

การพัฒนาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตพรุน
โดยใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพเป็นส่วนผสม
**Mechanical Properties of Porous Concrete with
Effective Micro-organisms (EM) Mixed**

รัฐศักดิ์ พรหมมาส¹ ทวีศักดิ์ รุ่งศักดิ์ทวีกุล¹ และปิยะพงษ์ กี่สวัสดิ์คอน²

Ratthasak Prommas¹, Thaweesak Runngsakthaweekul² and Piyapong Kesawadkorn²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตพรุนโดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ (EM) เป็นส่วนผสมในการแทนที่น้ำในส่วนร้อยละ 0 5 10 และ 15 ตามลำดับ ที่อายุการบ่ม 7 28 และ 56 วัน จากการวิจัยพบว่า การใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ ในการแทนที่น้ำที่สัดส่วนร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ที่อายุการบ่ม 7 28 และ 56 วัน มีค่ากำลังต้านทานแรงอัดเท่ากับ 66.30 67.75 และ 150.87 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งสัดส่วนผสมดังกล่าวเป็นส่วนที่คอนกรีตพรุนมีการพัฒนากำลังต้านทานแรงอัดได้ดี ตามอายุการบ่มที่กำหนดไว้ ซึ่งการพัฒนากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตพรุนเกิดจากการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ ซึ่งจะช่วยให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกได้ดีขึ้น เนื่องจากองค์ประกอบที่เป็นส่วนเกิน Ca(OH)_2 จากปฏิกิริยาไฮเดรชันจะรวมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ ซึ่งมี SiO_2 และ Al_2O_3 เป็นองค์ประกอบหลักทำให้เกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) และแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต (CAH) ซึ่งทำหน้าที่เป็นวัสดุเชื่อมประสานระหว่างมวลรวมทำให้คอนกรีตพรุนมีความสามารถในการรับกำลังต้านทานแรงอัดได้ดีขึ้น เนื่องจากหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ มีคุณสมบัติในการกำจัดสารอนินทรีย์ที่ปะปนมาส่วนผสมของคอนกรีตพรุน ซึ่งทำให้คอนกรีตพรุนสามารถรับกำลังต้านทานแรงอัดได้ดีขึ้น ในทางกลับกัน หากนำหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ แทนที่น้ำในอัตราส่วนที่มากเกินไปจนเกิดความเข้มข้นของสิ่งเจือปนที่ยอมให้ตามมาตรฐาน ASTM C 94 จะส่งผลทำให้กำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตพรุนลดลง

คำสำคัญ: คุณสมบัติทางกล จุลินทรีย์ประสิทธิภาพ คอนกรีตพรุน

¹ อ.ดร., สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ นครปฐม 73170

¹ อ., สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ประจวบคีรีขันธ์ 77110

¹ Lecture Dr., Mechanical Engineering Division, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhonpathom, 73170

² Lecture, Civil Engineering Division, Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Prachuabkirikhan, 77110

* Corresponding author: Email address: ratthasak.pro@rmutr.ac.th, Tel : (+66) 863693039

Abstract

This research aims to study the compressive strength of porous concrete using Effective Micro-organisms (EM) mixed in place of water at the proportion of 0, 5, 10 and 15% respectively at the blending period of 7, 28 and 56 days. The findings are as follow: Using EM in place of water at 10% by weight at the blending period 7, 28 and 56 days the compressive strength will be at 66.30, 67.75 and 150.87 kg/cm², respectively. This ratio is appropriate to develop properties of compressive strength with allotted time. Development of the compressive strength of porous concrete using EM mixed features was better pozzolanic reaction as the excessive element, Ca(OH)₂ from hydration which has SiO₂ and Al₂O₃ will blend with EM, as the main elements, and generates calcium silicate hydrate (CSH) and calcium aluminate hydrate (CAH), which are effective joining substances between masses, thus increasing the compressive strength in porous concrete because EM has qualification to kill inorganic substances in porous concrete. By that way, the porous concrete will have more compressive strength. On the contrary, if EM has replaced water at a higher ratio or more than the accepted ASTM C94 standards, this decrease will compressive strength for porous concrete.

