

ผลกระทบของการใช้ถ่ลอยและถ่หนักต่อสมบัติของคอนกรีตปล้อกมวล
เบาแบบเต็มฟองอากาศ



วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

ตุลาคม 2564

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

ผลกระทบของการใช้เก้าอี้ลอยและเก้าอี้หนักต่อสมบัติของคอนกรีตปลั๊กมวลเบาแบบเต็ม
พองอากาศ



วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
ตุลาคม 2564
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

EFFECT OF USING FLY ASH AND BOTTOM ASH ON PROPERTIES OF CELLULAR
LIGHTWEIGHT CONCRETE BLOCKS



APICHART JAIDEE

A Thesis Submitted to University of Phayao
in Partial Fulfillment of Requirements
for the Master of Engineering in Civil Engineering
October 2021

Copyright 2021 by University of Phayao

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลกระทบของการใช้เถาลอยและเถาหนังก่อต่อสมบัติของคอนกรีตปลั๊กมวลเบาแบบเต็ม

ฟองอากาศ

ของ อภิชาติ ใจดี

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

ของมหาวิทยาลัยพะเยา

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รองศาสตราจารย์ ดร. ธนากร ภูเงินขำ)

ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ธีรพงศ์ ดำรงวิริยะนุภาพ)

กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(อภิชาติ บัวกล้า)

กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ธนกร ชมภูรัตน์)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ธีรพงศ์ ดำรงวิริยะนุภาพ)

- เรื่อง:** ผลกระทบของการใช้เถาลอยและเถาหนักต่อสมบัติของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็ม
พองอากาศ
- ผู้วิจัย:** อภิชาติ ใจดี, วิทยานิพนธ์: วศ.ม. (วิศวกรรมโยธา), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2564
- อาจารย์ที่ปรึกษา:** ณัฐพงศ์ คำรงวิริยะนุภาพ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อภิชาติ บั๊กกล้า ธนกร ชมภูรัตน์
- คำสำคัญ:**

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาส่วนผสมที่เหมาะสมและศึกษาสมบัติของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศ โดยใช้เถาลอยแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในอัตราส่วนร้อยละ 0 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก และใช้เถาหนักแทนที่ทรายบางส่วนในอัตราส่วนร้อยละ 0 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก จากผลการทดสอบพบว่า กำลังรับแรงอัดและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 2601-2556 (คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศ) และสามารถใช้เถาลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ได้สูงสุดถึงร้อยละ 30 และเถาหนักแทนที่ทรายได้สูงสุดถึงร้อยละ 30 ในการผลิตคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศ ชนิด C12 ที่ความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้ง 1,001-1,200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีกำลังรับแรงอัดและการดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน มอก. 2601-2556 และมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนค่อนข้างดี



Title: EFFECT OF USING FLY ASH AND BOTTOM ASH ON PROPERTIES OF CELLULAR LIGHTWEIGHT CONCRETE BLOCKS

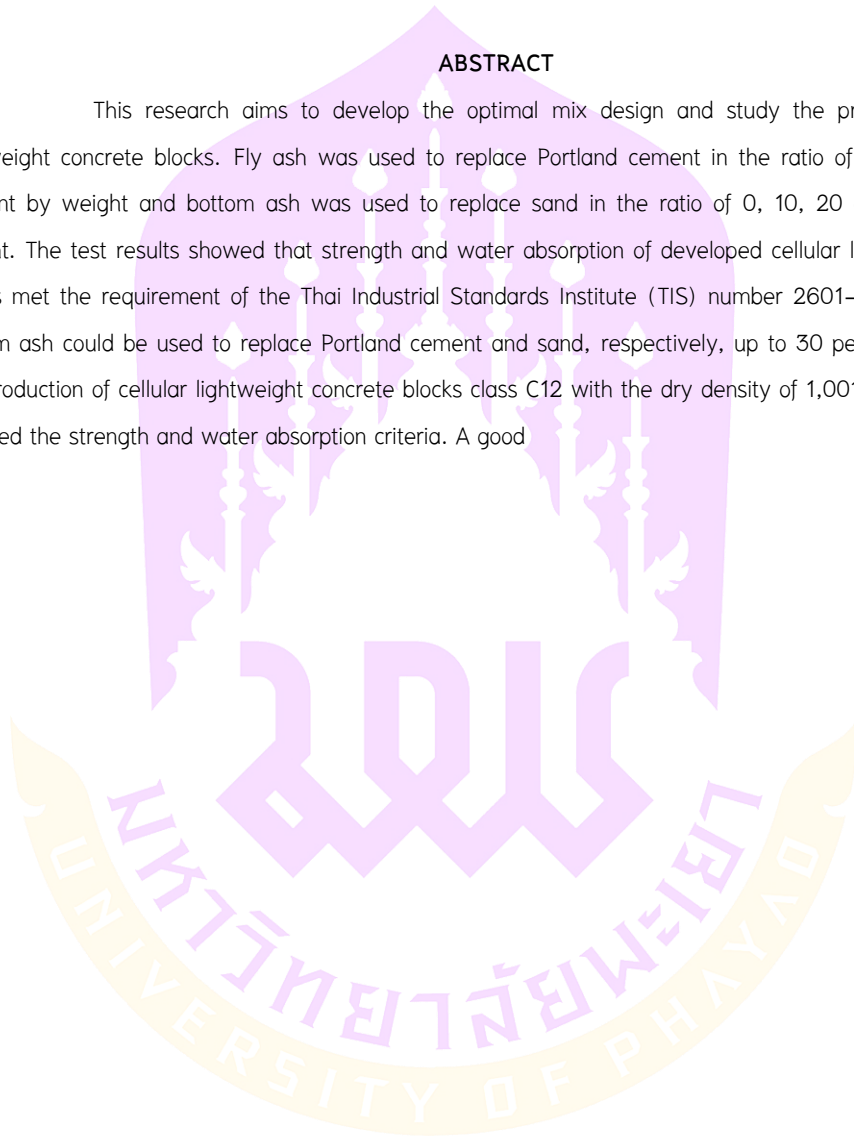
Author: Apichart Jaidee, Thesis: M.Eng. (Civil Engineering), University of Phayao, 2021

Advisor: Nattapong Damrongwiriyanupap Co–advisor Apichat Buakla Thanakorn Champoorat

Keywords:

ABSTRACT

This research aims to develop the optimal mix design and study the properties of cellular lightweight concrete blocks. Fly ash was used to replace Portland cement in the ratio of 0, 10, 20 and 30 percent by weight and bottom ash was used to replace sand in the ratio of 0, 10, 20 and 30 percent by weight. The test results showed that strength and water absorption of developed cellular lightweight concrete blocks met the requirement of the Thai Industrial Standards Institute (TIS) number 2601–2556. Fly ash and bottom ash could be used to replace Portland cement and sand, respectively, up to 30 percent by weight for the production of cellular lightweight concrete blocks class C12 with the dry density of 1,001–1,200 kg/m³ that satisfied the strength and water absorption criteria. A good



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความสามารถจาก รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ ดำรงวิริยะนุภาพ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำแนะนำในเรื่องของความรู้ ในด้าน การศึกษา แนะนำแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆ คอยสนับสนุนในทุกๆเรื่องและเป็นแรงผลักดัน ตลอดการดำเนินชีวิตในรั้วมหาวิทยาลัย จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนากร ภูเงินขำ อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลธัญบุรี ได้กรุณาได้รับเป็นประธานกรรมการในการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์ และได้ให้ ความรู้ แนะนำแนวทางต่างๆเพิ่มเติม เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เกิดความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชนกร ชมภูรัตน์, และ ดร.อภิชาติ บั๊กกล้า อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่ได้สังเกตเห็น ความสำคัญกรุณาได้รับเป็นกรรมการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้ ให้ความรู้แนะนำแนวทางต่างๆเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เกิดความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณความอนุเคราะห์เครื่องมือทดสอบ รวมไปถึงวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ จากห้องปฏิบัติการทดสอบ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวก ในระหว่างการทำนิพนธ์จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เกิดความสำเร็จ

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่เป็นกำลังสำคัญให้โอกาสในการศึกษา คอยให้ กำลังใจ คำแนะนำ เป็นที่ปรึกษาในเรื่องต่างๆ สนับสนุนส่งเสริมในทุกๆเรื่องตลอดการทำ วิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานวิทยานิพนธ์นี้ ที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ และช่วยเหลือในด้านต่างๆ รวมไปถึงความอนุเคราะห์วัสดุจาก โรงไฟฟ้าแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เกิดความสำเร็จ

อภิชาติ ใจดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
ขอบเขตการวิจัย	3
ประโยชน์ที่จะได้รับจากการศึกษาเชิงทฤษฎีและเชิงประยุกต์.....	3
สมมติฐานการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
คอนกรีตมวลเบา	5
คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาแบบเติมฟองอากาศหรือระบบเซลลูโลส (Cellular lightweight concrete, CLC)	10
คุณสมบัติคอนกรีตมวลเบาสำหรับงานก่อ (Lightweight Concrete for Masonry).....	15
คุณสมบัติของส่วนนผสมคอนกรีตมวลเบาแบบเติมฟองอากาศหรือระบบเซลลูโลส (Cellular lightweight concrete, CLC).....	23
งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของคอนกรีตมวลเบา	32
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	36

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบและการจัดเตรียมวัสดุ.....	36
อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	39
การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานวัสดุ.....	46
อัตราส่วนผสมคอนกรีตบดอัดมวลเบา	46
การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตบดอัดมวลเบา.....	48
ขั้นตอนการผลิตคอนกรีตมวลเบา	54
บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูล.....	59
คุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ.....	60
ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตบดอัดมวลเบาแบบเต็มฟองอากาศ	63
ผลการทดสอบการนำความร้อนของคอนกรีตบดอัดมวลเบาแบบเต็มฟองอากาศ.....	76
ผลการทดสอบการนำความร้อนของคอนกรีตบดอัดมวลเบาแบบเต็มฟองอากาศ.....	82
ผลการทดสอบการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตบดอัดมวลเบาแบบเต็มฟองอากาศ.....	82
วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของคอนกรีตบดอัดมวลเบาแบบเต็มฟองอากาศที่มีการแทนที่ ของถ่านออยและเถ้าหนัก	88
บทที่ 5 สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ.....	91
สรุปผล	91
อภิปรายผล.....	93
ข้อเสนอแนะ.....	95
บรรณานุกรม	96
ประวัติผู้วิจัย	98

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 การจำแนกคอนกรีตมวลเบาตามประเภทการใช้งาน	6
ตาราง 2 ประเภทและคุณสมบัติของมวลรวมเบา.....	7
ตาราง 3 ชั้นคุณภาพและชนิดของคอนกรีตมวลเบา	16
ตาราง 4 ชนิดของคอนกรีตบล็อกมวลเบา	17
ตาราง 5 คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาเปรียบเทียบกับอิฐดินเผาและคอนกรีตบล็อก	17
ตาราง 6 อัตราส่วนผสมคอนกรีตมวลเบา Density ที่ 1100 kg/m ³	46
ตาราง 7 ปริมาณส่วนผสมคอนกรีตมวลเบา Density ที่ 1100 kg/m ³ สำหรับ 1 m ³	47
ตาราง 8 ปริมาณส่วนผสมคอนกรีตมวลเบา Density ที่ 1100 kg/m ³ สำหรับ 1 มิกซ์.....	48
ตาราง 9 เกณฑ์มาตรฐานความต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกมวลเบา	49
ตาราง 10 เกณฑ์มาตรฐานอัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมวลเบา	51
ตาราง 11 เกณฑ์มาตรฐานความหนาแน่นเชิงปริมาตร.....	52
ตาราง 12 กำลังแรงอัดของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศที่ผสมเถ้าลอยและเถ้า หนักในอัตราส่วนต่าง ๆ	64
ตาราง 13 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศที่ผสมเถ้าลอยและเถ้า หนักในอัตราส่วนต่าง ๆ	70
ตาราง 14 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศที่มี การแทนที่ด้วยเถ้าลอยและเถ้าหนัก	76
ตาราง 15 ผลการทดสอบการหดตัวแบบแห้ง ที่อายุ 7 วันและ 28 วัน.....	82

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำยาสร้างฟองอากาศ	11
ภาพ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักหรือความหนาแน่นแห้ง	12
ภาพ 3 ลักษณะรูปร่างของอนุภาคเถ้าลอย	27
ภาพ 4 ลักษณะรูปร่างของอนุภาคเถ้าหนัก	29
ภาพ 5 โครงสร้างจุลภาคของซีเมนต์เพสต์ (Powers and Helmuth, 1953).....	31
ภาพ 6 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	36
ภาพ 7 เถ้าหนัก.....	37
ภาพ 8 เถ้าลอย.....	37
ภาพ 9 น้ำ.....	38
ภาพ 10 ทรายละเอียด.....	38
ภาพ 11 น้ำยาโฟม	39
ภาพ 12 ชุดเครื่องทำโฟมและอัดอากาศ.....	39
ภาพ 13 ชุดทดสอบความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียดและทดสอบการดูดซึมน้ำ.....	40
ภาพ 14 ตู้อบปรับอุณหภูมิ.....	40
ภาพ 15 เครื่องชั่งดิจิตอล	41
ภาพ 16 เครื่องผสมคอนกรีต.....	41
ภาพ 17 แบบหล่อตัวอย่างการทดสอบกำลังอัดทรงลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 เซนติเมตร และ แบบหล่อตัวอย่างการทดสอบนำความร้อนทรงกระบอกขนาด Ø10x20 เซนติเมตร	42
ภาพ 18 แบบหล่อตัวอย่างการทดสอบหดตัวขนาด 7.5x7.5x28.5 เซนติเมตร	42
ภาพ 19 พลาสติกแรป.....	43
ภาพ 20 เครื่องทดสอบกำลังอัดคอนกรีต	43

ภาพ 21 เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ แบบอนาล็อก	44
ภาพ 22 ชุดทดสอบค่าการนำความร้อน	44
ภาพ 23 เครื่องมือทดสอบหาค่าการยืดหดตัวของคอนกรีต	45
ภาพ 24 ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น (Drying Shrinkage Testing Chamber)	45
ภาพ 25 ขั้นตอนชั่งน้ำหนักวัสดุ	54
ภาพ 26 ขั้นตอนเทวัสดุต่าง ๆ ลงในเครื่องผสม	55
ภาพ 27 ขั้นตอนเติมน้ำสะอาดเข้าเครื่องผสม	55
ภาพ 28 ขั้นตอนคลุกเคล้าให้เข้ากันประมาณ 1-2 นาที	55
ภาพ 29 ขั้นตอน เทน้ำยาโฟมใส่เครื่องทำโฟม	56
ภาพ 30 ฉีดน้ำยาโฟมลงในเครื่องผสมคอนกรีต	56
ภาพ 31 การทดสอบกำลังรับแรงอัด	57
ภาพ 32 ภาพทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน	57
ภาพ 33 การทดสอบวัดการหดตัวแบบแห้ง	58
ภาพ 34 แสดงค่ากำลังอัดที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย 0%	65
ภาพ 35 แสดงค่ากำลังอัดที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย 10% และเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30% ..	66
ภาพ 36 แสดงค่ากำลังอัดที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย 20% และเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30% ..	67
ภาพ 37 แสดงค่ากำลังอัดที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย 30%	68
ภาพ 38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัด	69
ภาพ 39 อัตราการดูดซึมน้ำที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย 0%	71
ภาพ 40 อัตราการดูดซึมน้ำที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย 10%	72
ภาพ 41 อัตราการดูดซึมน้ำที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย 20%	73
ภาพ 42 อัตราการดูดซึมน้ำที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย 30%	74
ภาพ 43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมน้ำกับอัตราส่วนผสมที่มีการแทนที่	75

ภาพ 44 แสดงค่าการนำความร้อนที่แทนที่ด้วยเก้าอี้ลอย 0% และเก้าอี้หนัก 0%, 10%, 20%, 30% 77

ภาพ 45 แสดงค่าการนำความร้อนที่แทนที่ด้วยเก้าอี้ลอย 10% และเก้าอี้หนัก 0%, 10%, 20%, 30% 78

ภาพ 46 แสดงค่าการนำความร้อนที่แทนที่ด้วยเก้าอี้ลอย 20% 79

ภาพ 47 แสดงค่าการนำความร้อนที่แทนที่ด้วยเก้าอี้ลอย 30% และเก้าอี้หนัก 0%, 10%, 20%, 30% 80

ภาพ 48 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำความร้อนกับอัตราส่วนผสมที่มีการแทนที่ 81

ภาพ 49 การหาค่าตัวแปรที่แทนที่ด้วยเก้าอี้ลอย 0% 83

ภาพ 50 การหาค่าตัวแปรที่แทนที่ด้วยเก้าอี้ลอย 10% 84

ภาพ 51 การหาค่าตัวแปรที่แทนที่ด้วยเก้าอี้ลอย 20% 85

ภาพ 52 การหาค่าตัวแปรที่แทนที่ด้วยเก้าอี้ลอย 30% 86

ภาพ 53 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการหาค่าตัวแปรที่แทนที่ 87



บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เนื่องจากปัญหาสภาวะโลกร้อนและกระแสการอนุรักษ์พลังงานรวมถึงสภาะการแข่งขันทางด้านเศรษฐกิจปัจจุบันทำให้มีการนำวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์มาใช้ในอุตสาหกรรมคอนกรีตเพิ่มมากขึ้น เป็นที่ทราบกันดีว่าในการผลิตปูนซีเมนต์ในปัจจุบันก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณมาก โดยในการผลิตปูนซีเมนต์ 1 ตันสามารถปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 1 ตัน เช่นกัน (การพัฒนาได้จากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี) หากพิจารณาประโยชน์จากการใช้วัสดุทดแทนปูนซีเมนต์โดยเฉพาะกรณีวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมต่าง ๆ ย่อมส่งผลโดยตรงต่อการลดลงของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์ นอกจากนี้ยังสามารถลดต้นทุนในการผลิตและพัฒนาคุณสมบัติบางประการของคอนกรีตให้ดีขึ้น รวมทั้งสามารถแก้ปัญหาการกำจัดของเสียและช่วยประหยัดพลังงานโดยรวมของประเทศ อาทิเช่น พลังงานที่ใช้ในการระเบิดภูเขาหินปูน และพลังงานที่ใช้ในการย่อยหินเพื่อผลิตปูนซีเมนต์ เป็นต้น จึงเป็นที่มาของการศึกษาการนำเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และใช้เถ้าหนักแทนที่ทรายนอกจากนี้ยังสามารถยืดระยะเวลาในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดได้ยาวนานยิ่งขึ้น โดยในปัจจุบันได้มีการนำวัสดุที่เป็นผลพลอยได้ (By product) จากการผลิตกระแสไฟฟ้า เช่น เถ้าลอย (Fly ash) และเถ้าหนัก (Bottom ash) มาใช้เป็นส่วนผสมเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพคุณสมบัติให้แก่คอนกรีตมวลเบาได้

ประเทศไทยมีการใช้เถ้าลอยในงานคอนกรีตอย่างแพร่หลายและเป็นที่ยอมรับในวงการก่อสร้าง ซึ่งเถ้าลอยเป็นวัสดุที่ได้จากอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้าด้วยถ่านหินโดยแหล่งผลิตไฟฟ้าที่มีเถ้าลอยมากที่สุดในประเทศไทยได้แก่ โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง นอกจากเถ้าลอยแล้วยังมีเถ้าหนัก ซึ่งมีปริมาณการผลิตมากกว่าล้านตันต่อปีและเป็นวัสดุ

เหลือทิ้งจำนวนมากที่ยังไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างจริงจัง จึงต้องมีการฝังกลบและสร้างระบบการจัดเก็บภายในเขตพื้นที่ของโรงไฟฟ้า จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพ พบว่าเจ้าหน้าที่เป็นวัสดุที่มีความพรุน และมีคุณสมบัติที่สามารถนำมาใช้แทนที่ทรายบางส่วนได้ แต่การศึกษาเกี่ยวกับเจ้าหน้าที่เพื่อใช้ในงานคอนกรีตสำหรับการรับกำลังอัดยังมีอยู่น้อย หากนำเจ้าหน้าที่ไปผลิตเป็นวัสดุประสานและทำปฏิกิริยาเพิ่มเติมกับปูนซีเมนต์ อาจทำให้ได้วัสดุที่มีโครงสร้างที่แข็งแรง และสามารถนำมาใช้ในงานคอนกรีต ณ ปัจจุบันได้

คอนกรีตบล็อกมวลเบา (Cellular Lightweight Concrete) เป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้งานในปัจจุบัน มีน้ำหนักเบาและมีความหนาแน่นน้อยกว่าคอนกรีตที่นำมาใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป เป็นที่นิยมมากขึ้นในปัจจุบันมีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนได้มากกว่าวัสดุชนิดอื่น โดยทั่วไปแล้วส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกมวลเบา ประกอบไปด้วย ปูนซีเมนต์ วัสดุผสมชนิดต่าง ๆ ได้แก่ น้ำ ทรายละเอียด และส่วนที่สำคัญคือ สารก่อฟองอากาศที่ทำให้มีน้ำหนักเบา ซึ่งผลของความเบาจะช่วยลดขนาดของงานโครงสร้างได้ มีผลทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตและแรงงานได้ด้วย อีกทั้งยังมีคุณสมบัติ เป็นฉนวนกันความร้อนได้ดี คุณสมบัติด้านการป้องกันความร้อนของคอนกรีตมวลเบาต่อการใช้งานในปัจจุบัน อยู่ในระดับที่ดี และยังสามารถพัฒนาต่อไปได้อีก

ด้วยเหตุนี้คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเจ้าหน้าที่และเจ้าหน้าที่มาใช้เป็นวัสดุในการผลิตคอนกรีตบล็อกมวลเบาสำหรับอาคาร เพื่อทดสอบการรับกำลังอัดเนื่องจากการใช้เจ้าหน้าที่แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และการใช้เจ้าหน้าที่แทนที่ทรายหรือมวลละเอียดร้อยละ 0, 10, 20, 30 ทำให้สามารถลดปริมาณปูนซีเมนต์ และทรายในส่วนผสม ส่งผลให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในงานก่อสร้าง และยังช่วยลดภาวะโลกร้อนได้อีกทางหนึ่งด้วย

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศที่ผสมเจ้าหน้าที่และเจ้าหน้าที่
2. เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการแทนที่เจ้าหน้าที่ในทรายและเจ้าหน้าที่ในปูนซีเมนต์คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ

ขอบเขตการวิจัย

1. ใช้เถาลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 และใช้เถากันแทนที่ทรายร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 ในคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มฟองอากาศ
2. ใช้คอนกรีตบล็อกมวลเบาที่มีความหนาแน่น 1100 kg/m^3
3. ทดสอบกำลังอัดคอนกรีตบล็อกมวลเบา ที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน
4. ทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมวลเบาที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน
5. ทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกมวลเบาอายุ 7 วัน และ 28 วัน

ประโยชน์ที่จะได้รับการศึกษาเชิงทฤษฎีและเชิงประยุกต์

1. ได้ส่วนผสมต้นแบบของคอนกรีตมวลเบาผสมเถากันหนัก และเถาลอยที่มีความแข็งแรง และรับกำลังอัดได้เป็นอย่างดี
2. คอนกรีตมวลเบาผสมเถากันหนัก และเถาลอยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงกับการผลิตคอนกรีตมวลเบา
3. สามารถลดปัญหาสิ่งแวดล้อม ในเรื่องวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า ถ่านหินของเถากันหนัก และเถาลอย มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และเพิ่มพูนมูลค่าเถากันหนัก และเถาลอย
4. ได้รู้ถึงคุณสมบัติการรับกำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาที่มีการแทนที่มวลละเอียดด้วยเถากันหนัก และแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถาลอย และสามารถนำไปพัฒนา และประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างให้เกิดประโยชน์สูงสุด

สมมติฐานการวิจัย

1. คอนกรีตมวลเบาที่ผสมเถากันหนัก และเถาลอยแล้ว สามารถรับน้ำหนักได้ตามมาตรฐาน มอก. 2601-2556
2. คอนกรีตมวลเบาที่ผสมเถากันหนัก และเถาลอยแล้ว สามารถรับน้ำหนักหรือรับกำลังอัดได้มากกว่า คอนกรีตที่ไม่มีการผสมเถากันหนัก และเถาลอย

บทที่ 2

ทฤษฎีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการใช้ถั่วลยแทนที่ปูนซีเมนต์และใช้ถั่วหนักแทนที่ทราย งานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้น จะกล่าวถึงความเป็นไปได้ในการนำถั่วลยแทนที่ปูนซีเมนต์ ร่วมกับการใช้ถั่วหนักแทนที่ทราย คุณสมบัติของถั่วลย คุณสมบัติของถั่วหนักและตัวแปรที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีตที่ผสมถั่วลยและถั่วหนัก

คอนกรีตมวลเบา

ปัจจุบันคอนกรีตมวลเบา เป็นวัสดุที่นิยมสำหรับการก่อสร้าง และรู้จักกันอย่างแพร่หลาย เป็นวัสดุทางเลือกใหม่ เนื่องจากมีคุณสมบัติที่โดดเด่นหลายประการ เช่น มีน้ำหนักที่เบา ทำให้โครงสร้างมีน้ำหนักลดลง เป็นฉนวนกันไฟ ต้านทานความร้อนได้ดีกว่าคอนกรีตทั่วไป ทั้งประหยัดเวลาในการก่อสร้างอีกด้วย จึงทำให้ได้รับการยอมรับและได้รับความนิยมในงานก่อสร้างอย่างมาก

คอนกรีตมวลเบา (Lightweight concrete) คือ คอนกรีตที่มีค่าหน่วยน้ำหนักหรือความหนาแน่นประมาณ 400 – 1,850 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีกำลังอัดประมาณ 10 ถึง 450 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (กฤษณ์ กิ่งไก่อ, 2552) คอนกรีตมวลเบาเมื่อเทียบกับคอนกรีตทั่วไปจะมีหน่วยน้ำหนักหรือความหนาแน่นน้อยกว่า ซึ่งคอนกรีตทั่วไปมีหน่วยน้ำหนักหรือความหนาแน่นประมาณ 2,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (สำเริง รักซ้อน, 2555) สามารถแบ่งคอนกรีตมวลเบาได้ตามชนิดของวัสดุที่ใช้เป็น 3 ชนิด ได้แก่ คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบา (Lightweight aggregate concrete) คอนกรีตที่ไม่มีมวลรวมละเอียด (Non – fines concrete) และคอนกรีตเติมฟองอากาศหรือโฟมคอนกรีต (Form or aerated concrete) อย่างไรก็ตามยังมีการจำแนกคอนกรีตมวลเบาตามประเภทการใช้งานออกเป็น 3 ประเภท คือ คอนกรีตมวลเบาสำหรับงานโครงสร้าง (Structural lightweight concrete) คอนกรีตมวลเบาสำหรับงานก่อ (Masonry concrete) และคอนกรีตมวลเบาสำหรับงานฉนวนกันความร้อน (Insulating concrete) ดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 การจำแนกคอนกรีตมวลเบาตามประเภทการใช้งาน

ประเภท	กำลังอัดทรง ลูกบาศก์ 28 วัน (กก./ตร.ซม.)	หน่วยน้ำหนักแห้ง (กก./ลบ.ม.)
คอนกรีตมวลเบาสำหรับงานโครงสร้าง (Structural lightweight concrete) ASTM C330	> 170	< 1,850 หรือ 1,440-1,800
คอนกรีตมวลเบาสำหรับงานก่อ (Masonry concrete) ASTM C331	34-170	800-1,440
คอนกรีตมวลเบาสำหรับงานฉนวนกันความร้อน (Insulating concrete) ASTM C332	7-34	240-800

ที่มา : ชัชวาล เศรษฐบุตร์, 2536

1. คอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบา (Lightweight aggregate concrete) เป็นคอนกรีตมวลเบาที่มีการผสมด้วยมวลรวมเบาขนาดเล็กและใหญ่ มวลรวมเบา มีหน่วยน้ำหนักระหว่าง 600 - 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อเทียบกับมวลรวมปกติที่มีหน่วยน้ำหนักประมาณ 1,100 - 1,700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งคุณสมบัติของมวลรวมแต่ละชนิดดังแสดงในตาราง 2 และคอนกรีตมวลรวมน้ำหนักเบาสามารถจำแนกออกเป็น 4 ชนิด ได้แก่ มวลรวมเบาที่ได้จากธรรมชาติ, มวลรวมเบาที่ได้จากขบวนการผลิต, มวลรวมเบาที่ได้จากสารอินทรีย์ และมวลรวมที่ได้จากของเสียจากการผลิต (ชัชวาล เศรษฐบุตร์, 2536)

ตาราง 2 ประเภทและคุณสมบัติของมวลรวมเบา

วัสดุ	หน่วย น้ำหนักมวล รวมเบา (กก./ลบ.ม.)	แหล่งกำเนิด	หน่วยน้ำหนัก คอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	กำลังอัดทรง ลูกบาศก์ (กก./ตร. ซม.)	การดูด ซึมน้ำ (%)
Expanded clay, Expanded slate	50-1,050	ทำจากวัสดุธรรมชาติ	1,100-1,850	180-450	5-25
Foamed slag	650-900	สังเคราะห์	1,100-1,850	180-450	5-25
Sintered PFA	600-1,000	สังเคราะห์	1,350-1,900	180-450	14-24
Vermiculite	65-200	ทำจากวัสดุธรรมชาติ	400-950	8-35	20-35
Perlite	65-200	ทำจากวัสดุธรรมชาติ	550-800	7-42	10-15
Pumice	-	ธรรมชาติ	800-130	50-60	สูงมาก
Crushed Stone	1,450-1,750	ธรรมชาติ	2,250-2,400	240-550	0.5-2.0

ที่มา : ชัชวาล เศรษฐบุตร์, 2536

1) มวลรวมเบาที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่หินแร่ธรรมชาติ เช่น Vermiculite, Perlite, Pumice, Volcanic, Cinders และ Scoria หลังภูเขาไฟระเบิด จะเกิดลาวาภูเขาไฟที่พองตัวตามธรรมชาติ ทำให้เกิดหินแร่ธรรมชาติขึ้น เนื่องจากมวลรวมชนิดนี้มีอยู่อย่างจำกัด จึงไม่ค่อยนิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรม และยังให้กำลังอัดที่ไม่สูงมากนัก อีกทั้งยังมีการดูดซึมน้ำมากอีกด้วย

