

อิทธิพลของมวลรวมเศษหินฝุ่นบดละเอียดต่อคุณสมบัติเชิงกลและการนำความร้อนของบล็อกคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูโลส สำหรับงานก่อผนัง

The Effect of Waste Dust Limestone Aggregate on Mechanical Properties and Thermal Conductivity of Cellular Lightweight Concrete Block for Masonry Walls

ภัทราภา ชากำนัน (Phatsarapha Chakamnan)^{1*} ดร.ปริญญา จินดาประเสริฐ (Dr.Prinya Chindaprasirt)**
ดร.วันชัย สะตะ (Dr.Vanchai Sata)*** ดร.พรนภา เกษมศิริ (Dr.Pornnapa Kasemsiri)***
ดร.พัชรพล โพธิ์ศรี (Dr.Pacharapol Posi)****

(Received: August 10, 2020; Revised: October 7, 2020; Accepted: October 9, 2020)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษอิทธิพลของมวลรวมเศษหินฝุ่นบดละเอียดต่อคุณสมบัติเชิงกลและการนำความร้อนของบล็อกคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลส สำหรับงานก่อผนัง คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสทำมาจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์, น้ำ, ทราย, ฟองอากาศ และ เศษหินฝุ่นบดละเอียด เศษหินฝุ่นบดละเอียดเป็นของเสียหรือวัสดุเหลือทิ้งของ โรงโมหิน บริษัท ทรัพย์ไพรัชวิสาหกิจจำกัด โดยนำเศษหินฝุ่นบดละเอียดมาแทนที่ทราย 0, 40, 60 และ 80 % โดยมวล ทุกสัดส่วนผสมควบคุมค่าการไหลแห้งที่ 110 ± 5 % อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ (S/C) คงที่เท่ากับ 1.25 อัตราส่วนน้ำยาโฟมต่อน้ำ 1: 40 ควบคุมหน่วยน้ำหนักโฟมเท่ากับ 40 - 45 kg/m³ คงที่ปริมาณโฟมเหลวที่ 1.5 % โดยมวล ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด หน่วยน้ำหนัก ปริมาณการดูดซึมน้ำ ปริมาณโพรงอากาศ และการนำความร้อน ของบล็อกคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสสำหรับงานก่อผนัง ผลการทดสอบที่อายุ 28 วัน พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดมีค่า 67-113 ksc. หน่วยน้ำหนักมีค่า 1,100-1,300 kg/m³ ค่าปริมาณการดูดซึมน้ำมีค่า 15.26-20.15 % ค่าปริมาณโพรงอากาศ 18.66 - 24.75 และค่าการนำความร้อน 0.44-0.58 W/m.K จากการทดสอบชี้ให้เห็นถึง เมื่อปริมาณเศษหินฝุ่นบดละเอียดมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้กำลังรับแรงอัด หน่วยน้ำหนัก และค่าการนำความร้อนลดลง และทำให้ค่าปริมาณโพรงอากาศ และค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มสูงขึ้น มากกว่านั้น การนำเศษหินฝุ่นบดละเอียดที่เป็นของเสียหรือวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมโรง โมหินมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม อีกทั้งยังเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการพัฒนาคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูโลสที่ผสมหินฝุ่นละเอียด เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมงานก่อสร้างที่ยั่งยืนต่อไป

¹Corresponding author: Phatsarapha.ch@gmail.com

*นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

**ศาสตราจารย์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

***รองศาสตราจารย์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

****ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

ABSTRACT

This research studied the effect of waste dust lime stone crushed aggregate on mechanical properties and thermal conductivity of cellular lightweight concrete block for masonry walls. Cellular lightweight concrete made from Portland cement, water, sand, air bubbles and waste dust lime stone crushed. The waste dust lime stone crushed is a garbage or waste material of the mill stone, Subpaiwan Kansila Co., Ltd. replacement of sand of 0, 40, 60 and 80 % by mass. All mixing ratios are constant and control with radiating flow values of $110 \pm 5\%$. Constant sand to cement ratio (S/C) of 1.25, foaming agent to water ratio of 1:40 and control the density of the foam is $40-45 \text{ kg/m}^3$, constant foam volume of 1.5 % by mass. The compressive strength, unit weight, volume of water absorption, volume of porosity, sound absorption and thermal conductivity of concrete were tested. Test results showed that the 28 days compressive strength of cellular lightweight concrete of 67-113 ksc, unit weight of $1,100-1,300 \text{ kg/m}^3$, volume of water absorptions of 15.26-20.15 %, volumes of porosity of 18.66-24.75 % and thermal conductivity of 0.44-0.58 W/m.K The results when the quantity of waste dust lime stone crushed increases, the compressive strength, unit weight and thermal conductivity are reduced. And make the volume of porosity and water absorption are increases. Moreover, using waste dust lime stone crushed that is garbage or waste material from the mill stone industry to maximize use. It adds value to industrial waste materials. It is also the basis for the development of cellular lightweight concrete mixed with waste dust lime stone crushed. For use in the sustainable construction industry.