Keywords: Compressive Strength, Effective Micro-organisms (EM), Porous Concrete

บทนำ

คอนกรีตพรุน (Porous Concrete) เป็นคอนกรีตที่มีความพรุนสูง โดยที่โพรงในเนื้อของคอนกรีตจะมีทั้งโพรงที่ไม่ต่อเนื่องและมีความต่อเนื่องกัน ด้วยคุณสมบัติของโพรงที่มีความต่อเนื่องนี้จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานที่ต้องการให้น้ำไหลซึมผ่านได้สูง คอนกรีตธรรมดาจะมีส่วนประกอบหลักคือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มวลรวมละเอียด มวลรวมหยาบ และน้ำ อาจมีส่วนประกอบรองจำพวกสารปอซโซลาน (Pozzolan) และสารผสมเพิ่ม สำหรับคอนกรีตพรุนจะมีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มวลรวมหยาบ และน้ำ สำหรับส่วนประกอบรองคล้ายกับคอนกรีตธรรมดา คือ มีสารปอซโซลานและสารผสมเพิ่ม จะเห็นว่าความแตกต่างของส่วนประกอบระหว่างคอนกรีตธรรมดากับคอนกรีตพรุนคือ คอนกรีตพรุนไม่มีมวลรวมละเอียดเหมือนคอนกรีตธรรมดานั่นคือ คอนกรีตพรุนจะประกอบด้วยซีเมนต์เพสต์และมวลรวมหยาบเท่านั้น ความแตกต่างอีกประการหนึ่งคือ คอนกรีตพรุนจะมีความสามารถในการทำงานได้ต่ำมากซึ่งมีลักษณะคล้ายกับคอนกรีตบดอัด ซึ่งต้องอาศัยพลังงานในการบดอัดช่วยในการเข้าแบบ ต่างจากคอนกรีตธรรมดาที่สามารถไหลเข้าแบบได้เอง โดยทั่วไปแล้วคอนกรีตจะมีกำลังอัดอยู่ระหว่าง 14-40 MPa. การที่จะทำได้มาซึ่งคอนกรีตพรุนที่มีคุณภาพดีและมีกำลังอัดสูงนั้นจะต้องทำการควบคุมค่าการไหลของซีเมนต์เพสต์และปริมาณโพรงให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมและสอดคล้องกัน นอกจากนี้ พลังงานในการบดอัดยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องมีการควบคุม เพราะหากมากเกินไปจะทำให้ซีเมนต์เพสต์ไหลลงด้านล่างได้ ด้วยปัจจัยหลายอย่างประกอบกัน ทำให้การผลิตคอนกรีตพรุนจำเป็นต้องมีการออกแบบและควบคุมเพื่อให้ได้คอนกรีตสด ในสถานะที่เหมาะสมกับการทำงาน

คอนกรีตพรุน คือ คอนกรีตที่มีช่องว่างที่มีความต่อเนื่องกัน (Continuous Void) ซึ่งมีความแตกต่างจากคอนกรีตธรรมดาทั่วไป ด้วยเหตุนี้ คอนกรีตพรุนจึงมีคุณสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกับคอนกรีตธรรมดา อีกทั้งการนำคุณสมบัติของการซึมผ่านของน้ำผ่านช่องว่างที่ต่อเนื่องกันมาประยุกต์ใช้งานด้านวิศวกรรมและสถาปัตยกรรมได้อย่างหลากหลาย โดยคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตพรุนมีดังนี้

