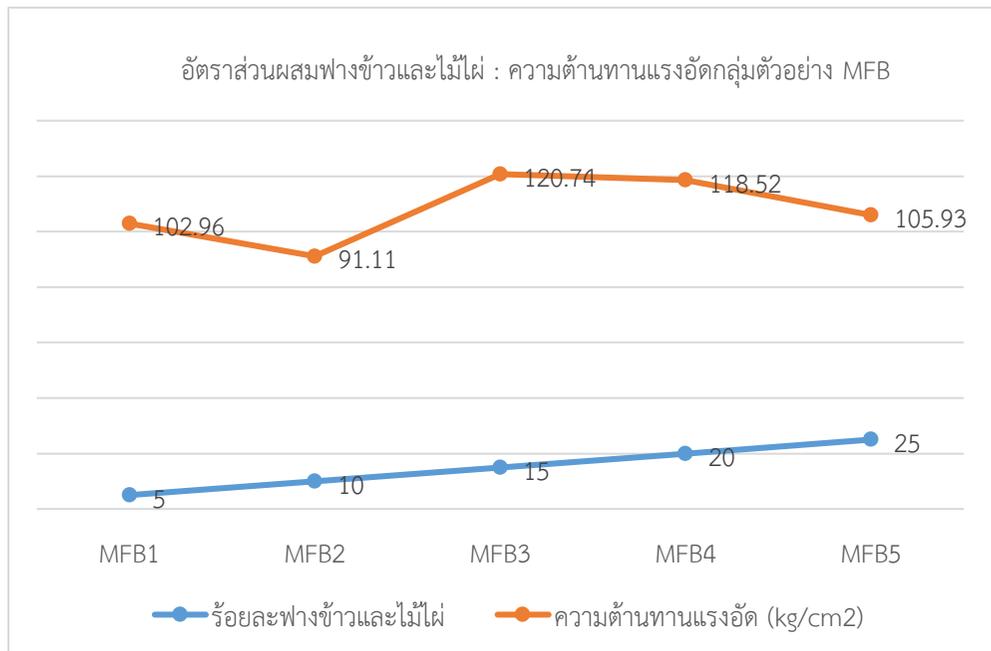
ลำดับที่	รหัสตัวอย่าง	อัตราส่วน	ค่าความต้านทานแรงอัดกลุ่มตัวอย่าง SFB	
			น้ำหนักขึ้นทดสอบ (kg)	ความต้านทานแรงอัด (kg/cm ²)
1	SFB1	1 : 0.5 : 5 %	6.4	202.96
2	SFB2	1: 0.5 : 10 %	5.4	171.11
3	SFB3	1: 0.5 : 15 %	5.2	154.04
4	SFB4	1: 0.5 : 20%	4.2	125.93
5	SFB5	1: 0.5 : 25 %	4.2	126.67
	เฉลี่ย		5.08	156.14



ภาพที่ 8 อัตราส่วนผสมฟางข้าวและไม้ไผ่ : ความต้านทานแรงอัดกลุ่มตัวอย่าง SFB

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดกลุ่มตัวอย่าง MFB

ลำดับที่	รหัสตัวอย่าง	ค่าความต้านทานแรงอัดกลุ่มตัวอย่าง MFB		
		อัตราส่วน	น้ำหนักขึ้นทดสอบ (kg)	ความต้านทานแรงอัด (kg/cm ²)
1	MFB1	1 : 5%	3.7	102.96
2	MFB2	1 : 10%	3.1	91.11
3	MFB3	1 : 15%	4.0	120.74
4	MFB4	1 : 20%	4.0	118.52
5	MFB5	1 : 25%	3.8	105.93
	เฉลี่ย		3.72	107.85