2) มวลรวมเบาจากขบวนการผลิต เป็นมวลรวมเบาที่ใช้ในอุตสาหกรรมมากที่สุด เช่น การเผาดินบางประเภท ถ่านหินที่ได้จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ Expanded clay aggregate, Expanded shale aggregate และ Sintered fly ash (ชัชวาล เศรษฐบุตร์, 2536)

Expanded clay aggregate ได้มาจากการผลิตโดยนำดินซึ่งขุดจากแหล่งที่มีองค์ประกอบทางเคมีพิเศษ และนำไปผสมกับสารที่ทำให้เกิดพองเป็นเม็ดเล็ก ๆ มวลรวมนี้มักนำไปผสมเป็นฉนวนกันความร้อน และเหมาะสำหรับงานก่อสร้างที่มีความหนาแน่นประมาณ

1,300 – 1,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ลักษณะของมวลเบาชนิดนี้จะมีผิวเรียบและปิดภายในคล้ายรูฟุ้งไม่เชื่อมต่อกันใน ดังแสดงในภาพ 2

Expanded shale aggregate มวลรวมเบาชนิดนี้ได้มาจากการนำดินดาน (Shale) มาผสมกับถ่านบดละเอียด จากนั้นเคลือบผิวด้วย Limestone ขนาดที่เตรียมขึ้นอยู่กับความต้องการใช้งาน และไปเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ในเตาเผา ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะผิวเรียบ มีฟองอากาศภายใน หลังจากนั้นจะนำไปย่อยให้ได้ขนาดที่ต้องการ มวลรวมเบาชนิดนี้มีความแข็งแรงค่อนข้างสูง จึงเป็นที่นิยมใช้ผลิตคอนกรีตมวลเบา

Sintered fly ash มวลรวมเบาชนิดนี้เป็นกรนำ Pulverized fly ash (PFA) ที่ได้มาจากการเผาไหม้ถ่านหินสมบูรณ์ และ PFA ที่เหมาะสมควรได้ค่าของการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา หรือ Loss of ignition (LOI) น้อยกว่าร้อยละ 8 ซึ่งเป็นส่วนคาร์บอนที่ไม่ได้เผาไหม้เหลืออยู่ในรูปของถ่านหินที่หมดควัน จะถูกทำให้เป็นเม็ดก่อนเผา จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นทรงกลม ผิวมีความแข็งแรงอย่างมาก

3) มวลรวมเบาที่ได้จากสารอินทรีย์ เช่น ไม้ พลาสติกบางชนิด และเถาต่าง ๆ

4) มวลรวมเบาที่ได้จากของเสียจากการผลิต เช่น เถ้าหนัก (Furnace bottom ash) จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้ ถ่านหิน เป็นเชื้อเพลิง

โดยคุณสมบัติของคอนกรีตที่ผลิตจากมวลรวมเบา คือ มีหน่วยน้ำหนักหรือความหนาแน่นประมาณ 300 – 1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีกำลังอัดทรงลูกบาศก์ประมาณ 4 – 480 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ใช้ปริมาณซีเมนต์เท่ากับคอนกรีตปกติ หรือน้อยกว่าร้อยละ 70 มีความสามารถเทได้เท่ากับคอนกรีตปกติ แต่จะมีค่ายุบตัวน้อยกว่า เหมาะสำหรับนำไปทำเป็นฉนวนกันความร้อน เพราะมีการนำความร้อนและสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำ สามารถทนไฟได้ดี การคืบเหมือนกับคอนกรีตทั่วไป แต่มีการดูดซึมน้ำสูง ค่า Modulus of Elasticity ต่ำ กำลังและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตต่ำ และยังมี Tensile strain มากกว่าคอนกรีตปกติอีกด้วย

นอกจากนี้ยังมีข้อควรระวังในการใช้งาน คือ การเกิดการแยกตัว ถ้าส่วนผสมมีค่ายุบตัวมาก หรือจึ้เข้ยามากเกินไป โดยมวลรวมเบาจะลอยตัวสู่บริเวณผิว และการตกแต่งผิวทำได้ยาก เพราะมวลรวมเบามีการดูดซึมน้ำมาก ผู้ออกแบบส่วนผสมจึงควรนำปัจจัยนี้มาพิจารณาในการเลือกให้เหมาะสม ในการผสมที่ไม่ถูกวิธีหรือใช้เวลานานเกินไปอาจทำให้มวลรวมเบาแตกได้ และยังมี ความทนทานต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยา Carbonation สูงเป็น 2 เท่าของคอนกรีตปกติ ผู้ออกแบบในงานคอนกรีตเสริมเหล็กจึงต้องระมัดระวังเรื่องการกัดกร่อนเหล็กเสริม

2. คอนกรีตที่ไม่มีมวลรวมละเอียด (Non – fines concrete) เป็นคอนกรีตที่นำมวลรวมหยาบโดยที่ไม่มีส่วนผสมจากมวลรวมละเอียดมาใช้เป็นส่วนผสม ทำให้เกิดช่องว่างหรือโพรงอากาศระหว่างมวลรวมหยาบ ส่งผลให้คอนกรีตประเภทนี้มีกำลังอัดค่อนข้างต่ำ โดยประมาณ 10 – 140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หน่วยน้ำหนักจะขึ้นอยู่กับขนาดคละของมวลรวมที่นำมาใช้ หินที่มีขนาดเดียวจะส่งผลให้มีหน่วยน้ำหนักน้อยกว่าหินที่มีส่วนคละประมาณร้อยละ 10 โดยทั่วไปแล้วคอนกรีตที่ได้จะมีหน่วยน้ำหนักประมาณ 1,600 – 1,850 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แต่ถ้าใช้มวลรวมเบาแทนก็สามารถทำให้หน่วยน้ำหนักลดลงได้เหลือประมาณ 640 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนใหญ่วัสดุมวลรวมหยาบที่นำมาใช้จะเป็นกรวดไม่ ซีเมนต์ เชื้อเพลิงดินเผาฟองตัว และตะกรันเผา เป็นต้น

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการให้มวลรวมเกาะกัน โดยควรอยู่ระหว่าง 0.38 – 0.52 คอนกรีตประเภทนี้มีการนำความร้อนต่ำกว่าคอนกรีตทั่วไป แต่การที่มีการดูดซึมน้ำสูงจึงทำให้ไม่เหมาะสำหรับทำพื้น

3. คอนกรีตเติมฟองอากาศ (Form and aerated concrete) หรือโฟมคอนกรีต เป็นระบบการผลิตคอนกรีตให้มีน้ำหนักเบาด้วยการผสมฟองอากาศหรือโฟมลงในเนื้อคอนกรีต ทำให้เกิดรูพรุนขนาดเล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.1 – 1 มิลลิเมตร

1) ระบบการผลิตคอนกรีตมวลเบาชนิดโฟมคอนกรีต จำแนกได้ 2 ระบบ คือ คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส (Cellular lightweight concrete, CLC) และคอนกรีตมวลเบาแบบบ่มด้วยไอน้ำ (Autoclaved aerated concrete, AAC)

1.1) คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส (Cellular lightweight concrete, CLC)

เป็นการผลิตโดยใช้ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนขาว ททราย น้ำ และสารทำให้เกิดฟองอากาศแบบไม่ต่อเนื่อง (Foaming agent) ส่งผลให้มีน้ำหนักเบา กันเสียง และความร้อนได้ดีกว่าคอนกรีตปกติ เป็นวิธีที่ง่ายทำได้โดยทั่วไป มีขั้นตอนการผลิตที่ไม่ยุ่งยาก และก่อตัวแข็งได้โดยไม่ต้องบ่มไอน้ำ จึงทำให้มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าระบบบ่มด้วยไอน้ำ ส่วนใหญ่นิยมนำมาใช้เป็นวัสดุก่อ เช่น ผนังที่ไม่ต้องรับน้ำหนักมากนัก

1.2) คอนกรีตมวลเบาแบบบ่มด้วยไอน้ำ (Autoclaved aerated concrete, AAC)

เป็นการผลิตที่มีต้นทุนการผลิตสูง เนื่องจากต้องบ่มด้วยไอน้ำความดันสูง มีส่วนผสมสำคัญ คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนขาว ททราย น้ำ ผงยิปซัม และสารผสมเพิ่มในการทำปฏิกิริยากับ Ca(OH)_2 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดฟองก๊าซที่มีขนาดเล็กต่อเนื่องกัน มีการดูดซึมน้ำได้ดีเมื่ออบด้วยระบบอบไอน้ำ คอนกรีตประเภทนี้จะแตกต่างกับ

คอนกรีตมวลเบาระบบ CLC ในด้านความต่อเนื่องของฟองอากาศ ซึ่งคอนกรีตมวลเบาแบบ CLC มีฟองอากาศที่ไม่ต่อเนื่องกันจึงทำให้มีความสามารถในการดูดซึมน้ำต่ำกว่าคอนกรีตมวลเบาแบบ AAC โดยคอนกรีตมวลเบาแบบ AAC นี้สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุก่อที่ไม่ต้องรับกำลังมากนักได้เช่นเดียวกัน

คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาแบบเติมฟองอากาศหรือระบบเซลลูล่า (Cellular lightweight concrete, CLC)

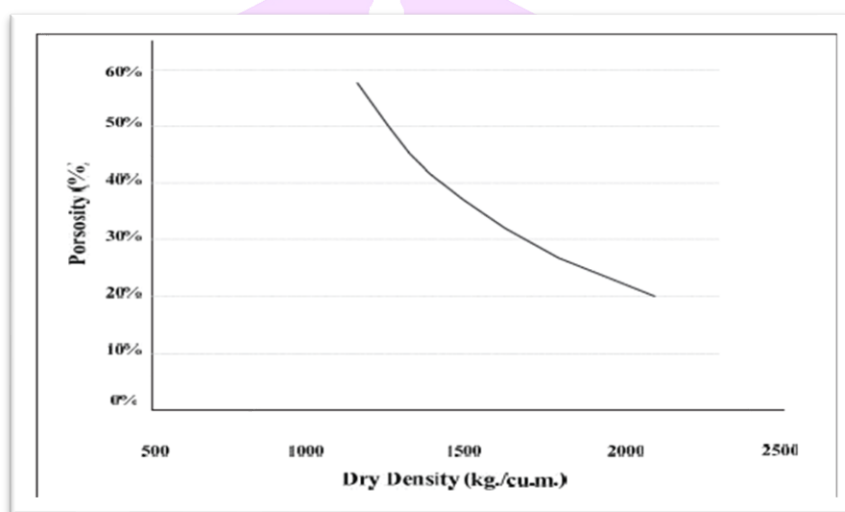
คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าหรือ CLC เป็นระบบการผลิตที่ไม่ซับซ้อน โดยการทำให้ฟองอากาศด้วยน้ำยาโฟมและน้ำในถังผลิต ผสมด้วยความดันสูงตามกำหนด จากนั้นฉีดโฟมที่ได้ผสมกับปูนซีเมนต์ เถ้าลอย และทราย ทำให้เกิดฟองอากาศแบบไม่ต่อเนื่องในเนื้อคอนกรีต ซึ่งทำให้มีคุณสมบัติเด่น ๆ ดังต่อไปนี้ (ปิติ สุคนธ์สุขกุล, 2555)

1. หน่วยน้ำหนักหรือความหนาแน่น

โดยทั่วไปคอนกรีตมวลเบาจะมีหน่วยน้ำหนักหรือความหนาแน่นประมาณ 600 – 1,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ปริมาณน้ำยา วัสดุผสมเพิ่ม ปริมาณและลักษณะของฟองอากาศ เป็นต้น โดยทั่วไปในอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูง ปริมาณน้ำที่มีจะมีปริมาณมากเกินกว่าที่จะทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ให้หมดไป ซึ่งจะมีน้ำส่วนหนึ่งที่เหลืออยู่ในเนื้อคอนกรีตหลังจากเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันแล้ว เมื่อน้ำเหล่านี้ระเหยออกไป จะทำให้เกิดรูพรุนในเนื้อคอนกรีต อย่างไรก็ตามในกรณีของคอนกรีตมวลเบาแบบ CLC ก็เกิดผลกระทบเช่นเดียวกัน โดยนอกเหนือจากฟองอากาศที่เกิดขึ้นในช่วงของกระบวนการผลิตที่ผู้ผลิตตั้งใจให้เกิดขึ้นแล้ว ในอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงก็จะทำให้มีปริมาตรฟองอากาศขนาดใหญ่เพิ่มเติมเข้าไป ซึ่งมาจากปริมาณน้ำที่เหลือจากปฏิกิริยาไฮเดรชันนั่นเอง นอกจากนี้ประสิทธิภาพการเกิดฟองอากาศของน้ำยาส่วนมากจะแปรผันกับปริมาณน้ำที่ผสมเข้าไป เช่นกัน โดยพบว่าในอัตราส่วนปริมาณน้ำยาที่เท่ากัน คอนกรีตมวลเบาที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูง จะมีปริมาตรฟองมากกว่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ

ดังนั้น การเลือกอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ความหนาแน่นที่ต้องการจึงเป็นสิ่งจำเป็นต่อการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบ CLC โดยทั่วไปแล้วอัตราส่วนปริมาณน้ำยาสร้างฟองอากาศที่นิยมใช้กัน คือ ตั้งแต่ร้อยละ 0.20 แต่ไม่เกินร้อยละ 0.60 โดยน้ำหนักซีเมนต์ (ควรอ้างอิงข้อกำหนดของผู้ผลิตแต่ละรายไป) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำยาสร้างฟองอากาศกับความหนาแน่นแห้งของคอนกรีตมวลเบาที่มีลักษณะที่ผกผันกัน

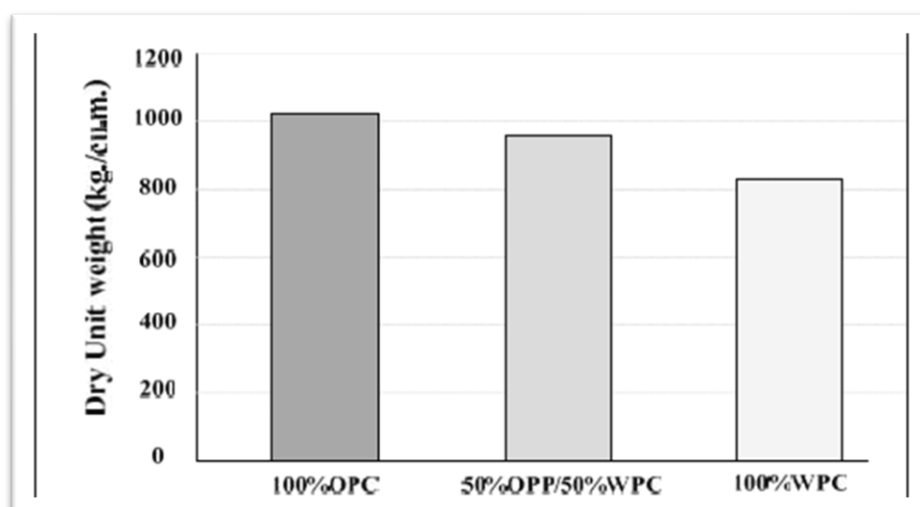
ดังภาพ 5 จะเห็นได้ว่าคอนกรีตมวลเบามีความหนาแน่นแห้งลดลงตามปริมาณน้ำยาที่เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามผลการวิจัยเพิ่มเติมพบว่า ในปริมาณน้ำยาที่มากกว่าร้อยละ 1 มีแนวโน้มที่จะส่งผลให้หน่วยน้ำหนักหรือความหนาแน่นเริ่มคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงหรือลดลงน้อยมาก และนอกจากนี้ในปริมาณฟองอากาศที่มากเกินไปนั้น จะทำให้เสี่ยงต่อการแยกตัวของมวลรวมละเอียดได้



ภาพ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำยาสังสร้างฟองอากาศ กับความหนาแน่นแห้งของคอนกรีตมวลเบา

ที่มา : ปิติ สุคนธ์สุขกุล, 2555

ชนิดของปูนซีเมนต์ก็ส่งผลต่อหน่วยน้ำหนักหรือความหนาแน่นแห้งของคอนกรีตมวลเบา ระบบ CLC เช่นกัน ดังแสดงในภาพ 6 ในความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักหรือความหนาแน่นแห้งกับประเภทของปูนซีเมนต์ที่ใช้ โดยเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตมวลเบาที่ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปกติกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ขาว (ปริมาณน้ำยาร้อยละ 0.6) จะเห็นว่า ความหนาแน่นแห้งลดลงเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ปกติด้วยปูนซีเมนต์ขาวเพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากปริมาณออกไซด์เหล็กที่ต่ำกว่าของปูนซีเมนต์ขาวเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปกติ



ภาพ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักหรือความหนาแน่นแห้ง
กับประเภทของปูนซีเมนต์ที่ใช้ของคอนกรีตมวลเบา

ที่มา : ปิติ สุคนธ์สุขกุล, 2555

2. กำลังต้านทานแรงอัด

มีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่ากำลังต้านทานแรงอัดนั้น ได้แก่ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ปริมาณและลักษณะของฟองอากาศ ความหนาแน่น วิธีทำฟองอากาศ ความชื้น และวิธีการบ่ม เป็นต้น โดยคอนกรีตมวลเบา ระบบ CLC ที่มีสัดส่วนปริมาณฟองอากาศขนาดใหญ่มาก จะมีความแข็งแรงน้อยกว่าสัดส่วนที่มีปริมาณฟองอากาศขนาดเล็ก ส่งผลให้กำลังต้านทานแรงอัดลดลง และความหนาแน่นแห้งจะแปรผกผันกับปริมาณฟองอากาศในเนื้อคอนกรีต เมื่อมีปริมาณฟองอากาศมากขึ้นจะทำให้ความหนาแน่นแห้งลดลง ส่งผลให้กำลังต้านทานแรงอัดและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นลดลงตามไปด้วย สำหรับคอนกรีตมวลเบา ระบบ CLC ในส่วนที่ไม่ได้รับน้ำหนักมากนัก จะมีค่ากำลังต้านทานแรงอัดสูงสุดประมาณ 10 – 140 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และสำหรับในส่วนโครงสร้าง จะมีค่ากำลังต้านทานแรงอัดประมาณ 100 – 400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทั้งนี้ค่ากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตเบา ระบบ CLC อาจทำให้สูงขึ้นได้ โดยการเลือกใช้วัสดุส่วนผสมมวลรวม

3. การดูดซึมน้ำ

การเคลื่อนที่ของน้ำในคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC สามารถเกิดขึ้นได้ 2 ทาง คือ การแพร่กระจาย และการดูดซับผ่านช่องว่างแคปิลารี โดยการแพร่กระจายจะเกิดขึ้นในสภาวะที่อากาศมีความชื้นสูงผ่านทางช่องว่างที่อยู่บนพื้นผิวด้านนอก การดูดซับจะเกิดขึ้นในกรณีคอนกรีตมีการสัมผัสกับน้ำ สำหรับค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความหนาแน่นที่ลดลง เนื่องจากคอนกรีตมวลเบาที่มีรูพรุนมาก จึงทำให้อัตราการดูดซึมน้ำมากกว่าคอนกรีตธรรมดาและเพิ่มขึ้นตามความหนาแน่นที่ลดลง แต่สามารถใส่สารปรุงแต่งเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติได้

4. การหดตัวแห้ง

การหดตัวแห้งของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC มีสาเหตุมาจากการสูญเสียน้ำในเนื้อคอนกรีต ส่วนใหญ่คอนกรีตมวลเบาระบบ CLC จะมีค่าการหดตัวแห้งที่สูงกว่าคอนกรีตธรรมดา เนื่องจากมีรูพรุนและความชื้นภายในคอนกรีตสูง นอกจากนี้ยังมีปัจจัยหลายประการที่ส่งผลกระทบต่อค่าการหดตัวแห้งของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC เช่น ในกรณีลัดส่วนปูนขาวต่อปูนซีเมนต์นั้น เมื่อคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC มีการผสมปูนขาวร่วมด้วยจะมีค่าการหดตัวแห้งที่ต่ำกว่าคอนกรีตมวลเบาที่ไม่ได้ผสมปูนขาว เป็นผลมาจากปูนขาวบางส่วนที่ไม่เกิดปฏิกิริยาทำหน้าที่เหมือนมวลรวมละเอียดที่ก่อให้เกิดการยึดรั้งภายใน ทำให้ลดการหดตัวได้ในระดับหนึ่ง และในกรณีของคอนกรีตมวลเบาระบบ CLC ที่มีฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมาก จะมีการหดตัวแห้งที่สูงกว่าคอนกรีตมวลเบาที่มีฟองอากาศขนาดใหญ่จำนวนมาก กรณีของลักษณะการบ่มก็มีผลต่อการหดตัวแห้งเช่นกัน โดยคอนกรีตมวลเบาที่บ่มด้วยอุณหภูมิและค ว า ม ต่ำ น ึ่ง จะมีการหดตัวแห้งที่ต่ำกว่าคอนกรีตมวลเบาที่บ่มอากาศในอุณหภูมิปกติ สาเหตุของการลดลงส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการพอร์มตัวของผลึกจำพวกโทเบอเมอไรท์ ซึ่งเกิดจากกระบวนการบ่มด้วยความร้อนและความดัน การบ่มดังกล่าวจะทำให้ซีเมนต์เจล แผลงสภาพไปเป็นผลึก ซึ่งการเพิ่มของผลึกดังกล่าวนอกจากจะทำให้ค่าหดตัวลดลงถึงร้อยละ 25 - 35 นอกจากนี้ยังทำให้ค่ากำลังอัดเพิ่มสูงขึ้นอีกด้วย และในคอนกรีตมวลเบาจะมีการหดตัวอยู่ที่ประมาณ 5 - 40% ซึ่งมากกว่าคอนกรีตธรรมดา จึงมีการนำเอาวัสดุจำพวกวัสดุปอซโซลาน ที่ได้จากการเผาตะกรัน มาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตคอนกรีตมวลเบาเพื่อลดการหดตัวของคอนกรีตมวลเบา

5. การนำมาใช้เป็นฉนวนกันความร้อน

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาแบบ CLC จะแปรผันโดยตรงกับปริมาณฟองอากาศภายในเนื้อคอนกรีต คอนกรีตมวลเบาที่มีความหนาแน่นต่ำจะมีปริมาตรของรูฟองที่สูงกว่าคอนกรีตที่มีความหนาแน่นสูง ทำให้สามารถส่งผ่านความร้อนได้ช้ากว่า เนื่องจากความร้อนเคลื่อนที่ได้ดีกว่าในวัสดุที่มีความหนาแน่นสูง จึงให้มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ค่อนข้างต่ำ ดังนั้นจึงเหมาะแก่การเป็นฉนวนกันความร้อน นอกจากนี้ความชื้นก็เป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเช่นกัน โดยพบว่าทุก ๆ 1% ของความชื้นที่เพิ่มทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำอุณหภูมิเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 42

6. การต้านทานซัลเฟต

คอนกรีตมวลเบาไม่นิยมนำมาใช้งานในสภาพที่มีสารจำพวกซัลเฟตเจือปนอยู่ เนื่องจากคอนกรีตมวลเบาไม่มีโพรงอากาศอยู่ภายในเนื้อคอนกรีตจำนวนมาก จึงไม่สามารถทนการกัดกร่อนจากสารเคมี ความเค้นทางกายภาพ และผลกระทบที่เกิดภายนอกได้ ดังนั้นในการนำไปใช้งานควรมีการฉาบผิวเพื่อป้องกันการสึกกร่อน

7. ค่าการยุบตัว

ในปริมาณความสามารถเท่าที่เท่ากัน คอนกรีตมวลเบาจะมีค่ายุบตัวน้อยกว่าคอนกรีตธรรมดา

8. การทนไฟ

คอนกรีตมวลเบาสามารถทนไฟได้นานถึง 4 ชั่วโมง มีความต้านทานเพลิงไหม้ได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดา

9. สัมประสิทธิ์การขยายตัว

คอนกรีตมวลเบาที่มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวน้อยกว่าคอนกรีตธรรมดา ซึ่งมีการขยายตัวประมาณ 7×10^{-6} ถึง 14×10^{-6} ต่อองศาเซลเซียสเมื่อเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตมวลเบาแบบ CLC กับคอนกรีตธรรมดา ในกรณีที่ทำเป็นอิฐมวลเบา

10. ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย

ต้นทุนในการผลิตของคอนกรีตมวลเบาแบบ CLC จะประหยัดกว่าคอนกรีตมวลเบาแบบ AAC มาก เนื่องจากไม่ต้องใช้พลังงาน และเครื่องจักรในขบวนการอบไอน้ำแก่คอนกรีต

ด้วยไอน้ำที่แรงดันสูงเพื่อให้คอนกรีตแข็งตัว แต่คอนกรีตมวลเบาในระบบ CLC ใช้วิธีให้คอนกรีตแข็งตัวตามธรรมชาติได้เอง ในส่วนผสมก็ไม่มีสารบดทรายให้สิ้นเปลืองพลังงาน อีกทั้งยังไม่ต้องใช้ผงอะลูมิเนียมเป็นวัตถุเติมในการผลิต

11. การนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งาน

การใช้งานคอนกรีตมวลเบาในระบบ CLC จะประหยัดต้นทุนได้ดีกว่าและสะดวกกว่าคอนกรีตมวลเบาในระบบ AAC เนื่องจากสามารถก่อฉาบได้โดยใช้ปูนก่อฉาบทั่วไป ไม่ต้องใช้ปูนฉาบชนิดพิเศษสำหรับบล็อกมวลเบาแบบมด้วยไอน้ำที่มีราคาสูงกว่าปูนก่อฉาบทั่วไปเท่านั้น และช่องว่างของโพรงอากาศในคอนกรีตมวลเบาในระบบ CLC มีรูปแบบที่ไม่ต่อเนื่อง จึงทำให้น้ำซึมผ่านได้ยากกว่าคอนกรีตมวลเบาในระบบ AAC เป็นเหตุให้ผนังคอนกรีตมวลเบาในระบบ CLC มีโอกาสเป็นเชื้อราได้ยากกว่า

คุณสมบัติคอนกรีตมวลเบาสำหรับงานก่อ (Lightweight Concrete for Masonry)

คอนกรีตมวลเบา คือ คอนกรีตที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไปที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ มวลผสมละเอียด มวลผสมหยาบ น้ำ และอาจมีสารผสมเพิ่มอื่น ๆ อีก โดยปกติคอนกรีตทั่วไปจะมีความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งประมาณ 2,300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในงานก่อสร้าง ถ้ากล่าวถึงคอนกรีตมวลเบาส่วนใหญ่จะหมายถึง อิฐมวลเบา ในปัจจุบันคอนกรีตมวลเบาสำหรับงานก่อที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ คอนกรีตมวลเบาแบบมีโพรงอากาศอบไอน้ำ โดยมีโพรงอากาศเล็ก ๆ แทรกกระจายในเนื้อคอนกรีตอย่างสม่ำเสมอ ทำให้แข็งแรงการอบไอน้ำ และไม่เสริมเหล็ก เหมาะสำหรับใช้ก่อผนังด้วยวิธีก่อบาง ส่วนผสมที่สำคัญ ได้แก่

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

2. ปูนขาว ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมปูนไฮดรอกไซด์ เล่ม 2 ปูนขาว มอก. 319-2541

3. มวลผสมต้องเป็นวัสดุซิลิกา (silica) หรือทรายควอตซ์ (quartz) หรือตะกั่วจากเตาถลุงแบบพ่นลม

4. สารก่อฟองและสารผสมเพิ่ม (ถ้ามี) ต้องเป็นวัสดุทำให้เกิดโพรงอากาศมีเสถียรภาพและคงเวลาแข็งตัวโดยต้องไม่ก่อให้เกิดผลเสียใด ๆ ต่อคุณภาพของคอนกรีตมวลเบา

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีโพรงอากาศ อบไอน้ำ มอก. 1505 - 2541 ได้กำหนดชั้นคุณภาพและชนิดของคอนกรีตมวลเบาตามตารางที่ 3



ตาราง 3 **ชั้นคุณภาพและชนิดของคอนกรีตมวลเบา**

ชั้นคุณภาพ	ความต้านแรงอัด (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)		ชนิด	ความหนาแน่นเชิงปริมาตรเฉลี่ย (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร)
	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด		
2	2.5	2.0	0.4	0.31 ถึง 0.40
			0.5	0.41 ถึง 0.50
4	5.0	4.0	0.6	0.51 ถึง 0.60
			0.7	0.61 ถึง 0.70
			0.8	0.71 ถึง 0.80
6	7.5	6.0	0.7	0.61 ถึง 0.70
			0.8	0.71 ถึง 0.80
8	10.0	8.0	0.8	0.71 ถึง 0.80
			0.9	0.81 ถึง 0.90
			1.0	0.91 ถึง 1.00

ที่มา : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบา มอก. 1505-2541

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ มอก. 2601 – 2556 ได้กำหนดชนิดของคอนกรีตมวลเบาตามตารางที่ 4

ตาราง 4 **ชนิดของคอนกรีตบล็อกมวลเบา**

ชนิด	ความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้ง เฉลี่ย (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	ความต้านแรงอัด ไม่น้อยกว่า (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)	อัตราการดูดซึมน้ำ ไม่มากกว่า (ร้อยละ; เศษส่วนโดยมวล)
C6	501 ถึง 600	2.0	25
C7	601 ถึง 700		
C8	701 ถึง 800		
C9	801 ถึง 900	2.5	23
C10	901 ถึง 1,000		
C12	1,001 ถึง 1,200		
C14	1,201 ถึง 1,400	5.0	20
C16	1,401 ถึง 1,600		

ที่มา : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ มอก. 2601 – 2556

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบากับวัสดุก่อผนังทั่วไป ได้แก่ อิฐดินเผา และคอนกรีตบล็อกจะมีค่าโดยประมาณตามตารางที่ 5