คำสำคัญ: คอนกรีตมวลเบา เศษหินฝุ่นบดละเอียด การนำความร้อน

Keywords: Lightweight concrete, Waste dust lime stone crushed, Thermal conductivity

บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันการก่อสร้างได้มีการขยายตัวอย่างกว้างขวางไม่ว่าจะเป็นการก่อสร้างที่อยู่อาศัย ถนน โรงงานอุตสาหกรรม หรือสิ่งก่อสร้างอื่น ๆ ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้การพัฒนาของประเทศได้อีกทางหนึ่ง และสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ จะใช้เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นหลัก ซึ่งโครงสร้างจะมีขนาดใหญ่ เนื่องจากต้องรับน้ำหนักบรรทุกทุกต่าง ๆ ในอาคาร จึงทำให้ต้นทุนการก่อสร้างสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องคิดค้นหาวิธีการลดต้นทุนการก่อสร้างลง จึงได้มีการนำเอาวัสดุก่อสร้างที่มีน้ำหนักเบาเข้าใช้ เช่น คอนกรีตมวลเบา หรือผนังสำเร็จรูปคอนกรีตมวลเบา เป็นต้น

คอนกรีตมวลเบา คือคอนกรีตที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าคอนกรีตปกติ และ [1] มีความหนาแน่นไม่เกิน 1840 kg/m^3 [2] การผลิตคอนกรีตมวลเบาประกอบด้วยคอนกรีตมวลเบาความหนาแน่นต่ำ $400-1200 \text{ kg/m}^3$ สำหรับการผลิตบล็อก และ $1,000-1,840 \text{ kg/m}^3$ สำหรับงาน โครงสร้าง ประเภทของคอนกรีตมวลเบาจะเกี่ยวข้องกับการมีมวลรวมเบาผสมอยู่ [3] โดยวิธีการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ (1) คอนกรีตมวลเบาที่มีมวลรวมเบาที่มีรูพรุน และมีความถ่วงจำเพาะต่ำ (2) คอนกรีตมวลเบาที่มีช่องว่างหรือโพรงที่ต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องภายในมวลของมอร์ตาร์ (3) คอนกรีตมวลเบาที่ไม่มีมวลรวมละเอียด การใช้บล็อกคอนกรีตมวลเบา และคอนกรีตมวลเบาสำหรับ โครงสร้าง งานก่อสร้างสามารถลดต้นทุนการก่อสร้างลงได้ เนื่องจาก

คอนกรีตมวลเบาจะช่วยลดน้ำหนักบรรทุก ลดพื้นที่หน้าตัด และลดปริมาณเหล็กเสริมของโครงสร้างได้ คอนกรีตมวลเบาที่มีช่องว่างหรือโพรงที่ไม่ต่อเนื่องภายในมวลของมอร์ตาร์ หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่า เป็นเรื่องที่คุ้นคว่ำกันมาหลายปี ส่วนใหญ่จะใช้กับงานก่อผนัง และงาน โครงสร้าง เนื่องจากมีน้ำหนักที่เบา ค่าสัมประสิทธิ์ในการนำความร้อนต่ำ และคุณสมบัติของฉนวนกันเสียงที่ดี เนื่องจากปริมาณโพรงอากาศที่ไม่ต่อเนื่องในคอนกรีตมวลเบา

แต่ทว่าของเสียต่าง ๆ จากโรงงานอุตสาหกรรมก็ยังคงที่จะระบายออก เช่น โรงโม่หิน ที่ทำการระเบิดภูเขา แล้วนำหินมาเข้าเครื่องโม่หินเพื่อให้ได้หินขนาดต่าง ๆ ตามที่ตลาดต้องการ ทว่าในขั้นตอนของการโม่หินนั้นจะมีเศษหินฝุ่นตกลงมา ซึ่งหินฝุ่นนี้ถือได้ว่าเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการย่อยหิน จึงได้มีการคิดหาทางที่จะนำของเสียเหล่านั้นกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด จึงได้มีการศึกษาการนำหินฝุ่นมาใช้งาน [4]ซึ่งพบว่าลักษณะทางกายภาพของหินฝุ่นมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับทรายการนำหินฝุ่นมาแทนที่ทราย [5]ในการผสมคอนกรีต จะทำให้คอนกรีตมีความต้องการน้ำเพิ่มมากขึ้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเศษหินฝุ่นบดละเอียดที่เป็นของเสียหรือวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมโรงโม่หินจากบริษัท ทรัพย์ไพรวัดย์ การศิลา จำกัด เพื่อใช้ในการผลิต บล็อกคอนกรีตมวลเบา ระบบเซลลูล่า สำหรับงานก่อผนัง และทำการศึกษาคูณสมบัติเชิงกล และคุณสมบัติด้านการนำความร้อน ของคอนกรีตมวลเบา ระบบเซลลูล่า เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมงานก่อสร้าง และเป็นข้อมูลพื้นฐานในอุตสาหกรรมการผลิตคอนกรีตมวลเบาที่ยั่งยืนต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อทำการศึกษาถึงอิทธิพลของมวลรวมเศษหินฝุ่นบดละเอียดต่อคุณสมบัติเชิงกล และการนำความร้อนของบล็อกคอนกรีตมวลเบา ระบบเซลลูล่า สำหรับงานก่อผนัง
2. เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม
3. เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการพัฒนาคอนกรีตมวลเบา ระบบเซลลูล่าที่ผสมหินฝุ่นบดละเอียด เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมงานก่อสร้างที่ยั่งยืนต่อไป