อัตราส่วนโพรงในเนื้อคอนกรีตมีอิทธิพลต่อกำลังอัดของคอนกรีตเป็นอย่างมาก สำหรับคอนกรีตพรุนที่มีอัตราส่วนโพรงร้อยละ 15 จะมีกำลังอัดได้มากถึง 44 MPa. [1] สำหรับคุณภาพของมวลรวมและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมจะมีผลต่อกำลังรับแรง โดยพบว่าการนำมวลรวมกลับมาใช้ใหม่ (Recycled Aggregate) ทำให้คอนกรีตมีกำลังลดลง การใช้พลังงานในการบดเข้าช่วยจะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตเพิ่มขึ้นและทำให้อัตราส่วนโพรงในเนื้อคอนกรีตพรุนมีค่าลดลง สำหรับการนำมวลรวมจากคอนกรีตเก่ากลับมาใช้ใหม่ [2] พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตพรุนลดลงตามปริมาณการใช้โดยลักษณะการวิบัติจะเกิดระหว่างรอยต่อของซีเมนต์เพสต์ใหม่และซีเมนต์เพสต์เดิม แต่การนำซิลิกาฟูม (Silica Fume) ผสมเพิ่มร้อยละ 10 ทำให้กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าเพิ่มสูงขึ้น แต่หากเพิ่มซิลิกาฟูมในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดลดลง เช่นเดียวกับการผสมคาร์บอนไฟเบอร์ (Carbon Fiber) เพิ่มในคอนกรีตมากจนถึงร้อยละ 3 ทำให้กำลังอัดเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณที่ผสมเพิ่ม แต่กำลังอัดจะลดลงเมื่อปริมาณการผสมมากเกินร้อยละ 3 การพัฒนากำลังรับแรงตามอายุของคอนกรีตพรุนมีลักษณะคล้ายกับคอนกรีตธรรมดา โดยพบว่าการพัฒนากำลังของคอนกรีตในช่วงแรกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแต่ในช่วงอายุ 28-30 วัน การพัฒนากำลังอัดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น [2-3] จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนระหว่างซีเมนต์เพสต์และมวลรวมมีผลต่อกำลังรับแรง โดยที่คอนกรีตที่มีปริมาณซีเมนต์เพสต์ต่อมวลรวมมากจะให้กำลังอัดที่สูงกว่าปริมาณซีเมนต์เพสต์ต่อมวลรวมที่น้อยกว่า อย่างไรก็ตามขนาดของมวลรวมที่ใช้ยังมีผลต่อกำลังรับแรงจากการศึกษาพบว่า การใช้มวลรวมขนาด 10 - 20 mm. จะได้คอนกรีตที่มีกำลังอัดต่ำกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมขนาด 5 - 10 mm.

โดยทั่วไปคอนกรีตธรรมดาจะมีความทึบน้ำสูงจะค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำน้อยมากคือปริมาณ 10^{-11} ถึง 10^{-12} m./sec. ซึ่งแปรผันกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ สำหรับคอนกรีตพรุนนั้นจะมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำอยู่ในช่วง 0.001 ถึง 10 cm./sec. [4] ซึ่งน้ำจะสามารถไหลผ่านเนื้อคอนกรีตได้ดี ดังแสดงในภาพที่ 1 ได้มีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำกับอัตราส่วนโพรงที่ต้องเนื่องกัน ได้พบว่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนโพรงที่เพิ่มมากขึ้นจากการศึกษาพบว่าสำหรับคอนกรีตพรุนที่ใช้มวลรวมขนาดเล็ก (เล็กกว่า 5 มม.) ซึ่งจะมีช่องว่างระหว่างเม็ดของมวลรวมเล็กมาก ทำให้เกิดการกักเก็บ (Retention) และ ค้างคูด (Pumping) น้ำขึ้นเหนือระดับผิวน้ำได้ ดังได้แสดงในภาพที่ 2 ซึ่งในการเกิดของกรณีดังกล่าวนี้ คอนกรีตพรุนจะต้องมีความสามารถในการไหลผ่านของน้ำ และมีความพรุนค่อนข้างต่ำ [6] จากการศึกษาพบว่า นอกจากอัตราส่วนโพรงแล้ว ยังพบว่า ขนาดของมวลรวมที่ใช้สำหรับคอนกรีตยังมีผลต่อความสามารถในการไหลผ่านของน้ำ โดยพบว่าที่ปริมาณอัตราส่วนโพรงที่เท่ากับ ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมขนาดใหญ่ จะมีค่ามากกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมขนาดเล็ก



