



การพัฒนาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตพูนโดยใช้จุลินทรีย์
ประสิทธิภาพ (EM) เป็นส่วนผสม

โดย

รัฐศักดิ์ พรหมมาศ

ปิยะพงศ์ กี่สวัสดิ์คอน

นิชภา มินาบูลย์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

สนับสนุนงบประมาณโดย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2556

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของทุกๆ ฝ่ายและทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ และคณะวิศวกรรมศาสตร์ ในการสนับสนุนการทำผลงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ ทุกท่านสำหรับมิตรภาพที่ดีในการทำงาน ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ให้การสนับสนุน ให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะ และความช่วยเหลือในหลายสิ่งหลายอย่างจนกระทั่งงานวิจัยสำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี



รัฐศักดิ์ พรหมมาศและคณะ

สิงหาคม 2556

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : A24/2556

ชื่อโครงการ : การพัฒนาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตพูนโดยใช้จุลินทรีย์ ประสิทธิภาพ (EM) เป็นส่วนผสม

ชื่อนักวิจัย : ดร.รัฐศักดิ์ พรหมมาศ, นายปิยะพงศ์ กี่สวัสดิ์คอน และ นางสาวณิชภา มินาบูลย์

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาเพื่อการพัฒนาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตพูนโดยใช้จุลินทรีย์ ประสิทธิภาพ (EM) เป็นส่วนผสม มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตพูนโดยใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (EM) เป็นส่วนผสมและศึกษาอัตราส่วนผสมของ จุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (EM) ที่เหมาะสมในการทำ รวมทั้งการพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตพูนด้านการรับกำลังอัดให้มีค่ากำลังอัดที่สูงมากขึ้นโดยใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (EM) ของคอนกรีตพูน โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีการบ่มด้วยน้ำแบบปกติที่ 100 % และการบ่มด้วยน้ำต่อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ Effective Microorganisms, EM เท่ากับ 90% : 10% และ 80% : 20% ที่อายุการบ่ม 3,7,14 และ 28 วัน เพื่อทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานกำลังอัดของคอนกรีตพูนที่อัตราส่วนต่าง ๆ

ผลการวิจัยการพัฒนาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตพูนโดยใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (EM) เป็นส่วนผสม พบว่าคอนกรีตพูน มีการพัฒนาความต้านทานกำลังอัดเพิ่มขึ้นหลังจากอายุการบ่มที่ 28 วัน สามารถสรุปได้ดังนี้

1. นำไปบ่มด้วยอัตราส่วนน้ำต่อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ Effective Microorganisms, EM 90% : 10% มีความต้านทานกำลังอัดเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเท่ากับ 198.333 ksc.
2. การบ่มด้วยน้ำต่อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ Effective Microorganisms, EM 80% : 20% จะมีค่าความต้านทานกำลังอัดเฉลี่ยลดลงเท่ากับ 186.667 ksc.

ผลการวิจัยพบว่าคอนกรีตพูน ที่บ่มด้วยน้ำต่อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ Effective Microorganisms, EM 90% : 10% มีความต้านทานกำลังอัดเพิ่มขึ้นจริงแต่ไม่ควรใช้มากเกินไป อัตราส่วนนี้ เพราะจะส่งผลในด้านการพัฒนาความต้านทานกำลังอัดลดลง

E-mail Address : Ratthasak.pro@rmutr.ac.th

Period of project : 1 ตุลาคม พ.ศ. 2555 ถึง 30 กันยายน พ.ศ. 2556

Abstract

Code of project : A24/2556

Project Name : Mechanical Properties of Porous Concrete by Effective Microorganisms (EM) Mixed

Resercher name : Dr.Ratthasak PROMMAS , Mr. Piyapong Kesawadkorn and Mis. Nichapha Minaboon.

This research studies the development of the mechanical properties of porous concrete using effective microorganisms (EM), a combination intended. To study the mechanical properties of porous concrete using effective microorganisms (EM) and the mixture is a mixture of Effective Microorganisms (EM) is right in doing so including the development of properties of porous concrete, the compressive strength and the compressive strength of high performance by using microorganisms (EM) of porous concrete. By making a comparison between the normal water curing and curing at 100% water efficient microbial Effective Microorganisms, EM was 90%: 10% and 80%: 20% at ages 3,7,14 and 28 days of incubation to study the change of resistance of the concrete compressive strength ratio of different porosity.

Research to improve the mechanical properties of porous concrete using effective microorganisms (EM) is a compound found porous concrete. After incubation at 28 days of age with the development of resistance, compressive strength increased.

Can be cured with a ratio of water to microbial efficiency Effective Microorganisms, EM 90%: 10% resistance strength increased as 198.333 ksc., And incubated with water microbial efficiency Effective Microorganisms, EM 80%: 20% will have lower average compressive resistance equals 186.667 ksc.

E-mail Address : Ratthasak.pro@rmutr.ac.th

Period of project : 1 October 2012 - 30 August 2013

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	2
1.2 วัตถุประสงค์ของงานทำวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนของการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ของการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 กำลังอัด	4
2.2 ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำ	5
2.3 ความทนทาน	6
2.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
3. วิธีการทดลอง	18
3.1 ผังการดำเนินงาน	18
3.2 ระยะเวลาในการทำวิจัย	19
3.3 แผนการทดสอบ	19
3.4 การทดสอบคุณสมบัติคอนกรีต	26

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		
3.4	วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ	26
3.5	การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ	27
4.	ผลการศึกษาวิจัย	32
4.1	ผลการศึกษาคูณสมบัติด้านวิศวกรรมของวัสดุ	32
4.2	ผลการศึกษาคูณสมบัติด้านวิศวกรรมของคอนกรีต	33
5.	สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	37
5.1	สรุปผลการวิจัย	37
5.2	อภิปรายผลการวิจัย	38
5.3	ข้อเสนอแนะ	38
	บรรณานุกรม	39
	ภาคผนวก ก	41
	ภาคผนวก ข	47
	ประวัติผู้ทำการวิจัย	52

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เนื่องจากปัจจุบันอุตสาหกรรมก่อสร้างมีความก้าวหน้ามาก ความต้องการที่จะพัฒนาคุณภาพของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างจึงมีมากขึ้นตามไปด้วย เทคโนโลยีในการผลิตคอนกรีตให้มีคุณสมบัติและคุณภาพตามที่ต้องการจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จำเป็นต้องมีการค้นคว้า วิจัยและพัฒนาต่อเนื่องเพื่อให้สามารถผลิตคอนกรีตในลักษณะต่างๆ ได้ตามต้องการ เช่น คอนกรีตกำลังสูง (high strength concrete) คอนกรีตไหล (flowing concrete) คอนกรีตสมรรถนะสูง (high performance concrete) คอนกรีตบดอัด (roller-compacted concrete) เป็นต้น

ในปัจจุบัน การวิจัยและพัฒนาคอนกรีตเพื่อนำมาใช้ในงานนั้นมุ่งเน้นในเรื่องของคุณภาพและความคงทนของคอนกรีต จากการศึกษาอาจกล่าวได้ว่า คอนกรีตที่มีคุณภาพดีจะต้องมีความสามารถในการทำงานได้สูง คือ สามารถไหลลื่นเข้าแบบหล่อได้ง่ายคอนกรีตที่มีความคงทนและมีกำลังสูงจะต้องมีเนื้อแน่นเป็นเนื้อเดียวกัน จึงจะสามารถต้านทานการแทรกซึมของสารที่จะเข้าไปทำลายเนื้อคอนกรีตและเหล็กเสริมได้ดี และให้กำลังอัดได้สูง ดังนั้นคอนกรีตที่ใช้ในงานก่อสร้างส่วนใหญ่จึงต้องออกแบบให้มีความสามารถในการทำงานได้ดีและเป็นเนื้อเดียวกัน

คอนกรีตพรุน (porous concrete) เป็นคอนกรีตที่มีความพรุนสูง โดยที่โพรงในเนื้อของคอนกรีตจะมีทั้งโพรงที่ไม่ต่อเนื่องและมีความต่อเนื่องกัน ด้วยคุณสมบัติของโพรงที่มีความต่อเนื่องนี้จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานที่ต้องการให้น้ำไหลซึมผ่านได้สูง คอนกรีตธรรมดาจะมีส่วนประกอบหลักคือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มวลรวมละเอียด มวลรวมหยาบ และน้ำ อาจมีส่วนประกอบรองจำพวกสารปอซโซลาน (pozzolan) และสารผสมเพิ่ม สำหรับคอนกรีตพรุนจะมีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มวลรวมหยาบ และน้ำ สำหรับส่วนประกอบรองคล้ายกับคอนกรีตธรรมดา คือ มีสารปอซโซลานและสารผสมเพิ่ม จะเห็นว่าความแตกต่างของส่วนประกอบระหว่างคอนกรีตธรรมดากับคอนกรีตพรุนคือ คอนกรีตพรุนไม่มีมวลรวมละเอียดเหมือนคอนกรีตธรรมดา นั่นคือ คอนกรีตพรุนจะประกอบด้วยซีเมนต์เพสต์และมวลรวมหยาบเท่านั้น ความแตกต่างอีกประการหนึ่ง คือ คอนกรีตพรุนจะมีความสามารถในการทำงานได้ต่ำมากซึ่งมีลักษณะคล้ายกับคอนกรีตบดอัด ซึ่งต้องอาศัยพลังงานในการบดอัดช่วยในการเข้าแบบ ต่างจากคอนกรีต

ธรรมดาที่สามารถไหลเข้าแบบได้เอง โดยทั่วไปแล้ว คอนกรีตจะมีกำลังอัดอยู่ระหว่าง 14 - 40 MPa. การที่จะทำให้ได้มาซึ่งคอนกรีตพูนที่มีคุณภาพดีและมีกำลังอัดสูงนั้น จะต้องทำการควบคุมค่าการไหลของซีเมนต์และปริมาณโพรงให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมและสอดคล้องกัน นอกจากนี้ พลังงานในการบดอัดยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องมีการควบคุม เพราะหากมากเกินไปจะทำให้ซีเมนต์เพสต์ไหลจมลงด้านล่างได้ ด้วยปัจจัยหลายอย่างประกอบกัน ทำให้การผลิตคอนกรีตพูนจำเป็นต้องมีการออกแบบและควบคุมเพื่อให้ได้คอนกรีตสด ในสถานะที่เหมาะสมกับการทำงาน

ในประเทศญี่ปุ่นจะมีการทำการศึกษาและมีการนำคอนกรีตไปใช้กันอย่างกว้างขวาง การนำไปใช้ในงานพื้นผิวถนนโดยเทคอนกรีตพูนที่ใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (EM) ในส่วนผสม ค่ากำลังอัดจะมีค่าที่เพิ่มสูงขึ้น มากกว่าคอนกรีตโดยทั่วไป ประมาณ 30 - 50% จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (EM) มาใช้ในการพัฒนาจุดด้อย คุณสมบัติด้านกำลังอัดของคอนกรีตพูน

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตพูนที่ผสม EM-X ceramic
- 1.2.2 เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกลในด้านของกำลังอัดสูงสุดของคอนกรีตพูน

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 วัสดุที่ใช้ทดสอบประกอบด้วย

- 1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
- 2) EM-X ceramic
- 3) มวลรวมหยาบขนาดคละ 4.75 - 19.00 มม. (มาตรฐาน ASTM C 33)
- 4) น้ำ
- 5) สารผสมเพิ่ม

1.3.2 การทดสอบ

1) ทดสอบผลกระทบบของกำลังอัดสูงสุดของคอนกรีตพูน โดย ทรงกระบอกขนาด 15×30 เซนติเมตร โดยจะทำการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรที่มีผลต่อกำลังอัด ดังนี้

- (1) ผลจากการใช้EMแทนปูนซีเมนต์โดยทดแทนEMในอัตราร้อยละ 10, 20, และ 30
- (2) ผลจากการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโพรง โดยออกแบบให้คอนกรีตมีอัตราส่วนโพรงร้อยละ 15, 20, และ 25

(3) ผลจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของมวลรวมหยาบ โดยขนาดของมวลรวมหยาบที่ใช้คือ 4.27-9 และ 9-19 มิลลิเมตร

(4) ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำต่อสารซีเมนต์ โดยใช้ปริมาณน้ำต่อสารซีเมนต์คือ 0.19, 0.23, และ 0.25

1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

1.4.1 เก็บรวบรวมข้อมูลจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาทดลอง

1.4.3 เก็บรวบรวมข้อมูลจากการทดลอง

1.4.4 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

1.4.5 สรุปผลการทดลอง

1.4.6 การเสนอแนะ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถนำไปเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาคอนกรีตพูนรับกำลังอัดสูงได้

1.5.2 สามารถนำคอนกรีตพูนกำลังอัดสูงไปใช้ในงานก่อสร้างได้อย่างแพร่หลาย

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.6.1 คอนกรีตพูน

1.6.2 จุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (EM)

1.6.3 ค่าความชื้นน้ำ

1.6.4 คอนกรีตระบายน้ำ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คอนกรีตพรุน คือ คอนกรีตที่มีช่องว่างที่มีความต่อเนื่องกัน (continuous void) ซึ่งมีความแตกต่างจากคอนกรีตธรรมดาทั่วไป ด้วยเหตุนี้ คอนกรีตพรุนจึงมีคุณสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกับคอนกรีตธรรมดาก็คือ ทั้งมีการนำคุณสมบัติของการซึมผ่านของน้ำผ่านช่องว่างที่ต่อเนื่องกันมาประยุกต์ใช้งานด้านวิศวกรรมและสถาปัตยกรรมได้อย่างหลากหลาย โดยคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตพรุนมีดังนี้

2.1 กำลังอัด

จากรายงานการศึกษากำลังอัดของคอนกรีตพรุนพบว่า อัตราส่วนโพรงในเนื้อคอนกรีตมีอิทธิพลต่อกำลังอัดของคอนกรีตเป็นอย่างมาก สำหรับคอนกรีตพรุนที่มีอัตราส่วนโพรงร้อยละ 15 จะมีกำลังอัดได้มากถึง 44 N/mm^2 (Chindaprasirt, Hatanaka, Chareerat, Mishima and Yuasa, 2006) สำหรับคุณภาพของมวลรวมและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมจะมีผลต่อกำลังรับแรง โดยพบว่า การนำมวลรวมกลับมาใช้ใหม่ (recycled aggregate) ทำให้คอนกรีตมีกำลังลดลง การใช้พลังงานในการบดอัดเข้าช่วยจะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตเพิ่มขึ้นและทำให้อัตราส่วนโพรงในเนื้อคอนกรีตพรุนมีค่าลดลง สำหรับการนำมวลรวมจากคอนกรีตเก่ากลับมาใช้ใหม่ (Park and Kim, 2004) พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตพรุนลดลงตามปริมาณการใช้โดยลักษณะการวิบัติจะเกิดระหว่างรอยต่อของซีเมนต์เพสต์ใหม่และซีเมนต์เพสต์เดิม แต่การนำซิลิกาฟุ้ง (silica fume) ผสมเพิ่มร้อยละ 10 ทำให้กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าเพิ่มสูงขึ้น แต่หากเพิ่มซิลิกาฟุ้งในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดลดลง เช่นเดียวกับการผสมคาร์บอนไฟเบอร์ (carbon fiber) เพิ่มในคอนกรีตมากจนถึงร้อยละ 3 ทำให้กำลังอัดเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณที่ผสมเพิ่ม แต่กำลังอัดจะลดลงเมื่อปริมาณการผสมมากเกินไป ร้อยละ 3 การพัฒนากำลังรับแรงตามอายุของคอนกรีตพรุนมีลักษณะคล้ายกับคอนกรีตธรรมดา โดยพบว่า การพัฒนากำลังของคอนกรีตในช่วงแรกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ในช่วงอายุ 28-30 วัน การพัฒนากำลังอัดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Park, Cho and Kim, 2004) , (Schaefer, Wang, Suleiman and White, 2006) จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนระหว่างซีเมนต์เพสต์และมวลรวมมีผลต่อกำลังรับแรง โดยที่คอนกรีตที่มีปริมาณซีเมนต์เพสต์ต่อมวลรวมมาก จะให้กำลังอัดที่สูงกว่าปริมาณซีเมนต์เพสต์ต่อมวลรวมที่น้อยกว่า อย่างไรก็ตามขนาดของมวลรวมที่ใช้ยังมีผลต่อ

กำลังรับแรงจากการศึกษาพบว่า การใช้มวลรวมขนาด 10 - 20 mm. จะได้คอนกรีตที่มีกำลังอัดต่ำกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมขนาด 5 - 10 mm.

