การพัฒนาคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำตาล

Development of Cellular Lightweight Concrete on Sugar Industrial Waste

ภานุวัฒน์ โสภณวาณิชย์ [1] ยิ่งใหญ่ มาลัยเจริญ [2] ชิษณุพงศ์ สุธัมมะ [3,*]

[1,2,3] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม

** Corresponding author; E-mail address: fengcpsu@ku.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์ และศึกษากำลังรับแรงอัดและความหนาแน่น โดยใช้เถ้าชานอ้อย และ กากปูนขาวมาแทนที่ซีเมนต์และสามารถนำคอนกรีตมวลเบาที่พัฒนามาจากเถ้าชานอ้อย และ กากปูนขาวมาใช้ในงานก่อสร้าง โดยใช้การเทียบเท่าด้วย มอก.2601-2556 ชั้นคุณภาพ C9 ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่า 25.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และค่าความหนาแน่นมีค่าเท่ากับ 801-900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในการหาสูตรต้นแบบเพื่อใช้ในการแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยเถ้าชานอ้อยและกากปูนขาว หาได้จากวิธีการทดลอง ซึ่งได้อัตราส่วนผสมระหว่างปูนต่อทรายที่ 1.00 : 1.00 และส่วนผสมระหว่างน้ำต่อสารเชื่อมประสาน (W/B) 0.50 : 1.00 ที่มีความหนาแน่น และค่าของกำลังรับแรงอัด ใกล้เคียงกับ มอก.2601-2556 ชั้นคุณภาพ C9 มากที่สุด ในอายุการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน โดยการนำเถ้าชานอ้อยและกากปูนขาวมาแทนที่ร้อยละ 5 ถึง 35 ในอัตราส่วนผสมของซีเมนต์จากการทดสอบพบว่าการแทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อยที่มีค่าความหนาแน่นมากที่สุด เมื่อแทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อยร้อยละ 20 และมีกำลังรับแรงอัดที่ได้มากสุดเมื่อแทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อยร้อยละ 15 ส่วนการแทนที่ด้วยกากปูนขาวพบว่ามีค่าความหนาแน่นที่มากสุดเมื่อแทนที่ด้วยกากปูนขาวร้อยละ 30 และกำลังรับแรงอัดที่มีมากที่สุดเมื่อแทนที่ด้วยกากปูนขาวร้อยละ 5 เมื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับ มอก.2601-2556 ชั้นคุณภาพ C9 แล้วพบว่า เถ้าชานอ้อยไม่สามารถนำมาแทนที่ซีเมนต์ และคอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อยและกากปูนขาว ยังไม่สามารถเทียบเท่ากับสินค้าที่มีอยู่ในท้องตลาดได้ ส่วนกากปูนขาวสามารถนำมาแทนที่ซีเมนต์ได้และยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างได้จริงซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้ของเหลือจากอุตสาหกรรมให้เกิดประโยชน์สูงสุด

คำสำคัญ : คอนกรีตมวลเบา ความหนาแน่น กำลังรับแรงอัด เถ้าชานอ้อย กากปูนขาว

Abstract

The objectives of this research were to study and develop lightweight cellular concrete as well as to determine the compressive strength and density by replacing cement with bagasse ash and lime mud to use lightweight concrete developed from bagasse ash, and lime mud in construction works. The research was conducted by using the equivalence with TIS. B.E. 2601-2556 Quality Class C9. It has a compressive strength higher than 25.5 kg/cm^2 and a density of 801-900 kg/m^3. To find a prototype formula to be used to replace some cement with bagasse ash and lime waste. It was derived from experimental methods. Found that the ratio of cement to sand at 1.00: 1.00 and the water binder ratio (W / B) is 0.50. The compressive strength and density are close to TIS 2601-2013, C9 quality class, the most in the curing period of 7, 14, and 28 days., by replacing it with bagasse ash and lime mud 5-35% in the mixture ratio of cement. The experiment results found that the replacement with bagasse ash would have the highest density when replaced by 20% and the highest compressive strength when replaced by 15%. And the replacement with lime mud would have the highest density when replaced by 30% and the highest compressive strength when replaced by 5%. When the values obtained were compared with TIS. B.E. 2601-2556, Quality Class C9, it was found that bagasse ash could not replace cement. Also, the lightweight concrete replaced with bagasse ash and lime mud could still not be equivalent to other products available in the market. However, lime mud could replace cement and be used for real construction works, which could be considered as the application of industrial leftovers to maximize benefits. Keywords: Lightweight Concrete, Density, Compressive Strength, Bagasse ash, Lime mud

1. บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยถือได้ว่าเป็นประเทศที่มีการก่อสร้างให้เห็นได้ทั่วไป โดยวัดจากการใช้ปูนซีเมนต์ที่เพิ่มมากขึ้นในทุก ๆ ปี โดยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 เป็นต้นมา ได้เพิ่มสูงขึ้นทุกปี ในปี พ.ศ. 2554 ก็ได้มีการผลิตปูนที่มากกว่า ใน พ.ศ.2553 ในช่วงเวลาเดียวกัน ร้อยละ 4.3 ในขณะเดียวกัน

เหตุการณ์น้ำท่วมในปี พ.ศ.2554 นั้นก็มีบทบาทสำคัญที่ทำให้มีการก่อสร้างเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงปัจจุบัน ได้มีการผลิตปูนซีเมนต์เพิ่มมากขึ้น บ่งบอกได้ว่าอุตสาหกรรมการก่อสร้างมีแนวโน้มการขยายตัวมากขึ้น ซึ่งเป็นผลที่ดีต่อเศรษฐกิจ [1]

แต่ในทางตรงกันข้ามอุตสาหกรรมก่อสร้างเป็นหนึ่งในปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมากเช่น มลภาวะทางอากาศแต่สิ่งที่สำคัญที่สุดคือเศษวัสดุก่อสร้างที่มาจากหน่วยงานก่อสร้างที่ก่อให้เกิดปัญหาความเสื่อมโทรมของทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม [2] และอีกปัญหาหนึ่งที่พบคือวัสดุเหลือทิ้งทางธรรมชาติและส่วนใหญ่มากจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลเพราะประเทศไทย เป็นประเทศส่งออกน้ำตาลเป็นอันดับต้นๆ ของโลก ในปี2561 มีผลผลิตอ้อยทั้งหมด 134.93 ล้านตัน เมื่อนำไปผลิตน้ำตาล จะมีกากชานอ้อยเหลือประมาณ 37.78 ล้านตัน [3] และนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าให้กับโรงงาน เถ้าชานอ้อยบางส่วนเกษตรเอาไปทำปุ๋ย ส่วนใหญ่ใช้ถมที่ และกองทิ้งไว้ แต่ผู้คนส่วนใหญ่นั้นไม่ได้มีการนำเถ้าชานอ้อยมาใช้ประโยชน์หรือนำมาประยุกต์ใช้

โดยเถ้าชานอ้อยที่ผู้วิจัยได้นำมาใช้มาจากบริษัทน้ำตาลท่ามะกาจำกัด โดยเถ้าชานอ้อยที่ได้ มาจากการผลิตไฟฟ้าจากกากชานอ้อยที่ถูกเผาเพื่อให้พลังงานแก่โรงงานน้ำตาล

ดังนั้นผู้วิจัยเห็นว่าเถ้าชานอ้อยนั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุการก่อสร้างได้เช่นกันเพราะเถ้าชานอ้อยมีธาตุซิลิกาเป็นหลัก มีซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ต่ำ และมีค่าการสูญเสียน้ำหนักจากการเผา (LOI) ค่อนข้างสูง เมื่อผ่านการบดแล้วมีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุม รูปร่างไม่แน่นอน ความพรุนน้อยลง และมีอนุภาคเล็กลง [4] ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของเถ้าชานอ้อยแล้ว เถ้าชานอ้อยสามารถนำมาประยุกต์เป็นคอนกรีตมวลเบาได้ เนื่องจากคอนกรีตมวลเบามีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย อันเนื่องจากคุณสมบัติในการรับแรง ที่ดีกว่าอิฐมอญ อีกทั้งยังสามารถกันความร้อนได้ดีกว่ารวมถึงมีน้ำหนักที่เบากว่าอิฐมอญ และคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์ (CLC) เป็นระบบที่สามารถทำได้ง่าย เนื่องจากไม่ต้องผ่านกระบวนการอบไอน้ำจึงเป็นทางเลือกที่ดีในการนำมาพัฒนาให้ดีขึ้น [5]

กากปูนขาวมีงานวิจัยที่ใช้กากปูนขาวจากอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ [6-7] ผู้วิจัยเห็นว่าที่โรงงานน้ำตาลแห่งเดียวกันก็มีกากปูนขาวจากกระบวนการผลิตน้ำตาลเช่นกัน โดยมาจากการปรับความเป็นด่างของน้ำอ้อยและการล้างสีของเม็ดน้ำตาล ผู้วิจัยจึงเห็นว่ากากปูนขาวที่ได้อาจนำมาใช่แทนที่ได้เช่นเดียวกับกากปูนขาวที่มาจากอุตสาหกรรมกระดาษ

