กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานบริหารการวิจัย นวัตกรรมและการสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยศิลปากร งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2560

Acknowledgement

This work was supported by Silpakorn University Research, Innovation and Creativity Administration Office, Fiscal Year 2017

ชื่อโครงการ การพัฒนาแผ่นคอนกรีตมวลเบาสำเร็จรูปต้นทุนต่ำเพื่อเพิ่มมูลค่าของเหลือทิ้งทางการเกษตร
ชื่อผู้วิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทร์ สุขแสน
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

แหล่งทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2560
สำนักงานบริหารการวิจัย นวัตกรรมและการสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีที่เสร็จ 2562
ประเภทการวิจัย การวิจัยประยุกต์
สาขาวิชา (อ้างอิงตามวช.) วัสดุศาสตร์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาคอนกรีตมวลเบามวลโดยใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ได้แก่ เปลือกข้าวโพด กากอ้อย และขุยมะพร้าว เพื่อลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตและเพิ่มมูลค่าของเหลือทิ้ง สามารถทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักที่เบาลงได้และคงไว้ซึ่งความแข็งแรง ซึ่งการทำคอนกรีตมวลเบาจะใช้พอร์ตแลนด์ซีเมนต์แบบธรรมดา เถ้าลอย เส้นใยธรรมชาติที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับปรุงด้วยโซเดียม-ไฮดรอกไซด์ ชิ้นงานคอนกรีตมวลเบาที่ได้นำมาทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกล เช่น ความหนาแน่นมวลรวม การทดสอบกำลังอัดคอนกรีต การดูดซึมน้ำ การทดสอบการเสื่อมสภาพของชิ้นงานในน้ำ ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยธรรมชาติและการยึดเกาะกับเฟสซีเมนต์พื้น และการทดสอบการทนไฟไหม้ พบว่าชิ้นงานที่ดีที่สุดผ่านการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในด้านของน้ำหนักที่เบา ทนการไหม้ไฟ และค่าการรับกำลังอัดสูงคือ ชิ้นงานที่เติมเส้นใยขุยมะพร้าวละเอียด 30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ซึ่งมีค่าความหนาแน่นมวลรวม 1.53 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และค่ากำลังอัดคอนกรีตเฉลี่ยที่ 15.9 เมกะพาสคาล

คำสำคัญ : คอนกรีตมวลเบา, เถ้าลอย, เปลือกข้าวโพด, กากอ้อย, ขุยมะพร้าว, โครงสร้างจุลภาค

Research Title: Development of low cost lightweight precast concrete panels for value adding agricultural wastes
Researcher: Assistant Prof Dr. Pat Sooksaen
Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
Research Grants Fiscal Year 2017
Silpakorn University Research, Innovation and Creativity Administration Office
Year of completion 2019
Type of research Applied research
Subjects (based NRCT) Materials Science

Abstract

This research has developed lightweight concretes using environmentally friendly agricultural wastes such as corn husk, bagasse and coconut husk. The aims were to reduce fabrication cost and bulk weight while still maintaining sufficient strength. The fabrication method of lightweight concretes utilized ordinary Portland cement, fly ash, non-treated and sodium hydroxide treated natural fibers. The concretes specimens were tested for physical and mechanical properties such as bulk density, compressive strength, water absorption, degradation test in water, morphology of natural fibers and the adhesion to the cement phase and fire resistance test. The best test result overall in terms of lightweight, fire resistance and high compressive strength was obtained in the specimen filled with 30 vol% of sodium hydroxide treated coconut husk fiber. The average bulk density value of this concrete was 1.53 g/cm^3 and the average compressive strength was 15.9 MPa.

Keywords: Lightweight Concrete, Fly ash, Corn husk, Bagasse, Coconut husk, Microstructure

สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
สารบัญเรื่อง	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
1 บทนำ	
1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.2 ขอบเขตการวิจัย	2
2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	
2.1 วัสดุเสริมองค์ประกอบหรือวัสดุคอมโพสิต	3
2.2 เส้นใยเสริมแรงที่ใช้ในวัสดุคอมโพสิต	3
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับพอร์ทแลนด์ซีเมนต์	7
2.4 คุณสมบัติทางกลของคอนกรีตผสมเส้นใยกากอ้อย	13
2.5 เถ้าลอย	13
2.6 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างปูนซีเมนต์กับเส้นใยธรรมชาติ	15
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
3 วิธีดำเนินงานวิจัย	
3.1 การเตรียมเส้นใยธรรมชาติ	24
3.2 การขึ้นรูปและการทดสอบ	25
4 ผลการวิจัย	
4.1 การเตรียมเส้นใยธรรมชาติ	27
4.2 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยธรรมชาติจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด	29
4.3 ความหนาแน่นมวลรวม	33
4.4 การดูดซึมน้ำ	35