2.2 ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำ

โดยทั่วไปคอนกรีตธรรมดาจะมีความทึบน้ำสูง (Neville, 1999) ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำน้อยมากคือปริมาณ 10^{-11} ถึง 10^{-12} m./sec. ซึ่งแปรผันกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ สำหรับคอนกรีตพูนนั้นจะมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำอยู่ในช่วง 0.001 ถึง 10 cm./sec. (Brown, 2006) ซึ่งน้ำจะสามารถไหลผ่านเนื้อคอนกรีตได้ดี ดังแสดงในรูปภาพที่ 2.1 ได้มีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำกับอัตราส่วนโพรงที่ต่อเนื่องกัน ได้พบว่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนโพรงที่เพิ่มมากขึ้น (Uchida, Ooyabu, Nakano, and Matsumoto, 2004) , (Halverson, White, 2003) จากการศึกษาพบว่าสำหรับคอนกรีตพูนที่ใช้มวลรวมขนาดเล็ก (เล็กกว่า 5 มม.) ซึ่งจะมีช่องว่างระหว่างเม็ดของมวลรวมเล็กมากทำให้เกิดการกักเก็บ (retention) และ ดึงดูด (pumping) น้ำขึ้นเหนือระดับผิวหน้าได้ ดังได้แสดงในรูปภาพที่ 2.2 ซึ่งในการเกิดของกรณีดังกล่าวนี้ คอนกรีตพูนจะต้องมีความสามารถในการไหลผ่านของน้ำ และมีความพูนค่อนข้างต่ำ (Hatanaka, Mishima, Yuasa, Nakagawa and Kuroda, 2006) จากการศึกษายังพบว่า นอกจากอัตราส่วนโพรงแล้ว ยังพบว่า ขนาดของมวลรวมที่ใช้สำหรับคอนกรีตยังมีผลต่อความสามารถในการไหลผ่านของน้ำ โดยพบว่าที่ปริมาณอัตราส่วนโพรงที่เท่ากับค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมขนาดใหญ่ จะมีค่ามากกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมขนาดเล็ก



รูปที่ 2.1 น้ำสามารถซึมผ่านคอนกรีตได้



รูปที่ 2.2 การดึงดูดน้ำของคอนกรีต

2.3 ความทนทาน

แม้ว่าการนำคอนกรีตพูนไปใช้งานนั้น จะเน้นถึงคุณสมบัติของความสามารถในการซึมผ่านของน้ำเป็นสำคัญ แต่การใช้คอนกรีตพูนในงานทางวิศวกรรมนั้นย่อมคำนึงถึงความทนทานของคอนกรีตด้วย เช่น งานคอนกรีตพื้นผิวถนน งานลาดผิวแม่น้ำ งานกรองตะกอนในรางระบายน้ำเสีย เป็นต้น ได้มีการทดสอบความต้านทานการขีดสีและการสึกกร่อนของคอนกรีตพูน (Hatanaka, Mishima, Yuasa, Nakagawa and Kuroda, 2006) พบว่าเมื่อกำลังของแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุประสานคองที่ 90 N/mm^2 . เมื่อความพูนของคอนกรีตเพิ่มมากขึ้นถึง 23% อัตราการสึกกร่อนใกล้เคียงกับคอนกรีตธรรมดา (กำลังอัด = 37.2 N/mm^2 .) และในขณะที่ความพูนของคอนกรีตคองที่ 20% อัตราของการสึกกร่อนจะลดลงตามกำลังของแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุประสานพามาเพิ่มขึ้น

2.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุเชื่อมประสานระหว่างมวลรวมในเนื้อคอนกรีต และที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยคุณสมบัติของปูนซีเมนต์จะขึ้นอยู่กับกรรมวิธีและองค์ประกอบของแร่ธาตุที่ใช้เป็นวัตถุดิบ โดยโรงงานจะทำการปรับส่วนผสมของวัตถุดิบในกระบวนการผลิตเพื่อให้ปูนซีเมนต์มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์แบ่งออกเป็นสองแบบ คือ กระบวนการผลิตแบบเปียก (wet process) และกระบวนการผลิตแบบแห้ง (dry process) การเลือกกระบวนการผลิตขึ้นอยู่กับความชื้น ความแข็ง และชนิดของวัตถุดิบ ที่ความชื้นช่วงหนึ่งจะทำให้การบดวัตถุดิบให้ละเอียดจะทำได้ยาก ถ้าวัตถุดิบเป็นดินเหนียวจะมีความชื้นสูง ดังนั้นจึงใช้กระบวนการผลิตแบบเปียก หากวัตถุดิบเป็นหินปูนและหินเชลจะมีความชื้นค่อนข้างต่ำจึงควรใช้กระบวนการผลิตแบบแห้ง ปัจจุบันนิยมกระบวนการผลิตแบบแห้งเพราะต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าแบบเปียกมาก (ปริญญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2547)

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์แบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ

- (1) วัสดุธาตุปูน (calcareous materials) เป็นออกไซด์ของธาตุแคลเซียม (calcium) ได้แก่ หินปูน (limestone) และหินชอล์ก (chalk) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1
- (2) วัสดุอาซิลลาเซียส (argillaceous materials) เป็นออกไซด์ของธาตุซิลิกอน (silicon) และ อลูมิเนียม (aluminium) ได้แก่ดินเหนียว หินเชลหรือหินดินดาน (shale) และหินชนวน (slate)

1) คุณสมบัติทางเคมีของปูนซีเมนต์

องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ เป็นสิ่งที่จำเป็นต้องทราบเพื่อใช้เป็นข้อพิจารณาในการเลือกใช้ปูนซีเมนต์ให้เหมาะสมกับงาน องค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ซึ่งเป็นออกไซด์หลัก (major oxides) ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซิลิกา (SiO_2) อะลูมินา (Al_2O_3) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) ออกไซด์หลักนี้รวมกันได้มากกว่าร้อยละ 90 ของปูนซีเมนต์ สำหรับที่เหลือเป็นออกไซด์รอง (minor oxides) ได้แก่ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ออกไซด์ของอัลคาไล (Na_2O และ K_2O) และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) และมีส่วนประกอบของออกไซด์อื่นผสมอยู่บ้าง เช่น ไทเทเนียมออกไซด์ (TiO_2) และฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์ (P_2O_5) ออกไซด์เหล่านี้จะทำปฏิกิริยากันและรวมตัวกันอยู่ในสภาพของสารประกอบ สารประกอบที่สำคัญมีอยู่ 4 อย่าง คือ

(1) ไตรแคลเซียมซิลิเกต (tricalcium silicate) องค์ประกอบทางเคมีคือ $3CaO.SiO_2$ และย่อว่า C_3S

(2) ไดแคลเซียมซิลิเกต (dicalcium silicate) องค์ประกอบทางเคมีคือ $2CaO.SiO_2$ และย่อว่า C_2S

(3) ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (tricalcium Aluminate) องค์ประกอบทางเคมีคือ $3CaO.Al_2O_3$ และย่อว่า C_3A

(4) เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ (tetracalciumaluminoferrite) องค์ประกอบทางเคมีคือ $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$ และย่อว่า C_4AF

2) ปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ

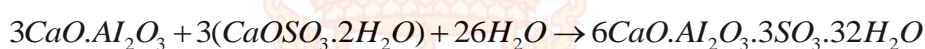
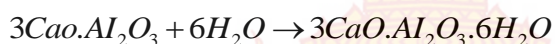
เมื่อปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำ จะทำให้ซีเมนต์เพสต์ก่อตัว แข็งตัว และเกิดความร้อน สารประกอบในปูนซีเมนต์จะทำปฏิกิริยา เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชัน ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ทั้งในสภาพพลาสติก และในสภาพที่แข็งตัว

(1) แคลเซียมซิลิเกต เมื่อไตรแคลเซียมซิลิเกตและไดแคลเซียมซิลิเกตผสมกับน้ำ จะได้แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (calcium silicate hydrate) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (calcium hydroxide) ดังสมการ



ปริมาณความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจะเป็นปฏิกิริยากับปริมาณการทำปฏิกิริยาเคมี นั่นคือ หากปริมาณเคมีเกิดขึ้นมากจะมีการคลายความร้อนมากด้วย

(2) แคลเซียมอลูมิเนตและเฟอร์ไรต์ เมื่อไตรแคลเซียมอลูมิเนตจำทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างรวดเร็ว ได้แคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต(calcium aluminat hydrate, CAH)



จากปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้เกิดการก่อตัวอย่างรวดเร็วตั้งนั้นจึงจำเป็นต้องผสมยิปซัมเพื่อหน่วงปฏิกิริยา เพราะ C_3A จะทำปฏิกิริยากับอ็อกไซด์ของซัลเฟสได้แคลเซียมซัลโฟอลูมิเนตไฮเดรต (calcium sulfoaluminate hydrate, $6CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3SO_3 \cdot 32H_2O$, $C_6AS_3H_{32}$) ซึ่งเรียกกันทั่วไปว่า เอทริงไทดต์(ettringite)

2.2.2 EM (Effective Microorganisms)

EM ย่อมาจากคำว่า Effective Microorganisms ซึ่งมีความหมายว่า กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพมีองค์ประกอบทางเคมีคือ SiO_2 80% Al_2O_3 20% และ 7 ไมคอนของแป้ง โดยการศึกษาพบว่าการทำงานจุลินทรีย์ว่ามี 3 กลุ่ม คือ

- 1) กลุ่มสร้างสรรค์ เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่เป็นโทษ ทำให้เกิดโรค มีประมาณ 10%
- 2) กลุ่มทำลาย เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่เป็นโทษ ทำให้เกิดโรค มีประมาณ 10%
- 3) กลุ่มกลาง มีประมาณ 80% จุลินทรีย์กลุ่มนี้หากกลุ่มใดมีจำนวนมากกว่า กลุ่มนี้จะสนับสนุนหรือร่วมด้วย

ดังนั้นการเพิ่มจุลินทรีย์ที่มีคุณภาพลงในดินก็เพื่อให้กลุ่มสร้างสรรค์มีจำนวนมากกว่า ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จะช่วยปรับปรุงโครงสร้างของดินให้กลับมีพลังขึ้นมา อีกหลังจากที่ถูกทำลายด้วยสารเคมีจนดินตายไป จุลินทรีย์มี 2 ประเภท

- 1) ประเภทต้องการอากาศ (Aerobic Bacteria)
- 2) ประเภทไม่ต้องการอากาศ (Anaerobic Bacteria)

จุลินทรีย์ ทั้งสองกลุ่มนี้ ต่างพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน และสามารถอยู่ร่วมกันได้ จากการค้นคว้าดังกล่าว ได้มีการนำเอาจุลินทรีย์ที่ได้รับการคัดและเลือกสรรอย่างดีจากธรรมชาติที่มีประโยชน์ต่อพืช สัตว์ และสิ่งแวดล้อม มารวมกัน 5 กลุ่ม (Famillies) 10 จีนัส (Genues) 80 ชนิด (Spicies) ได้แก่

กลุ่มที่1 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์พวกเชื้อราที่มีเส้นใย (Filamentous fungi) ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งการย่อยสลาย สามารถทำงานได้ดีในสภาพที่มีออกซิเจน มีคุณสมบัติต้านทานความร้อนได้ดี ปกติใช้เป็นหัวเชื้อผลิตเหล้า ผลิตปุ๋ยหมัก ฯลฯ

กลุ่มที่2 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์พวกสังเคราะห์แสง (Photosynthetic microorganisms) ทำหน้าที่สังเคราะห์สารอินทรีย์ให้แก่ดิน เช่น ไนโตรเจน กรดอะมิโน (Amino acids) น้ำตาล (Sugar) วิตามิน (Vitamins) ฮอร์โมน (Hormones) และอื่น ๆ เพื่อสร้างความสมบูรณ์ให้แก่ดิน

กลุ่มที่3 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมัก (Zynogumic หรือ Fermented microorganisms) ทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นให้ต้านทานโรค (Diseases resistant) เข้าสู่วงจรการย่อยสลายได้ดี ช่วยลดการพังทลายของดิน ป้องกันโรคและแมลงศัตรูพืชบางชนิดของพืชและสัตว์ สามารถบำบัดมลพิษในน้ำเสียที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมเป็นพิษต่าง ๆ ได้

กลุ่มที่ 4 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์พวกตรึงไนโตรเจน (Nitrogen fixing microorganisms) มีทั้งพวกที่เป็นสาหร่าย (Algae) และพวกแบคทีเรีย (Bacteria) ทำหน้าที่ตรึงก๊าซไนโตรเจนจากอากาศ เพื่อให้ดินผลิตสารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโต เช่น โปรตีน (Protein) กรดอินทรีย์ (Organic acids) กรดไขมัน (Fatty acids) แป้ง (Starch หรือ Carbohydrates) ฮอร์โมน (Hormones) วิตามิน (Vitamins) ฯลฯ

กลุ่มที่ 5 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์พวกสร้างกรดแลคติก (Lactic acids) มีประสิทธิภาพในการต่อต้านเชื้อราและแบคทีเรียที่เป็นโทษ ส่วนใหญ่เป็นจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการอากาศหายใจ ทำหน้าที่เปลี่ยนสภาพดินเน่าเปื่อย หรือดินก่อโรคให้เป็นดินที่ต้านทานโรค ช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคพืชที่มีจำนวนนับแสนหรือทำให้หมด ไป นอกจากนี้ยังช่วยย่อยสลายเปลือกเมล็ดพืชช่วยให้เมล็ดงอกได้ดีและแข็งแรงกว่า ปกติอีกด้วย

โดยที่อนุภาคของ EM เกิดมาจาก อนุภาคทั้งหมด 3 อนุภาค ได้แก่

1.) จุลินทรีย์ผลิตกรดแลคติก (Lactic Acid Bacteria) เป็นจุลินทรีย์ที่จัดอยู่ในพวกแบคทีเรียที่สามารถเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นกรดแลคติกได้โดยผ่านกระบวนการหมัก ซึ่งกรดแลคติกสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรคบางชนิด และจุลินทรีย์อื่น ๆ ได้ เนื่องจากมี pH ที่ต่ำ เป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางว่ามีการนำเอาจุลินทรีย์ผลิตกรดแลคติกไปใช้ในการหมักอาหารหลายชนิด เช่น เนยแข็ง โยเกิร์ต และสามารถเก็บไว้ได้นาน ตั้งแต่หลายสัปดาห์ ปาสเตอร์ ได้ค้นพบจุลินทรีย์ผลิตกรดแลคติกในปี พ.ศ.2400 ทำให้รู้ถึงประโยชน์ของมันที่เกี่ยวกับสุขภาพและการมีอายุยืนยาว เมื่อเร็ว ๆ นี้ มีงานวิจัยที่พบว่า นอกจากมันจะอยู่ที่ลำไส้เล็กของคนแล้วมันยังเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดภูมิคุ้มกัน มีคุณสมบัติในการต่อต้านการสูญเสียโปรตีนในเลือด ต่อต้านการกลายพันธุ์ โคลเลสเตอรอลในเลือดต่ำ และการมีความดันโลหิตต่ำ

2.) ยีสต์ (Yeast) เป็นที่รู้จักกันดีว่าเป็นตัวตั้งต้นในการหมัก ยีสต์เป็นจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมัก เบียร์หรือแอลกอฮอล์ และใช้ในการทำขนมปัง ยีสต์ค้นพบโดยพ่อค้าชาวดัทช์ ชื่อ แอนโทนี แวน ลีเวนฮุค (ในปี พ.ศ.2175 -2266) ซึ่งเป็นผู้ค้นพบเป็นคนแรกในโลกเรื่องจุลินทรีย์ ยีสต์ถูกจำแนกเป็น สัตว์เซลล์เดียว ซึ่งแตกต่างจากเชื้อราเพราะมันจะอยู่เป็นเซลล์เดียวไปตลอดชีวิต ในโลกของจุลินทรีย์จะมีกลุ่มจุลินทรีย์กลุ่มเล็ก ๆ ที่มีความจำเป็นต่อชีวิตมนุษย์ ยีสต์จะมีอยู่มากในสิ่งแวดล้อมที่มีน้ำตาลมาก เช่น น้ำหวานจากเกสรดอกไม้ ตามผิวของผลไม้ ใน EM ยีสต์ผลิตจะสารชีวพันธ์ต่าง ๆ หรือสารที่จำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต เช่น กรดอะมิโน และแป้ง

3.) จุลินทรีย์สังเคราะห์แสงโฟโตทรอปิกแบคทีเรีย (Phototrophic bacteria) เป็นที่รู้จักกันดีในชื่อ จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง เป็นแบคทีเรียโบราณที่เกิดมาก่อนการเกิดดาวเคราะห์โลกที่มีออกซิเจนหนาแน่นอย่างเช่นในปัจจุบัน จากชื่อของมัน บ่งบอกให้รู้ว่ามันใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์และอนินทรีย์ จุลินทรีย์สังเคราะห์แสงมีอยู่ตามนาข้าว ทะเลสาบ และทุกหนทุกแห่งบนโลกนี้ ในทางปฏิบัติจะพบจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพนี้ตามทุ่งนาเพราะมันย่อยสลายอินทรีย์วัตถุได้ดี ทั้งในการบำบัดน้ำเสียมีงานวิจัยที่รายงานเกี่ยวกับประสิทธิภาพของจุลินทรีย์นี้ ส่วนที่ใช้ในการเกษตร การเลี้ยงสัตว์น้ำ และการเลี้ยงสัตว์ทั่วไป ภายใต้สภาพที่มีการผลิตไฮโดรเจนมันสามารถย่อยสลายสารต่าง ๆ ได้อย่างต่อเนื่อง จุลินทรีย์สังเคราะห์แสงร่วมอยู่ในระบบย่อยต่าง ๆ และเป็นจุลินทรีย์หลักในวัฏจักรไนโตรเจนและวัฏจักรคาร์บอน เนื่องจากเป็นจุลินทรีย์หลักในวัฏจักรต่าง ๆ มันจึงทำงานร่วมกับจุลินทรีย์ใน EM ได้ ดังนั้นจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงจึงเป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญใน EM

2.4.1.1 ลักษณะโดยทั่วไปของ EM

EM ส่วนใหญ่จะมีอยู่ 2 ลักษณะใหญ่ๆ

1. แบบน้ำ เป็นของเหลวสีน้ำตาลกลิ่นหอมอมเปรี้ยวอมหวาน (เกิดจากการทำงานของกลุ่มจุลินทรีย์ต่าง ๆ ใน EM) เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีชีวิต ไม่สามารถใช้ร่วมกับสารเคมีหรือยาปฏิชีวนะและยาฆ่าเชื้อต่าง ๆ ได้ ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น คน สัตว์ พืช และแมลงที่เป็นประโยชน์ ช่วยปรับสภาพความสมดุลของสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 2.3 EM แบบน้ำ

2. แบบแห้ง (ผงแป้งหรือเซลูล่า) เป็นจุลินทรีย์ที่ถูกสตาฟเก็บไว้ยังมีชีวิตมีลักษณะเป็นผงคล้ายแป้งสีขาวหรือทรงกระบอกเล็กสามารถนำน้ำสะอาดหรือกากน้ำตาลกลับมาผสมเพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์กลับมาใช้งานได้อีกครั้ง



รูปที่ 2.4 EM แบบน้ำ

2.4.2.2 การใช้งานจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ(EM)

1) ด้านการเกษตร, การประมง และปศุสัตว์

- ช่วยปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างในดินและน้ำ
- ช่วยแก้ปัญหาจากแมลงศัตรูพืชและโรคระบาดต่าง ๆ
- ช่วยปรับสภาพดินให้ร่วนซุย อุ้มน้ำและอากาศผ่านได้ดี
- ช่วยสร้างฮอร์โมนพืช พืชให้ผลผลิตสูงและคุณภาพดีขึ้น
- ช่วยย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ เพื่อให้เป็นปุ๋ย (อาหาร) แก่อาหารพืชดูดซึมไปเป็น

อาหารได้ดี ไม่ต้องใช้พลังงานมากเหมือนการให้ปุ๋ยวิทยาศาสตร์

- ช่วยให้ผลผลิตคงทน สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน มีประโยชน์ต่อการขนส่งไกล

ๆ เช่น ส่งออกต่างประเทศ

- ช่วยกำจัดกลิ่นเหม็นจากฟาร์มปศุสัตว์ ไก่และสุกร ได้ภายในเวลา 24 ชม.