ภาพที่ 1 น้ำสามารถซึมผ่านคอนกรีตได้

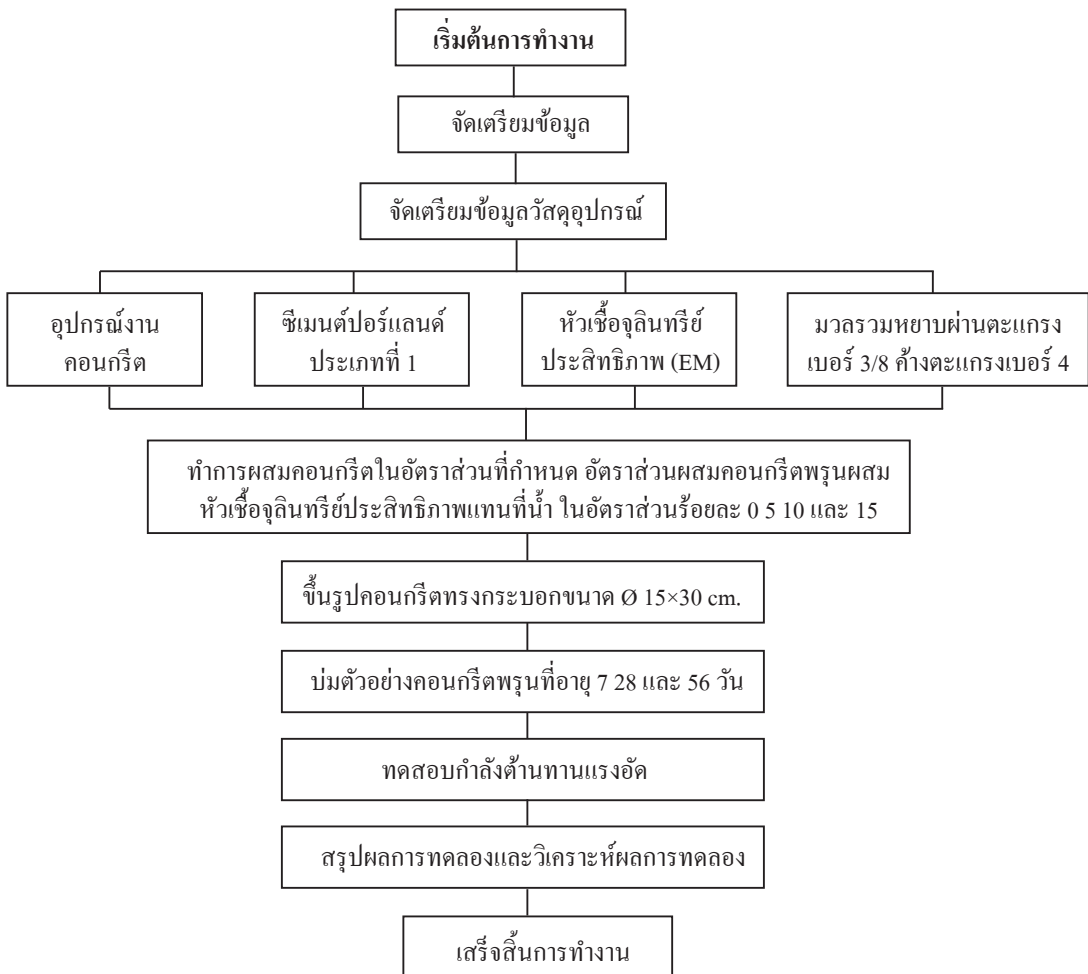


ภาพที่ 2 การดิงดูน้ำของคอนกรีต

การนำคอนกรีตพูนไปใช้งานนั้น จะเน้นถึงคุณสมบัติของความสามารถในการซึมผ่านของน้ำเป็นสำคัญ แต่การใช้คอนกรีตพูนในงานทางวิศวกรรมนั้นย่อมคำนึงถึงความทนทานของคอนกรีตด้วย เช่น งานคอนกรีตพื้นผิวถนน งานลาดผิวแม่น้ำ งานกรองตะกอนในรางระบายน้ำเสีย เป็นต้น ได้มีการทดสอบความต้านทานการซัดสีและการสึกกร่อนของคอนกรีตพูน [5] พบว่าเมื่อกำลังของแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุประสานคงที่ 90 MPa. เมื่อความพูนของคอนกรีตเพิ่มมากขึ้นถึงร้อยละ 23 อัตราการสึกกร่อนใกล้เคียงกับคอนกรีตธรรมดา (กำลังอัด = 37.2 MPa.) และในขณะที่ความพูนของคอนกรีตคงที่ร้อยละ 20 อัตราของการสึกกร่อนจะลดลงตามกำลังของแรงยึดเหนี่ยวของวัสดุประสานพูนมากขึ้น

วิธีดำเนินการ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาเกี่ยวกับการนำจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ มาเป็นส่วนผสมของคอนกรีตพูน เพื่อเพิ่มคุณสมบัติของการรับกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต โดยการศึกษาครอบคลุม 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การออกแบบปฏิกิริยาส่วนผสมคอนกรีตพูน ส่วนที่ 2 หล่อก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอกมาตรฐาน ASTM C 192 ส่วนที่ 3 ทดสอบหาค่าความเป็นกรด-ด่าง ของหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ โดยมีรายละเอียดและขั้นตอนการดำเนินงานดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการทดสอบ

ในการวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

การหาค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Specific Gravity of Portland Cement) การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวมหยาบ (Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate) และการทดสอบหาค่าความเป็นกรด – ด่าง ของหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ

2. ออกแบบปฏิกิริยาสกัดส่วนของคอนกรีตพูน โดยทำการอ้างอิงและปรับปรุงสัดส่วนผสม ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัดส่วนของคอนกรีตฟรูน [6]