4.5 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีต 38
4.6 การเสื่อมสภาพของชิ้นงานจากการแช่น้ำ 40

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

หน้า

4.7 ผลลักษณะทางสัณฐานวิทยาของชิ้นงานคอนกรีตที่เติมเส้นใยธรรมชาติทั้ง 3 ชนิดก่อนและหลังการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 44
4.8 การทนไฟของชิ้นงาน 47
4.9 ตัวอย่างชิ้นงานคอนกรีตมวลเบาที่ถูกพัฒนาโดยใช้พอร์ทแลนด์ซีเมนต์แบบธรรมดาและเส้นใยธรรมชาติ 49

5 สรุปผลการวิจัย 52
6 ผลผลิต 53
7 บรรณานุกรม 54
8 และผลงานวิจัยที่สำคัญของนักวิจัย 56
ภาคผนวก ก บทความวิจัยระดับนานาชาติ 58
ภาคผนวก ข มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 59

สารบัญตาราง

หน้า

2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกข้าวโพด, กากอ้อย และขุยมะพร้าว 4

ตารางที่ 2.2 ออกไซด์ที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์พอร์ทแลนด์ 8

ตารางที่ 2.3 ปริมาณร้อยละของสารประกอบในปูนซีเมนต์พอร์ทแลนด์ประเภทต่างๆ 8

ตารางที่ 2.4 สรุปคุณสมบัติของสารประกอบหลักในปูนซีเมนต์พอร์ทแลนด์ 9

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยของโรงไฟฟ้าแม่เมาะจังหวัดลำปาง (% โดยมวล) 14

ตารางที่ 2.6 เปรียบเทียบการปรับปรุงเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮโปคลอไรท์ 17

ตารางที่ 2.7 ความหนาแน่นของชิ้นงานในปริมาณเถ้าลอยที่ต่างกัน 20

ตารางที่ 2.8 เปรียบเทียบค่ากำลังกดอัดคอนกรีตในปริมาณของเถ้าลอยที่ต่างกัน 20

ตารางที่ 2.9 ดัชนีรอยแตก (cracking index) และอัตราส่วนความต้านทานการเกิดรอยแตก (cracking resistance ratio) ของมอร์ต้าร์ที่เติมเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารเคมีในชนิดและปริมาณที่แตกต่างกัน 22

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนผสมการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 25

ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนผสมของชิ้นงานตัวอย่างที่ทำการเติมเส้นใยธรรมชาติ (% โดยปริมาตร) 25

บทที่ 4 ผลการวิจัย

ตารางที่ 4.1 ความหนาแน่น ค่ากำลังอัดคอนกรีต เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ค่ากำลังอัดของชิ้นงานที่ทำการทดสอบการเสื่อมสภาพ ของชิ้นงานที่เติมปริมาณเส้นใยเปลือกข้าวโพดและชิ้นงานควบคุม 31

ตารางที่ 4.2 ความหนาแน่น ค่ากำลังอัดคอนกรีต เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ค่ากำลังอัดของชิ้นงานที่ทำการทดสอบการเสื่อมสภาพ ของชิ้นงานที่เติมปริมาณเส้นใยกากอ้อยและชิ้นงานควบคุม 32

ตารางที่ 4.3 ความหนาแน่น ค่ากำลังอัดคอนกรีต เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ค่ากำลังอัดคอนกรีตของชิ้นงานที่ทำการทดสอบการเสื่อมสภาพ ของชิ้นงานที่เติมปริมาณเส้นใยขุยมะพร้าวและชิ้นงานควบคุม 33

ภาคผนวก ข มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ตารางที่ ข-1 ชนิดของคอนกรีตบล็อกมวลเบา 59

ตารางที่ ข-2 ความต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกมวลเบา 59

ตารางที่ ข-3 อัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมวลเบา 60
ตารางที่ ข-4 ค่าความต้านแรงอัด 60

