

ผลของแร่ดินเบาหรือไคอะตอมไมต์ในปูนฉาบ

Effect of Diatomite in Masonry Cement

บุรฉัตร ฉัตรวีระ^[1] และ ณรงค์ศักดิ์ มากุล^[2]Burachat Chatveera^[1] and Narongsak Makul^[2]

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ คลองหลวง ปทุมธานี 12121

โทรศัพท์ : (+662) 564-3001-9 ต่อ 3105 โทรสาร: (+662) 564-3010

Email: ^[1]cburacha@engr.tu.ac.th and ^[2]shinomomo7@gmail.com

บทคัดย่อ

แร่ดินเบาหรือไคอะตอมไมต์ (Diatomite) เป็นหินตะกอนชนิดหนึ่งมีคุณสมบัติเชิงโครงสร้างที่มีน้ำหนักเบาและเปราะกว่าหินทั่วไป เกิดการจากตกตะกอนและทับถมของสาหร่ายเซลล์เดียวที่เรียกว่าไคอะตอม (Diatom) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายในการศึกษาผลของแร่ดินเบาในปูนฉาบ โดยใช้แร่ดินเบาจากแหล่ง อำเภอมะเข่ จังหวัดลำปาง โดยมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ : แร่ดินเบา : ทรายฉาบ : ฝุ่นหินปูน โดยน้ำหนัก เท่ากับร้อยละ 20:5:75:0, 20:8:72:0, 20:10:70:0, 20:5:0:75, 20:8:0:72, 20:10:0:70, 20:0:80:0 และ 20:0:0:80 คุณสมบัติที่ทดสอบประกอบด้วย คุณสมบัติพื้นฐานของแร่ดินเบาและคุณสมบัติเชิงกายภาพ คุณสมบัติเชิงกลของปูนฉาบผสมแร่ดินเบาได้แก่ กำลังอัด กำลังดึง และกำลังยึดเหนี่ยว คุณสมบัติเชิงความทนทานได้แก่ การหดตัวแบบแห้งและความคงตัว และคุณสมบัติเชิงความร้อนในรูปค่าการนำความร้อน การกระจายความร้อน และความจุความร้อนของปูนฉาบผสมแร่ดินเบา

จากการศึกษา พบว่าอัตราส่วนการแทนที่ของแร่ดินเบาในทรายฉาบเพิ่มขึ้นทำให้ค่าการไหลล้มมีค่าลดลง ในขณะที่ระยะเวลาการก่อตัวมีค่าลดลงตามลำดับ เมื่ออัตราส่วนการแทนที่แร่ดินเบาในทรายฉาบเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่ากำลังอัด กำลังดึงและกำลังยึดเหนี่ยวมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างปูนฉาบผสมทรายและฝุ่นหินปูน นอกจากนั้นการหดตัวแบบแห้งของปูนฉาบผสมแร่ดินเบา มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนการแทนที่แร่ดินเบาเพิ่มขึ้น อีกทั้งการใช้แร่ดินเบาอย่างเดียวและแร่ดินเบาพร้อมกับฝุ่นหินปูนทำให้คุณสมบัติเชิงความร้อนของปูนฉาบลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปูนฉาบปกติ

ABSTRACT

Diatomite mineral is a type of sedimentary rock which, in terms of structure, is lighter and more brittle than general rock originated from sedimentation and deposition of single cell seaweed, namely the Diatom. The objective of this research is to study the effect of diatomite mineral in insulating masonry cement. The source of diatomite used from Mae-Tha district in Lampang province, which was blended in the

proportions of cement : diatomite : masonry sand : limestone powder of 20:5:75:0, 20:8:72:0, 20:10:70:0, 20:5:0:75, 20:8:0:72, 20:10:0:70, 20:0:80:0, and 20:0:0:80 percent by weight. The basic properties of diatomite and physical properties, mechanical properties of diatomite masonry cement including compressive strength, tensile strength, and bonding strength, durability properties i.e. drying shrinkage and soundness, and thermal properties as thermal conductivity, thermal diffusivity, and specific heat were investigated.

From the test results, it was found that the percentages of diatomite replacement increased, flowability decreased, when compressive strength, tensile strength, and bonding strength reduced in comparison with the conventional masonry. Besides, the drying shrinkage of diatomite-masonry cement increased according to the increment of the diatomite replacements. Furthermore, the use of diatomite blended with limestone powder tends to reduce the thermal properties of diatomite-masonry cement comparing with those of the conventional masonry cement.

1. บทนำ

ด้วยกระแสของการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development) ตามแนวพระราชดำริขององค์พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทำให้ทุกภาคส่วนตระหนักถึงแนวทางการพัฒนาอันจะเป็นการสนองพระราชดำริที่ทรงคุณค่าดังกล่าวซึ่งในวงการคอนกรีตของเมืองไทยก็ดำเนินการพัฒนามาโดยลำดับ อาทิเช่น การพัฒนาวัสดุเหลือทิ้ง เช่น แก้วลอย แก้วแตก ภายในประเทศมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผสมทำเป็นคอนกรีต เป็นต้น [1,2,3] ทั้งนี้ก็เพื่อสรรค์สร้างนวัตกรรมใหม่มารองรับการพัฒนาสังคมไทย

สำหรับงานวิจัยนี้ก็นับได้ว่าเป็นอีกจุดหนึ่งขององค์รวมในการพัฒนาดังกล่าวในอันที่จะนำวัตถุดิบในประเทศซึ่งในที่นี้คือแร่ดินเบาหรือไคอะตอมไมต์ (Diatomite) ซึ่งมีมากในแถบจังหวัดลำปาง โดยมีปริมาณมากกว่า 250 ล้านตัน [4] และสามารถแสดงกระบวนการเตรียมได้ดังรูปที่ 1 โดยแร่ดินเบาที่นำมาใช้ทดสอบได้จากห้างหุ้นส่วนจำกัด

ลำปางภูมิพัฒนามีขั้นตอนการเตรียม 3 ขั้นตอน เริ่มตั้งแต่การทำเหมืองและการเตรียมแร่ดินเบา (รูปที่ 1 (ก) และ (ข)) โดยการลำเลียงแร่ดินเบาที่ได้จากการขุดเจาะมาเก็บและตากให้แห้ง หลังจากนั้นเป็นการบดและแยกขนาดแร่ดินเบา (รูปที่ 1 (ค) และ (ง)) เป็นการนำแร่ดินเบาที่ตากแห้งมาข่อยให้มีขนาดเล็กกลงและทำการแยกขนาดโดยผ่านตะแกรงเบอร์ 325 สุดท้ายเป็นการบรรจุถุงที่ไซโล โดยมีตัวดูดจับฝุ่นแร่ดินเบาเพื่อป้องกันมลภาวะทางอากาศ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลของการนำแร่ดินเบามาใช้เป็นวัตถุดิบส่วนหนึ่งในการผลิตปูนฉาบที่เพิ่มความเป็นฉนวนในการถ่ายเทความร้อน



(ก) เหมืองแร่ดินเบา



(ข) แร่ดินเบา



(ค) การบดและแยกขนาดแร่ดินเบา



(ง) การบรรจุถุงแร่ดินเบา

รูปที่ 1 ขั้นตอนการเตรียมแร่ดินเบา

สำหรับแนวทางการใช้งานแร่ดินเบามาผลิตปูนฉาบควรพิจารณาคุณสมบัติของปูนฉาบตามมาตรฐานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันได้แก่มาตรฐาน ASTM C 91-05 Standard Specification for Masonry Cement [5] ตามตารางที่ 1 และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของปูนฉาบ มอก. 1776-2542 [6] โดยต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของปูนฉาบตามมาตรฐาน ASTM C 91 [5]