Mixture ID	Cement (kg/m ³)	Gravel (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Water		Fibers	
				(w/c)	(kg/m ³)	Type	(kg/m ³)
1	343	1602	...	0.27	93.0	...	...
1S	343	1498	104	0.27	93.0	...	...
2	343	1602	...	0.27	93.0	FM300	0.3
2S	343	1498	104	0.27	93.0	FM300	0.3
3	343	1602	...	0.27	99.5	FC500	0.3
3S	343	1498	104	0.27	99.5	FC500	0.3
4	343	1602	...	0.27	93.0	FM300	0.6
4S	343	1498	104	0.27	93.0	FM300	0.6
5	343	1602	...	0.27	99.5	FC500	0.6
5S	343	1498	104	0.27	99.5	FC500	0.6
6	343	1602	...	0.27	93.0	FM300	0.9
6S	343	1498	104	0.27	93.0	FM300	0.9
7	343	1602	...	0.27	99.5	FC500	0.9
7S	343	1498	104	0.27	99.5	FC500	0.9

3. การทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตฟรูน

ทำการทดสอบกำลังต้านทานแรงของคอนกรีตฟรูน ตัวอย่างทรงกระบอกขนาด $\phi 15 \times 30$ เซนติเมตร โดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพแทนน้ำในอัตราส่วนร้อยละ 0 5 10 และ 15 ตามลำดับ ที่อายุ 7 28 และ 56 วัน ตามลำดับ

ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ ได้ดำเนินการทดสอบโดยทำการศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุที่เป็นส่วนผสมในการแทนที่น้ำเพื่อผลิตเป็นคอนกรีตฟรูนที่สามารถเพิ่มกำลังต้านทานแรงอัดได้ โดยทำการออกแบบอัตราส่วนผสมของหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพแทนที่น้ำในอัตราส่วนร้อยละ 0 5 10 และ 15 ตามลำดับ ที่อายุการบ่ม 7 28 และ 56 วัน ของคอนกรีตฟรูนที่ไม่ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพและคอนกรีตฟรูนโดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพแทนที่น้ำในอัตราส่วนร้อยละที่ต่างกัน เปรียบเทียบกับกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตธรรมดาที่ออกแบบกำลังต้านทานแรงอัดไว้ที่ 140 kg/cm^2 โดยมีผลการทดสอบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ผลการทดสอบค่า pH ที่ได้จากห้องปฏิบัติการทางเคมี

ค่า pH หรือค่าความเป็นกรด-ด่าง ของหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ ที่ได้จากการเข้าห้องปฏิบัติการทางเคมี ซึ่งค่าที่ได้จากการทดสอบ จะมีค่า pH ของน้ำสะอาด ค่า pH ของหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพชนิดนี้ ในอัตราส่วนทดแทนน้ำที่ทำการทดสอบ ซึ่งค่า pH ที่ได้จากการทดสอบจะแสดงดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ได้จากห้องทดลอง

ข้อมูล ทดสอบ	น้ำร้อยละ 100	น้ำร้อยละ 0 ต่อ EM ร้อยละ 100	น้ำร้อยละ 95 ต่อ EM ร้อยละ 5	น้ำร้อยละ 90 ต่อ EM ร้อยละ 10	น้ำร้อยละ 85 ต่อ EM ร้อยละ 15
ค่า pH	7.06	3.91	4.56	4.11	3.98