สารบัญรูป

หน้า

2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส 4
รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส 5
รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน (ฟีนิลโพรพานอยด์) 6
รูปที่ 2.4 การพัฒนากำลังอัดของ C_3S, C_2S, C_2A และ C_3AF 10
รูปที่ 2.5 ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่เกิดร่วมกับปฏิกิริยาปอซโซลานิก 15
รูปที่ 2.6 กระบวนการปรับปรุงผิวด้วยสารแอลคาไลน์ 15
รูปที่ 2.7 ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสระหว่างกรดไขมันกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 16
รูปที่ 2.8 เส้นใยว่านหางจระเข้ธรรมชาติ 18
รูปที่ 2.9 การปรับปรุงเส้นใยว่านหางจระเข้ด้วย 10% NaOCl 18
รูปที่ 2.10 การปรับปรุงเส้นใยว่านหางจระเข้ด้วย 20% NaOCl 18
รูปที่ 2.11 การปรับปรุงเส้นใยว่านหางจระเข้ด้วย 10% NaOH 19
รูปที่ 2.12 การปรับปรุงเส้นใยว่านหางจระเข้ด้วย 20% NaOH 19
รูปที่ 2.13 ชิ้นงานมอร์ต้าร์ (a) ไม่ผสมเส้นใยบวบ (b) ผสมเส้นใยบวบ 0.6 kg/m^3 ที่ปรับปรุงด้วย KOH 6%–H_2O_2 10% ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และ(c) ผสมเส้นใยบวบ 0.6 kg/m^3 ที่ปรับปรุงด้วย KOH 10% ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 23
3 วิธีดำเนินงานวิจัย
รูปที่ 3.1 ภาพกำลังขยายสูงจากกล้อง SEM ของเส้นใยกากอ้อย (a) 5% โดยน้ำหนัก NaOH เวลาแช่ 24 ชั่วโมง (b) 10% โดยน้ำหนัก NaOH เวลาแช่ 1 ชั่วโมง 24
รูปที่ 3.2 เครื่องกำลังอัดคอนกรีตแบบดิจิตอลขนาด 1500 kN (150 TON) 26
รูปที่ 3.3 เตาเผาไหม้ชีวมวลฟลูอิดไดซ์เบดไซโคลนแฝดชนิดหมุนวน สร้างโดยภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร 26
4 ผลการวิจัย
รูปที่ 4.1 เส้นใยธรรมชาติที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 27
รูปที่ 4.2 เส้นใยธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 28
รูปที่ 4.3 พื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติ 3 ชนิดจากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดทั้งก่อนและหลังการปรับผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 30
รูปที่ 4.4 ค่าความหนาแน่นมวลรวมเฉลี่ยของชิ้นงานที่เติมเปลือกข้าวโพดปริมาณ 30, 40 และ 34

50% โดยปริมาตรที่ผ่านและไม่ได้ผ่านการปรับปรุงเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เปรียบเทียบกับชิ้นงานควบคุม

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.5 ค่าความหนาแน่นมวลรวมเฉลี่ยของชิ้นงานที่เติมกากอ้อยปริมาณ 30, 40 และ 50% โดยปริมาตร ที่ผ่านและไม่ได้ผ่านการปรับปรุงเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เปรียบเทียบกับชิ้นงานควบคุม 35

รูปที่ 4.6 ค่าความหนาแน่นมวลรวมเฉลี่ยของชิ้นงานที่เติมขุยมะพร้าวปริมาณ 30, 40 และ 50% โดยปริมาตร ที่ผ่านและไม่ได้ผ่านการปรับปรุงเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เปรียบเทียบกับชิ้นงานควบคุม 35

รูปที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของชิ้นงานที่เติมเส้นใยเปลือกข้าวโพดและชิ้นงานควบคุม 36

รูปที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของชิ้นงานที่เติมเส้นใยกากอ้อย และชิ้นงานควบคุม 36

รูปที่ 4.9 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของชิ้นงานที่เติมเส้นใยขุยมะพร้าว และชิ้นงานควบคุม 37

รูปที่ 4.10 ค่ากำลังอัดคอนกรีตเฉลี่ยของชิ้นงานที่เติมเปลือกข้าวโพดปริมาณ 30, 40 และ 50% โดยปริมาตรที่ผ่านและไม่ได้ผ่านการปรับปรุงเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เปรียบเทียบกับชิ้นงานควบคุม 39

รูปที่ 4.11 ค่ากำลังอัดคอนกรีตเฉลี่ยของชิ้นงานที่เติมกากอ้อยปริมาณ 30, 40 และ 50% โดยปริมาตรที่ผ่านและไม่ได้ผ่านการปรับปรุงเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เปรียบเทียบกับชิ้นงานควบคุม 39

รูปที่ 4.12 ค่ากำลังอัดคอนกรีตเฉลี่ยของชิ้นงานที่เติมขุยมะพร้าวปริมาณ 30, 40 และ 50% โดยปริมาตรที่ผ่านและไม่ได้ผ่านการปรับปรุงเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เปรียบเทียบกับชิ้นงานควบคุม 40

รูปที่ 4.13 น้ำหนักของชิ้นงานก่อนและหลังจากการแช่น้ำ 7 วัน ชิ้นงานที่เติมข้าวโพดปริมาณ 30, 40 และ 50% โดยปริมาตร ที่ผ่านและไม่ได้ผ่านการปรับปรุงเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เปรียบเทียบกับชิ้นงานควบคุม 41

รูปที่ 4.14 น้ำหนักของชิ้นงานก่อนและหลังจากการแช่น้ำชิ้นงานที่เติมกากอ้อยปริมาณ 30, 40 และ 50% โดยปริมาตร ที่ผ่านและไม่ได้ผ่านการปรับปรุงเส้นใยด้วยโซเดียม-ไฮดรอกไซด์ เปรียบเทียบกับชิ้นงานควบคุม 42