คุณสมบัติทางกายภาพ	ประเภท N
1) ความละเอียด (ร้อยละค้ำสูงสุดบนตะแกรงเบอร์ 325)	24.0
2) การขยายตัวแบบออโตเคฟสูงสุด (ร้อยละ)	1.0
3) ระยะเวลาก่อตัว (นาที) ระยะเริ่มต้น (ไม่น้อยกว่า) ระยะสุดท้าย (ไม่มากกว่า)	120 1440
4) กำลังอัดต่ำสุด (กก./ซม. ²) ที่อายุ 7 วัน ที่อายุ 28 วัน	35.0 63.0
5) ปริมาณอากาศในมอร์ต้าร์ น้อยสุด (ร้อยละ) มากที่สุด (ร้อยละ)	8.0 21.0
6) ค่าการกักเก็บน้ำต่ำสุด (ร้อยละ)	70.0

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของปูนฉาบ มอก. 1776-2542 [6] ได้กำหนดคุณสมบัติไว้ดังนี้

1. ลักษณะทั่วไป

ปูนฉาบต้องเป็นผงและแห้ง ถ้าจับเป็นก้อน ต้องสามารถใช้นิ้วมือบีบให้แตกได้ง่าย การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

2. ความต้านแรงอัด

ความต้านแรงอัดของก้อนลูกบาศก์ตัวอย่างที่มีอายุ 28 วัน ขนาด 50 มม. จำนวน 3 ก้อน เฉลี่ยไม่น้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในตารางที่ 2 การกำหนดให้ปฏิบัติตาม มอก. 15 เล่มที่ 12 โดยผสมปูนฉาบให้มีค่าการไหลแผ่เบื่องต้นร้อยละ 110 ± 5

ตารางที่ 2 ความต้านแรงอัดตามประเภทของงานฉาบ (ข้อ 2)

ประเภท	เกณฑ์ที่กำหนด (เมกะปาสกาล)
1) ฉาบผนังก่อ	2.5
2) ฉาบผิวคอนกรีต	5.0

3. ความอึมน้ำ (ความต้องการน้ำ)

ความอึมน้ำของปูนฉาบต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 75 โดยกำหนดให้มีค่าการไหลแผ่เบื่องต้นร้อยละ 110 ± 5

4. ระยะเวลาการก่อตัว

การก่อตัวระยะต้นของปูนฉาบ ต้องไม่น้อยกว่า 60 นาที

2. ระเบียบวิธีวิจัย

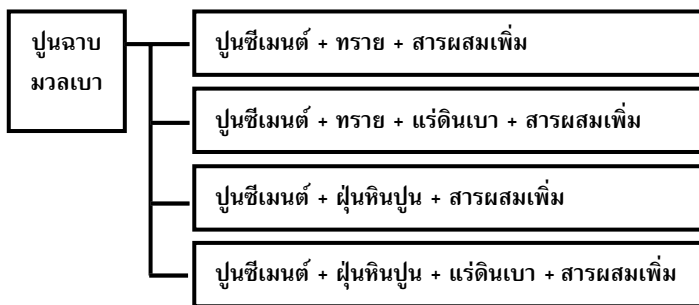
2.1 ขอบเขตของงานวิจัย

2.1.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
2. ฝุ่นหินปูน เป็นฝุ่นหินปูนประเภทโคโลไมด์ จากอำเภอแก่งคอย จ.สระบุรี
3. แร่ดินเบา จาก ห้างหุ้นส่วนจำกัดลำปางภูมิวัฒนา อำเภอแม่ทะ จ.ลำปาง
4. ทราย ใช้ทรายมาตรฐาน มอก. 1776-2542
5. น้ำ ใช้น้ำประปา
6. สารผสมเพิ่ม ใช้สารผสมเพิ่มประเภทสารลดน้ำชนิดปกติ (ชนิด A ตามมาตรฐาน ASTM C 494 [7])

2.1.2 สัดส่วนผสมของปูนฉาบมวลเบา

สัดส่วนผสมของปูนฉาบแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ส่วนผสมในการทดสอบของปูนฉาบ

โดยการพิจารณาจากความสามารถในการขึ้นรูปได้ของปูนฉาบจากหน้างานจริงดังรูปที่ 3 จากผลดังกล่าวสามารถกำหนดสัดส่วนผสมของปูนฉาบที่ทำการศึกษาดังตารางที่ 3



รูปที่ 3 การฉาบปูนบนผนังอิฐบล็อก (เอื้อเฟื้อภาพโดย บริษัท ทีพีโอโพลีน จำกัด (มหาชน))

ตารางที่ 3 สัดส่วนผสมปูนฉาบผสมแร่ดินเบา (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

ปูนซีเมนต์	ไดอะตอมไมต์	ทราย	ฝุ่นหินปูน	หมายเหตุ
20	0	80	0	สารผสมเพิ่มประเภทลดน้ำที่ใช้ในสัดส่วนร้อยละ 0.2
20	5	75	0	
20	8	72	0	
20	10	70	0	
20	0	0	80	โดยน้ำหนัก ของ ทราย ไดอะตอมไมต์ และฝุ่นหินปูน
20	5	0	75	
20	8	0	72	
20	10	0	70	

2.1.3 วิธีการศึกษาและมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ

2.1.3.1 คุณสมบัติพื้นฐานของแร่ดินเบา ได้แก่

- ก. องค์ประกอบทางเคมี ด้วยเทคนิค X-Ray Fluorescence
- ข. คุณสมบัติทางกายภาพ ตามที่ระบุจากมาตรฐานทดสอบสารปอซโซลานในมาตรฐาน ASTM C 618 [8]

- ค. คุณสมบัติทางโครงสร้างเชิงจุลภาค ได้แก่ Scanning Electron Microscope (SEM), X-Ray Diffraction (XRD), Particle Size Distribution Analysis และความพรุนด้วยเทคนิค Mercury Intrusion Porosimetry (MIP)

2.1.3.2 คุณสมบัติของปูนฉาบมวลเบา ได้แก่

- ก. คุณสมบัติเบื้องต้นของปูนฉาบ ได้แก่ ค่าความต้องการน้ำของปูนฉาบตามมาตรฐาน ASTM C 109 [9] และระยะการก่อตัวเริ่มต้นตามมาตรฐาน ASTM C 807 [10]

- ข. คุณสมบัติเชิงกล ได้แก่ กำลังอัด โดยใช้ก้อนลูกบาศก์ตัวอย่างขนาด 50 มม. จำนวน 3 ก้อน ตามมาตรฐาน มอก. 15 เล่มที่ 12 [6] ทำการทดสอบที่อายุ 1, 3, 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ และกำลังดึงตามมาตรฐาน B.S. 410 [11] และกำลังยึดเหนี่ยวที่อายุ 28 วัน ตามมาตรฐาน DIN 1015-12 [12]

- ค. คุณสมบัติเชิงความทนทาน ได้แก่ การหดตัวแบบแห้งตามมาตรฐาน ASTM C 596 [13] และความคงตัวตามมาตรฐาน ASTM C 88 [14]