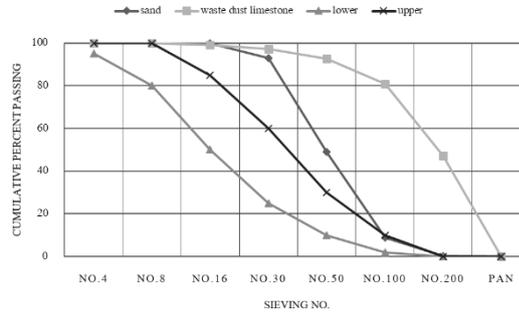
วิธีการศึกษา

1. วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

วัสดุที่ใช้ในการศึกษารั้งนี้ประกอบด้วย เศษหินฝุ่นบดละเอียด จากจากโรงโม่หิน บริษัท ทรัพย์ไพรวัดย์ การศิลา จำกัด คุณสมบัติทางกายภาพของเศษหินฝุ่นบดละเอียด ได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 1 หน่วยน้ำหนัก ตาม [6]ASTM C-29 ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของทราย ตาม [7] ASTM C-128 ความถ่วงจำเพาะของเศษหินฝุ่นบดละเอียดตาม [8] ASTM D-854-14 โมดูลัสความละเอียดตาม [9] ASTM C-136 พบว่าโมดูลัสความละเอียดของทรายและเศษหินฝุ่นบดละเอียดมีค่า 1.49 และ 0.31 ตามลำดับ จากข้อมูลสามารถกล่าวได้ว่า เศษหินฝุ่นบดละเอียดที่นำมาใช้มีความละเอียดมากกว่าทรายละเอียด ดังแสดงร้อยละการกระจายตัวในภาพที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ

ชนิดของวัสดุ	Unit Weight (kg/m ³)	Fineness Modulus	Specific Gravity	Absorption (%)
ทรายละเอียด	1,611.21	1.49	2.56	0.39
เศษหินฝุ่นบดละเอียด	1,357.35	0.31	2.99	-

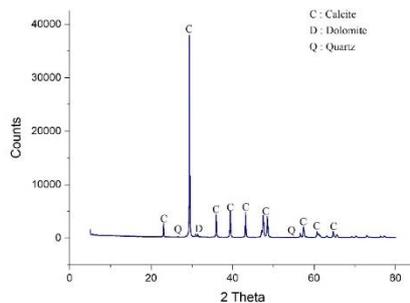


ภาพที่ 1 ร้อยละการกระจายตัวของเศษหินฝุ่นบดละเอียดและทรายละเอียดเปรียบเทียบกับขอบเขตบนและล่างตามมาตรฐาน ASTM C33

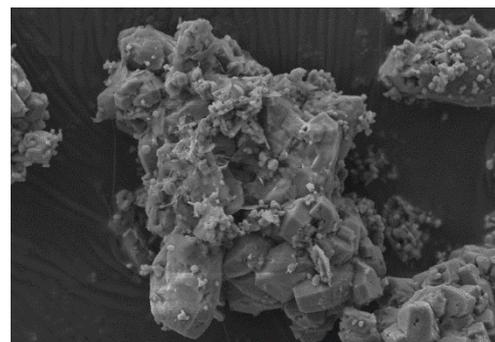
องค์ประกอบทางเคมีของเศษหินฝุ่นบดละเอียด แสดงไว้ในตารางที่ 2 ประกอบด้วย 0.652% Al₂O₃, 99.114% CaO และ 0.234% Fe₂O₃ และการสูญเสียน้ำหนักจากการเผาไหม้ (LOI) 4.402% XRD ของเศษหินฝุ่นบดละเอียด ดังแสดงในภาพที่ 2 (1) แสดงให้เห็นว่ามวลรวมเศษหินฝุ่นบดละเอียดประกอบไปด้วยแคลไซต์ โดโรไมท์ และ ควอตซ์ และ SEM ของหินฝุ่นบดละเอียดดังแสดงใน ภาพที่ 2 (2) พบว่าเศษหินฝุ่นบดละเอียดมีโครงสร้างอนุภาคที่เป็นเหลี่ยมและมีพื้นผิวขรุขระ

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของเศษหินฝุ่นบดละเอียด

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ โดยมวล)	เศษหินฝุ่นบดละเอียด
อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al ₂ O ₃)	0.652
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	99.114
ไอรอนออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	0.234
ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักจากการเผาไหม้ (LOI)	4.402



(1)



(2)