ตาราง 5 คุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาเปรียบเทียบกับอิฐดินเผาและคอนกรีตบล็อก

คุณสมบัติ	คอนกรีตมวลเบา	อิฐดินเผา	คอนกรีตบล็อก
ความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้ง (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	300-1,600	1,300-1,700	1,500-1,800
ความต้านแรงอัด (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)	2-10	9-21	3-21
อัตราการดูดซึมน้ำ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	200-400	200-300	160-280
อัตราการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ; เศษส่วนโดยมวล)	20-80	11-23	8-18
อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาว (ร้อยละ)	0.10-0.25	0.05-0.15	0.03-0.06

ในการเลือกใช้คอนกรีตมวลเบาสำหรับงานก่อผนังเราสามารถพิจารณาคุณสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตมวลเบาได้ดังต่อไปนี้

ความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้ง (dry bulk density) คือ อัตราส่วนระหว่างมวลของชิ้นทดสอบหลังอบในตู้อบต่อปริมาตรของชิ้นทดสอบ ในการเลือกใช้คอนกรีตมวลเบาสำหรับก่อผนังแล้ว ส่วนใหญ่จะเลือกผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งต่ำจะทำให้น้ำหนักของโครงสร้างเบาลง แต่เมื่อคอนกรีตมวลเบาที่มีความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งต่ำลง ค่าความต้านแรงอัดก็จะต่ำลงด้วย

ความต้านแรงอัด (compressive strength) คือ ความสามารถในการรับแรงกดต่อพื้นที่ในการรับแรงกดของชิ้นทดสอบ การทดสอบทำโดยการวัดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบแล้วกดให้ชิ้นทดสอบแตก ในการเลือกใช้คอนกรีตมวลเบาสำหรับก่อผนัง ยิ่งคอนกรีตมวลเบาที่มีค่าความต้านแรงอัดสูงก็จะทำให้น้ำหนักของอาคารมีความแข็งแรงขึ้น แต่โดยปกติเมื่อคอนกรีตมวลเบาที่มีค่าความต้านแรงอัดสูง น้ำหนักของผนังก็จะสูงตามไปด้วย ดังนั้นการเลือกใช้งานควรเลือกให้เหมาะกับชนิด และตำแหน่งของผนัง เช่น ถ้าผนังภายนอกควรเลือกใช้คอนกรีตมวลเบาที่มีความต้านแรงอัดสูง ส่วนผนังกันห้องภายในอาจเลือกคอนกรีตมวลเบาที่มีค่าความต้านแรงอัดต่ำลงก็ได้

อัตราการดูดซึมน้ำ (water absorption) คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำสูงสุดที่คอนกรีตมวลเบาสามารถดูดซับได้น้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาในสภาพแห้ง การเลือกใช้งานคอนกรีตมวลเบาสำหรับก่อผนังควรเลือกคอนกรีตมวลเบาที่มีอัตราการดูดซึมน้ำต่ำ

เพราะหากคอนกรีตมวลเบาใช้อัตราการดูดซึมน้ำสูง เมื่อคอนกรีตมวลเบาได้รับความชื้นจากภายนอก คอนกรีตมวลเบาจะดูดซับความชื้นไว้ได้มาก ทำให้ความแข็งแรงของผนังลดต่ำลง การยืดหดตัวก็เปลี่ยนแปลงได้มากขึ้น และการเลือกใช้คอนกรีตมวลเบาสำหรับก่อสร้างผนังจำเป็นต้องฉาบผนังด้วยปูนฉาบให้เรียบเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของผนัง และลดสภาวะอากาศจากภายนอกที่มีผลต่อคอนกรีตมวลเบา ซึ่งต่างจากอิฐดินเผา และคอนกรีตบล็อกที่สามารถก่อเปลือยผิวได้

อัตราการเปลี่ยนแปลงความยาว (length change rate) คือ อัตราส่วนของความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปในสภาพแห้งและสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำต่อความยาวในสภาพแห้ง คอนกรีตมวลเบาที่มีคุณภาพดี จะมีค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความยาวต่ำเนื่องจากเมื่อคอนกรีตมวลเบาได้รับความชื้นจากภายนอกที่เปลี่ยนแปลงไปจะมีการยืดหด

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคอนกรีตมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ (Cellular Lightweight Concrete), CLC

จากงานวิจัยของ ธนกร ทวีวุฒ และคณะ ได้ศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์หาปริมาณฟองอากาศในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลล์ลูล่า จากวิธีการใช้โปรแกรม Air Void Analyser วิธีการคำนวณจากปริมาณส่วนผสม และการหาค่าความพรุนโดยคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะของคอนกรีตจาก ASTM C128 โดยใช้หน่วยน้ำหนักตั้งแต่ 800 – 1800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อัตราส่วนน้ำปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.45 และ 0.55 และอัตราส่วนทรายต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.25:1, 0.5:1, 1:1, 2:1 และ 3:1 จากผลการศึกษาพบว่า ในทางปฏิบัติอาจเลือกใช้วิธีการหาปริมาณฟองอากาศและความถ่วงจำเพาะของคอนกรีตโดยอาศัยวิธีตาม ASTM C128 และค่าปริมาตรรวมของปูนซีเมนต์กับทราย อาจสามารถใช้เป็นแนวทางในการศึกษาคุณสมบัติอื่นของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลล์ลูล่า

เนรมิตร เหลลาภา และวัจน์วงศ์ กรีพละ ได้ทำการศึกษาการพัฒนาคอนกรีตมวลเบา ระบบเซลล์ลูล่าผสมหินฝุ่นและหินปูน จากผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการแทนที่ปริมาณปูนซีเมนต์โดยใช้หินฝุ่น และหินปูนมาเป็นส่วนเพื่อให้ยังคงคุณสมบัติตามมาตรฐาน มอก. 2601-2556 พบว่า ที่การแทนที่ด้วยหินฝุ่นร้อยละ 30 และการแทนที่ด้วยหินปุรร้อยละ 20 และนำทั้งสองมาแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 40 โดยเป็นหินฝุ่นร้อยละ 30 และหินปุรร้อยละ 10 จะช่วยพัฒนาต้านกำลัง คุณภาพของคอนกรีตมวลเบาได้

จากการศึกษาการพัฒนาคอนกรีตมวลเบาผสมผงฝุ่นหินจากโรงโม่หิน โดย อภิวิชญ์ พูลสง [27] ได้มีการนำเอาผงฝุ่นหินมาที่ได้อาจจากโรงโม่มาแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20

และ 30 ใช้อัตราส่วน W/C เท่ากับ 0.4, 0.5 และ 0.6 ในอัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์เท่า 1 : 1 จากผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดและอัตราการดูดซึมน้ำพบว่าที่การแทนที่ของหินฝุ่นมากจะได้อัตราการดูดซึมน้ำที่ลดลง ส่วนอัตราการดูดซึมน้ำพบว่าที่ค่าความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น จะทำให้อัตราการดูดซึมน้ำมีค่าลดลง โดยอัตราการดูดซึมน้ำที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วงร้อยละ 4 – 18

ศักดิ์ดา ไตรปิฎก การศึกษาเกี่ยวการนำเปลือกไข่มาใช้เป็นส่วนผสมในการพัฒนาคอนกรีตมวลเบา ได้มีการนำเปลือกไข่มาใช้ในการทดสอบ 4 ชนิด คือ A, B, C และ D โดยแต่ละชนิดจะถูกทำให้มีลักษณะองค์ประกอบทางเคมีที่ต่างกัน จากการทดสอบการแทนที่ที่ทรายด้วยเปลือกไข่ พบว่าที่ชนิด A, B และ C มีปริมาณแคลเซียมที่ใกล้เคียงกัน ใช้อัตราส่วน W/C เท่ากับ 0.45 ส่วนชนิด D จะมีปริมาณแคลเซียมที่สูงจะใช้อัตราส่วน W/C เท่ากับ 0.7 จากผลการทดสอบความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดพบว่าการผสมเปลือกไข่ช่วยทำให้ความหนาแน่นของคอนกรีตลดลง และมีกำลังรับแรงอัดที่สูงขึ้น โดยชนิด A และ B เหมาะสำหรับงานภายนอกอาคาร ชนิด C เหมาะสำหรับงานโครงสร้างคอนกรีต ส่วนชนิด D เหมาะสำหรับงานอาคารภายใน

บุรฉัตร ฉัตรวีระ และคณะ ได้ศึกษาสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาผสมหินฝุ่นแอนดิไซต์ ในการทดสอบจะใช้หินฝุ่นแอนดิไซต์เป็นมวลรวมละเอียดในการผลิตคอนกรีตมวลเบาตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย หินฝุ่นแอนดิไซต์ที่มีค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus, FM) เท่ากับ 2.0, 2.5 และ 3.0 อัตราส่วนการแทนที่ของหินฝุ่นแอนดิไซต์ในทรายแม่น้ำโดยน้ำหนักที่ร้อยละ 0, 25, 50, 75 และ 100 และใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์และเถ้าลอย) เท่ากับ 0.52 สมบัติเชิงกายภาพที่ทำการศึกษาประกอบคือ หน่วงน้ำหนัก ค่าการยุบตัวแบบไหลตัวได้ ปริมาณอากาศ ระยะเวลาการก่อตัว สมบัติเชิงกลคือ กำลังอัดและกำลังดึงแบบผ่าซีก และโมดูลัสยืดหยุ่น จากผลทดสอบพบว่า หินฝุ่นแอนดิไซต์ มีซิลิโคนไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นองค์ประกอบหลัก อนุภาคมีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุมผิวเรียบและขรุขระ สำหรับคอนกรีตมวลเบาผสมหินฝุ่นแอนดิไซต์พบว่า ค่าหน่วงน้ำหนักลดลงเมื่อโมดูลัสความละเอียดเพิ่มขึ้นจาก 2.0 ไปเป็น 2.5 แต่กลับเพิ่มขึ้นเมื่อโมดูลัสความละเอียดเพิ่มขึ้นไปที่เท่ากับ 3.0 ดังนั้นการแทนที่หินฝุ่นแอนดิไซต์ที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการลดลงของหน่วงน้ำหนัก ปริมาณอากาศของคอนกรีตมวลเบาเพิ่มขึ้นเมื่อค่าโมดูลัสความละเอียดมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 2.0 ไปเป็น 2.5 แต่กลับมีค่าลดลงเมื่อค่าโมดูลัสความละเอียดเพิ่มขึ้นจาก 2.5 ไปเป็น 3.0 ส่วนระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตจะมีค่าลดลงเมื่อโมดูลัสความละเอียดเพิ่มขึ้น

รุ่งโรจน์ ปิยะภาณุวัฒน์ และเอกรัตน์ รวยรวย ศึกษาการใช้ปูนขาวผสมเถ้าลอยถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตมวลเบาจากฝุ่นอะลูมิเนียมและผงอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ จากผลการศึกษาพบว่า ปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยปูนขาวผสมเถ้าลอยเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความหนาแน่นและกำลังอัดมีค่าลดลง โดยคอนกรีตมวลเบาที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยปูนขาวผสมเถ้าลอยในปริมาณร้อยละ 75 ที่มีการเติมอะลูมิเนียมบริสุทธิ์มีค่ากำลังอัด และความหนาแน่น เท่ากับ 51.20 กก./ตร.ซม. และ 785 กก./ลบ.ม. และเมื่อมีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยปูนดิบ พบว่าค่ากำลังอัด และความหนาแน่นมีค่าลดลง โดยมีค่าเท่ากับ 37.40 กก./ตร.ซม. และ 733 กก./ลบ.ม. และมีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.21 วัตต์/เมตร.เคลวิน ส่วนคอนกรีตมวลเบาที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยปูนขาวผสมเถ้าลอยในปริมาณร้อยละ 75 ที่มีการเติมฝุ่นผงอะลูมิเนียม มีค่ากำลังอัด และความหนาแน่น เท่ากับ 76.45 กก./ตร.ซม. และ 985 กก./ลบ.ม. เมื่อมีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยปูนดิบ พบว่าค่ากำลังอัด และความหนาแน่นลดลง มีค่าเท่ากับ 42.7 กก./ตร.ซม. และ 788 กก./ลบ.ม. และมีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.24 วัตต์/เมตร.เคลวิน

คอนกรีตมวลเบาที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยปูนขาวผสมเถ้าลอย และปูนดิบในปริมาณร้อยละ 75 และ 10 ตามลำดับ ที่มีการเติมฝุ่นผงอะลูมิเนียมแทนอะลูมิเนียมบริสุทธิ์มีค่ากำลังอัดและค่าความหนาแน่นที่อายุ 28 วัน ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1505 - 2541 ซึ่งส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ - อบไอน้ำชั้นคุณภาพ 4

การศึกษาคูณสมบัติของซีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์มวลเบาระบบเซลล์ลูสำหรับงานโครงสร้างพัชรพล โพรซีศรี ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรต่าง ๆ อัตราส่วนของเหลวต่อเถ้าลอย, สารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์, ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์, อัตราส่วนทรายต่อเถ้าลอย, ปริมาณร้อยละของโฟมโดยมวล จากผลการทดสอบพบว่าวัสดุซีโอโพลีเมอร์ที่เหมาะสมสำหรับงานโครงสร้างมีค่าอัตราส่วนของเหลวต่อเถ้าลอยเท่ากับ 0.7 อัตราส่วนของสารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1.00 ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 15 m อัตราส่วนของทรายเท่ากับ 2.75 ระยะเวลาก่อนบ่มตัวอย่างด้วยความร้อน 1 ชั่วโมง บ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส 1 วันตามด้วยการบ่มที่ 60 องศาเซลเซียส 2 วัน ปริมาณร้อยละของโฟมโดยมวลเท่ากับ 3% มีกำลังรับแรงอัดเท่ากับ 185 กก./ตร.ซม. และความหนาแน่นเท่ากับ 1760 กก./ลบ.ม.

ศึกษาคูณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลล์ลูผสมสารซูเปอร์ลาสติไซเซอร์ โดย กฤษณ์ กิ่งโก้ และปริญญา จินดาประเสริฐ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้สารซูเปอร์ลาสติไซเซอร์

หรือสารผสมเพิ่ม ชนิด FF โดยสารนี้จะมีคุณสมบัติการลดน้ำในอัตราสูงมากถึง 35% ช่วยเร่งการพัฒนากำลังอัดในช่วงต้นระยะ 16 - 18 ชั่วโมง ช่วยในการเพิ่มกำลังรับแรงอัดและเร่งเวลาการถอดแบบทดสอบที่ช่วงความหนาแน่น 950 - 1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยทดสอบคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงอัด กำลังต้านทานแรงดึงแยก กำลังต้านทานแรงดัดปริมาณการดูดซึมน้ำ และการหดตัวแห้งของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส ในการผสมสารซูเปอร์ลาสติไซเซอร์ในคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสทำให้ส่วนผสมมีความสามารถทำงานได้ดีและส่งผลให้คุณสมบัติต่าง ๆ ดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสารซูเปอร์ลาสติไซเซอร์ช่วยกระจายอนุภาคของปูนซีเมนต์และส่วนผสมมีความสามารถทำงานได้ดีขึ้น เป็นผลให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดได้ดีขึ้น ทำให้คุณสมบัติโดยรวมของคอนกรีตรวมทั้งกำลังรับแรงอัดดีขึ้นด้วย

ประชุม คำพุด และกิตติพงษ์ สุวิโร ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับคอนกรีตมวลเบาผสมเถ้าแกลบเสริมแผ่นยางธรรมชาติ โดยจะทำการศึกษาคสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบที่ไม่เสริมแผ่นยางพาราและเสริมแผ่นยางพารา ซึ่งมีการแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนที่ 1 จะเป็นการทดสอบคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบ ซึ่งจะทำการหาอัตราส่วนเถ้าแกลบต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม ซึ่งจะได้อัตราส่วนที่เหมาะสมเท่ากับ H/C เท่ากับ 1.83 จาก $H/C = 0.63, 1.23, 1.83, 2.43$ และ 3.03 จากอัตราส่วนทั้งหมด หลังจากนั้นขั้นตอนที่ 2 ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ระหว่างคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบปกติ และคอนกรีตบล็อกมวลเบาผสมเถ้าแกลบเสริมแผ่นยาง โดยทำการทดสอบที่ใกล้เคียงกันกับ คอนกรีตบล็อกมวลเบาที่มีผสมเถ้าแกลบที่ไม่เสริมแผ่นยาง

วีรศักดิ์ ละอองจันทร์ และคณะ ศึกษาการพัฒนาบล็อกแก้วคอนกรีตมวลเบาโดยการผสมฝุ่นจากเตาเผาปูนขาว ผลพลอยได้จากกากอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ โดยศึกษาการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยกากปูนขาวในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยใช้ W/C เท่ากับ 0.5 และ 0.6 แล้วใช้ผงอะลูมิเนียมร้อยละ 1 จากผลการทดสอบทางกายภาพพบว่า การเพิ่มขึ้นของกากปูนขาวจะทำให้มีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น อัตราการดูดซึมน้ำจะลดลง และพบว่าการแทนที่กากปูนขาวร้อยละ 10 จะได้ค่ากำลังรับแรงอัด และกำลังรับแรงดัดที่สูงที่สุดในส่วนของการนำบล็อกแก้วมาแทนที่ในคอนกรีตมวลเบาที่การเสริมบล็อกแก้วในอัตราส่วนร้อยละ 75 เป็นการเสริมที่เหมาะสมที่สุด

กรณีศึกษาปัญหา และแนวทางแก้ไขของผนังมวลเบา ของ กิตติภูมิ รอดสิน [35] เป็นการแนะนำวิธีการแก้ไขปัญหาเรื่องการแตกร้าวของผนังอิฐมวลเบา ปัจจุบันการก่อสร้างผนังอาคารด้วยอิฐมวลเบาเป็นที่นิยมมาก ด้วยคุณสมบัติที่แตกต่างจากอิฐทั่วไป แต่ก็พบปัญหาในเรื่องของการแตกร้าวได้ง่ายหลังจากการก่อและฉาบเสร็จ สาเหตุที่ทำให้ผนังอิฐมวลเบาเกิดการแตกร้าว เกิดจากเทคนิคการก่อสร้างและคุณภาพของวัสดุที่เลือกในการก่อสร้าง การก่อสร้างผนังอิฐมวลเบาจะต้องมีการเสริมเหล็กหนวดกึ่งอย่างน้อยทุก ๆ 2 ชั้น เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับผนัง ในขั้นตอนการก่อฉาบจำเป็นต้องฉาบให้บางกว่าการฉาบผนังทั่วไป จึงจำเป็นต้องการปูนฉาบที่อุ้มน้ำและยึดเกาะได้ดีเป็นพิเศษ

Siong Kang Lim และคณะ ได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้ของเสียจากเหมืองหินที่มีปริมาณสูงในการผลิตคอนกรีตโพรที่มีน้ำหนักเบา โดยการนำฝุ่นหินที่ได้จากการเจียรระไนหินที่มีปริมาณมากส่งต่อสภาพแวดล้อมทั้งในและนอกสถานที่ มาใช้ประโยชน์ในการแทนที่ทรายในอัตราส่วนร้อยละ 75 และ 100 โดยใช้อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ที่ 0.52, 0.54, 0.56 และ 0.58 ที่ความหนาแน่น $1,300 \pm 50$ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และใช้อัตราส่วนของปูนซีเมนต์/ฟิลเลอร์ คงที่เท่ากับ 1 : 1 จากผลการทดสอบพบว่า การแทนที่ทรายด้วยหินฝุ่นส่งผลให้มีความรับแรงอัดที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่มีส่วนผสมของทราย 100% มีโครงสร้างจุลภาคที่หนาแน่นขึ้น และยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยการใช้วัสดุเหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์

Michael Yong Jing Liu และคณะ ได้ทำการประเมินค่าการนำความร้อนสมบัติทางกล และการขนส่งของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตโพรที่มีน้ำหนักเบา เป็นการแลเห็นประสิทธิภาพในการซ้พลังงานเป็นสิ่งสำคัญมีการใช้อาคารคอนกรีตสีเขียวที่ปราศจากการใช้ปูนซีเมนต์ และยังเป็นฉนวนกันความร้อน ซึ่งจะนำค่าความเป็นกรด - ด่างพอลิเมอร์ผสมกับวัสดุเหลือใช้ ใถ้า
ล อ ย
ที่ได้จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า แก๊สพาล์มน้ำมันที่ได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้า รวมไปถึงเปลือกพาล์มน้ำมันที่นำมาใช้เป็นวัสดุมวลรวมหยาบน้ำหนักเบา ที่ความหนาแน่น 1300, 1500 และ 1700 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร เมื่อทำการทดสอบเทียบกับคอนกรีตบล็อกทั่วไปแล้วพบว่า ที่ความหนาแน่นเท่ากับ 1300 และ 1500 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ให้ค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 13 Mpa มีการนำความร้อนประมาณ 0.47วัตต์/ม.ค คิดเป็น 22% และลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตบล็อกมวลเบาทั่วไป 48% ส่วนค่าความหนาแน่นที่ 1700 กิโลกรัม /ลูกบาศก์เมตร สามารถรับกำลังรับแรงอัดได้ 50 Mpa ค่าการนำความร้อนประมาณ 0.58 วัตต์/ม.ค

Ali A. Aliabdo และคณะ ได้ศึกษาการใช้วัสดุหินเหนียวบดในการผลิตคอนกรีตแบบเซลลูลาร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบในการใช้วัสดุหินเหนียวบดในการแทนที่ทราย

ได้ทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติทางกล และการวิเคราะห์โครงสร้าง ขนาดเล็กของคอนกรีตมวลเบา และคอนกรีตโฟม พบว่าที่การแทนที่ทรายด้วยอิฐดินเหนียวบด 25% และ 50% ส่งผลให้กำลังต้านทานการรับแรงอัดลดลง เมื่อมีการเพิ่มปริมาณอิฐดินเหนียวบดขณะที่คอนกรีตโฟมมีปริมาณรูพรุนเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังพบว่าอนุภาคในตัวอย่างทดสอบ ไม่สม่ำเสมออีกด้วย

คุณสมบัติของส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาแบบเติมฟองอากาศหรือระบบเซลล์ (Cellular lightweight concrete, CLC)

เถ้าถ่านหิน

ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า ได้มีการนำเอาถ่านหินมาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิต ทำให้ได้ เถ้าถ่านหิน (Pulverized fuel ash) ออกมา เถ้าถ่านหินที่เกิดการเผาไหม้แบบสมบูรณ์แล้วจะถูกพัดออกมาตามลมร้อนเพื่อออกไปสู่ปล่องควัน จากนั้นจะทำการดักจับและรวบรวมเถ้าถ่านหินเพื่อไปเก็บไว้ยังไซโล เราเรียกเถ้าถ่านหินนี้ว่าเถ้าลอย (fly ash) ส่วนในกรณีที่เถ้าถ่านหินหลอมเหลวและบางส่วนจับกันเป็นก้อนหรือเป็นเม็ดใหญ่ขึ้น ทำให้มีน้ำหนักมากจึงตกลงสู่ก้นเตา เรียกว่าเถ้าหนักหรือเถ้าหนัก (Bottom ash) เชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าผลิตที่โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ได้ใช้ถ่านหินลิกไนต์เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิต โดยในแต่ละวันจะใช้ถ่านหินลิกไนต์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าประมาณ 4000 ตัน แล้วจะได้เถ้าถ่านหินออกมาประมาณ 10,000 ตัน ประกอบด้วยเถ้าลอยประมาณร้อยละ 80 และเถ้าหนักประมาณร้อยละ 20 ด้วยคุณสมบัติของเถ้าถ่านหินมีออกไซด์ของธาตุซิลิกา อลูมินา และเหล็ก ซึ่งออกไซด์ของธาตุเหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดี เมื่อมีการใช้เถ้าถ่านหินในอัตราส่วนที่เหมาะสม มีคุณภาพที่ดีเป็นส่วนผสมในคอนกรีตจะทำให้ได้คอนกรีตที่มีความแข็งแรงสามารถรับกำลังอัดได้มากขึ้น และยังทำให้เนื้อคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าถ่านหินมีความแน่นขึ้น เนื่องจากอนุภาคของเถ้าถ่านหินที่ค่อนข้างเล็กและส่วนใหญ่เป็นเม็ดกลม เมื่อผสมกับคอนกรีตจะทำให้เถ้าถ่านหินเข้าไปอุดโพรงหรือช่องว่างในเนื้อคอนกรีตระหว่างปูนซีเมนต์กับทรายหรือหิน ด้วยลักษณะที่กลมยังช่วยให้คอนกรีตไหลลื่นได้ดี ทำงานเทแบบได้ง่าย จึงเป็นที่นิยมนำไปใช้ในงานคอนกรีตมากกว่าในงานชนิดอื่นการนำเถ้าถ่านหินมาใช้ในงานคอนกรีต เป็นการใช้เพื่อเพิ่มปริมาณวัสดุประสานใช้เป็นส่วนผสมในปูนซีเมนต์บางส่วนเป็นตัวช่วยในการพัฒนาคอนกรีต เมื่อมีส่วนผสมของเถ้าถ่านหินทำให้คอนกรีตสามารถผสมเข้ากันได้ง่ายเนื่องจากรูปร่างที่กลม รวมไปถึงผิวสัมผัสที่ลื่นของเถ้าถ่านหินทำให้แรงเสียดทานระหว่างอนุภาคต่ำลง ช่วยลดพลังงานไฟฟ้า

ที่ใช้ในเครื่องผสมลงได้ ข้อดีของการใช้เถาถ่านหินในงานคอนกรีตได้แก่ เพิ่มความสามารถในการถ่ายเทได้ เพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนของคอนกรีต ลดผลกระทบจากการแยกตัว ลดความร้อนที่เกิดขึ้นในคอนกรีต ลดการหดตัว ลดอัตราการซึมน้ำผ่านคอนกรีต และที่สำคัญคือเพิ่มกำลังอัดและกำลังดึงประลัยของคอนกรีตเมื่อคอนกรีตมีอายุมากขึ้น แต่ทั้งนี้ข้อเสียของการนำเถาถ่านหินมาใช้ ก็คือทำให้มีอัตราการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตในช่วงอายุต้นมีค่าต่ำลง ซึ่งจะแตกต่างจากคอนกรีตที่ไม่มีเถาถ่านหินผสมอยู่ ที่มีการพัฒนาอายุในช่วงต้นได้ดี อย่างไรก็ตามการผสมเถาถ่านหินในคอนกรีตช่วยพัฒนากำลังให้ดีขึ้นในช่วงปลาย อาจเนื่องมาจากคอนกรีตที่มีเถาถ่านหินผสมอยู่สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันได้ช้า จึงต้องอาศัยการบ่มเป็นเวลานานเพื่อพัฒนากำลัง และการใช้อัตราส่วนผสมเถาถ่านหินในปูนซีเมนต์ปริมาณที่มากเกินไป จะทำให้คอนกรีตมีค่ากำลังต้านทานแรงอัดที่ต่ำลง ไม่สามารถนำไปใช้งานได้ จึงมีการนำมาใช้ทดแทนวัสดุประสานเพียงบางส่วน อัตราส่วนในการใช้เถาถ่านหินที่เหมาะสมควรใช้ปริมาณร้อยละ 15 - 35 โดยน้ำหนัก

คุณสมบัติของเถาถ่านหิน

คุณสมบัติทางกายภาพเถาถ่านหิน เถาถ่านหินเกิดจากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง จะสันดาปและหลอมละลาย เถาถ่านหินที่บดละเอียดผ่านการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะมีขนาดเล็ก มีลักษณะเป็นทรงกลมผิวเรียบสามารถลอยตามอากาศได้ ส่วนเถาถ่านหินที่มีขนาดใหญ่เกิดจากการเกาะตัวกันจะมีรูปร่างที่ไม่แน่นอนลักษณะเป็นผิวขรุขระ เป็นช่องว่างเล็ก ๆ ในการทดสอบความละเอียดของเถาถ่านหินจากโรงผลิตกระแสไฟฟ้าแม่เกาะได้ทำการทดสอบด้วยวิธีเบลน จะได้ความละเอียดอยู่ในช่วง 2500 - 3500 ตร.ซม./ก อนุภาคเล็กกว่า 1 ไมครอน จนถึง 200 ไมครอน ที่บดละเอียดผ่านการเผาไหม้จะสันดาปและหลอมละลายเมื่อเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง เถาถ่านหินขนาดเล็กสามารถลอยตามอากาศขึ้นไปได้ เถาถ่านหินที่มีขนาดเล็กจะผ่านการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จึงมีทรงกลมและผิวเรียบ เถาถ่านหินที่มีขนาดใหญ่จะมีรูปร่างที่ไม่แน่นอน ผิวขรุขระ และมีรูเล็ก ๆ ที่ผิวอาจมีปริมาณของคาร์บอนสูง อนุภาคของเถาถ่านหินมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน จนถึง 200 ไมครอน โดยมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 15 - 30 ไมครอน ความละเอียดของเถาถ่านหินจากโรงไฟฟ้าที่แม่เกาะซึ่งทดสอบด้วยวิธีของเบลน มีความละเอียดอยู่ในช่วง 2,500 - 3,500 ตร.ซม./ก อนุภาคโพรงในเถาถ่านหินจะประกอบไปด้วย เถาหินกลวง และอนุภาคในเถาหินกลวงยังมี พลัสโรสเฟีย (Plerosphere) เป็นอนุภาคเล็ก ๆ เถาถ่านหินอีก ทำให้ความถ่วงจำเพาะของเถาถ่านหินต่ำ อยู่ที่ประมาณ 2.0 - 2.2 องค์ประกอบหลักทางเคมีของเถาถ่านหินส่วนใหญ่จะเป็นออกไซด์ของธาตุซิลิกา (SiO_2), อลูมินา (Al_2O_3) และเหล็ก (Fe_2O_3) ซึ่งมาตรฐาน ASTM

C618 ได้ทำการแบ่งถ่านหินออกเป็น 2 ประเภท คือ Class C และ Class F ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับออกไซด์ ในถ่านหินที่มีความแตกต่างกัน