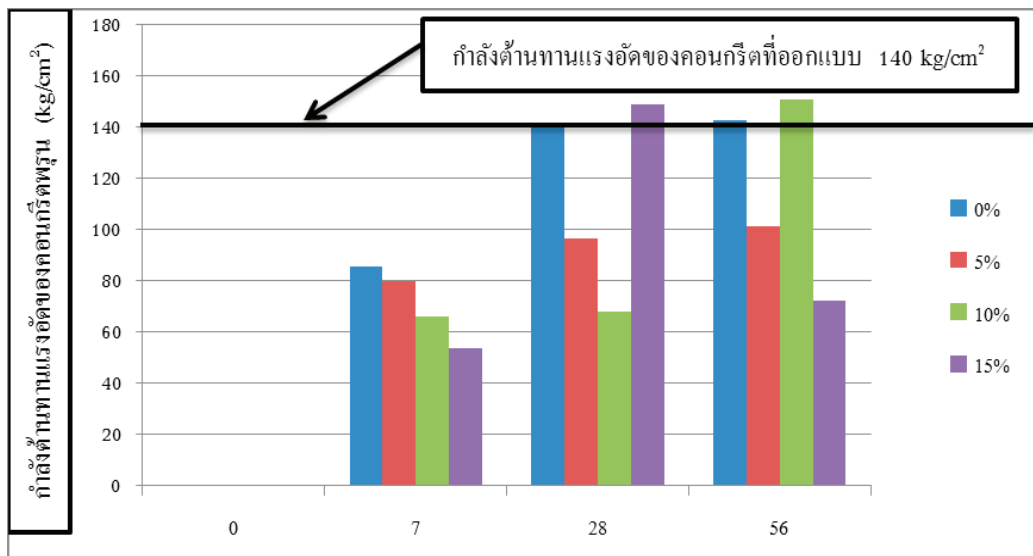
จากตารางที่ 2 พบว่าการมีสิ่งเจือปนที่อยู่ในน้ำสำหรับใช้ในการเป็นส่วนผสมของคอนกรีตพูน ซึ่งกำหนดไว้ว่าค่ามาตรฐานของ pH ของน้ำที่ขอมให้มีสิ่งเจือปนอยู่สำหรับนำมาเป็นส่วนผสมของคอนกรีต ต้องมีค่า pH ไม่ต่ำกว่า 4 เนื่องจากน้ำที่เป็นกรดหรือมีค่า pH ต่ำกว่า 4 มักก่อให้เกิดปัญหาด้านการก่อตัวและกำลังอัดของคอนกรีต ซึ่งสภาพความเป็นกรดจะมีค่า pH ตั้งแต่ 0 - 6.9 และค่าความเป็นด่างจะมีค่า pH ตั้งแต่ 7.1 ขึ้นไป จากการนำหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพมาใช้ผสมคอนกรีตพูนโดยการแทนที่น้ำที่อัตราส่วนต่างๆ กัน พบว่าทุกอัตราส่วนผสมที่ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพในการแทนที่จะมีค่า pH อยู่ระหว่าง 3.98 - 4.56 เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานตามข้อกำหนดของขอบเขตความเข้มข้นของสิ่งเจือปนขอมให้ ASTM C 94 ต้องมีค่า pH ไม่ต่ำกว่า 4 โดยการทดสอบพบว่าสามารถนำหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพมาใช้แทนที่น้ำในสัดส่วน ร้อยละ 5 และ 10 จะมีความเป็นไปได้และเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการเป็นส่วนผสมของคอนกรีตได้

2. ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตพูน

ในการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตพูน โดยการใช้ด้วยหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ จุลินทรีย์ประสิทธิภาพ แทนที่น้ำในอัตราส่วนคือ น้ำร้อยละ 100 น้ำร้อยละ 95 ต่อ จุลินทรีย์ประสิทธิภาพ ร้อยละ 5 น้ำร้อยละ 90 ต่อ จุลินทรีย์ประสิทธิภาพ ร้อยละ 10 และน้ำร้อยละ 85 ต่อ จุลินทรีย์ประสิทธิภาพ ร้อยละ 15 ที่นำมาเป็นส่วนผสมของคอนกรีตพูน ที่อายุ 7 28 และ 56 วัน จากการทดสอบได้ค่ากำลังต้านทานแรงอัดเฉลี่ย ซึ่งสามารถแสดงได้ในตารางที่ 3 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังต้านทานแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตพูน กับระยะเวลาการบ่ม ดังแสดงในภาพที่ 5