- ช่วยกำจัดน้ำเสียจากฟาร์มได้ภายใน 1 - 2 สัปดาห์

- ช่วยกำจัดแมลงวัน โดยการตัดวงจรชีวิตของหนอนแมลงวันไม่ให้เข้าดักแด้เกิดเป็นตัวแมลงวัน

- ช่วยป้องกันอหิวาต์และโรคระบาดต่าง ๆ ในสัตว์แท่นยาปฏิชีวนะและอื่น ๆ

ได้

- ช่วยเสริมสุขภาพสัตว์เลี้ยง ทำให้สัตว์แข็งแรงมีความต้านทานโรคสูง ให้ผลผลิต

สูงอัตราการตายต่ำ

- ช่วยควบคุมคุณภาพในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำได้
- ช่วยแก้ปัญหาโรคพยาธิในน้ำเป็นอันตรายต่อกุ้ง ปลา กบ หรือสัตว์น้ำที่เลี้ยงได้
- ช่วยรักษาโรคแผลต่าง ๆ ในปลา กบ จระเข้ ฯลฯ ได้
- ช่วยลดปริมาณซีเลินในบ่อ และทำให้เลนไม่เน่าเหม็น สามารถนำไปผสมปุ๋ย

หมักใช้พืชต่างๆ ได้อย่างดี

2) ด้านการอุตสาหกรรมและการก่อสร้าง

- สามารถนำมาผสมน้ำปูนใสเหล็กตะแกรงเพื่อป้องกันการกัดกร่อน
- สามารถนำมาผสมกับมอร์ต้าหรือคอนกรีตเพื่อเพิ่มกำลังต้านทานแรงอัด
- สามารถนำมาผสมปูนซีเมนต์เพื่องานตกแต่งภายใน เช่น งานฝ้าเพดาน งานปู

กระเบื้อง

2.4.2.3 การดูแลเก็บรักษา

- หัวเชื้อ EM สามารถเก็บได้นานประมาณ 1 ปี โดยปิดฝาให้สนิท
 - อย่าทิ้ง EM ไว้กลางแดด และอย่าเก็บไว้ในตู้เย็น เก็บรักษาไว้ในอุณหภูมิปกติ
- ทุกครั้งที่จะแบ่งไปใช้ต้องรีบปิดฝาให้สนิท เพื่อไม่ให้เชื้อโรค หรือจุลินทรีย์ในอากาศที่เป็นโทษ เข้าไปปะปน - การนำ EM ไปขยายต่อควรใช้ภาชนะที่สะอาด และใช้ให้หมดในระยะเวลาที่เหมาะสม

ข้อสังเกตพิเศษ

- 1) หาก EM เปลี่ยนเป็นสีดำ มีกลิ่นเหม็นเน่า ถือว่า EM ตายไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้อีกให้นำ EM ที่เสียผสมน้ำรดกำจัดหญ้าวัชพืชที่ไม่ต้องการได้
- 2) กรณีเก็บไว้นานๆ จะมีฝ้าขาวเหนียวสีขาว แสดงว่า EM พักตัวเมื่อขยายภาชนะฝ้าสีขาวจะสลายตัวกลับไปอยู่ในน้ำเหมือนเดิมนำไปใช้ได้
- 3) เมื่อนำไปขยายเชื้อในน้ำและกากน้ำตาล จะมีกลิ่นหอมและเป็นฟองขาวๆ ภายใน 2-3 วัน ถ้าไม่มีฟองน้ำนิ่งสนิทแสดงว่าการหมักขยายเชื้อยังไม่ได้ผล

2.4.3 คุณสมบัติของ EM ที่มีต่อคอนกรีตพูน

จุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (Effective Micro-organisms) เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพคิดค้นพบโดย ศาสตราจารย์ ดร.เทโรอะ ฮิงะ (TEROU HIGA) แห่งมหาวิทยาลัยริวกิว เมืองโอกินาวา ประเทศญี่ปุ่น โดยใช้เทคนิคทางชีวภาพ รวบรวมเฉพาะกลุ่มจุลินทรีย์ หมวด

สร้างสรรค์ที่มีอยู่ในธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ ช่วยปรับปรุงสภาพความสมดุลของสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมให้ดีขึ้น โดยในปัจจุบันมีการนำจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (EM) มาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ มากมาย ซึ่งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อาทิเช่น ด้านการเกษตร ด้านการปศุสัตว์ ด้านการประมง ด้านสิ่งแวดล้อม และการใช้ในชีวิตประจำวัน โดยเฉพาะในด้านการเกษตร ทำดินมีคุณภาพดีขึ้น ผลผลิตมีคุณภาพและมีปริมาณมากขึ้น ด้านการกำจัดขยะและการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งเป็นความมหัศจรรย์ของจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (EM) ที่มีประโยชน์อย่างยิ่ง ต่อการดำรงชีวิตในสภาวะของโลกมีการเปลี่ยนแปลง ในปัจจุบัน

คอนกรีตพูนได้ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ เช่นคอนกรีตพูนสำหรับทางเท้าได้ถูกนำมาใช้ยาวนานกว่า 30 ปี ในประเทศอังกฤษและสหรัฐอเมริกา เช่นเดียวกัน ได้มีการใช้อย่างกว้างขวาง สำหรับทำพื้นผิวชนิดหยาบเพื่อป้องกันการลื่นไถลของถนนสำหรับรถวิ่ง และลดความดังของเสียงเนื่องจากการจราจรในประเทศแถบยุโรป และประเทศญี่ปุ่น คอนกรีตพูนได้ถูกกำหนดให้ใช้สำหรับทางเท้าในรัฐฟลอริดามากกว่า 20 ปี และได้รับการบันทึกว่ามีความคงทนและสมรรถภาพการใช้งานในระยะยาวที่ดี

คอนกรีตพูนเป็นคอนกรีตที่มีศักยภาพในการใช้งานเพื่อให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในหลากหลายรูปแบบ สอดคล้องกับแนวทฤษฎีการพัฒนาอย่างยั่งยืน คอนกรีตพูนตอบสนองความต้องการของอาคารและสิ่งก่อสร้างในฐานะคอนกรีตเพื่อการก่อสร้างและได้เพิ่มคุณสมบัติความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่นการซึมผ่านของน้ำหรือของเหลวบนผิวถนนหรือผิวทางเท้า เป็นวัสดุที่ทำให้น้ำสะอาดขึ้น เป็นฐานยึดเกาะของพืช นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้พื้นผิวทางจราจรที่ทำจากคอนกรีตพูนสามารถลดความร้อนที่สะท้อนกลับออกมาสู่บรรยากาศได้ดีกว่าการใช้คอนกรีตปกติ ซึ่งมีความทึบน้ำสูง ดังนั้นการประยุกต์ใช้คอนกรีตพูนสำหรับเป็นผิวทางโดยเฉพาะในเมืองใหญ่ๆ จึงน่าจะเป็นทางเลือกที่ดี สำหรับการลดภาวะเมืองร้อน หรือลดภาวะโลกร้อน ในปัจจุบันได้เป็นอย่างดี ในประเทศไทยการศึกษาวิจัยและการประยุกต์ใช้คอนกรีตประเภทนี้ยังไม่มีความแพร่หลายนัก

ซึ่งที่ผ่านมามีการนำจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (EM) มาใช้ประโยชน์ทางด้านวิศวกรรมมีอยู่น้อยมาก และการทำการก่อสร้างโดยการใช้คอนกรีตพูน ในปัจจุบันพบว่า คอนกรีตพูนมีความสามารถทางด้านการรับกำลังอัดที่ค่อนข้างต่ำกว่าคอนกรีตทั่วไป และรับน้ำหนักบรรทุกได้ค่อนข้างน้อย ซึ่งจากการศึกษาวิจัยในประเทศญี่ปุ่นพบว่ามีความเป็นไปได้ในการนำจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (EM) มาใช้ในงานคอนกรีต โดยคอนกรีตที่ใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (EM) ในส่วนผสม ค่ากำลังอัดจะมีค่าที่เพิ่มสูงขึ้น มากกว่าคอนกรีตโดยทั่วไป ประมาณ 30 – 50% จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (EM) มาใช้ในการพัฒนาจุดต่อย คุณสมบัติด้านกำลังอัดของคอนกรีตพูน

2.4.4 สารเคมีผสมเพิ่ม

การทำคอนกรีตกำลังสูงต้องใช้สารเคมีผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตให้เหมาะสมกับการใช้งานและลดอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานให้ต่ำลงเพื่อให้คอนกรีตมีกำลังสูงขึ้น สารเคมีพื้นฐาน ได้แก่ สารลดปริมาณน้ำและสารลดน้ำพิเศษ เพื่อลดปริมาณน้ำในส่วนผสมและเพิ่มความสามารถเทได้ของคอนกรีต สารเคมีผสมเพิ่มอาจใช้ร่วมกับสารเคมีประเภทอื่นๆ เช่น สารกักกระจายฟองอากาศ สารหน่วงการก่อตัว หรือสารเร่งการก่อตัว เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การใช้สารเคมีผสมเพิ่มในคอนกรีตกำลังสูงควรตรวจสอบก่อนว่าสารเคมีผสมเพิ่มดังกล่าวสามารถใช้ร่วมกันได้ดีกับปูนซีเมนต์ที่ใช้ สารเคมีดังกล่าวยังไม่หมดอายุ และสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตกำลังสูงได้ตามที่ต้องการโดยสามารถแบ่งได้ดังนี้คือ

2.4.4.1 ประเภท A สารลดปริมาณน้ำ (Water Reducers หรือ Plasticizers)

หมายถึงสารเคมีผสมเพิ่มซึ่งเมื่อใช้ผสมคอนกรีตแล้วสามารถลดปริมาณน้ำต่อหน่วยปริมาตรของคอนกรีตได้โดยที่ความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตคงเดิม

2.4.4.2 ประเภท B สารหน่วงการแข็งตัว (Retarders) หมายถึง สารเคมีผสมเพิ่มซึ่ง

เมื่อใช้ผสมคอนกรีตแล้ว ทำให้ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตยาวนานขึ้น

2.4.4.3 ประเภท C สารเร่งการก่อตัว (Accelerators) หมายถึง สารเคมีผสมเพิ่มซึ่ง

เมื่อใช้ผสมคอนกรีตทำให้ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตสั้นลง

2.4.4.4 ประเภท D สารลดน้ำ และ หน่วงการก่อตัว (Water Reducing And Set

Tetarding Admixtures) หมายถึง สารเคมีผสมเพิ่มซึ่งเมื่อใช้ผสมคอนกรีตแล้ว สามารถลดปริมาณน้ำต่อหน่วยปริมาตรของคอนกรีต โดยความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตคงเดิมและทำให้ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตยาวนานขึ้น

2.4.4.5 ประเภท E สารลดน้ำและเร่งการก่อตัว (Water Reducing And Set

Accelerating Admixtures) หมายถึง สารเคมีผสมเพิ่มซึ่งเมื่อใช้ผสมคอนกรีตแล้วสามารถลดปริมาณน้ำต่อหน่วยปริมาตรของคอนกรีตโดยที่ความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตคงเดิมและทำให้ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตสั้นลง

2.4.4.6 ประเภท F สารลดน้ำระดับสูง (High Range Water Reducing

Admixtures หรือ Super plasticizer) หมายถึง สารเคมีผสมเพิ่มซึ่งเมื่อใช้ผสมคอนกรีตแล้วสามารถลดปริมาณน้ำต่อหน่วยปริมาตรคอนกรีตได้อย่างน้อยร้อยละ 12 โดยที่ความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตคงเดิม

2.4.4.7 ประเภท G สารลดน้ำระดับสูงและหน่วงการแข็งตัว (High Range Water Reducing And Set Retarding Admixture หรือ Set teetering Super plasticizer) หมายถึง สารเคมีผสมเพิ่มซึ่งเมื่อใช้ผสมคอนกรีตแล้วสามารถลดปริมาณน้ำต่อหน่วยปริมาตรคอนกรีตได้อย่างน้อยร้อยละ 12 โดยที่ความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตคงเดิมและระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตยาวนานขึ้น

2.4.5 วัสดุปอซโซลาน

ปอซโซลาน (pozzolan) เป็นวัสดุที่นิยมใช้เป็นส่วนผสมในปูนซีเมนต์หรือคอนกรีต โดยมีวัตถุประสงค์ในการลดต้นทุนของคอนกรีตเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติบางประการของคอนกรีตให้ดีขึ้น เช่น เพื่อความทนทานของคอนกรีตต่อสภาพการกัดกร่อน ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตสดเพื่อให้ทำงานได้ง่ายขึ้น เป็นต้น

ในการปรับปรุงคุณสมบัติบางอย่างของคอนกรีตสามารถใช้วัสดุบางชนิดผสมเพิ่มเติมในปูนซีเมนต์หรือคอนกรีต ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิดคือ วัสดุเฉื่อย (inert materials) วัสดุซีเมนต์ (cementing materials) และวัสดุปอซโซลาน (pozzolan materials)

คอนกรีตที่ขาดมวลรวมที่ค่อนข้างละเอียดเกิดการแยกตัวได้ง่าย และไม่เหมาะสมในการลำเลียงโดยการสูบลหรือการเทโดยใช้ท่อ การเพิ่มการเกาะตัวของคอนกรีตสามารถทำได้โดยการใช้วัสดุเฉื่อยจำพวก หินปูนบดละเอียด ทรายละเอียด และหินฝุ่น เป็นต้น การใช้วัสดุเฉื่อยละเอียดผสมในคอนกรีตยังช่วยลดการเย็นน้ำและการตกแต่งผิวของคอนกรีตทำให้ง่ายขึ้นปูนซีเมนต์ผสมที่นิยมใช้ในการก่ออิฐและฉาบได้มาจากการบดปูนเม็ดกับวัสดุเฉื่อย การใช้วัสดุเฉื่อยละเอียดเพื่อแทนที่ปูนซีเมนต์จะลดกำลังของคอนกรีตเพราะปริมาณ ปูนซีเมนต์ลดลง ดังนั้นจึงไม่ควรใช้ในงานโครงสร้างของอาคารซึ่งต้องรับแรงสูง

วัสดุซีเมนต์และปอซโซลาน นอกจากใช้ปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีต เช่นเดียวกับการใช้วัสดุเฉื่อยแล้วยังทำให้คอนกรีตมีกำลังและความทนทานดีขึ้นด้วย วัสดุซีเมนต์ได้แก่ ปูนซีเมนต์ธรรมดาและตะกรันเตาถลุงเหล็ก เป็นต้น เนื่องจากวัสดุเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นปูนซีเมนต์ในตนเองและสามารถทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้ ดังนั้นเมื่อทำปฏิกิริยาเคมีจะให้สารประกอบของ CHS และ CAH เหมือนกับปฏิกิริยาของ C_3S และ C_2S แต่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะช้ากว่า และกำลังในช่วงแรกจะต่ำกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

มาตรฐาน ASTM C618 ให้จำกัดความของวัสดุปอซโซลานไว้ว่า “วัสดุปอซโซลานเป็นวัสดุที่มีซิลิกา หรือซิลิกาอลูมินาเป็นองค์ประกอบหลัก โดยทั่วไปแล้วใช้วัสดุปอซโซลานจะไม่มีคุณสมบัติยัดประสานแต่ถ้าวัสดุปอซโซลานมีความละเอียดมากและมีน้ำหนักหรือความชื้นที่เพียงพอจะสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิปกติ ทำให้ได้สารประกอบที่มีคุณสมบัติใน