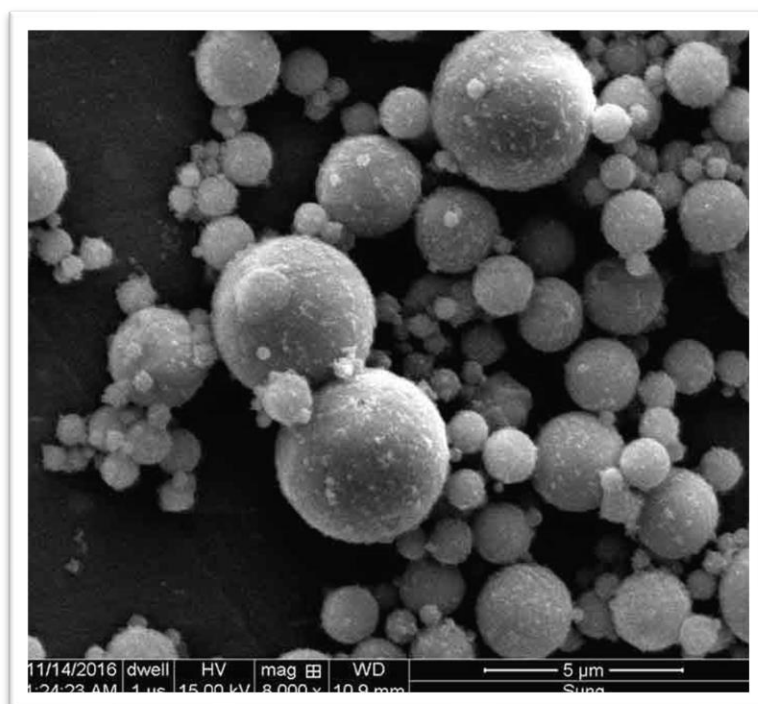
ประเภทที่ 1 ถ่านหิน Class C มีปริมาณของออกไซด์ดังกล่าวระหว่างร้อยละ 50 ถึง 70 โดยน้ำหนัก โดยส่วนใหญ่แล้วถ่านหินซับบิทูมินัส (Sub-bituminous) และถ่านหินลิกไนต์ (Lignite) เมื่อเผาแล้วจะให้ถ่านหิน Class C เป็นส่วนใหญ่

ประเภทที่ 2 ถ่านหิน Class F มีปริมาณ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ มากกว่าร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก ขณะที่ถ่านหินชนิดแอนทราไซต์ (Anthracite) และบิทูมินัส (Bituminous) เมื่อเผาแล้วจะให้ถ่านหิน Class F เป็นส่วนใหญ่

ซึ่งในโรงผลิตกระแสไฟฟ้าได้ใช้ถ่านหินลิกไนต์เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าจึงทำให้ได้ถ่านหินประเภท Class C ที่มีปริมาณของออกไซด์ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ อยู่ระหว่าง 50 - 70 โดยน้ำหนัก

ถ่านลอย

ถ่านลอยเป็นวัสดุ By-product ที่ได้จากเผาถ่านหินในกระบวนการผลิตไฟฟ้า ถ่านหินที่มีขนาดใหญ่จะตกลงยังกันเตา ขณะที่ถ่านหินที่มีขนาดเล็กกว่า 200 ไมโครเมตร จะลอยไปกับอากาศร้อนจึงเรียกว่า ถ่านลอย ซึ่งจะถูกดักจับโดยที่ดักจับไฟฟ้าสถิตย์ ถ่านลอยมีคุณสมบัติเป็น สารปอซโซลานใช้ผสมปูนซีเมนต์ในการทำคอนกรีตได้ (ปริญญา จินดาประเสริฐ, 2553) โดยถ่านลอยจะมีลักษณะที่กลมผิวเรียบ มีความละเอียด ซึ่งในกระบวนการเผาถ่านหินด้วยอุณหภูมิที่สูงจะทำให้ถ่านหินเกิดการเผาไหม้บดละเอียด จึงได้ถ่านหินที่ลอยตามความร้อนออกมา แล้วถูกดักจับด้วยเครื่องดักจับ หลังจากนั้นจะถูกส่งไปเก็บในไซโล โดยแต่เดิมถ่านหินจะประกอบไปด้วยสารประกอบคาร์บอนและแร่ธาตุต่าง ๆ เมื่อถูกนำมาเผาในอุณหภูมิที่สูง ทำให้คุณสมบัติสารประกอบและแร่ธาตุในถ่านหินเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านกายภาพ และทางด้านเคมี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาด้วย ส่วนใหญ่ในถ่านลอยจะเป็นออกไซด์ของซิลิกา และอะลูมินา และถือเป็นวัสดุปอซโซลานที่มีการนิยมมาใช้ในการคอนกรีตมากที่สุด เพราะถ่านลอยสามารถช่วยในการปรับปรุงคอนกรีตให้สามารถเทได้งายลดการเยิ้ม น้ำ ช่วยพัฒนากำลังรับแรงอัดหลังอายุการบ่มที่ 28 วัน และช่วยให้คอนกรีตมีความแข็งแรงทนทาน



ภาพ 3 ลักษณะรูปร่างของอนุภาคเถ้าลอย

ที่มา : <https://www.takieng.com/stories/10076>

เถ้าหนัก

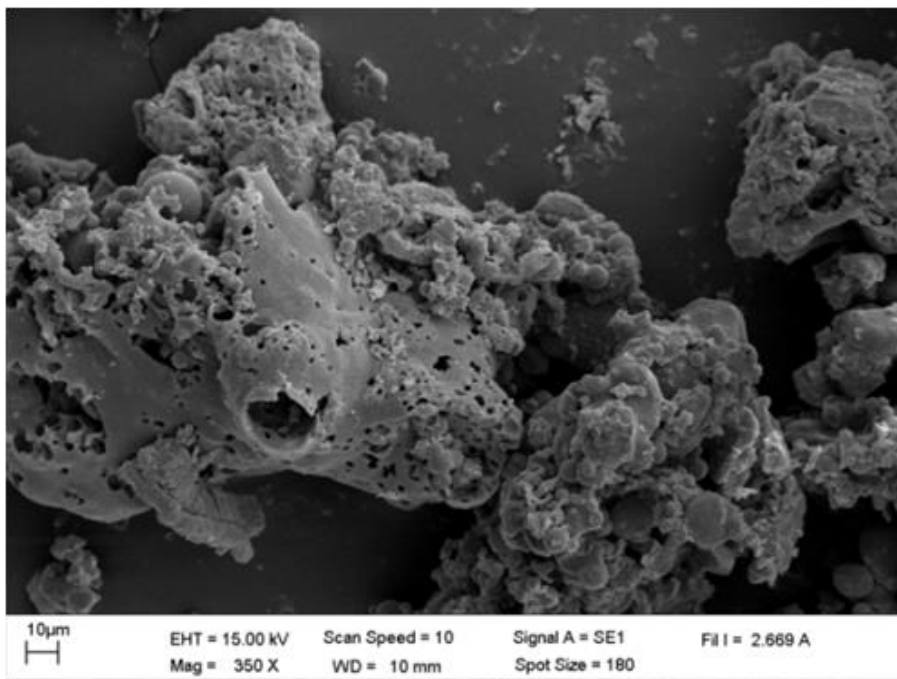
เถ้าหนัก (Bottom Ash) เป็นผลพลอยได้จากการเผาถ่านหินในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าเช่นเดียวกับเถ้าลอย โดยจะเกิดจากการที่เถ้าถ่านหินหรือเถ้าลอย (Fly Ash) หลอมเหลวในบริเวณเผาไหม้ (Combustion Zone) บางส่วนจับกันเป็นก้อนหรือเป็นเม็ดใหญ่ขึ้นทำให้มีน้ำหนักมากและตกลงสู่ก้นเตา จึงเรียกว่า เถ้าหนักหรือเถ้าหนัก และบางส่วนของอนุภาคเถ้าจะไปปะทะกับผนังเตาและหลอมติดกันทำให้อนุภาคเถ้าสะสมรวมตัวเป็นก้อนใหญ่ เมื่อรับน้ำหนักไม่ไหวก็จะหลุดตกลงสู่ก้นเตาซึ่งเรียกเถ้าส่วนนี้ว่า แสกก (Slag) การผลิตกระแสไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ของการไฟฟ้าฝ่ายการผลิตแห่งประเทศไทย ใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิง กากที่เหลือจากการเผาถ่านหินประกอบด้วยเถ้าถ่านหินประมาณร้อยละ 80 และเถ้าหนักอีกประมาณร้อยละ 20 ซึ่งในปีหนึ่ง ๆ จะมีปริมาณเถ้าถ่านหินประมาณ 2.5 ล้านตัน และเถ้าหนักประมาณ 1.5 ล้านตัน

1. องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของถ่านหินจะมีองค์ประกอบส่วนใหญ่ของซิลิกา (Silica), อลูมินา (Alumina) และเหล็ก (Iron) นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วย แคลเซียม (Calcium), แมกนีเซียม (Magnesium), ซัลเฟต (Sulfates), และสารประกอบอื่น ๆ อีกเล็กน้อย โดยองค์ประกอบทางเคมีของถ่านหินนี้จะขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาหรือชนิดของถ่านหิน ถ่านหินที่ได้จากถ่านหินลิกไนต์ (Lignite) และถ่านหินซับบิทูมินัส (Sub-bituminous) จะมีสารประกอบของแคลเซียมในเปอร์เซ็นต์ที่สูงกว่าถ่านหินที่ได้จากถ่านหินบิทูมินัส (Bituminous) ถึงแม้ว่าสารประกอบซัลเฟตจะไม่ได้ แต่โดยทั่วไปแล้วจะมีปริมาณต่ำมาก (ไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์)

2. คุณสมบัติทางกายภาพ

ลักษณะโดยทั่วไปของถ่านหินนั้นจะมีสีดำ เป็นเม็ดรูปร่างไม่แน่นอน มีบางส่วนรูปร่างกลมติดต่อกันเป็นกลุ่มก้อนมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 290 ไมโครเมตร หรือใหญ่กว่าอนุภาคถ่านลอยประมาณ 16 เท่า และใหญ่กว่าอนุภาคปูนซีเมนต์ 22 เท่า มีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับถ่านลอย แต่ถ่านหินไม่เหมาะที่จะใช้เป็นสารปอซโซลานิก เนื่องจากมีขนาดอนุภาคขนาดใหญ่จึงทำให้พื้นผิวที่จะสามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานิกได้น้อย เมื่อเทียบกับถ่านลอยที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่ามาก จึงถือได้ว่าถ่านหินสามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานิกได้เพียงบางส่วน ส่วนลักษณะโดยรวมของอนุภาคจะมีรูพรุนสูง มีความเปราะ ขนาดละเอียดใกล้เคียงกับทราย แต่ละเอียดกว่า มีหน่วยน้ำหนักน้อยกว่าทราย และมีค่าการดูดซึมน้ำสูงกว่าทราย ซึ่งขนาดของถ่านหินจะอยู่ในช่วง Fine Gravel ไปจนถึง Fine Sand และมีขนาดเล็กเท่ากับอนุภาคของดิน โดยที่การกระจายขนาดอนุภาคของถ่านหินจะอยู่ในช่วงของ Sand Size ซึ่งเปอร์เซ็นต์ของถ่านหินที่สามารถร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4 เมช (มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร) อยู่ในช่วง 50 – 90 % , ที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช (มีขนาดเล็กกว่า 0.42 มิลลิเมตร) อยู่ในช่วง 10 – 60 % และที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 200 เมช (มีขนาดเล็กกว่า 0.075 มิลลิเมตร) อยู่ในช่วง 0 – 10 % โดยขนาดที่ใหญ่ที่สุดจะอยู่ในช่วง 19 มิลลิเมตร ถึง 38.1 มิลลิเมตร สมบัติทางกายภาพบางประการของถ่านหินมีค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) อยู่ระหว่าง 2.1 – 2.7 ค่าความถ่วงจำเพาะของถ่านหินจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีคือเมื่อมีปริมาณคาร์บอนอยู่มากจะส่งผลให้ได้ค่าความถ่วงจำเพาะที่ต่ำโดยถ่านหินที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำส่วนใหญ่จะมีพื้นที่ผิวที่เป็นรูพรุน



ภาพ 4 ลักษณะรูปร่างของอนุภาคเถ้าหนัก

มวลรวมละเอียด

มวลรวมละเอียด (fine aggregates) คือมวลรวมที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (ช่องเปิด 4.75 มม.) แต่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 200 (ช่องเปิด 75 ไมโครเมตร) มวลรวมละเอียดมีความสำคัญอย่างมากต่อคุณภาพของทั้งคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว สำหรับการผสมคอนกรีตมวลเบาเซลลูลาร์โดยทั่วไปนิยมใช้มวลรวมละเอียดที่เกิดตามธรรมชาติ (ทราย) ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญของทรายที่ต้องคำนึงถึงได้แก่ ความแข็งแรง ความสะอาด และขนาดคละ เป็นต้น

มวลรวมที่ดี นอกจากคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้นแล้วยังต้องสามารถยึดเหนี่ยว (bond) กับซีเมนต์เพสต์ได้ดีอีกด้วย การยึดเหนี่ยวดังกล่าวขึ้นอยู่กับรูปร่างและลักษณะผิวของมวลรวมตามมาตรฐาน BS 882 แบ่งรูปร่างของมวลรวมออกเป็น 6 แบบ ได้แก่ มน (rounded), ก้อนเบี้ยว (irregular), แบน (flaky), เหลี่ยม (angular), ยาว (elongated), และแบนและยาว (flaky and elongated) และแบ่งลักษณะผิวเป็น 6 แบบ ได้แก่ แก้ว (glassy), เรียบ (smooth), เม็ด (granular), หยาบ (rough), ผลึก (crystalline) และรังผึ้ง (honeycombed)

รูปร่างและลักษณะผิวของมวลรวมมีผลต่อกำลังของคอนกรีต โดยเฉพาะมวลรวมก้อนเหลี่ยมและผิวหยาบจะมีพื้นที่ผิวที่สูง ทำให้มีพื้นที่สำหรับการยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมและซีเมนต์เพสต์มากขึ้น ดังนั้นกำลังของคอนกรีตจึงดีขึ้นด้วย

น้ำ

น้ำเป็นส่วนผสมที่สำคัญอย่างมากต่อคุณภาพของคอนกรีต นอกจากมีบทบาทในการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์แล้ว ยังต้องการน้ำในด้านอื่น เช่น การบ่มคอนกรีต การทำความสะอาดทั้งมวลรวม แบบหล่อ และเครื่องผสม เป็นต้น น้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีตควรเป็นน้ำจืดที่สะอาด โดยส่วนใหญ่นิยมใช้น้ำประปา ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญของน้ำที่ต้องคำนึงถึงคือ สารแปลกปลอมที่เจือปนอยู่ในน้ำ ถ้าหากมีสารแปลกปลอมดังกล่าวเจือปนอยู่มาก อาจก่อปัญหาด้านระยะเวลาการก่อตัว การหดตัวของคอนกรีต การมีรอยคราบเกลือ (efflorescence) อยู่ที่ผิวของคอนกรีต และอาจส่งผลต่อกำลังของคอนกรีตที่ต่ำลง ตลอดจนความคงทนของคอนกรีตลดลง สารแปลกปลอมสามารถแบ่งออกได้เป็นสารแขวนลอย สารละลายอินทรีย์ และสารละลายอนินทรีย์ ตามมาตรฐาน BS 3148 9

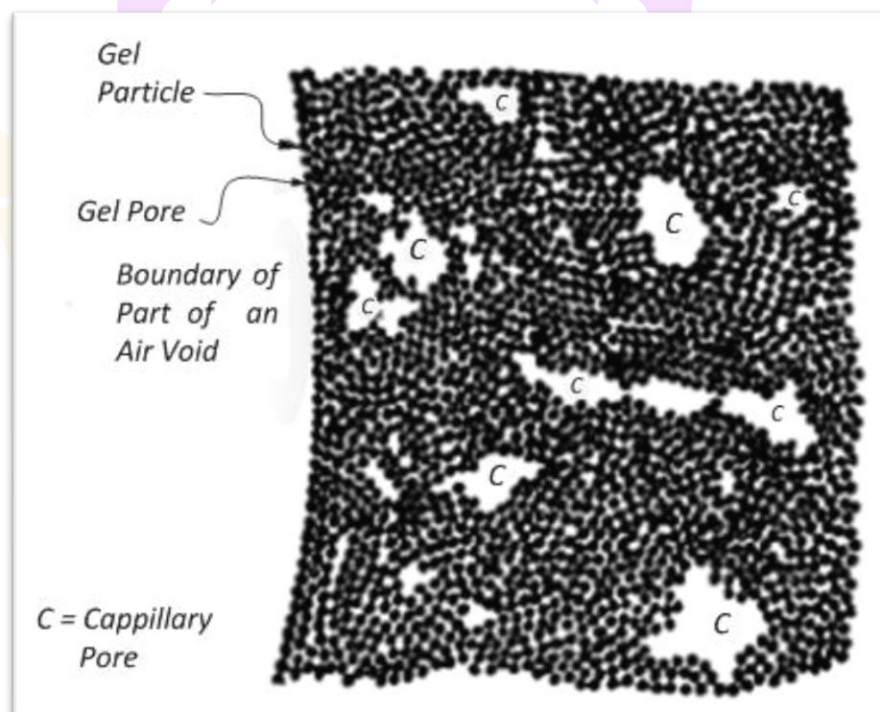
สารเพิ่มฟองอากาศ

สารเพิ่มฟองอากาศ (foaming agent) คือสารที่ทำให้เกิดฟองอากาศ โดยใช้หลักการลดแรงตึงผิวของน้ำ ทำให้เกิดฟองเวลาผสมกับน้ำคล้ายสบู่ แต่ฟองอากาศมีขนาดเล็กกว่ามาก และมีความคงตัว (ไม่แตก) ขณะทำการผสมคอนกรีตจนกระทั่งคอนกรีตแข็งตัว วัสดุที่ใช้เป็นสารเพิ่มฟองอากาศมีอยู่หลายชนิด ส่วนมากเป็นสารประกอบจากพวกกรดคาร์บอกซีลิก (carboxylic acid) หรือกรดซัลโฟนิก (sulfonic acids) ผสมกับไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) นอกจากนี้ อาจเป็นสารจำพวกเกลือเรซินของไม้ (salt of wood resin), ดีเทอร์เจนสังเคราะห์ (synthetic detergents), เกลือของซัลโฟเนตลิกนิน (salts of sulfonated lignin), เกลือของกรดปิโตรเลียม (salt of petroleum acids) และไขมันบางชนิด เป็นต้น สารที่ใช้ในปัจจุบันส่วนมากได้มาจากอุตสาหกรรมกระดาษ ปิโตรเคมี และผลิตภัณฑ์จากสัตว์ ปริมาณของสารจะใช้น้อยมากประมาณร้อยละ 0.005 - 0.05 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ เนื่องจากใช้ผสมกับน้ำเพื่อลดความเข้มข้นของปริมาณสารและลดแรงตึงผิวของน้ำเท่านั้น (ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2556)

โครงสร้างโพรงของคอนกรีตมวลเบา

ขนาดและโครงสร้างของโพรงมีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบา โดยทั่วไปโครงสร้างโพรง (pore structure) ของคอนกรีตมวลเบาประกอบด้วย 3 ส่วน (ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2556)

1. โพรงเจล (gel pore) คือช่องว่างระหว่างเม็ดซีเมนต์เจล (gel particle) ที่เห็นเป็นทรงกลม สีดำที่ขนาดเล็ก ซึ่งโพรงเจลนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างของซีเมนต์เจล โดยทั่วไปโพรงเจล มีขนาดเล็กมากประมาณ 0.0005 – 0.01 ไมโครเมตร
2. โพรงคาปิลลารี (capillary pore) คือช่องว่างของน้ำที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ ซึ่งมีขนาดประมาณ 0.01 – 10 ไมโครเมตร
3. ช่องว่างอากาศ (air void) คือช่องว่างที่เกิดจากการกักฟองอากาศ (air entrained) ของสารเพิ่มฟองอากาศ หรือเกิดจากการเทคอนกรีต (entrapped pore) ซึ่งมักจะมีขนาดใหญ่กว่าโพรงเจลและโพรงคาปิลลารี โดยทั่วไปช่องว่างอากาศมีขนาดประมาณ 0.1 – 1.0 มม. 10



ภาพ 5 โครงสร้างจุลภาคของซีเมนต์เฟสท์ (Powers and Helmut, 1953)



งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของของคอนกรีตมวลเบา

ผศ.ดร.ปิติศานต์ กร้ามาตร (2553) การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย พบว่ากำลังอัดประลัยช่วงอายุมอร์ตาร์เริ่มต้นจะมีค่าน้อยกว่า แต่เมื่ออายุมอร์ตาร์มากขึ้นจะมีค่ากำลังประลัยใกล้เคียง เมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ล้วน

ปริญญา จินดาประเสริฐ และคณะ (2541) วิจัยคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าลอยคัดขนาด จากการทดสอบพบว่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีค่าเท่ากับ 3.12 และเถ้าลอยมี FA I, FA II, FA III และ FA VI โดยมีความถ่วงจำเพาะอยู่ที่ 2.10, 2.30, 2.45 และ 2.60 ตามลำดับเห็นได้ว่าเถ้าลอยมีความถ่วงจำเพาะที่น้อยกว่าปูนซีเมนต์ เนื่องจากปูนซีเมนต์ประกอบด้วยออกไซด์ที่มีความหนาแน่นสูงมากกว่าเถ้าลอย เถ้าลอยทำให้ความชื้นเหลือของเพสต์ลดลงเนื่องจากเถ้าลอยมีลักษณะกลมทำให้เพสต์ลื่นไหลได้ดีมากขึ้น ระยะเวลาการก่อต่อนั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เถ้าลอยอยู่ในช่วง 0 - 40% แต่เมื่อใช้เถ้าลอยมากกว่า 40% ขึ้นไประยะเวลาการก่อตัวระยะต้นจะเริ่มลดลง ระยะการก่อตัวระยะปลายจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณเถ้าลอย แต่เมื่อใช้เถ้าลอยที่มีความละเอียดสูงและปริมาณการแทนที่ 60% เวลาการก่อตัวระยะปลายมีแนวโน้มชะลอการเพิ่มขึ้น จะเห็นได้เลยว่าเถ้าลอยมีผลต่อการก่อตัวปลายมากกว่าระยะต้น เถ้าลอยทำให้ความต้องการน้ำมอร์ตาร์ลดลง และเถ้าลอยที่มีความละเอียดสูงจะเพิ่มความต้องการน้ำ ส่วนการพัฒนากำลังรับแรงอัดระยะต้นของมอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยมีค่าลดลงตามปริมาณเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้น เพราะปฏิกิริยาปอซโซลานไม่เกิดในระยะต้น ประกอบด้วยการแทนที่เถ้าลอยในปูนซีเมนต์จะทำให้ปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ลดลง แต่เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นการพัฒนากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยพอเหมาะในช่วง 0 - 40% ทำให้ปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ ทำให้ปฏิกิริยาปอซโซลานที่เกิดขึ้นสามารถทดแทนได้ตลอดจนเมื่อใช้เถ้าลอยที่มีความละเอียดสูงมากขึ้น ทำให้กำลังรับแรงอัดระยะปลายสูงมากขึ้น

ผศ.ดร.เรืองรุชดี ชีระโรจน์ (2556) ทำการศึกษาการใช้เถ้าถ่านหินในงานคอนกรีตทั่วไป การใช้เถ้าถ่านหินในงานคอนกรีตสามารถใช้เพื่อเพิ่มปริมาณวัสดุประสานหรือทราย เนื่องจากเถ้าถ่านหินมีทรงกลมจึงทำให้ส่วนผสมคอนกรีตมีความสามารถเทได้ดีขึ้น และต้องการน้ำลดลง การใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนทำให้กำลังอัดที่อายุเริ่มต้นของคอนกรีตต่ำกว่าคอนกรีตที่ไม่มีเถ้าถ่านหิน แต่จะมีกำลังอัดสูงกว่าเมื่อมีอายุมากขึ้น นอกจากนี้การบ่มคอนกรีตที่มีเถ้าถ่านหินก็มีความสำคัญมากกว่าคอนกรีตธรรมดา เพราะคอนกรีตที่ผสม

เถาถ่านหินต้องอาศัยต่างที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันและต้องการความชื้นในการทำปฏิกิริยาปอซโซลาน

ACI 232:2R15 แนะนำว่าควรใช้เถาถ่านหิน Class F หรือ Class C ในปริมาณร้อยละ 15 ถึง 35 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์บวกกับเถาถ่านหิน การใช้เถาถ่านหินในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดที่ต่ำจนอาจใช้งานไม่ได้ ดังนั้นจึงควรคำนึงถึงการใช้เถาถ่านหินเพื่อทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วนเพราะทำให้คอนกรีตมีราคาถูกลง ขณะที่การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้เถาถ่านหินมีค่าใกล้เคียงหรืออยู่ในระดับที่ยอมรับได้เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ได้ผสมเถาถ่านหิน เถาถ่านหินนิยมใช้ในงานคอนกรีตหยาบหรือคอนกรีตขนาดใหญ่เพื่อลดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน ซึ่งมักใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ค่อนข้างสูงโดยทั่วไป มักสูงกว่าร้อยละ 30 ขึ้นไป นอกจากนี้ยังนิยมใช้เถาถ่านหินเป็นส่วนผสมที่สำคัญในการทำคอนกรีตบดอัด (Roller compacted concrete) สำหรับก่อสร้างถนน หรือก่อสร้างเขื่อนคอนกรีตบดอัดที่ปากมูล เป็นต้น การลดจุดอ่อนของการพัฒนากำลังต่ำในช่วงอายุต้นของคอนกรีตผสมเถาถ่านหินสามารถทำได้โดยการใช้เถาถ่านหินที่ละเอียดขึ้น โดยการลดขนาดหรือบดเถาถ่านหินให้มีความละเอียดขึ้น หรือใช้ซิลิกาฟูมผสมร่วมกับเถาถ่านหิน นอกจากนี้การใช้สารลดน้ำสามารถทำให้การพัฒนากำลังในช่วงแรกดีขึ้น การใช้เถาถ่านหิน

Class F จากแม่เมาะที่คัดขนาดให้เล็กลงจนมีความละเอียดของเบลน (Blaine fineness) ประมาณ 8,000 ถึง 12,000 ซม²/ก. โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเล็กกว่า 5 ไมโครเมตร สามารถใช้ทดแทนซิลิกาฟูมในคอนกรีตกำลังสูงได้ดี โดยการพัฒนากำลังอัดที่อายุ 7 วันใกล้เคียงกับคอนกรีตที่

ใช้เถาถ่านหินและต่ำกว่าคอนกรีตที่ผสมซิลิกาฟูมเพียงเล็กน้อย และการพัฒนากำลังอัดภายหลังอายุ 28 วัน ดีกว่าเนื่องจากมีปฏิกิริยาปอซโซลานมาช่วยเสริม นอกจากการใช้เถาถ่านหินในงานคอนกรีตแล้วยังมีงานวิจัยที่ศึกษาถึงการนำเถ้าหนัก (bottom ash) และเถาถ่านหินทิ้งแล้ว (disposed fly ash) มาใช้งานคอนกรีตด้วย เถ้าหนักเกิดจากการรวมตัวกันของเถาถ่านหินที่หลอมเหลว ดังนั้นจึงมีขนาดใหญ่และพรุนกว่าเถาถ่านหิน แต่เมื่อพัฒนาคุณภาพโดยการบดให้มีความละเอียดมาก พบว่าเถ้าหนักเตาสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลานได้ดีเช่นกันกับเถาถ่านหิน ส่วนเถาถ่านหินทิ้งแล้ว เกิดจากการนำเถาถ่านหินส่วนเกินที่ไม่ได้ใช้งานมาทิ้ง ณ แหล่งทิ้งเปิด เถาถ่านหินทิ้งแล้วจะตากแดดตากฝนอยู่ตลอดเวลาและอาจทำให้ความสามารถในการทำปฏิกิริยาปอซโซลานลดลงได้ Cheerarot และ Jaturapitakkul ได้ทำการศึกษาเถาถ่านหินทิ้งแล้วที่อายุ 6 ถึง 2 ปี พบว่าเถาถ่านหินทิ้งแล้วมีขนาดอนุภาค

ใหญ่กว่าเถาถ่านหินจากแหล่งเดียวกันและมีปริมาณแคลเซียมออกไซด์และค่าการสูญเสีย น้ำหนักเนื่องจากการเผาแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามเถาถ่านหินที่ทิ้งเมื่อนำมาบดให้มีความละเอียดสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลานในงานคอนกรีตได้ดี และระยะเวลาที่ทิ้งเถาถ่านหิน

หิ น มี พ ล

ไม่มากนักต่อกำลังอัดของมอร์ตาร์ อย่างไรก็ตามหากถ่านหินที่ทิ้งมีปริมาณยิปซัมสูงควรหลีกเลี่ยงการนำมาใช้งานเพราะจะส่งผลต่อการขยายตัวของคอนกรีตหรือมอร์ตาร์สูง

วิเชียร ซาลี (2551) งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากำหนดคอนกรีตบล็อกจากเถาเตาโดยตรงจากโรงงานผลิตกระดาษจังหวัดปราจีนบุรี โดยมีอัตราส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกที่ใช้ในงานวิจัยนี้ทั้งหมด 13 ส่วนผสม แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถาหนักละเอียดและกลุ่มคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถาหนักหยาบ กลุ่มคอนกรีตบล็อกที่ใช้เถาหนักละเอียดจะใช้เถาหนักแทนที่มวลรวมทั้งหมด กลุ่มคอนกรีตบล็อกที่ใช้เถาหนักหยาบจะใช้เถาหนักหยาบแทนที่หินปูน โดยทำการศึกษาคูณสมบัติของคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถาหนักได้แก่ ศึกษา กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกจากเถาหนัก ที่อายุทดสอบ 7, 28 และ 60 วัน ศึกษาคุณสมบัติทางด้านความหนาแน่น และเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำในคอนกรีตบล็อกที่ผสมเถาหนัก ที่อายุทดสอบ 28 วัน จากผลการศึกษาพบว่า เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณของเถาหนักที่มากขึ้น และเมื่อใช้เถาหนักในส่วนผสมคอนกรีตบล็อกมากขึ้นส่งผลให้กำลังอัดและความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกมีค่าลดลงอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามค่ากำลังอัดของคอนกรีตบล็อกทุกส่วนผสมที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้มีค่ากำลังสูงกว่าค่ามาตรฐาน มอก. 58 - 2533 และมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำน้อยกว่าค่ามาตรฐาน มอก. 58 - 2 5 3 ซึ่งกำหนดไว้ไม่ให้เกินร้อยละ 35 ซึ่งถือว่าคอนกรีตบล็อกมีกำลังอัดที่ดีเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน

ผศ.ดร.สำเร็จ รักซ้อน และคณะ (2555) นวัตกรรมการใช้เถาหนักในคอนกรีตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ศึกษาความสามารถทำงานได้และกำลังอัดของจีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์ด้วยการใช้เถาหนักบดละเอียด 3 ขนาด โดยแต่ละขนาดร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ร้อยละ 3, 18 และ 33 โดยน้ำหนักแต่ละขนาดมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 15.7, 24.5 และ 32.2 ไมโครเมตร และมีความละเอียดเท่ากับ 5000, 3400 และ 2100 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ผลการทดสอบพบว่า จีโอโพลีเมอร์มอร์ตาร์มีกำลังสูง 24 - 56 MPa เมื่อใช้เถาหนักที่ความละเอียดต่างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 เท่ากับร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 15.7 ไมโครเมตร แสดงให้เห็นว่าค่าการไหลแผ่มีค่าสูงขึ้นเมื่อความ

ละเอียดของ ถ้ำหนักมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากขนาดอนุภาคที่ละเอียดสามารถแทรกตัวเข้าไปโพรงของมอร์ต้าได้ส่งผลให้มอร์ต้าที่บ่มแน่นและพื้นที่ผิวจำเพาะที่มากของถ้ำหนักบดละเอียดส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็ว อย่างไรก็ตามกำลังอัดมีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้ถ้ำหนักที่มีขนาดหยาบขึ้น นอกจากนี้ผลการทดสอบพบว่ากำลังอัดของจีโอโพลีเมอร์มอร์ต้าสูงขึ้น เมื่อใช้อัตราส่วนสารละลายต่อถ้ำหนักเท่ากับ 0.429–0.709 และใช้อัตราส่วนไซเดียมซิลิเกตต่อไซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 0.67–1.5 และใช้ไซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 7.5–12.5 โมลาร์ พบว่า ที่อัตราส่วนน้ำต่อถ้ำหนัก 0.03 ให้ค่ากำลังอัดสูงที่สุด



บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะทำการกล่าวถึงการดำเนินการทดสอบคุณสมบัติคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ โดยใช้เถ้าลอยเป็นส่วนผสมแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และใช้เถ้าหนักเป็นส่วนผสมแทนที่ทรายละเอียด วัสดุและเครื่องมือในการทดสอบ และวิธีการทดสอบต่าง ๆ ได้แก่ ความหนาแน่น การทดสอบกำลังอัด การทดสอบการนำความร้อน และอัตราการดูดซึมน้ำ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. วัสดุที่ใช้ในการทดสอบและการจัดเตรียมวัสดุ

1.1 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1



ภาพ 6 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

1.2 เถ้าหนัก

เถ้าหนักจากโรงไฟฟ้า แม่เมาะ จ.ลำปาง

- ร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 8 ค้างตะแกรงเบอร์ 100
- อบความร้อน 105 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง



ภาพ 7 เถ้าหนัก

1.3 เถ้าลอย

เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้า แม่เมาะ จ.ลำปาง



ภาพ 8 เถ้าลอย

1.4 น้ำ

น้ำสะอาดซึ่งในการทดสอบนี้ใช้เป็นน้ำประปาของทางมหาวิทยาลัยพะเยา



ภาพ 9 น้ำ

1.5 ทรายละเอียด

ใช้ทรายละเอียดร่อนผ่านตะแกรงขนาดมาตรฐานเบอร์ 30 ค้างตะแกรงขนาดมาตรฐานเบอร์ 100



ภาพ 10 ทรายละเอียด

1.6 น้ำยาโฟม



ภาพ 11 น้ำยาโฟม

2. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

2.1 ชุดเครื่องทำโฟมและอัดอากาศ



ภาพ 12 ชุดเครื่องทำโฟมและอัดอากาศ

2.2 ชุดทดสอบความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียดและทดสอบการดูดซึมน้ำ



ภาพ 13 ชุดทดสอบความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียดและทดสอบการดูดซึมน้ำ

2.3 ตู้อบปรับอุณหภูมิ



ภาพ 14 ตู้อบปรับอุณหภูมิ

2.4 เครื่องชั่งดิจิตอล มีความละเอียด 0.001 กิโลกรัม



ภาพ 15 เครื่องชั่งดิจิตอล

2.5 เครื่องผสมคอนกรีต



ภาพ 16 เครื่องผสมคอนกรีต

2.6 แบบหล่อคอนกรีตมวลเบาที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีทั้งหมด 3 ชนิด คือ แบบหล่อสำหรับการทดสอบกำลังอัดทรงลูกบาศก์ขนาด 15 x 15 x 15 เซนติเมตร แบบหล่อสำหรับการนำความร้อนทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 x 20 เซนติเมตร และแบบหล่อสำหรับการทดสอบหาค่าการหดตัวขนาด 7.5 x 7.5 x 28.5 เซนติเมตร



ภาพ 17 แบบหล่อตัวอย่างการทดสอบกำลังอัดทรงลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 เซนติเมตร และแบบหล่อตัวอย่างการทดสอบนำความร้อนทรงกระบอกขนาด \varnothing 10x20 เซนติเมตร



ภาพ 18 แบบหล่อตัวอย่างการทดสอบหดตัวขนาด 7.5x7.5x28.5 เซนติเมตร

2.7 พลาสติกแรป



ภาพ 19 พลาสติกแรป

2.8 เครื่องทดสอบกำลังอัดคอนกรีต



ภาพ 20 เครื่องทดสอบกำลังอัดคอนกรีต

2.9 เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ แบบอนาล็อก



ภาพ 21 เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ แบบอนาล็อก

2.10 ชุดทดสอบค่าการนำความร้อน



ภาพ 22 ชุดทดสอบค่าการนำความร้อน

2.11 เครื่องมือทดสอบหาค่าการยืดหดตัวของคอนกรีต (Length Comparator) ความละเอียดที่วัดได้ 0.001 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM C157



ภาพ 23 เครื่องมือทดสอบหาค่าการยืดหดตัวของคอนกรีต

2.12 ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น (Drying Shrinkage Testing Chamber)



ภาพ 24 ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น (Drying Shrinkage Testing Chamber)

การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานวัสดุ

ทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการผสมเป็นคอนกรีตมวลเบาได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ทดสอบคุณสมบัติดังนี้

1. ความถ่วงจำเพาะ ทำการทดสอบโดยยึดตามมาตรฐาน ASTM C 185 – 95 หรือ มอก. 15 เล่ม 2

2. ทดสอบระยะเวลาการก่อตัว ทำการทดสอบโดยยึดตามมาตรฐาน ASTM C 191 หรือ มอก. 15 เล่ม 9

อัตราส่วนผสมคอนกรีตบล็อกมวลเบา

ในการทำวิจัยจะมีการทดลองผสมคอนกรีตบล็อกมวลเบาเพื่อเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมในขั้นต้นแล้วนำอัตราส่วนนั้นมาทำการทดลองอย่างละเอียดในขั้นต่อไป ส่วนผสมควบคุม ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ : ทราย : น้ำ มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ และมีการแทนที่ทรายด้วยเถ้าห่นร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 ของน้ำหนักทราย

ตาราง 6 อัตราส่วนผสมคอนกรีตมวลเบา Density ที่ 1100 kg/m^3

Table 1 ลำดับที่	อัตราส่วนผสม ปูนซีเมนต์ : ทราย : เถ้าลอย : เถ้าห่น					
	ปูนซีเมนต์ (%)	เถ้าลอย (%)		เถ้าห่น (%)		
1	100	0	0	10	20	30
2	90	10	0	10	20	30
3	80	20	0	10	20	30
4	70	30	0	10	20	30

หมายเหตุ : ตารางนี้เป็นการแสดงอัตราส่วนผสมการแทนที่ของเถ้าลอยและเถ้าห่น

ตาราง 7 ปริมาณส่วนผสมคอนกรีตมวลเบา Density ที่ 1100 kg/m^3 สำหรับ 1 m^3

ส่วนผสม	ปูนซีเมนต์	เถ้าลอย	ทราย	เถ้า กนเตา	น้ำ	น้ำผสม น้ำยาโฟม	น้ำ ยาโฟม
	(กก.)	(กก.)	(กก.)	(กก.)	(กก.)	(กก.)	(กก.)
1	832.00	0.000	819.69	0.00	428.31	43.165	1.4388
2	832.00	0.000	737.72	81.97	428.31	43.165	1.4388
3	832.00	0.000	655.75	163.94	428.31	43.165	1.4388
4	832.00	0.000	573.78	245.91	428.31	43.165	1.4388
5	748.80	83.20	819.69	0.00	428.31	43.165	1.4388
6	748.80	83.20	737.72	81.97	428.31	43.165	1.4388
7	748.80	83.20	655.75	163.94	428.31	43.165	1.4388
8	748.80	83.20	573.78	245.91	428.31	43.165	1.4388
9	665.60	166.40	819.69	0.00	428.31	43.165	1.4388
10	665.60	166.40	737.72	81.97	428.31	43.165	1.4388
11	665.60	166.40	655.75	163.94	428.31	43.165	1.4388
12	665.60	166.40	573.78	245.91	428.31	43.165	1.4388
13	582.40	249.60	819.69	0.00	428.31	43.165	1.4388
14	582.40	249.60	737.72	81.97	428.31	43.165	1.4388
15	582.40	249.60	655.75	163.94	428.31	43.165	1.4388
16	582.40	249.60	573.78	245.91	428.31	43.165	1.4388

ตาราง 8 ปริมาณส่วนผสมคอนกรีตมวลเบา Density ที่ 1100 kg/m^3 สำหรับ 1 มิกซ์

ส่วนผสม	ปูนซีเมนต์ (กก.)	เถ้าลอย (กก.)	ทราย (กก.)	เถ้า ก้นเตา (กก.)	น้ำ (กก.)	น้ำผสม น้ำยาโฟม (กก.)	น้ำ ยาโฟม (กก.)
1	32.48	0.000	32.002	0.00	16.72	1.685	0.0561
2	32.48	0.000	28.802	3.20	16.72	1.685	0.0561
3	32.48	0.000	25.602	6.40	16.72	1.685	0.0561
4	32.48	0.000	22.402	9.60	16.72	1.685	0.0561
5	29.23	3.248	32.002	0.00	16.72	1.685	0.0561
6	29.23	3.248	28.802	3.20	16.72	1.685	0.0561
7	29.23	3.248	25.602	6.40	16.72	1.685	0.0561
8	29.23	3.248	22.402	9.60	16.72	1.685	0.0561
9	25.98	6.496	32.002	0.00	16.72	1.685	0.0561
10	25.98	6.496	28.802	3.20	16.72	1.685	0.0561
11	25.98	6.496	25.602	6.40	16.72	1.685	0.0561
12	25.98	6.496	22.402	9.60	16.72	1.685	0.0561
13	22.74	9.744	32.002	0.00	16.72	1.685	0.0561
14	22.74	9.744	28.802	3.20	16.72	1.685	0.0561
15	22.74	9.744	25.602	6.40	16.72	1.685	0.0561
16	22.74	9.744	22.402	9.60	16.72	1.685	0.0561

การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกมวลเบา

การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัด (มอก. 2601 - 2556)

หลังจากบ่มขึ้นทดสอบขนาด $15 \times 15 \times 15$ ซม. โดยใช้พลาสติกแรป เมื่อขึ้นทดสอบครบอายุ 7 และ 28 วันให้นำไปวัดขนาดพื้นที่หน้าตัดรับแรงอัดโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์

จากนั้นนำไปทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดโดย ทดสอบตามที่ระบุใน มอก. 109 จนได้ค่าแรงอัดสูงสุดเมื่อขึ้นทดสอบแตกเสียหาย คำนวณหาค่ากำลังรับแรงอัดได้จากสูตร

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

เมื่อ σ คือ กำลังรับแรงอัด (ksc)

P คือ แรงอัดสูงสุดที่ทำให้ตัวอย่างแตกเสียหาย (Kg)

A คือ พื้นที่รับแรงอัดของชิ้นทดสอบ (cm²)

ตาราง 9 เกณฑ์มาตรฐานความต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกมวลเบา

ชนิด	ความต้านแรงอัด ไม่น้อยกว่า MPa (kg/cm ²)
C6	
C7	2.0 (20.4)
C8	
C9	
C10	2.5 (25.5)
C12	
C14	5.0 (51.0)
C16	

การทดสอบหาค่าอัตราการดูดซึมน้ำ (มอก. 2601 - 2556)

หลังจากบ่มชิ้นทดสอบขนาด 15 x 15 x 15 ซม. โดยใช้พลาสติกแรปเมื่อขึ้นทดสอบอายุครบ 28 วัน ให้นำชิ้นทดสอบไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 105 ± 5 °C จนชิ้นทดสอบมีน้ำหนักคงที่หรือเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชม. จากนั้นชั่งน้ำหนักของแต่ละก้อนเป็นน้ำหนักของชิ้นทดสอบหรือน้ำหนักแห้ง จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปแช่ในน้ำสะอาดให้ผิวน้ำท่วมชิ้นทดสอบเป็นเวลา 24 ชม. แล้วยกออกจากน้ำใช้ผ้าชุมน้ำเช็ดที่ผิวที่ละก้อนแล้วชั่งใหม่ให้เสร็จภายใน 3 นาที น้ำหนักที่ได้คือน้ำหนักของชิ้นทดสอบเมื่อเปียก

$$A = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100$$

เมื่อ A คือ ค่าอัตราการดูดซึมน้ำ (%)

W_1 คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบเมื่อแห้ง (g)

W_2 คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบเมื่อเปียก (g)

ตาราง 10 เกณฑ์มาตรฐานอัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบดบล็อกมวลเบา

ชนิด	อัตราการดูดซึมน้ำ ไม่มากกว่า % (เศษส่วนโดยมวล)
C6	
C7	25
C8	
C9	
C10	23
C12	
C14	
C16	20

การทดสอบหาความหนาแน่นเชิงปริมาตร (มอก. 2601 - 2556)

หลังจากบ่มชิ้นทดสอบขนาด 15 x 15 x 15 ซม. โดยใช้พลาสติกแรปเมื่อชิ้นทดสอบอายุครบ 7 และ 28 วันจึงนำชิ้นทดสอบมาวัดปริมาตรและชั่งน้ำหนักของชิ้นทดสอบหลังจากในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 ± 5 °C เป็นเวลา 24 ชม. คำนวณความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งของชิ้นทดสอบจากสูตร

$$\rho = \frac{m}{V}$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้ง (Kg/m^3)

M คือ มวลของชิ้นทดสอบ (kg)

V คือ ปริมาตรของชิ้นทดสอบ (m^3)

ตาราง 11 เกณฑ์มาตรฐานความหนาแน่นเชิงปริมาตร

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

การทดสอบการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อก (ASTM C518)

หลังจากบ่มชิ้นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 x 20 เซนติเมตร โดยใช้พลาสติกแรป เมื่อขึ้นทดสอบอายุครบ 7 วัน และ 28 วัน จึงนำไปทดสอบ คำนวณค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกมวลเบาจากสูตร

$$K = \frac{PL}{\Delta T \cdot A}$$

เมื่อ K คือ ค่าการนำความร้อน (w/m.°C)

P คือ อัตราการนำความร้อน (w) มีค่าเท่ากับ กำลัง (v) x กระแส (I)

L คือ ความหนาของชิ้นทดสอบ (m)

A คือ พื้นที่ที่ความร้อนไหลผ่าน (m²)

ΔT คือ อุณหภูมิแตกต่างระหว่างผิววัสดุที่อุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุด (°C)

การทดสอบการหดตัวแบบแห้ง

การทดสอบการหดตัวแบบแห้ง (Drying shrinkage) ของคอนกรีตเซลลูโลส ใช้แบบหล่อมาตรฐานขนาด 75 × 75 × 285 มิลลิเมตร พร้อมติดตั้งหัวแท่งเหล็ก (Stud) เพื่อหาค่าการหดตัวแห้งเฉลี่ยของแท่งตัวอย่าง ภายหลังจากอบแบบที่อายุ 24 ชั่วโมง นำแท่งโลหะความยาวมาตรฐานคงที่ (300 มิลลิเมตร) เซ็ต Zero ที่เครื่องมือทดสอบ จากนั้นนำตัวอย่างมาวัดความยาวที่เครื่องมือทดสอบ ซึ่งจะเป็นค่าความยาวเริ่มต้น จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างบ่มไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 23 ± 2 °C ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 ± 4 ทำการวัดความยาวของตัวอย่างทดสอบจำนวน 3 ตัวอย่าง ตามอายุเวลา 7, 28 และ 60 วัน โดยนับจากวันที่ปล่อยให้เกิดการหดตัวแห้ง สมการสำหรับการคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงของแท่งตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C157 มีดังนี้

$$\Delta L = \frac{L_t - L_0}{L_G} \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ ΔL คือ ร้อยละการเปลี่ยนแปลงความยาว ณ อายุใด ๆ

L_t คือ ค่าการวัดความยาวของคอนกรีตที่อายุใด ๆ (มิลลิเมตร)

L_0 คือ ค่าการวัดความยาวของคอนกรีตเริ่มต้น (มิลลิเมตร)

L_G คือ gage length (300 มิลลิเมตร).

ขั้นตอนการผลิตคอนกรีตมวลเบา

การทดสอบในปริภูมยานิพนธ์เป็นการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM และ มอก. ซึ่งเป็นมาตรฐานอ้างอิงการทดสอบที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน การทดสอบครั้งนี้ได้จัดเตรียมคอนกรีตมวลเบาที่มีส่วนผสมเป็นเถ้าลอยใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ และมีส่วนผสมเถ้าหนักแทนที่ทราย โดยนำเถ้าลอยและเถ้าหนักมาจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

1. ชั่งน้ำหนักปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ทราย เถ้าหนัก เถ้าลอย น้ำยาโพน้ำ ตาม อัตราส่วนที่กำหนดไว้ตามตาราง 8



ภาพ 25 ขั้นตอนชั่งน้ำหนักวัสดุ

2. ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ทราย เถ้าหนัก เถ้าลอย ด้วยเครื่องผสมคอนกรีตคลุกเคล้าให้เข้ากันประมาณ 1 - 2 นาที หรือดูว่าวัสดุภายในเครื่องผสมคอนกรีตคลุกเคล้าจนเป็นสีปูนซีเมนต์ แล้วจึงเติมน้ำสะอาด รอคลุกเคล้าให้เข้ากันประมาณ 1 - 2 นาที



ภาพ 26 ขั้นตอนเทวัสดุต่าง ๆ ลงในเครื่องผสม



ภาพ 27 ขั้นตอนเติมน้ำสะอาดเข้าเครื่องผสม



ภาพ 28 ขั้นตอนคลุกเคล้าให้เข้ากันประมาณ 1 - 2 นาที

3. ผสมน้ำยาโฟมกับน้ำสะอาดลงในเครื่องทำโฟม แล้วฉีดใส่เครื่องผสมคอนกรีต
คลุกเคล้าให้เข้ากัน



ภาพ 29 ขั้นตอน เทน้ำยาโฟมใส่เครื่องทำโฟม



ภาพ 30 ฉีดน้ำยาโฟมลงในเครื่องผสมคอนกรีต

4. เข้าแบบหล่อคอนกรีตขนาด $15 \times 15 \times 15$ ซม.³ แล้วทำการกระทุ้ง 3 ชั้น ชั้นละ 25 ครั้ง และนำพลาสติกคลุมเพื่อทำการบ่มเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
5. ทำการแกะคอนกรีตออกจากแบบหล่อและนำไปบ่มในอากาศเป็นเวลา 7 และ 28 วัน
6. ทำการทดสอบกำลังอัดตามมาตรฐาน มอก. โดยนำตัวอย่างคอนกรีตมวลเบา อายุ 7 และ 28 วัน ทั้ง 16 ส่วนผสม โดยมีจำนวนส่วนผสมละ 12 ก้อน ไปวัดขนาดพื้นที่รับแรงอัดอย่างละเอียดโดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ จากนั้นนำไปทดสอบและบันทึกค่ากำลังอัดที่ทำให้ชิ้นทดสอบวิบัติ



ภาพ 31 การทดสอบกำลังรับแรงอัด



ภาพ 32 ภาพทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน



ภาพ 33 การทดสอบวัดการหดตัวแบบแห้ง

บทที่ 4

ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ จะต้องทำการทดสอบ กำลังอัดของก้อนคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ และการดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐาน มอก. 2601 – 2553 และทำการทดสอบหาค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity) ซึ่งผลการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลักคือ ส่วนแรก กล่าวถึงผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ เช่น ความถ่วงจำเพาะ การดูดซึมน้ำของวัสดุต่าง ๆ ส่วนที่สองกล่าวถึงผลการทดสอบต่าง ๆ ของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ เช่น กำลังรับแรงอัดที่อายุต่าง ๆ ตามมาตรฐาน มอก. 2601-2553 และนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ ส่วนที่สาม กล่าวถึงการทดสอบการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกที่อัตราส่วนต่าง ๆ และนำผลที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์ด้วย และส่วนสุดท้ายจะเป็นการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการนำเถ้าลอยและเถ้าหนักมาแทนที่ในคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศตามอัตราส่วนที่ทำการทดสอบ โดยแต่ละส่วนจะอธิบายตามลำดับ ดังต่อไปนี้

1. คุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ ปูนซีเมนต์ ทราย เถ้าลอย และเถ้าหนัก
2. ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อก ตามมาตรฐาน มอก. 2601 – 2553 ค่ากำลังแรงอัดที่อายุการทดสอบต่าง ๆ และการดูดซึมน้ำ
3. การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ
4. ผลการทดสอบการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ
5. การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ
6. การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบผลการทดสอบการหดตัวแบบแห้ง
7. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอยและเถ้าหนัก

คุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ

จากการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุที่นำมาใช้ในการผสมคอนกรีตบล็อกมวลเบา โดยวัสดุชิ้นนี้ได้แก่ ปูนซีเมนต์ ทราย เถ้าลอย และเถ้าหนัก โดยผลการทดสอบออกมาดังนี้

ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่นำมาใช้ในการผสมครั้งนี้ เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยได้ทำการทดสอบคุณสมบัติ 2 ประเภท ดังนี้

1. หาค่าความถ่วงจำเพาะ โดยยึดตามมาตรฐาน ASTM C 188 – 95 จากการทดสอบพบว่า ค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ เท่ากับ 3.142
2. ทดสอบระยะเวลาการก่อตัว โดยยึดตามมาตรฐาน ASTM C 191 จากการทดสอบพบว่า ระยะเวลาการก่อตัว เท่ากับ 125 นาที

ทราย

ทรายที่นำมาใช้ในการผสมครั้งนี้ เป็นทรายมาจากจังหวัดพะเยา โดยยึดตามมาตรฐาน ASTM C 128 – 01 โดยได้ทำการทดสอบคุณสมบัติ 2 ประเภท ดังนี้

1. หาค่าความถ่วงจำเพาะ จากการทดสอบพบว่า ความถ่วงจำเพาะของทราย เท่ากับ 2.59 และการดูดซึมน้ำ เท่ากับ 1.48
2. หาขนาดคละโดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง จากการทดสอบพบว่า โมดูลัสความละเอียด เท่ากับ 2.28

เถ้าลอย

เถ้าก้นลอยที่นำมาใช้ในการผสมครั้งนี้ นำมาจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง โดยได้ทำการทดสอบคุณสมบัติ คือ

หาค่าความถ่วงจำเพาะ โดยยึดตามมาตรฐาน ASTM C 618 จากการทดสอบพบว่า ความถ่วงจำเพาะของเถ้าลอย เท่ากับ 2.40

เถ้าหนัก

เถ้าหนักที่นำมาใช้ในการผสมครั้งนี้ นำมาจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง โดยได้ทำการทดสอบคุณสมบัติ 2 ประเภท ดังนี้

1. หาค่าความถ่วงจำเพาะ โดยยึดตามมาตรฐาน ASTM C 188 – 95 จากการทดสอบพบว่า ความถ่วงจำเพาะของเถ้าหนัก เท่ากับ 2.31

2. หาขนาดคละโดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง จากการทดสอบพบว่า โมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 4.35

โดยคุณสมบัติต่าง ๆ อ้างอิงมาจากงานวิจัยเรื่อง การศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของเถ้าลอย และเถ้าหนักเพื่อใช้เป็นมวลรวมละเอียดในแอสฟัลต์คอนกรีต พบว่า เถ้าหนักมีลักษณะเป็นเม็ดหรือก้อนไม้แน่นอน ขนาดทั่วไปประมาณ 0.5 - 1.0 mm. และองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยและเถ้าหนักมีลักษณะดังนี้

องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอย

- SiO₂ 48.00 %
- Al₂O₃ 26.00 %
- Fe₂O₃ 10.00 %
- CaO 40.00 %
- MgO 2.00 %
- SO₃ 0.70 %
- ออกไซด์อื่น ๆ 3.3 %

องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าหนัก

- SiO₂ 38.17 %
- Al₂O₃ 28.24 %
- Fe₂O₃ 13.83 %
- CaO 11.37 %
- MgO 2.76 %
- K₂O 2.57 %
- Na₂O 0.68 %
- SO₃ 2.37 %

สัญลักษณ์ที่ใช้แทนตัวอย่างทดสอบ

งานวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดสัญลักษณ์ที่ใช้แทนส่วนผสมของคอนกรีตบดล็อกมวลเบาจีโอโพลิเมอร์แบบเติมฟองอากาศ ดังนี้



โดยที่ X₁X₁ หมายถึง ร้อยละการแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก

BA หมายถึง เถ้าหนัก

X_2X_2 หมายถึง ร้อยละการแทนที่เก้าลอยด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

FA หมายถึง เก้าลอย

ตัวอย่างในการอ่านสัญลักษณ์ เช่น 20BA – 10FA หมายถึง ตัวอย่างของคอนกรีตบดอัดมวลเบาแบบเต็มฟองอากาศที่มีการแทนที่ทรายด้วยเก้าหนักร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และมีการแทนที่เก้าลอยด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตบดอัดมวลเบาแบบเต็มฟองอากาศ

หลังจากที่ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของปูนซีเมนต์ ทราย เก้าลอย และเก้าหนัก เรียบร้อยแล้ว เมื่อนำวัสดุต่าง ๆ มาผสมในอัตราส่วนที่ได้คำนวณไว้ ทำการเทลงแบบทดสอบทรงลูกบาศก์ และทรงกระบอก และบ่มอากาศ 7 และ 28 วัน โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 2601 – 2556 ประกอบไปด้วย ทดสอบกำลังรับแรงอัด และการดูดซึมน้ำ

การทดสอบกำลังรับแรงอัด

ในการทดสอบกำลังรับแรงอัดนั้น จะทำการทดสอบคอนกรีตบดอัดมวลเบาแบบเต็มฟองอากาศที่ผสมเก้าหนักลอยในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 และผสมเก้าหนักในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 ที่อายุการบ่ม 7 และ 28 วัน ผลการทดสอบได้ค่ากำลังอัดดังตารางต่อไปนี้



ตาราง 12 กำลังแรงอัดของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศที่ผสมเถ้าลอย และเถ้าหนักในอัตราส่วนต่าง ๆ

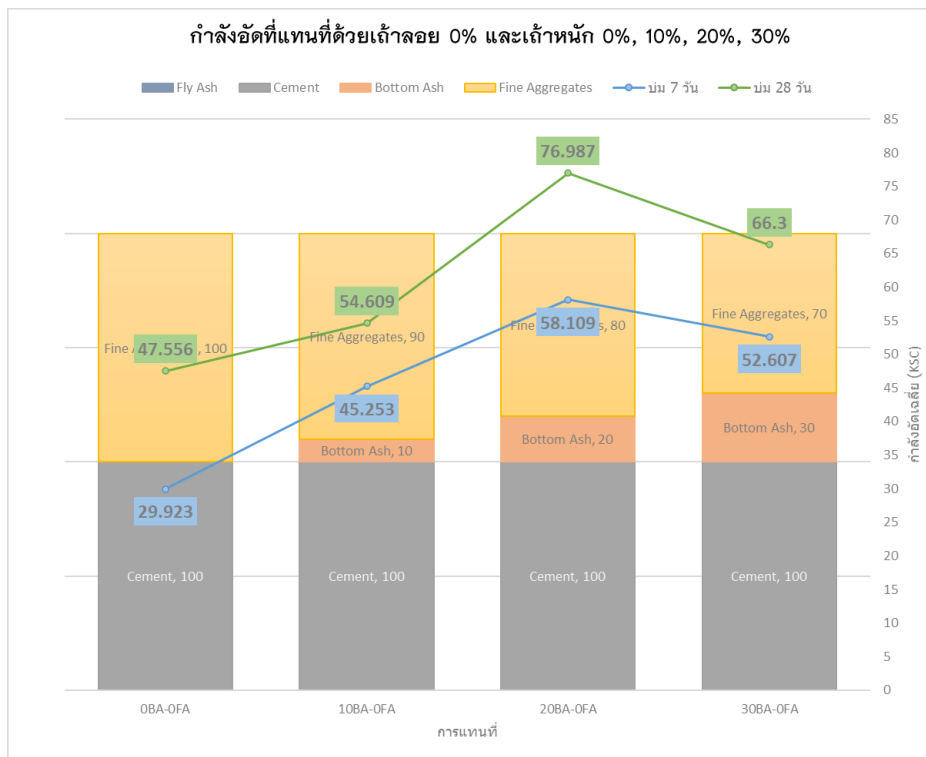
การแทนที่	กำลังอัดเฉลี่ย (ksc)		ความหนาแน่น (Kg/m ³)
	บ่ม 7 วัน	บ่ม 28 วัน	
OBA-OFA	29.923	47.556	1085.64
10BA-OFA	45.253	54.609	1032.79
20BA-OFA	58.109	76.987	1008.99
30BA-OFA	52.607	66.300	1099.32
OBA-10FA	37.432	47.736	1055.74
10BA-10FA	26.904	32.678	1022.98
20BA-10FA	48.165	67.704	1093.84
30BA-10FA	41.646	47.586	987.86
OBA-20FA	41.053	57.899	1016.94
10BA-20FA	32.844	46.030	1082.44
20BA-20FA	43.844	51.061	1074.96
30BA-20FA	47.737	60.956	1026.29
OBA-30FA	35.022	55.761	1090.19
10BA-30FA	30.050	46.724	1077.12
20BA-30FA	44.363	53.265	1005.79
30BA-30FA	33.841	51.670	1031.22