ภาพที่ 2 (1) XRD ของเศษหินฝุ่นบดละเอียด และ (2) SEM ของเศษหินฝุ่นบดละเอียด

2. อัตราส่วนผสม

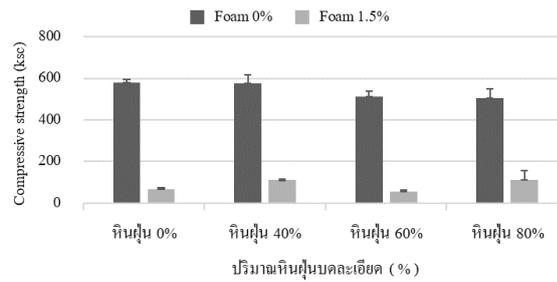
หล่อคอนกรีตตัวอย่างคอนกรีตมวลเบาโดยนำเศษหินฝุ่นบดละเอียดมาแทนที่ทราย 0, 40, 60 และ 80 % โดยมวล ทุกสัดส่วนผสมควบคุมค่าการไหลเผื่อที่ 110 ± 5 % อัตราส่วนทรายต่อซีเมนต์ (S/C) คงที่เท่ากับ 1.25 อัตราส่วนน้ำยาโฟมต่อน้ำ 1: 40 ควบคุมหน่วยน้ำหนักโฟมเท่ากับ $40 - 45 \text{ kg/m}^3$ คงที่ปริมาณโฟมเหลวที่ 1.5 % โดยมวล การผสมคอนกรีตมวลเบา เริ่มต้นด้วยการนำปูนซีเมนต์ผสมเข้ากับทรายละเอียดและหินฝุ่นตามอัตราส่วนที่ได้คำนวณไว้แล้ว ต่อมาเติมน้ำ และทิ้งไว้ 30 วินาที จากนั้นทำการผสมส่วนผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 4 นาที และนำมาเติมโฟมเหลวทำการผสมจนกว่าจะเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำไปเทลงแบบหล่อทรงลูกบาศก์ขนาด $5 \times 5 \times 5$ เซนติเมตร สำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัดตามมาตรฐาน [10] ASTM C109 แบบหล่อทรงลูกบาศก์ขนาด $10 \times 10 \times 10$ เซนติเมตร สำหรับการทดสอบการดูดซึมน้ำ และปริมาณโพรงอากาศตามมาตรฐาน [11] ASTM C642 และการทดสอบการนำความร้อนตามมาตรฐาน [12] ASTM D5930

ผลการทดสอบ

1. ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด

ผลจากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลล์ดาร์ ที่มีส่วนผสมเศษหินฝุ่นบดละเอียด ดังแสดงในภาพที่ 3 พบว่าเมื่อเพิ่มเศษหินฝุ่นบดละเอียด ทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเศษหินฝุ่นบดละเอียดมีแนวโน้มที่ลดลง เนื่องจากมีปริมาณเศษหินฝุ่นบดละเอียดมากเกินไป จึงทำให้มีปริมาณขนาดช่องของมวลรวมไม่เหมาะสม พบพฤติกรรมที่คล้ายคลึงกันในการศึกษาก่อนหน้านี้ [13] การแทนที่ทรายด้วยเซรามิกเหลือทิ้งบดละเอียดมากเกินไปจะทำให้ค่าความต้านทานกำลังอัดลดลงได้ ตัวอย่างจึงเปรียบและวิบัติได้ง่าย ดังตัวอย่างเช่น กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลล์ดาร์ ที่มีส่วนผสมเศษหินฝุ่นบดละเอียด ที่อายุ 28 วัน เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณหินฝุ่นที่ 0, 40, 60 และ 80 % โดยมวล และคงที่ปริมาณโฟม ที่ 0 % มีค่าเท่า 579.06, 576.75, 513.71 และ 504.55 ksc

และเมื่อพิจารณาการเติมฟองโฟมเหลวเข้าไปในส่วนผสม พบว่าการเติมโฟมเหลวทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มที่ลดลง [14] เนื่องจากเมื่อปริมาณโฟมเพิ่มสูงขึ้น ทำให้เนื้อของตัวอย่างทดสอบมีรูพรุนเพิ่มขึ้นส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาแบบเซลล์ดาร์ ที่มีส่วนผสมเศษหินฝุ่นบดละเอียด มีแนวโน้มที่ลดลง อีกทั้งเศษหินฝุ่นบดละเอียดมีคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำ และรวมกับปริมาณน้ำจากฟองโฟมเหลวทำให้มีปริมาณน้ำในระบบเพิ่มขึ้น จึงทำให้มีปริมาณน้ำเกินความจำเป็นในการทำปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ และ [15] นอกจากนี้ส่วนประกอบของน้ำที่เหลือจะเป็นตัวกลางในการนำสารอันตรายเข้ามาทำอันตรายต่อตัวมอร์ต้า และถ้ามีส่วนเกินแก๊สก็จะทำให้เกิดโพรงในมอร์ต้า หรือเรียกว่า โพรงคาปิลลารี (Capillary Pores) จะทำให้ของเหลวหรือก๊าซที่สามารถทำอันตรายกับมอร์ต้า ซึมผ่านเข้ามาในโพรง และทำปฏิกิริยากับสารประกอบในมอร์ต้า ส่งผลให้เสื่อมสภาพและความทนทานลดลง