- ง. คุณสมบัติเฉพาะ ได้แก่ การนำความร้อน (Thermal conductivity) การกระจายความร้อน (Thermal diffusivity) และความร้อน (Specific heat)

3. ผลการทดสอบและการวิจารณ์ผล

3.1 คุณสมบัติพื้นฐานของเรดินเบา

3.1.1 องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ

องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพแสดงในตารางที่ 4 พบว่าเรดินเบาปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์สูงเนื่องจากเรดินเบาเกิดจากการทับถมและตกตะกอนกันของเปลือกสาหร่ายเซลล์เดียวซึ่งมีองค์ประกอบเป็นซิลิกาเนื้อโอปอลจำนวนมาก ส่วนคุณสมบัติทางกายภาพพบว่าเรดินเบามีการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาไหม้ ปริมาณความชื้น พื้นที่ผิวจำเพาะและความต้องการน้ำมากกว่าปูนซีเมนต์

ตารางที่ 4 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของเรดินเบา ผุ่นหินปูนเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	ปูนซีเมนต์	ผุ่นหินปูน	เรดินเบา
1) ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO ₂)	20.84	12.23	68.53
2) อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al ₂ O ₃)	5.22	1.03	15.80
3) ไอรอนออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	3.20	0.43	9.69
4) แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	66.28	46.68	0.61
5) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	1.24	0.28	0.07
6) โพแทสเซียมออกไซด์ (K ₂ O)	0.22	0.04	1.88
7) โซเดียมออกไซด์ (Na ₂ O)	0.10	0.01	0.00
8) ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO ₃)	2.41	0.17	0.53
9) ไททาเนียมออกไซด์ (TiO ₂)	0.25	0.12	0.51
10) ปูนขาวอิสระ (Free CaO)	0.91	0.00	0.00
คุณสมบัติทางกายภาพ	ปูนซีเมนต์	ผุ่นหินปูน	เรดินเบา
1) การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาไหม้ (ร้อยละ)	0.96	37.19	2.31
2) ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	0.19	0.89	6.19
3) พื้นที่ผิวจำเพาะ โดยวิธีเบลน (ตร.ซม./กรัม)	3250	5100	7600
4) ความถ่วงจำเพาะ	3.11	2.70	2.30
5) ความละเอียดสะสม (ขนาดของอนุภาค, ร้อยละค้ำง)			
- ≥ 75 ไมโครเมตร	0.50	9.36	24.13
- 75 ไมโครเมตร	5.25	9.82	12.73
- 45 ไมโครเมตร	3.60	2.04	6.07
- ≤ 36 ไมโครเมตร	90.62	78.78	57.07
6) ดัชนีกำลัง ที่อายุ 7 วัน (ร้อยละ)	100	98	55
ที่อายุ 28 วัน (ร้อยละ)	100	80	71
7) ค่าความต้องการน้ำ (ร้อยละ)	100	102	136
8) ความหนาแน่นรวม (กก./ล.)	1.03	0.94	0.51

เมื่อนำผลทดสอบหาคุณสมบัติของเรดินเบาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM C 618 [8] พบว่าเรดินเบาไม่สามารถจัดเป็นสารปอชโซลานได้ เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ไม่ได้ตามมาตรฐานหลายประการ ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 คุณสมบัติของเรดินเบาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM C 618 [8]

องค์ประกอบทางเคมี	ประเภท N	ผุ่นหินปูน	เรดินเบา
1) ร้อยละต่ำสุดของ SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	70.00	13.69	94.02
2) ร้อยละสูงสุดของ SO ₃	4.00	0.17	0.53
3) ร้อยละสูงสุดของอัลคาไลน์ ในรูป Na ₂ O _e = Na ₂ O + 0.658K ₂ O	1.50	0.12	0.00
คุณสมบัติทางกายภาพ	ประเภท N	ผุ่นหินปูน	เรดินเบา
1) ความละเอียด (ร้อยละค้ำงสูงสุด บนตะแกรงขนาด 45 ไมโครเมตร)	34	19.18	36.86
2) ดัชนีกำลัง (เทียบกับตัวอย่างควบคุม) ที่อายุ 7 วัน (ร้อยละ)	75	98	55
ที่อายุ 28 วัน (ร้อยละ)	75	80	71
3) ความต้องการน้ำสูงสุด (ร้อยละ)	115	102	136
4) การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาไหม้ สูงสุด (ร้อยละ)	10.0	37.19	2.31
5) ปริมาณความชื้น สูงสุด (ร้อยละ)	3.0	0.89	6.19

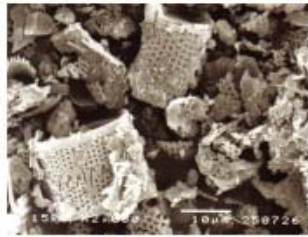
3.1.2 คุณสมบัติทางจุลภาค

อนุภาคของเรดินเบาที่มีรูพรุนและกลวงคล้ายกระเปาะท่อน้ำซึ่งถูกตัดเป็นปล้องจำนวนมากจึงเป็นสาเหตุที่เรดินเบามีความหนาแน่นของมวลรวมน้อย ในขณะที่อนุภาคปูนซีเมนต์มีลักษณะรูปร่างหลายเหลี่ยมไม่แน่นอนและมีพื้นผิวขรุขระ ดังแสดงในรูปที่ 4

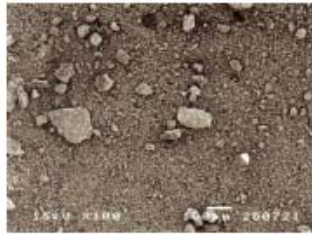
การกระจายขนาดอนุภาคของเรดินเบาดังแสดงในรูปที่ 5 มีลักษณะการกระจายอนุภาคส่วนใหญ่อยู่ในช่วงที่แคบ โดยที่มีร้อยละสะสมของอนุภาคเล็กกว่าที่กำหนดในช่วงร้อยละ 5 ถึง 95 พบว่าขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วงระหว่าง 0.3 ถึง 30 ไมโครเมตร ในขณะที่ผุ่นหินปูนมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 2.0 ถึงใหญ่กว่า 600 ไมโครเมตร