รูปที่ 4.15 น้ำหนักของชิ้นงานก่อนและหลังจากการแช่น้ำ 7 วัน ชิ้นงานที่เติมขุยมะพร้าวปริมาณ 30, 40 และ 50% โดยปริมาตร ที่ผ่านและไม่ได้ผ่านการปรับปรุงเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ เปรียบเทียบกับชิ้นงานควบคุม 42

รูปที่ 4.16 ค่ากำลังอัดคอนกรีตเฉลี่ยของชิ้นงานครบ 28 วัน และชิ้นงานที่แช่น้ำ 7 วัน และตามด้วยการอบแห้ง โดยชิ้นงานเติมข้าวโพดปริมาณ 30, 40 และ 50% โดย 43

ปริมาตร ที่ผ่านและไม่ได้ผ่านการปรับปรุงเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ เปรียบเทียบกับชิ้นงานควบคุม

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.17 ค่ากำลังอัดคอนกรีตเฉลี่ยของชิ้นงานครบ 28 วัน และชิ้นงานที่แช่น้ำ 7 วัน และตามด้วยการอบแห้ง โดยชิ้นงานเติมกากอ้อยปริมาณ 30, 40 และ 50% โดยปริมาตร ที่ผ่านและไม่ได้ผ่านการปรับปรุงเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เปรียบเทียบกับชิ้นงานควบคุม 43

รูปที่ 4.18 ค่ากำลังอัดคอนกรีตเฉลี่ยของชิ้นงานครบ 28 วัน และชิ้นงานที่แช่น้ำ 7 วัน และตามด้วยการอบแห้ง โดยชิ้นงานเติมขุยมะพร้าวปริมาณ 30, 40 และ 50% โดยปริมาตร ที่ผ่านและไม่ได้ผ่านการปรับปรุงเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ เปรียบเทียบกับชิ้นงานควบคุม 44

รูปที่ 4.19 พื้นผิวที่แตกหักภายในของชิ้นงานคอนกรีตที่เติมเส้นใยธรรมชาติทั้ง 3 ชนิดจากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยด้านซ้ายคือชิ้นงานคอนกรีตมวลเบาที่ปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 28 วัน (a) UCCf30 (b) TCCf30 (c) TCc30 (d) TBf30 (e) base และด้านขวาคือชิ้นงานคอนกรีตมวลเบาที่ทำการทดสอบการเสื่อมสภาพ (f) UCCf30 (g) TCCf30 (h) TCc30 (i) TBf30 (j) base ตามลำดับ 46

รูปที่ 4.20 (a) ชิ้นงานก่อนทดสอบ และ (b) ชิ้นงานหลังการทดสอบด้วยเตาเผาไหม้ชีวมวลฟลูอิดไดซ์เบดไซโคลนแฝดชนิดหมุนวน เป็นเวลา 25 นาที โดยวางชิ้นงานเป็นคู่ทั้งหมด 4 คู่ ได้แก่ TCc30, TBf30, TCCf30 และ base ตามลำดับ 48

รูปที่ 4.21 ลักษณะภายนอกของชิ้นงานหลังจากทดสอบด้วยเตาเผาไหม้ชีวมวลฟลูอิดไดซ์เบดไซโคลนแฝดชนิดหมุนวน เมื่อปล่อยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน a คือ TCc30 ภาพ b คือ TBf30 ภาพ c TCCf30 และภาพ d คือ base ซึ่งแต่ละสูตรมีชิ้นงานอย่างละ 2 ชิ้น 48

รูปที่ 4.22 การเปรียบเทียบลักษณะการแตกหักของชิ้นงานที่ถูกกดอัดระหว่างชิ้นงานที่ผ่านการเผาด้วยเตาเผาไหม้ชีวมวลฟลูอิดไดซ์เบดไซโคลนแฝดชนิดหมุนวน เปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ปล่อยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน (ซ้าย) และชิ้นงานที่ไม่ได้เผาไหม้ (ขวา) ของแต่ละสูตร ดังนี้ (a) TCc30 (b) TBf30 (c) TCCf30 และ (d) base 49

รูปที่ 4.23 ตัวอย่างพื้นผิวชิ้นงานคอนกรีตมวลเบาขนาดกว้าง 40 cm ยาว 27 cm สูง 4 cm (a) ชิ้นงานควบคุมที่ไม่ได้เติมเส้นใยธรรมชาติ (b) TBf30 (c) TCCf30 และ (d) TCCf40 50

รูปที่ 4.24 ภาพแนวตั้งของชิ้นงาน TBf30, TCCf30 และ TCCf40 ที่ขึ้นรูปเป็นแผ่นขนาดกว้าง 40 cm ยาว 27 cm สูง 4 cm 51