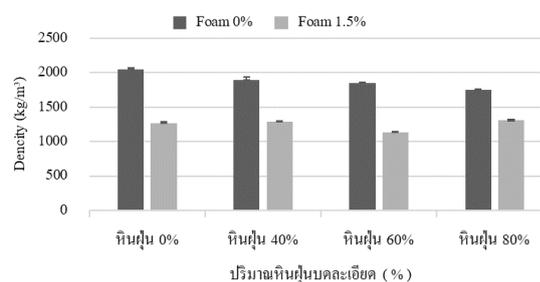


ภาพที่ 3 กำลังรับแรงอัด

2. หน่วยน้ำหนัก

ผลการทดสอบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูโลส ที่มีส่วนผสมเศษหินปูนบดละเอียด ดังแสดงในภาพที่ 4 พบว่าเมื่อปริมาณเศษหินปูนบดละเอียดเพิ่มขึ้น ทำให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบา มีแนวโน้มลดลง เนื่องจาก มวลรวมเศษหินปูนบดละเอียดความถ่วงจำเพาะต่ำกว่ามวลรวมที่ทำมาจากทรายละเอียด ดังแสดงในตารางที่ 1 เมื่อนำเศษหินปูนบดละเอียดมาแทนที่ทราย และมีปริมาณเพิ่มขึ้น [16] จึงทำให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบา มีแนวโน้มลดลง ดังตัวอย่างเช่น หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบา ระบบเซลลูโลส ที่มีส่วนผสมเศษหินปูนบดละเอียด ที่อายุ 28 เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณหินปูนที่ 0, 40, 60 และ 80 % โดยมวล และคงที่ปริมาณโฟม ที่ 0 % มีค่าเท่า 2051.85, 1889.54, 1852.9 และ 1744.8 kg/m³

และเมื่อพิจารณาการเติมฟองโฟมเหลวเข้าไปในส่วนผสม พบว่าการเติมโฟมเหลวทำให้ค่าหน่วยน้ำหนักมีแนวโน้มที่ลดลง [17] เนื่องจากเมื่อปริมาณโฟมเพิ่มสูงขึ้น ทำให้เนื้อของตัวอย่างทดสอบมีรูพรุนเพิ่มขึ้นส่งผลให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบา ระบบเซลลูโลส ที่มีส่วนผสมเศษหินปูนบดละเอียด มีแนวโน้มที่ลดลง ดังตัวอย่างเช่น เช่น ค่าหน่วยน้ำหนักที่ 28 วัน ของหินปูน 60 % ที่ไม่เติมฟองโฟมเหลวค่าหน่วยน้ำหนักจะอยู่ที่ 1,852 kg/m³ และเมื่อทำการเติมฟองโฟมเหลว 1.5 % ค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1,139 kg/m³



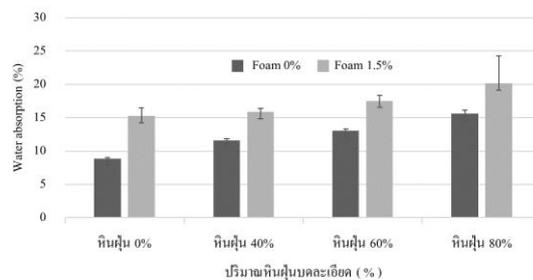
ภาพที่ 4 หน่วยน้ำหนัก

3. การดูดซึมน้ำ และปริมาณโพรงอากาศ

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ และการดูดซึมน้ำ ของคอนกรีตมวลเบา ระบบเซลลูโลส ที่มีส่วนผสมเศษหินปูนบดละเอียด ดังแสดงในภาพที่ 5 และภาพที่ 6 ตามลำดับ จากกราฟจะแสดงให้เห็นว่าเมื่อไม่เติมฟองโฟมเหลวมีค่าการดูดซึมน้ำที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณของเศษหินปูนบดละเอียดที่เพิ่มสูงขึ้น [18] เนื่องจากเศษหินปูนบดละเอียดมีลักษณะของรูปร่างนั้นเป็นเหลี่ยมมุมซึ่งจะมีความต้องการปริมาณน้ำในการ

ผสมคอนกรีตมากกว่าทรายแม่น้ำที่มีลักษณะของรูปร่างที่ค่อนข้างกลมและมน และจากค่าของหน่วยน้ำหนัก ทำให้เห็นว่าความหนาแน่นภายในตัวอย่างนั้นเมื่อทำการเพิ่มปริมาณหินฝุ่นจะมีความหนาแน่นน้อยลง จึงทำให้ดูดซับน้ำได้มากขึ้น ยกตัวอย่างการเติมหินฝุ่นที่ 60% ไม่เติมฟองโฟมค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 13.50 % และเมื่อเติมฟองโฟมเหลวที่ 1.5 % ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าเท่ากับ 17.54% เป็นต้น