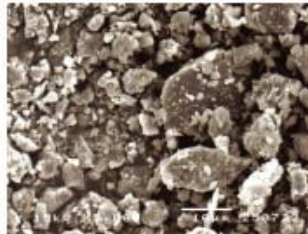
อนุภาคของแร่ดินเบาทำลึงขยาย 100 เท่า



อนุภาคของแร่ดินเบาทำลึงขยาย 2,000 เท่า



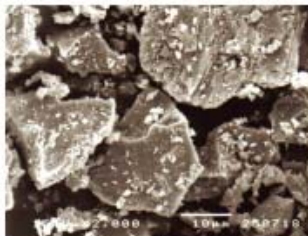
อนุภาคของฝุ่นหินปูนทำลึงขยาย 100 เท่า



อนุภาคของฝุ่นหินปูนทำลึงขยาย 2,000 เท่า

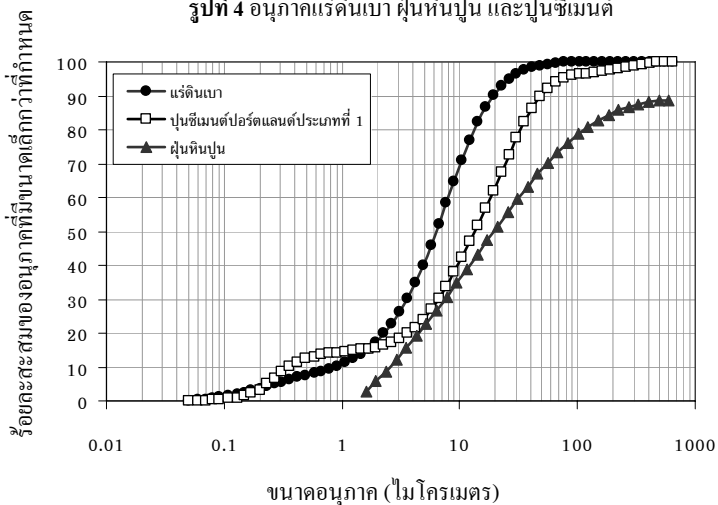


อนุภาคของปูนซีเมนต์ทำลึงขยาย 100 เท่า



อนุภาคของปูนซีเมนต์ทำลึงขยาย 2,000 เท่า

รูปที่ 4 อนุภาคแร่ดินเบา ฝุ่นหินปูน และปูนซีเมนต์



รูปที่ 5 การกระจายขนาดคละสะสมของอนุภาคแร่ดินเบา ฝุ่นหินปูนและปูนซีเมนต์

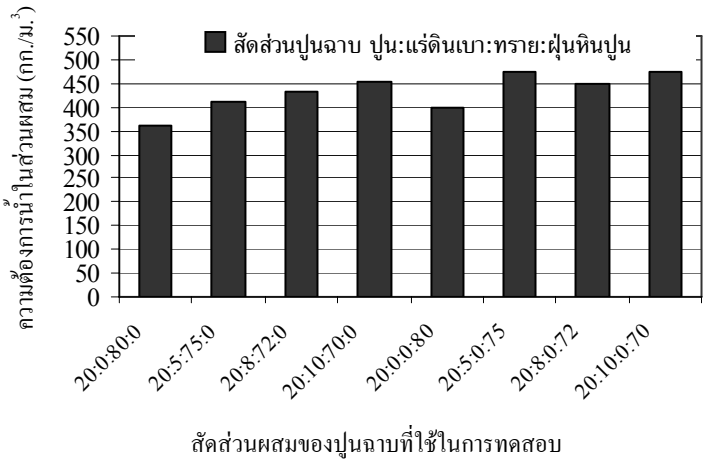
3.2 คุณสมบัติของปูนฉาบมวลเบา

3.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพ

3.2.1.1 ค่าความต้องการน้ำ

เมื่อสัดส่วนการแทนที่ของแร่ดินเบาในทรายเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความต้องการน้ำที่ทดสอบด้วยค่าการไหลแต่ละตามมาตรฐาน ASTM C 109 [9] มีค่าลดลงเนื่องจากแร่ดินเบาซึ่งมีอนุภาคที่เป็นกระเปาะ พื้นผิวขรุขระ

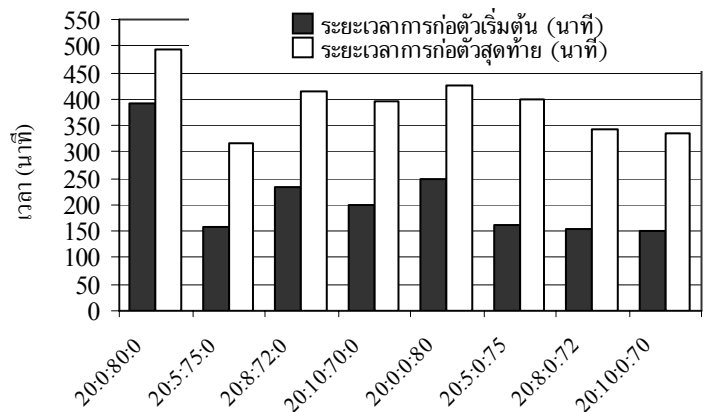
และพูนเป็นโพรงจึงสามารถในการกักเก็บน้ำได้สูง นอกจากนั้น เมื่อผสมแร่ดินเบาพร้อมกับฝุ่นหินปูนซึ่งมีขนาดเล็กและละเอียดกว่า อนุภาคปูนซีเมนต์จึงยังต้องการน้ำในการเคลือบผิวอนุภาคเพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคแร่ดินเบากับปูนซีเมนต์มากขึ้นทำให้ปริมาณน้ำที่ใช้เพื่อทำให้ค่าการไหลแต่ละมีปริมาณมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ค่าความต้องการน้ำของมอร์ตาร์ผสมแร่ดินเบา และ/หรือ ฝุ่นหินปูน

3.2.1.2 ระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้นและสุดท้าย

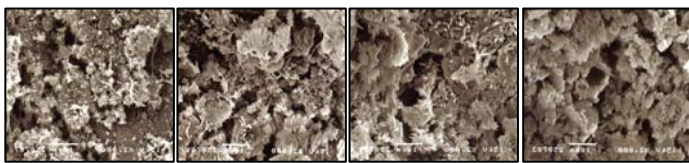
ระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและสุดท้ายของมอร์ตาร์ปูนฉาบแสดงในรูปที่ 7 พบว่าระยะเวลาในการก่อตัวมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนการแทนที่แร่ดินเบาในมอร์ตาร์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะการแทนที่แร่ดินเบาในปริมาณที่เพิ่มขึ้น แร่ดินเบาทำหน้าที่ดูดน้ำมาเก็บไว้ภายในอนุภาค ทำให้อนุภาคของปูนซีเมนต์ที่กระจายอยู่สามารถเข้ามารวมกันได้เร็วและเกิดปฏิกิริยาทำให้ความสามารถในการยึดเหนี่ยวได้ดียิ่งขึ้น ประกอบกับระยะเวลาการก่อตัวของมอร์ตาร์แปรผันตามปริมาณของน้ำ เมื่อปริมาณแร่ดินเบาลดลงทำให้ระยะเวลาการก่อตัวเพิ่มขึ้นตามลำดับ



รูปที่ 7 ค่าการก่อตัวเริ่มต้นและสุดท้ายของมอร์ตาร์ผสมแร่ดินเบา (ปูนซีเมนต์ : แร่ดินเบา : ทราย : ฝุ่นหินปูน)

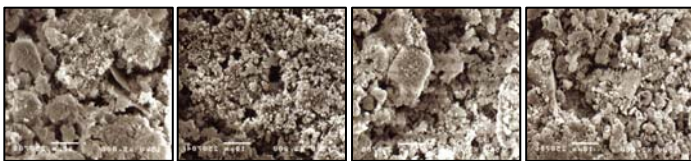
3.2.1.3 ลักษณะโครงสร้างระดับจุลภาคของปูนฉาบ

จากภาพขยายลักษณะโครงสร้างที่อายุ 1 และ 3 วัน ในรูปที่ 8 และ 9 เมื่อสารประกอบหลักในปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยาไฮเดรชันได้สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) และเอ็ททริงไกท์ (Ettringite) ขึ้น เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันอย่างต่อเนื่องทำให้ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตามไปด้วยและเข้าไปอุดช่องว่างระหว่างปูนซีเมนต์ทำให้ความพรุนของซีเมนต์เพสต์ลดลงเมื่ออายุเพิ่มขึ้น ซึ่งดูได้จากลักษณะโครงสร้างมีความหนาแน่นมากขึ้น ในขณะที่ปูนฉาบผสมแร่ดินเบาซึ่งโครงสร้างภายในประกอบโดยปฏิกิริยาของกระบอกที่มีรูพรุนและกลวง เมื่อเวลาผ่านไปทั้งจำนวนและความกว้างของรูพรุนในโครงสร้างมีปริมาณลดลงซึ่งหมายถึงมอร์ตาร์มีความหนาแน่นขึ้น