การยึดประสาน”

วัสดุปอซโซลานเมื่อใช้ผสมเมื่อใช้ผสมคอนกรีตจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แม้ว่าปฏิกิริยาปอซโซลานจะคล้ายกับปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาช้ากว่า ดังนั้นจึงสามารถใช้วัสดุปอซโซลานเพื่อลดความร้อนของปฏิกิริยาไฮเดรชันโดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานคอนกรีตขนาดใหญ่หรือคอนกรีตหลาววัสดุปอซโซลานที่มีอยู่ในเมืองไทยในปริมาณที่ค่อนข้างมากและสามารถนำมาใช้งานได้ เช่น เถ้าถ่านหินและเถ้าแกลบนอกจากนี้ยังมีการใช้วัสดุปอซโซลานบางชนิดที่สั่งซื้อมาจากต่างประเทศเช่น ซิลิกาฟุ้งที่มีความละเอียดสูงมากในการทำคอนกรีตกำลังสูง เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างวัสดุปอซโซลานกับปริมาณของซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีในวัสดุปอซโซลาน

วัสดุปอซโซลาน	ปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ (% SiO ₂)
ซิลิกาฟุ้ง (Silica fume)	90 +
ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียด (Ground granulated blast-furnace slag)	32 – 40
เถ้าหินหรือเถ้าลอย (Fly ash or Pulverized fuel ash)	70
เถ้าแกลบ (Rice husk ash)	85 – 95
เถ้าปาล์มน้ำมัน (Palm oil fuel ash)	60 – 70
เถ้าชานอ้อย (Bagasse ash)	65 – 75
จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective microorganism)	80

2.4.6 การออกแบบปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตพูน

ในการออกแบบปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตพูนต้องระบุอัตราส่วนโพรง ค่าการไหลแผ่ของซีเมนต์ และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และทราบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ผสม ได้แก่ ร้อยละของเนื้อมวลรวมหยาบ ความถ่วงจะเพาะ และหน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบ ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ เป็นต้น ด้วยคุณลักษณะทางกายภาพและการนำไปประยุกต์ใช้จึงมีลักษณะที่แตกต่างจากคอนกรีตธรรมดา กล่าวคือคอนกรีตธรรมดาก่อแบบโดยยึดการออกแบบคอนกรีตให้ได้กำลังอัด

ตามที่กำหนด หากแต่คอนกรีตพูนจะยึดการกำหนดปริมาณโพรงในเนื้อคอนกรีตเป็นเกณฑ์ ดังนั้นทำให้วิธีการออกแบบคอนกรีตพูนจึงใช้หลักการที่แตกต่างออกไป

ขั้นตอนการออกแบบคอนกรีตพูนสามารถทำได้ดังนี้

(1) เลือกอัตราส่วนโพรง

อัตราส่วนโพรงรวมในเนื้อคอนกรีตที่ต้องการ จะขึ้นอยู่กับประเภทของการนำไปใช้งาน ซึ่งโพรงที่มีความต่อเนื่องกันจะมีความเหมาะสมกับงานที่แตกต่างกันออกไป รวมทั้งปริมาณของโพรงนี้จะมีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตอีกด้วย การออกแบบให้มีอัตราส่วนโพรงที่น้อยเกินไปจะทำให้เนื้อคอนกรีตไหลปิดที่บส่วนล่างของคอนกรีตได้

(2) เลือกการไหลแผ่ของคอนกรีตซีเมนต์

ค่าการไหลแผ่ของซีเมนต์เพสต์นี้จะมีผลต่อคอนกรีตพูนอย่างมาก การที่จะทำการผลิตคอนกรีตพูนนั้น จำเป็นต้องมีการกำหนดค่าการไหลแผ่ของซีเมนต์เพสต์ ให้มีความสัมพันธ์กับปริมาณของโพรงในเนื้อคอนกรีตด้วย การออกแบบให้มีค่าการไหลแผ่ของซีเมนต์เพสต์มากเกินไป จะทำให้ซีเมนต์เพสต์ไหลจมอยู่ส่วนล่างของเนื้อคอนกรีตได้ และทำให้ความหนาของซีเมนต์เพสต์ที่เคลือบระหว่างเม็ดของมวลรวมน้อยลง ในกรณีที่ค่าการไหลแผ่ของซีเมนต์เพสต์มีค่าต่ำเกินไป จะมีผลทำให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำ สำหรับการศึกษานี้จะกำหนดค่าการไหลแผ่ที่เหมาะสมกับอัตราส่วนโพรงที่ต้องการศึกษามาใช้ในการทดลอง

(3) ปริมาณของสารผสมเพิ่ม

จากการที่ได้ที่การกำหนดอัตราส่วนน้ำต่อน้ำซีเมนต์แล้วนั้น การที่จะทำให้ซีเมนต์เพสต์มีค่าการไหลแผ่มากหรือน้อย จะขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารผสมเพิ่มที่ใส่เข้าไป ดังนั้นปริมาณของสารผสมเพิ่มจึงต้องมีการกำหนดปริมาณเพื่อนให้ได้ค่าการไหลตามที่ต้องการที่ค่าอัตราส่วนน้ำต่อน้ำซีเมนต์ค่าหนึ่ง ปริมาณของสารผสมเพิ่มหาได้จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารผสมเพิ่มและค่าการไหลแผ่ของซีเมนต์เพสต์

(4) ปริมาณเนื้อแห้งของมวลรวมหยาบ

ปริมาณเนื้อแห้งของมวลรวมหยาบ เป็นตัวกำหนดปริมาณของซีเมนต์เพสต์ในเนื้อของคอนกรีต โดยปริมาณเนื้อแห้งของมวลรวมหยาบนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของมวลรวม มวลรวมหยาบที่มีขนาดเล็กจะมีปริมาณเนื้อแห้งมากกว่ามวลรวมหยาบขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถหาปริมาตรเนื้อแห้งของมวลรวมหยาบได้โดย

ปริมาณเนื้อแท้ของมวลรวมหยาบ = (ปริมาตรคอนกรีตทั้งหมด \times เปอร์เซ็นต์ของเนื้อมวลรวม) / 100

(5) คำนวณปริมาตรของซีเมนต์เพสต์

ปริมาตรของซีเมนต์เพสต์หาได้จาก ปริมาตรของคอนกรีตทั้งหมดลบด้วยผลรวมปริมาตรของช่องว่างทั้งหมดและปริมาตรเนื้อแท้ของมวลรวมหยาบ

(6) คำนวณหาน้ำหนักของปูนซีเมนต์

เมื่อทราบปริมาตรของซีเมนต์เพสต์ที่ต้องการแล้ว จะสามารถคำนวณหาน้ำหนักของปูนซีเมนต์ได้ โดยใช้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ โดยที่

น้ำหนักปูนซีเมนต์ = ปริมาตรซีเมนต์เพสต์ / (1/ถ.พ.ของปูนซีเมนต์ + อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์)

(7) คำนวณหาน้ำหนักน้ำ

น้ำที่ใส่เข้าไปในส่วนผสมเป็นส่วนสุดท้ายที่ต้องการคำนวณหา ซึ่งน้ำหนักน้ำสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชาญชัย เเงาะปก (พ.ศ. 2550) [1] ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตพูนที่ผสมเถ้าลอยแม่เมาะเป็นส่วนผสม ที่ใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะช่วยให้ซีเมนต์เพสต์ไหลลื่นและผสมเข้ากันได้ดีขึ้น เพิ่มความสามารถในการทำงานได้ของซีเมนต์เพสต์ และช่วยประหยัดปริมาณสารลดน้ำพิเศษ สำหรับคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยที่มีกำลังอัดลดลงเมื่อปริมาณเถ้าลอยเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามที่อายุ 28 วัน คอนกรีตที่ใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์แทนที่ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักจะมีกำลังอัดมากกว่าร้อยละ 80 ของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน นอกจากนี้ยังพบว่า ขนาดของมวลรวมที่มีผลต่อกำลังของคอนกรีตพูน โดยคอนกรีตพูนที่มีอัตราส่วนโพรงน้อยกว่าร้อยละ 20 คอนกรีตที่ใช้มวลรวมขนาดใหญ่จะให้กำลังอัดสูงกว่ามวลรวมขนาดเล็ก

MURATA Yoshiki และคณะ (ค.ศ. 1999) [2] ได้ทำการศึกษาการประเมินผลการทางเท้าคอนกรีตพูนในประเทศญี่ปุ่น เพื่อทำการประเมินคุณสมบัติของพื้นผิวซิม และระดับเสียงของรูปพูนทางเท้าคอนกรีตยังคงอยู่เกือบไม่เปลี่ยนแปลงจากสภาวะที่เมื่อเสร็จสิ้นของการก่อสร้างแม้จะ

เสื่อมสภาพพบว่าในบางส่วน ดังนั้นรูปทรงทางเท้าคอนกรีตถูกกำหนดให้มีได้อย่างเต็มที่ที่สามารถใช้งานได้ไปยังภูมิภาคที่มีหิมะและความหนาวเย็นปกคลุม

Narayanan Neithalath และคณะ [3] ได้ทำการศึกษาลักษณะคอนกรีตเพิ่มความพรุนโดยใช้ความต้านทานไฟฟ้าเพื่อคาดเดาผลการดำเนินงานอะคูสติกและไฮโดรลิก ซึ่งจากการศึกษาสามารถบอกได้ว่าคอนกรีตเพิ่มความพรุนเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยการจัดลำดับช่องว่างที่หายไปที่หายไปที่การเชื่อมต่อระหว่างกันในระบบความพรุน โดยใช้ความต้านทานไฟฟ้า เป็นตัวบ่งชี้ ความพรุนเพียงอย่างเดียวพบว่าเป็นตัวบ่งชี้ที่ไม่ถูกต้องของการนำไฟฟ้าของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งมีขนาดของรูปทรงที่มีประสิทธิภาพและการเชื่อมต่อที่สร้างขึ้นโดยการผสมผลรวมรวมในระบบที่สามารถทำให้มีประสิทธิภาพสำหรับการดำเนินงาน

กัญญาภัค จอดนอก และคณะ (พ.ศ. 2554) [4] ได้ทำการศึกษาการศึกษาความต้านทานการขัดสี และสึกกร่อนของคอนกรีตพรุนสองชั้น ที่ใช้มวลรวมหยาบขนาดที่ค้ำตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ที่อัตราส่วนโพรงร้อยละ 25 ที่อายุการบ่มน้ำ 7 วัน และบ่มในอากาศ 7 วัน ปูทับด้วยกรวดแม่น้ำล้างคัดขนาดเบอร์ 1 (2.36 มิลลิเมตร) และเบอร์ 2 (4.75 มิลลิเมตร) โดยใช้ปริมาณอัตราส่วนของเรซินต่อฮาร์ดเด็นเนอร์ที่ 1:0.25, 1:0.50, 1:0.75 และ 1:1 จากผลการทดสอบพบว่าร้อยละการสูญเสียและร้อยละการแตกหักเพิ่มขึ้นแปรผันกับขนาดของกรวดแม่น้ำล้างคัดขนาด โดยกรวดขนาดเล็กให้ค่าร้อยละการสูญเสียและค่าร้อยละการแตกหักน้อยกว่ากรวดขนาดใหญ่ ความแตกต่างระหว่างค่าร้อยละการสูญเสียและค่าร้อยละการแตกหักของคอนกรีตพรุนทั้งแบบบ่มในอากาศปกติและแบบบ่มในน้ำมีค่าน้อยมาก

ยุวดี หิรัญ และคณะ (พ.ศ. 2552) [5] ได้ทำการศึกษาบล็อกปูถนนคอนกรีตพรุนเพื่อศึกษาส่วนผสมของคอนกรีตพรุนที่สามารถอัดขึ้นรูปเป็นบล็อกปูถนนได้ โดยทำการศึกษาความสัมพันธ์กำลังรับแรงอัด ความชื้นน้ำ และความสามารถในการอัดขึ้นรูปบล็อกปูถนนส่วนผสมของคอนกรีตพรุนใช้หินกรวดที่ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน ASTM และเลือกใช้หินกรวดที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 2 (3/8") ,เบอร์ 4 และ เบอร์ 8 มาผสมกัน โดยใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 18% , 20% และ 22% โดยน้ำหนักหินและอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ (W/C)เท่ากับ 0.35 และ 0.40 จากการวิจัยพบว่าส่วนผสมคอนกรีตพรุนที่ใช่ สัดส่วนผลของหินกรวดที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 2 (3/8") และเบอร์ 8 อยางละเท่าๆกันโดยน้ำหนักหิน และส่วนผสมคอนกรีตพรุนที่ใช่ สัดส่วนผลของหินกรวดที่ค้ำบน

ตะแกรงเบอร์ 2 (3/8”), เบอร์ 4 และเบอร์ 8 อย างละเท่าๆกันโดยน้ำหนักหินและไซปริมาณปูนซีเมนต์ 20% หรือ 22% โดยน้ำหนักหิน จะมีความสามารถในการอัดขึ้นรูปบล็อกปู ถนนได้ ดี และสวณผสมที่มีอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ (W/C) 0.40 ซี เมนต์เพสต จะเคลือบผิวมวลรวมได้ดี



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

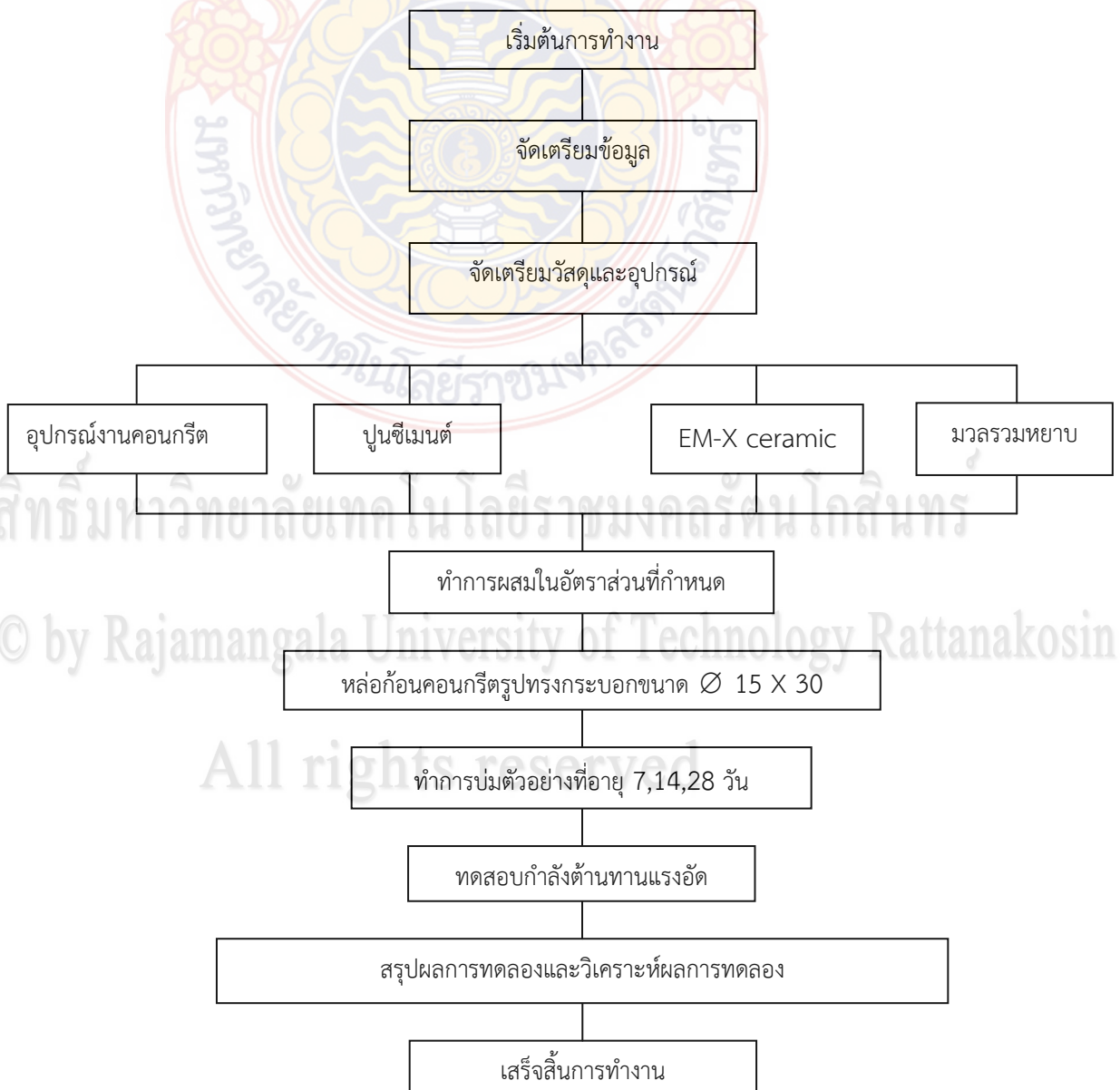
All rights reserved

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทดลอง

โครงการวิจัยนี้มุ่งศึกษาเกี่ยวกับการนำ EM-X ceramic มาเป็นส่วนผสมของคอนกรีตเพื่อเพิ่มคุณสมบัติของการรับกำลังอัด โดยการศึกษาครอบคลุม 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การออกแบบปฏิกาสส่วนผสมคอนกรีต ส่วนที่ 2 หล่อก่อนตั้งอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ตามมาตรฐาน BS 1881 : PART 3 และการหล่อก่อนตัวอย่างรูปทรงกระบอกมาตรฐาน ASTM C 192 ส่วนที่ 3 ทดสอบการรับกำลังอัด โดยมีรายละเอียดและขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