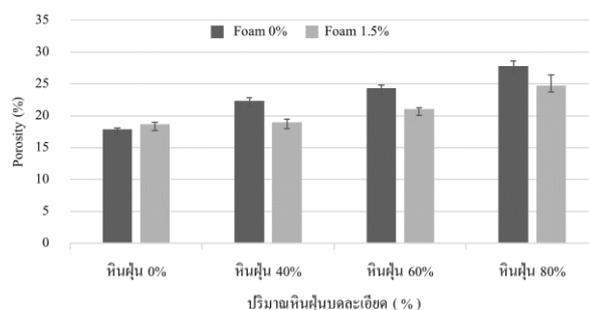
และคอนกรีตมวลเบาที่ เติมฟองโฟมเหลวที่ 1.5% จะเห็นว่าการดูดซึมน้ำนั้นเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากช่องว่างที่เกิดจากฟองอากาศที่เติมเข้าไปในส่วนผสม ซึ่งช่องว่างที่เกิดขึ้นนี้ มีผลโดยตรงต่อความแข็งแรงทนทานของคอนกรีตมวลเบา ปริมาณการดูดซึมน้ำที่เปลี่ยนแปลงนี้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณฟองอากาศที่ใช้ [19] ซึ่งส่วนผสมที่มีปริมาณ โฟมเหลวหรือฟองอากาศมาก หน่วยน้ำหนักคอนกรีตจะลดลง และส่งผลต่อการดูดซึมน้ำที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 5 การดูดซึมน้ำ

ผลการทดสอบปริมาณ โพรงอากาศของคอนกรีตมวลเบาระบบเซลล์ลูลาร์ ที่มีส่วนผสมเศษหินฝุ่นบดละเอียด เมื่อทำการเปลี่ยนแปลง ปริมาณหินฝุ่นที่ 0 40 60 และ 80 % โดยมวล ดังแสดงในภาพที่ 6 ยกตัวอย่างการเติมหินฝุ่น 60 % ไม่เติมฟองโฟมเหลวมีปริมาณ โพรงอากาศเท่ากับ 24.35 % และเมื่อเติมฟองโฟมเหลวที่ 1% จะมีปริมาณ โพรงอากาศ 21.09% แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มปริมาณของเศษหินฝุ่นบดละเอียดนั้นทำให้ค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มสูงขึ้น [20] เนื่องจากมีปริมาณมวลรวมละเอียดเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณ โพรงอากาศเพิ่มสูงขึ้น

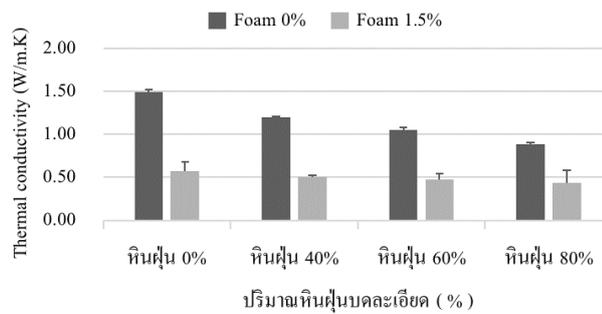
และเมื่อทำการเติมฟองโฟมเหลวที่ 1.5% คอนกรีตมวลเบาจะมีปริมาณของ โพรงอากาศเพิ่มสูงขึ้น แต่น้อยกว่าคอนกรีตมวลเบาที่ไม่เติมฟองโฟมเหลว [16] ซึ่งอาจมาจากผลของความเป็นเหลี่ยมของเศษหินฝุ่นบดละเอียดเข้าไปทำให้ฟองอากาศแตกตัว และ [20] ทำให้ปริมาณมวลรวมละเอียดเข้าไปแทนที่ช่องว่างภายในเนื้อของคอนกรีตมวลเบา ส่งผลให้ปริมาณ โพรงลดลง



ภาพที่ 6 ปริมาณ โพรงอากาศ

4. การนำความร้อน

ผลการทดสอบการนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูโลส ที่มีส่วนผสมหินฟูนบดละเอียด ดังแสดงในภาพที่ 7 แสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณเศษหินฟูนบดละเอียดเพิ่มมากขึ้น และปริมาณฟองโพลีเมอร์เพิ่มมากขึ้น ทำให้การเหนี่ยวนำความร้อนของคอนกรีตมวลเบาที่มีแนวโน้มที่ลดลง [21] เนื่องจากความหนาแน่นของคอนกรีตลดลง ยกตัวอย่างเช่น ค่าการนำความร้อนของหินฟูน 0 40 60 และ 80% ที่เติมฟองโพลีเมอร์ที่ 1.5% มีค่าเท่ากับ 0.58, 0.5, 0.48 และ 0.44 W/m.K ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพรงและการเหนี่ยวนำความร้อน



ภาพที่ 7 การนำความร้อน

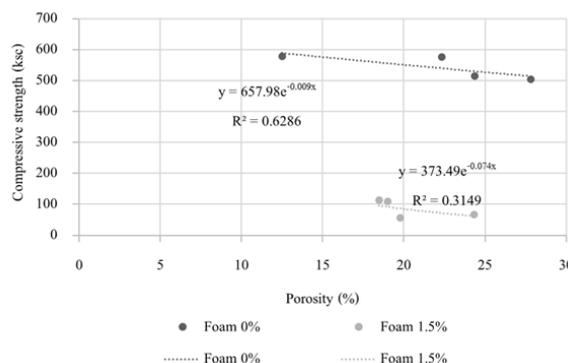
5. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกำลังรับแรงอัด หน่วยน้ำหนัก โพรงอากาศ และการนำความร้อน