(ปูนซีเมนต์ : แร่ดินเบา : ทราช : ฝุ่นหินปูน)

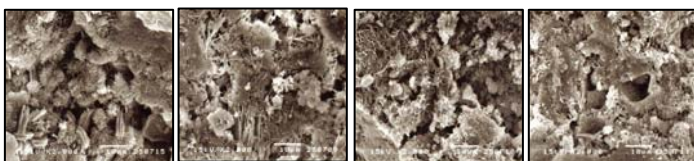
20:0:80:0 20:5:75:0 20:8:72:0 20:10:70:0



20:0:80:0 20:5:0:75 20:8:0:72 20:10:0:70

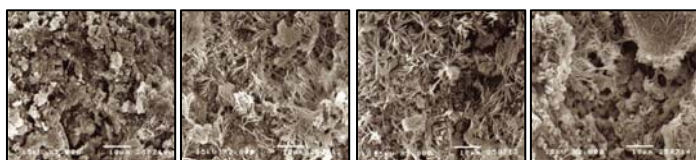
รูปที่ 8 ภาพขยายอนุภาคมอร์ตาร์ที่ส่วนผสมต่างๆ

ขนาด 2,000 เท่า ที่อายุ 1 วัน



(ปูนซีเมนต์ : แร่ดินเบา : ทราช : ฝุ่นหินปูน)

20:0:80:0 20:5:75:0 20:8:72:0 20:10:70:0



20:0:80:0 20:5:0:75 20:8:0:72 20:10:0:70

รูปที่ 9 ภาพขยายอนุภาคมอร์ตาร์ที่ส่วนผสมต่างๆ

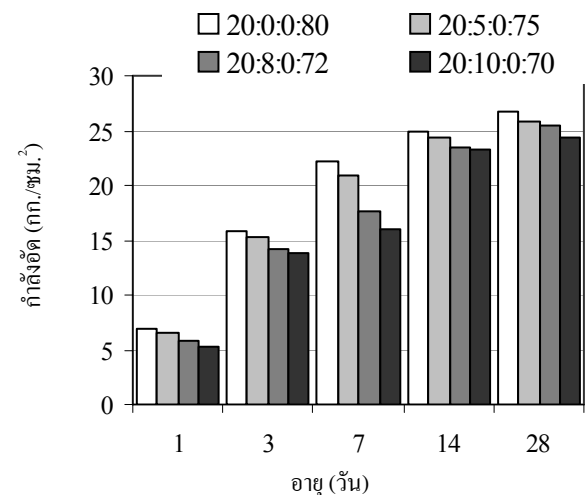
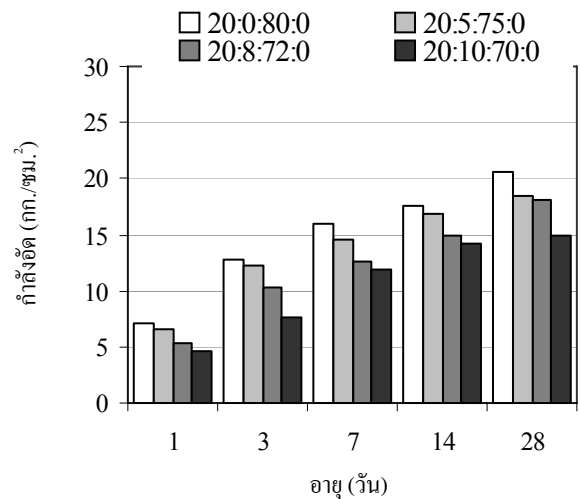
ขนาด 2,000 เท่า ที่อายุ 3 วัน

3.2.2 คุณสมบัติเชิงกล

3.2.2.1 กำลังอัดของมอร์ตาร์

การพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ปูนฉาบแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ในช่วงเริ่มต้นถึงอายุ 14 วัน พบว่ามอร์ตาร์มีกำลังอัดเพิ่มขึ้นอย่างมาก เนื่องจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างปูนซีเมนต์และน้ำทำให้เกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตและเอ็ททริงไกท์ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานเพิ่มขึ้นทำให้ความพรุนในเนื้อมอร์ตาร์ลดลงส่งผลให้กำลังอัดพัฒนามากขึ้นตามลำดับ และในช่วงอายุ 14 ถึง 28 วัน ปฏิกิริยาไฮเดรชันมีอัตราลดลงเนื่องจากปริมาณสารประกอบหลักลดลง

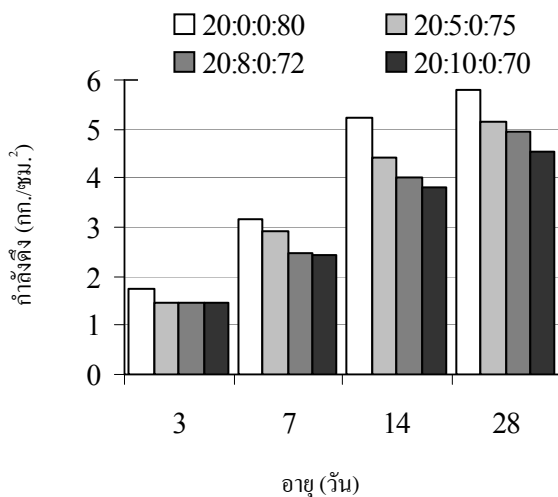
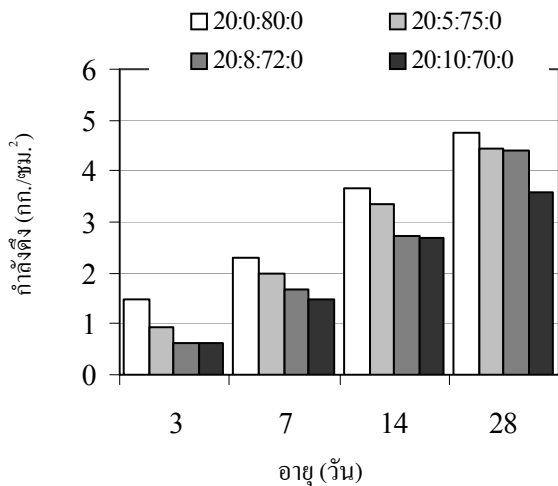
นอกจากนั้นการแทนที่แร่ดินเบาในทราชเพิ่มขึ้นมีผลทำให้กำลังอัดมีค่าลดลงเนื่องจากแร่ดินเบาที่อบแห้งมีลักษณะเป็นกระเปาะซึ่งมีรูกลวงและพรุน ดังแสดงในรูปที่ 10 ซึ่งโพรงที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้มอร์ตาร์มีกำลังอัดลดลง



รูปที่ 10 กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่มีการนำแร่ดินเบามาทำการแทนที่ในทราช และฝุ่นหินปูนในอัตราส่วนต่างๆกัน (ปูนซีเมนต์ : แร่ดินเบา : ทราช : ฝุ่นหินปูน)

3.2.2.2 กำลังดึงของมอร์ตาร์

กำลังดึงที่เกิดขึ้นในมอร์ตาร์ปูนฉาบปกติและมอร์ตาร์ผสมแร่ดินเบาและ/หรือฟูนหินปูนแสดงในรูปที่ 11 พบว่ากำลังดึงมีแนวโน้มเช่นเดียวกับการพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์