ภาพที่ 9 อัตราส่วนผสมฟางข้าวและไม้ไผ่ : ความต้านทานแรงอัดกลุ่มตัวอย่าง MFB

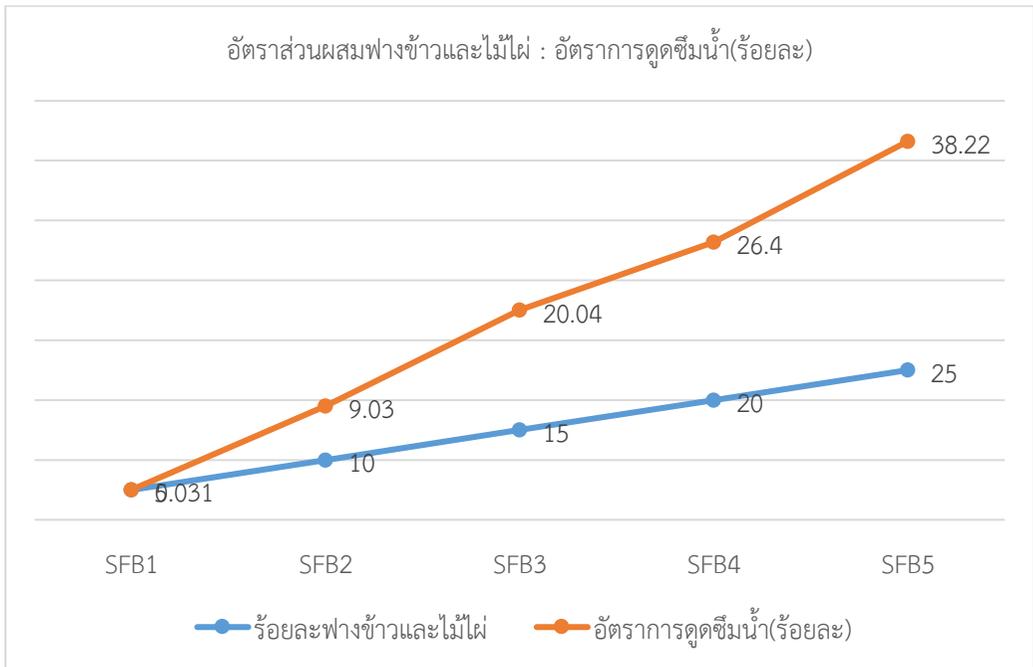
จากผลการทดสอบค่าความต้านทานแรงอัด และค่าความแข็งแรง พบว่า ตัวอย่าง SFB1 มีค่าความต้านทานแรงอัดมากที่สุด 202.96 kg/cm² SFB2 มีค่าความต้านทานแรงอัด 171.11 kg/cm² SFB3 มีค่าความต้านทานแรงอัด 154.04 kg/cm² SFB4 มีค่าความต้านทานแรงอัด 125.93 kg/cm² SFB5 มีค่าความต้านทานแรงอัด 126.67 kg/cm² และตัวอย่าง MFB1 มีค่าความต้านทานแรงอัด

มากที่สุด 102.96 kg/cm² MFB2 มีค่าความต้านทานแรงอัด 91.11 kg/cm² MFB3 มีค่าความต้านทานแรงอัด 120.74 kg/cm² MFB4 มีค่าความต้านทานแรงอัด 118.52 kg/cm² MFB5 มีค่าความต้านทานแรงอัด 105.93 kg/cm² โดยค่าเฉลี่ยรวมความต้านทานแรงอัดทั้ง 5 กลุ่มตัวอย่าง SFB เท่ากับ 156.14 kg/cm² กลุ่มตัวอย่าง MFB เท่ากับ 107.85 kg/cm² ซึ่งค่าความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างทดสอบทั้งสองชนิด นั้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 2601-2556 ชนิดของคอนกรีตมวลเบา C16 แสดงให้เห็นว่า แม้นำส่วนผสมของฟางข้าวและไม้ไผ่ผสมตามสัดส่วนที่กำหนด ค่าความต้านทานแรงอัดก็ไม่ลดลงต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด จึงสามารถนำส่วนผสมดังกล่าวมาใช้ผสมได้ตามความเหมาะสม ซึ่งสอดคล้องกับผลวิจัยของ พัชร (2560) พบว่า คอนกรีตมวลเบาที่ใช้เถ้าแกลบแทนทรายบางส่วน โดยประยุกต์จากกระบวนการผลิตแบบโพนคอนกรีตกับแบบมวลรวมเบาโดยใช้อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ต่อทรายในอัตราส่วน 1 : 1 โดยน้ำหนักใช้ปริมาณโพนในอัตราส่วนร้อยละ 50 โดยปริมาตร ใช้เถ้าแกลบแทนที่ทรายในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยปริมาตรของทราย ซึ่งการใช้เถ้าแกลบในปริมาณที่เหมาะสม ทำให้คอนกรีตมวลเบา มีน้ำหนักน้อยลงโดยอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้เถ้าแกลบแทนทรายคือ ปริมาณร้อยละ 20 โดยปริมาตรซึ่งรับกำลังแรงอัดความหนาแน่น ที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 22 kg/cm²

3) ผลการทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำเพื่อเป็นการทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐาน มอก. 2601-2556

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำกลุ่มตัวอย่าง SFB

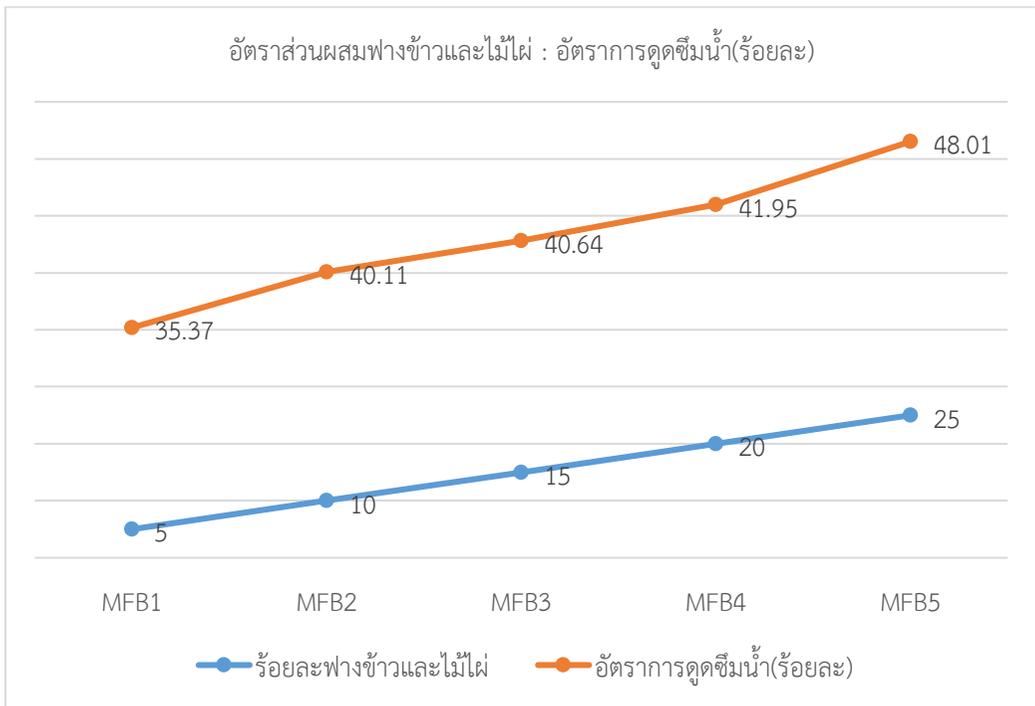
ลำดับ ที่	รหัส ตัวอย่าง	ค่าอัตราการดูดซึมน้ำเป็นร้อยละ กลุ่มตัวอย่าง SFB		อัตราการดูดซึมน้ำ เป็นร้อยละ = A
		มวลขึ้นทดสอบเมื่อแห้ง เป็นกรัมหลังอบ = m1/g	มวลขึ้นทดสอบเมื่อ เปียกเป็นกรัม = m2/g	
1	SFB1	6408	6410	0.031
2	SFB2	5123	5586	9.03
3	SFB3	4999	6001	20.04
4	SFB4	3707	4686	26.40
5	SFB5	3228	4462	38.22
	เฉลี่ย	4693	5429	18.74