หมายเหตุ : X₁BA-X₂FA

X₁, X₂ = ร้อยละการแทนที่

BA = Bottom ash

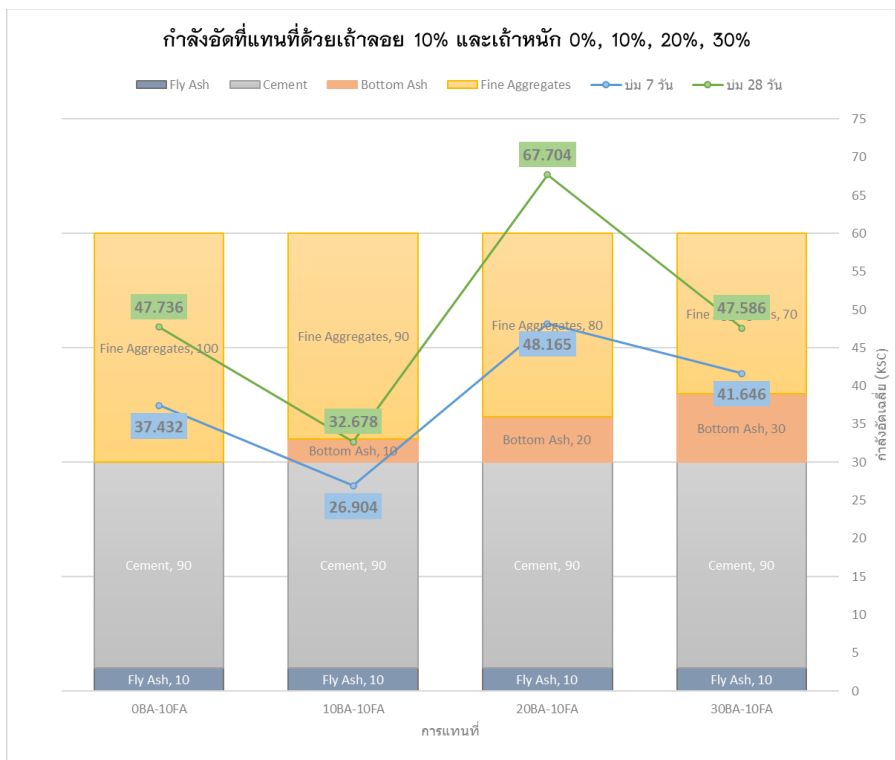
FA = Fry ash



ภาพ 34 แสดงค่ากำลังอัดที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย 0% และเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30%

จากภาพที่ 34 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศ ที่ค่าความหนาแน่น $1100 \pm 50 \text{ kg/m}^3$ ที่การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอย 0% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30% จะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างทดสอบที่อายุการบ่ม 7 วัน และ 28 วัน มีการพัฒนากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการแทนที่เถ้าหนักด้วยทรายเพิ่มขึ้นในแต่ละอัตราส่วนผสม โดยที่การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอย 0% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 20% จะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงอัดมีค่ามากที่สุด เมื่อเทียบกับคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศที่ไม่มีการแทนที่เถ้าหนัก มีการพัฒนากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น 100 เปอร์เซ็นต์ ที่อายุการบ่มจาก 7 วันและมีการพัฒนา กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น 60 เปอร์เซ็นต์ ที่อายุการบ่มจาก 28 วัน และพบว่า การแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนักบางส่วนในอัตราส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก จะมีกำลังอัดลดลงกว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอย 0% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 20% ที่อายุการบ่ม 7 วัน

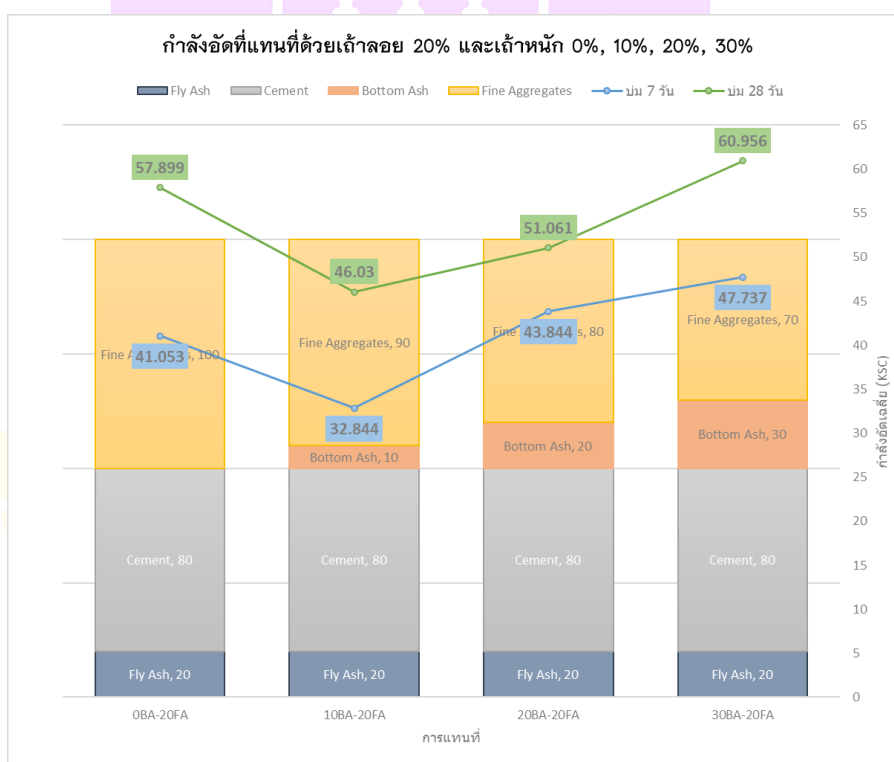
และ 28 วัน แต่ยังคงมากกว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอย 0% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 0%



ภาพ 35 แสดงค่ากำลังอัดที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย 10% และเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30%

จากภาพที่ 35 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มฟองอากาศ ที่ค่าความหนาแน่น $1100 \pm 50 \text{ kg/m}^3$ ที่การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอย 10% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30% จะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างทดสอบที่อายุการบ่ม 7 วัน และ 28 วัน มีการพัฒนากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการแทนที่เถ้าหนักด้วยทรายเพิ่มขึ้นในแต่ละอัตราส่วนผสม โดยที่การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอย 10% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 10% จะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงอัดมีผลลดลงอาจเกิดขึ้นจากการแทนที่ของเถ้าลอยและเถ้าหนักมีค่าน้อยเกินไปทำให้เกิดผลเสียต่อการพัฒนากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มฟองอากาศ เมื่อเทียบกับคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มฟองอากาศที่ไม่มีการแทนที่เถ้าหนัก โดยที่การแทนที่

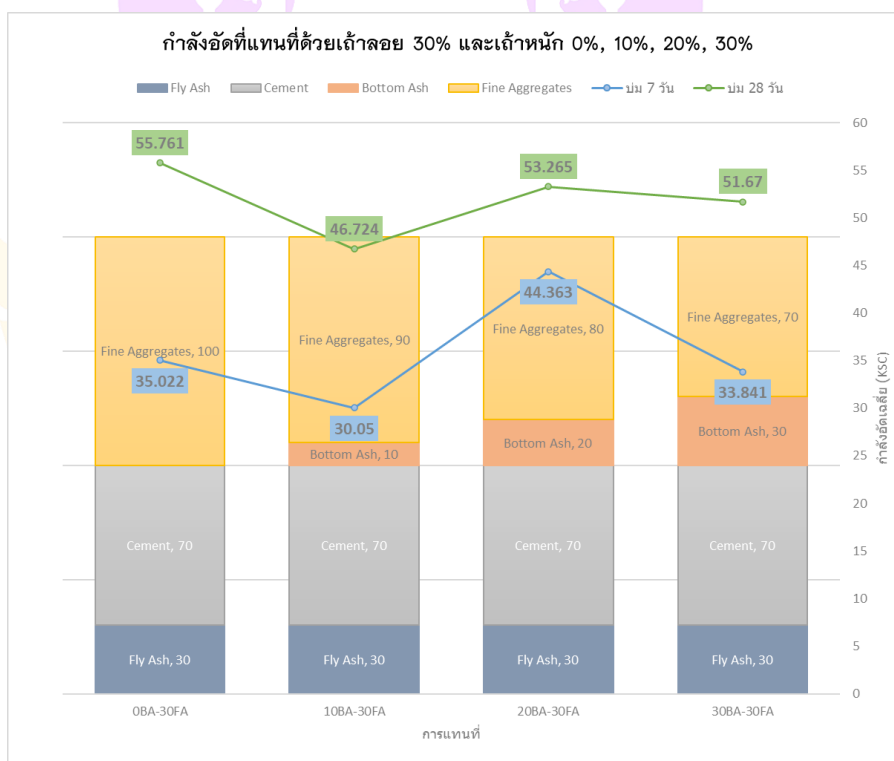
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอย 10% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 20% จะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงอัด และ ร ี บ แ ร ง ร ี ง อ ั ด มีค่ามากที่สุด เมื่อเทียบกับคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มฟองอากาศที่ไม่มีการแทนที่เถ้าหนัก มีการพัฒนากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น 28 เปอร์เซ็นต์ ที่อายุการบ่มจาก 7 วันและมีการพัฒนากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น 42 เปอร์เซ็นต์ ที่อายุการบ่มจาก 28 วัน และพบว่า การแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนักบางส่วนในอัตราส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก จะมีกำลังอัดลดลงกว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอย 0% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 20% ที่อายุการบ่ม 7 วันและ 28 วัน แต่ยังคงมากกว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอย 0% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 0%



ภาพ 36 แสดงค่ากำลังอัดที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย 20% และเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30%

จากภาพที่ 36 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มฟองอากาศ ที่ค่าความหนาแน่น $1100 \pm 50 \text{ kg/m}^3$ ที่การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วย

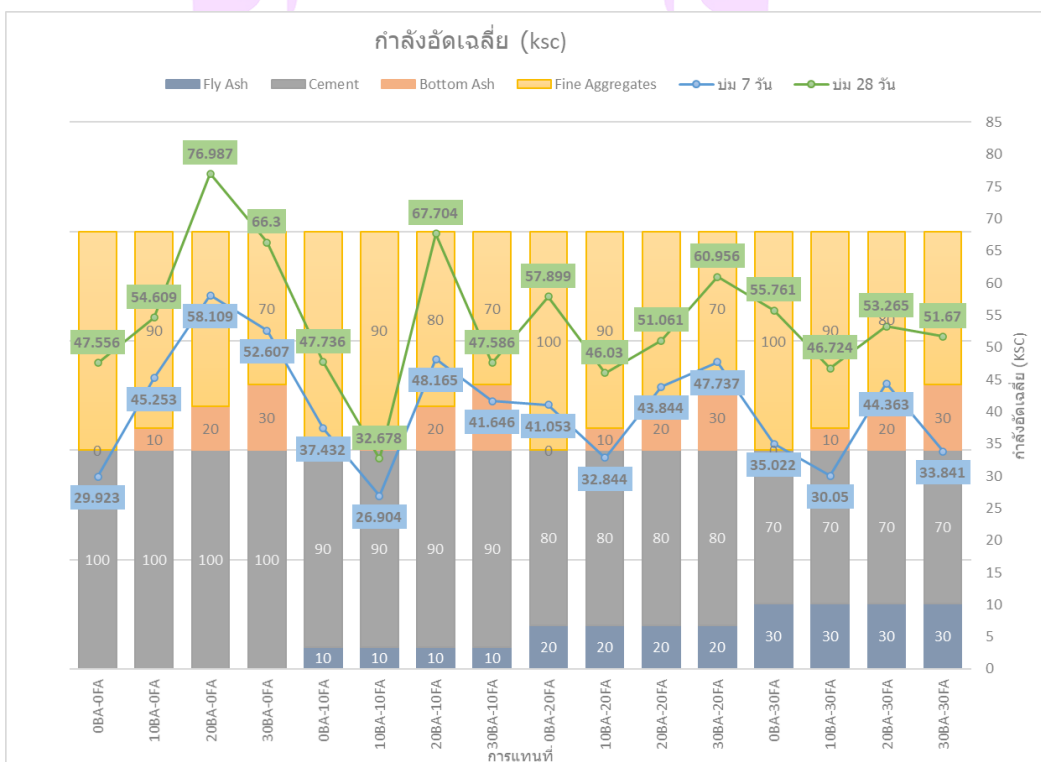
เถ้าลอย 20% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30% จะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างทดสอบที่อายุการบ่ม 7 วัน และ 28 วัน มีการพัฒนากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการแทนที่เถ้าหนักด้วยทรายเพิ่มขึ้นในแต่ละอัตราส่วนผสม โดยที่การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอย 10% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 10%, 20% จะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงอัดมีผลลดลงอาจเกิดขึ้นจากการแทนที่ของเถ้าลอยและเถ้าหนักมีค่าน้อยเกินไปทำให้เกิดผลเสียต่อการพัฒนากำลังการรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศเมื่อเทียบกับคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศที่ไม่มีการแทนที่เถ้าหนัก โดยที่การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอย 20% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 30% จะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงอัดมีค่ามากที่สุด เมื่อเทียบกับคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศที่ไม่มีการแทนที่เถ้าหนัก มีการพัฒนากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น 15 เปอร์เซ็นต์ ที่อายุการบ่มจาก 7 วัน และมีการพัฒนากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น 5 เปอร์เซ็นต์ ที่อายุการบ่มจาก 28 วัน



ภาพ 37 แสดงค่ากำลังอัดที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย 30% และเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30%

จากภาพที่ 37 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็ม
 พองอากาศ ที่ค่าความหนาแน่น $1100 \pm 50 \text{ kg/m}^3$ ที่การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วย
 etailoy 30% และแทนที่ทรายด้วยเ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30% จะเห็นได้ว่ากำลังรับ
 แรงอัดของตัวอย่างทดสอบที่อายุการบ่ม 7 วัน และ 28 วัน มีการพัฒนากำลังรับแรงอัดลดลง

การแทนที่เ้าหนักด้วยทรายขึ้นในแต่ละอัตราส่วนผสมโดยที่การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
 ด้วยetailoy 30% และแทนที่ทรายด้วยเ้าหนัก 0% จะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงอัดมากกว่า
 การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยetailoy 30% และแทนที่ทรายด้วยเ้าหนัก 0%, 10%,
 20% และ 30% อาจเกิดขึ้นจากการแทนที่ของetailoy ที่ 30% ทำให้เกิดทำเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน
 ที่มากพอกับปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาช้ากว่า
 จึงช่วยพัฒนาการรับกำลังอัดให้แก่คอนกรีตได้ดีกว่า และเมื่อนำเ้าหนักมาแทนที่ทราย
 เพื่อเป็นวัสดุบ่มภายใน (Internal curing) ซึ่งช่วยลดการสูญเสียน้ำจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน
 จึงไม่สามารถพัฒนากำลังการรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศ
 เมื่อเทียบกับคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศที่ไม่มีการแทนที่เ้าหนัก



ภาพ 38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัด

โดยเฉลี่ยกับอัตราส่วนผสมที่มีการแทนที่

จากภาพ 38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดโดยเฉลี่ยกับอัตราส่วนผสมที่มีการแทนที่จะเห็นได้ว่า ค่ากำลังอัดโดยเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศที่มีการแทนที่ของเถ้าลอยและเถ้าหนักที่ส่วนผสมเดียวกันจะรับกำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการแทนที่ของเถ้าลอยและเถ้าหนักสามารถช่วยให้การรับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศที่มีการแทนที่ของเถ้าลอยและเถ้าหนักได้ดีกว่า คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศที่ไม่มีการแทนที่ของเถ้าลอยและเถ้าหนัก (ส่วนผสมที่ 1) ยกเว้นส่วนผสมที่ 6 ซึ่งเห็นได้ว่าคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศที่มีการแทนที่ของเถ้าลอยและเถ้าหนักส่วนผสมนี้กำลังรับแรงอัดน้อยกว่าส่วนผสมที่ 1 ซึ่งอาจเป็นเพราะ มีอัตราส่วนการแทนที่ที่ไม่เหมาะสม และกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศเป็นไปตาม มาตรฐาน มอก. 2601 – 2556 ซึ่งกำหนดไว้ว่าไม่ควรจะต่ำกว่า 25 กก/ซม² ดังนั้นถ้าต้องการผสมเถ้าลอยและเถ้าหนักในคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศควรจะผสมเถ้าลอยไม่เกิน 30% และผสมเถ้าหนักไม่เกิน 30% โดยน้ำหนัก

การดูดซึมน้ำ

เมื่อนำคอนกรีตบล็อกไปทดสอบการดูดซึมน้ำ จะได้ผลดังตารางต่อไปนี้

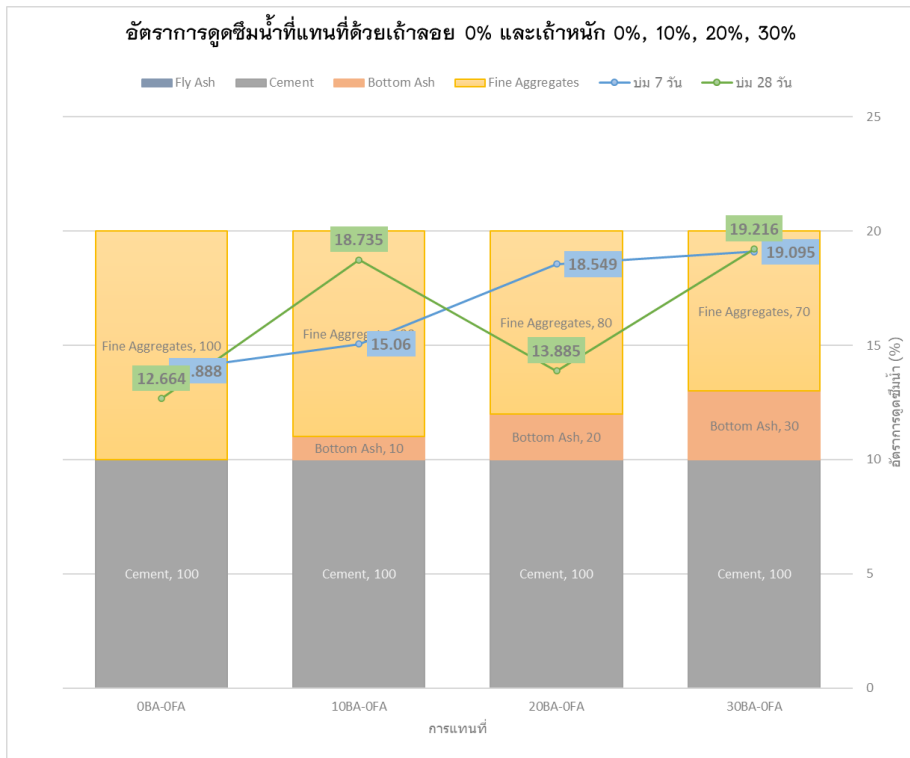
ตาราง 13 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศที่ผสมเถ้าลอยและเถ้าหนักในอัตราส่วนต่าง ๆ

การแทนที่	อัตราการดูดซึมน้ำ (%)		ความหนาแน่น (kg/m ³)
	บ่ม 7 วัน	บ่ม 28 วัน	
OBA-OFA	13.888	12.664	1085.64
10BA-OFA	15.060	18.735	1032.79
20BA-OFA	18.549	13.885	1008.99
30BA-OFA	19.095	19.216	1099.32
OBA-10FA	15.773	11.757	1055.74

10BA-10FA	17.408	20.380	1022.98
20BA-10FA	19.309	14.730	1093.84
30BA-10FA	21.172	21.275	987.86
OBA-20FA	15.472	12.809	1016.94
10BA-20FA	14.346	18.770	1082.44
20BA-20FA	16.547	18.703	1074.96
30BA-20FA	12.768	17.123	1026.29

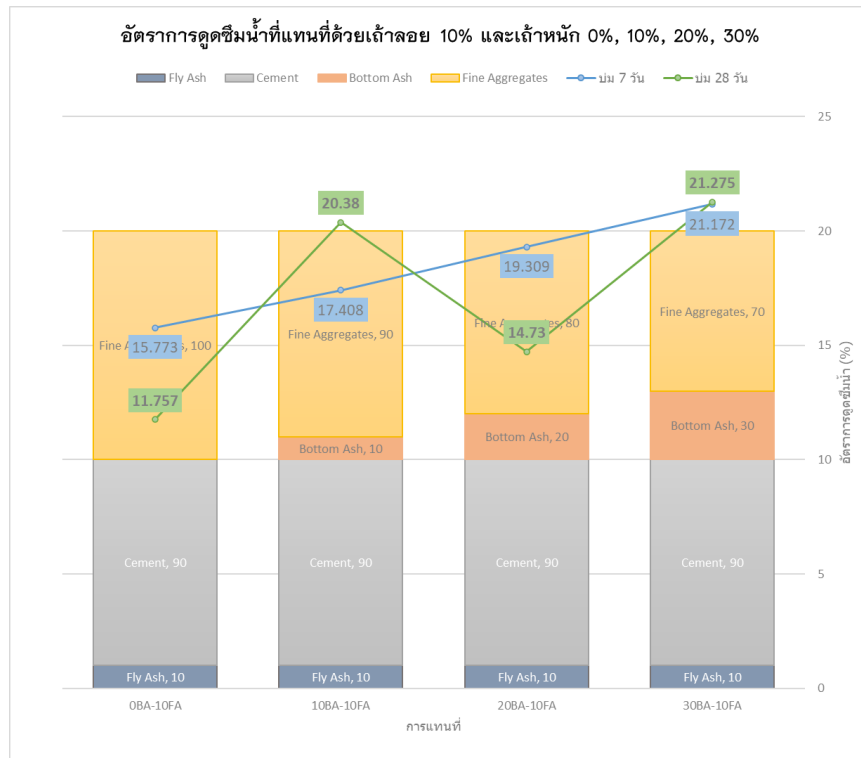
ตาราง 14 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศที่ผสมเถ้าลอย และเถ้าหนักในอัตราส่วนต่าง ๆ (ต่อ)

การแทนที่	อัตราการดูดซึมน้ำ (%)		ความหนาแน่น (kg/m ³)
	บ่ม 7 วัน	บ่ม 28 วัน	
OBA-30FA	15.421	13.676	1090.19
10BA-30FA	13.139	17.521	1077.12
20BA-30FA	14.424	18.846	1005.79
30BA-30FA	15.392	18.307	1031.22



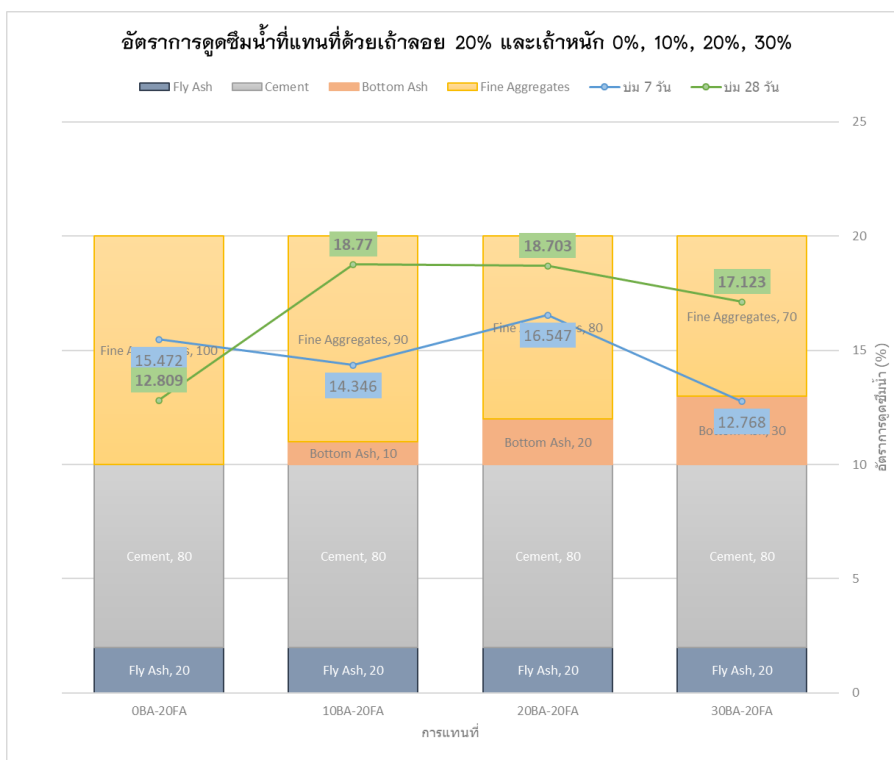
ภาพ 39 อัตราการดูดซึมน้ำที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย 0% และเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30%

จากภาพที่ 39 การทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มฟองอากาศ ที่ค่าความหนาแน่น $1100 \pm 50 \text{ kg/m}^3$ ที่การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอย 0% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30% จะเห็นได้ว่าอัตราการดูดซึมน้ำของตัวอย่างทดสอบที่อายุการบ่ม 7 วัน และ 28 วัน มีอัตราการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการแทนที่เถ้าหนักด้วยทรายเพิ่มขึ้นในแต่ละอัตราส่วนผสม โดยที่ การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอย 0% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 30% จะเห็นได้ว่าอัตราการดูดซึมน้ำมากที่สุด อาจเกิดขึ้นจากการแทนที่ของเถ้าหนักแทนที่ทรายเพื่อเป็นวัสดุบ่มภายใน (Internal curing) ซึ่งช่วยลดการสูญเสียน้ำจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน และทำให้มีอัตราการดูดซึมน้ำที่มากขึ้น ที่อายุการบ่ม 7 วันและ 28 วัน



ภาพ 40 อัตราการดูดซึมน้ำที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย 10% และเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30%

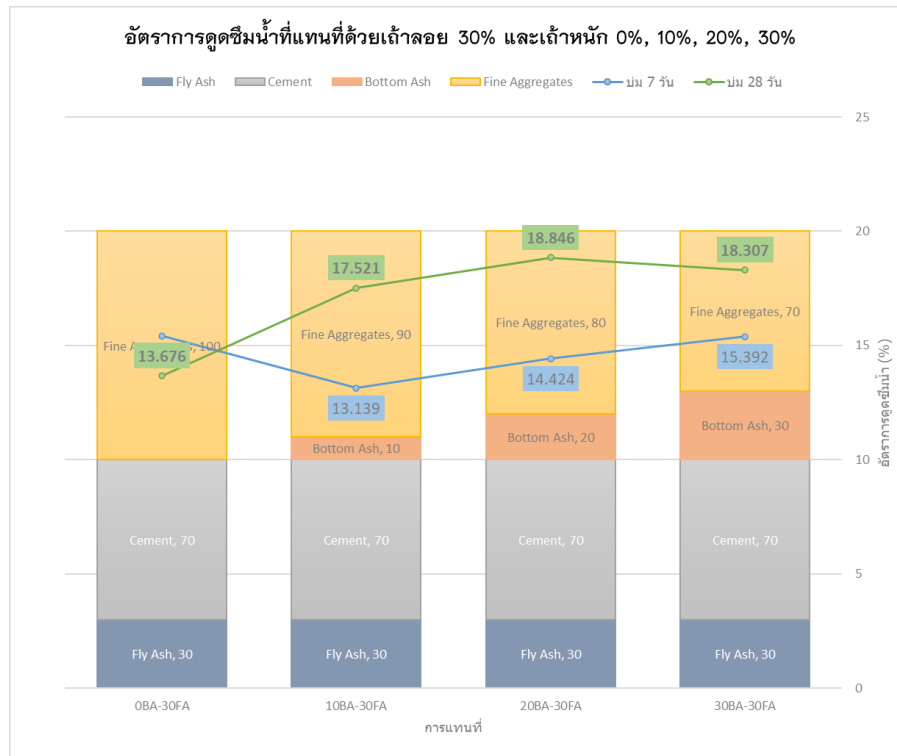
จากภาพที่ 40 การทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตปลั๊กมวลเบาแบบเต็มฟองอากาศ ที่ค่าความหนาแน่น $1100 \pm 50 \text{ kg/m}^3$ ที่การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอย 0% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30% จะเห็นได้ว่าอัตราการดูดซึมน้ำของตัวอย่างทดสอบที่อายุการบ่ม 7 วัน และ 28 วัน มีอัตราการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการแทนที่เถ้าหนักด้วยทรายเพิ่มขึ้นในแต่ละอัตราส่วนผสม โดยที่การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอย 0% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 30% จะเห็นได้ว่าอัตราการดูดซึมน้ำมากที่สุด อาจเกิดขึ้นจากการแทนที่ของเถ้าหนักแทนที่ทรายเพื่อเป็นวัสดุบ่มภายใน (Internal curing) ซึ่งช่วยลดการสูญเสียน้ำจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน และทำให้มีอัตราการดูดซึมน้ำที่มากขึ้น ที่อายุการบ่ม 7 วันและ 28 วัน



ภาพ 41 อัตราการดูดซึมน้ำที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย 20% และเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30%