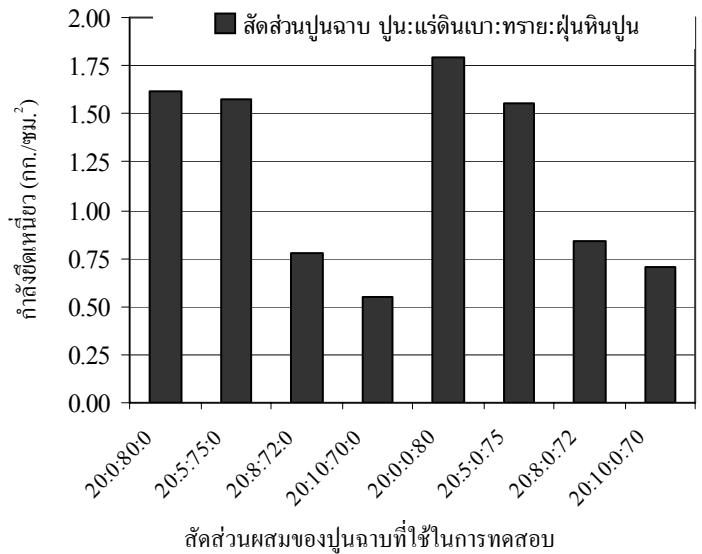


รูปที่ 11 กำลังดึงของมอร์ตาร์ที่มีการนำแร่ดินเบามาทำการแทนที่ในทราย และฟูนหินปูนในอัตราส่วนต่างๆกัน (ปูนซีเมนต์ : แร่ดินเบา : ทราย : ฟูนหินปูน)

3.2.2.3 แรงยึดเหนี่ยวของมอร์ตาร์ที่อายุ 28 วัน

ในรูปที่ 12 แสดงผลทดสอบแรงยึดเหนี่ยวของมอร์ตาร์ปูนฉาบที่อายุ 28 วัน โดยปูนฉาบผสมแร่ดินเบาทั้งที่มีทรายหรือ/และที่มีฟูนหินปูนเป็นส่วนผสมมีผลทำให้แรงยึดเหนี่ยวลดลงเมื่อสัดส่วนการแทนที่ของแร่ดินเบาเพิ่มขึ้นเนื่องจากแร่ดินเบาที่มีลักษณะที่เป็นโพรงมีค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนแร่ดินเบาเพิ่มขึ้นทำให้มอร์ตาร์มีโพรงน้ำภายในมากกำลังจึงลดลง ประกอบกับเกิดการหดตัวเนื่องจากการระเหย

ของน้ำทำให้กำลังยึดเหนี่ยวมีค่าลดลง ในขณะที่ปูนฉาบมีแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นในฟูนหินปูนมีค่ามากกว่าที่เกิดขึ้นในทราย

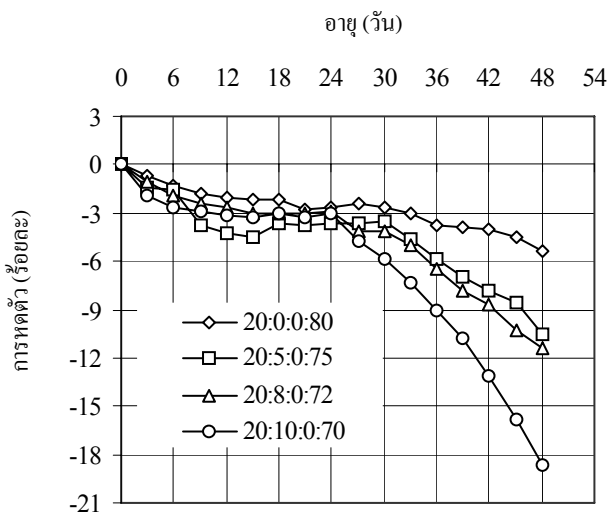


รูปที่ 12 แรงยึดเหนี่ยวของมอร์ตาร์ที่มีการนำแร่ดินเบามาทำการแทนที่ในทราย และ ฟูนหินปูนในอัตราส่วนต่างๆกัน (ปูนซีเมนต์ : แร่ดินเบา : ทราย : ฟูนหินปูน)

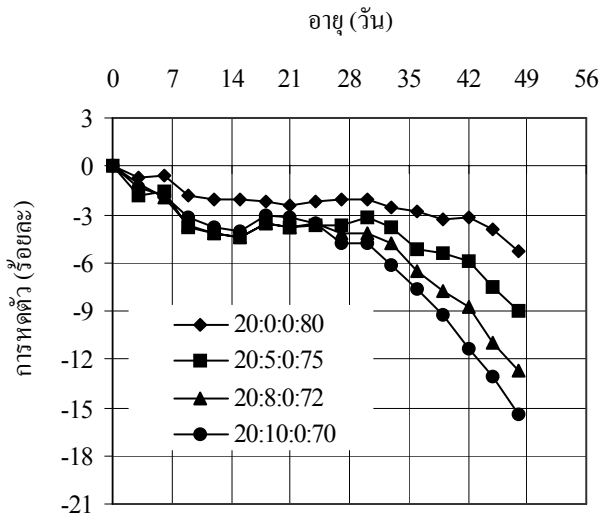
3.2.3 คุณสมบัติเชิงความทนทาน

3.2.3.1 การหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์

การหดตัวแบบแห้งของปูนฉาบผสมแร่ดินเบาที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนการแทนที่แร่ดินเบาในทรายเพิ่มขึ้นเนื่องจากลักษณะโครงสร้างของแร่ดินเบาที่มีรูพรุนมากและมีความสามารถในการกักเก็บน้ำทำให้มีโพรงน้ำและช่องว่างภายในมอร์ตาร์มากทำให้เกิดการหดตัวมากเมื่อน้ำเหล่านั้นระเหยออก ดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 13 การหดตัวแบบแห้งของปูนฉาบผสมดินเบา

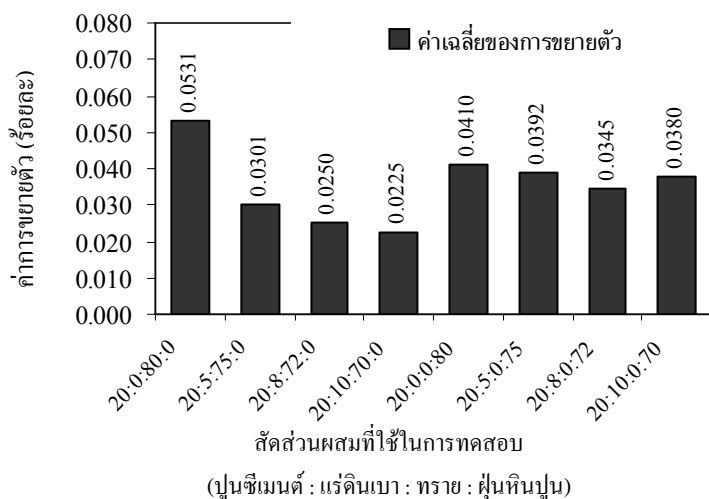


รูปที่ 13 (ต่อ) การหดตัวแบบแห้งของปูนฉาบผสมดินเบา

3.2.3.2 ความคงตัว

กลไกการเกิดความไม่คงตัวเป็นกระบวนการทางเคมีที่ก่อให้เกิดความไม่เสถียรภาพเชิงปริมาตรของโครงสร้างทำให้เกิดการยิดรั้งและแตกร้าวมีสาเหตุจากในโครงสร้างมีสารประกอบของแคลเซียมออกไซด์ (Calcium Oxide, CaO หรือ Free Lime) แมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium Oxide, MgO) ทำปฏิกิริยากับความชื้นได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาตรเพิ่มขึ้น [15]