3.1 แผนผังการดำเนินงาน



3.2 ระยะเวลาในการทำวิจัย

รายการ	ปี 2555							ปี 2556				
	มี.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
รวบรวมข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับโครงการ												
จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์และตัวอย่างที่จะใช้ทดสอบ												
ทำการทดสอบและจดบันทึกผลการทดสอบ												
จัดทำการสรุปผล												
วิจารณ์ผลการทดสอบ												
วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย												
จัดทำเล่มวิจัยและแก้ไข												
ส่งรูปเล่มวิจัย												

3.3 แผนการทดสอบ

ในการวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ส่วน คือ

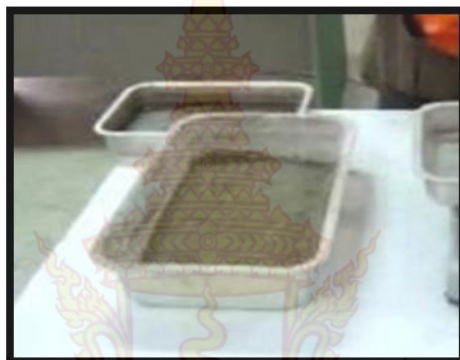
3.3.1 การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบมีรายละเอียด ดังนี้

3.3.1.1 การหาค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Specific Gravity Of Portland Cement)

1) วัตถุประสงค์เพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และประโยชน์ในการใช้กำหนดสัดส่วนในการผสมคอนกรีต

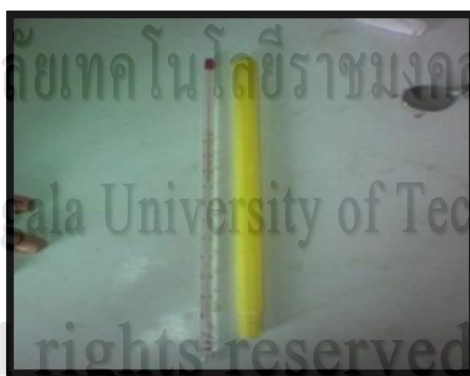
2) เครื่องมือและวัสดุทดสอบ



รูปที่ 3.1 ปูนซีเมนต์



รูปที่ 3.2 ขวดแก้วทดลองเลอชาตริแยร์ (LeChatelier)

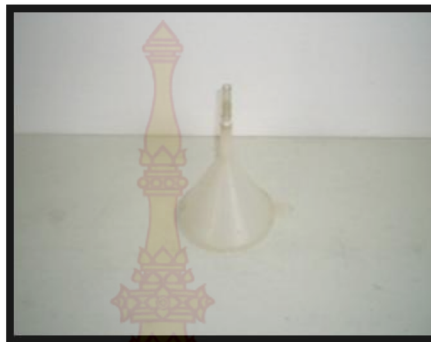


รูปที่ 3.3 เทอร์โมมิเตอร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved



รูปที่ 3.4 กรวยก้านยาว



รูปที่ 3.5 น้ำมันก๊าด



รูปที่ 3.6 อ่างควบคุมอุณหภูมิ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

All rights reserved



รูปที่ 3.7 เครื่องชั่งสามารถชั่งได้ละเอียด 0.1 กรัม

3) วิธีทดสอบ

- เติมน้ำมันก๊าดลงในขวดแก้วตามมาตรฐานเลอซาเตอร์รีแอร์จนถึงระดับระหว่าง 0-1 มิลลิลิตร ภายในขวดแก้วทดลองตอนบนเหนือระดับน้ำมันก๊าดจะต้องแห้ง
- ปิดปากขวดทดลองด้วยจุกแก้วแล้วนำไปจุ่มในถังที่มีอุณหภูมิคงที่และใกล้เคียงกับอุณหภูมิโดยให้นานพอที่จะอ่านค่าระดับได้ ทั้งนี้เพื่อไม่ให้อุณหภูมิต่างกันเกิน 0.2 องศาเซลเซียส จะต้องตรวจสอบค่าระดับที่อ่านได้จนกว่าจะคงที่เพื่อให้แน่ใจว่าอุณหภูมิของน้ำมันก๊าดที่บรรจุในขวดแก้วทดลองเท่ากับอุณหภูมิของน้ำในถังแล้วจึงอ่านค่าระดับเป็นค่าแรก
- ชั่งปูนซีเมนต์ตัวอย่างทดสอบประมาณ 64 กรัมแล้วรอกกลงไปในขวดแก้วทดลองที่ละน้อยโดยใช้กรวยก้านยาวช่วยในการรอกเพื่อป้องกันไม่ให้ปูนซีเมนต์เกาะบริเวณคอขวดแก้วทดลองเมื่อกรอกปูนซีเมนต์ตัวอย่างจนหมดหรือจนกระทั่งระดับน้ำมันก๊าดในขวดแก้วทดลองสูงพอที่จะอ่านสเกลตอนบนได้ให้หยุดรอก ปิดปากขวดแก้วทดลองด้วยจุกแก้วแล้วทิ้งขวดแก้วทดลองซ้าๆ ในลักษณะเอียงบนพื้นโต๊ะหรือแกว่งเบาๆ ในแนวราบเป็นวงกลมเพื่อไล่ฟองอากาศออกจากปูนซีเมนต์จนกระทั่งไม่มีฟองอากาศลอยขึ้นมาจึงนำขวดแก้วทดลองนั้นจุ่มลงในถังน้ำตามวิธีในข้อ 2 จนระดับน้ำมันก๊าดในขวดแก้วทดลองคงที่จึงจะอ่านค่าเป็นระดับน้ำมันก๊าดครั้งหลัง

4) วิธีการคำนวณ

- ปริมาตรของปูนซีเมนต์ คือปริมาตรที่ของเหลวถูกแทนที่หาได้จากผลต่างระหว่างค่าปริมาตรที่อ่านได้ครั้งหลังลบกับค่าปริมาตรที่อ่านได้ครั้งแรก
- การคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะให้คำนวณเป็นทศนิยม 3 ตำแหน่งแล้วปิดเศษเหลือ 2 ตำแหน่ง

A : ปริมาตรที่ถูกลบของเหลวแทนที่ครั้งแรก

B : ปริมาตรที่ถูกลบของเหลวแทนที่ครั้งหลัง

3.3.1.2 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวมหยาบ (Specific Gravity And absorption Of Coarse Aggregate)

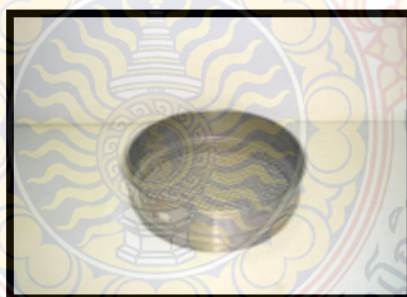
- 1) วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ และคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำของมวลรวมหยาบ
- 2) เครื่องมือและวัสดุทดสอบประกอบด้วย



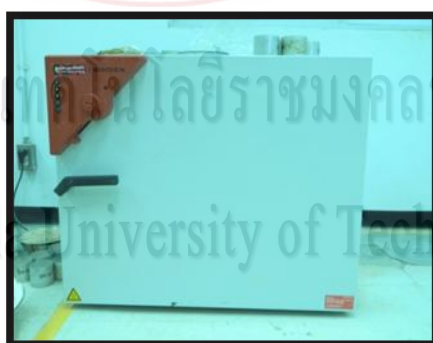
รูปที่ 3.8 เครื่องชั่งสามารถชั่งได้ละเอียด 0.1 กรัม



รูปที่ 3.9 ตะกร้าสำหรับชั่งหินในน้ำ



รูปที่ 3.10 ตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)



รูปที่ 3.11 ตู้ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียส

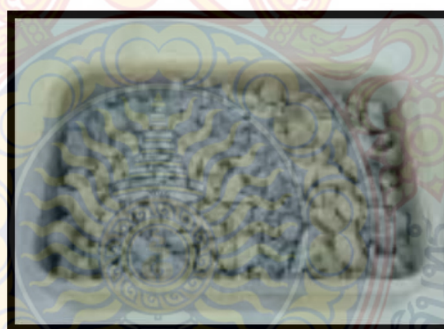
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved



รูปที่ 3.12 เทอร์โมมิเตอร์



รูปที่ 3.13 หินประมาณ 5000 กรัม



รูปที่ 3.14 ถาดสแตนเลส

3) วิธีการทดลอง

- นำหินมาทำการแบ่งสี่แล้วร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 4 แล้วนำส่วนที่ค้างมาอบอุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงหลังจากนั้นนำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักประมาณ 5000 กรัม แล้วนำไปแช่น้ำ 24 ชั่วโมง

All rights reserved

- เทน้ำที่แช่หินออกแล้วนำหินขึ้นมาเช็ดด้วยผ้าที่แห้งที่ละก้อนจนหินอยู่ในสภาพอิมตัวผิวแห้ง (SSD) ซึ่งสังเกตได้จากหินที่แห้งแต่ยังมีความชื้นอยู่แล้วนำไปชั่งน้ำหนักให้ละเอียด
- ทำการชั่งตะกร้าเปล่าในน้ำแล้ววัดอุณหภูมินำหินใส่ตะกร้าแล้วชั่งน้ำหนักในน้ำก่อนชั่งควรสั่นตะกร้าเบาๆเพื่อไล่ฟองอากาศและต้องให้ตะกร้ากับหินตัวอย่างจมอยู่ในน้ำขณะชั่ง
- นำหินตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 110 ±5 องศาเซลเซียสจนน้ำหนักคงที่นำออกจากเตาอบปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วนำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

4) การคำนวณ

- หาค่าความถ่วงจำเพาะรวม (Bulk Specific Gravity) โดยใช้สูตรต่อไปนี้

$$\text{ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมแห้ง (Oven Dry)} = \frac{A}{(B - C)}$$

$$\text{ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมอิมตัวผิวแห้ง (SSD)} = \frac{B}{(B - C)}$$

$$\text{ความถ่วงจำเพาะที่ปรากฏ} = \frac{A}{(A - C)}$$

- การดูดซึมน้ำ (จากสภาพแห้ง) ของทรายอาจหาได้โดยใช้สูตรการดูดซึมน้ำ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ} = \frac{(B - A) \times 100\%}{A}$$

เมื่อ

A น้ำหนักของตัวอย่างอบแห้ง

B น้ำหนักของตัวอย่างในสภาวะอิมตัวผิวแห้ง ชั่งในอากาศ

C น้ำหนักของตัวอย่างชั่งในน้ำ

3.3.1.3 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของ EM-X Ceramic

All rights reserved

3.3.2 การทดสอบคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์

ทำการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติเบื้องต้นของซีเมนต์เพสต์ โดยทำการทดสอบค่าการไหล เพื่อหาปริมาณน้ำและสารลดน้ำพิเศษที่เหมาะสม สำหรับการออกแบบปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตพูน โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำต่อสารซีเมนต์ คือ 0.19, 0.22, และ 0.25

3.3 การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีต

ทำการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตพูนโดยมีรายละเอียดการทดสอบ ดังต่อไปนี้

1) ทดสอบกำลังอัด

ทำการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตตัวอย่างทรงกระบอกขนาด $\varnothing 15 \times 30$ เซนติเมตร

โดยทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรที่มีผลต่อกำลังอัด ดังนี้

- (1) ผลจากการใช้ EM แทนปูนซีเมนต์โดยทดแทน EM ในอัตราร้อยละ 10, 20, และ 30
- (2) ผลจากการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโพรง โดยออกแบบให้คอนกรีตมีอัตราส่วนโพรงร้อยละ 15, 20, และ 25
- (3) ผลจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของมวลรวมหยาบ โดยขนาดของมวลรวมหยาบที่ใช้คือ 4.27-9 และ 9-19 มิลลิเมตร
- (4) ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำต่อสารซีเมนต์ โดยใช้ปริมาณน้ำต่อสารซีเมนต์คือ 0.19, 0.23, และ 0.25

2) ทดสอบหาค่าอัตราส่วนโพรงจริง

ทำการทดสอบหาอัตราส่วนโพรงจริง (actual void ratio) ในเนื้อคอนกรีต ทรงกระบอกขนาด $\varnothing 15 \times 30$ เซนติเมตร

3) ทดสอบการซึมผ่านของน้ำ

ทำการทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำไหลผ่านคอนกรีต โดยทดสอบการซึมผ่านในตัวอย่างที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโพรง

3.4 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบมีดังต่อไปนี้

3.4.1 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐาน ASCI C150-00 Standard Specification for Portland Cement

3.4.2 มวลรวมหยาบ

มวลรวมหยาบ ใช้หินปูนจาก อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์ เลือกได้ 2 ช่วงขนาด คือ ขนาด 4.75-9 และ 9-19 มิลลิเมตร

3.4.3 น้ำ

น้ำที่ใช้สำหรับการผสมซีเมนต์เพสต์และคอนกรีตใช้น้ำประปาในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล

3.4.4 สารผสมเพิ่ม

สารผสมเพิ่มใช้สารลดน้ำพิเศษ (superplasticizer) จัดอยู่ในประเภท F ตามมาตรฐาน ASTM C494-99 Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete

3.4.5 จุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (EM)

ใช้เป็นส่วนผสมรวมกับซีเมนต์ในอัตราส่วนที่กำหนดไว้ 3 อัตราส่วน คือ อัตราร้อยละ 10, 20, และ 30

3.5 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

3.5.1 การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์

ความถ่วงจำเพาะทดสอบโดยใช้ขวดมาตรฐานเลอชาเตอร์ลีเออร์ (Le chatelier Flask) ตามมาตรฐาน ASTM C188-95 Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement ซึ่งหลักการคำนวณใช้การแทนที่ของเหลว ความถ่วงจำเพาะคำนวณได้จากน้ำหนักของสารซีเมนต์หารด้วยปริมาณของน้ำมันก๊าดที่ถูกสารซีเมนต์แทนที่ ซึ่งจะได้ค่าความหนาแน่นของสารซีเมนต์หารด้วยความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมินั้นๆ

3.5.2 การทดสอบหาความละเอียดของปูนซีเมนต์

ความละเอียดทดสอบโดยวิธีแอร์เพอร์มิเอะบิลิตี (air permeability test) ตามมาตรฐาน ASTM C204-00 Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by Air Permeability Apparatus โดยวันระยะเวลาที่อากาศปริมาณที่แน่นอนไหลผ่านชั้นปูนซีเมนต์ที่บรรจุให้มีความพรุนตามที่กำหนด และสามารถคำนวณความละเอียดของปูนซีเมนต์ได้จากระยะเวลาที่อากาศไหลผ่านชั้นปูนซีเมนต์โดยเปรียบเทียบกับค่าของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์มาตรฐานที่รู้ค่าความละเอียด

3.5.3 การทดสอบค่าความจำเพาะของมวลรวมหยาบ

ความถ่วงจำเพาะทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C127-88 Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate โดยทำการแช่มวลรวมหยาบในน้ำที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง ทำการชั่งน้ำหนักในน้ำ แล้วนำขึ้นมาเช็ดให้แห้งแล้วชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำมวลรวมเข้าสู่ตู้อบที่อุณหภูมิ 100-110 องศาเซลเซียส และชั่งน้ำหนัก ซึ่งจะสามารถคำนวณหาความถ่วงจำเพาะ และ การดูดซึมน้ำได้

3.5.4 การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักและช่องว่างระหว่างมวลรวม

หน่วยน้ำหนัก เป็นค่าน้ำหนักของมวลรวมทั้งหมดในหนึ่งหน่วยปริมาตร โดยรวมทั้งหมดในหนึ่งหน่วยปริมาตร โดยรวมช่องว่างระหว่างมวลรวม สามารถหาได้จากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C29 Standard Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregates ทำโดยการใส่มวลรวมในถังเหล็กทรงกระบอก ชั่งน้ำหนักคำนวณหาปริมาตรถัง แล้วคำนวณหาค่าหน่วยน้ำหนัก จากอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักมวลรวมกับปริมาตรของถัง ช่องว่างระหว่างมวลรวมเป็นค่าที่แสดงว่ามีอากาศปนแทรกอยู่ระหว่างมวลรวมเท่าใด นั่นคือ มวลรวมชนิดเดียวกันถ้ามวลรวมมีค่าหน่วยน้ำหนักมากกว่า แสดงว่ามวลรวมนั้นมีช่องว่างระหว่างมวลรบน้อยกว่า

3.5.5 การทดสอบหาอัตราส่วนโพรงนมและอัตราส่วนโพรงต่อเนื้อ

อัตราส่วนโพรงในเนื้อคอนกรีต เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อกำลังอัด และความสามารถในการไหลผ่านของน้ำ กล่าวคือ เมื่อคอนกรีตมีความพรุนยิ่งมาก จะทำให้กำลังรับแรงของคอนกรีตลดลง แต่น้ำสามารถไหลผ่านคอนกรีตได้ดีขึ้น ซึ่งการนำคอนกรีตพรุนมาใช้งานนั้นอาจต้องเลือกอัตราส่วนโพรงเพื่อความเหมาะสมสำหรับการใช้งานการทดสอบเพื่อหาค่าอัตราส่วนโพรงทดสอบโดยใช้ตัวอย่างทรงกระบอกขนาด 15×30 เซนติเมตร ทำการวัดปริมาตรของก้อนตัวอย่าง และแช่ตัวอย่างในน้ำ 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักในน้ำ ยกตัวอย่างขึ้นจากน้ำ ยกตัวอย่างตั้งทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องจนกระทั่งผิวของคอนกรีตแห้ง และทำการชั่งน้ำหนักในอากาศ ตั้งทิ้งไว้ในอากาศที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักในอากาศอีกครั้งหนึ่ง กรคำนวณค่าอัตราส่วนโพรงสามารถคำนวณได้โดย

$$A_c (\%) = \left\{ 1 - \frac{(W_2 - W_1) / P_w}{V} \right\} \times 100$$

$$A_r (\%) = \left\{ 1 - \frac{(W_3 - W_1) / P_w}{V} \right\} \times 100$$

โดยที่ A_c คือ อัตราส่วนโพรงที่ต่อเนื่องกัน (%)

A_t คือ อัตราส่วนโพรงรวม (%)

V คือ ปริมาตรของตัวอย่าง (ซม³.)