ภาพที่ 9 อัตราส่วนผสมฟางข้าวและไม้ไผ่ : อัตราการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) กลุ่มตัวอย่าง SFB

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำกลุ่มตัวอย่าง MFB

ลำดับ ที่	รหัส ตัวอย่าง	ค่าอัตราการดูดซึมน้ำเป็นร้อยละ กลุ่มตัวอย่าง SFB		
		มวลชิ้นทดสอบเมื่อแห้ง เป็นกรัมแห้งอบ =m1/g	มวลชิ้นทดสอบเมื่อ เปียกเป็นกรัม =m2/g	อัตราการดูดซึมน้ำ เป็นร้อยละ = A
1	MFB1	3268	4424	35.37
2	MFB2	3021	4233	40.11
3	MFB3	3388	4765	40.64
4	MFB4	3432	4872	41.95
5	MFB5	3103	4593	48.01
	เฉลี่ย	3242	4577	41.21



ภาพที่ 10 อัตราส่วนผสมฟางข้าวและไม้ไผ่ : อัตราการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ) กลุ่มตัวอย่าง MFB

จากผลการทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำ พบว่าตัวอย่าง SFB1 อัตราการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 0.031 SFB2 อัตราการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 9.03 SFB3 อัตราการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 20.04 SFB4 อัตราการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 38.22 SFB5 อัตราการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 38.22 ซึ่งปริมาณการดูดซึมน้ำของกลุ่มตัวอย่าง SFB1-SFB5 นั้น มีเพียงกลุ่มตัวอย่าง SFB1 SFB2 SFB3 ที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 2601-2556 ชนิดคอนกรีตมวลเบา C12 ต่างจากตัวอย่าง SFB4 SFB5 ที่มีปริมาณการดูดซึมน้ำสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน แสดงถึงนัยสำคัญของอัตราส่วนผสมหากผสมฟางข้าวและไม้ไผ่ในอัตราส่วนที่มากขึ้น ทำให้ปริมาณการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนผสมที่มากขึ้นตามลำดับ เช่นเดียวกับตัวอย่าง MFB1 อัตราการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 35.37 MFB2 อัตราการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 40.11 MFB3 อัตราการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 40.64 MFB4 อัตราการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 41.95 MFB5 อัตราการดูดซึมน้ำ ร้อยละ 48.01 จากตัวอย่าง MFB1 – MFB5 ที่มีปริมาณการดูดซึมน้ำสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน โดยค่าเฉลี่ยรวมอัตราการดูดซึมน้ำทั้ง 5 กลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่าง SFB เท่ากับร้อยละ 18.74 กลุ่มตัวอย่าง MFB เท่ากับร้อยละ 41.21 แสดงถึงนัยสำคัญของอัตราส่วนผสมหากผสมฟางข้าวและไม้ไผ่ในอัตราส่วนที่มากขึ้นทำให้ปริมาณการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนผสมที่มากขึ้นตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ ธนกร และนท (2558) พบว่าคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส ที่บ่มแห้งในอากาศ 28 วัน จะมีค่าการดูดกลืนน้ำร้อยละ 8.3-49.3 ซึ่งปริมาณการดูดกลืนน้ำพบอยู่ในช่วง 140-285.8 kg/m²