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด และปริมาณ โพรงอากาศ ของคอนกรีตมวลเบา ระบบเซลลูโลส ที่มีส่วนผสมหินฟูนบดละเอียด ถูกนำเสนอโดยสมการที่ 1 และ 2 ดังแสดงดังในภาพที่ 8 จากกราฟพบว่าเมื่อปริมาณ โพรงอากาศเพิ่มสูงขึ้น ค่ากำลังรับแรงอัดจะมีแนวโน้มที่ลดลง [14] เนื่องจากเมื่อปริมาณ โพลีเมอร์เพิ่มสูงขึ้นทำให้เนื้อของตัวอย่างมีปริมาณ โพรงอากาศเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้กำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มที่ลดลง

$$y = 657.98e^{-0.009x} \quad (1)$$

$$y = 373.49e^{-0.074x} \quad (2)$$

เมื่อ y คือกำลังรับแรงอัด (ksc) และ x คือปริมาณ โพรงอากาศ (%)



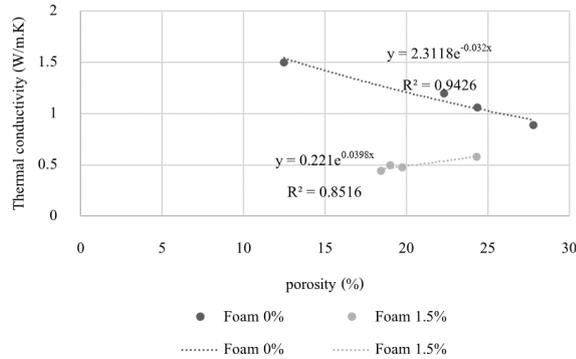
ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและปริมาณ โพรงอากาศ

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพรงอากาศ และการนำความร้อน ของคอนกรีตมวลเบา ระบบเซลลูโลส ที่มีส่วนผสมหินฟูนบดละเอียด ถูกนำเสนอโดยสมการที่ 3 และ 4 ดังแสดงดังในภาพที่ 9 จากกราฟพบว่าเมื่อปริมาณโพรงอากาศเพิ่มสูงขึ้น ค่าการเหนี่ยวนำความร้อนจะมีแนวโน้มที่ลดลง

$$y = 2.3118e^{-0.032x} \quad (3)$$

$$y = 0.221e^{0.0398x} \quad (4)$$

เมื่อ y คือการนำความร้อน (W/m.K) และ x คือปริมาณโพรงอากาศ (%)



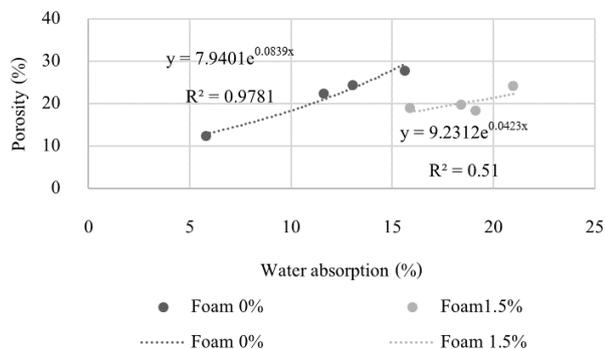
ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพรง และการนำความร้อน

นอกจากนี้ยังได้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพรงอากาศ และการดูดซึมน้ำ ของคอนกรีตมวลเบา ระบบเซลลูโลส ที่มีส่วนผสมหินฟูนบดละเอียด ถูกนำเสนอโดยสมการที่ 5 และ 6 ดังแสดงในภาพที่ 10 จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณโพรงอากาศเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำสูงขึ้น

$$y = 7.9401e^{0.0839x} \quad (5)$$

$$y = 9.2312e^{0.0423x} \quad (6)$$

เมื่อ y คือปริมาณโพรงอากาศ (%) และ x คือปริมาณการดูดซึมน้ำ (%)



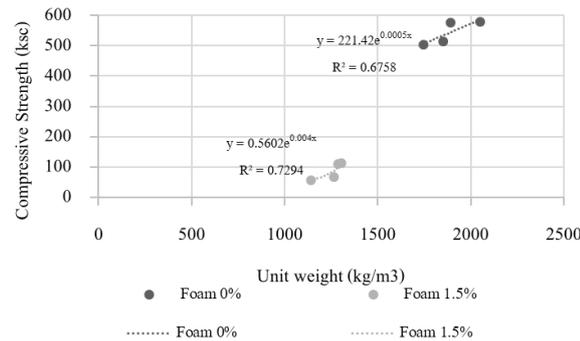
ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโพรงอากาศและการดูดซึมน้ำ

ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าลึงอัด และหน่วยน้ำหนัก ของคอนกรีตมวลเบา ระบบเซลลูโลส ที่มีส่วนผสมหินฟูนบดละเอียด ถูกนำเสนอโดยสมการที่ 7 และ 8 แสดงดังในภาพที่ 11

$$y = 221.42e^{0.0005x} \quad (7)$$

$$y = 0.5602e^{0.004x} \quad (8)$$

เมื่อ y คือกำลังรับแรงอัด (ksc) และ x คือหน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)



ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนัก

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาถึงอิทธิพลของมวลรวมเศษหินฝุ่นบดละเอียดต่อคุณสมบัติเชิงกลและการนำความร้อนของบล็อกคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูโลส สำหรับงานก่อผนัง สามารถสรุปได้ดังนี้