W_1 คือ น้ำหนักในน้ำ (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักในอากาศในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (กรัม)

W_3 คือ น้ำหนักในอากาศในสภาพแห้ง (กรัม)

3.5.6 การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ เป็นค่าซึ่งบ่งบอกความยากง่ายของน้ำในการไหลผ่านคอนกรีต สำหรับหน่วยของค่าสัมประสิทธิ์นั้นใช้หน่วยเดียวกับความเร็ว ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน ทดสอบโดยใช้ตัวอย่างทดสอบทรงกระบอกขนาด ϕ 15×30 เซนติเมตร วัดขนาดพื้นที่หน้าตัดและความสูงของตัวอย่าง ใส่ตัวอย่างในท่อทรงกระบอก แล้วเปิดน้ำไหลผ่านตัวอย่างทำการวัดระดับความแตกต่างของระดับน้ำ และวัดปริมาณน้ำที่ไหลผ่านทรงกระบอกในช่วงระยะเวลาหนึ่ง แล้วคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้โดย

$$K_T = (H / h) \times \frac{Q}{(A \times (t_2 - t_1))}$$

โดยที่ K_T คือ ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านที่อุณหภูมิ T องศาเซลเซียส

H คือ ความสูงของตัวอย่าง (ซม.)

h คือ ความแตกต่างของระดับน้ำ (ซม.)

Q คือ ปริมาณน้ำที่ล้นในช่วงเวลา $t_2 - t_1$ (กรัม)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (ซม.²)

$(t_2 - t_1)$ คือ ช่วงเวลาที่น้ำล้น (วินาที)

3.5.7 วิธีการผสมคอนกรีตพูน

เนื่องจากคอนกรีตพูนมีลักษณะทางกายภาพและส่วนผสมที่แตกต่างจากคอนกรีตธรรมดาทั่วไปทำให้วิธีผสมคอนกรีตนั้นแตกต่างออกไปด้วย เหตุว่าคอนกรีตพูนประกอบด้วยซีเมนต์และมวลรวมหยาบ โดยการศึกษาได้มุ่งเน้นศึกษาในเรื่องของปริมาณโพรงในเนื้อคอนกรีตด้วย เพื่อให้มีให้ซีเมนต์เพสต์ไหลจมลงด้านล่างของคอนกรีต ซึ่งเป็นปัญหาใหญ่สำหรับคอนกรีตพูน เพราะจาก

การศึกษาที่ผ่านมาพบว่าหากซีเมนต์เพสต์มีการไหลแผ่มากเกินไปจะไหลลงไปอยู่ส่วนล่าง ในขณะที่หากการไหลแผ่น้อยมาก การเคลือบผิวของมวลรวมเป็นไปได้ไม่เพียงพอ กำลังอัดของคอนกรีตจะลดลง การทดลองจึงจะเป็นต้องควบคุมค่าการไหลแผ่ของซีเมนต์เพสต์ให้เหมาะสมกับอัตราส่วนโพรงในแต่ละส่วนผสม

ด้วยเหตุว่า การผสมจำเป็นต้องควบคุมค่าการไหลแผ่ของซีเมนต์เพสต์ ดังนั้น ซีเมนต์เพสต์ที่ได้จากการผสมในขั้นแรกนี้จะต้องเป็นเนื้อเดียวกัน ต้องไม่ติดส่วนใดส่วนหนึ่งของโม้ ด้วยซีเมนต์เพสต์มีลักษณะที่เข้มเหนียวและเหนียว ซีเมนต์เพสต์จะต้องผสมด้วยเครื่องผสมที่มีความเร็วรอบสูง ดังนั้น การศึกษานี้จึงจำเป็นต้องทำการออกแบบเครื่องผสมคอนกรีตใหม่ให้มีใบกวนที่สามารถกวาดซีเมนต์เพสต์ได้สะอาดและมีความเร็วรอบสูง คือ สามารถปรับความเร็วรอบที่ 50, 100 และ 200 รอบต่อนาทีได้ เนื่องจากคอนกรีตพูนมีความสามารถในการทำงานได้ดี ดังนั้นในขั้นตอนการเขาแบบหล่อจึงอาจให้พลังงานเพื่อช่วยให้มวลรวมมีการเรียงตัวได้ดีมากยิ่งขึ้น จึงมีการประยุกต์เครื่องมือสำหรับการสั่นสะเทือนและบดอัดโดยให้น้ำหนักกดทับ

ขั้นตอนการผสมคอนกรีตพูนสามารถทำได้ดังนี้

(1) ทำการผสมซีเมนต์เพสต์

ในขั้นตอนที่ให้เตรียมวัสดุที่ต้องการผสมตามที่ได้ออกแบบไว้ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ EM-X Ceramic น้ำ และสารลดน้ำพิเศษเริ่มด้วยการใส่สารซีเมนต์เข้าในถังผสม จากนั้นเทน้ำที่ผสมกับสารลดน้ำพิเศษแล้วลงในถังผสม พร้อมกับจับเวลานาน 30 วินาที จึงเดินเครื่องผสม การผสมจะต้องใช้ฝาปิดถังผสมมิให้น้ำระเหยออกมากจนเกินไป ในการผสมซีเมนต์เพสต์นี้ใช้เวลาในการผสม 4 นาที 30 วินาที เหตุผลที่ใช้เวลาในการผสมนี้ เพราะ เป็นช่วงเวลาที่เหมาะสม เนื่องจากหากใช้น้ำน้อยเกินไป ซีเมนต์เพสต์ยังไม่เข้ากันดีสารลดน้ำพิเศษยังไม่ทำงาน ซึ่งจะทำให้ค่าการไหลแผ่ที่ได้คลาดเคลื่อนไป หากใช้เวลาในการผสมนานจนเกินไปจะทำให้มีน้ำระเหยมากเกินไป ค่าการไหลแผ่ของซีเมนต์จะลดมากกว่าที่ควร

(2) เติมนมวลรวมและผสมเข้ากับซีเมนต์เพสต์

เมื่อทำการผสมซีเมนต์เพสต์จนได้ค่าการไหลตามต้องการแล้ว ในขั้นตอนนี้เป็นการเติมนมวลรวมเข้าไปในถังผสม โดยที่ มวลรวมจะต้องรักษาให้อยู่ในสภาพอิมมัตต์แต่ผิวแห้งเพื่อป้องกันมิให้มวลรวมดูดน้ำจากซีเมนต์เพสต์หรือป้องกันน้ำจากมวลรวมที่จะเพิ่มเข้าไปในส่วนผสม ในกรณีที่ใช้น้ำมวลรวมที่มีผิวเปียก เมื่อเติมนมวลรวมเข้าไปในเครื่องผสมแล้วทำการผสมอีกเป็นเวลา 1 นาที 30 วินาที

เพราะเป็นเวลาที่เหมาะสมเนื่องจากซีเมนต์เคลือบผิวของมวลรวมทั่วถึงกันพอดี หากผสมในชั้นตอนนี้ เป็นเวลานานเกินไป จะทำให้น้ำในส่วนผสมระเหยได้มากและจะทำให้มวลรวมหดสีกันมากและแตกได้ แต่หากใช้เวลาสั้นเกินไป จะทำให้ซีเมนต์เพสต์ยังจับตัวกันเป็นก้อนและส่วนผสมจะไม่เข้ากันดี

(3) การเข้าแบบหล่อ

ชั้นตอนนี้เป็นชั้นตอนที่สำคัญอีกชั้นตอนหนึ่ง เนื่องจากคอนกรีตพูนเป็นคอนกรีตที่มีความสามารถในการทำงานได้ต่ำมาก การตักเข้าแบบที่ไม่พิถีพิถันจะทำให้คอนกรีตเป็นโพรงที่ข้างแบบได้ง่าย ในชั้นตอนนี้ จะทำการตักคอนกรีตเทลงแบบหล่อทรงกระบอกขนาด $\varnothing 15 \times 30$ เซนติเมตร โดยแบ่งเข้าแบบเป็น 2 ชั้น และทำการกระทุ้ง ชั้นละ 10 ครั้ง ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่า คอนกรีตที่ใส่เข้าไปยุบลงมาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

บทที่ 4 ผลการศึกษาวิจัย

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาเพื่อการพัฒนาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตพูนโดยใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (EM) เป็นส่วนผสม มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตพูนโดยใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (EM) เป็นส่วนผสมและศึกษาอัตราส่วนผสมของ จุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (EM) ที่เหมาะสมในการทำ รวมทั้งการพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตพูนด้านการรับกำลังอัดให้มีค่ากำลังอัดที่สูงมากขึ้นโดยใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (EM) ของคอนกรีตพูน โดยสามารถสรุปผลการศึกษาวิจัยได้ดังนี้

4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติด้านวิศวกรรมของวัสดุ

การศึกษาคูณสมบัติด้านวิศวกรรมของวัสดุ สำหรับใช้ในการทำตัวอย่างคอนกรีตพูนได้ผลการทดสอบดังนี้

4.1.1 ผลการทดสอบการหาปริมาณความชื้นของวัสดุ (Water Content Testing) มีค่าเท่ากับ 6.45 %

4.1.2 ผลการทดสอบการหาขนาดของวัสดุ โดยวิธีการร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis Testing) มีผลการทดสอบดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เปอร์เซนต์เฉลี่ยของตัวอย่างวัสดุหินฝุ่นที่ผ่านตะแกรงขนาดต่าง ๆ

Size No.	W.Stone dust Retained (g.)	% Retained	Cumulative % Retained	% Pass
4	10	2.00	2.00	98.00
8	208	41.60	43.60	56.40
20	162	32.40	76.00	24.00
40	41	8.20	84.20	15.80
60	30	6.00	90.20	9.80
100	27	5.40	95.60	4.40
200	18	3.60	99.20	0.80
pan	4	0.80	100.00	0.00

เมื่อจำแนกวัสดุหินฝุ่นตามวิธี **Unified** จากตารางที่ 4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ เมื่อนำไปเขียนกราฟ ได้ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ คือ D_{60} มีค่าเท่ากับ 3.8 ส่วนค่า D_{30} มีค่าเท่ากับ 1.4 และ D_{10} มีค่าเท่ากับ 0.27 ซึ่งสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ C_u เท่ากับ 14.07 และค่าสัมประสิทธิ์ C_c เท่ากับ 1.91 จะเห็นได้ว่าค่าค่าสัมประสิทธิ์ C_u มีค่ามากกว่า 4 และค่าสัมประสิทธิ์ C_c อยู่ในช่วงระหว่าง 1-3 เพราะฉะนั้นวัสดุ ชนิดนี้อยู่ในประเภท มวลรวมที่มีขนาดคละกันดี (W) เป็นกลุ่ม GW หมายถึง กรวดที่มีขนาดคละกันดี กรวดผสมทราย ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ ก.2 ในภาคผนวก ก.

4.1.3 ผลการทดสอบการหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุ (specific gravity of stone dust Testing) มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 6.046

4.1.4 ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Specific Gravity Hydraulic Cement Testing) มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.097 สอดคล้องกับคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของปูนซีเมนต์ในประเทศไทย โดยจะมีความถ่วงจำเพาะอยู่ที่ 2.59 - 3.20

4.1.5 ผลการทดสอบหาค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมโดยวิธีการบดอัดวัสดุแบบมาตรฐาน (Standard Compaction Test) ได้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดคือ 2020 kg/m^3 และปริมาณน้ำที่เหมาะสมคือ 13 %

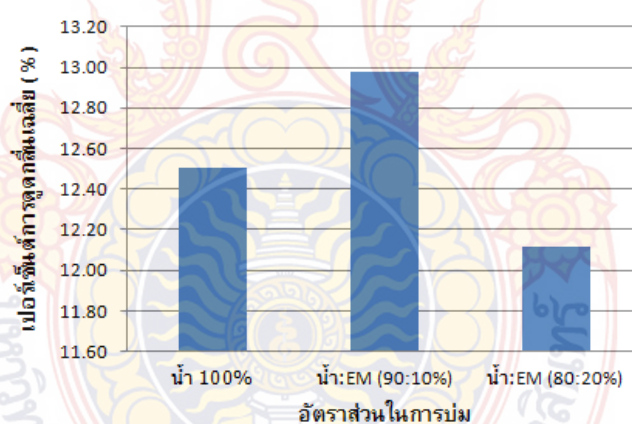
4.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของตัวอย่างคอนกรีตพูน

4.2.1 ผลการตรวจสอบลักษณะทั่วไปและมิติของคอนกรีตพูน ที่อายุ 28 วัน จากผลการวิจัยพบว่าล้อยกระสานจากวัสดุหินฝุ่นมีค่าเฉลี่ยทางลักษณะที่ใกล้เคียงกันมากในทุก ๆ ด้าน และได้ค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างทั้งหมด 5 ตัวอย่างดังนี้ ทางด้านกว้าง 12 เซนติเมตร ทางด้านยาว 24 เซนติเมตร และทางด้านความลึก 10 เซนติเมตร

4.2.2 ผลการทดสอบการดูดกลืนน้ำของตัวอย่างคอนกรีตพูน ที่แต่ละอัตราส่วนน้ำต่อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (Effective Microorganisms, EM) ค่าการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตพูน จากวัสดุหินฝุ่น มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก โดยผลการทดสอบการดูดกลืนน้ำของตัวอย่างคอนกรีตพูน ที่อายุ 28 วัน ที่อัตราส่วนน้ำต่อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ 90%:10% มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 12.977 % ที่การบดด้วยน้ำ 100% มีค่าเท่ากับ 12.505 % และที่อัตราส่วนน้ำต่อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ 80%:20% มีค่าเท่ากับ 12.117 % ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางสรุปค่าเฉลี่ยการดูดกลืนของตัวอย่างคอนกรีตพูนที่อายุ 28 วัน

อัตราส่วนในการป่ม น้ำ : EM (%)	น้ำหนักเฉลี่ย/ก้อน (kg)	ค่าการดูดกลืน (%)
100	6.304	12.505
90:10	6.302	12.977
80:20	6.292	12.117

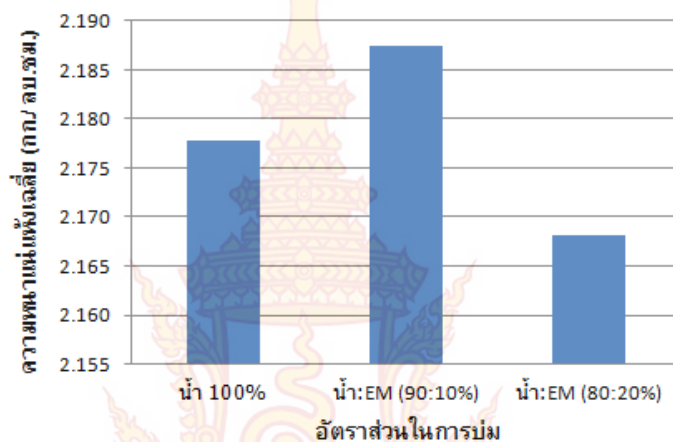


รูปที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ยการดูดกลืนของตัวอย่างคอนกรีตพูน ที่อายุ 28 วัน

4.2.3 ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างคอนกรีตพูน ที่แต่ละอัตราส่วนน้ำต่อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (Effective Microorganisms, EM) โดยผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างคอนกรีตพูน ที่อายุ 28 วัน ที่อัตราส่วนน้ำต่อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ 90%:10% มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 2.188 kg. / cm³. ที่การป่มด้วยน้ำ 100% มีค่าเท่ากับ 2.178 kg. / cm³. และที่อัตราส่วนน้ำต่อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ 80%:20% มีค่าเท่ากับ 2.168 kg. / cm³. ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางสรุปค่าเฉลี่ยความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างบล็อกประสานที่อายุ 28 วัน

อัตราส่วนในการป่ม น้ำ : EM (%)	น้ำหนักเฉลี่ย/ก้อน (kg)	ความหนาแน่นแห้งเฉลี่ย (kg. / cm ³ .)
100	6.304	2.178
90:10	6.302	2.188
80:20	6.292	2.168