ดังนั้นผู้วิจัยเห็นว่าถ้าเรามีวิธีการจัดการกับเศษวัสดุที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้องหรือการนำเศษวัสดุนั้นกลับมาใช้ใหม่และการใช้วัสดุจากธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุดก็จะสามารถช่วยให้สภาพแวดล้อมดีขึ้นได้เพราะการดำเนินงานก่อสร้างในสถานที่ก่อสร้าง ต่างมีการจัดการสิ่งแวดล้อมในโครงการการก่อสร้างที่ไม่เหมือนกัน ซึ่งปัญหาที่พบบ่อยในสถานที่ก่อสร้างนั้นคือปัญหาสิ่งแวดล้อม ซึ่งจัดได้ว่าอุตสาหกรรมก่อสร้าง เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีกิจกรรมที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นการใช้พลังงานและทรัพยากรธรรมชาติอย่างมากมาย [8]

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. พัฒนาคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์ โดยใช้เถ้าชานอ้อยและกากปูนขาว มาแทนที่ซีเมนต์

2. ศึกษาการรับแรง และความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบา โดยใช้เถ้าชานอ้อยและกากปูนขาวมาแทนที่ปูนปอร์ตแลนด์

3. สามารถนำคอนกรีตมวลเบาที่พัฒนามาจากเถ้าชานอ้อยและกากปูนขาว มาก่อสร้างได้จริง

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์โดยใช้เถ้าชานอ้อย และกากปูนขาวมาแทนที่ปูนปอร์ตแลนด์และสามารถนำมาใช้ในงานก่อสร้างได้จริง เป็นการประยุกต์ใช้วัสดุเหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์ จึงศึกษาการรับแรง และความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาโดยใช้ให้ได้เทียบเท่า มอก.2601-2556 ชั้นคุณภาพ C9 [9] โดยมีค่ารายละเอียดที่แสดงตามตารางที่ 1 ถึงตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 1 มอก.2601-2556 ความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งเฉลี่ย

ชนิด	ความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งเฉลี่ย (kg/m^3)
C6	501-600
C7	601-700
C8	701-800
C9	801-900
C10	901-1000
C12	1001-1200
C14	1201-1400
C16	1401-1600

ที่มา: มอก.2601-2556

ตารางที่ 2 มอก.2601-2556 ความต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกมวลเบา

ชนิด	ความต้านแรงอัดไม่น้อยกว่า (kg/cm^2)
C6	20.4
C7	
C8	
C9	25.5
C10	
C12	
C14	51.0
C16	

ที่มา: มอก.2601-2556

กระบวนการดำเนินงาน

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม
2. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์โดยพิจารณาคุณสมบัติของวัสดุและประเภทคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์

3. ศึกษาวิธีการผสม การบ่ม ก้อนคอนกรีตมวลเบา และทำการเตรียมวัสดุ เพื่อทำการผสมจริง

4. ทำการผสมคอนกรีตมวลเบา และเทใส่โมล 5x5x5 ลูกบาศก์เซนติเมตรใช้พลาสติกใสประเภทโพลีเอทิลีน (Polyethylene) เพื่อทำการบ่มก้อนคอนกรีต ที่ระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

5. ทำการทดสอบและเปรียบเทียบความหนาแน่น และกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่มีการแทนที่ปูนปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าชานอ้อยและกากปูนขาว ในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้เครื่องทดสอบแบบไฮดรอลิค ที่สามารถให้น้ำหนักอัตราคงที่ในช่วง 1.4-3.4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาทีตาม มยผ.1210-50 [10]

รูปที่ 3 การผสมคอนกรีตมวลเบา

รูปที่ 4 การบ่มด้วยพลาสติกใส

รูปที่ 5 การทดสอบกำลังรับแรงอัด

สูตรต้นแบบที่นำมาใช้ในการผสมเถ้าชานอ้อยกับกากปูนขาว

ในการหาส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาจะใช้วิธีการทดลอง โดยเลือกสูตรที่มีความสามารถในการทำงานโดยมีความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดที่ใกล้เคียงกับ มอก.2601-2556 ซึ่งมีส่วนผสมเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1, ทรายที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 30, น้ำ และโฟม โดยตัวโฟมมาจากการผสมระหว่างน้ำยาทำโฟมและน้ำผสมกันในอัตราส่วน 1:30 ใส่ลงในเครื่องฉีดโฟมที่ความดันไม่ต่ำกว่า 4 บาร์ และได้อัตราส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาเป็น ปูนซีเมนต์ต่อทรายเป็น 1 : 1 อัตราส่วน W/B เท่ากับ 0.5 และใส่ปริมาณโฟมเป็น 4 เท่าของน้ำหนักน้ำ

การแทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อย

ในการแทนที่วัสดุของเหลือจากอุตสาหกรรมน้ำตาลจะใช้เถ้าชานอ้อยแทนที่ตั้งแต่ร้อยละ 5 ถึง 35 มาแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 และมีการเพิ่มน้ำ ตั้งแต่การแทนที่เถ้าชานอ้อย ร้อยละ 10 ดังตารางที่ 3 เนื่องจากเถ้าชานอ้อยมีการดูดซึมน้ำที่มากกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เพื่อให้เนื้อคอนกรีตไม่แห้งจนไม่สามารถผสมโฟมได้ และคอนกรีตมวลเบารวมเป็นเนื้อเดียวกัน แต่ปริมาณโฟมยังคงใส่เท่ากับส่วนผสมต้นแบบที่ยังไม่มีการใส่เถ้าชานอ้อยลงไป โดยมีอัตราส่วนผสมดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 อัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าชานอ้อยและอัตราส่วนของน้ำต่อสารเชื่อมประสาน

รายการ	อัตราส่วนแทนที่ร้อยละโดยน้ำหนักซีเมนต์	ส่วนผสม (อัตราส่วนโดยน้ำหนัก)			อัตราส่วนน้ำต่อสารเชื่อมประสาน
		ซีเมนต์ (กรัม)	เถ้าชานอ้อย (กรัม)	ทราย (กรัม)	
CC-0	0	1.00	0.00	1.00	0.5000
CC-1	5	0.95	0.05	1.00	0.5000
CC-2	10	0.90	0.10	1.00	0.5350
CC-3	15	0.85	0.15	1.00	0.5525
CC-4	20	0.80	0.20	1.00	0.5700
CC-5	25	0.75	0.25	1.00	0.5875
CC-6	30	0.70	0.30	1.00	0.6050
CC-7	35	0.65	0.35	1.00	0.6225

การแทนที่ด้วยกากปูนขาว

ในการแทนที่วัสดุของเหลือจากอุตสาหกรรมน้ำตาลจะใช้กากปูนขาวแทนที่ตั้งแต่ร้อยละ 5 ถึง 35 มาแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 แต่ไม่มีการเพิ่มน้ำ ดังตารางที่ 4 เนื่องจากกากปูนขาวมีการดูดซึมน้ำที่น้อยกว่าเถ้าชานอ้อย และเนื้อของคอนกรีตขณะผสมยังเป็นเนื้อเดียวกัน จึงไม่ต้องเพิ่มน้ำเหมือนกับเถ้าชานอ้อยโดยมีอัตราส่วนผสมดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 อัตราส่วนการแทนที่ของกากปูนขาวและอัตราส่วนของน้ำต่อสารเชื่อมประสาน

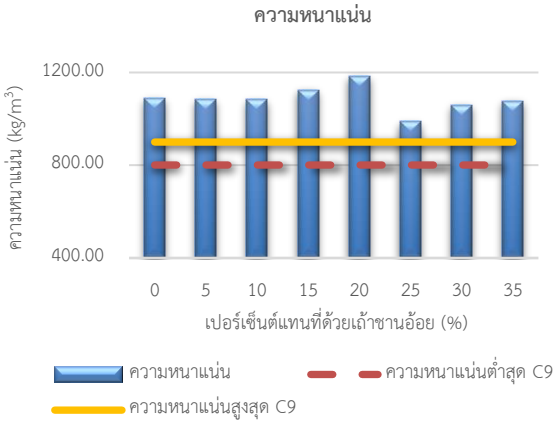
รายการ	อัตราส่วนแทนที่ร้อยละโดยน้ำหนักซีเมนต์	ส่วนผสม (อัตราส่วนโดยน้ำหนัก)			อัตราส่วนน้ำต่อสารเชื่อมประสาน
		ซีเมนต์ (กรัม)	กากปูนขาว (กรัม)	ทราย (กรัม)	
PC-0	0	1.00	0.00	1.00	0.50
PC-1	5	0.95	0.05	1.00	0.50
PC-2	10	0.90	0.10	1.00	0.50
PC-3	15	0.85	0.15	1.00	0.50
PC-4	20	0.80	0.20	1.00	0.50
PC-5	25	0.75	0.25	1.00	0.50
PC-6	30	0.70	0.30	1.00	0.50
PC-7	35	0.65	0.35	1.00	0.50