1. เมื่อทำการเพิ่มปริมาณเศษหินฝุ่นบดละเอียด 0 40 60 และ 80% จะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัด หน่วยน้ำหนัก และค่าการนำความร้อนลดลง แต่จะทำให้ค่าการดูดซึมน้ำและปริมาณโพรงอากาศเพิ่มขึ้น
2. เมื่อทำการเพิ่มปริมาณฟองโฟมเหลวที่ 1.5% จะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัด หน่วยน้ำหนัก ปริมาณโพรงอากาศและค่าการนำความร้อน มีแนวโน้มที่ลดลง แต่กลับทำให้ค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มสูงขึ้น
3. คอนกรีตมวลเบาที่ผสมเศษหินฝุ่นบดละเอียด ที่มีคุณสมบัติสำหรับใช้ในงานก่อผนังคือ ปริมาณหินฝุ่น 60% เติมฟองโฟม 1.5% ให้กำลังรับแรงอัด 56 ksc. หน่วยน้ำหนัก $1,139 \text{ kg/m}^3$ การดูดซึมน้ำ 17.54% การเหนียวนำความร้อน 0.48 W/m.K ซึ่งสามารถนำไปทำเป็นบล็อกคอนกรีตมวลเบา สำหรับงานก่อผนังได้ [22] ตาม มอก.2601-2556 คอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สำหรับทุนอุดหนุนงานวิจัย จากบริษัท ทรัพย์ไพรวัดซ์ การศิลา จำกัด และศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

1. ASTM C330 / C330M-17a. Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete. West Conshohocken, PA: ASTM International; 2017.
2. Chandra S, Berntsson L. Lightweight Aggregate Concrete Science, Technology, and Applications. Norwich, New York (USA): William Andrew Publishing; 2002. 450 p.

3. Neville A. Concrete technology. New York (USA): Longman; 1987.
4. Prachoom K, editor A study of compressive strength of concrete used quarry dust to replace sand. Technology and Innovation for Sustainable Development Conference; 2006 25-29 January 2006.
5. Balamurugan G, Peruma P. Use of quarry dust to replace sand in concrete – An experimental study. International Journal of Scientific and Research Publications. 2013;Volume 3(Issue 12).
6. ASTM C29 / C29M-17. Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate. West Conshohocken, PA: ASTM International; 2017.
7. ASTM C128-15. Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate. West Conshohocken, PA: ASTM International; 2015.
8. ASTM D854-14. Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer. West Conshohocken, PA: ASTM International; 2014.
9. ASTM C136 / C136M-19. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. West Conshohocken, PA: ASTM International; 2019.
10. ASTM C109 / C109M-20b. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50 mm] Cube Specimens). West Conshohocken, PA: ASTM International; 2020.
11. ASTM C642-13. Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. West Conshohocken, PA: ASTM International; 2013.
12. ASTM D5930-17. Standard Test Method for Thermal Conductivity of Plastics by Means of a Transient Line-Source Technique. West Conshohocken, PA: ASTM International; 2017.
13. Nipon T, Kanokwan S. Utilization of Sanitary Ceramic Waste for Lightweight Concrete. Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University. 2019;Volume 6(Number 1).
14. Patcharapol P, Prinya C, editors. A Study of Properties of Structural Cellular Lightweight Geopolymer Mortar. Proceeding of the 11th Graduat Research Conference; 2010; Khon Kean University: Khon Kean.
15. Haruehansapong S, Pulngern T. Influence of water content on binder on compressive strength Microstructure And the displacement of cement mortar mixed with nano silica. TAC e-magazine. 2014.
16. Burachat C, Rewatt N, Natt M. Mechanical Properties of Lightweight Concrete Containing Andesite-Dusty Rock. KMUTT Research and Development Journal. 2011;Vol. 4:p.395-414.
17. Apivich P. The Development of Lightweight Concrete Mixed with Very Fine Crushed Rock from Stone Mill. Research journal. 2013;Vol.1:p.94-102.
18. Tasawa E, Asuo Y, Naoki N. The influence of differences in fine aggregate particle shape on various properties of concrete. Annual Collection of Concrete Engineering Research Papers and Reports, Inc. 1989:Paper No.1003.
19. Krish K, Prinya C, editors. Properties of Cellular Lightweight Concrete with Superplaticizer. Proceeding of the 11th Graduat Research Conference; 2010; Khon Kean University: Khon Kean.



20. Patcharapol P, Charoenchai R, Anand N, Natthawat S, Channarong L, Surasit L, et al. The Effect of Fine Aggregate on Properties of Lightweight Concrete with Aggregate from Recycled Block. The 20th National Convention on Civil Engineering; 8-10 July 2015; Chonburi, Thailand 2015.
21. Demirboğa R, Gül R. The effects of expanded perlite aggregate, silica fume and fly ash on the thermal conductivity of lightweight concrete. *Cement and Concrete Research*. 2003;33(5):723-7.
22. TIS 2601-2556. Industrial product standards Cellular lightweight concrete blocks using preformed foam: Thai Industrial Standards Institute, Ministry of Industry; 2013.