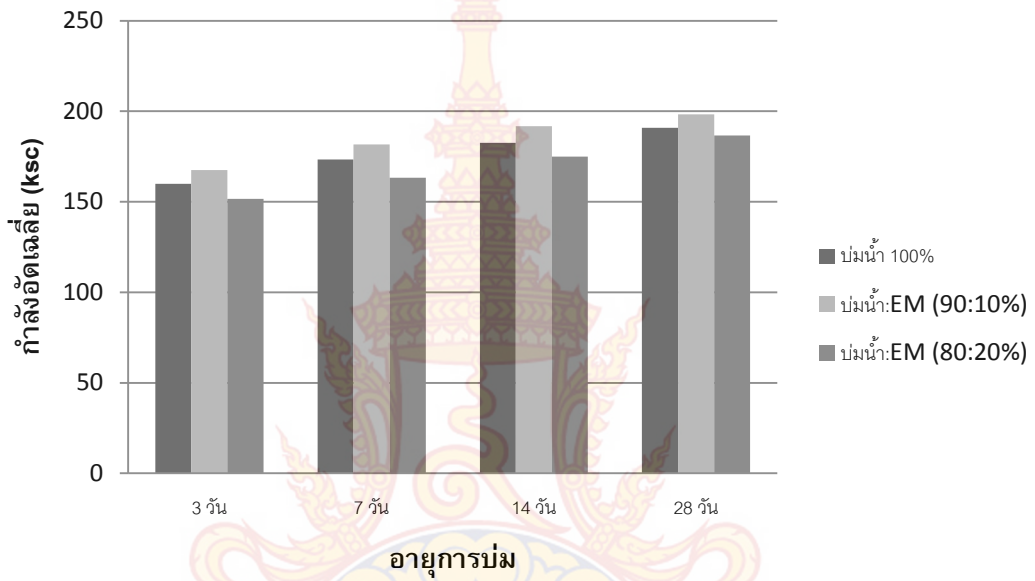


รูปที่ 4.2 แสดงค่าความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยของตัวอย่างบล็อกประสานที่อายุ 28 วัน

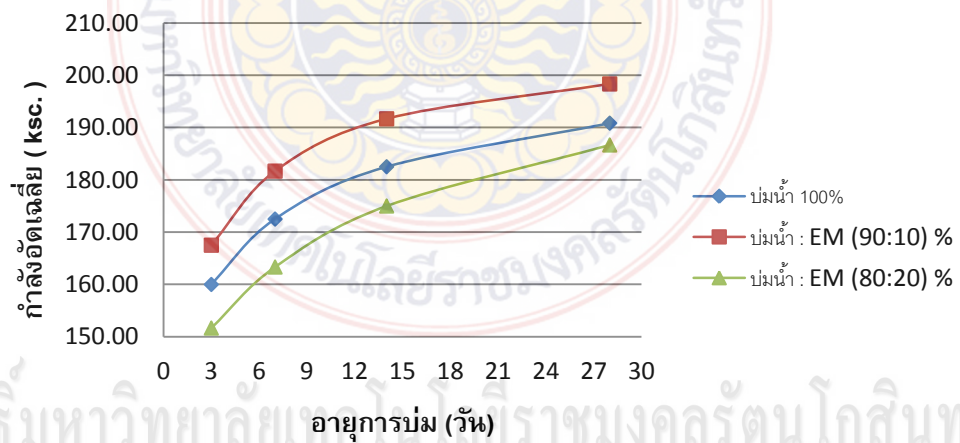
4.2.4 ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดที่อายุ 3 , 7 , 14 และ 28 วัน จากผลการทดสอบพบว่า คอนกรีตพูนนั้น จะมีพฤติกรรมในลักษณะของการรับกำลังอัดนั้น คือ ค่าความสามารถในการรับแรงอัดจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จากการบ่มด้วยน้ำต่อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ Effective Microorganisms, EM ตามอัตราส่วน 10% และ 20% โดยคอนกรีตพูนที่บ่มด้วยน้ำต่อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ Effective Microorganisms, EM ที่อัตราส่วน 90%:10% จะมีกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นมากกว่าการบ่มน้ำ 100% และยังมีค่ามากกว่าการบ่มน้ำต่อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ Effective Microorganisms, EM ที่อัตราส่วน 80%:20% หลังจากการบ่มที่อายุ 28 วัน โดยในการทดสอบจะใช้ 5 ตัวอย่าง

ตารางที่ 4.3 ตารางสรุปค่าเฉลี่ยการรับกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตพูนที่อายุ 3,7,14 วันและ 28 วัน

อัตราส่วน	อายุการบ่มที่ 3 วัน		อายุการบ่มที่ 7 วัน		อายุการบ่มที่ 14 วัน		อายุการบ่มที่ 28 วัน	
	น้ำหนัก	กำลังอัด	น้ำหนัก	กำลังอัด	น้ำหนัก	กำลังอัด	น้ำหนัก	กำลังอัด
น้ำ-EM (%)	เฉลี่ย (kg.)	เฉลี่ย (ksc.)	เฉลี่ย (kg.)	เฉลี่ย (ksc.)	เฉลี่ย (kg.)	เฉลี่ย (ksc.)	เฉลี่ย (kg.)	เฉลี่ย (ksc.)
100	6.397	160.000	6.302	172.500	6.413	182.500	6.413	190.833
90 : 10	6.414	167.500	6.344	181.667	6.268	191.667	6.367	198.333
80 : 20	6.343	151.667	6.368	163.333	6.302	175.000	6.115	186.667



รูปที่ 4.3 แสดงค่าค่าเฉลี่ยการรับกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตพูนที่อายุ 3,7,14 วัน และ 28 วัน



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการพัฒนาทางด้านแรงอัดของคอนกรีตพูนที่ระยะเวลาในการบ่มน้ำต่อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ Effective Microorganisms, EM อัตราส่วนต่าง ๆ

All rights reserved

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิจัยเรื่อง “การพัฒนาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตพูนโดยใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (EM) เป็นส่วนผสม” โดยในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาคูณสมบัติทางกลของคอนกรีตพูน โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (Effective Microorganisms, EM) ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบผลระหว่างคุณสมบัติของคอนกรีตพูนที่ทำการบ่มด้วยน้ำแบบปกติ สามารถสรุปผลการศึกษาวิจัยได้ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ลักษณะทั่วไปและมิติ ของคอนกรีตพูนหลังจากอายุการบ่มที่ 28 วัน มีขนาดและมิติต่าง ๆ ที่ไม่แตกต่างกันมาก จากที่ได้ทำการทดสอบนั้นจะเห็นได้ว่า คอนกรีตพูนนั้น มีขนาดตามแบบที่ได้ทำการอัดตัวอย่าง โดยแทบจะไม่มี ความคลาดเคลื่อนเลย ซึ่งผลที่ได้นั้นอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้

5.1.2 ค่าการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตพูน โดยผลการทดสอบการดูดกลืนน้ำของตัวอย่างคอนกรีตพูนที่อายุ 28 วัน ที่อัตราส่วนน้ำต่อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ 90%:10% มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 12.977 % ที่การบ่มด้วยน้ำ 100% มีค่าเท่ากับ 12.505 % และที่อัตราส่วนน้ำต่อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ 80%:20% มีค่าเท่ากับ 12.117 % ตามลำดับ

5.1.3 ผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างคอนกรีตพูนที่อายุ 28 วัน ที่อัตราส่วนน้ำต่อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ 90%:10% มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 2.188 kg./cm³. ที่การบ่มด้วยน้ำ 100% มีค่าเท่ากับ 2.178 kg./cm³. และที่อัตราส่วนน้ำต่อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ 80%:20% มีค่าเท่ากับ 2.168 kg./cm³. ตามลำดับ

5.1.4 ความต้านทานกำลังอัดหลังจากการบ่มที่อายุ 28 วัน จะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานกำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตพูน ที่อัตราส่วนน้ำต่อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (Effective Microorganisms, EM) 90%:10% จะมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 198.333 ksc. ที่การบ่มด้วยน้ำ 100% จะมีค่ารองลงมาซึ่งมีค่าความต้านทานกำลังอัดเฉลี่ยเท่ากับ 190.833 ksc. และค่าน้อยที่สุดที่อัตราส่วนน้ำต่อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (Effective Microorganisms, EM) 80%:20 % จะมีค่าความต้านทานกำลังอัดเฉลี่ยเท่ากับ 186.667 ksc. ตามลำดับ

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

การนำจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (Effective Microorganisms, EM) ไปใช้ในการเป็นส่วนผสมของคอนกรีตพูนจะทำให้เกิดปฏิกิริยา “แอนติออกซิเดชัน”(Anti Oxidation) คือเมื่อทำการบ่มตัวอย่างคอนกรีตพูน ตัวจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (Effective Microorganisms, EM) จะทำการไล่อากาศที่อยู่ในตัวอย่างคอนกรีตพูน ทำให้คอนกรีตพูน ที่ทำการบ่มนั้นจะมีความแน่นขึ้นจึงส่งผลให้เกิดการพัฒนาความต้านทานกำลังอัดเพิ่มขึ้น ที่อัตราส่วนน้ำต่อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (Effective Microorganisms, EM) 90:10 % และถ้าเติมสารจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (Effective Microorganisms, EM) ในการบ่มที่ปริมาณอัตราส่วนมากกว่า 90% : 10% อาจส่งผลให้เกิดความต้านทานกำลังอัดลดน้อยลงอย่างเห็นได้ชัด เพราะเมื่อเติมสารจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (Effective Microorganisms, EM) มากเกินปริมาณอัตราส่วนเปรียบเสมือนการเพิ่มสารอินทรีย์ให้กับน้ำที่ทำการบ่ม ซึ่งจะทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำนั้นลดลงจากเดิม จึงส่งผลให้ความหนาแน่นในคอนกรีตพูน ที่ถูกบ่มด้วยอัตราส่วนน้ำต่อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (Effective Microorganisms, EM) ที่ปริมาณเกิน 10 % ไม่เพิ่มขึ้น จึงส่งผลต่อการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตพูน

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษา “การพัฒนาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตพูนโดยใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (EM) เป็นส่วนผสม” สามารถสรุปเป็นข้อเสนอแนะที่ได้จากการจัดทำโครงการดังต่อไปนี้

5.3.1 ควรนำสารจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (Effective Microorganisms, EM) ไปเป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตพูนและศึกษาอัตราส่วนผสมน้ำต่อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (Effective Microorganisms, EM) หลายๆอัตราส่วนเพื่อศึกษาแนวโน้มการพัฒนากำลังอัดเป็นอย่างไรและไม่ควรเติมสารจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (Effective Microorganisms, EM) ในการบ่มที่ปริมาณน้ำต่อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (Effective Microorganisms, EM) มากกว่า 90%:10% เพราะจะทำให้ความต้านทานการรับกำลังอัดลดลงและควรศึกษาชั้นรายละเอียดต่อไป

5.3.2 ควรศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งานในชั้นรายละเอียดต่าง ๆ อาทิเช่น ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ ต้นทุนการผลิต อายุการใช้งาน และการวิจัยในครั้งนี้เป็นเพียงการทดลองในห้องปฏิบัติการเท่านั้น จึงควรมีการนำไปประยุกต์ใช้จริงในการทำคอนกรีตพูนต่อไป

บรรณานุกรม

กัญญาภัค จอดนอกและคณะ. 2554. ความต้านทานการขัดสีและสึกกร่อนของคอนกรีตพูนสองชั้น.

รายงานการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 6 จ.ประจวบฯ หน้า 21-28

จตุพล ห้วยหงษ์ทอง และคณะ .คุณสมบัติด้านการรับกำลังแรงอัดของบล็อกประสาน โดยการแทน

วัสดุดินลูกรังด้วยคอนกรีตเก่า” คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
รัตนโกสินทร์ ศาลายา

จิรพัฒน์ โชติไกร, ประทีป ดวงเดือน และ วรากร ไม้เรียง. **ปฐพีกลศาสตร์ทฤษฎีและ ปฏิบัติ**

การ.กรุงเทพมหานคร : พิสิทธ์เซ็นเตอร์, 2525.

ชาญชัย เงามปก (พ.ศ. 2550) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตพูนที่ผสมเถ้าลอย

นิซาดา ฉัตรสถาปัตยกรรม. “ทำการศึกษาการนำกากตะกอนเคมีจากกระบวนการผลิตน้ำประปา

มาใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ในซีเมนต์มอร์ต้าและบล็อกประสาน” คณะวิทยาศาสตร์

สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ .กรุงเทพมหานคร : พ.ศ. 2550

มณฑิยา กังคศิเทียม. **กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม**. กรุงเทพมหานคร : 2533.

วรากร ไม้เรียง และคณะ. **ปฐพีกลศาสตร์ทฤษฎีและ ปฏิบัติการ**.พิมพ์ครั้งที่ 2. พิสิทธ์เซ็นเตอร์

,2525.

ยุวดี หิรัญ และคณะ (พ.ศ. 2552) ได้ทำการศึกษาบล็อกปูถนนคอนกรีตพูน

วินิต ช่อวิเชียร และวัฒนา ธรรมมงคล. **ปฐพีกลศาสตร์**. กรุงเทพมหานคร : ป.สัมพันธ์

พาณิชย์, 2532.

วุฒินัย กกก้าแหง. “การศึกษาคุณสมบัติของอิฐบล็อกประสานที่ใช้ยิปซัมสังเคราะห์เป็น

วัสดุผสมแทนปูนซีเมนต์”. สำนักงานวิจัยและพัฒนา (สวพ.), 2540

วุฒินัย กกก้าแหง และคณะ “ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของบล็อกประสานที่ใช้หน้าดินขาวจาก

เหมืองแร่ Mineral Resources Development จังหวัดระนองเป็นวัตถุดิบในการผลิตบล็อก

ประสาน”. สำนักงานวิจัยและพัฒนา (สวพ.), 2542

อุดมวิทย์ กาญจนวงศ์ . **การทดสอบวัสดุแบบทำลาย**. พิมพ์ครั้งที่ 2.กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์, 2543

MURATA Yoshiki และคณะ (ค.ศ. 1999) ได้ทำการศึกษาการประเมินผลการทางทำ

คอนกรีตพูนใน ประเทศญี่ปุ่น

Narayanan Neithalath และคณะ ได้ทำการศึกษาลักษณะคอนกรีตเพิ่มความพูนโดยใช้

ความต้านทานไฟฟ้าเพื่อคาดเดาผลการดำเนินงานอะคูสติกและไฮโดรลิก

<http://blockpasan.com/default.php>

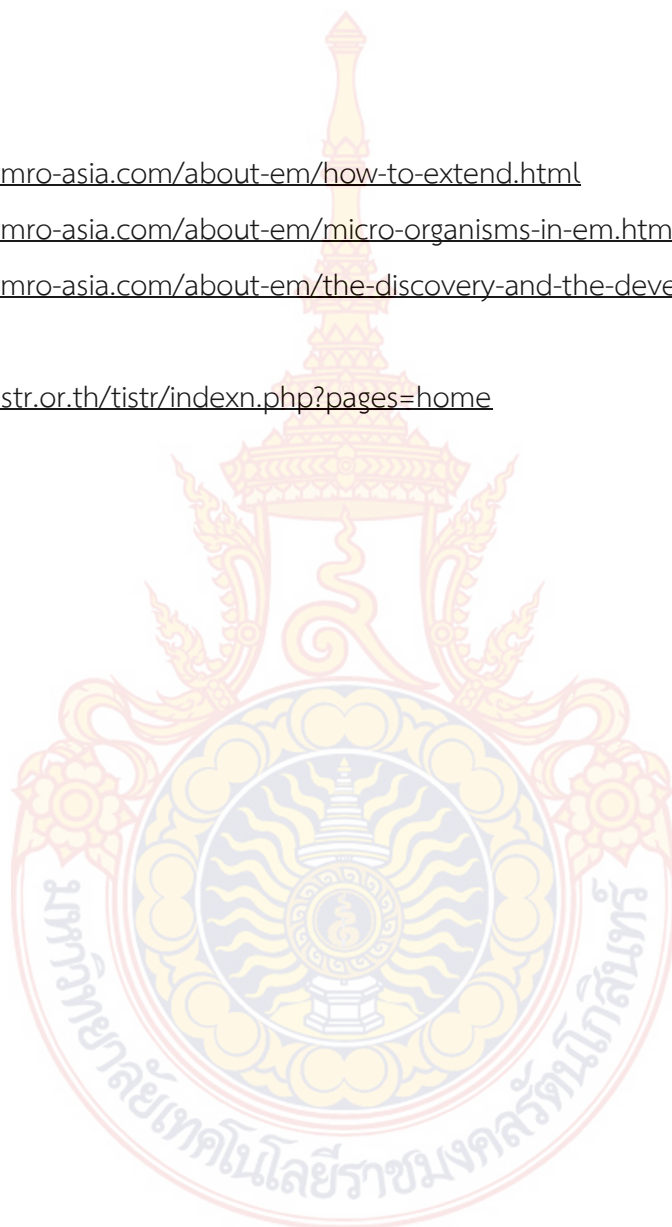
<http://www.emro-asia.com/about-em/about-em.html>