4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

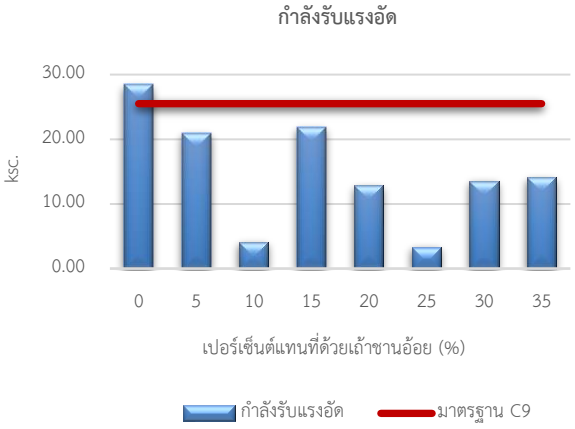
ในการทดสอบนั้นใช้ CC-0 เป็นต้นแบบในการศึกษา ซึ่งใช้เถ้าชานอ้อยและกากปูนขาวมาแทนที่ปูนปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เพื่อหาค่าความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบา และค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาในการศึกษาการแทนที่ปูนด้วยเถ้าชานอ้อยและกากปูนขาวนั้น มีการแทนที่ด้วยปริมาณ 5 ถึง 35 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซีเมนต์ ตามลำดับ โดยเถ้าชานอ้อยจะแทนในชื่อ CC-1 ถึง CC-7 ส่วนกากปูนขาวจะแทนในชื่อ PC-1 ถึง PC-7 และทำการศึกษาโดยบ่มก้อนตัวอย่างด้วยพลาสติกใสเป็นเวลา 7, 14 และ28 วัน มาเฉลี่ย ซึ่งมีค่าผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 5 และตารางที่ 6

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบค่า ความหนาแน่น และกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อยมาเฉลี่ย

สูตร	ส่วนผสม (อัตราส่วนโดยน้ำหนัก)		อัตราส่วนน้ำต่อสารเชื่อมประสาน	ความหนาแน่น (kg/m^3)	กำลังรับแรงอัด (ksc.)
	ซีเมนต์	เถ้าชานอ้อย			
CC-0	1.00	0.00	0.5000	1089.340	28.397
CC-1	0.95	0.05	0.5000	1083.571	20.930
CC-2	0.90	0.10	0.5350	1083.252	4.122
CC-3	0.85	0.15	0.5525	1124.491	21.828
CC-4	0.80	0.20	0.5700	1184.186	12.836
CC-5	0.75	0.25	0.5875	987.077	3.339
CC-6	0.70	0.30	0.6050	1059.754	13.494
CC-7	0.65	0.35	0.6225	1075.634	14.092



รูปที่ 6 ความหาแน่นเฉลี่ยของก้อนตัวอย่างเถ้าชานอ้อย CC



รูปที่ 7 กำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของก้อนตัวอย่างเถ้าชานอ้อย CC

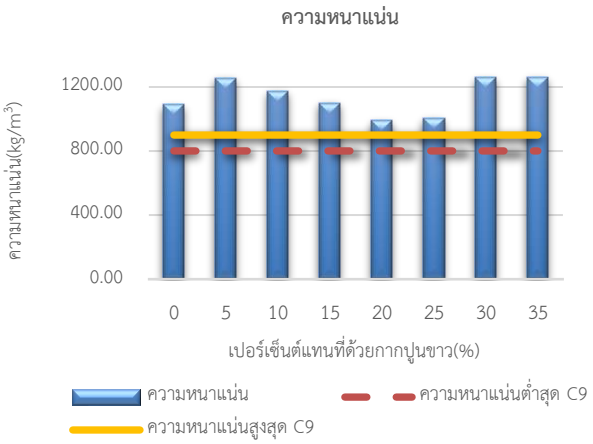
รูปที่ 8 ก้อนตัวอย่างคอนกรีตเมื่อแทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อย

การวิเคราะห์ผลการทดสอบของเถ้าชานอ้อย แล้วบ่มด้วยพลาสติกใสเป็นเวลา 7, 14 และ28 วัน มาเฉลี่ย