เมื่อเปรียบเทียบกับมอก. 2601-2556 พบว่าสูตรหน่วยน้ำหนักที่ออกแบบ เทียบเคียงได้กับ มอก. 2601-2556 ชนิด C12, C14 และ C16 ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยการพัฒนาคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมจากฟางข้าวและไม้ไผ่ เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่าง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 โดยใช้ฟางข้าวและไม้ไผ่ ทดแทนทรายโดยน้ำหนัก ร้อยละ ของน้ำหนักทราย อัตราส่วนผสม ปูนซีเมนต์ : ทราย : (ฟางข้าวไม้ไผ่อัตราส่วนเท่ากัน ร้อยละของน้ำหนักทรายทั้งหมด) และปูนซีเมนต์สำเร็จรูป TPIPL (M220B) โดยใช้ฟางข้าวและไม้ไผ่ ทดแทนโดยปริมาตรร้อยละของน้ำหนักปูนซีเมนต์ TPIPL (M220B) อัตราส่วนผสม ปูนซีเมนต์ : (ฟางข้าวไม้ไผ่อัตราส่วนเท่ากัน ร้อยละของน้ำหนักปูนซีเมนต์ TPIPL (M220B) ทั้งหมด) ในอัตราร้อยละ 5, 10, 15, 20, 25 จากผลทดสอบสรุปได้ว่าตัวอย่างทดสอบ SFB 3 ที่ใช้ส่วนผสมฟางข้าวและไม้ไผ่ทดแทนทรายในอัตราร้อยละ 15 ค่าการต้านทานแรงอัดที่ 154.04 kg/cm^2 และอัตราการดูดซึมน้ำร้อยละ 20.04 เป็นสูตรที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมจากฟางข้าวและไม้ไผ่ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกำหนดชนิดของคอนกรีตมวลเบา C16 มาตรฐาน มอก. 2601-2556

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง การวิจัยเรื่อง การพัฒนาคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมจากฟางข้าวและไม้ไผ่ ได้รับความสำเร็จเป็นอย่างดี ทั้งนี้ต้องขอขอบพระคุณ ผู้ร่วมวิจัย ตลอดจนท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประมุขศรีชัยวงษ์ และท่านอาจารย์จักรี วิชัยระหัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเป็นที่ปรึกษาโครงการในครั้งนี้

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ตลอดจนคณะผู้บริหาร ท่านอธิการบดีที่เปิดโอกาส และคอยสนับสนุนนักวิจัยเสมอมา รวมถึงต้องขอขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการโครงการวิจัยในครั้งนี้

ในท้ายที่สุดขอขอบทุกฝ่ายที่มีส่วนร่วมในการดำเนินการวิจัยจนสำเร็จ รวมทั้งบุคคลที่มีชื่อในบรรณานุกรมทุกท่านที่ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าอ้างอิง ตลอดจนผู้ที่เป็นกำลังใจทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้

References

- دنوفل ตันนโยภาส และกัลยาณี คุปตานนท์. (2553). คอนกรีตมวลเบาที่ทำจากมวลรวมกะลาปาล์ม น้ำมันผสมหินฝุ่นแกรนิต. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, 12(3) ตุลาคม 2552 - มกราคม 2553, 138-148.
- ธนกร ทวีวุฒิ และนท แสงเทียน. (2558). กำลังรับแรงอัด และการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส. *วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.*, 8(1) (2558): มกราคม - มิถุนายน, 91-102.

- นิตยร์ดี ดอเลาะ. (2552). วัสดุมวลเบาที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมก่อสร้าง. *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์*, 1(3) กันยายน-ธันวาคม, 48-62.
- บุญส่ง สมเพาะ, วัลยุทธ เพื่อองวิวัฒน์, ปิยะวดี บัวจงกล และวรัญญู ราชภูร์เจริญ. (2556). คุณสมบัติของไม้ไผ่บางชนิดเพื่อการก่อสร้าง. สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ
- พระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2551. (2556, 25 กันยายน). ราชกิจจานุเบกษา. เล่มที่ 130 ตอนพิเศษ 123 ง. หน้า 9.
- พัชร อ่อนพรม. (2560). การใช้เก้าอี้แลกเปลี่ยนที่ทรายบางส่วนในคอนกรีตมวลเบา. *บทความวิจัยและนวัตกรรมการศึกษา*, 1(1) มกราคม – มิถุนายน, 1-15.
- วรพจน์ แสงราม และสันติภาพ เข้มแก้ว. (2552). คอนกรีตมวลเบา. *วารสารวิหารแดง*. 1(1), มกราคม 2552 (อัดสำเนา).
- สมชาย อินทะตา และชนิดา ชันคำ. (2558). การใช้ฟางข้าวเพื่อผลิตแผ่นซีเมนต์บอร์ดฉนวนกันความร้อน. (รายงานการวิจัย). มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.