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตพูน

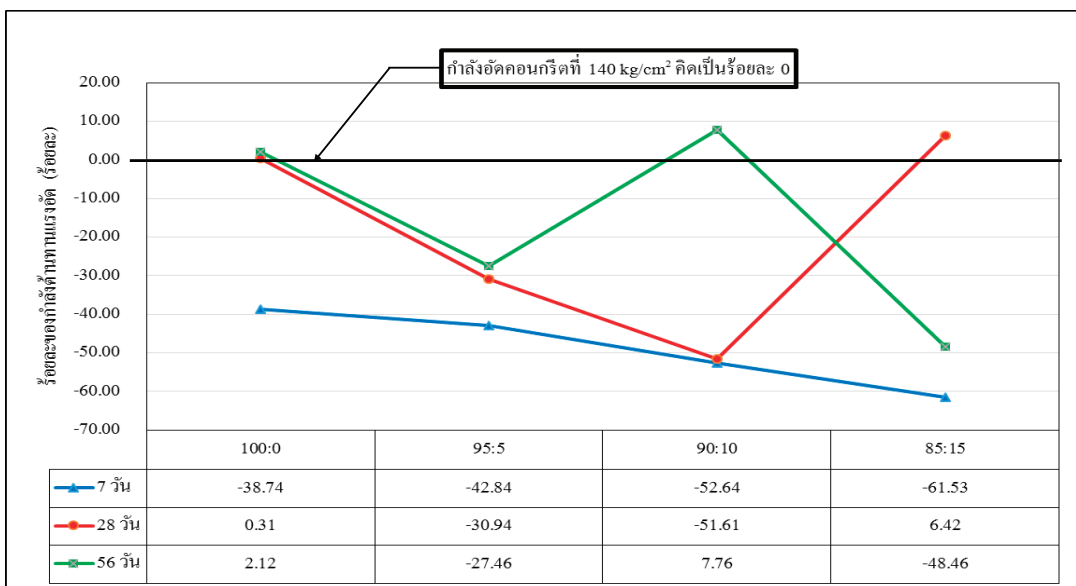
อัตราส่วนผสม น้ำ : EM (ร้อยละ)	อายุการบ่ม	กำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตพูน , (kg/cm ²)			
		ก่อนที่ 1	ก่อนที่ 2	ก่อนที่ 3	ค่าเฉลี่ย
100 : 0	7 วัน	89.79	78.25	89.24	85.76
	28 วัน	137.73	142.33	141.26	140.44
	56 วัน	139.92	143.83	145.17	142.97
95 : 5	7 วัน	78.22	80.24	81.63	80.03
	28 วัน	96.53	97.43	96.12	96.69
	56 วัน	108.68	105.57	90.39	101.55
90 : 10	7 วัน	72.86	68.07	57.97	66.3
	28 วัน	66.79	65.7	70.76	67.75
	56 วัน	150.8	151.89	149.91	150.87
85 : 15	7 วัน	53.47	52.09	56.01	53.86
	28 วัน	145.82	146.29	154.86	148.99
	56 วัน	72.68	72.4	71.36	72.15



ภาพที่ 4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบค่ากำลังต้านทานแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตพูนที่แทนที่น้ำด้วยหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพ ในสัดส่วนร้อยละ 0 5 10 และ 15 ตามลำดับ ที่อายุ 7 28 และ 56 วัน

จากกราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบค่ากำลังต้านทานแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตพรุนที่แทนที่น้ำด้วยหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพในสัดส่วนร้อยละ 0 5 10 และ 15 ตามลำดับ ที่อายุการบ่ม 7 28 และ 56 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ออกแบบไว้ 140 kg/cm^2 จากผลการทดสอบพบว่าคอนกรีตพรุนที่ทดแทนน้ำด้วยหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพในสัดส่วนร้อยละ 10 มีการพัฒนากำลังอัดเพิ่มขึ้นทุกอายุการบ่มทั้งสามช่วงเวลา เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์แทนที่น้ำในอัตราส่วนร้อยละ 0 5 และ 15 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตมีการเพิ่มขึ้นและลดลงที่ไม่เป็นตามหลักของการพัฒนากำลังของคอนกรีตที่อายุการบ่ม

3. ผลการเปรียบเทียบร้อยละการเพิ่มขึ้นและลดลงของกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตพรุนเฉลี่ยที่อายุ 7, 28 และ 56 วัน กับกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตพรุนที่ออกแบบไว้ 140 kg/cm^2



ภาพที่ 5 ร้อยละการเพิ่มขึ้น-ลดลง ของกำลังต้านทานแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตพรุนที่ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพแทนที่น้ำในสัดส่วนร้อยละ 0 5 10 และ 15 ตามลำดับ ที่อายุการบ่ม 7 28 และ 56 วัน
เปรียบเทียบกับกำลังต้านทานแรงอัดที่ออกแบบไว้