จากผลการทดสอบค่าความคงตัวของปูนฉาบผสมดินเบาแสดงในรูปที่ 14 จากการที่แร่ดินเบาและฝุ่นหินปูนมีปริมาณแคลเซียมออกไซด์เท่ากับร้อยละ 0 ในขณะที่มีปริมาณแมกนีเซียมออกไซด์ เท่ากับร้อยละ 0.07 และ 0.28 ตามลำดับ ดังนั้นในระยะยาวหรือการทดสอบโดยวิธีแรงแบบอโดเคลฟจะทำให้เมื่อมีฝุ่นหินปูนในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มที่ทำให้เกิดการขยายตัวได้มากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับปูนฉาบที่มีแร่ดินเบาแทนที่ในทรายในปริมาณที่เท่ากัน นอกจากนั้นการเพิ่มสัดส่วนของแร่ดินเบาในปูนฉาบทำให้ค่าการขยายตัวมีค่าลดลงทั้งนี้เนื่องจากสัดส่วนของแมกนีเซียมออกไซด์ที่น้อยกว่าในปูนซีเมนต์

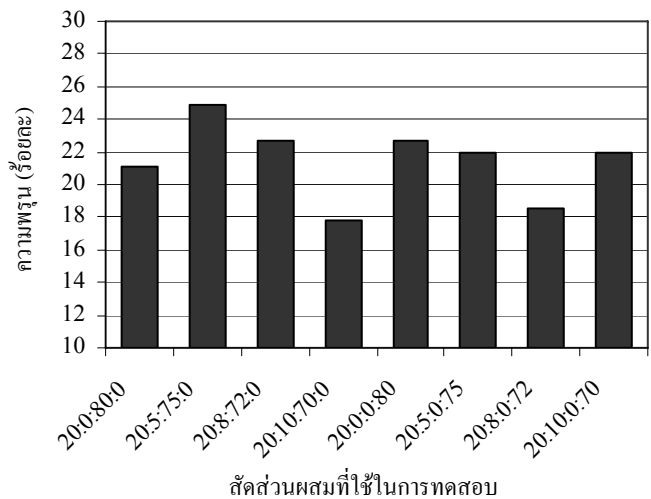


รูปที่ 14 ความคงตัวของปูนฉาบผสมดินเบา

3.2.3.3 ความพูน

เมื่อพิจารณาค่าความพูนของปูนฉาบที่อายุ 28 วัน ดังแสดงในรูปที่ 15 พบว่าค่าความพูนของปูนฉาบมีค่าลดลงเมื่อสัดส่วนของปริมาณแร่ดินเบาในปูนฉาบมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับปูนฉาบที่มีปริมาณฝุ่นหินปูนหรือทรายเท่ากัน เนื่องจากขนาดอนุภาคของแร่ดินเบาที่เล็กกว่าปูนซีเมนต์ทำให้อนุภาคของแร่ดินเบาแทรกตัวเข้าไปในระหว่างอนุภาคปูนซีเมนต์มีผลให้เนื้อของปูนฉาบแน่นขึ้นซึ่งหมายถึงค่าความพูนที่ลดลง [16]

สำหรับปูนฉาบที่ผสมกับฝุ่นหินปูนและแร่ดินเบา พบว่าปูนฉาบมีความพูนที่ลดลงตามลำดับ ทั้งนี้เพราะขนาดอนุภาคที่ใกล้เคียงกันของฝุ่นหินปูนและแร่ดินเบา ประกอบความสามารถในการทำปฏิกิริยาของฝุ่นหินปูนทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ช่วยเพิ่มความหนาแน่นของปูนฉาบ



รูปที่ 15 ความพูนของปูนฉาบผสมดินเบา

3.3 คุณสมบัติเฉพาะ

3.3.1 คุณสมบัติทางด้านความร้อนของปูนฉาบ

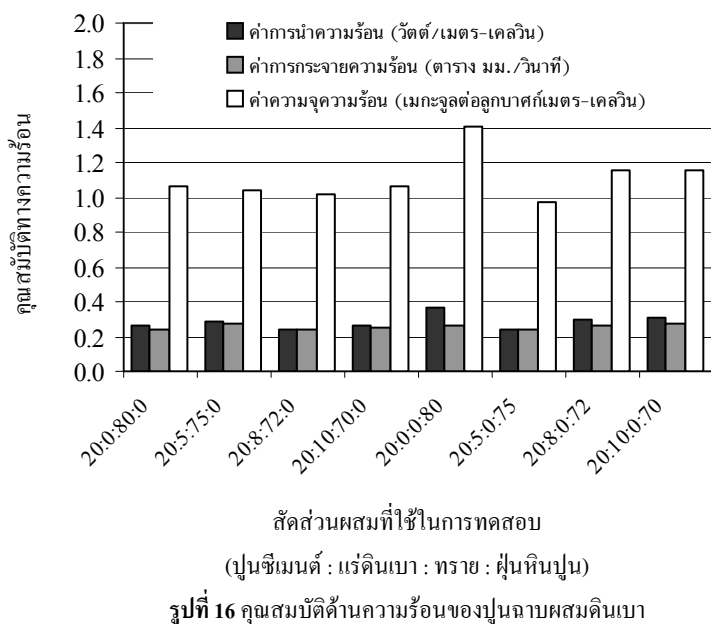
สำหรับคุณสมบัติที่สำคัญในการวัดสมรรถนะของปูนฉาบฉนวนกันความร้อนมวลเบาแสดงภาพรวมในรูปที่ 16 ซึ่งประกอบด้วย การนำความร้อน (Thermal Conductivity) การกระจายความร้อน (Thermal Diffusivity) และความจุความร้อน (Specific Heat) สามารถแบ่งการพิจารณาได้ดังต่อไปนี้

การนำความร้อนของปูนฉาบซึ่งใช้เฉพาะแร่ดินเบาแทนที่ในทรายทำให้ค่าการนำความร้อนลดลงจากมอร์ตาร์ปกติ (0.3685 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน) ทั้งนี้เพราะ โครงสร้างทางกายภาพของ แร่ดินเบาที่มีความพูนสูงหมายถึงอากาศในช่องว่างที่เพิ่มขึ้น ด้วยเหตุผลที่ความร้อนสามารถในการเคลื่อนที่ผ่านอากาศได้น้อยกว่าของแข็งจึงทำให้การนำความร้อนลดต่ำลงตามลำดับ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดเรียงตัวของอนุภาคซึ่งดูได้จากขนาดคละส่วนหนึ่งและสามารถในการอัดแน่น

(Compactability) [17] โดยในกรณีของแร่ดินเบนาน่าจะมาจากขนาดผลึกที่ต่างกันและมีรูพรุนทำให้ยังลดการนำความร้อน ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับการใช้เฉพาะฝุ่นหินปูนแทนที่ในทรายปกติ