จากภาพที่ 41 การทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็ม ฟองอากาศ ที่ค่าความหนาแน่น $1100 \pm 50 \text{ kg/m}^3$ ที่การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วย เถ้าลอย 20% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30% จะเห็นได้ว่าอัตราการดูดซึมน้ำของตัวอย่างทดสอบที่อายุการบ่ม 7 วัน และ 28 วัน มีอัตราการดูดซึมน้ำลดลง เมื่อมีการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอย 20% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 10% และเมื่อมีอัตราส่วนการแทนที่เถ้าหนักด้วยทรายเพิ่มขึ้นโดยที่การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ด้วยเถ้าลอย 0% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 20%, 30% จะเห็นได้ว่าอัตราการดูดซึมน้ำมากที่สุด เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนและมีอัตราการดูดซึมน้ำที่มากที่สุดเมื่อมีการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ด้วยเถ้าลอย 20% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 30% อาจเกิดขึ้นจากการแทนที่ของเถ้าหนัก ในปริมาณที่มากพอแทนที่ทรายเพื่อเป็นวัสดุบ่มภายใน (Internal curing) ซึ่งช่วยลดการสูญเสียน้ำจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน และทำให้มีอัตราการดูดซึมน้ำที่เพิ่ม ที่อายุการบ่ม 7 วันและ 28 วัน

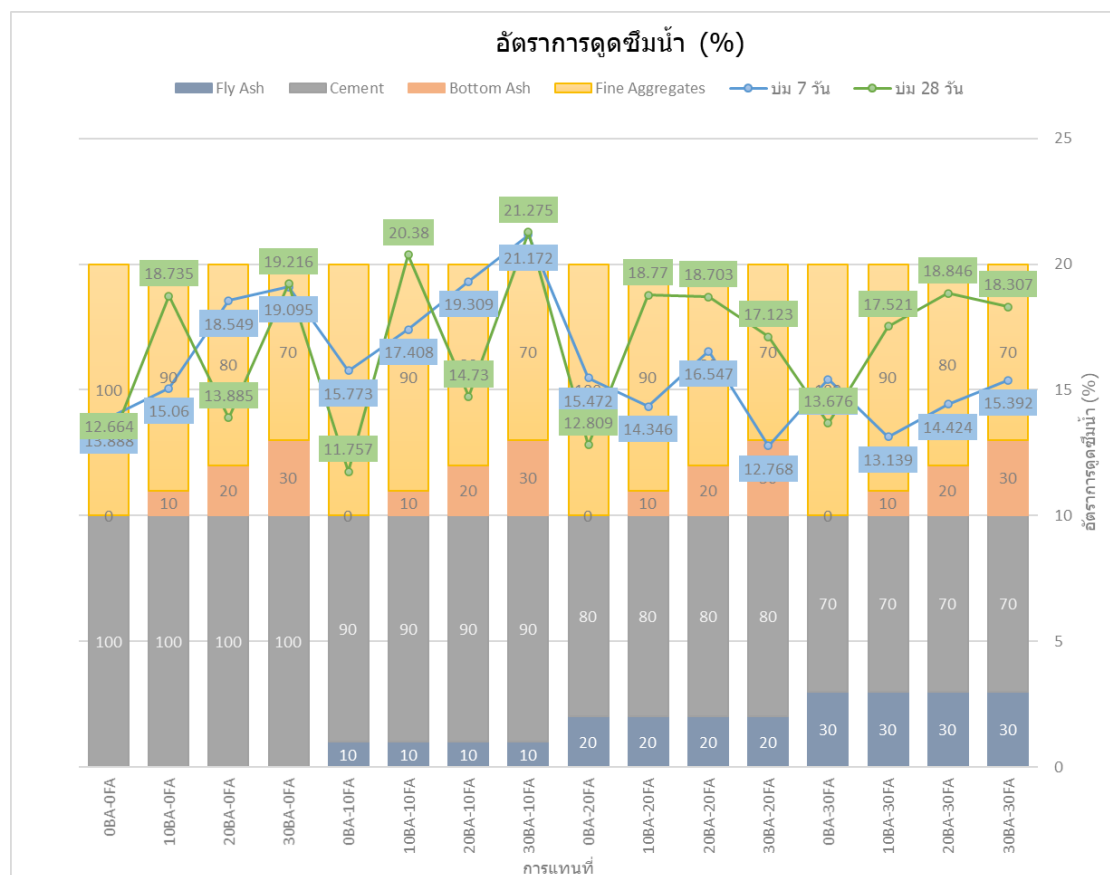
แต่ยังมากกว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอย 20% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 0%



ภาพ 42 อัตราการดูดซึมน้ำที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย 30% และเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30%

จากภาพที่ 42 การทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มฟองอากาศ ที่ค่าความหนาแน่น $1100 \pm 50 \text{ kg/m}^3$ ที่การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอย 30% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30% จะเห็นได้ว่าอัตราการดูดซึมน้ำของตัวอย่างทดสอบที่อายุการบ่ม 7 วัน และ 28 วัน มีอัตราการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อมีการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอย 30% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 10%, 20% และเมื่อมีอัตราส่วนการแทนที่เถ้าหนักด้วยทรายเพิ่มขึ้นโดยที่การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอย 0% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 30% จะเห็นได้ว่าอัตราการดูดซึมน้ำลดลง อาจเกิดขึ้นจากการแทนที่ของเถ้าหนักในปริมาณที่มากพอแทนที่ทรายเพื่อเป็นวัสดุบ่มภายใน (Internal curing) ซึ่งช่วยลดการสูญเสียน้ำจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน และทำให้มีอัตราการ

ดูดซึมน้ำที่เพิ่ม ที่อายุการบ่ม 7 วันและ 28 วัน แต่ยิ่งมากกว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ด้วยเถ้าลอย 30% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 0%



ภาพ 43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมน้ำกับอัตราส่วนผสมที่มีการแทนที่

จากข้อมูลกราฟจะเห็นได้ว่า ร้อยละอัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศที่มีการแทนที่ของเถ้าลอยและเถ้าหนักทุกอัตราส่วนจะอยู่ในช่วง 11 - 21 ในขณะที่คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศที่ไม่มีการแทนที่จะมีค่าร้อยละอัตราการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วง 12 - 14 ซึ่งจะสังเกตได้ว่าคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศที่ไม่มีการแทนที่มีอัตราการดูดซึมน้ำน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศที่มีการแทนที่ อย่างไรก็ตามทุกอัตราส่วนการแทนที่มีอัตราการดูดซึมน้ำน้อยกว่าร้อยละ 23 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่มาตรฐาน มอก. 2601 - 2556 ได้กำหนดไว้สำหรับเปอร์เซ็นต์การแทนที่ที่เหมาะสมควรจะผสมเถ้าลอยและเถ้าหนักในคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศควรผสมเถ้า

ล้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ไม่เกินร้อยละ 30 และผสมเถ้าหนักแทนที่ทรายไม่เกินร้อยละ 30 โดย
น้ำหนัก

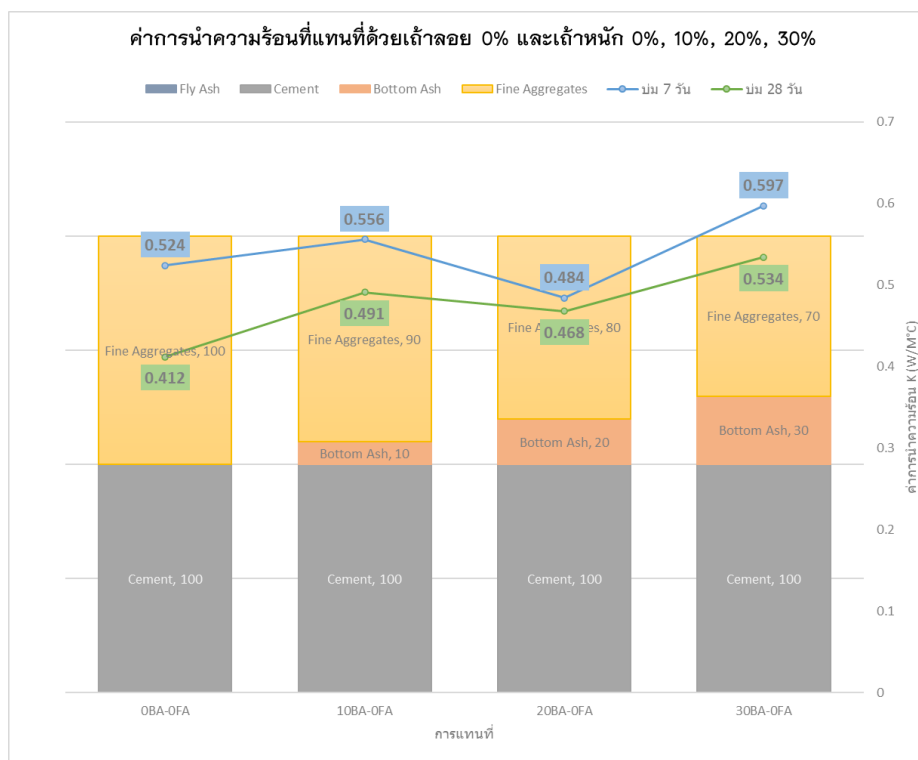
ผลการทดสอบการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มฟองอากาศ

ผลการทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มฟองอากาศที่มีการแทนที่ด้วยเถ้าลอยและเถ้าหนัก จะใช้ตัวอย่างทดสอบที่มีลักษณะทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 10 x 20 เซนติเมตร โดยผลการทดสอบได้ดังตาราง



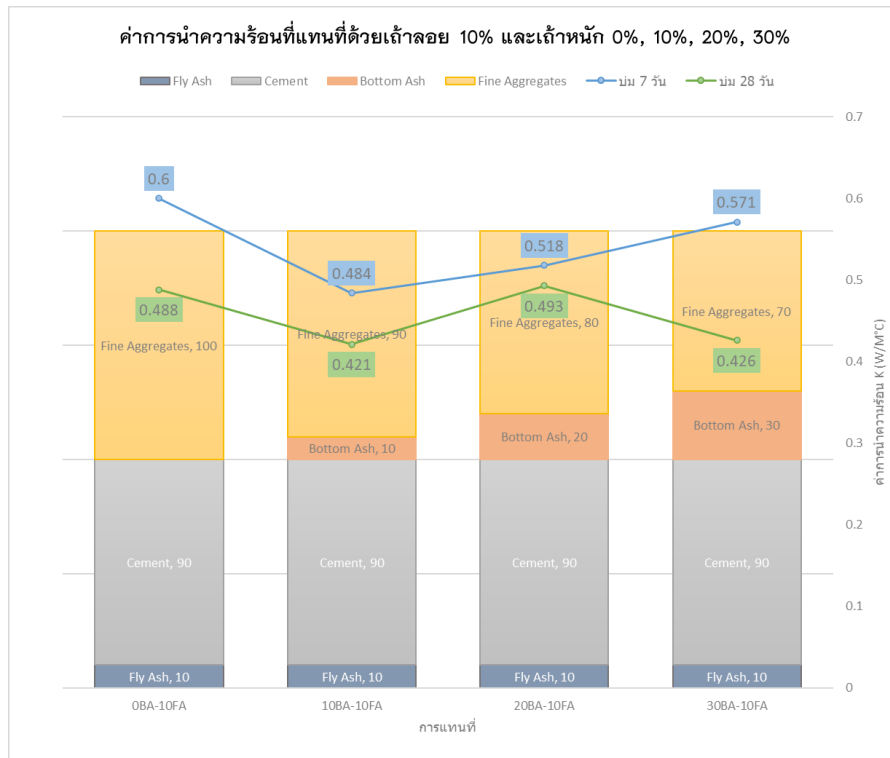
ตาราง 15 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ
ที่มีการแทนที่ด้วยเถ้าลอยและเถ้าหนัก

การแทนที่	ค่าการนำความร้อน K (w/m°C)		ความหนาแน่น (kg/m ³)
	บ่ม 7 วัน	บ่ม 28 วัน	
OBA-OFA	0.524	0.412	1085.64
10BA-OFA	0.556	0.491	1032.79
20BA-OFA	0.484	0.468	1008.99
30BA-OFA	0.597	0.534	1099.32
OBA-10FA	0.600	0.488	1055.74
10BA-10FA	0.484	0.421	1022.98
20BA-10FA	0.518	0.493	1093.84
30BA-10FA	0.571	0.426	987.86
OBA-20FA	0.588	0.504	1016.94
10BA-20FA	0.536	0.458	1082.44
20BA-20FA	0.453	0.452	1074.96
30BA-20FA	0.450	0.429	1026.29
OBA-30FA	0.568	0.523	1090.19
10BA-30FA	0.551	0.428	1077.12
20BA-30FA	0.450	0.399	1005.79
30BA-30FA	0.421	0.418	1031.22



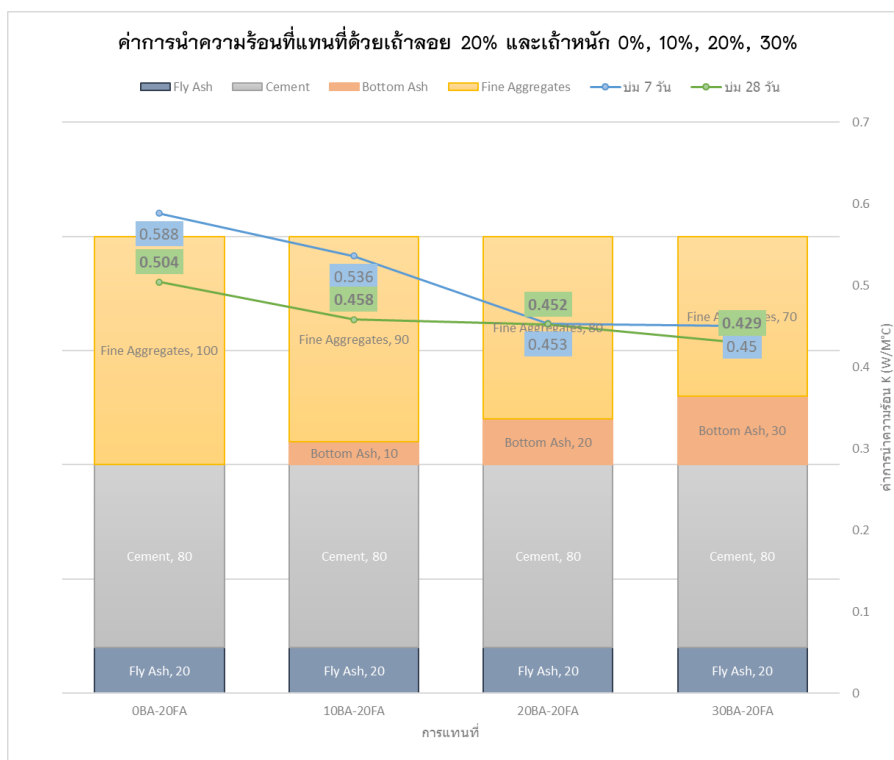
ภาพ 44 แสดงค่าการนำความร้อนที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย 0% และเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30%

จากภาพที่ 44 การทดสอบหาค่าการนำความร้อน (K) (w/m.°C) ที่ค่าความหนาแน่น $1100 \pm 50 \text{ kg/m}^3$ ที่การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอย 30% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30% ของอลูมิเนียมซิลิเกตแบบเติมฟองอากาศ จะเห็นได้ว่า ค่าการนำความร้อน (K) (w/m.°C) ของตัวอย่างทดสอบที่อายุการบ่ม 7 วัน และ 28 วัน มีค่าการนำความร้อน (K) (w/m.°C) เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการแทนที่เถ้าลอยด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วน และอัตราส่วนการแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนักบางส่วนเพิ่มมีค่าการนำความร้อน (K) (w/m.°C) เพิ่มขึ้น และพบว่าการแทนที่เถ้าลอยด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 0% การแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนักบางส่วน 0% โดยน้ำหนัก มีให้ค่าการนำความร้อน (K) (w/m.°C) ต่ำสุด ที่อายุการบ่ม 28 วัน โดยมีค่าการนำความร้อน (K) (w/m.°C) ที่อายุการบ่มจาก 7 วัน เป็น 28 วัน และมีค่าการนำความร้อน (K) (w/m.°C) เพิ่มขึ้น ของการแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนักบางส่วนในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักให้ค่าการนำความร้อน (K) (w/m.°C) เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเถ้าหนักแทนที่ในทราย



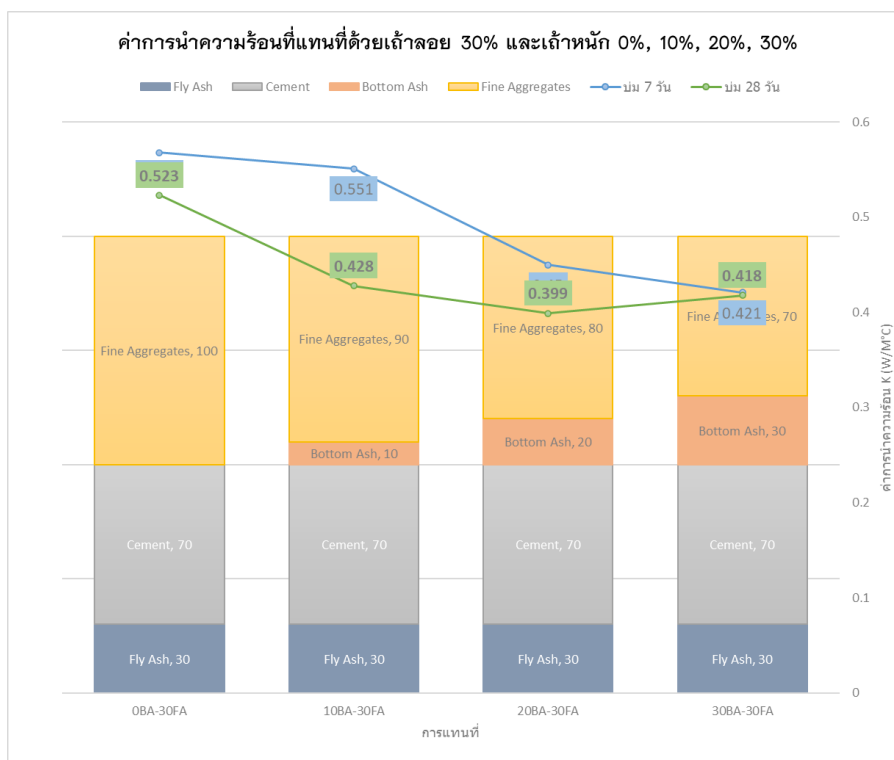
ภาพ 45 แสดงค่าการนำความร้อนที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย 10% และเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30%

จากภาพที่ 45 การทดสอบหาค่าการนำความร้อน (K) (w/m.°C) ที่ค่าความหนาแน่น $1100 \pm 50 \text{ kg/m}^3$ ที่การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอย 10% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30% ของอลูมิโนซิลิเกตแบบเต็มฟองอากาศ จะเห็นได้ว่า ค่าการนำความร้อน (K) (w/m.°C) ของตัวอย่างทดสอบที่อายุการบ่ม 7 วัน และ 28 วัน มีค่าการนำความร้อน (K) (w/m.°C) ลดลงเมื่อมีการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอย 10% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 10% และมีค่าการนำความร้อน (K) (w/m.°C) เพิ่มขึ้นเมื่อมีการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอย 10% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 20% ตามอัตราส่วนการแทนที่เถ้าหนัก และพบว่า การแทนที่เถ้าลอยด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 10% การแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 10% โดยน้ำหนัก มีให้ค่าการนำความร้อน (K) (w/m.°C) ต่ำสุด ที่อายุการบ่ม 28 วัน



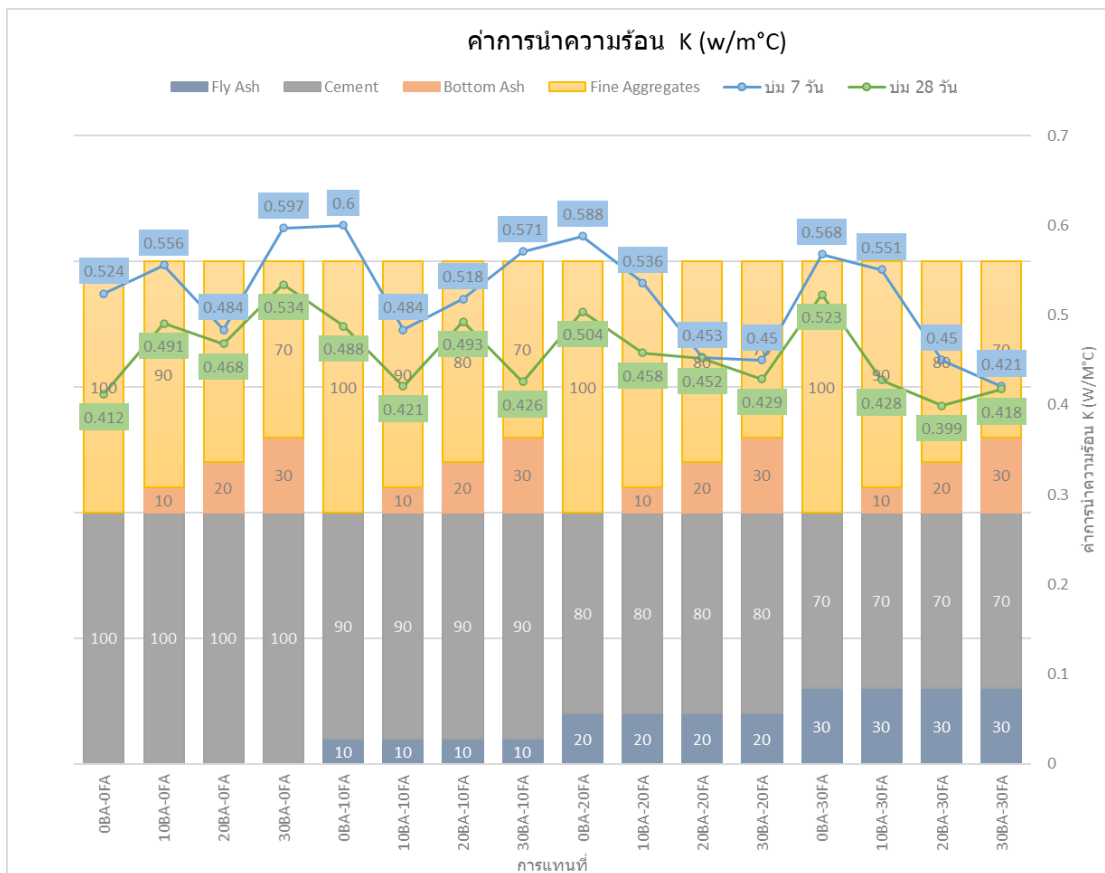
ภาพ 46 แสดงค่าการนำความร้อนที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย 20% และเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30%

จากภาพที่ 46 การทดสอบหาค่าการนำความร้อน (K) (w/m.°C) ที่ค่าความหนาแน่น $1100 \pm 50 \text{ kg/m}^3$ ที่การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอย 20% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30% ของอิฐมวลเบาแบบเต็มฟองอากาศ จะเห็นได้ว่า ค่าการนำความร้อน (K) (w/m.°C) ของตัวอย่างทดสอบที่อายุการบ่ม 7 วัน และ 28 วัน มีค่าการนำความร้อน (K) (w/m.°C) ลดลงตามอัตราส่วนการแทนที่เถ้าลอยด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 20% และอัตราส่วนการแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 10%, 20%, 30% มีค่าการนำความร้อน (K) (w/m.°C) ลดลงและพบว่า การแทนที่เถ้าลอยด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 20% การแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนักบางส่วน 30% โดยน้ำหนัก มีค่าการนำความร้อน (K) (w/m.°C) ต่ำสุด ที่อายุการบ่มจาก 7 วัน เป็น 28 วัน



ภาพ 47 แสดงค่าการนำความร้อนที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย 30% และเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30%

จากภาพที่ 47 การทดสอบหาค่าการนำความร้อน (K) (w/m.°C) ที่ค่าความหนาแน่น $1100 \pm 50 \text{ kg/m}^3$ ที่การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอย 30% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30% ของอลูมิเนียมเบาแบบเต็มฟองอากาศ จะเห็นได้ว่าค่าการนำความร้อน (K) (w/m.°C) ของตัวอย่างทดสอบที่อายุการบ่ม 7 วัน และ 28 วัน มีค่าการนำความร้อน (K) (w/m.°C) ลดลงตามอัตราส่วนการแทนที่เถ้าลอยด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 30% และอัตราส่วนการแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 10%, 20%, 30% มีค่าการนำความร้อน (K) (w/m.°C) ลดลงและพบว่าการแทนที่เถ้าลอยด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 20% การแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนักบางส่วน 30% โดยน้ำหนัก มีค่าการนำความร้อน (K) (w/m.°C) ต่ำสุด ที่อายุการบ่มจาก 7 วัน เป็น 28 วัน



**ภาพ 48 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำความร้อน
กับอัตราส่วนผสมที่มีการแทนที่**

จากภาพ 48 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำความร้อนกับอัตราส่วนผสมที่มีการแทนที่ ข้อมูลกราฟจะเห็นได้ว่า ค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศที่มีการแทนที่ของเถ้าลอยและเถ้าหนักทุกอัตราส่วนมีค่าการนำความร้อนสูงกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไปที่ไม่มีมีการแทนที่ และที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน คอนกรีตบล็อกมวลเบาที่มีการแทนที่มีค่าการนำความร้อนที่สูง เนื่องจากระยะเวลาการบ่มที่ 7 วัน เป็นช่วงเวลาที่สั้นเกินไป คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศที่มีการแทนที่ยังพัฒนาได้ไม่เต็มที่ น้ำที่อยู่ในคอนกรีตบล็อกมวลเบายังทำปฏิกิริยาได้ไม่เต็มที่ จึงทำให้ค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศที่มีการแทนที่มีค่าการนำความร้อนสูงกว่าคอนกรีตบล็อกมวลเบาที่ไม่มีมีการแทนที่

ผลการทดสอบการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ

จากการนำถ้ำลอมมาแทนที่ปูนซีเมนต์ และถ้ำหนักมาแทนที่ทรายบางส่วนในคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศจะเห็นได้ว่า ค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกที่มีการแทนที่มีค่าสูงกว่าคอนกรีตบล็อกที่ไม่มีการแทนที่ แสดงให้เห็นว่า ถ้ำลอม และถ้ำหนักสามารถเป็นวัสดุที่ใช้แทนที่ปูนซีเมนต์และทรายบางส่วนได้ดีและค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกก็จะต่ำลงหากใช้ในอัตราส่วนการแทนที่ที่เหมาะสม

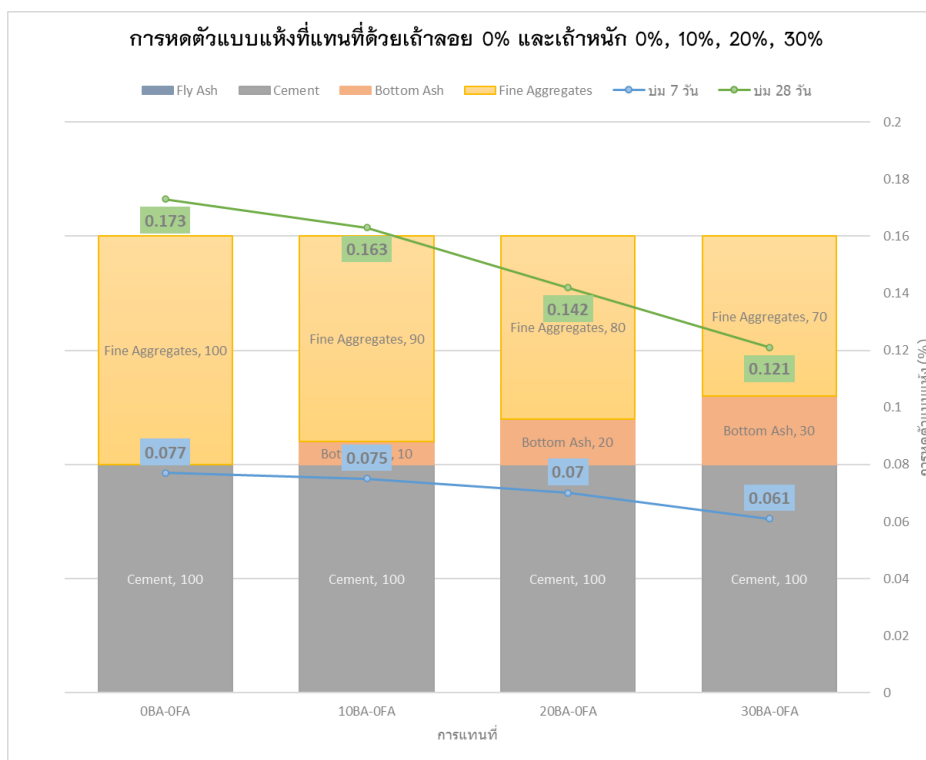
ผลการทดสอบการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ

ในการทดสอบการหดตัวแบบแห้งจะทำการทดสอบคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศที่ผสมถ้ำกันลอมในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 และผสมถ้ำหนักในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 ที่อายุการบ่ม 7 และ 28 วัน หล่อตัวอย่างโดยใช้แบบหล่อคอนกรีตขนาด $7.5 \times 7.5 \times 28.5$ เซนติเมตร และใส่แท่งโลหะทองเหลือง (Stud) บ่มคอนกรีตเป็นระยะเวลา 7 วันและ 28 วัน จากนั้นทำการวัดผลการทดสอบตามอายุการบ่มซึ่งจากผลการทดสอบเป็นไปดังตาราง