สรุปผล

ภาพที่ 5 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบร้อยละของการการเพิ่มขึ้น-ลดลง ของกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตพรุนที่ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพแทนที่น้ำในสัดส่วนร้อยละ 0 5 10 และ 15 ตามลำดับ ที่อายุการบ่ม 7 28 และ 56 วัน จากค่ากำลังต้านทานแรงอัดเฉลี่ยของก้อนตัวอย่างของคอนกรีตพรุนที่ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพแทนที่น้ำในอัตราส่วนร้อยละ 10 จะมีค่ากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่อายุ 56 วัน เท่ากับ 150.87 kg/cm^2 (เพิ่มขึ้นร้อยละ 7.76) เมื่อเปรียบเทียบกับค่ากำลังอัดที่ออกแบบไว้และมีการพัฒนากำลังต้านทานแรงอัดอย่างต่อเนื่องเมื่อเทียบกับอัตราส่วนผสมอื่นๆ โดยที่ค่า pH ของหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพแทนที่น้ำร้อยละ 10 มีค่า pH เท่ากับ 4.11 ซึ่งสูงกว่าค่าความเข้มข้นของสิ่งเจือปนที่ยอมให้ตามมาตรฐาน ASTM C 94

ก็ต้องไม่ต่ำกว่า 4 ดังนั้นการนำหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพมาใช้แทนที่น้ำในส่วนร้อยละ 10 จะมีความเป็นไปได้
ที่ใช้แทนที่น้ำและเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการเป็นส่วนผสมของคอนกรีตได้

สรุปผล

จากการศึกษาการพัฒนาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตพูนโดยใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพเป็นส่วนผสม
แทนที่น้ำ โดยในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาคูสมบัติทางกลของคอนกรีตพูนโดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์
ประสิทธิภาพแทนที่น้ำ ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบผลระหว่างคุณสมบัติของคอนกรีตพูนที่ไม่ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์
ประสิทธิภาพแทนที่น้ำ (สภาพปกติ) กับใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพแทนที่น้ำ สามารถสรุปผลการศึกษาวิจัย
ได้ดังต่อไปนี้

1. ลักษณะทั่วไปและมิติ ของคอนกรีตพูนหลังจากอายุการบ่มที่ 28 วัน มีขนาดและมิติต่าง ๆ ที่ไม่แตกต่าง
กันมาก จากที่ได้ทำการทดสอบนั้นจะเห็นได้ว่า คอนกรีตพูนนั้นมีขนาดตามแบบที่ได้ทำการทดสอบกำลัง
ต้านทานแรงอัดของก้อนตัวอย่าง มีค่ากำลังต้านทานแรงอัดเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่ออกแบบไว้ 140 kg/cm^2
โดยแทบจะไม่มีมีความคลาดเคลื่อนเลย ซึ่งผลที่ได้นั้นอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้

2. การศึกษากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตพูนที่ผสมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพชนิดน้ำ ในอัตราส่วนผสม
แทนที่น้ำร้อยละ 0 5 10 และ 15 ตามลำดับ สามารถสรุปได้ว่าในอัตราส่วนผสมแทนที่น้ำร้อยละ 5 คอนกรีตพูน
สามารถพัฒนากำลังอัดได้อย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ระยะเวลาการบ่มที่ 7 วัน 28 วัน และ 56 วัน

3. อัตราส่วนผสมที่ใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพชนิดน้ำ แทนที่น้ำร้อยละ 10 ในระยะเวลาการบ่มที่ 56 วัน
กำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตจะที่ค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.76 เมื่อเทียบกับกำลังต้านทานแรงอัดที่ออกแบบไว้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สามารถดำเนินการไปได้สำเร็จลุล่วงด้วยดีคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Chindaprasirt P., Homwuttiwong S. and Jaturapitakkul C. (2007). "Strength and Water Permeability of Concrete Containing Palm oil Fuel Ash and Rice Husk-bark Ash", **Construction and Building Materials**. 21, 1492-1499
- [2] Park, J.-Y. and Kim, S.-H., (2010). "A New Species of Torrent Catfish from Korea", **Korean Journal of Limnology**. 21, 345-352.
- [3] Wang, S., J. et., al. (2003). "Dielectric Properties of Fruits and Insect Pests as Related to Radio Frequency and Microwave Treatments", **Biosystems Engineering**. 85, 201-212.
- [4] K.A. and G.I. Matsumoto (2004). "Stellamedusa Ventana, a New Mesopelagic Scyphomedusa from the Eastern Pacific Representing a New Subfamily, the Stellamedusinae", **Journal of the Marine Biological**. 84, 37-42.
- [5] Rattanasak U. and Chindaprasirt P. (2009). "Influence of NaOH Solution on the Synthesis of Fly Ash Geopolymer", **Minerals Engineering**. 22, 1073-1078.
- [6] Kevern, J. T. et., al. (2008). "Pervious Concrete Mixture Proportions for Improved Freeze-Thaw Durability", **Journal of ASTM International**. 2, 1-12.