ในกรณีของการกระจายความร้อนของปูนฉาบผสมแร่ดินเบนพบว่า ปูนฉาบผสมแร่ดินเบนมีการกระจายความร้อนที่ไม่แน่นอนเมื่อเปรียบเทียบกับปูนฉาบปกติ (0.2442 มม.²ต่อวินาที) โดยการแทนที่แร่ดินเบนที่ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีค่าสูงกว่าปูนฉาบปกติ ในขณะที่ที่ร้อยละการแทนที่เท่ากับ 8 มีค่าต่ำกว่า ซึ่งน่าเป็นผลของการอัดแน่นของอนุภาคในปูนฉาบและผลพลอยได้ของปฏิกิริยาไฮเดรชันเข้ามาเกี่ยวข้อง ส่วนในกรณีของปูนฉาบผสมฝุ่นหินปูนมีค่าใกล้เคียงกับปูนฉาบปกติ

ในส่วนของการนำความร้อน พบว่าทุกๆ สัดส่วนการแทนที่ของแร่ดินเบนทำให้ค่าการนำความร้อนลดลงซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการที่มีโพรงจำนวนมากทำให้ปูนฉาบไม่สามารถกักเก็บความร้อนได้ ในกรณีของปูนฉาบผสมฝุ่นหินปูนจะให้ผลที่ต่างกับปูนฉาบผสมแร่ดินเบนทั้งนี้เพราะความสามารถในการจัดเรียง (Rearrangement) ที่ดีกว่าแร่ดินเบน เนื่องจากขนาดผลึกที่ต่ำกว่าและใกล้เคียงกว่าปูนซีเมนต์จะทำให้เนื้อของปูนฉาบหนาแน่นมากขึ้นซึ่งหมายถึงความสามารถในการกักเก็บความร้อนสูงขึ้นตามไปด้วย



4. สรุปผลการศึกษา

4.1 แร่ดินเบนมีค่าซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) และอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) ปริมาณร้อยละ 68.53 และ 15.80 ตามลำดับ นอกจากนั้นแร่ดินเบนมีค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาไหม้ปริมาณความชื้น พื้นที่ผิวจำเพาะซึ่งทดสอบโดยวิธีเบลน และความตึงเครียดมากกว่าปูนซีเมนต์ ในขณะที่ค่าดัชนีกำลังที่ 7 วัน ลดลง ดังนั้นแร่ดินเบนไม่สามารถจัดเป็นสารปอซโซลาน

4.2 อัตราส่วนการแทนที่แร่ดินเบนในมวลรวมเพิ่มขึ้นทำให้ค่าการไหลแผ่และระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและสุดท้าย กำลังอัด กำลังดึง และค่าแรงยึดเหนี่ยว การขยายตัวและค่าความพูนมีค่าลดลง ในขณะที่การหดตัวแบบแห้งของปูนฉาบผสมแร่ดินเบนมีค่าเพิ่มขึ้น

4.3 การนำความร้อนของปูนฉาบซึ่งใช้เฉพาะแร่ดินเบนแทนที่ในทรายทำให้ค่าการนำความร้อนลดลงจากมอร์ตาร์ดาร์ปกติ ในขณะที่การกระจายความร้อนของปูนฉาบผสมแร่ดินเบนมีแนวโน้มไม่แน่นอนเมื่อเปรียบเทียบกับปูนฉาบปกติ นอกจากนั้นค่าความจุความร้อนในทุกๆ สัดส่วนการแทนที่ของแร่ดินเบนในทรายมีค่าลดลง

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงด้วยดี คณะผู้วิจัยใคร่กราบขอบพระคุณที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัยจากสำนักนโยบายและแผนพลังงานตามหนังสือยื่นการขอรับทุนสนับสนุนกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน แผนงานภาคความร่วมมือที่ กอ.ร. 87/2547 เลขที่โครงการ 03-166-47-59 และห้างหุ้นส่วนจำกัด ลำปางภูมิวิวัฒนา จังหวัดลำปาง และบริษัท ทีพีโอ โพลีน จำกัด (มหาชน) ที่ให้การสนับสนุนเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, จักรพันธ์ วงษ์พา และสุรพันธ์ สุคนธปรีดิ์, การพัฒนาเถ้าแกลบ-เปลือกไม้เพื่อใช้ในงานคอนกรีต, เอกสารประกอบการประชุมวิศวกรรมโยธาครั้งที่ 8, หน้า MAT 163 - 172, 2545.
- [2] พิชัย นิมิตรยสกุล และมาโกโตะ อาชิโน, คุณสมบัติของคอนกรีตผสมเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ, เอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการ เรื่องศักยภาพการนำเถ้าลอยกลับในต้นไม้ใช้ประโยชน์ สำนักวิจัยและพัฒนา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.
- [3] Tangtermsirikul, S. et al., Class C Fly Ash as a Shrinkage Reducer for Cement Paste, Proceeding of the 5th CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Milwaukee, Wisconsin, USA, June 1995, Vol.1, pp. 385-402.
- [4] ดินเบน “วารสารเศรษฐศาสตร์นิเวศวิทยา” ปีที่ 1 ฉบับที่ 12 ประจำเดือนธันวาคม 2542.
- [5] American Society for Testing and Materials, “ASTM C91-05 Standard Specification for Masonry Cement”, Annual Book of ASTM Standard Vol. 4.01, Philadelphia, PA, USA, 2005.
- [6] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม “มอร์ตาร์ดาร์ สำหรับฉาบ” มอก. 1776 – 2542.
- [7] American Society for Testing and Materials, “ASTM C494/C494 M-05a Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete”, Annual Book of ASTM Standard Vol. 4.01, Philadelphia, PA, USA, 2005.

- [8] American Society for Testing and Materials, “ASTM C618-05 Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete”, Annual Book of ASTM Standard Vol. 4.01, Philadelphia, PA, USA, 2005.
- [9] American Society for Testing and Materials, “ASTM C109/C109M-05 Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars(Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens”, Annual Book of ASTM Standard Vol. 4.01, Philadelphia, PA, USA, 2005.
- [10] American Society for Testing and Materials, “ASTM C807-05 Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement Mortar by Modified Vicat Needle”, Annual Book of ASTM Standard Vol. 4.01, Philadelphia, PA, USA, 2005.
- [11] British Standard, “B.S. 410 Standard Specifications (Portland Cement)”, the British Standards Institution, 1943.
- [12] European Standard, “EN 1015-12 Determination of Adhesive Strength of Hardened Rendering and Plastering Mortars on Substrates”, Germany, 2000.
- [13] American Society for Testing and Materials, “ASTM C596-01 Standard Test Method for Drying Shrinkage of Mortar Containing Hydraulic Cement”, Annual Book of ASTM Standard Vol. 4.01, Philadelphia, PA, USA, 2005.
- [14] American Society for Testing and Materials, “ASTM C88-05 Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate”, Annual Book of ASTM Standard Vol. 4.01, Philadelphia, PA, USA, 2005.
- [15] Neville A.M., Properties of Concrete, Fourth Edition, Pitman Books Limited, London, England, 1995.
- [16] P.V. Vasconcelos and J.A. Labrincha “Permeability of Diatomite Layers Processed by Different Colloidal Techniques” Journal of the European Ceramic Society 20 (2000) 201-207.
- [17] M.A. Al-Ghouti and M.A.M. Khraisheh “The Removals of Dyes from Textile Wastewater: a Study of the Physical Characteristics and Adsorption Mechanisms of Diatomaceous Earth” Journal of Environmental Management 69 (2003) 229-238.