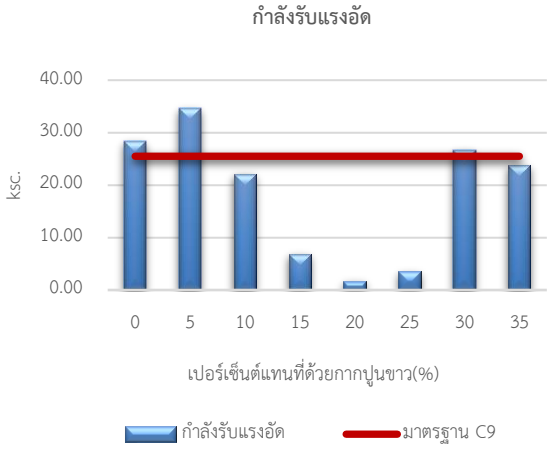
ผลการทดสอบของการนำเถ้าชานอ้อยซึ่งให้แทนที่ซีเมนต์ แล้วทำการบ่มด้วยพลาสติกใส เป็นเวลา 7, 14 และ28 วัน มาเฉลี่ย พบว่า เมื่อมีการแทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อยปริมาณ 5 ถึง 35 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซีเมนต์ ค่าความหนาแน่นและค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้แสดงในตารางที่ 5 โดยค่าความหนาแน่นที่ได้นั้นมีค่ามากกว่าค่ามาตรฐาน ซึ่งเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน C9 ดังแสดงในรูปที่ 6 เนื่องจากเถ้าชานอ้อยมีการดูดซึมน้ำได้ดี จึงทำให้ส่วนผสมเซ็ตตัวไว ส่งผลต่อการผสมเข้ากับเนื้อโฟม ค่าความหนาแน่นที่ได้จึงสูง ส่วนค่ากำลังรับแรงอัดที่มีค่าสูงสุดคือการแทนที่ ๆ ร้อยละ 15 มีค่าเท่ากับ 21.828 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งไม่ผ่านมาตรฐาน C9 เมื่อเทียบกับค่ากำลังรับแรงอัดเมื่อมีการแทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อยที่ได้มีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐาน C9 ดังแสดงในรูปที่ 7 เป็นผลมาจากการไล่ฟองอากาศหลังจากการเทลงแบบหล่อ ทำให้วัสดุมวลรวมแยกชั้นเนื้อโฟม เมื่อมีการแทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อยก้อนที่มีความหนาแน่นมากที่สุดคือก้อน CC-4 มีค่าเท่ากับ 1184.186 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งอยู่ในช่วง C12 และก้อน CC-5 ที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 987.077 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งอยู่ในช่วง C10 และ ก้อน CC-3 รับกำลังอัดได้ดีที่สุด รับได้เท่ากับ 21.828 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งอยู่ในช่วง C6-C8 และก้อน CC-5 ที่รับกำลังอัดได้น้อยที่สุด รับได้เท่ากับ 3.339 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยค่าความหนาแน่นและค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบค่า ความหนาแน่น และกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่แทนที่ด้วยกากปูนขาว มาเฉลี่ย

สูตร	ส่วนผสม (อัตราส่วนโดยน้ำหนัก)		อัตราส่วนน้ำต่อสารเชื่อมประสาน	ความหนาแน่น (kg/m^3)	กำลังรับแรงอัด (ksc.)
	ซีเมนต์	กากปูนขาว			
PC-0	1.00	0.00	0.50	1089.340	28.397
PC-1	0.95	0.05	0.50	1255.386	34.620
PC-2	0.90	0.10	0.50	1173.167	22.143
PC-3	0.85	0.15	0.50	1098.798	6.914
PC-4	0.80	0.20	0.50	989.264	1.652
PC-5	0.75	0.25	0.50	1004.911	3.556
PC-6	0.70	0.30	0.50	1259.089	26.628
PC-7	0.65	0.35	0.50	1260.049	23.853



รูปที่ 9 ความหนาแน่นเฉลี่ยของก้อนตัวอย่างกากปูนขาว PC



รูปที่ 10 กำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของก้อนตัวอย่างกากปูนขาว PC

รูปที่ 11 ก้อนตัวอย่างคอนกรีตเมื่อแทนที่ด้วยกากปูนขาว

การวิเคราะห์ผลการทดสอบของกากปูนขาว แล้วบ่มด้วยพลาสติกใสเป็นเวลา 7, 14 และ28 วัน มาเฉลี่ย

ผลการทดสอบการศึกษาปริมาณปูนซึ่งถูกแทนที่ด้วยกากปูนขาว แล้วทำการบ่มด้วยพลาสติกใส เป็นเวลา 7, 14 และ28 วัน พบว่า เมื่อมีการแทนที่ด้วยกากปูนขาวปริมาณ 5 ถึง 35 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซีเมนต์ตามลำดับ ค่าความหนาแน่นและค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้แสดงในตารางที่ 6 โดยค่าความหนาแน่นที่ได้นั้นมีค่ามากกว่าค่ามาตรฐาน เนื่องจากในการผสมคอนกรีตกับกากปูนขาวเข้ากับโฟม เนื้อคอนกรีตสม่ำเสมอและไม่แยกตัวกันระหว่างเทลงแบบ ทำให้ค่าความหนาแน่นที่ได้ผ่านมาตรฐาน C9 แต่ไม่อยู่ในช่วงมาตรฐานที่กำหนดไว้ ดังกราฟที่แสดงในรูปที่ 9 ส่วนในรูปที่ 10 ค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้มีค่าที่ผ่านมาตรฐาน คือ PC-1 มีค่าเท่ากับ 34.620 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนค่าที่เหลือได้น้อยกว่าค่ามาตรฐาน ทำให้กราฟที่ได้มีความไม่สม่ำเสมอ เป็นผลมาจากการไล่ฟองอากาศหลังจากการเทลงแบบหล่อ และระยะเวลาในการผสมเนื้อโฟมลงไปในเนื้อคอนกรีต โดยก้อนที่มีความหนาแน่นมากที่สุด คือก้อน PC-7 มีความหนาแน่นเท่ากับ 1260.049 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งอยู่ในช่วง C14 และก้อนที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุดคือก้อน PC-4 มีความหนาแน่นเท่ากับ 989.264 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งอยู่ในช่วง C10 และ ก้อนที่รับกำลังอัดได้ดีที่สุด คือก้อน PC-1 รับได้เท่ากับ 34.620 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งอยู่ในช่วง C9-C12 และก้อนที่รับกำลังอัดได้น้อยที่สุดคือก้อน PC-4 รับได้เท่ากับ 1.652 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

5. สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยเรื่องการศึกษาวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเพื่อพัฒนาวัสดุก่อสร้างโดยการพัฒนาเป็นคอนกรีตมวลเบา มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์โดยใช้เถ้าชานอ้อย และกากปูนขาวมาแทนที่ปูนปอร์ตแลนด์ และสามารถนำมาใช้ในงานก่อสร้าง เป็นการประยุกต์ใช้วัสดุเหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์ จึงศึกษาการรับแรง และความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาโดยใช้ มอก.2601-2556 ชั้นคุณภาพ C9 นำมาเทียบเท่า สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ความหนาแน่นของตัวอย่างที่แทนที่เถ้าชานอ้อย และกากปูนขาวสูงกว่ามาตรฐานที่ต้องการ จึงไม่ผ่านวัตถุประสงค์ที่ต้องการของงานวิจัยนี้

2. กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่แทนที่เถ้าชานอ้อยยังไม่ผ่านมาตรฐานที่กำหนด แต่กากปูนขาวที่ร้อยละ 5 มีกำลังรับแรงอัดมากกว่ามาตรฐาน ซึ่งผ่านวัตถุประสงค์ตามที่กำหนดไว้ของงานวิจัยนี้

3. กากปูนขาวสามารถนำมาแทนที่ปูนปอร์ตแลนด์ได้ และยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างได้เช่นกัน เนื่องจากมีค่ากำลังรับแรงอัดผ่านมาตรฐาน แม้จะความหนาแน่นที่มากกว่าชั้นคุณภาพที่ต้องการ

4. คอนกรีตมวลเบาที่ถูกแทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อยและกากปูนขาว ยังไม่สามารถพัฒนาให้เทียบเท่ากับสินค้าที่มีอยู่ในท้องตลาดได้ จึงไม่ผ่านวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้

5. คอนกรีตมวลเบาที่ถูกแทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อยและกากปูนขาว เมื่อทำการบ่มด้วยพลาสติกใส เป็นระยะเวลา 7, 14 และ28 วัน ค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้ยังมีค่าสูงขึ้นไม่มาก จึงสรุปได้ว่าการบ่มด้วยพลาสติกใสไม่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีตมวลเบา

5.1 ปัญหาที่เกิด

ในการผสมคอนกรีตมวลเบาที่ยังไม่มีการแทนที่ และแทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อยและกากปูนขาวพบว่ามีปัญหาที่เกิดขึ้นดังนี้

1. ระยะเวลาในการผสมโฟมที่เร็ว ทำให้ฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาไม่สม่ำเสมอ และมีความหนาแน่นมีมากกว่ามาตรฐานที่ต้องการ

2. ระยะเวลาในการผสมโฟมที่ช้าไป ทำให้ฟองอากาศในคอนกรีตมีมากเกินไปส่งผลให้กำลังอัดสามารถรับได้น้อย

3. อุปกรณ์ในการผสมเนื้อโฟมกับเนื้อคอนกรีตที่ต่างกันส่งผลให้ฟองอากาศที่เข้าไปในเนื้อคอนกรีตมีปริมาณที่ต่างกัน

4. คอนกรีตมวลเบาบางสูตรมีการเซ็ตตัวอย่างรวดเร็วทำให้การเทคอนกรีตใส่แบบหล่อไม่สมบูรณ์

5. การตวงปริมาณโฟม แม้จะมีภาชนะในการตวงแล้วแต่ก็ยังไม่สามารถตวงปริมาณได้ตรงตามสูตรอย่างแม่นยำ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทำวิจัยครั้งถัดไปหรือนำไปพัฒนาต่อผู้วิจัยเห็นว่าควรมีการปรับปรุงดังนี้

1. ควรหาวิธีการทดลองในการผสมคอนกรีตให้เข้ากับฟองโฟมที่ทำให้มีคุณภาพมากกว่านี้เพื่อไม่ให้เกิดข้อผิดพลาดในการทำวิจัยครั้งถัดไป

2. ควรทำการเพิ่มจำนวนก้อนตัวอย่างให้มากขึ้น

3. ควรกำหนดระยะเวลาของการปั่นเนื้อโฟมเข้ากับคอนกรีตให้มีความละเอียดมากขึ้น

4. ควรกำหนดเครื่องมือในการปั่นเนื้อโฟมเข้ากับคอนกรีต

5. ควรเพิ่มความละเอียดของเถ้าชานอ้อยและกากปูนขาว

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

เอกสารอ้างอิง

[1] กุลวดี ตรีครุฑพันธุ์ (2543). การจัดทำระบบมาตรฐานคุณภาพ ISO 9000 ในงานรับเหมาก่อสร้าง กรณีศึกษาบริษัท สยาม ซินเท็ค คอนสตรัคชั่น จำกัด (มหาชน). บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, สาขาบริหารธุรกิจ

[2] สุชา กิตติวรารัตน์ และ ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์ (2555). *การจัดการเพื่อลดเศษวัสดุในงานสถาปัตยกรรม.* (สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมและการผังเมือง.

[3] กลุ่มส่งเสริมอุตสาหกรรมชีวภาพ สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (2561). การผลิตไฟฟ้าและไอน้ำของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล, สิงหาคม 2561, หน้า 1

[4] ดิศราภรณ์ ศรีนาค (2557). *คอนกรีตผสมเถ้าชานอ้อย,* https: / / sites. google. com/ a/ email. nu. ac. th/ bamboo-architecture/concrete

[5] nucifer. ม.ป.ป. (2557). *อิฐมวลเบา: ข้อดีข้อเสียของวิธีการผลิตอิฐมวลเบา แบบ AAC และ CLC*. (Online). http://www.nucifer.com /2014/ 12/05/อิฐมวลเบา_aac clcจึงเป็นทางเลือกที่ดีในการนำมาพัฒนาให้ดีขึ้น, 15 เมษายน 2563.

[6] ดศิสกุล อึ้งตระกูล (2557). การพัฒนาคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่าร์จากกากปูนขาวในอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

[7] วีระศักดิ์ ละอองจันทร์, อมเรศ บกสุวรรณ, หมิง จิ๋ง และ นิติ วิทยาวิโรจน์ (2553). *การพัฒนาบล็อกแก้วคอนกรีตมวลเบาโดยการผสมฝุ่นจากเตาเผาปูนขาว-ผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ.* ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี.

[8] วสวัตติ์ เอกพานิช (2555*). ปัญหากฎหมายการจัดการฝุ่นละอองจากการก่อสร้างอาคาร.* วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะนิติศาสตร์ สาขากฎหมายทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

[9] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2556). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ. มอก. 2601-2556*.

[10] *มาตรฐานการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต. มยผ. 1210-50.* กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย (2550).