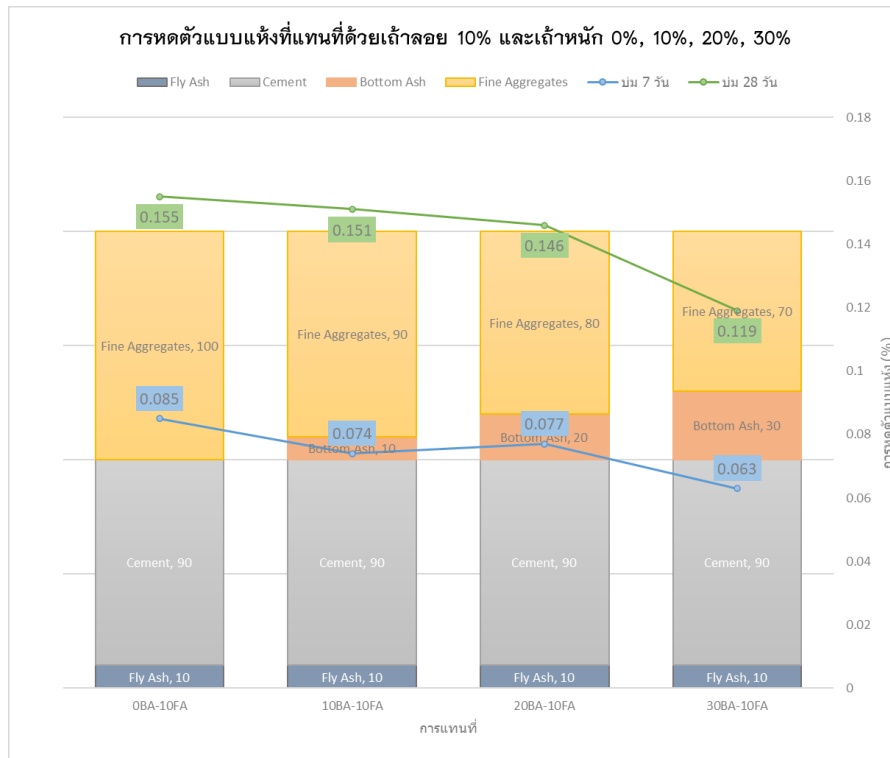
ตาราง 16 ผลการทดสอบการหดตัวของแบบแห้ง ที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน

การแทนที่	ร้อยละการหดตัวของแบบแห้ง (%)	
	บ่ม 7 วัน	บ่ม 28 วัน
OBA-OFA	0.077	0.173
10BA-OFA	0.075	0.163
20BA-OFA	0.07	0.142
30BA-OFA	0.061	0.121
OBA-10FA	0.085	0.155
10BA-10FA	0.074	0.151
20BA-10FA	0.077	0.146
30BA-10FA	0.063	0.119
OBA-20FA	0.088	0.159
10BA-20FA	0.086	0.152
20BA-20FA	0.077	0.135
30BA-20FA	0.064	0.114
OBA-30FA	0.084	0.163
10BA-30FA	0.078	0.146
20BA-30FA	0.063	0.131
30BA-30FA	0.06	0.134



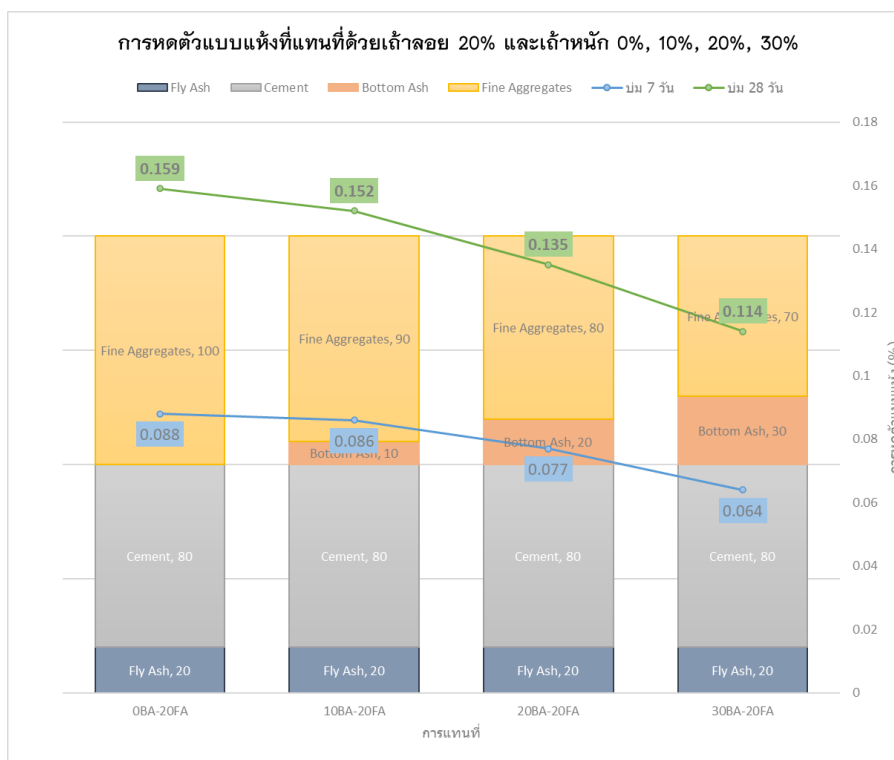
ภาพ 49 การหัดตัวแบบแห้งที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย 0% และเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30%

จากภาพที่ 49 การทดสอบหาค่าการหัดตัวแบบแห้ง (%) ที่ค่าความหนาแน่น $1100 \pm 50 \text{ kg/m}^3$ ที่การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอย 0% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30% ของอุลิมวลเบาแบบเต็มพองอากาศ จะเห็นได้ว่า ค่าการหัดตัวแบบแห้ง (%) ของตัวอย่างทดสอบที่อายุการบ่ม 7 วัน และ 28 วัน ค่าการหัดตัวแบบแห้ง (%) ลดลงตามอัตราส่วนการแทนที่เถ้าลอยด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 0% และอัตราส่วนการแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 10%, 20%, 30% มีค่าการหัดตัวแบบแห้ง (%) ลดลงและพบว่า การแทนที่เถ้าลอยด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 0% การแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนักบางส่วน 30% โดยน้ำหนัก มีค่าการหัดตัวแบบแห้ง (%) ต่ำสุด ที่อายุการบ่มจาก 7 วัน เป็น 28 วัน



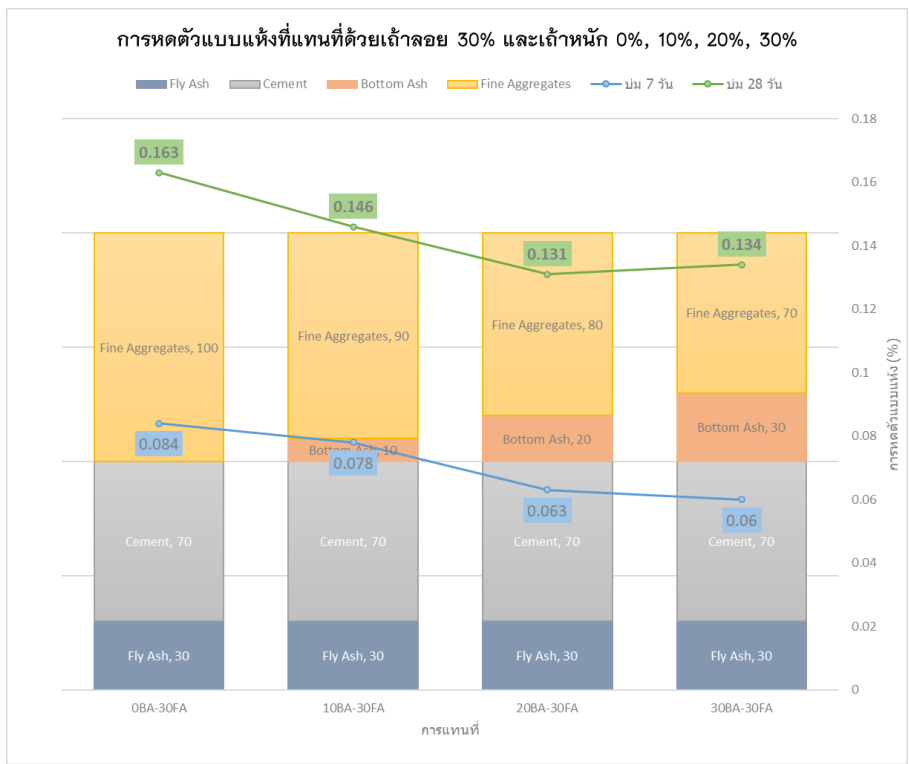
ภาพ 50 การหัดตัวแบบแห้งที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย 10% และเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30%

จากภาพที่ 50 การทดสอบหาค่าการหัดตัวแบบแห้ง (%) ที่ค่าความหนาแน่น $1100 \pm 50 \text{ kg/m}^3$ ที่การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอย 10% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30% ของอลูมิโนซิลิเกตแบบเติมฟองอากาศ จะเห็นได้ว่า ค่าการหัดตัวแบบแห้ง (%) ของตัวอย่างทดสอบที่อายุการบ่ม 7 วัน และ 28 วัน ค่าการหัดตัวแบบแห้ง (%) ลดลงตามอัตราส่วนการแทนที่เถ้าลอยด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 10% และอัตราส่วนการแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 10%, 20%, 30% มีค่าการหัดตัวแบบแห้ง (%) ลดลงและพบว่าการแทนที่เถ้าลอยด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 0% การแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนักบางส่วน 30% โดยนี้ค่าการหัดตัวแบบแห้ง (%) ต่ำสุด ที่อายุการบ่มจาก 7 วัน เป็น 28 วัน



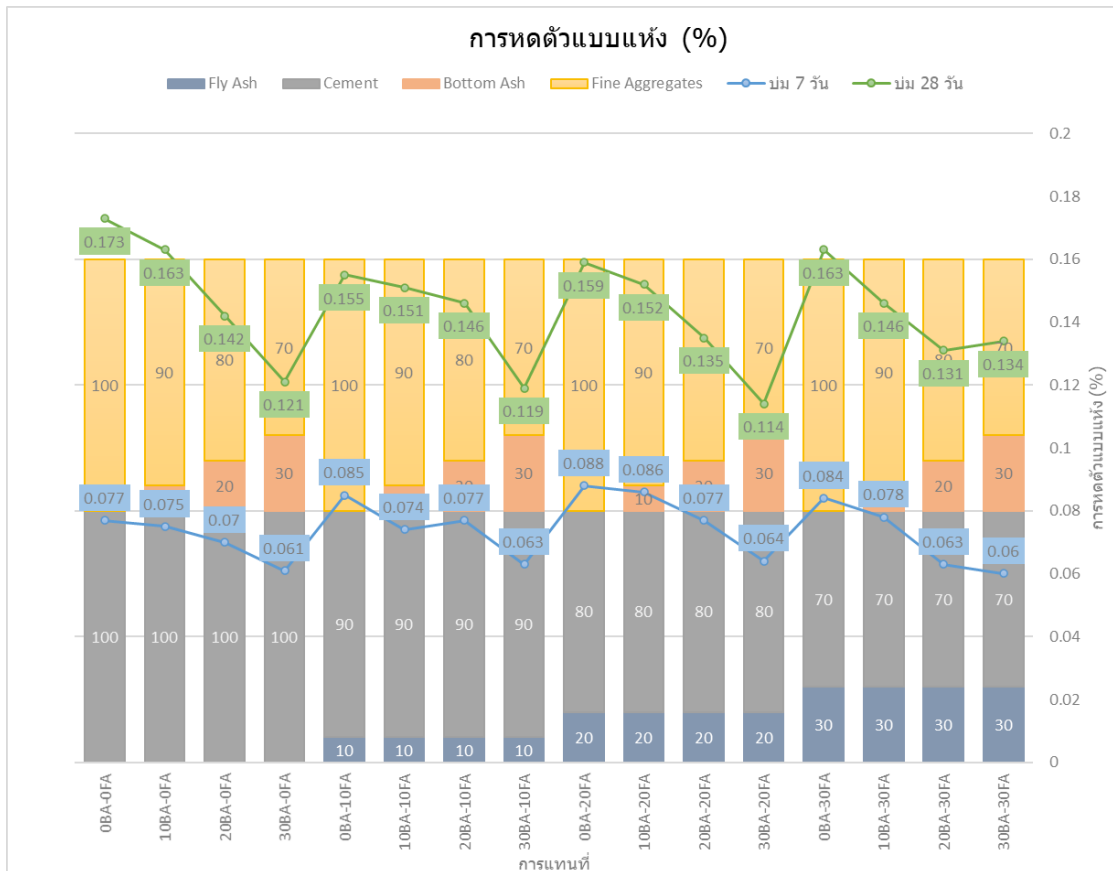
ภาพ 51 การหัดตัวแบบแห้งที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย 20% และเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30%

จากภาพที่ 51 การทดสอบหาค่าการหัดตัวแบบแห้ง (%) ที่ค่าความหนาแน่น $1100 \pm 50 \text{ kg/m}^3$ ที่การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอย 20% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30% ของอัฐิมวลเบาแบบเต็มฟองอากาศ จะเห็นได้ว่า ค่าการหัดตัวแบบแห้ง (%) ของตัวอย่างทดสอบที่อายุการบ่ม 7 วัน และ 28 วัน ค่าการหัดตัวแบบแห้ง (%) ลดลงตามอัตราส่วนการแทนที่เถ้าลอยด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 0% และอัตราส่วนการแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 10%, 20%, 30% มีค่าการหัดตัวแบบแห้ง (%) ลดลงและพบว่าการแทนที่เถ้าลอยด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 20% การแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนักบางส่วน 30% โดยน้ำหนัก มีค่าการหัดตัวแบบแห้ง (%) ต่ำสุด ที่อายุการบ่มจาก 7 วัน เป็น 28 วัน



ภาพ 52 การหัดตัวแบบแห้งที่แทนที่ด้วยเถ้าลอย 30% และเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30%

จากภาพที่ 51 การทดสอบหาค่าการหัดตัวแบบแห้ง (%) ที่ค่าความหนาแน่น $1100 \pm 50 \text{ kg/m}^3$ ที่การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอย 30% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30% ของอุลิมวลเบาแบบเต็มฟองอากาศ จะเห็นได้ว่า ค่าการหัดตัวแบบแห้ง (%) ของตัวอย่างทดสอบที่อายุการบ่ม 7 วัน และ 28 วัน ค่าการหัดตัวแบบแห้ง (%) ลดลงตามอัตราส่วนการแทนที่เถ้าลอยด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 0% และอัตราส่วนการแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 10%, 20%, 30% มีค่าการหัดตัวแบบแห้ง (%) ลดลงและพบว่าการแทนที่เถ้าลอยด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 30% การแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนักบางส่วน 30% โดยน้ำหนัก มีค่าการหัดตัวแบบแห้ง (%) ต่ำสุด ที่อายุการบ่มจาก 7 วัน เป็น 28 วัน



**ภาพ 53 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการหดตัวแบบแห้ง
กับอัตราส่วนผสมที่มีการแทนที่**

จากภาพที่ 53 การทดสอบหาค่าการหดตัวแบบแห้ง (%) ที่ค่าความหนาแน่น $1100 \pm 50 \text{ kg/m}^3$ ที่การแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ด้วยเถ้าลอย 0%, 10%, 20%, 30% และแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 0%, 10%, 20%, 30% ของอิฐมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ จะเห็นได้ว่า ค่าการหดตัวแบบแห้ง (%) ของตัวอย่างทดสอบที่อายุการบ่ม 7 วัน และ 28 วัน ค่าการหดตัวแบบแห้ง (%) ลดลงตามอัตราส่วนการแทนที่เถ้าลอยด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 0%, 10%, 20%, 30% และอัตราส่วนการแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 10%, 20%, 30% มีค่าการหดตัวแบบแห้ง (%) ลดลงและพบว่าการแทนที่เถ้าลอยด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 20% การแทนที่ทรายด้วยเถ้าหนัก 30% โดยน้ำหนัก มีค่าการหดตัวแบบแห้ง (%) ต่ำสุด ที่อายุการบ่ม 28 วัน

วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศที่มีการแทนที่ของเถ้าลอยและเถ้าหนัก

จากการนำเถ้าลอยมาแทนที่ปูนซีเมนต์ และเถ้าหนักมาแทนที่ทราย จำเป็นต้องมีการศึกษาค่าใช้จ่ายในการลงทุนแล้วนำมาเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศโดยทั่วไปที่ไม่มีที่ของการแทนที่ของเถ้าลอย และเถ้าหนักว่าสามารถลดต้นทุนเท่าไรและมีความเหมาะสมในการลงทุนหรือไม่ สามารถคำนวณต้นทุนที่เปลี่ยนไปจากสมการ

$$P = \frac{R}{100} [(A * B) - (C * B)]$$

เมื่อ P = ต้นทุนที่เปลี่ยนไปจากการแทนที่ของเถ้าลอยหรือเถ้าหนัก (บาท/ก้อน)

R = เปอร์เซ็นต์การแทนที่เถ้าลอยหรือเถ้าหนัก (%)

A = ราคาปูนซีเมนต์หรือทราย

B = น้ำหนักของปูนซีเมนต์หรือน้ำหนักทรายที่ไม่มีที่ของการแทนที่ (กก./ก้อน)

C = ราคาเถ้าลอยหรือเถ้าหนัก (บาท/กก.)

ตัวอย่างการคำนวณต้นทุนที่เปลี่ยนไปเมื่อใช้เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จ.ลำปาง แทนที่ปูนซีเมนต์อัตราการแทนที่ 30%

ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ราคา 2.80 บาท/กิโลกรัม

น้ำหนักปูนซีเมนต์ที่ไม่มีที่ของการแทนที่ 2.72 กิโลกรัม/ก้อน

เถ้าลอย

ได้ฟรีที่โรงงานไฟฟ้าแม่เมาะ จ.ลำปาง

ค่าขนส่งกิโลเมตรละ 5 บาท (ระยะทาง 210 กิโลเมตร) ราคา 1.05 บาท/กก.

ต้นทุนที่เปลี่ยนไปจากการแทนที่ของเถ้าลอย 30% เท่ากับ

$$\frac{30}{100} [(2.80 * 2.72) - (1.05 * 2.72)] = 1.428 \text{ บาท/ก้อน}$$

เท่ากับว่าหากใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราการแทนที่ที่ 30% จะลดต้นทุนลง
ไป 1.428 บาท/ก้อน

ตัวอย่างการคำนวณต้นทุนที่เปลี่ยนไปเมื่อใช้ถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จ.ลำปาง แทนที่ทรายอัตราการแทนที่ 30%

ทราย

ทราย ราคา 5.12 บาท/กิโลกรัม

น้ำหนักทรายที่ไม่มีการแทนที่ 2.68 กิโลกรัม/ก้อน

ถ่านหิน

ได้ฟรีที่โรงงานไฟฟ้าแม่เมาะ จ.ลำปาง

ค่าขนส่งกิโลเมตรละ 5 บาท (ระยะทาง 210 กิโลเมตร) ราคา 2.10 บาท/กก.

ต้นทุนที่เปลี่ยนไปจากการแทนที่ของถ่านหิน 30% เท่ากับ

$$\frac{30}{100} [(5.12 * 2.68) - (2.10 * 2.68)] = 2.428 \text{ บาท/ก้อน}$$

เท่ากับว่าหากใช้ถ่านหินแทนที่ทรายอัตราการแทนที่ที่ 30% จะลดต้นทุนลงไป 2.428 บาท/ก้อน

รวมราคาต้นทุนที่ลดลงหากใช้ถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ และใช้ถ่านหินแทนที่ทรายในอัตราส่วนการแทนที่ 30% เท่ากับ $1.428 + 2.428 = 3.859$ บาท/ก้อน

บทที่ 5

สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ

การวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาการใช้ถ่านลอยและถ่านหินสำหรับปรับปรุงประสิทธิภาพการรับกำลังอัด การดูดซึมน้ำ การนำความร้อนของและการการหดตัวแบบแห้ง คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ สามารถสรุปได้ต่อไปนี

1. สรุปผล
2. อภิปรายผล
3. ข้อเสนอแนะ

สรุปผล

จากการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกที่มีการแทนที่ของถ่านลอย และถ่านหิน โดยนำถ่านลอยมาแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และนำถ่านหินแทนที่ทรายในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 แล้วทดสอบคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องได้แก่ กำลังรับแรงอัด การดูดซึมน้ำ และการนำความร้อน การหดตัวแบบแห้ง การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ สรุปได้ดังนี้

จากการทดสอบกำลังรับแรงอัด

ทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2601 – 2556 นำตัวอย่างคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศอายุ 7 และ 28 วัน ทั้ง 16 ส่วนผสม ส่วนผสมละ 12 ก้อน โดยกำลังอัดที่ 28 วันเท่ากับ 47.556, 54.609, 76.987, 66.300, 47.736, 32.678, 67.704, 47.586, 57.899, 46.030, 51.061, 60.956, 55.761, 46.724, 53.265, 51.670 (ksc) ตามลำดับของอัตราการแทนที่ ซึ่งจะเห็นได้ว่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มถ่านลอยและถ่านหิน แต่ถ่านลอยจะช่วยพัฒนากำลังได้ดีที่สุดคือ 28 วัน แต่อย่างไรก็ตามกำลังรับแรงอัดทุกส่วนผสมผ่านมาตรฐาน มอก. 2601 – 2556 กำหนดไว้ไม่ควรจะต่ำกว่า 25 กก./ซม². ซึ่งจากการทดสอบตัวอย่างการทดสอบมีการรับกำลังอัดได้มากกว่า 25 กก./ซม². ซึ่งมากกว่าที่มาตรฐาน มอก. 2601 – 2556 กำหนดไว้ดังนั้นถ้าต้องการผสมถ่านลอยและถ่านหินในคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศควรจะผสมที่อัตราส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนักคืออัตราส่วนที่ดีที่สุด

จากการทดสอบการดูดซึมน้ำ

ทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์มาตรฐาน มอก. 2601 - 2556 นำตัวอย่างคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศที่มีการแทนที่อายุ 7 และ 28 วัน ทั้ง 16 ส่วนผสม ส่วนผสมละ 6 ก้อน โดยร้อยละอัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกที่ไม่มีการแทนที่จะอยู่ในช่วง 12 - 14 ในขณะที่คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศที่มีการแทนที่จะมีค่าร้อยละอัตราการดูดซึมน้ำทุกอัตราส่วนอยู่ในช่วง 11 - 21 ซึ่งจะสังเกตได้ว่าคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศทั่วไปมีอัตราการดูดซึมน้ำน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกมวลเบาที่มีการแทนที่ของเถ้าลอยและเถ้าหนัก อย่างไรก็ตามทุกอัตราส่วนผสมมีอัตราการดูดซึมน้ำต่ำกว่าร้อยละ 23 ซึ่งเป็นค่ามาตรฐาน มอก. 2601 - 2556 ได้กำหนดไว้

จากการทดสอบค่าการนำความร้อน

การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ตามวิธีทดสอบ ASTM C518 ของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศที่จะใช้ตัวอย่างทดสอบที่มีลักษณะทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 x 20 เซนติเมตร สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศที่อายุ 7 และ 28 วัน พบว่าคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศที่มีการแทนที่สามารถช่วยลดสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลงได้ และช่วยลดสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลงได้ดีที่อายุการบ่ม 28 วันแต่ต้องแทนที่ในอัตราส่วนที่เหมาะสมเนื่องจากเถ้าลอยและเถ้าหนักมีค่าการนำความร้อนสูงทำให้คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศที่มีการแทนที่มีค่าการนำความร้อนสูงกว่าคอนกรีตบล็อกมวลเบาทั่วไป

จากการทดสอบค่าการหดตัวแบบแห้ง

การทดสอบค่าการหดตัวแบบแห้งตามวิธีทดสอบ ASTM C596 ของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศที่จะใช้ตัวอย่างทดสอบที่มีลักษณะทรงสี่เหลี่ยมขนาดศูนย์กลาง 7.5 x 7.5 x 28.5 เซนติเมตร ค่าการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศที่อายุ 7 และ 28 วัน พบว่าคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศที่มีการแทนที่สามารถช่วยลดค่าการหดตัวแบบแห้งลงได้ และช่วยค่าการหดตัวแบบแห้งได้ดีที่อายุการบ่ม 28 วันแต่ต้องแทนที่ในอัตราส่วนที่เหมาะสม เนื่องจากเถ้าหนักมีค่าการดูดซึมน้ำที่สูงให้คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเต็มพองอากาศที่มีการแทนที่มีค่าการหดตัวแบบแห้งมากกว่าคอนกรีตบล็อกมวลเบาทั่วไป

จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เมื่อนำเถ้าลอยมาแทนที่ปูนซีเมนต์ และเถ้าหนักมาแทนที่ทราย วัสดุที่นำมาทดแทนเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จ.ลำปาง

ซึ่งทำให้ราคาตัววัสดุเป็น 0 และเหลือไว้แต่ราคาตัวขนส่ง เมื่อพิจารณาแล้ว ราคาต้นทุนที่ลดลงหากใช้เก้าอี้แทนที่ปูนซีเมนต์ และใช้เก้าอี้แทนที่ทรายในอัตราส่วนการแทนที่ 30% ควรจะมีระยะห่างจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ไม่เกิน 500 กิโลเมตร เพราะถ้าเกินจาก 500 กิโลเมตร แล้วจากการที่ทำให้ต้นทุนลดลงกลายเป็นต้นทุนเพิ่มขึ้นจากค่าขนส่ง

อภิปรายผล

การอภิปรายผลการทดสอบครั้งนี้จะแบ่งตามคุณสมบัติที่ได้ทำการทดสอบคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศที่มีการแทนที่ด้วยเก้าอี้และเก้าอี้ดังต่อไปนี้

กำลังอัด

ในงานก่อสร้างอาคารบ้านพักอาศัยโดยทั่วไป ได้มีการนำวัสดุต่าง ๆ หลายประเภท มาทำเป็นผนังของอาคารเช่น เหล็ก ไม้ อิฐมวลเบา และอิฐบล็อก ซึ่งวัสดุดังกล่าวต้องมีความแข็งแรง ทนทาน และสามารถรับน้ำหนักได้เป็นอย่างดี จากการศึกษาคุณสมบัติการใช้เก้าอี้แทนที่ปูนซีเมนต์และใช้เก้าอี้แทนที่ทรายสำหรับปรับปรุงประสิทธิภาพการรับกำลังอัดของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ โดยได้นำเก้าอี้และเก้าอี้ที่เป็นวัสดุจากอุตสาหกรรมจากการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยถ่านหิน โดยได้นำเก้าอี้และเก้าอี้ไปผสมแทนที่ปูนซีเมนต์และทรายตามลำดับ ในอัตราส่วน 0% 10% 20% และ 30% พบว่ากำลังอัดทุกส่วนผสมผ่านมาตรฐาน มอก. 2601 – 2556 ซึ่งกำหนดไว้ว่าไม่ควรจะต่ำกว่า 25 กก./ซม².

การดูดซึมน้ำ

การใช้เก้าอี้และเก้าอี้สำหรับปรับปรุงประสิทธิภาพกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ จำเป็นต้องมีการศึกษาการดูดซึมน้ำเนื่องจากน้ำมีคุณสมบัติในการปรับปรุงประสิทธิภาพการรับกำลังอัดและ มาตรฐาน มอก. 2601 – 2556 ได้กำหนดอัตราการดูดซึมน้ำต้องต่ำกว่า ร้อยละ 23 ซึ่งในการทดสอบครั้งนี้คอนกรีตบล็อกแบบเติมฟองอากาศทั่วไปมีอัตราการดูดซึมน้ำน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศที่มีการแทนที่ของเก้าอี้ และเก้าอี้ อย่างไรก็ตามทุกอัตราส่วนผสมที่มีการแทนที่มีอัตราการดูดซึมน้ำต่ำกว่ามาตรฐานกำหนดไว้

การนำความร้อน

จากการศึกษาสมบัติการใช้เก้าอี้และเก้าอี้สำหรับปรับปรุงประสิทธิภาพกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ ซึ่งเก้าอี้และเก้าอี้เป็นวัสดุจากอุตสาหกรรมที่ได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยถ่านหิน โดยได้นำเก้าอี้แทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วน 0% 10% 20% และ 30% และได้นำเก้าอี้แทนที่ทรายในอัตราส่วน 0% 10%

20% และ 30% สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศที่ 28 วัน พบว่า คอนกรีตบล็อกมวลเบาที่มีการแทนที่มีค่าการนำความร้อนสูงกว่าคอนกรีตบล็อกทั่วไป

การหัดตัวแบบแห้ง

จากการศึกษาสมบัติการใช้เถาลอยและเถาหนักสำหรับปรับปรุงประสิทธิภาพการหัดตัวแบบแห้งของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ ซึ่งเถาลอยและเถาหนักเป็นวัสดุจากอุตสาหกรรมที่ได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยถ่านหิน เมื่อนำเถาลอยมาเป็นวัสดุปอไซลานและนำเถาหนักมาเป็นวัสดุบ่มภายใน โดยได้นำเถาลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วน 0% 10% 20% และ 30% และได้นำเถาหนักแทนที่ทรายในอัตราส่วน 0% 10% 20% และ 30% การหัดตัวแบบแห้งของคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศที่ 28 วัน พบว่า คอนกรีตบล็อกมวลเบาที่มีการแทนที่มีค่าการหัดตัวแบบแห้งน้อยกว่าคอนกรีตมวลเบาแบบเติมฟองอากาศทั่วไป

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาคุณสมบัติของเถาลอยและเถาหนักที่นำมาใช้ทดสอบครั้งนี้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ทางด้านอื่นมากขึ้น
2. ควรจะมีการนำเถาหนักและเถาลอยจากแหล่งอื่น ๆ มาทดลองผสม ว่าจะได้ผลเป็นอย่างไรเมื่อเทียบกับเถาลอยและเถาหนักจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จ.ลำปาง
3. ควรควบคุมอุณหภูมิของเถาลอยและเถาหนักอยู่เสมอ เพราะด้วยความชื้นของเถาลอยและเถาหนักที่ไม่แน่นอนอาจทำให้คุณสมบัติและคุณภาพงานเปลี่ยนแปลงและไม่คงที่ได้
4. เพื่อให้ทราบคุณสมบัติของเถาลอยและเถาหนัก ควรส่งตัวอย่างไปวิจัยหรือทดสอบเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ได้มีการรับรองที่ถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น
5. ควรมีการเพิ่มอัตราส่วนร้อยละการแทนที่ให้มากกว่านี้เพื่อเป็นตัวเลือกแก่การใช้งานในอนาคต

บรรณานุกรม



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	อภิชาติ ใจดี
วัน เดือน ปี เกิด	25 กันยายน 2534
สถานที่เกิด	เชียงราย
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2557 วศ.บ. (วิศวกรรมโยธา), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา
ที่อยู่ปัจจุบัน	173 หมู่ 15 ตำบลรอบเวียง อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