<http://www.emro-asia.com/about-em/how-to-extend.html>

<http://www.emro-asia.com/about-em/micro-organisms-in-em.html>

<http://www.emro-asia.com/about-em/the-discovery-and-the-development-of-em.html>

<http://www.tistr.or.th/tistr/indexn.php?pages=home>



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบการหาปริมาณความชื้นของวัสดุ

container No.	1	2	3	4	5
Cup + Wet soil	58	59	67	54	61
Cup + Dry soil	55.76	56.26	64.51	51.43	58.73
Wt. cup	19	15	25	13	24
Wt. dry soil	36.76	41.26	39.51	38.43	34.73
Wt. water	2.24	2.74	2.49	2.57	2.27
Water content	6.09	6.64	6.30	6.69	6.54
AVG Water Content	6.45				



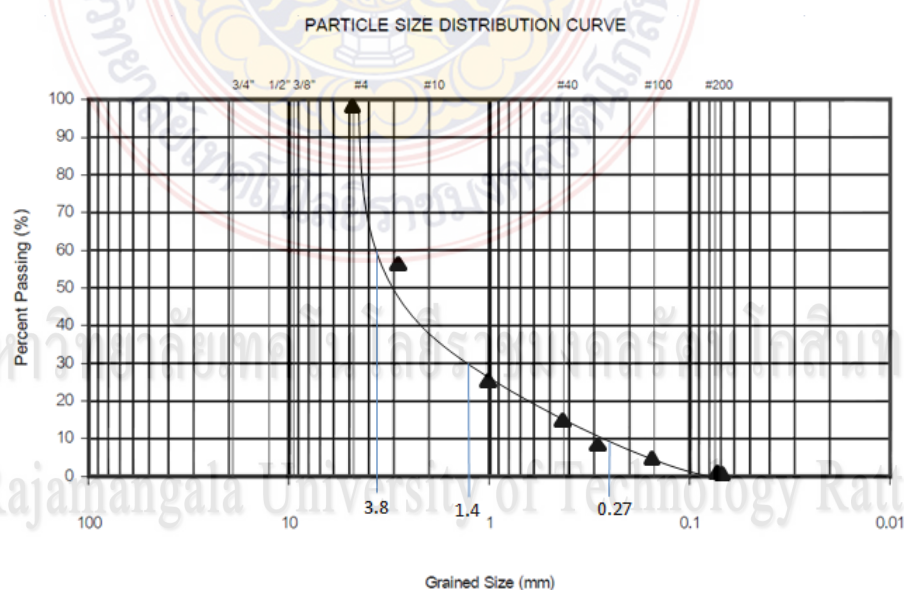
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบการหาขนาดของหินฝุ่นโดยวิธีการร่อนผ่านตะแกรง
(Sieve Analysis Testing)

Size	Sieve Open (mm.)	W.Sieve (g.)	W.Stone dust Sieve (g.)	W.Stone dust Retain (g.)	%Retain	% com	% Pass
4	4.75	755	765	10	2.00	2.00	98.00
8	2.36	487	695	208	41.60	43.60	56.40
20	0.85	559	721	162	32.40	76.00	24.00
40	0.425	516	557	41	8.20	84.20	15.80
60	0.25	538	568	30	6.00	90.20	9.80
100	0.149	490	517	27	5.40	95.60	4.40
200	0.074	328	346	18	3.60	99.20	0.80
pan	-	493	497	4	0.80	100.00	0.00



รูปที่ ก.1 แสดงค่า Sieve Analysis Testing

ตารางที่ ก.3 ตาราง ค่า α_t ในอุณหภูมิต่าง ๆ

C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.9999	0.9999	1	1	1	1	1	0.9999	0.9999	0.9999
10	0.9997	0.9996	0.9995	0.9993	0.9993	0.9991	0.9992	0.9988	0.9986	0.9984
20	0.9982	0.998	0.9978	0.9976	0.9973	0.9971	0.9968	0.9965	0.9963	0.996
30	0.9957	0.9954	0.9951	0.9947	0.9944	0.9941	0.9937	0.9934	0.993	0.9928
40	0.9922	0.9919	0.9915	0.9911	0.9904	0.9902	0.9898	0.9894	0.989	0.9885
50	0.9881	0.9876	0.9872	0.9867	0.9862	0.9857	0.9852	0.9848	0.9842	0.9838

ตารางที่ ก.4 ผลการทดสอบการหาค่าความถ่วงจำเพาะหินฝุ่น
(specific gravity of stone dust Testing)

Determination	1	2	3
Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	43	47	51
Density of water (g. / cm^3)	0.9904	0.9894	0.9876
Mass of Pycnometer + water + sample (g.)	970	969	968
Mass of Pycnometer + water(g.)	658	657	656
Apparent Specific Gravity			
GA	6.094	6.088	6.077
GA	6.061	6.049	6.027
Average GA (30°C)			6.046

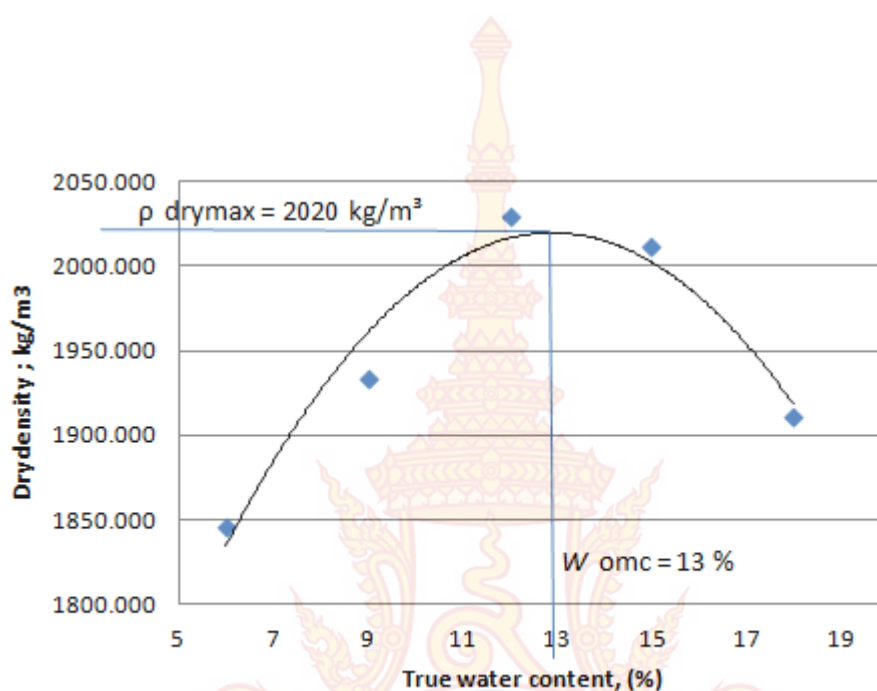
All rights reserved

ตารางที่ ก.5 ผลการทดสอบการหาค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
(Specific Gravity Hydraulic Cement Testing)

Symbol	Sample No.	Weight (g)	Volume (cm ³)	Specific Gravity of Cement	Average Specific Gravity
Portland Cement	1	64	20.8	3.092	3.097
	2	64	20.8	3.096	
Type I	3	64	20.8	3.101	

ตารางที่ ก.6 ผลการทดสอบการหาค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการอัดบล็อกประสานด้วย
วิธีการบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Compaction Testing)

Sample No.	1	2	3	4	5
Wt. of Can + Wet Stone dust g.	0.072	0.069	0.056	0.074	0.076
Wt. of Can + Dry Stone dust g.	0.069	0.065	0.053	0.067	0.074
Wt. of Can ; g.	0.034	0.036	0.035	0.032	0.035
Wt. of Dry Stone dust ; g.	0.035	0.029	0.018	0.035	0.039
Wt. water ; g.	0.003	0.004	0.003	0.007	0.002
Water content ; g.	8.57	13.79	16.67	20.00	23.08
Assumed Water Content (%)	6	9	12	15	18
Wt. of Stone dust + Mold ; kg.	6.260	6.404	6.562	6.600	6.490
Wt. of Mold ; kg.	4.393	4.393	4.393	4.393	4.393
Wt. of Stone dust ; kg.	1.867	2.011	2.169	2.207	2.097
Wet density ; kg/m ³	1957.023	2107.966	2273.585	2313.417	2198.113
Dry density ; kg/m ³	1846.248	1933.914	2029.987	2011.667	1911.403



รูปที่ ก.2 แสดงค่าการหาความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณน้ำที่เหมาะสม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

1. หัวหน้าโครงการ/ผู้วิจัยหลัก

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายรัฐศักดิ์ พรหมมาศ
(ภาษาอังกฤษ) Mr. Ratthasak PROMMAS
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 5841390001206
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ระดับ 6
4. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
รัตนโกสินทร์ เลขที่ 96 หมู่ 3 ถ. พุทธรณทลสาย 5ต.ศาลายา อ. พุทธรณทล จ.
นครปฐม 73170 โทรศัพท์ 02-889-4585-7 โทรสาร 02-8894585-7 e-mail:
rtsakprm@yahoo.com
5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา		สาขาวิชา	ชื่อสถาบันการศึกษา	ประเทศ
2537	ตรี	ค.บ.	วิศวกรรมเครื่องกล	สถาบันเทคโนโลยี ราชมงคล	ไทย
2546	ตรี	วศ.บ.	วิศวกรรมเครื่องกล	สถาบันเทคโนโลยี ราชมงคล	ไทย
2544	โท	วศ.ม.	เทคโนโลยีการ จัดการพลังงาน	ม.จ.ธ.	ไทย
2550	โท	วศ.ม.	วิศวกรรมเครื่องกล	มศว. องค์กรักษ์	ไทย
2553	เอก	ปร.ด.	วิศวกรรมเครื่องกล	ม. ธรรมศาสตร์	ไทย

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ Porous Media, Microwave Heating, Drying Technology, Energy and Exergy Analysis
7. ประสบการณ์ที่ เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดย ระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละขอเสนอการวิจัย
 - 7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย
 - 7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย
 - การลดภาระการทำความเย็นของผนังปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ด้วยการ คำนวณOTTV
 - การศึกษาการระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์ในระบบปรับอากาศ โดยใช้ท่อ ความร้อน
 - การนำพลังงานน้ำจากฝายมาผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยไซฟอน
 - 7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปทีพิมพ การเผยแพร่ และแหล่งทุน (อาจ มากกว่า 1 เรื่อง)

วารสารวิชาการนานาชาติ

1. Prommas, R., Rattanadecho, P. and Cholaseuk, D., Energy and Exergy Analyses in Drying Process of Porous Media Using Hot Air, International Communications in Heat and Mass Transfer 37 , pp.372-378, 2010 : Impact factor 1.322
2. Prommas, R., Keangin P. and Rattanadecho, P., Energy and Exergy Analyses in Convective Drying Process of Multi-layered Porous packed bed, International Communications in Heat and Mass Transfer, 37, pp.1106-1114, 2010 : Impact factor 1.189
3. Prommas, R. and Rattanadecho, P., Energy and exergy analyses in drying process of non-hygroscopic porous packed bed using a combined multi-feed microwave-convective air and continuous belt system (CMCB)" International Communications in Heat and Mass Transfer, Impact factor 1.189 (Submitted)

การประชุมวิชาการนานาชาติ

1. Ratthasak Prommas, Joseph Khedari and Jongjit Hirunlabh, Low Cooling of Solar Chimney Walls for Calculating OTTV, The 1st International Symposium on Sustainable Energy, March, 13-14, 2003, Kyoto, Japan

การประชุมวิชาการระดับชาติ

1. รัฐศักดิ์ พรหมมาศ โจเซฟ เคดารี และ จงจิตร์ หิรัญลาภ, การพัฒนาวิธีการคำนวณ OTTV ของผนังปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19 (ME-NETT 15) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพฯ 2543
2. รัฐศักดิ์ พรหมมาศ ไพศาล นาผล และ อโณทัย สุขแสงพนมรุ้ง, การเพิ่มสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบเครื่องปรับอากาศด้วยท่อความร้อน, การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 4 (E-NETT 4) จังหวัดนครปฐม, 14-16 พฤษภาคม 2551
3. รัฐศักดิ์ พรหมมาศ พรทิพย์ แก่งอินทร์ และ ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, การวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์จีในกระบวนการอบแห้งวัสดุพูนโดยใช้ลมร้อน, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22 (ME-NETT 22) จังหวัดปทุมธานี, 15-17 ตุลาคม 2551
4. รัฐศักดิ์ พรหมมาศ ไชยณรงค์ จักรธรานนท์ และ ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, การวิเคราะห์พลังงานและเอ็กเซอร์จีในกระบวนการอบแห้งวัสดุพูนหลายชั้นโดยใช้ลมร้อน, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 23 (ME-NETT 23) จังหวัดเชียงใหม่ 4-7 พฤศจิกายน 2552

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

2. ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ – นามสกุล (ภาษาไทย) นายปิยะพงศ์ กี่สวัสดิ์คอน
(ภาษาอังกฤษ) Mr. Piyapong Kesawadkorn
2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 3101202509928
3. ตำแหน่งปัจจุบันอาจารย์ระดับ 7
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล หมายเลขโทรศัพท์ที่ทำงาน 032618543 หมายเลขโทรศัพท์มือถือ 0838502233 โทรสาร 032618542 ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (E-mail) p_pupay@hotmail.com

5. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบการศึกษา	ระดับปริญญา		สาขาวิชา	ชื่อสถาบันการศึกษา	ประเทศ
2540	ตรี	คอ.บ.	วิศวกรรมโยธา	สจพ	ไทย
2543	ตรี	วศ.ม.	วิศวกรรมโครงสร้าง	ม. ขอนแก่น	ไทย

3. ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาวณิชภา มินาบูลย์
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss. Nichapha Minaboon
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3730300125591
2. ตำแหน่งปัจจุบัน นักวิชาการโสตทัศนศึกษา (Labboy) สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ เลขที่ 96 ม.3 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170 โทรศัพท์ 0 2889 4585-7 โทรสาร 0 2889 4585 -7 ต่อ 2650
E-mail: yootoo_44@hotmail.com
3. ประวัติการศึกษา
ปวส. (ช่างก่อสร้าง) สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตศาลายา
บธ.บ (การจัดการอุตสาหกรรม) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
วศ.ม (การจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม) วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม
อย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์
4. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
- เทคโนโลยีถนนคอนกรีต, เทคโนโลยีแอสฟัลต์
5. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดย
ระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้า
โครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย
-
6. งานวิจัยที่กำลังทำ : ชื่อข้อเสนอการวิจัย แล่งทุน และสถานภาพในการทำวิจัย
วาไรตี้การวิจัยลุล่วงแล้วประมาณร้อยละเท่าใด
- ชยะพลาสติกผสมดินบดอัด งบประมาณเงินรายได้ประจำปี 2554
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ (ดำเนินการเสร็จแล้ว)

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพูนที่อัตราการบ่มด้วยน้ำ 100 %

อายุการบ่ม	น้ำหนัก/ก้อน (kg)					ค่าเฉลี่ย น้ำหนัก (kg)	ค่ารับกำลังแรงอัด(ksc)					ค่าเฉลี่ย กำลังอัด (ksc)
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
อายุการบ่มที่ 3 วัน	6.327	6.350	6.442	6.463	6.404	6.397	158.333	154.167	166.667	162.500	158.333	160.000
อายุการบ่มที่ 7 วัน	6.390	6.280	6.400	6.300	6.140	6.302	175.000	170.833	179.167	179.167	162.500	173.333
อายุการบ่มที่ 14 วัน	6.447	6.460	6.215	6.446	6.495	6.413	183.333	187.500	183.333	175.000	183.333	182.500
อายุการบ่มที่ 28 วัน	6.480	6.300	6.540	6.280	6.320	6.384	191.667	191.667	187.500	191.667	191.667	190.833

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพูนอัตราการบ่มด้วยน้ำผสมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ EM (90:10%)

อายุการบ่ม	น้ำหนัก/ก้อน (kg)					ค่าเฉลี่ย น้ำหนัก (kg)	ค่ารับกำลังแรงอัด(ksc)					ค่าเฉลี่ย กำลังอัด (ksc)
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
อายุการบ่มที่ 3 วัน	6.389	6.382	6.312	6.448	6.539	6.414	170.833	166.667	166.667	170.833	162.500	167.500
อายุการบ่มที่ 7 วัน	6.420	6.360	6.400	6.180	6.360	6.344	179.167	183.333	179.167	183.333	183.333	181.667
อายุการบ่มที่ 14 วัน	6.260	6.220	6.300	6.180	6.380	6.268	191.667	195.833	187.500	191.667	191.667	191.667
อายุการบ่มที่ 28 วัน	6.310	6.430	6.343	6.358	6.392	6.367	200.000	195.833	200.000	195.833	200.000	198.333

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพูนที่อัตราการบ่มด้วยน้ำผสมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ EM (80:20%)

อายุการบ่ม	น้ำหนัก/ก้อน (kg)					ค่าเฉลี่ย น้ำหนัก (kg)	ค่ารับกำลังแรงอัด(ksc)					ค่าเฉลี่ย กำลังอัด (ksc)
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
อายุการบ่มที่ 3 วัน	6.500	6.339	6.240	6.349	6.289	6.343	150.000	150.000	154.167	154.167	150.000	151.667
อายุการบ่มที่ 7 วัน	6.330	6.340	6.380	6.360	6.360	6.354	166.667	162.500	162.500	158.333	166.667	163.333
อายุการบ่มที่ 14 วัน	6.240	6.430	6.260	6.190	6.390	6.302	175.000	175.000	175.000	179.167	170.833	175.000
อายุการบ่มที่ 28 วัน	6.361	6.570	6.073	6.245	5.325	6.115	187.500	183.333	183.333	187.500	191.667	186.667

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved