



รายงานการวิจัย

การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการบ่มคอนกรีตโครงสร้างเพื่อเพิ่มกำลังอัด
แบบเร่งด่วน โดยการใช้ น้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก

Experimental Study on Suitable Condition in Curing Concrete
for Increase urgent Compressive Strength
by Using Magnetic Water

ณัฐพล ภูระหงษ์และคณะ

สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ประจำปีงบประมาณ 2563

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการบ่มคอนกรีตโครงสร้างเพื่อเพิ่มกำลังอัด
แบบเร่งด่วน โดยการใช้ น้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก

Experimental Study on Suitable Condition in Curing Concrete
for Increase urgent Compressive Strength
by Using Magnetic Water

ณัฐพล ภูระหงษ์

สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยี

อุตสาหกรรม

สุริรา เบญจานุกรม

สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยี

อุตสาหกรรม

ว่าที่ ร.ต.วรชัย ศรีสมุทรคำ

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยี

อุตสาหกรรม

ทุนอุดหนุนโดย มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

งบประมาณเงินรายได้คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ประจำปีงบประมาณ 2563

ชื่องานวิจัย	การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการบ่มคอนกรีตโครงสร้างเพื่อเพิ่มกำลังอัดแบบแรงดัน โดยการใช้น้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก		
ผู้วิจัย	ณัฐพล ภูระหงษ์		
สาขาวิชา	เทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา		
	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์	ปีเสร็จวิจัย	2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ ศึกษาเกี่ยวกับการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการบ่มคอนกรีตโครงสร้างเพื่อเพิ่มกำลังอัดแบบแรงดัน โดยการใช้น้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก โดยทำการทดสอบลูกปูนทรงลูกบาศก์ขนาด $15\text{ ซม} \times 15\text{ ซม} \times 15\text{ ซม}$ บ่มน้ำพลังงานสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ต่างกัน 3 ค่า อันได้แก่ แม่เหล็กเฟอร์ไรต์ มีความเข้มสนามแม่เหล็กประมาณ 800-1,000 G, แม่เหล็กนีโอไดเมียม มีความเข้มสนามแม่เหล็กอยู่ประมาณ 1,500-2,900 G และแม่เหล็กซามาเรียม มีความเข้มสนามแม่เหล็กอยู่ประมาณ 1,900-3,900 G ทำการบ่มและเก็บผลการทดสอบที่ 7 วัน, 14 วัน และ 28 วัน โดยมีลูกปูนทดสอบที่บ่มด้วยน้ำปกติเป็นตัวแปรควบคุม และทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบรับแรงอัด (Compression Machine)

ในการวิจัยนี้ได้ออกแบบการทดสอบทั้งหมด 4 ตัวแปรประกอบด้วย การบ่มด้วยน้ำปกติ (ตัวแปรควบคุม) ทดสอบจำนวน 3 ตัวอย่าง การบ่มด้วยน้ำพลังงานสนามแม่เหล็กเฟอร์ไรต์ ทดสอบจำนวน 3 ตัวอย่าง การบ่มด้วยน้ำพลังงานสนามแม่เหล็กนีโอไดเมียมทดสอบจำนวน 3 ตัวอย่าง และการบ่มด้วยน้ำพลังงานสนามแม่เหล็กซามาเรียมทดสอบจำนวน 3 ตัวอย่าง ทำการบ่มที่ 7 วัน, 14 วัน และ 28 วัน ตามลำดับ โดยจากผลจากทดสอบพบว่า ที่ 7 วัน ค่ากำลังอัดสูงสุดได้แก่การบ่มด้วยการบ่มด้วยน้ำพลังงานสนามแม่เหล็กซามาเรียม มีค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดเท่ากับ 119.17 kN/cm^2 ที่ 14 วัน ค่ากำลังอัดสูงสุดได้แก่การบ่มด้วยการบ่มด้วยน้ำพลังงานสนามแม่เหล็กซามาเรียม มีค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดเท่ากับ 153.74 kN/cm^2 และที่ 28 วัน ค่ากำลังอัดสูงสุดได้แก่การบ่มด้วยการบ่มด้วยน้ำพลังงานสนามแม่เหล็กซามาเรียม มีค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดเท่ากับ 245.41 kN/cm^2 โดยกำลังอัดสูงสุดที่ 28 วันการบ่มด้วยน้ำพลังงานสนามแม่เหล็กซามาเรียมมีค่ามากกว่าตัวแปรควบคุม (การบ่มด้วยน้ำปกติ) คิดเป็น 20.71 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : น้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก, คอนกรีตโครงสร้าง

Research Title	Experimental Study on Suitable Condition in Curing Concrete for Increase urgent Compressive Strength by Using Magnetic Water		
Researcher	Nuttapon Phurahong		
Department	Technology of Civil Engineering		
	Phetchabun Rajabhat University	Year	2563

Abstract

This research study the appropriate factors in curing structural concrete to increase the capacity of the urgent compressive by using magnetic field water. The test of a cube-shaped mortar, measuring 15cm x 15cm x 15cm, incubates the magnetic field energy with three different magnetic field intensities: Ferrite magnets have a magnetic field intensity of about 800-1,000 G, neodymium magnets. It has a magnetic field intensity of about 1,500-2,900 G and samarium magnets. The magnetic field intensity is approximately 1,900-3,900 G, curing and storing test results at 7 days, 14 days, and 28 days. The test mortar ball is normally cured as a control variable and tested with a compression machine.

In this research, a total of 4 variables were designed, including normal water curing (control variables). Test 3 samples Ferrite Magnetic Energy Water Curing Test 3 samples Neodymium magnetic field water curing tested 3 samples, and three samples of Samarium magnetic field water curing, 7-day, 14-day curing. According to the test results, the maximum compressive strength is curing with samarium magnetic field water. The average compressive strength is 119.17 kN/cm^2 at 14 days. The average compressive strength is 153.74 kN/cm^2 and at 28 days. The average compressive strength is 245.41 kN/cm^2 , with a maximum compressive capacity of 28 days.

Keywords : Magnetic field water, Concrete structure

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยคำแนะนำต่าง ๆ จากคณาจารย์ในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ และความร่วมมือช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลายฝ่าย ที่สละเวลาให้คำแนะนำคำปรึกษา รวมถึงข้อเสนอแนะต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

ผู้วิจัยขอบพระคุณทุกท่านที่เกี่ยวข้องเป็นอย่างสูง ที่ได้ให้ความกรุณาให้คำปรึกษาแนะนำให้แก่ผู้วิจัย จึงขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยครั้งนี้มา ณ ที่นี้ด้วย

ณัฐพล ภูระหงษ์

1 สิงหาคม 2563

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 สมมุติฐานการวิจัย	2
1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ	3
1.6 ประโยชน์ของการวิจัย.....	3
1.7 ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
บทที่ 2	5
2.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1.1 คอนกรีต	5
2.1.2 ปูนซีเมนต์	6
2.1.3 มวลรวม	9
2.1.4 น้ำสำหรับผสมคอนกรีต.....	13
2.1.5 น้ำยา Superplasticizer.....	14
2.1.6 Silica Fume	14
2.1.7 การบ่มคอนกรีตและระยะเวลาการบ่ม	18
2.1.8 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต.....	24
2.1.9 กำลังอัดของคอนกรีตและการทดสอบ	25
2.1.10 น้ำ.....	26
2.1.11 แม่เหล็กธรรมชาติและแม่เหล็กไฟฟ้า	29
2.1.12 กระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก	34
2.1.13 น้ำปล้งานสนามแม่เหล็ก	39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	41
บทที่ 3	46
3.1 การออกแบบระบบน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก	46
3.2 การออกแบบการทดลองปัจจัยที่เหมาะสมในการบ่มคอนกรีตโครงสร้างเพื่อเพิ่มกำลังอัดแบบเร่งด่วน โดยการใช้พลังงานสนามแม่เหล็ก.....	49
3.3 การออกแบบอัตราส่วนผสมและจำนวนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ.....	51
3.4 ขั้นตอนการทดสอบ.....	52
3.4.1 ทดสอบหาค่ายุบตัวของคอนกรีต (Slump Test)	52
3.4.2 การหล่อลูกปูนทดสอบ	54
3.4.3 การบ่มคอนกรีต	55
3.4.4 ทดสอบกำลังรับแรงอัด	55
บทที่ 4	57
4.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด	57
4.1.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยการบ่มด้วยน้ำปกติ (ตัวแปรควบคุม)	57
4.1.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยการบ่มด้วยน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กเฟอร์ไรท์).....	58
4.1.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยการบ่มด้วยน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กนีโอไดเมียม)	59
4.1.4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยการบ่มด้วยน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กซามาเรียม)	60
4.2 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดเทียบกับระยะเวลาการบ่ม	61
4.2.1 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดแต่ละการบ่มที่ 7 วัน.....	61
4.2.2 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดแต่ละการบ่มที่ 14 วัน	62
4.2.3 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดแต่ละการบ่มที่ 28 วัน	63
บทที่ 5	65
5.1 สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย.....	65
5.2 ข้อเสนอแนะ	65
บรรณานุกรม.....	66

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก.....	67
ประวัติคณะผู้วิจัย.....	74

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สารประกอบหลักในปูนซีเมนต์.....	6
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของสารประกอบหลักต่อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	7
ตารางที่ 2.3 แสดงขนาดตะแกรงที่ใช้วิเคราะห์ขนาดของมวลรวม	12
ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของปูนซีเมนต์, แก้วถ่านหิน, และซิลิกาฟูม.....	15
ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของซิลิกาฟูม, แก้วถ่านหินและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	16
ตารางที่ 2.6 อัตราส่วนผสมและกำลังอัดของคอนกรีตที่มีและไม่มีซิลิกาฟูมเป็นส่วนผสม	18
ตารางที่ 2.7 ระยะเวลาขั้นต่ำในการบ่มคอนกรีต.....	23
ตารางที่ 2.8 ส่วนผสมของคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้าง.....	24
ตารางที่ 2.9 ตัวอย่างค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กของแม่เหล็กถาวรนีโอไดเมียมแบบเหลี่ยม ...	32
ตารางที่ 2.10 ค่าความชื้นขาบได้ของวัสดุชนิดต่าง ๆ	33
ตารางที่ 3.1 แสดงตารางเก็บผลของกำลังรับแรงอัดของลูกปูนทดสอบ	50
ตารางที่ 3.2 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของลูกปูนทดสอบที่การบ่ม 7 วัน, 14 วัน และ 28 วัน	51
ตารางที่ 3.3 จำนวนลูกปูนทดสอบตามทริทเมนต์ต่าง ๆ.....	52
ตารางที่ 3.4 ค่ายุบตัวที่เหมาะสมสำหรับคอนกรีตโครงสร้างประเภทต่าง ๆ ตามข้อกำหนดของ วสท.	52
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยการบ่มด้วยน้ำปกติ (ตัวแปรควบคุม).....	57
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยการบ่มด้วยน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กเฟอร์ไรท์)	58
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยการบ่มด้วยน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กนีโอไดเมียม)	59
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยการบ่มด้วยน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กซามาเรียม)	60
ตารางที่ 4.5 ผลค่าเฉลี่ยกำลังอัดแต่ละการบ่มที่ 7 วัน.....	61
ตารางที่ 4.6 ผลค่าเฉลี่ยกำลังอัดแต่ละการบ่มที่ 14 วัน	62
ตารางที่ 4.7 ผลค่าเฉลี่ยกำลังอัดแต่ละการบ่มที่ 28 วัน	63

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 การเรียกชื่อองค์ประกอบต่าง ๆ ของคอนกรีต	5
ภาพที่ 2.2 ภาพถ่ายขยายด้วย SEM ของซิลิกาฟุ่มควบแน่น (ชัย, 2007)	16
ภาพที่ 2.3 ภาพถ่ายการซังหรือหล่อหน้า	19
ภาพที่ 2.4 ภาพถ่ายการฉีดยาน้ำหรือรดน้ำ	20
ภาพที่ 2.5 ภาพถ่ายการคลุมด้วยวัสดุเปียกชื้น	20
ภาพที่ 2.6 ภาพถ่ายการบ่มในแบบหล่อไม้ที่เปียก	21
ภาพที่ 2.7 ภาพถ่ายการใช้กระดาษกันน้ำซึม	21
ภาพที่ 2.8 ภาพถ่ายการใช้แผ่นผ้าพลาสติกคลุม	22
ภาพที่ 2.9 ภาพถ่ายการใช้สารเคมีเคลือบผิวคอนกรีต	22
ภาพที่ 2.10 วัฏจักรของน้ำ	27
ภาพที่ 2.11 พลังงานของน้ำ	28
ภาพที่ 2.12 ลักษณะโครงสร้างของน้ำ	28
ภาพที่ 2.13 พันธะไฮโดรเจนของน้ำ	29
ภาพที่ 2.14 แสดงทิศทางการแรงแม่เหล็ก	30
ภาพที่ 2.15 แม่เหล็กถาวรนีโอไดเมียม	31
ภาพที่ 2.16 แรงลอเรนซ์	34
ภาพที่ 2.17 กฎมือขวาของสกรู	34
ภาพที่ 2.18 สนามแม่เหล็กจากกระแสไฟฟ้าไหลในเส้นลวดตรงยาว	35
ภาพที่ 2.19 สนามแม่เหล็กจากกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดวงกลม	35
ภาพที่ 2.20 สนามแม่เหล็กในขดลวดโซลินอยด์	36
ภาพที่ 2.21 สนามแม่เหล็กจากกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดทอรอยด์	37
ภาพที่ 2.22 อัดไฟฟ้า	38
ภาพที่ 2.23 ปั่นจันไฟฟ้า	38
ภาพที่ 2.24 ไดอะแฟรมของหุฟิง	39
ภาพที่ 2.25 รถไฟความเร็วสูง	39
ภาพที่ 2.26 น้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก	40
ภาพที่ 3.1 ตัวอย่างความเข้มสนามแม่เหล็กเฟอร์ไรท์	46

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 3.2 ตัวอย่างความเข้มสนามแม่เหล็กนีโอโดเมียม	47
ภาพที่ 3.3 ตัวอย่างความเข้มสนามแม่เหล็กซามาเรียม.....	47
ภาพที่ 3.4 การออกแบบแผ่นอะคลิลิกด้วยโปรแกรม AutoCAD	47
ภาพที่ 3.5 การแปลงไฟล์เป็น G Code ด้วยโปรแกรม ArtCAM	48
ภาพที่ 3.6 โปรแกรม Mach 3	48
ภาพที่ 3.7 สั่งเครื่อง CNC ด้วยโปรแกรม Mach 3.....	48
ภาพที่ 3.8 แผ่นอะคลิลิกที่ตัดด้วยเครื่อง CNC แล้ว	49
ภาพที่ 3.9 ตัวอย่างแม่เหล็กในแผ่นอะคลิลิก.....	49
ภาพที่ 3.10 ทดสอบหาค่ายุบตัวของคอนกรีต Slump Test.....	53
ภาพที่ 3.11 ทดสอบหาค่ายุบตัวของคอนกรีต Slump Test.....	53
ภาพที่ 3.12 ผสมส่วนผสม.....	54
ภาพที่ 3.13 ลูกปูนทดสอบ.....	54
ภาพที่ 3.14 การบ่มลูกปูนทดสอบด้วยน้ำ ที่มีค่าความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกัน.....	55
ภาพที่ 3.15 นำลูกปูนเข้าเครื่องทดสอบ Compressive Machine	56
ภาพที่ 3.16 ค่าแรงอัดสูงสุดที่ได้จากการทดสอบ	56
ภาพที่ 4.1 กราฟผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยการบ่มด้วยน้ำปกติ (ตัวแปรควบคุม).....	58
ภาพที่ 4.2 กราฟผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยการบ่มด้วยน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็ก เฟอร์ไรท์)	59
ภาพที่ 4.3 กราฟผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยการบ่มด้วยน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กนีโอโดเมียม).....	60
ภาพที่ 4.4 กราฟผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยการบ่มด้วยน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็ก ซามาเรียม)	61
ภาพที่ 4.5 กราฟผลค่าเฉลี่ยกำลังอัดแต่ละการบ่มที่ 7 วัน	62
ภาพที่ 4.6 กราฟผลค่าเฉลี่ยกำลังอัดแต่ละการบ่มที่ 14 วัน	63
ภาพที่ 4.7 กราฟผลค่าเฉลี่ยกำลังอัดแต่ละการบ่มที่ 28 วัน	64

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

การเติบโตของอุตสาหกรรมด้านการก่อสร้างของประเทศไทย จากการวิจัยของกรุงเทพว่า ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา มูลค่าการลงทุนก่อสร้างมีสัดส่วนเฉลี่ย 8.4% ของ ผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (Gross Domestic Product: GDP) โดยในช่วงปี 2561-2563 มีแนวโน้ม ขยายตัวเฉลี่ย 7-9% ต่อปี มีมูลค่า 1289-1313.5 พันล้านบาท ซึ่งทำให้ราคาวัสดุก่อสร้างและต้นทุนด้านแรงงานในอีก 3 ปีข้างหน้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จากการเติบโตดังกล่าว การบริหารจัดการก่อสร้างของโครงการต่าง ๆ จำเป็นต้องมีเทคโนโลยี หรือนวัตกรรมด้านการก่อสร้างใหม่ๆ เพื่อควบคุมคุณภาพ ลดระยะเวลา และลดต้นทุนการผลิต เพื่อเพิ่มศักยภาพให้ทันต่อการเติบโตดังกล่าว อาทิเช่น ระบบการก่อสร้าง โครงสร้างสำเร็จภาพที่สร้างเสร็จภายในไม่กี่เดือน ระบบการบ่มชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปโดยใช้ อุณหภูมิและความดันโดยสามารถให้กำลังรับแรงอัดที่ต้องการภายใน 1 วัน เป็นต้น

สำหรับการบ่มคอนกรีตมีความสำคัญอย่างมากต่อการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีต อันเนื่องจากการบ่มทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์เกิดได้อย่างต่อเนื่อง โครงสร้างของเนื้อ ซีเมนต์แน่นซึ่งส่งผลต่อกำลังของคอนกรีตโดยตรง โดยระยะเวลาการบ่มคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ควรบ่มเปียกติดต่อกันอย่างน้อย 7 วัน เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันที่สมบูรณ์ ส่งผลต่อระยะเวลาการถอดแบบเพื่อทำการก่อสร้างในลำดับอื่น ๆ ต่อไป โดยทั่วไปข้อกำหนดที่สำคัญ อายุขั้นต่ำของคอนกรีตในการถอดแบบหล่อห้องคาน คือ 21 วัน แบบหล่อท้องพื้นไม่ต่ำกว่า 14 วัน เพื่อให้คอนกรีตมีประสิทธิภาพในการรับแรงอย่างเต็มที่ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการพัฒนากำลังอัดของ คอนกรีตใช้ระยะเวลานาน จึงทำให้มีเทคโนโลยีและนวัตกรรมใหม่ๆ ในการลดระยะเวลาดังกล่าว อาทิ เช่น การใช้แผ่นกันความชื้น การใช้สารบ่มคอนกรีต การบ่มด้วยไอน้ำความดันต่ำ และการบ่มไอน้ำ ความดันสูง เป็นต้น

การวิจัย และพัฒนาการใช้ น้ำพลังงานสนามแม่เหล็กในปัจจุบันมีความหลากหลาย มีการประยุกต์ใช้กับการทดสอบทางวิศวกรรมมากขึ้น โดยคุณสมบัติที่เด่นชัดคือ น้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก ส่งผลต่อคุณสมบัติของน้ำโดยทำให้มีโมเลกุลของน้ำเล็กลง และยังส่งผลต่อพันธะไฮโดรเจนของ โมเลกุลของน้ำ ซึ่งน้ำเป็นปัจจัยหลักของการทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน ที่ส่งผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดในการศึกษาและพัฒนา เพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมในการบ่มคอนกรีตโครงสร้าง เพิ่มกำลังอัดแบบเร่งด่วน ย่นระยะเวลาการบ่ม ส่งผลต่อระยะเวลาการถอดแบบให้ไวยิ่งขึ้น ซึ่งเป็น

การลดต้นทุนการผลิตในทางอ้อม โดยการใช้พลังงานสนามแม่เหล็ก เพื่อทำให้เกิดองค์ความรู้ และนวัตกรรมในการพัฒนาด้านอุตสาหกรรมการก่อสร้าง

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมในการบ่มคอนกรีตโครงสร้างเพื่อเพิ่มกำลังอัดแบบเร่งด่วน โดยการใช้คุณสมบัติของน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก

1.2.2 เพิ่มประสิทธิภาพการรับกำลังอัดของคอนกรีตโครงสร้าง และลดระยะเวลาในการบ่มคอนกรีต

1.3 สมมุติฐานการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อเป็นต้นแบบในการสร้างนวัตกรรมการบ่มคอนกรีตโครงสร้าง โดยการใช้ข้อดีของน้ำพลังงานสนามแม่เหล็กช่วยในการเพิ่มกำลังอัดแบบเร่งด่วน ทำให้ช่วยลดระยะเวลาในการบ่มคอนกรีต

1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

กิจกรรม	สถานที่ทำการวิจัย
1. ศึกษาข้อมูล วิธีการ อิทธิพลของการบ่มคอนกรีตต่อการพัฒนากำลังอัด เทคนิควิธีสมัยใหม่ คุณสมบัติเชิงวิศวกรรมของน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
2. พัฒนาอุปกรณ์การสร้างพลังงานสนามแม่เหล็กแบบปรับค่าความเข้มสนามแม่เหล็กได้ เพื่อใช้สำหรับการเร่งปฏิกิริยาทางเคมีในการเพิ่มกำลังอัดของการบ่มคอนกรีต	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
3. ทดสอบคุณสมบัติเชิงวิศวกรรมของคอนกรีตโครงสร้างที่ได้จากการบ่ม โดยใช้คุณสมบัติของน้ำพลังงานสนามแม่เหล็กที่ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กค่าต่างๆ	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
4. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ เพื่อหา	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

กิจกรรม	สถานที่ทำการวิจัย
ปัจจัยที่เหมาะสมในการบ่มคอนกรีตโครงสร้างเพื่อเพิ่มกำลังอัดแบบแรงด่วนโดยการใช้ น้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก	
5. รวบรวม สรุปองค์ความรู้ และเผยแพร่องค์ความรู้ที่ได้จากโครงการวิจัย	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ องค์การบริหารส่วนตำบล และหน่วยงานเอกชนที่เกี่ยวข้องกับวัสดุคอนกรีต

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

น้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก, คอนกรีตโครงสร้าง

1.6 ประโยชน์ของการวิจัย

1.6.1 ปัจจัยที่เหมาะสมในการบ่มคอนกรีตโครงสร้างเพื่อเพิ่มกำลังอัดแบบแรงด่วน โดยการใช้คุณสมบัติของน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก

1.6.2 คอนกรีตโครงสร้างที่มีประสิทธิภาพการรับกำลังอัดสูงขึ้น และลดระยะเวลาในการบ่มเพื่อลดต้นทุนในงานบริหารจัดการด้านงานคอนกรีต

1.7 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.7.1 ขอบเขตพื้นที่ในการวิจัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

1.7.2 ขอบเขตด้านเนื้อหา

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มุ่งศึกษาเกี่ยวกับ ปัจจัยที่เหมาะสมในการบ่มคอนกรีตโครงสร้างเพื่อเพิ่มกำลังอัดแบบแรงด่วน โดยการใช้คุณสมบัติของน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก ซึ่งแบ่งการศึกษาเป็นลำดับดังนี้

ระยะที่ 1 ศึกษาข้อมูล วิธีการ อิทธิพลของการบ่มคอนกรีตต่อการพัฒนากำลังอัด เทคนิควิธีสมัยใหม่ คุณสมบัติเชิงวิศวกรรมของน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระยะที่ 2 พัฒนาอุปกรณ์การสร้างพลังงานสนามแม่เหล็กแบบปรับค่าความเข้มสนามแม่เหล็กได้ เพื่อใช้สำหรับศึกษาการเร่งปฏิกิริยาทางเคมีในการเพิ่มกำลังอัดของการบ่มคอนกรีต

ระยะที่ 3 ทดสอบคุณสมบัติเชิงวิศวกรรมของคอนกรีตโครงสร้างที่ได้จากการบ่ม โดยใช้คุณสมบัติของน้ำพลังงานสนามแม่เหล็กที่ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กค่าต่าง ๆ

ระยะที่ 4 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ เพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมในการบ่ม
คอนกรีตโครงสร้างเพื่อเพิ่มกำลังอัดแบบเร่งด่วนโดยการใช้ น้ำปล้งงานสนามแม่เหล็ก

ระยะที่ 5 รวบรวม สรุปองค์ความรู้ และเผยแพร่องค์ความรู้ที่ได้จากโครงการวิจัย

1.7.3 ขอบเขตด้านประชากร

หน่วยงานภาครัฐและเอกชนที่เกี่ยวข้องในงานก่อสร้าง/วิศวกรรมโยธา

1.7.4 ขอบเขตด้านระยะเวลา

การวิจัยครั้งนี้ใช้ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย 12 เดือน

บทที่ 2

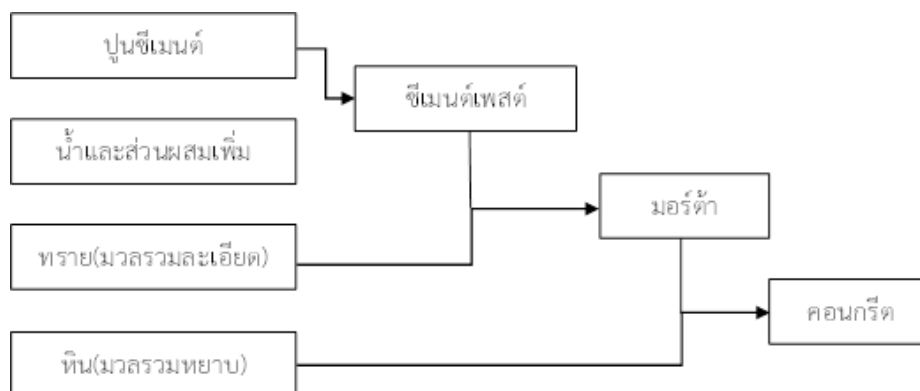
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการ และทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการบ่มคอนกรีตโครงสร้างเพื่อเพิ่มกำลังอัดแบบเร่งด่วน โดยการใช้ไฟฟ้าพลังงานสนามแม่เหล็ก โดยประกอบไปด้วย ข้อมูลด้านงานคอนกรีต การทดสอบกำลังอัด ประเภทของแม่เหล็กชนิดต่าง ๆ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 คอนกรีต

คอนกรีต เป็นวัสดุผสม (Composite Material) ที่เปรียบเสมือนหินที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้นมาเพื่อใช้เป็นชิ้นส่วนของโครงสร้าง ส่วนผสมหลักของคอนกรีตจะประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย หินหรือกรวดและน้ำ ในบางกรณีอาจมีการใส่สารผสมอื่น (Admixture) เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติบางส่วนของคอนกรีตให้มีความเหมาะสมกับลักษณะของงาน เมื่อนำส่วนผสมต่าง ๆ ตามที่กล่าวข้างต้น มาผสมรวมกันก็จะมีชื่อเฉพาะของการเปลี่ยนแปลงสภาพของส่วนผสมซึ่งสามารถเขียนเป็นแผนภาพได้ ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 การเรียกชื่อองค์ประกอบต่าง ๆ ของคอนกรีต

คอนกรีตประกอบด้วยปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และน้ำยาผสมเพิ่มเมื่อนำส่วนผสมมารวมกัน จะมีชื่อเรียกเฉพาะดังนี้ ปูนซีเมนต์ผสมน้ำ เรียกว่า ซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste) ซีเมนต์เพสต์ผสมกับทรายเรียกว่า มอร์ต้า(Mortar) มอร์ต้าผสมกับหิน กรวดย่อย เรียกว่า คอนกรีต (Concrete) ภายหลังจากการผสมกันระหว่างส่วนผสมหลักดังกล่าวแล้วคอนกรีตจะเริ่มทำ ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) และถ้าได้รับการบ่มอย่างต่อเนื่องจะทำให้คอนกรีตมีการพัฒนากำลังดีขึ้นเรื่อย ๆ ตามอายุ อย่างไรก็ตามความแข็งแรงและความทนทานของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของส่วนผสมที่ใช้ วิธีการผสมคอนกรีตการหล่อและการบ่มคอนกรีต

2.1.2 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากการบดปูนซีเมนต์เม็ดซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมีที่มีความสำคัญคือแคลเซียมและอลูมิเนียมซิลิเกตปูนซีเมนต์ที่กล่าวถึงนี้คือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic Cement) เมื่อผสมกับน้ำตามอัตราส่วนแล้วสามารถก่อตัวและแข็งตัวได้เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ การทำปฏิกิริยาดังกล่าวเรียกว่าปฏิกิริยาไฮเดรชัน ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญที่สุดในการก่อสร้างปัจจุบัน โดยเมื่อผสมกับหิน ทราย และน้ำตามอัตราส่วนที่เหมาะสมจะได้คอนกรีตซึ่งเมื่อแข็งตัวแล้วจะทนทานคล้ายหินตัวอย่างสิ่งก่อสร้างคอนกรีตได้แก่ รากฐาน ตอม่อ เขื่อน กำแพง กันดิน พื้น เมื่อเสริมด้วยเหล็กเสริมจะเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก สำหรับ เสา คาน พื้น และอื่น ๆ หรือเมื่อผสมกับทรายและปูนขาวจะเป็นปูนฉาบสำหรับการก่ออิฐ เป็นต้น

2.1.2.1 สารประกอบในปูนซีเมนต์

(ก) สารประกอบหลักเมื่อวัตถุดิบถูกเผาแคลเซียมออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับออกไซด์ของอลูมินาเหล็กและซิลิกาได้ปูนเม็ดที่มีสารประกอบที่สำคัญและสารประกอบหลัก 4 ชนิด ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สารประกอบหลักในปูนซีเมนต์

ชื่อสารประกอบ	สูตรเคมี	สูตรย่อ
Tricalcium Silicate	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
Dicalcium Silicate	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
Tricalcium Aluminate	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Tetra calcium Aluminoferrite	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

(ข) สารประกอบส่วนรองที่เหลือนั้นซึ่งจะมีค่าอยู่ประมาณ 10% ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ คือ Phosphorous Pentoxide (P_2O_5) Alkali Oxides ($Na_2O + K_2O$) Sulphur Trioxides (SO_3) และปูนขาวอิสระ (Free lime - CaO) นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบย่อยอีก 2 ส่วนคือส่วนที่เกิดจากการสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้และกากที่ไม่ละลายในกรดและด่างและมีอิพิซิม ($CaSO_4 \cdot H_2O$) ซึ่งใส่ลงไปในขณะที่บดปูนเม็ดใส่ไปประมาณ 3% เพื่อป้องกันการก่อตัวแบบฉับพลันหรือก่อตัวแบบรวดเร็ว (Flash Set) ของปูนซีเมนต์สารประกอบหลักที่สีทำให้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีคุณสมบัติต่างกันถ้าต้องการให้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีคุณสมบัติเน้นไปทางใดก็ปรับปรุงส่วนผสมโดยใช้คุณสมบัติของสารประกอบหลักตัวที่มีผลต่อคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในทางด้านที่ต้องการให้มาก ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของสารประกอบหลักต่อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

คุณสมบัติ	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
อัตราเร็วของปฏิกิริยา	ปานกลาง (ชม.)	ช้า (วัน)	เร็วมาก (ทันทีทันใด)	เร็ว (นาทิต)
ความร้อนที่เกิด ต่อหน่วยของ สารประกอบ	ปานกลาง (500J/g)	น้อย (250J/g)	มาก (850J/g)	ปานกลาง (420J/g)
ค่าการยึดตัวต่อหน่วยของ สารประกอบ				
ช่วงแรก	ดี	ไม่ดี	ดี	ไม่ดี
ช่วงสุดท้าย	ดี	ดี	ไม่ดี	ไม่ดี
กำลังอัดประลัย	สูง	ปานกลาง	ต่ำ	ต่ำ

2.1.2.2 คุณสมบัติของสารประกอบหลักในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ Tricalcium Silicate

เมื่อมีการเติมน้ำให้กับ Tricalcium Silicate จะมีปฏิกิริยาคอนข้างรวดเร็วและต้องการรวมตัวกับน้ำ ปฏิกิริยาประมาณมีดังนี้



CaO หนึ่งโมเลกุลถูกแยกออก ผลที่ได้มีแคลเซียมไฮดรอกไซด์ผลึกและแคลเซียมซิลิเกตต่างสัณฐานที่มีน้ำรวมอยู่ด้วยซึ่งมีสูตร $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{Ca}(\text{OH})_2$ สารประกอบนี้มีลักษณะเป็นเจล การมีสารนี้เกิดขึ้นทำให้ปูนซีเมนต์มีความแข็งแรงโดยเร็ว

- Tricalcium Silicate มีค่าความเป็นซีเมนต์ที่ดี
- Dicalcium Silicate ซึ่งจะรวมตัวกับน้ำอย่างช้า ๆ เป็นสารประกอบ $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

2.1.2.3 ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

- ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ธรรมดา (Normal Portland Cement) เหมาะสำหรับใช้งานในคอนกรีตทั่ว ๆ ไปที่ไม่อยู่ในสภาวะอากาศที่รุนแรงหรือในที่ที่มีอันตรายจากซัลเฟตเป็นพิเศษ หรือความร้อนที่เกิดจากการรวมตัวกับน้ำจะไม่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงขั้นอันตรายที่คอนกรีตจะแตกร้าวเสียหาย ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราช้าง ตราพญานาคสีเขียว และตราเพชรเม็ดเดียว เป็นต้น

- ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) เหมาะสำหรับใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลางเช่น งานสร้างเขื่อนคอนกรีต หล่อท่อคอนกรีตขนาดใหญ่ ตอม่อสะพาน เป็นต้น ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ให้กำลังรับแรงต่ำกว่าปูนซีเมนต์ประเภทหนึ่ง ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราพญานาคเจ็ดเศียร เป็นต้น

- ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ความแข็งแรงสูงโดยเร็ว (High-Early Strength Portland Cement) เป็นซีเมนต์ที่ให้กำลังรับแรงสูงในระยะแรกเร็วกว่าปูนซีเมนต์ประเภทหนึ่งมีเนื้อเป็นผงละเอียดกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดาผลิตโดยการเปลี่ยนสัดส่วน (เพิ่ม C_3S และลด C_2S หรือโดยการเติมสารอื่น) และทำการให้บดละเอียดยิ่งขึ้นปูนซีเมนต์ประเภทนี้เหมาะสำหรับงานคอนกรีตที่ต้องการจะใช้งานเร็วหรือต้องการถอดไม้แบบได้เร็ว เช่น ผลิตภัณฑ์คอนกรีตหล่อสำเร็จต่าง ๆ งานซ่อมถนนคอนกรีต เป็นต้น

- ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ความร้อนต่ำ (Low-Heat Portland Cement) ความประสงค์ของงานคอนกรีตประเภทนี้ก็คือลดปริมาณความร้อนที่เกิดจากการรวมตัวของปูนซีเมนต์กับน้ำระหว่างการแข็งตัวอัตราการเกิดกำลังของคอนกรีตเป็นไปอย่างช้า ๆ ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ใช้มากในการก่อสร้าง คอนกรีตเหล่านี้เหมาะสำหรับงานคอนกรีตที่มีปริมาณมากอย่าง เช่น งานเขื่อนขนาดใหญ่ซึ่งจะมีความร้อนเกิดขึ้นอย่างมากจึงต้องใช้ปูนซีเมนต์ที่เกิดความร้อนต่ำในการใช้งาน

- ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ต้านทานซัลเฟต (Sulfate-Resistant Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ชนิดที่ต้านทานซัลเฟตได้สูงกว่าปูนซีเมนต์ประเภทอื่น ๆ มี (C_3A ต่ำสุด) เหมาะสำหรับโครงสร้างที่มีการกระทำของซัลเฟตรุนแรง เช่น งานคอนกรีตของโครงสร้างที่อยู่ในน้ำทะเล หรือใน

บริเวณสภาพดินที่มีด่าง (Alkaline) สูง ปูนซีเมนต์ประเภทนี้มีระยะเวลาการแข็งตัวช้ากว่าประเภทหนึ่ง ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราช้างฟ้า ตราปลาฉลาม เป็นต้น

2.1.2.4 คุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ความละเอียด (Fineness) ระหว่างที่ ปฏิกิริยาเกิดขึ้น โดยเริ่มจากภายนอกของปูนซีเมนต์ผิวทั้งหมดของปูนซีเมนต์จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันพร้อมกัน ดังนั้นการเกิดไฮเดรชันจึงขึ้นอยู่กับความละเอียดของปูนซีเมนต์และกำลังรับแรงจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อผงปูนซีเมนต์มีความละเอียดมาก ๆ ความละเอียดเป็นคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญยิ่งของปูนซีเมนต์ทั้งมาตรฐาน ASTM และมาตรฐานอังกฤษได้กำหนดมาตรฐานความละเอียดไว้เป็นพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific Surface ; m^2/kg) สามารถวัดค่าได้โดยการวัดการกระจายขนาดเม็ดของผงปูนซีเมนต์จากการตกตะกอนในน้ำมันหรือการฟุ้งกระจาย

2.1.3 มวลรวม

มวลรวมหรือวัสดุผสม (Aggregate) มวลรวมสามารถแบ่งออกได้ตามแหล่งกำเนิดได้ 2 กลุ่มใหญ่ คือ มวลรวมที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (Natural Mineral Aggregate) ซึ่งเกิดจากการกัดกร่อน การทับถมการขัดสีและตกตะกอนตามธรรมชาติและมวลรวมที่มนุษย์สร้างขึ้น (Artificial Aggregate) ถ้าหากจำแนกตามหน่วยน้ำหนักของวัสดุสามารถที่จะจำแนกได้อีก 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่หนึ่ง คือมวลรวมเบา (Light Weight Aggregate) ซึ่งมีความหนาแน่นตั้งแต่ 300-1100 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร(kg/m^3) กลุ่มที่สอง คือมวลรวมปกติ (Normal Weight Aggregate) ซึ่งมีความหนาแน่นตั้งแต่ 2400-3000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร(kg/m^3) และกลุ่มที่สามคือ มวลรวมหนัก (Heavy Weight Aggregate) ซึ่งมีความหนาแน่นตั้งแต่ 4000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร(kg/m^3) ขึ้นไป นอกจากนี้ยังสามารถที่จะจำแนกมวลรวมได้ตามขนาด จะสามารถแบ่งมวลรวมออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

2.1.3.1 มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) คือมวลรวมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 4.5 มิลลิเมตร (mm) หรือสามารถผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 และค้างตะแกรงเบอร์ 200 มวลรวมละเอียดในงานคอนกรีต คือ ทรายที่สามารถผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) ในงานคอนกรีตนิยมใช้ทรายเป็นมวลรวมละเอียดเพื่อให้แทรกตัวเข้าไประหว่างโครงสร้างซึ่งหินไม่สามารถที่จะเข้าไปได้โดยการเคลือบและยึดประสานด้วยซีเมนต์ ในการผสมคอนกรีตนิยมใช้เพราะทรายหาง่ายและในแต่ละท้องถิ่นจะมีทรายที่ได้จากแหล่งผลิตในท้องถิ่นนั้น ๆ เช่น แถบบริเวณอีสานตอนบนจะมีแหล่งทราย คือ ทรายจากแม่น้ำโขง ทรายน้ำพอง เป็นต้นทรายแต่ละท้องถิ่นจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป ส่วนใหญ่ทรายที่นำมาเป็นส่วนผสมคอนกรีตนั้นสามารถที่จะแบ่งตามแหล่งกำเนิดได้ 2 แหล่ง คือ ทรายแม่น้ำและทรายบก

- ทรายแม่น้ำ (River Sand) เป็นทรายที่เกิดจากการกัดกร่อนเสียดสีและพัดพามาตามกระแสน้ำและการตกตะกอนใต้ท้องน้ำโดยที่ทรายที่มีขนาดเม็ดใหญ่จะตกตะกอนบริเวณต้นน้ำและทรายที่มีขนาดเล็กกว่าจะถูกพัดพาและตกตะกอนลงด้วยเหตุนี้ทรายที่ได้จากแม่น้ำจะมีความสะอาดพอสมควรแต่ข้อเสียคือเนื่องจากการขัดสีอาจทำให้ทรายมีลักษณะกลมเกลี้ยงยัดเหนียวไม่ดีมากนักการที่จะนำทรายขึ้นมาใช้นั้นจะต้องใช้เรือดูดทรายดูดทรายขึ้นมา

- ทรายบก (Bank Sand) เกิดจากการตกตะกอนทับถมกันของลำน้ำที่แปรเปลี่ยนสภาพมาเป็นพื้นดินโดยมีซากพืชซากสัตว์ทับถมกันอยู่มีความหนาประมาณ 2-10 เมตร ซึ่งเราเรียกว่าหน้าดินก่อนที่เราจะนำทรายมาใช้จะต้องเปิดหน้าดินจนถึงระดับน้ำใต้ดินจนเป็นแอ่งใหญ่โดยชั้นแรกๆ จะนำมาใช้ถมที่ที่เรียกว่าทรายถมแล้วนำเรือดูดทรายขึ้นมาใช้ข้อดีของทรายบก คือ ทรายจะมีแฉะมีเหลี่ยมคมดียัดเกาะกันดีและทำให้ช่องว่างในคอนกรีตลดน้อยลงส่วนข้อเสียของทรายบก คือ ทรายบกจะมีอินทรีย์สารปนอยู่มากทำให้มีผลต่อคอนกรีต

ทรายที่นิยมใช้ในการก่อสร้างมี 4 ชนิด คือ

1) ทรายหยาบ เป็นทรายเม็ดใหญ่ มีเหลี่ยมแฉะดีและมีความแข็งแรงดีมากเหมาะสำหรับการใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตที่ต้องการกำลังสูง เช่น โครงสร้างของอาคารที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็กงานหล่อฐานราก เทพื้นคอนกรีตเป็นต้น ทรายชนิดนี้มักปนด้วยเศษหินเล็ก ๆ เวลานำทรายมาใช้งานจำเป็นจะต้องทำการร่อนผ่านลวด $\frac{1}{2}$ ตาข่ายจะซ้อนกัน 2 ชั้น สลับช่องกันระหว่าง 2 ตาข่าย การร่อนแบบนี้ เรียกว่า “การสาดทราย”

2) ทรายกลาง เป็นทรายที่มีขนาดปานกลางไม่หยาบและไม่ละเอียดมากเกินไปเป็นทรายที่มีขนาดความเหมาะสมในงานปูนทั่วไปเช่น ใช้เป็นส่วนผสมในงานปูนก่อต่าง ๆ หรือใช้ในงานเทพื้นที่ไม่รับกำลังมากนัก เช่น ทางเท้าหรือพื้นบ้านเป็นต้นการนำทรายชนิดนี้มาใช้ควรรนมาร่อนผ่านตะแกรงลวดตาข่ายขนาดเล็กก่อนเพราะจะมีใบไม้หรือเศษหญ้าปะปนมากับทรายด้วย

3) ทรายละเอียด เป็นทรายที่มีขนาดเล็กมาก ส่วนใหญ่นำมาใช้สำหรับงานที่ไม่ต้องรับกำลัง เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในงานฉาบ เช่น ฉาบผิวหน้าของกำแพงก่ออิฐ เพราะทรายมีขนาดเล็กจะทำให้ผิวที่ฉาบเรียบใช้ในงานตกแต่งชั้นงานฝีมือพื้นผิว เช่น ทำบัว และลวดลายต่าง ๆ ในการนำทรายมาใช้นั้นจะต้องร่อนผ่านตะแกรงที่มีความละเอียดมากเพื่อเอาเศษใบไม้ต่าง ๆ ออกก่อนจะนำไปใช้งาน

4) ทรายซีเมนต์ เป็นทรายที่มีความหยาบมาก และมีสิ่งปะปนและสกปรกมาก เช่น ฝุ่น และอินทรีย์สาร ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในงานคอนกรีตทรายชนิดนี้นิยมนำมาใช้ถมที่เพราะมีราคาถูก

2.1.3.2 มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) คือมวลรวมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.5 mm ขึ้นไปหรือค้ำบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 เช่น หินหรือกรวด มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) มวลรวมหยาบที่ใช้ในการผสมคอนกรีตโดยทั่วไปจะใช้หินและกรวดที่มีขนาดตั้งแต่ 4.5 mm ขึ้นไป ในประเทศไทยนิยมใช้หินปูนในการก่อสร้างเป็นส่วนใหญ่เนื่องจากประเทศไทยมีภูเขา หินปูนอยู่เป็นจำนวนมากกรรมวิธีการผลิตหินต้องสำรวจหาแหล่งหินที่มีคุณสมบัติตามมาตรฐานแล้วทำการเปิดหน้าดินเหมือนโดยการระเบิดตามแนวตั้งหรือตามแนวราบแล้วนำไปโม่ให้ได้ขนาดที่ต้องการก่อนที่จะนำไปใช้งานต่อไป คุณสมบัติของมวลรวมมีดังนี้

- ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) การถ่วงจำเพาะของมวลรวม คือ อัตราส่วน ความหนาแน่นของมวลรวมต่อความหนาแน่นของน้ำแต่เนื่องจากมวลรวมมีช่องว่างที่น้ำเข้าไปได้ (Permeable Pores) และช่องว่างที่น้ำเข้าไปไม่ได้ (Impermeable Pores) เพราะฉะนั้นความ ถ่วงจำเพาะจึงมีความหลากหลาย ASTM C 27-28 ได้จำแนกการถ่วงจำเพาะได้เป็น 3 ลักษณะ คือ ความถ่วงจำเพาะสมบูรณ์ (Absolute Specific Gravity) ความจำเพาะปรากฏ (Apparent Specific Gravity) และความถ่วงจำเพาะรวม (Bulk Specific Gravity) สำหรับปริมาตรของมวลรวม ที่นำมาคิดหาความถ่วงจำเพาะสมบูรณ์นั้นเป็นปริมาตรเนื้อแท้จึงต้องบดมวลรวมถ้าหากคิดปริมาตร เนื้อมวลรวมและช่องว่างที่น้ำเข้าไปไม่ได้ความถ่วงจำเพาะนี้จะเรียกว่าความถ่วงจำเพาะปรากฏ และ ถ้าคิดเอาปริมาตรของเนื้อมวลรวมและช่องว่างทั้งหมดจะเรียกว่าความถ่วงจำเพาะรวม ความ ถ่วงจำเพาะส่วนมากนั้นจะใช้กันมากอยู่ 2 ค่า คือ เมื่อมวลรวมถูกอบแห้ง (Over Dry) และมวลรวม ต้องอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry, SSD) ในการคำนวณ ส่วนผสมของคอนกรีต จะใช้น้ำหนักของมวลรวมที่อิ่มตัวผิวแห้งในรายละเอียดของการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของมวล รวมนั้นมีในมาตรฐาน ASTM C 127 และ ASTM C 128 การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของมวล รวมที่พบในประเทศไทยจะอยู่ระหว่าง 2.6 – 2.7

- ขนาดคละ (Gradation) คือ การกระจายตัวของขนาดอนุภาคต่าง ๆ นับเป็น คุณสมบัติสำคัญสำหรับการกำหนดปริมาณของเนื้อซีเมนต์เฟสท์ที่ต้องการในทางปฏิบัติมวลรวมถูก แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบโดยที่ขนาดของมวลรวมหยาบนั้นจะ ค้ำบนตะแกรงมาตรฐาน เบอร์ 4 และมวลรวมละเอียดจะมีขนาดเล็กกว่าขนาดของตะแกรงขนาด มาตรฐาน เบอร์ 4 หรือผ่านตะแกรงมาตรฐาน เบอร์ 4 นั้นเองในการทดสอบหาขนาดคละของมวล รวมละเอียดนั้นด้วยตะแกรงมาตรฐานตามมาตรฐาน ASTM C 136-84 โดยจะนำมวลรวมละเอียดมา

ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน เบอร์ 4,8,16, 30, 50, 100, และ 200 โดยรายละเอียดการวิเคราะห์อยู่ใน ASTM Z 136-84 ขนาดของตะแกรงมาตรฐานขนาดต่าง ๆ ที่ใช้วิเคราะห์ขนาดของมวลรวม ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงขนาดตะแกรงที่ใช้วิเคราะห์ขนาดของมวลรวม

ตะแกรง		ขนาด	
มาตรฐานอเมริกา	มาตรฐานอังกฤษ	(mm)	(in)
3 นิ้ว	3 นิ้ว	75	3
1/2 นิ้ว	1/2 นิ้ว	37.5	1.5
3/4 นิ้ว	3/4 นิ้ว	19	0.750
3/8 นิ้ว	3/8 นิ้ว	9.50	0.375
เบอร์ 4	3/16 นิ้ว	4.75	0.187
เบอร์ 8	เบอร์ 7	2.36	0.0937
เบอร์ 16	เบอร์ 14	1.18	0.0469
เบอร์ 30	เบอร์ 25	0.600	0.0234
เบอร์ 50	เบอร์ 52	0.300	0.0177
เบอร์ 100	เบอร์ 100	0.150	0.0059
เบอร์ 200	เบอร์ 200	0.075	0.0029

- โมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus) โมดูลัสความละเอียดเป็นตัวบ่งชี้ขนาดโดยประมาณของมวลรวมที่มีความละเอียดจะมีค่าโมดูลัสความละเอียด (F.M.) ส่วนมวลรวมหยาบนั้นจะมีค่าโมดูลัสความละเอียดสูง โดยที่ค่าโมดูลัสความละเอียดนั้นสามารถหาได้จากผลรวมของร้อยละสะสมของอนุภาคที่ค้ำบนตะแกรงมาตรฐานหาร 100

- ปริมาณความชื้นและการดูดซึม (Moisture and Absorption) เมื่อมวลรวมมีรูพรุนที่เชื่อมต่อกับผิวนอกแล้วมวลรวมจะสามารถดูดความชื้นจากภายนอกเข้าไปได้และยังมีส่วนหนึ่งที่เกาะที่ผิวของมวลรวม ดังนั้นมวลรวมที่อยู่ในสภาพความชื้นที่แตกต่างกันออกไปสภาพความชื้นนั้นมีผลต่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีตถ้ามวลรวมเปียกขึ้นก็จะทำให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้นกว่าความเป็นจริงถ้าหากมวลรวมแห้งมวลรวมก็จะดูดน้ำเข้าไปก็จะทำให้ปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ลดลงกว่าความเป็นจริง

- ความต้านทานแรงกระแทกและการเสียดสี ความสามารถในการต้านทานต่อแรงกระแทกและการเสียดสีของมวลนั้นเป็นตัวบ่งบอกถึงคุณภาพของมวลรวมคุณสมบัติที่สำคัญมากสำหรับมวลรวมที่นิยมใช้กันมากวิธีหนึ่ง คือการทดสอบความทนทานและการขัดสี เช่น งานผิวนนพื้นโรงงาน พื้นสนามบิน เป็นต้น การทดสอบความทนทานต่อการขัดสื่อนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีแต่วิธีที่นิยมใช้กันมากวิธีหนึ่ง คือการทดสอบความทนทานการขัดสีด้วยเครื่อง ลอสแอนเจลลิส (Los-Angeles Machine) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ทั้งการกระแทกและการขัดสื่อนี้เป็นการวัดความต้านทานต่อแรงกระแทกและการขัดสี

- หน่วยน้ำหนักและช่องว่าง (Unit Weight and Void) หน่วยน้ำหนัก คือ น้ำหนักของมวลรวมในขนาดผลที่ต่อการต่อน้ำหนักปริมาตร หน่วยน้ำหนักจะบอกถึงปริมาตรและช่องว่างของมวลรวม ที่มวลรวมน้ำหนักหนึ่งๆ จะบรรจุลงได้ดังนั้นหน่วยน้ำหนักจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของการบดอัดและสภาพความชื้น ดังนั้นการทดสอบหาหน่วยน้ำหนักต้องระบุวิธีการบรรจุว่าอยู่ในสภาพหลวมหรือแน่น

- ความคงตัว (Soundness) การไม่คงตัวของมวลรวมทำให้คอนกรีตเสื่อมสภาพซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (Volume Change) สืบเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมมาเกิดจากการแข็งตัวและละลายสลับกันไปของน้ำในมวลรวมหรือเกิดจากการเปียกและแห้งสลับกันโดยทั่วไปปัญหาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรมีน้อยมากจึงขึ้นอยู่กับความแข็งตัวและละลายของน้ำในมวลรวมเป็นส่วนใหญ่

2.1.4 น้ำสำหรับผสมคอนกรีต

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตคอนกรีต เพราะนอกจากจะมีผลกระทบต่อความสามารถเทได้ของคอนกรีตสดและต่อการรับแรงตลอดจนความทนทานของคอนกรีต เมื่อแข็งตัวแล้วน้ำอาจมีผลกระทบต่อสีผิวของคอนกรีตและเหล็กเสริมในคอนกรีต หากแบ่งประเภทของน้ำตามสภาพการใช้งานจะได้แก่ น้ำสำหรับผสมคอนกรีตเพื่อให้เกิดความชื้นเลวทำงานง่าย น้ำสำหรับบ่มคอนกรีตให้แข็งตัวและมีกำลังรับแรงได้ตามความต้องการและน้ำสำหรับล้างวัสดุผสมให้สะอาดก่อนใช้ผสมทำคอนกรีต

2.1.4.1 น้ำสำหรับผสมคอนกรีต (mixing water) น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตต้องสะอาดมีความขุ่นไม่เกิน 2000ppm ปราศจาก กรด ต่าง น้ำมัน และสารอินทรีย์อื่น ๆ ในปริมาณที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีตหรือเหล็กเสริม โดยปกติจะใช้น้ำประปาและน้ำจืดตามธรรมชาติส่วนใหญ่ซึ่งไม่มีส่วนผสมของน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือนหรือจากโรงงานอุตสาหกรรมถือว่ามีความสะอาดพอสำหรับงานคอนกรีต

ในกรณีที่สงสัยให้ทำแท่งทดสอบโดยใช้น้ำที่สงสัยและเปรียบเทียบกับกำลังอัด (ที่อายุ 7 และ 28 วัน) ของก้อนลูกบาศก์มอร์ต้าที่ทำจากน้ำที่มีคุณภาพ (อาจใช้น้ำกลั่น) หากแท่งทดสอบที่ใช้น้ำที่สงสัยผสมให้กำลังอย่างน้อย 90% ก็ถือว่าน้ำนั้นมีคุณภาพดีพอ

2.1.4.2 น้ำที่หลักของน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต

- ทำหน้าที่เข้าผสมกับปูนซีเมนต์และทำปฏิกิริยาทางเคมีแล้วเกิดความร้อนที่ เรียกว่า (Heat Hydration) ทำให้ซีเมนต์นั้นกลายเป็นวุ้นและเป็นซีเมนต์เหนียวซึ่งเป็นตัวประสานผิวระหว่างเม็ดของวัสดุผสมเกาะยึดกันแน่นเมื่อแข็งตัว

- ทำหน้าที่เคลือบหินและทรายให้เปียกเพื่อให้ปูนซีเมนต์เข้าเกาะโดยรอบและแข็งตัวยึดติดกันแน่น

- ทำหน้าที่หล่อลื่นให้วัสดุทั้ง 3 อย่างนี้เกิดความเหลว สามารถเทและกระทุ้ง หรือเขย่าเข้าแบบหล่อให้เป็นรูปต่าง ๆ ได้

2.1.5 นํ้ายา Superplasticizer

นํ้ายาผสมคอนกรีตประเภทซูเปอร์พลาสติกไซเซอร์ (Superplasticizer) ที่มีคุณสมบัติหน่วง การก่อตัวของคอนกรีตจึงเหมาะสำหรับงานคอนกรีตผสมเสร็จที่ต้องการความเหลวสูงในสภาพอากาศร้อนและใช้เวลาในการเทานอกจากนี้ยังช่วยลดปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีตทำให้คอนกรีตมีค่ารับกำลังอัดสูงทั้งในช่วงต้นและปลายระยะ 1-2 วัน

2.1.5.1 หลีกเลี่ยงการผสมน้ำเพิ่มที่หน้างาน เพราะจะทำให้ส่วนผสมคอนกรีตเกิดการเปลี่ยนแปลงซึ่งส่งผลให้คอนกรีตเกิดการแยกตัวขณะเทคอนกรีตเกิดปัญหาคอนกรีตเป็นฝุ่นที่ ผิวหน้าเกิดปัญหาค่ากำลังอัดต่ำกว่าค่าการรับรอง

2.1.5.2 ในระหว่างการเทคอนกรีตควรมีการลำเลียงคอนกรีตอย่างเหมาะสม ไม่ปล่อยคอนกรีตจากที่สูงเพื่อป้องกันการแยกตัวของคอนกรีตรวมทั้งการทำคอนกรีตให้แน่นอย่างเหมาะสม เพื่อให้คอนกรีตเข้าแบบหล่อได้อย่างสมบูรณ์เป็นเนื้อเดียวกันไม่เกิดรูพรุนเมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้ว

2.1.5.3 หลังจากเทคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ควรมีการบ่มคอนกรีตที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการสูญเสียนํ้าของคอนกรีตส่งผลให้ลดปัญหาในเรื่องของการแตกร้าวของคอนกรีตเนื่องจากการหดตัว และทำให้การพัฒนา กำลังอัดคอนกรีตเกิดได้อย่างสมบูรณ์

2.1.6 Silica Fume

หรือ ไมโครซิลิกา (Microsilica) หรือซิลิกาฟุ่มควบแน่น (Condensed Silica Fume) เป็นวัสดุผสมเพิ่มชนิดหนึ่งซึ่งเป็นผลพลอยได้ของโรงงานผลิต Silicon Metal และ Ferrosilicon Alloy เป็นขบวนการ Reduction จาก Quartz ที่บริสุทธิ์ไปเป็น Silicon โดยวิธี Electric Arc ที่อุณหภูมิสูงถึง 2000 C ทำให้เกิดไอ (Fume) ของ SiO ซึ่งต่อมาจะออกซิไดซ์ (Oxidize) และกลั่นตัว (Condense) ที่อุณหภูมิต่ำ ๆ ได้เป็นอนุภาคขนาดเล็กมาก ๆ ของซิลิกาที่ไม่เป็นผลึก (Glassy

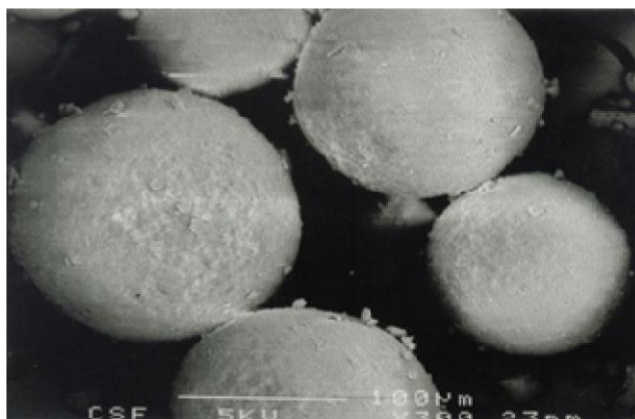
Phase) และถูกดักจับเพื่อ บรรจุใส่ถุงไว้ โดยทั่วไปซิลิกาฟูมจะมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 0.1 mm. และมีพื้นที่ผิวประมาณ 20 ถึง 25 m²/g ขนาดของซิลิกาฟูม เป็นขนาดที่เล็กมาก ๆ กล่าวคือมีขนาดเล็กกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ถึงกว่า 100 เท่า เนื่องจากอนุภาคของซิลิกาฟูมที่เล็กมาก ๆ จึงมีพื้นที่ผิวสูงมากและอยู่ในสภาพที่ไม่เป็นผลึกทำให้ซิลิกาฟูมเป็นสารที่เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้เร็วมาก ปัญหาของ ซิลิกาฟูมที่พบบ่อยเมื่อใช้ในคอนกรีต คือต้องเพิ่มปริมาณน้ำในส่วนผสมเพื่อให้ได้ความชื้นเหลวเท่าเดิม สาเหตุเนื่องจากขนาดอนุภาคที่เล็กมาก ๆ ของซิลิกาฟูมจึงมีการใช้น้ำที่ค่อนข้างสูงในการเคลือบผิวหน้า โรงงานของ Silicon Metal and Ferrosilicon Alloy จะมีผลพลอยได้ของซิลิกาฟูมที่ร้อยละ 75 หรือมากกว่าจะประกอบด้วยซิลิกอนกว่าร้อยละ 85 ถึง 95 ที่อยู่ในสภาพที่ไม่เป็นผลึก ซึ่งพร้อมจะทำปฏิกิริยาปอซโซลาน ส่วนในโรงงาน Ferrosilicon จะมีผลพลอยได้ของซิลิกอนประมาณร้อยละ 50 และ พบว่าซิลิกาที่มีอยู่จะน้อยและเป็นผลึกค่อนข้างมาก ซึ่งส่งผลให้การใช้ซิลิกาฟูมเหล่านี้ใน คอนกรีตไม่ดีขึ้นเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานต่ำ

2.1.6.1 องค์ประกอบทางเคมีของซิลิกาฟูมคือ SiO₂ ซึ่งควรจะอยู่ในสภาพที่ไม่เป็นผลึกเป็นส่วนใหญ่ คือพร้อมจะทำปฏิกิริยาปอซโซลาน ซิลิกาฟูมที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมักจะมี SiO₂ ที่สูงมากคือ มักจะมากกว่าร้อยละ 90 ขึ้นไป ส่วนที่เหลือจะเป็นองค์ประกอบของ Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, Na₂O, K₂O และออกไซด์อื่น ๆ ร้อยละ 1 หรือ 2 ซึ่งออกไซด์เหล่านี้ถือว่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับของ SiO₂ ซึ่งสูงกว่าร้อยละ 90 ขึ้นไปหากนำค่าออกไซด์ของซิลิกาฟูมมาเปรียบเทียบกับของปูนซีเมนต์และถ้าถ่านหินจะพบว่ามียังองค์ประกอบที่แตกต่างกันค่อนข้างมากดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของปูนซีเมนต์, ถ่านหิน, และซิลิกาฟูม

ออกไซด์	ปูนซีเมนต์ประเภท 1	ถ่านหิน	ซิลิกาฟูม
SiO ₂	20	48	92
Al ₂ O ₃	5	26	0.7
Fe ₂ O ₃	3	10	1.2
CaO	60	5	0.2
MgO	1.1	2	0.2
SO ₃	2.4	0.7	-
ออกไซด์อื่น ๆ	1.5	1.3	2.6
LOI (Loss on Ignition)	2	3	-

2.1.6.2 คุณสมบัติทางกายภาพของซิลิกาฟุ่มที่เห็นชัดเจน คือเป็นฝุ่นผงสีค่อนข้างดำหรือเทาหรือเทาอมขาวที่ละเอียดมากแต่ถ้าเป็นคอนกรีตซิลิกาฟุ่มจะมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ขึ้น เนื่องจากการรวมตัวของซิลิกาฟุ่มหลายๆเม็ดเข้าด้วยกัน ความถ่วงจำเพาะของซิลิกาฟุ่มมีค่าประมาณ 2.2 ความละเอียดทดสอบโดยมีค่าประมาณ 150,000 ซม²/กรัม ขณะที่ของปูนซีเมนต์มีค่าเพียง 3400 ซม²/กรัม ขนาดของอนุภาคเฉลี่ยเมื่อขยายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) พบว่ามีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 0.1mm. ขณะที่ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีค่าประมาณ 15 mm. เนื่องจากมีขนาดที่เล็กมากจึงมีปัญหาในการขนย้าย ดังนั้นจึงนิยมนำซิลิกาฟุ่มมาอัดรวมกันเพื่อให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเรียกว่าซิลิกาฟุ่มควบแน่นซึ่งแสดงดังภาพที่ 2.2 สำหรับคุณสมบัติทางกายภาพของ ซิลิกาฟุ่ม, แก้วถ่านหิน, และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ดังตารางที่ 2.5



ภาพที่ 2.2 ภาพถ่ายขยายด้วย SEM ของซิลิกาฟุ่มควบแน่น (ชัย, 2007)

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของซิลิกาฟุ่ม, แก้วถ่านหินและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

คุณสมบัติ	ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1	แก้วถ่านหิน	ซิลิกาฟุ่ม
ความละเอียด (ซม ² /กรัม)	3400	3800	150,000
ความถ่วงจำเพาะ	3.15	2.4	2.2
สี	เทา	เทาอ่อนจนถึงเทาเข้ม หรือสีน้ำตาล	เทาดำ,เทาอมขาว

2.1.6.3 การใช้ซิลิกาฟุ่มในคอนกรีตในประเทศไทย,อเมริกา และยุโรปจะใช้ซิลิกาฟุ่มในการผสมคอนกรีตโดยการผสม “แยก” กล่าวคือใส่ซิลิกาฟุ่มในการผสมคอนกรีตแต่ที่ประเทศแคนาดานอกจากการผสมแยกแล้วยังมีการใช้ซิลิกาฟุ่มเป็นส่วนหนึ่งของปูนซีเมนต์โดยมีซิลิกาฟุ่มเป็นส่วนผสมในปูนซีเมนต์ราวร้อยละ 8 เนื่องจากซิลิกาฟุ่มมีความละเอียดสูงมากจึงมีปัญหาในเรื่องการขนส่งหรือใช้งานมากพอสมควรเพราะหากไม่ระวังให้ดีอาจปลิวไปตามลมได้ง่าย ดังนั้นจึงมีการใช้ซิลิกาฟุ่มในภาพที่ผสมกับน้ำให้อยู่ในรูปของเหลวข้น (Slurry Form) อย่างไรก็ตามโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จหลายๆแห่งยังคงใช้ซิลิกาฟุ่มในรูปของผงหรือคอนเดนซิลิกาฟุ่มเช่นเดิม สำหรับอันตรายของการสูดซิลิกาฟุ่มเข้าไปทางลมหายใจยังไม่มีรายงานที่เด่นชัดนัก แต่วัสดุที่ละเอียดขนาดนี้ไม่ว่าจะเป็นอะไรก็ตามล้วนเป็นวัสดุหรือสิ่งแปลกปลอมของร่างกายทั้งสิ้น จึงควรหลีกเลี่ยงให้ได้รับเข้าสู่ร่างกายให้น้อยที่สุดเท่าที่จะน้อยได้ นอกจากนี้ U.S. Occupational Safety and Health Agency (OSHA) ได้ระบุไว้ว่าปริมาณฝุ่นในที่ซึ่งปฏิบัติงานไม่ควรสูงเกิน 15 mg/m³ ส่วน American Conference of Governmental Industrial Hygienists ให้ค่าที่ต่ำกว่าคือปริมาณของฝุ่นในที่ทำงานไม่ควรเกิน 10 มก/ม³ ซึ่งถ้าปริมาณของฝุ่นที่เกิดในที่ทำงานมีค่าเกินนี้จะต้องใช้หน้ากากกันฝุ่นสวมป้องกัน ในขณะที่งานการใช้คอนเดนซิลิกาฟุ่มแทนซิลิกาฟุ่มจะสามารถลดปัญหานี้ได้เพราะคอนเดนซิลิกาฟุ่มจะมีขนาดใหญ่กว่าปูนซีเมนต์และไม่ปลิวลมง่ายนัก

2.1.6.4 ผลกระทบของซิลิกาฟุ่มต่อความสามารถในการเทและการเย็นน้ำเนื่องจากซิลิกาฟุ่มมีความละเอียดสูงมาก ดังนั้นเมื่อใช้เป็นส่วนผสมในคอนกรีตทำให้ต้องใช้ปริมาณน้ำที่มากขึ้นซึ่งแนวทางแก้ไขในปัญหานี้คือการใช้สารลดน้ำหรือสารลดน้ำพิเศษเข้าช่วยเพื่อไม่ให้ปริมาณน้ำในส่วนผสมของคอนกรีตสูงจนเกินไปเพราะจะทำให้คอนกรีตมีกำลังต่ำลง ส่วนการเย็นน้ำในคอนกรีตที่มีซิลิกาฟุ่มพบว่ามีย่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ใช้ซิลิกาฟุ่ม

2.1.6.5 ผลกระทบต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้นในคอนกรีตพบว่าการใช้ซิลิกาฟุ่มแทนที่ปูนซีเมนต์ในคอนกรีตไม่ได้ลดอุณหภูมิของคอนกรีตให้ต่ำลง ดังนั้นการใช้ซิลิกาฟุ่มเพื่อวัตถุประสงค์ในการลดอุณหภูมิเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันจึงควรหลีกเลี่ยง

2.1.6.6 ซิลิกาฟุ่มนิยมใช้เป็นวัสดุหนึ่งในการผลิตคอนกรีตกำลังสูงมาก (120 MPa ที่อายุ 90 วัน) โดยการใช้ร่วมกับสารลดน้ำพิเศษซึ่งคอนกรีตที่ได้นอกจากจะมีกำลังอัดที่สูงมากแล้วยังมีการซึมผ่านที่ต่ำมากด้วยเพราะซิลิกาฟุ่มจะไปอุดพวกโครงสร้างของ Pore ของไฮเดรตซีเมนต์เพสต์ไว้การใช้ซิลิกาฟุ่มในปริมาณที่เหมาะสมแทนที่ปูนซีเมนต์ในคอนกรีตจะมีประสิทธิภาพเหมือนใช้ปูนซีเมนต์ถึง 3 หรือ 4 เท่า เช่นใช้ซิลิกาฟุ่ม 1 กก. แทนที่ปูนซีเมนต์ 3 หรือ 4 กก. ในคอนกรีตแต่ยังคงให้คอนกรีตที่มีกำลังที่อายุ 7 หรือ 28 วันเท่ากัน เพื่อให้เห็นภาพของการใช้ซิลิกาฟุ่มในคอนกรีต ยกตัวอย่างส่วนผสมคอนกรีตของ R.D. Hooton ที่ตีพิมพ์ใน ACI Material Journal No. 90, March-April 1993 ที่ใช้ซิลิกาฟุ่มแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 0, 10, 15 และ 20

ของวัสดุ ประสาน (ปูนซีเมนต์ + ซิลิกาฟูม) โดยมีผลการทดลองตามตารางที่ 2.6 ในการทดลองของ Hooton พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่มีซิลิกาฟูมเป็นส่วนผสมแทนที่ในปูนซีเมนต์มีค่าสูงกว่าคอนกรีตธรรมดาที่อายุ 28 วันค่อนข้างมาก กล่าวคือคอนกรีตธรรมดา (ไม่มีซิลิกาฟูม) มีค่ากำลังอัดที่อายุ 28 วันเท่ากับ 55.6 MPa แต่เมื่อใช้ซิลิกาฟูมร้อยละ 10 (ส่วนผสมที่ 2), ร้อย ละ 15 (ส่วนผสมที่ 3), และร้อยละ 20 (ส่วนผสมที่ 4) ทำให้กำลังอัดมีค่าเป็น 70.7 MPa, 75.2 MPa, และ 74.2 MPa ตามลำดับ คอนกรีตเหล่านี้เมื่อปล่อยให้มียุครบ 5 ปี กลับพบว่าคอนกรีตที่มีซิลิกาฟูมมาก ๆ (ร้อยละ 20) มีค่ากำลังอัดลดลง กล่าวคือมีค่ากำลังอัดเท่ากับ 70.3 MPa. ส่วนที่มีซิลิกาฟูมร้อยละ 10 และ 15 มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 79.6 MPa และ 68.6 MPa ตามลำดับ

ตารางที่ 2.6 อัตราส่วนผสมและกำลังอัดของคอนกรีตที่มีและไม่มีซิลิกาฟูมเป็นส่วนผสม

ส่วนผสมที่	อัตราส่วนผสม (kg/m ³)					สารลด น้ำ พิเศษ	ค่า ยุบตัว (mm)	กำลังอัด ที่ 28 วัน (MPa)	กำลังดึง ผ่าซีกที่ 28 วัน (MPa)
	ปูนซีเมนต์	ซิลิกาฟูม	ทราย	หิน	น้ำ				
1	401	0	729	1211	141	16.1	75	55.6	5.2
2	361	40	725	725	141	18.2	75	70.7	6.3
3	341	60	719	719	140	21.4	60	75.2	6.2
4	320	80	716	716	139	26.2	60	74.2	4.6

2.1.6.7 การต้านทานการกัดกร่อนเนื่องจากสารเคมี จากการวิจัยพบว่าการใช้ซิลิกาฟูมในคอนกรีตช่วยเพิ่มความทนทานต่อการกัดกร่อนของซัลเฟต, การแทรกซึมของคลอไรด์ รวมถึงการกัดกร่อนเนื่องจากน้ำเค็ม (น้ำทะเล) ด้วยเหตุที่การกัดกร่อนเนื่องจากสารเคมีข้างต้นลดลงอาจเนื่องมาจากการที่โครงสร้างของ Pore ในคอนกรีตที่มีซิลิกาฟูมมีขนาดเล็กกลั่นั่นเอง ปฏิริยาอัลคาไล-ซิลิกาพบว่าการใช้ซิลิกาฟูมจะทำให้การขยายตัวเนื่องจากปฏิกิริยาอัลคาไล-ซิลิกาในคอนกรีตลดลง Malhotra กล่าวว่าการใช้ซิลิกาฟูมในปริมาณร้อยละ 15 ช่วยลดการขยายตัวของปฏิกิริยาของอัลคาไล-ซิลิกาได้ดีเช่นเดียวกับการใช้เถ้าถ่านหินร้อยละ 30

2.1.7 การบ่มคอนกรีตและระยะเวลาการบ่ม

การบ่ม (Curing) คือ ชื่อเฉพาะของวิธีการที่ช่วยปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ซึ่งส่งผลให้การพัฒนา กำลังอัดคอนกรีตเป็นไปอย่างต่อเนื่องวิธีการทำได้โดยให้น้ำแก่คอนกรีตจากคอนกรีตที่แข็งแล้วหน้าที่สำคัญของการบ่มคอนกรีตมีด้วยกัน 2 ประการ คือ ป้องกันการสูญเสียความชื้นจากเนื้อคอนกรีตและรักษาระดับอุณหภูมิให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม

วัตถุประสงค์ที่สำคัญของการบ่มคอนกรีต คือ เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีกำลังและความ ทนทาน เพื่อป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีตโดยการรักษาระดับอุณหภูมิให้เหมาะสม และการลดการระเหยของน้ำให้น้อยที่สุด การบ่มคอนกรีตเป็นการควบคุมและป้องกันมิให้น้ำในคอนกรีตระเหยออกจากคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วเร็วเกินไป เนื่องจากน้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญที่สุดสำหรับปฏิกิริยาไฮเดรชัน ซึ่งจะส่งผลต่อกำลังของคอนกรีตโดยตรง ดังนั้น หลังจากที่ผิวหน้าคอนกรีตแข็งตัวแล้วจะต้องบ่มคอนกรีตให้มีความชื้นอยู่เสมอเป็นเวลาอย่างน้อย 7 วัน กำลังของคอนกรีตจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ トラบเท่าที่ยังมีความชื้นให้ปูนซีเมนต์ได้ทำปฏิกิริยากับน้ำ วิธีการบ่มคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับสภาพของงานคอนกรีตนั้น ๆ เป็นหลักลักษณะของการบ่มคอนกรีตสามารถแบ่งได้ 3 ลักษณะ คือการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีตการป้องกันการเสียน้ำของคอนกรีต และการเร่งกำลัง

2.1.7.1 การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต การบ่มลักษณะนี้จะเพิ่มความชื้นให้กับผิว คอนกรีตโดยตรงเพื่อทดแทนการระเหยของน้ำออกจากคอนกรีต การบ่มลักษณะนี้สามารถทำได้หลาย วิธี ดังต่อไปนี้

- การขังหรือหล่อน้ำ เป็นการทำการกันน้ำไม่ให้น้ำไหลออกมักจะใช้กับงานทางระดับ เช่น พื้น หรือถนน เป็นต้น วัสดุที่ใช้ทำทาบอาจจะเป็นดินเหนียวหรืออิฐก็ได้ ข้อควรระวังสำหรับวิธีนี้ คือ ต้องระวังอย่าให้ทาบกันน้ำพัง และอาจจะต้องทำความสะอาดผิวคอนกรีต ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ภาพถ่ายการขังหรือหล่อน้ำ

- การฉีบน้ำหรือรดน้ำ เป็นการฉีบน้ำให้ผิวคอนกรีตเปียกอยู่เสมอ วิธีนี้ใช้ได้กับงานคอนกรีตทั้งในแนวตั้ง แนวระดับ หรือแนวเอียง ข้อควรระวัง คือต้องฉีบน้ำให้ทั่วถึงทุกส่วนของ

คอนกรีต และแรงดันน้ำต้องไม่แรงเกินไปจนชะเอาผิวหน้าคอนกรีตที่ยังไม่แข็งตัวออก วิธีนี้ต้องสิ้นเปลืองน้ำมาก และต้องอาศัยน้ำที่มีแรงดันมากพอ ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ภาพถ่ายการฉีดน้ำหรือรดน้ำ

- การคลุมด้วยวัสดุเปือกขึ้น เป็นวิธีที่ใช้กันมาก เพราะสะดวก ประหยัด และสามารถใช้ได้กับงานทั้งแนวระดับ แนวตั้ง และแนวเอียง วัสดุที่ใช้คลุมอาจจะใช้ ผ้าใบ กระสอบ หรือวัสดุอื่นที่อมน้ำ ข้อควรระวัง คือวัสดุที่คลุมต้องเปียกชุ่มอยู่เสมอ การคลุมต้องคลุมให้วัสดุคลุมเหลื่อมกัน วัสดุที่ใช้คลุมต้องปราศจากสารที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีต หรือทำให้คอนกรีตต่างสำหรับการคลุมงานคอนกรีตในแนวตั้งต้องยึดวัสดุคลุมให้แน่นหนาไม่เลื่อนหล่นลงมาได้โดยเฉพาะเวลาที่รดน้ำซึ่งจะต้องทำเป็นประจำ ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ภาพถ่ายการคลุมด้วยวัสดุเปือกขึ้น

2.1.7.2 การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต วิธีการนี้ใช้การฉีกผิวของคอนกรีตเพื่อป้องกันมิให้ความชื้นจากคอนกรีตระเหยออกจากเนื้อคอนกรีตการบ่มลักษณะนี้สามารถกระทำได้หลายวิธี

- การบ่มในแบบหล่อ แบบหล่อไม้ที่เปียก และแบบหล่อเหล็ก สามารถป้องกันการสูญเสียน้ำได้ดี วิธีนี้จัดได้ว่าง่ายที่สุด เพียงแค่ทิ้งแบบหล่อให้อยู่กับคอนกรีตที่หล่อไว้ให้นานที่สุดเท่าที่จะทำได้และคอยดูแลให้ผิวด้านบนคอนกรีตมีน้ำอยู่ โดยน้ำนั้นสามารถไหลซึมลงมาระหว่างแบบหล่อกับคอนกรีตได้ ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ภาพถ่ายการบ่มในแบบหล่อไม้ที่เปียก

- การใช้กระดาษกันน้ำซึม เป็นการใช้กระดาษกันน้ำซึม ปิดทับผิวคอนกรีตให้สนิท เป็นเวลาอย่างน้อย 3 วัน วิธีนี้นักนิยมใช้กับงานคอนกรีตแนวระดับกระดาษกันน้ำซึมนี่เป็นกระดาษเหนียวสองชั้นยึดติดกันด้วยยางมะตอยและเสริมความเหนียวด้วยใยแก้วมีคุณสมบัติในการยึดหดตัวไม่มากนักเวลาที่เปียกและแห้งข้อควรระวังในการใช้กระดาษ คือบริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นจะต้องฉีกให้แน่นด้วยกาวหรือเทปและกระดาษต้องไม่มีรอยรอยฉีกขาดหรือชำรุด ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 ภาพถ่ายการใช้กระดาษกันน้ำซึม

- การใช้แผ่นผ้าพลาสติกคลุม วิธีการนี้จะเหมือนกับการใช้กระดาษกันน้ำแต่แผ่นผ้าพลาสติกจะเบากว่ามากจึงสะดวกในการใช้มากกว่าสามารถใช้กับงานโครงสร้างทุกชนิดข้อควรระวังก็เช่นเดียวกับกระดาษกันน้ำ คือ รอยต่อและการชำรุดฉีกขาดและเนื่องจากมีน้ำหนักเบาจึงต้องระวังเรื่องการผูกยึดป้องกันลมพัดปลิวด้วย ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 ภาพถ่ายการใช้แผ่นผ้าพลาสติกคลุม

- การใช้สารเคมีเคลือบผิวคอนกรีต เป็นการพ่นสารเคมีลงบนผิวคอนกรีตซึ่งสารเคมีที่พ่นนี้จะกลายเป็นเยื่อบาง ๆ คลุมผิวคอนกรีตป้องกันการระเหยออกของน้ำในคอนกรีตได้ การบ่มวิธีนี้ทั้งสะดวกและรวดเร็วแต่ค่าใช้จ่ายจะสูงจึงมักใช้กับงานที่บ่มด้วยวิธีอื่นได้ลำบาก การพ่นสารเคมีนี้ต้องกระทำในขณะที่ผิวคอนกรีตยังชื้นอยู่และต้องพ่นให้ทั่วถึงข้อที่ควรทราบ คือสารเคมีประเภทนี้จะทำให้การยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตเดิมกับคอนกรีตที่จะเทใหม่เสียไปจึงไม่ควรใช้กับงานคอนกรีตที่ต้องต่อเติมหรือฉาบปูนในภายหลังและหากใช้สารเคมีฉีดยาแล้วไม่ควรฉีดน้ำซ้ำเพราะน้ำจะไปชะล้างสารเคมีออกควรชี้แจงให้คนที่ทำงานทราบถึงประเด็นนี้ เพื่อจะได้ไม่ฉีดชะล้างสารเคมีออกโดยรู้เท่าไม่ถึงการณ์ ดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 ภาพถ่ายการใช้สารเคมีเคลือบผิวคอนกรีต

2.1.7.3 การบ่มด้วยการเร่งกำลัง เป็นการบ่มคอนกรีตด้วยไอน้ำ โดยให้ความชื้น และความร้อนกับคอนกรีตที่หล่อเสร็จใหม่ๆ วิธีนี้จะทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงขึ้นโดยรวดเร็วช่วยลดการหดตัวและเพิ่มความต้านทานต่อสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีต การบ่มคอนกรีตด้วยวิธีนี้สามารถทำได้สองวิธี คือการบ่มด้วยไอน้ำที่มีความดันต่ำและการบ่มด้วยไอน้ำที่มีความดันสูง การบ่มด้วยการเร่งกำลัง นิยมใช้กันในงานอุตสาหกรรมคอนกรีตสำเร็จรูป สำหรับงานโครงสร้างทั่ว ๆ ไปส่วนใหญ่จะกำหนดระยะเวลาในการบ่มไว้ตั้งแต่ 3 วัน ขึ้นไป จนถึง 2 สัปดาห์ ซึ่งกำหนดเวลาดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ ดังกล่าวมาแล้วข้างต้นโดยปกตินิยมนกำหนดระยะเวลาการบ่มไว้ประมาณ 7 วัน สำหรับปูนปอร์ตแลนด์ธรรมดา ระยะเวลาขั้นต่ำในการบ่มคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ที่ผลิตในประเทศไทย ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ระยะเวลาขั้นต่ำในการบ่มคอนกรีต

ประเภทของงาน	คอนกรีตที่ใช้		
	ปูนซีเมนต์ผสม	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 2
งานธรรมดา			
เสาคานและกำแพง	7 วัน	7 วัน	4 วัน
1. พื้นบ้านและพื้นถนนในบ้าน	8 วัน	8 วัน	4 วัน
2. ถนนชั้นหนึ่ง ลานจอดรถหรือทางวิ่งของเครื่องบิน	21 วัน	14 วัน	7 วัน
3. เสาเข็มที่นำไปตอกเป็นรากฐาน	21 วัน	14 วัน	7 วัน
งานพิเศษ			
1. แผ่นพื้นบาง ๆ	14 วัน	14 วัน	7 วัน
2. รูปหล่อที่เล็กบาง ซึ่งใช้ปูนซีเมนต์ผสม	-	21 วัน	7 วัน

การบ่มคอนกรีตซึ่งเกี่ยวข้องกับความชื้นและอุณหภูมิมีผลต่อกำลังของคอนกรีตอย่างมาก คอนกรีตที่บ่มขึ้นเป็นเวลานานจะมีกำลังมากขึ้นตามลำดับ การปล่อยให้คอนกรีตแข็งตัวในอากาศโดยไม่มี ความชื้นเลยจะทำให้ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำกับซีเมนต์หยุดชะงักเป็นเหตุให้กำลังของคอนกรีตต่ำลง เมื่อหล่อคอนกรีตและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิซึ่งกำหนดไว้ยังใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้น ปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับซีเมนต์จะเร็วขึ้น

2.1.8 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

คอนกรีตประกอบด้วยวัสดุต่าง ๆ ซึ่งถูกนำมาผสมรวมเข้าด้วยกันให้เป็นคอนกรีตที่มีคุณภาพดีตามความต้องการอาจเป็นคอนกรีตที่สร้างขึ้นเพื่อรับกำลังอัดได้เพียงเล็กน้อยหรือเป็นคอนกรีตที่รับกำลังได้สูง ฉะนั้นการกำหนดส่วนผสมของคอนกรีตจึงขึ้นอยู่กับความต้องการ อาจกล่าวได้ว่าส่วนผสมที่ถูกต้องของคอนกรีต คือ ส่วนผสมที่ทำให้ประหยัดที่สุดสัดส่วนของวัสดุต่าง ๆ ซึ่งทำให้คอนกรีตทำงานได้ง่ายเมื่อยังไม่แข็งตัว เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วจะมีกำลังและคุณภาพต่ำต้องการสำหรับงานก่อสร้างขนาดเล็กที่ไม่ต้องการความทนทานของคอนกรีตเป็นพิเศษอาจเลือกใช้ส่วนผสมของคอนกรีตโดยอาศัยข้อมูลหรือสถิติต่าง ๆ เช่นใช้คอนกรีต 1:2:4 โดยปริมาตรสำหรับงานอาคาร คอนกรีตเสริมเหล็กโดยทั่วไปซึ่งหมายถึงใช้ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน หิน 2 ส่วน และทราย 4 ส่วนเป็นต้น และใช้น้ำประมาณ 25-30 ลิตร ต่อปูนซีเมนต์ 1 ถุง ดังตาราง ที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ส่วนผสมของคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้าง

สัดส่วนผสมโดยปริมาตร	ประเภท
1 : 1 ½ : 3	สำหรับเสาและโครงสร้างที่ต้องการความทึบน้ำหรือที่อยู่ในสภาวะอากาศรุนแรง
1 : 2 : 4	สำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป ได้แก่ พื้น คาน เสา
1 : 2 ½ : 4	สำหรับงานพื้นถนน เชือกกันดิน ตอม่อ ผนังตึก ฐานรากทางเท้า
1 : 3 : 5	สำหรับงานคอนกรีตขนาดใหญ่ ผนังหนั ฐานรากใหญ่

สำหรับงานก่อสร้างขนาดใหญ่ที่สำคัญควรพิจารณาออกแบบหาปฏิกิริยาส่วนผสมของคอนกรีตที่จะต้องทำตามสภาพของงานนั้น ในกรณีที่ไม่มีผลการทดสอบกำลังอัดในสนามหรือมี แต่ไม่เพียงพอ อาจทำการคำนวณตามวิธีการที่สถาบันคอนกรีตแห่งอเมริกาได้เสนอแนะไว้ใน Standard Practice for Selecting Proportion for Normal , Heavyweight and Mass Concrete (ACI 211.1) ซึ่งให้ข้อพิจารณาทั้งในด้านความทนทานและกำลังของคอนกรีตที่ต้องการ วัตถุประสงค์ที่ควรทราบก่อนการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต กำลังของคอนกรีตที่ต้องการเท่าใด ใช้ทำอะไรเพื่อจะได้กำหนดความเข้มข้นของส่วนผสมให้ทำงานสะดวก คุณสมบัติพิเศษของคอนกรีต เพื่อจะได้เลือกใช้ปูนซีเมนต์ให้ถูกประเภท ใช้สารทำให้เกิดฟองอากาศผสมด้วยหรือไม่ ขนาดของงานคอนกรีตที่สร้างขึ้นเพราะจะเป็นตัวกำหนดขนาดใหญ่ที่สุดของหินที่ใช้ คุณสมบัติของวัสดุที่ควรทราบสัดส่วนขนาดคละ (Gradation) ของหินทรายซึ่งได้มาจากการร่อนหรือทรายผ่านตะแกรงมาตรฐานหลายๆ ขนาดแล้วหาเปอร์เซ็นต์

ของหินหรือทรายในแต่ละขนาดต่าง ๆ ที่ค้างอยู่บนตะแกรงมาตรฐานแต่ละขนาดความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ของวัสดุที่ใช้ในสภาพแห้งและอิ่มตัวน้ำหนักต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร (m^3) รวมน้ำหนักช่องว่างและความชื้นของหินหรือทราย หมายถึง ปริมาณน้ำที่ห่อหุ้มหรือติดมากับเม็ดหินหรือทรายตามสภาพจริง วิธีการ คำนวณส่วนผสมของคอนกรีต การคำนวณส่วนผสมของคอนกรีตทำได้หลายวิธี แต่ละวิธีเป็นวิธีการกึ่งวิเคราะห์ (Semi Analytical Procedures) คือมีการใช้คำนวณประกอบกับข้อมูลซึ่งได้มาจากผลการทดลองที่ทำได้ มีการทำไว้มากมายที่นิยมมี 2 วิธี คือวิธีการทดลองผสมและวิธีของสถาบันคอนกรีตอเมริกัน (ACI)

2.1.9 กำลังอัดของคอนกรีตและการทดสอบ

กำลังอัดของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการ คือ กำลังของมอร์ต้า กำลังของโมดูลัสยัดหยุ่นของมวลรวม และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างมอร์ต้ากับผิวของมวลรวม กำลังของมอร์ต้ามีบทบาทอย่างมากต่อกำลังอัดของคอนกรีต โดยกำลังของมอร์ต้านี้ ขึ้นอยู่กับความพรุนภายในเนื้อของมอร์ต้าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและความพรุนจะถูกควบคุมด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่ากำลังของมอร์ต้าขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เป็นอย่างมาก การเปลี่ยนแปลงในคุณสมบัติมวลรวม เช่น การเปลี่ยนแปลงขนาดและปริมาณกำลังลักษณะผิว ขนาดใหญ่สุด การดูดซึม และแร่ธาตุต่าง ๆ จะส่งผลกระทบต่อกำลังของคอนกรีตไม่มากนัก การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกำลังดิ่งน้อยกว่ากำลังอัด โดยอัตราส่วนของกำลังของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น กำลังและโมดูลัสยัดหยุ่นของมวลรวม สำหรับกำลังของมอร์ต้ากำหนดให้มี ความสามารถต้านแรงของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับกำลังของหินและแรงยึดเหนี่ยวของมวลรวมของมอร์ต้าแต่โดยทั่วไปกำลังของมวลรวมจะสูงเป็นหลายเท่าของกำลังมอร์ต้า ดังนั้นแรงยึดเหนี่ยวจะเป็นตัวควบคุมการแตกของคอนกรีตสำหรับอัตราส่วนน้ำกับซีเมนต์ที่กำหนดให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลงเมื่อใช้หินขนาดใหญ่ขึ้นเพราะขนาดหินใหญ่จะก่อให้เกิดหินมากขึ้นทำให้แรงยึดเหนี่ยวของมวลรวมกับมอร์ต้าลดลงขนาดของมวลรวมจะมีผลต่อกำลังของคอนกรีตที่มีสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์หรือน้ำปานกลางมากกว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่สูง การเพิ่มปริมาณของมวลรวมในส่วนผสมจะเป็นการเพิ่มกำลังอัดรวมทั้งถ้าใช้หินที่มีโมดูลัสยัดหยุ่นสูงจะทำให้กำลังของคอนกรีตดีขึ้น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมกับมอร์ต้า แรงยึดเหนี่ยวนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพ เช่น รูปร่างลักษณะผิวของมวลรวมและลักษณะทางเคมีคือปฏิกิริยาเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับแร่ธาตุต่าง ๆ ในเนื้อมวลรวม นอกจากนี้ทิศทางการหล่อและทิศทางการให้น้ำหนักจะมีผลต่อกำลังเช่นกัน โดยจะมีผลต่อกำลังดิ่งมากกว่าการอัดกำลังต้านทานแรงหรือการรับแรง เป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของคอนกรีต ซึ่งมีอยู่หลายอย่างด้วยกัน งานคอนกรีตทั่วไปนิยมทำการทดสอบหาลำดับต้านทานแรงอัดเป็นหลัก เพื่อนำผลไปใช้ในการควบคุมคุณภาพของงานและยังใช้

เป็นตัวบ่งบอกให้ทราบถึงคุณสมบัติด้านอื่นได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้เพราะกำลังต้านทานแรงอื่น ๆ จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังต้านทานแรงอัด

การทดสอบหากล้างต้านทานแรงอัดของคอนกรีตทำได้โดยการกดหรืออัดแท่งทดสอบรูปลูกบาศก์ตามมาตรฐานอังกฤษ หรือรูปทรงกระบอกตามมาตรฐานอเมริกัน ซึ่งบ่มขึ้นตามระยะเวลาที่กำหนด จนกระทั่งแตก แล้วทำการคำนวณหาค่าความต้านทานแรงอัดเฉลี่ยมีหน่วยเป็น กก./ตร.ซม หรือปอนด์/ตร.นิ้ว ก่อนตัวอย่างมาตรฐานที่ทำเพื่อทดสอบกำลังอัดที่ใช้กันอยู่อย่างแพร่หลายมี 2 รูปทรงคือ

1) รูปทรงกระบอก เป็นการทดสอบตามมาตรฐานอเมริกา ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม.

2) รูปทรงลูกบาศก์ เป็นการทดสอบตามมาตรฐานอังกฤษขนาดที่ใช้คือขนาด 15x15x15 ซม.

กำลังอัดของ 2 รูปทรงนี้จะแตกต่างกัน ถึงแม้จะใช้ส่วนผสมของคอนกรีตเดียวกัน โดยกำลังอัดด้วยตัวอย่างรูปทรงกระบอกจะมีค่าน้อยกว่ากำลังอัดของตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบ มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ คือ มยผ. 1210-50 มาตรฐานการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต (Standard Test Method for Compressive Strength of Concrete)

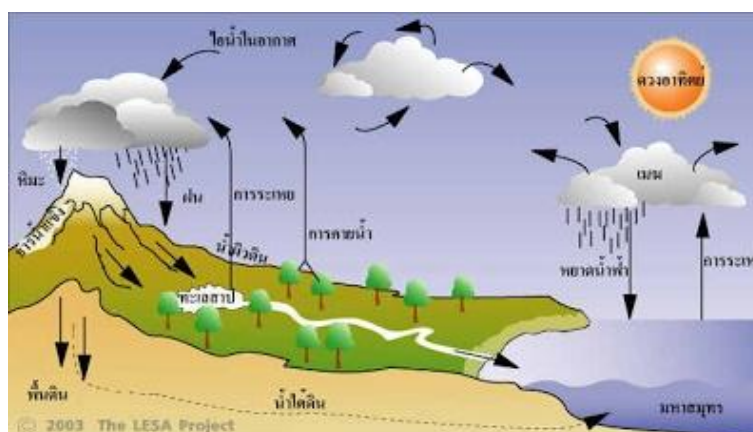
2.1.10 น้ำ

น้ำเป็นสารประกอบหนึ่งที่มีความสำคัญมากในการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด และยังเป็นสารประกอบที่มีปริมาณมากที่สุดในโลก ทั้งสถานะของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ซึ่งน้ำสามารถจัดให้อยู่ในรูปน้ำทะเลร้อยละ 97 น้ำจืดร้อยละ 2 และน้ำจืดร้อยละ 1 น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สามารถหมุนเวียนได้ ใช้ในทางเกษตรกรรมและยังเป็นองค์ประกอบหลักในร่างกายของมนุษย์ด้วย น้ำเป็นแหล่งกำเนิดชีวิตของสัตว์และพืช คนเรามีชีวิตอยู่ได้โดยขาดน้ำไม่เกิน 3 วัน และน้ำยังมีความจำเป็นทั้งในภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาประเทศ

น้ำ หมายถึง ของเหลวเกิดจากการรวมตัวกันของก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนในภาวะที่เหมาะสมหรือความหมายในลักษณะเป็นทรัพยากรธรรมชาติ หมายถึง สิ่งที่น่ามาใช้อุปโภค บริโภค ชำระล้างร่างกาย ใช้ในการเพาะปลูก การเกษตรกรรม อุตสาหกรรม การคมนาคมทางน้ำ การผลิตพลังงาน ทรัพยากรน้ำยังเป็นทรัพยากรประเภทหนึ่งที่สามารถเกิดขึ้นทดแทนอยู่ตลอดเวลาเป็นวัฏจักร (ที่มา โรงเรียนวังไกลกังวล.2556) โลกของเราประกอบด้วยพื้นดินและพื้นน้ำ โดยเป็นน้ำ 3 ส่วน และดิน 1 ส่วน เมื่อแสงแดดส่องมาบนพื้นโลก น้ำจากทะเลและมหาสมุทรก็จะระเหยกลายเป็นไอลอยขึ้นสู่เบื้องบนเนื่องจากไอน้ำมีความเบากว่าอากาศ เมื่อไอน้ำลอยสู่เบื้องบนแล้วจะได้รับความเย็นและกลั่นตัวเป็นละอองน้ำเล็ก ๆ ลอยจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนเมฆ เมื่อจับตัวมากขึ้นและกระทบความเย็นจะกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำตกลงสู่พื้นโลก น้ำบนพื้นโลกจะระเหยกลายเป็นไออีกเมื่อได้รับความ

ร้อนจากดวงอาทิตย์ ไอน้ำจะรวมตัวเป็นเมฆแล้วตกลงมาเป็นฝน กระบวนการเช่นนี้เกิดขึ้นเป็นวัฏจักรหมุนเวียนต่อเนื่องกันตลอดเวลา เรียกว่า วัฏจักรน้ำ ทำให้น้ำเกิดขึ้นบนผิวโลกเสมอ

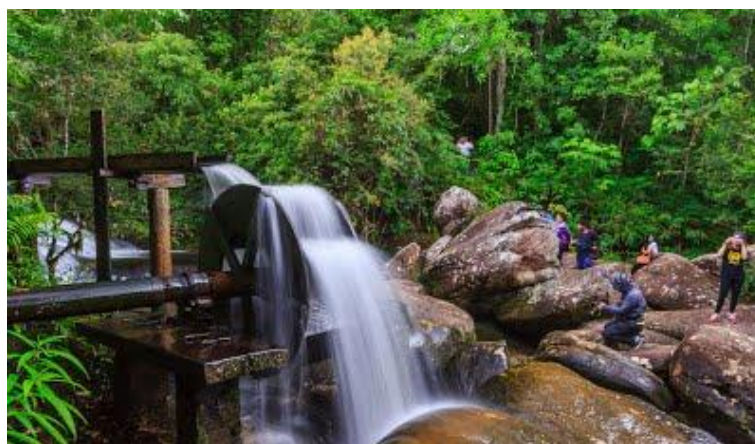
2.1.10.1 วัฏจักรของน้ำคือ การเกิดและการหมุนเวียนของน้ำที่อยู่ในโลกนั่นเอง การหมุนเวียนของน้ำเป็น Cycle อาจเริ่มนับได้จากมหาสมุทร เมื่อน้ำระเหยจากมหาสมุทรไปสู่บรรยากาศเป็นไอน้ำ แล้วความแปรปรวนของลมฟ้าอากาศจะทำให้เกิดฝนตกลงสู่ผิวโลก ในทะเลบ้าง บนดินบ้าง น้ำฝนที่ตกลงสู่ดินก็จะสูญเสียการดูดซึมลงดินเสียเป็นส่วนใหญ่ แล้วด้วยเหตุอื่นบ้างเล็กน้อย ส่วนที่เหลือก็จะไหลเป็นน้ำท่าลงแม่น้ำลำธารออกทะเล ส่วนที่ซึมลงดินนั้นก็ค่อยๆ ซึมออกสู่มแม่น้ำลำธาร และไหลออกทะเลไปเช่นกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าสุดท้ายน้ำจะระเหยกลายเป็นไอสู่บรรยากาศ วัฏจักรของน้ำจึงไม่มีที่เริ่มต้นและที่สิ้นสุด หมุนเวียนอยู่เช่นนี้ตลอดเวลา ปริมาณในชั้นตอนต่าง ๆ นั้นอาจผันแปรมากน้อยได้เสมอ ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ที่ควบคุมในชั้นตอนเหล่านั้น



ภาพที่ 2.10 วัฏจักรของน้ำ

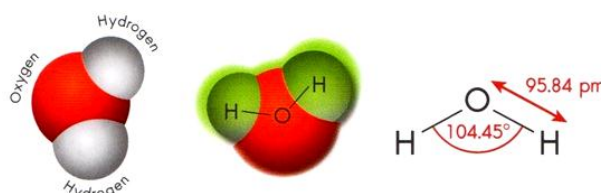
พลังงานน้ำเป็นรูปแบบหนึ่ง การสร้างกำลังโดยการอาศัยพลังงานของน้ำที่เคลื่อนที่ ปัจจุบันนี้พลังงานน้ำส่วนมากจะถูกใช้เพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้า นอกจากนี้แล้วพลังงานน้ำยังถูกนำไปใช้ในกรรมชลประทาน การสี การทอผ้า และใช้ในโรงเลื่อย พลังงานของมวลน้ำที่เคลื่อนที่ได้ถูกมนุษย์นำมาใช้นานแล้วเป็นศตวรรษ โดยได้มีการสร้างกังหันน้ำ (Water Wheel) เพื่อใช้ในงานต่าง ๆ ชาวอินเดียและชาวโรมันก็ได้มีการประยุกต์ใช้เพื่อใช้ในการโม่แป้งจากเมล็ดพืชต่าง ๆ โดยในช่วงทศวรรษ 1830 ซึ่งเป็นยุคที่การสร้างคลองเพื่อปลูกพืชไร่ก็ได้มีการประยุกต์เอาพลังงานน้ำมาใช้เพื่อขับเคลื่อนเรือขึ้นและลงจากเขา โดยอาศัยรางรถไฟที่ลาดเอียง อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้พลังงานน้ำในยุคแรกนั้นเป็นการส่งต่อพลังงานโดยตรง (Direct Mechanical Power Transmission) ทำให้การใช้พลังงานน้ำในยุคนี้ต้องอยู่ใกล้แหล่งพลังงาน เช่น น้ำตก เป็นต้น ปัจจุบันนี้พลังงานน้ำได้ถูกใช้เพื่อ

ผลิตพลังงานไฟฟ้า ทำให้สามารถส่งต่อพลังงานไปใช้ในที่ที่ห่างจากแหล่งน้ำได้ การนำเอาพลังงานน้ำมาใช้ประโยชน์ทำได้โดยการเปลี่ยนพลังงานจลน์ของน้ำที่ไหลลงจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำให้เป็นกระแสไฟฟ้า อุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนนี้คือ กังหันน้ำ (Turbine) น้ำที่มีความเร็วสูงจะผ่านเข้าท่อแล้วถ่ายทอดพลังงานจลน์เข้าสู่กังหันน้ำ ซึ่งจะไปหมุนขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอีกทอดหนึ่ง ในปัจจุบันพลังงานที่ได้จากแหล่งน้ำที่รู้จักโดยทั่วไปคือ พลังงานน้ำตก พลังงานน้ำขึ้นน้ำลง พลังงานคลื่น



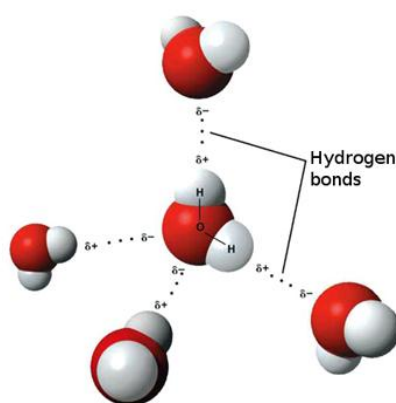
ภาพที่ 2.11 พลังงานของน้ำ

2.1.10.2 คุณสมบัติของน้ำ น้ำเป็นสารประกอบไม่มีสี กลิ่น รส มีคุณสมบัติไม่เหมือนสารชนิดอื่นใดในโลก เป็นสารประกอบที่มีความเสถียร เป็นตัวทำละลายที่ดี เป็นของไหล และเป็นแหล่งวัตถุดิบที่สำคัญที่สุดในกระบวนการเคมีและชีวเคมี สามารถดูดและคายความร้อนได้ดีกว่าสารชนิดอื่น จากโครงสร้างพื้นฐานระดับปฐมภูมิของน้ำคือ H_2O อะตอมของไฮโดรเจนทำมุมประมาณ $104.5-105$ องศา กับอะตอมของออกซิเจน ทำให้ออกซิเจนซึ่งมีน้ำหนักกว่าไฮโดรเจนดึงเอาอิเล็กตรอนไปหมุนรอบได้มากกว่าเล็กน้อย เกิดเป็นสภาพขั้วลบทางไฟฟ้าขึ้นในขณะที่ไฮโดรเจนอะตอมกลับมีสภาพเป็นขั้วบวก ดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 ลักษณะโครงสร้างของน้ำ

นอกจากอะตอมของไฮโดรเจนและออกซิเจนที่เกาะกันด้วยพันธะโควาเลนต์ และแรงดึงดูดมวลโมเลกุลแล้ว ระหว่างโมเลกุลของน้ำยังมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเข้าด้วยกัน เรียกว่าพันธะไฮโดรเจน ดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 พันธะไฮโดรเจนของน้ำ

2.1.11 แม่เหล็กธรรมชาติและแม่เหล็กไฟฟ้า

2.1.11.1 แม่เหล็กธรรมชาติ เป็นที่รู้จักกันมานานแล้ว โดยการสังเกตพบว่ามีสินแร่เหล็กบางชนิดที่สามารถดูดเศษเหล็กต่าง ๆ เข้ามาได้ หลังจากนั้นจึงมีผู้คิดค้นเพื่อนำแม่เหล็กมาใช้งานกันแพร่หลายจนถึงปัจจุบัน ปกติแล้วถ่านำแท่งแม่เหล็กไปแขวนลอยไว้อย่างอิสระปลายทั้งสองข้างของมันจะชี้ไปทางทิศเหนือและทิศใต้โดยอัตโนมัติ โดยปลายข้างที่ชี้ไปทางทิศเหนือเรียกว่าขั้วเหนือหรือขั้ว N (North) และปลายข้างที่ชี้ไปทางทิศใต้เรียกว่าขั้วใต้หรือขั้ว S (South) ซึ่งต่อมาได้นำหลักการนี้ไปใช้ทำเข็มทิศช่วยในการเดินเรือ แม่เหล็กนั้นมีความสัมพันธ์กับไฟฟ้าอย่างมาก เนื่องจากอุปกรณ์ไฟฟ้าบางชนิดจำเป็นต้องใช้แม่เหล็กหรือหลักการของแม่เหล็กประกอบในการนำมาใช้งานต่าง ๆ รวมทั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าบางชนิดในรถยนต์ ได้แก่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือเจนเนอเรเตอร์ (Generator) เป็นต้นอำนาจดึงดูดแม่เหล็ก เหมือนกับกระแสไฟฟ้า ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า อำนาจนี้สามารถทำให้เกิดงานและพลังงานได้ อำนาจแม่เหล็กทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า และในทางกลับกันกระแสทำให้เกิดอำนาจดึงดูดของแม่เหล็กได้ แท่งเหล็กธรรมดาสามารถทำให้เป็นแม่เหล็กได้หลายลักษณะ ที่นิยมกันทั่ว ๆ ไปได้แก่ การเหนี่ยวนำของแม่เหล็กโดยการใช้แท่งแม่เหล็กถูไปบนแท่งเหล็กธรรมดา นอกจากนี้แล้วยังกระทำได้โดยการนำแท่งเหล็กธรรมดาไปวางไว้ในสนามแม่เหล็กชั่วขณะหนึ่ง ทำให้แท่งเหล็กเกิดการเหนี่ยวนำแล้วมีสมบัติเป็นแม่เหล็ก ได้เช่นกันเหล็กและโลหะบางชนิดสามารถแสดงคุณสมบัติแม่เหล็กได้ เมื่อได้รับการเหนี่ยวนำของแม่เหล็กเกิดขึ้น เรียกว่า สาร

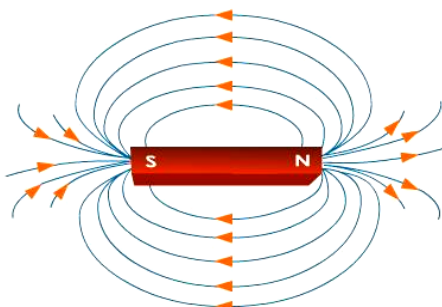
แม่เหล็ก (Magnetic Substance) แต่กลุ่มที่ไม่แสดงคุณสมบัติของแม่เหล็กได้จะเรียกว่า สารที่ไม่ใช่แม่เหล็ก (Non-magnetic Substance) ได้แก่ ทองแดง อะลูมิเนียม และสังกะสี เป็นต้น นอกจากนี้ สารแม่เหล็ก สามารถแบ่งตามลักษณะผลที่เกิดขึ้นหลังการเหนี่ยวนำได้ 2 ประเภท คือ

1. แม่เหล็กชั่วคราว (Temporary Magnet) หมายถึง เหล็กที่สูญเสียอำนาจดึงดูดของแม่เหล็กไป เมื่อนำออกจากสนามแม่เหล็ก ทำให้แม่เหล็กนั้นกลับคืนสู่สภาพแท่งเหล็กธรรมดา ส่วนมากเป็นพวกเหล็กอ่อน ซึ่งนำไปใช้เป็นแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์ต่างๆ ในรถยนต์ เช่น คอยล์ (Coil) และขดลวดไฟฟ้าหรือโซลินอยด์ (Solenoid)

2. แม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet) หมายถึง เหล็กที่มีอำนาจดึงดูดตลอดไป ถ้าได้รับอำนาจแม่เหล็กด้วยวิธีที่ถูกต้อง ซึ่งแม่เหล็กถาวรนี้จะทำมาจากโลหะแข็งผสมเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ เหล็กผสมนิเกิล และโคบอลต์ผสมนิเกิลและอลูมิเนียม เป็นต้น เช่น นำใช้ประกอบใน โวลต์มิเตอร์ และแอมป์มิเตอร์

แม่เหล็ก (Magnet) คือวัตถุที่ดูดเหล็กได้ และวัตถุที่แม่เหล็กส่งแรงกระทำเรียกสารแม่เหล็ก (Magnetic Substance) แท่งแม่เหล็ก 1 แท่ง จะมี 2 ขั้ว คือ ขั้วเหนือ N(North) และขั้วใต้ S (South) ชนิดเดียวกันจะผลักกัน และขั้วต่างชนิดกันจะดูดกันเสมอ

สนามแม่เหล็ก เมื่อมีแม่เหล็กวางอยู่ ณ ที่ใดก็ตาม แม่เหล็กนั้นจะส่งอำนาจแม่เหล็กออกไปรอบตัวในบริเวณนั้น ถ้าเอาแม่เหล็กอื่นหรือวัตถุที่เป็นเหล็กเข้าไปในบริเวณนั้นจะเกิดแรงแม่เหล็กส่งมากระทำทันทีจากแม่เหล็กที่วางอยู่ก่อนนั้น อย่างนี้เราถือว่าแม่เหล็กหรือสารแม่เหล็กที่เรานำเข้าไปที่หลังไปอยู่ในบริเวณซึ่งเป็น สนามแม่เหล็กของแม่เหล็กอันแรกถ้าเราถอยแม่เหล็กหรือสารแม่เหล็กนั้นออกมาให้ห่างมาก ๆ แรงแม่เหล็กที่เคยเกิดขึ้นดังกล่าวจะหมดไป หมายความว่า แม่เหล็กอันแรกส่งแรงไปกระทำไม่ถึง จึงเห็นได้ว่าสนามแม่เหล็กคือ บริเวณรอบ ๆ แม่เหล็ก ซึ่งแท่งแม่เหล็กนั้นสามารถส่งอำนาจแม่เหล็กไปถึง



ภาพที่ 2.14 แสดงทิศทางเส้นแรงแม่เหล็ก

โดยความเข้มของสนามแม่เหล็ก สามารถคำนวณได้จากจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งตั้งฉากกับพื้นที่หนึ่งตารางหน่วย ดังสมการ

$$B = \frac{\phi}{A}$$

เมื่อกำหนดให้

B คือ ความเข้มของสนามแม่เหล็กมีหน่วยเป็น เทสลา (T)

ϕ คือ ฟลักซ์แม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เวเบอร์ (W)

A คือ พื้นที่ตั้งฉาก มีหน่วยเป็น ตารางเมตร (m^2)

2.1.11.2 แม่เหล็กถาวรนีโอไดเมียม (Neodymium : Nd-Fe-B) เป็นแม่เหล็กที่มีส่วนประกอบหลัก คือ นีโอไดเมียม (Neodymium) เหล็ก โบรอน และมีคุณสมบัติเฉพาะของแม่เหล็กสูงสุดในกลุ่มแม่เหล็กที่มีอยู่ในปัจจุบัน แม่เหล็กนีโอไดเมียมเป็นแม่เหล็กที่ยกขึ้นมาเป็นตัวอย่างจากแม่เหล็กที่มีส่วนประกอบของแร่ธาตุที่หายากต่างๆ ซึ่งมีแรงดึงดูดสูงกว่าแม่เหล็กอื่น ๆ แม้ว่าจะทำให้มีขนาดเล็กแล้วก็ตามแต่ก็ยังมีแรงดูดที่น่าพอใจ ดังนั้นจึงสามารถตอบสนองความต้องการได้เป็นอย่างดีในด้านการลดขนาด แม่เหล็กนีโอไดเมียมมีความแข็งแรงทนทานด้านกลไกที่เยี่ยมยอด แต่ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในอุณหภูมิสูง มีการแปรรูปเพลตตั้งเพื่อป้องกันสนิม และนำมาใช้กับมอเตอร์หรือเซนเซอร์ขนาดเล็ก เครื่องจักรที่มีความละเอียดสูง เป็นต้น



ภาพที่ 2.15 แม่เหล็กถาวรนีโอไดเมียม

ตารางที่ 2.9 ตัวอย่างค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กของแม่เหล็กถาวรนีโอไทดิเมียมแบบเหลี่ยม

ขนาด (mm.)	ระยะแรงดึงดูด (mm.)	ปรับผิวแม่เหล็ก	เกรด	ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (mT)	แรงดูด (kg.F)
10 x 10	10	ชุบด้วยนิกเกิล	N35	488	4.176
15 x 15	10	ชุบด้วยนิกเกิล	N35	445	7.24
20 x 20	20	ชุบด้วยนิกเกิล	N35	520	16.704
30 x 30	20	ชุบด้วยนิกเกิล	N35	457	28.981
30 x 30	30	ชุบด้วยนิกเกิล	N35	520	37.585
40 x 10	20	ชุบด้วยนิกเกิล	N35	531	17.419
40 x 40	30	ชุบด้วยนิกเกิล	N35	478	56.388
50 x 10	30	ชุบด้วยนิกเกิล	N35	557	23.907
50 x 20	30	ชุบด้วยนิกเกิล	N35	519.955	41.61

2.1.11.3 แม่เหล็กไฟฟ้า Electromagnets หรือแม่เหล็กไฟฟ้า หมายถึง อำนาจแม่เหล็กที่เกิดจากการที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านในวัตถุตัวนำหมายความว่าถ้าปล่อยให้ กระแสไฟฟ้าไหลในวัตถุตัวนำจะทำให้เกิด สนามแม่เหล็กรอบ ๆ ตัวนำนั้น เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเส้นลวดตัวนำ จะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นรอบ ๆ เส้นลวดตัวนำนั้น แต่อำนาจแม่เหล็กที่เกิดขึ้นมีเพียงจำนวนเล็กน้อย ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ การจะเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็ก ทำได้โดยการนำเส้นลวดตัวนำมาพันเป็นขดลวด เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดในแต่ละส่วนของเส้นลวดตัวนำจะเสริมอำนาจกัน ทำให้มีความเข้มของสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น ซึ่งความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้

1. จำนวนรอบของการพันเส้นลวดตัวนำ การพันจำนวนรอบของเส้นลวดตัวนำมากเกิดสนามแม่เหล็กมาก ในทางกลับกันถ้าพันจำนวนรอบน้อยการเกิดสนามแม่เหล็กก็น้อยตามไปด้วย
2. ปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านเส้นลวดตัวนำ กระแสไฟฟ้าไหลผ่านมากสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นมาก และถ้ากระแสไฟฟ้าไหลผ่านน้อยสนามแม่เหล็กเกิดน้อย
3. ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำแกนของแท่งแม่เหล็กไฟฟ้า วัสดุต่างชนิดกันจะให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กต่างกันอันเนื่องจากคุณสมบัติสภาพซึมซาบได้ (Permeability) ที่แตกต่างกัน เช่น แกนอากาศจะให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กน้อยกว่าแกนที่ทำจากสารเฟอร์โรแมกเนติก (Ferromagnetic) หรือสารที่สามารถเกิดอำนาจแม่เหล็กได้ เช่น เหล็ก เพอร์ไรท์ เป็นต้น สารเหล่านี้จะช่วยเสริมอำนาจแม่เหล็กในขดลวดทำให้มีความเข้มของสนามแม่เหล็กมากขึ้น

ตารางที่ 2.10 ค่าความซึมซาบได้ของวัสดุชนิดต่าง ๆ

ค่าความซึมซาบได้ของวัสดุชนิดต่าง ๆ	
วัสดุ	ค่าความซึมซาบได้
อากาศ	1.26×10^{-6}
นิกเกิล	6.26×10^{-5}
เคบอลด์	7.56×10^{-5}
เหล็กหล่อ	1.1×10^{-4}
เหล็กแท่ง	5.56×10^{-4}
แกนเหล็กหม้อแปลงไฟฟ้า	6.9×10^{-3}
เหล็กซิลิกอน	8.8×10^{-3}
เฟอร์มาลอย	0.126
ซูเปอร์มาลอยด์	1.26

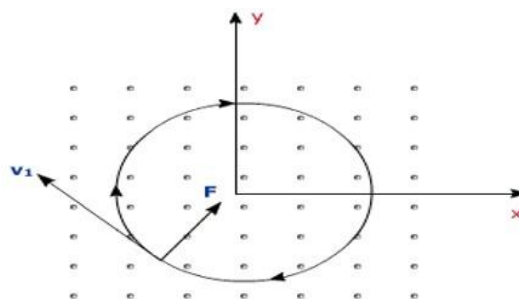
4. ขนาดของแกนแท่งแม่เหล็กไฟฟ้า แกนที่มีขนาดใหญ่จะให้สนามแม่เหล็กมาก ส่วนแกนที่มีขนาดเล็กจะให้สนามแม่เหล็กน้อย

2.1.11.4 การเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุในสนามแม่เหล็ก เมื่ออนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก จะมีแรงทางแม่เหล็กกระทำต่ออนุภาคนั้นแรงกระทำนี้เรียกว่าแรงลอเรนซ์ (Lorentz Force) สามารถหาขนาดของแรงได้จาก

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} = qvB \sin \theta$$

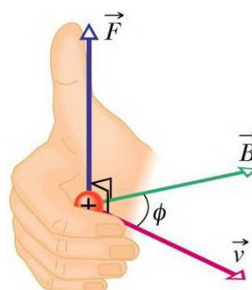
โดยที่

- $\vec{F}$ คือ แรงลอเรนซ์ (N) หรือแรงแม่เหล็ก
- q คือ ประจุไฟฟ้าที่กำลังเคลื่อนที่ (C)
- $\vec{v}$ คือ ความเร็วของประจุ (m/s)
- $\vec{B}$ คือ สนามแม่เหล็ก (T)
- θ คือ มุมระหว่าง $\vec{v}$ กับ $\vec{B}$ ($0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$)



ภาพที่ 2.16 แรงลอเรนซ์

ทิศทางของแรงที่กระทำเป็นไปตามกฎมือขวาของสกรู (Right Hand Screw Rule) สำหรับ ประจุไฟฟ้าบวก



ภาพที่ 2.17 กฎมือขวาของสกรู

2.1.12 กระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก

2.1.12.1 สนามแม่เหล็กจากกระแสไฟฟ้าไหลในเส้นลวดตรงยาว ฮานส์ เออร์สแตด นักวิทยาศาสตร์ชาวเดนมาร์กได้ทำการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างไฟฟ้ากับแม่เหล็ก พบว่ามี สนามแม่เหล็กเกิดขึ้นรอบตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าผ่าน โดยความเข้มของสนามแม่เหล็กแปรผันตรงกับ ปริมาณกระแสโดยทิศทางของสนามแม่เหล็กเป็นไปตามกฎมือขวา

$$B = \frac{\mu_o I}{2\pi a}$$

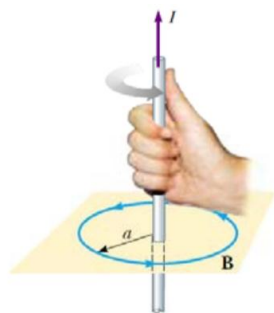
โดยที่

$\vec{B}$ คือ สนามแม่เหล็ก (T)

μ_o คือ สภาพซึมซาบได้ของสนามแม่เหล็กในสุญญากาศ ($\mu_o = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$)

I คือ กระแสไฟฟ้า (A)

a คือ ระยะห่างระหว่างเส้นลวด



ภาพที่ 2.18 สนามแม่เหล็กจากกระแสไฟฟ้าไหลในเส้นลวดตรงยาว

2.1.12.2 สนามแม่เหล็กจากกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดวงกลม ถ้าผ่านกระแสไฟฟ้าไปในลวดตัวนำที่ถูกดัดเป็นวงกลม จะเกิดสนามแม่เหล็กรอบ ๆ ลวดตัวนำนั้น การหาทิศของสนามแม่เหล็กยังคงใช้กฎมือขวา โดยขนาดของสนามที่จุดศูนย์กลางของขดลวดแปรผกผันกับรัศมีของขดลวด แต่จะแปรผันตามจำนวนรอบของขดลวดและปริมาณกระแส

$$B = \frac{\mu_o nI}{2a}$$

โดยที่

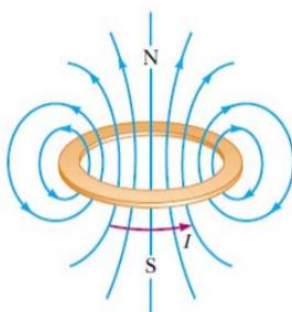
$\vec{B}$ คือ สนามแม่เหล็ก (T)

μ_o คือ สภาพซึมซาบได้ของสนามแม่เหล็กในสุญญากาศ ($\mu_o = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$)

n คือ จำนวนรอบของขดลวด

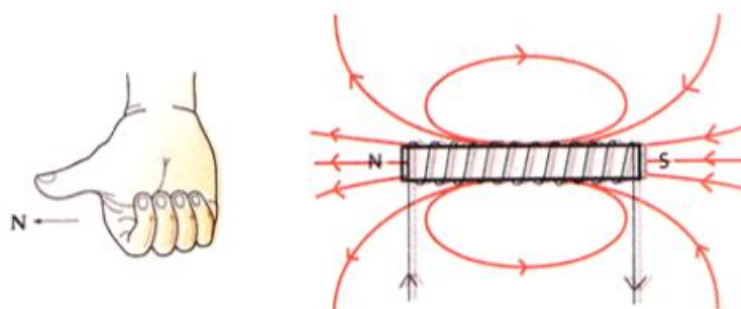
I คือ กระแสไฟฟ้า (A)

a คือ ระยะห่างระหว่างเส้นลวด



ภาพที่ 2.19 สนามแม่เหล็กจากกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดวงกลม

2.1.12.3 สนามแม่เหล็กจากกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดโซลินอยด์ เมื่อนำลวดตัวนำที่มีฉนวนหุ้มมาขดเป็นวงกลมหลาย ๆ วงเรียงซ้อนกันเป็นรูปทรงกระบอก ขดลวดที่ได้นี้เรียกว่า โซลินอยด์ (Solenoid) เมื่อให้กระแสไฟฟ้าผ่านโซลินอยด์จะมีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้น การหาทิศของสนามแม่เหล็กใช้วิธีการกำมือขวาแบบเดียวกับการหาทิศของสนามแม่เหล็กของลวดตัวนำวงกลม ปลายขดลวดด้านที่สนามแม่เหล็กพุ่งออกจะเป็นขั้วเหนือ และอีกปลายหนึ่งซึ่งสนามแม่เหล็กพุ่งเข้าจะเป็นขั้วใต้



ภาพที่ 2.20 สนามแม่เหล็กในขดลวดโซลินอยด์

สนามแม่เหล็กที่เกิดจากโซลินอยด์มีค่าสูงสุดที่บริเวณแกนกลางของโซลินอยด์และขนาดของสนามแม่เหล็กนี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มหรือจำนวนรอบของขดลวดเพิ่ม ถ้าใส่แท่งเหล็กอ่อนไว้ที่แกนกลางของโซลินอยด์ เมื่อกระแสไฟฟ้าผ่านโซลินอยด์แท่งเหล็กอ่อนจะมีสมบัติเป็นแม่เหล็ก แม่เหล็กที่เกิดจากวิธีนี้เรียกว่า แม่เหล็กไฟฟ้า สนามแม่เหล็กของแม่เหล็กไฟฟ้าจะเพิ่ม เมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มและจำนวนรอบต่อความยาวของขดลวดเพิ่ม แต่เมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าแท่งเหล็กอ่อนจะหมดสภาพแม่เหล็กทันที โดยความเข้มของสนามแม่เหล็กในขดลวดโซลินอยด์แปรผันตามจำนวนของขดลวดและปริมาณกระแส

$$B = \mu_o nI$$

โดยที่

$\vec{B}$ คือ สนามแม่เหล็ก (T)

μ_o คือ สภาพซึมซาบได้ของสนามแม่เหล็กในสุญญากาศ ($\mu_o = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$)

n คือ จำนวนรอบของขดลวด

I คือ กระแสไฟฟ้า (A)

2.1.12.4 สนามแม่เหล็กจากกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดทอรรอยด์ เมื่อนำลวดตัวนำที่มีฉนวนหุ้มมาขดเป็นวงกลมหลาย ๆ รอบเรียงกันเป็นรูปทรงกระบอกแล้วขดเป็นวงกลมขดลวดที่ได้นี้เรียกว่า ทอรรอยด์ (Toroid) เมื่อให้กระแสไฟฟ้าผ่านจะเกิดสนามแม่เหล็กภายในทอรรอยด์ ซึ่งหาทิศของสนามได้ด้วยการกำมือขวรอบแกนของทอรรอยด์ ให้นิ้วทั้งสี่ส่วนตามทิศของกระแสไฟฟ้า นิ้วหัวแม่มือจะชี้ทิศของสนามแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กภายในทอรรอยด์มีค่าไม่สม่ำเสมอ โดยสนามแม่เหล็กที่ขอบด้านในมีค่าสูงกว่าสนามแม่เหล็กที่ขอบด้านนอกปัจจุบันมีการนำหลักการของทอรรอยด์ไปสร้างสนามแม่เหล็กในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ขั้นสูง เช่น ใช้ในเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ฟิวชัน (Fusion Nuclear Reaction) ที่เรียกว่า โทคามัค (tokamak) คาดว่าเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์ฟิวชันจะเป็นแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าที่สำคัญในอนาคต

$$B = \frac{\mu_o n I}{2\pi a}$$

โดยที่

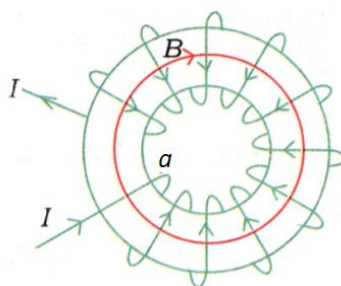
$\vec{B}$ คือ สนามแม่เหล็ก (T)

μ_o คือ สภาพซึมซาบได้ของสนามแม่เหล็กในสุญญากาศ ($\mu_o = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$)

n คือ จำนวนรอบของขดลวด

I คือ กระแสไฟฟ้า (A)

a คือ รัศมีขดลวด



ภาพที่ 2.21 สนามแม่เหล็กจากกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดทอรรอยด์

แม่เหล็กไฟฟ้ามีประโยชน์มากมาย ใช้หลักการที่แม่เหล็กดูดแผ่นโลหะเมื่อวางวงจรปิดซึ่งเป็นการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล เช่น พลังงานเสียง

1. ออดไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดเสียงจากกระแสดัง แผ่นโลหะจะถูกดูดโดยแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้จุดสัมผัสแยกออก มีผลให้กระแสที่เข้ามายังแม่เหล็กไฟฟ้าหยุดไหล ดังนั้นแผ่นโลหะจึงดีดกลับ เกิดขึ้นเช่นนี้เรื่อย ๆ มีผลให้แผ่นโลหะสั่นเกิดเสียงอดขึ้น ในกระดิ่งไฟฟ้ามีค้อนติดกับแผ่นโลหะใกล้กับกระดิ่งเมื่อแผ่นโลหะสั่นค้อนก็จะเคาะกระดิ่ง



ภาพที่ 2.22 ออดไฟฟ้า

2. ปั่นจั่น เป็นการประยุกต์ใช้หลักการของแม่เหล็กไฟฟ้าไปใช้เป็นเครื่องมือสำหรับยกของจำพวกโลหะ ใช้สำหรับดูดเศษเหล็กจากเศษโลหะอื่น ๆ เมื่อต้องการใช้ก็เปิดสวิตช์ ทำให้เหล็กที่เป็นแกนของขดลวดเป็นแม่เหล็กดูดเศษเหล็กได้ และเมื่อใช้เสร็จก็ปิดสวิตช์ แกนเหล็กก็จะไม่เป็นแม่เหล็ก ปล่อยเศษเหล็กให้หลุดลงมา



ภาพที่ 2.23 ปั่นจั่นไฟฟ้า

3. หูฟัง เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นคลื่นเสียง ใช้แม่เหล็กถาวรดูดแผ่นไดอะแฟรม ความแรงของแรงดึงดูดเปลี่ยนไปตามการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าในขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า แผ่นไดอะแฟรมจะสั่นทำให้เกิดเสียง



ภาพที่ 2.24 ไดอะแฟรมของหุฟิง

4. รถไฟความเร็วสูง เป็นรถไฟที่มีแม่เหล็กไฟฟ้าติดอยู่ข้างใต้ซึ่งเคลื่อนที่ ไปบนรางที่มีแม่เหล็กไฟฟ้า แม่เหล็กผลักซึ่งกันและกันทำให้รถไฟลอยเหนือราง เป็นการลดแรงเสียดทานระหว่างรถไฟและราง ทำให้เคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น



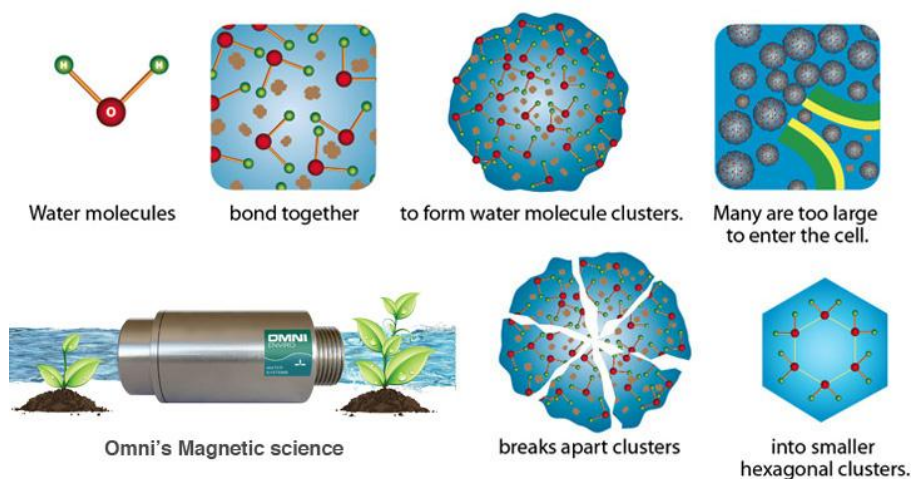
ภาพที่ 2.25 รถไฟความเร็วสูง

2.1.13 น้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก

น้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก หรือน้ำแมกเนติก คือ น้ำที่ผ่านพลังงานจากคลื่นสนามแม่เหล็กถาวรนีโอไดเนียม 4600 เกาส์ เพื่อช่วยกำจัดจุลินทรีย์ขนาดเล็กและปรับเปลี่ยนค่าความเป็นกรด – ด่างของน้ำเพิ่มปริมาณแร่ธาตุและระดับออกซิเจนในน้ำ ปรับโมเลกุลเป็นอนุภาคเล็กเพื่อให้น้ำกลายเป็นน้ำมีคุณภาพมากขึ้น ถ้านำน้ำมาผ่านสนามแม่เหล็ก ความหนาแน่น 4600 เกาส์ (Magnetic Field) ซึ่งพลังงานแม่เหล็กจะทำให้โครงสร้าง (Structure) ทางกายภาพของน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลง แต่คุณสมบัติทางเคมีของน้ำไม่เปลี่ยน โมเลกุลยังคงเป็นไฮโดรเจน (Hydrogen) 2 อะตอมกับออกซิเจน (Oxygen) 1 อะตอมเหมือนเดิม แต่เกิดการจับกลุ่มที่มีโครงสร้างจำนวนโมเลกุลน้ำ (H_2O) น้อยลงที่เคยเกาะเป็นกลุ่มละ 14 โมเลกุล เช่นน้ำประปา จะลดลงมาเหลือเพียง 6 โมเลกุล

ต่อ 1 กลุ่ม ซึ่งเราเรียกน้ำที่มีกลุ่มขนาดเล็กกะทัดรัดนี้ว่า น้ำกลุ่มเล็ก (Micro cluster Water) เมื่อโมเลกุลของน้ำจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ ทำให้มันผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ทั้งเข้าไปและออกมาตามอวัยวะต่าง ๆ ของมนุษย์และสัตว์ รวมทั้งผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของพืชได้ง่าย สามารถนำพาสารอาหารรวมทั้งออกซิเจนเข้าไปในเซลล์ และนำเอาสารพิษกับของเสียจากการกระบวนการเผาผลาญออกมาจากเซลล์ได้สะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น

การที่โมเลกุลของน้ำจับตัวกันเป็นกลุ่มขนาดเล็ก และเรียงตัวกันใหม่ขนานไปตามแนวเดียวกันไม่แออัด มีระเบียบ นักวิทยาศาสตร์อธิบายว่าแรงตึงผิว จึงลดลงจาก 75 Dynes มาเป็น 45 Dynes บางครั้งลงมาถึง 36 Dynes การที่น้ำมีแรงตึงผิวต่ำ ทำให้สามารถละลายสารอาหารต่าง ๆ ได้ง่ายมากขึ้น (More Effective Solvent) พาไปให้เซลล์จนเพียงพอ ขณะเดียวกันของเสียในเซลล์ ก็สามารถละลายได้ง่ายในน้ำเช่นกัน



ภาพที่ 2.26 น้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก

2.1.13.1 การทำงานของน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก น้ำพลังงานสนามแม่เหล็กมีโครงสร้างขนาดเล็ก มีคุณสมบัติเข้าและออกเซลล์ค่อนข้างว่องไว โมเลกุลของน้ำ (H₂O) เมื่อถูกกระตุ้นด้วย ความถี่ของคลื่นแม่เหล็ก (Electromagnetic Vibration) จะทำให้โมเลกุลของน้ำจำนวนหนึ่งแตกตัวเป็นไอออน (Ion) ประกอบด้วย ไฮโดรเจนไอออน (H⁺) ประจุบวก กับ ไฮดรอกซิลไอออน (OH⁻) ประจุลบ H₂O → H⁺ + OH⁻ ไฮโดรเจนไอออน (H⁺) บางส่วนจะไปรวมตัวกับกลุ่มเกลือแร่ เช่น แคลเซียม กลายเป็นแคลเซียมไบคาร์บอเนต (Calcium Bicarbonate) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นด่าง (Alkaline) ทำให้น้ำมีค่า pH ประมาณ 7.6-8.5 ไฮดรอกซิลไอออน (OH⁻) นี้ถ้า 2 ตัวรวมกันจะเกิดเป็นน้ำ (H₂O) อีกครั้งกับออกซิเจนไอออน (O) OH⁻ + OH⁻ = H₂O + O⁻ ออกซิเจนไอออน (O⁻) นี้ จะมีอิเล็กตรอนประจุลบ ซึ่งทำหน้าที่หยุดวงจรอนุมูลอิสระ (Free Radical Cycle) บางครั้งจะรวมตัว

กันเองกลายเป็นก๊าซออกซิเจน (O_2) ละลายอยู่ในน้ำโดยอยู่ในวงล้อม ของกลุ่มโมเลกุลโครงสร้างเล็ก (Microcluster) ตัก O_2 ไว้ โดยมี Hydrogenbond เป็นตัวช่วยกัน ไฮโดรเจนไอออน (H^+) ซึ่งเป็นประจุบวก ถ้าวรวมกัน 2 ตัวจะกลายเป็นก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ละลายในน้ำหรือระเหยออกไปและบางครั้งรวมกับออกซิเจน (O_2) กลายเป็นน้ำ (H_2O) ความเป็นกรดจึงถือว่าเป็นนัยสำคัญ

2.1.13.2 อายุของน้ำที่ได้รับพลังงานสนามแม่เหล็ก การที่อายุของแต่ละคุณสมบัติมีช่วงเวลาสั้นไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นกับสภาพของสิ่งแวดล้อม ถ้าเก็บน้ำในตู้เย็น หรือเก็บในขวดที่เป็นแก้ว ปิดสนิท จะมีประสิทธิภาพอยู่ได้นาน การที่น้ำนั้นมีฤทธิ์เป็นด่าง เพราะเกิดจากเกลือแร่ แคลเซียมไบคาร์บอเนต (Calcium Bicarbonate) ดังได้กล่าวมาแล้ว แต่ขวดที่เป็นพลาสติกจะยอมให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึมผ่านเข้าไปและทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไบคาร์บอเนตซึ่งละลายอยู่ในน้ำ เกิดเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ซึ่งไม่ละลายในน้ำ จึงตกเป็นตะกอนและความเป็นด่างจะลดลง ขวดที่เป็นแก้วจึงเก็บน้ำให้คงมีประสิทธิภาพได้นานกว่าขวดพลาสติก โดยมีระยะเวลาคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

1. คุณสมบัติของการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ขึ้นอยู่กับอายุของไฮดรอกซิลไอออน (Hydroxyl Ion) ซึ่งจะอยู่ในน้ำได้ไม่เกิน 18 – 24 ชั่วโมง
2. ความเป็นด่าง (Alkaline Property) ซึ่งวัดค่าโดย pH ระดับที่ต้องการควรสูงเกินกว่า pH 7.4 จะอยู่ได้นาน 1-2 อาทิตย์
3. การมีโครงสร้างขนาดเล็ก (Microcluster หรือ Structured Water) คือ โมเลกุลของน้ำ 5-6 ตัว ต่อ 1 กลุ่ม (Cluster) จะอยู่ได้ประมาณ 1-3 เดือน

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธีรติ ศรีจันทร์ และคณะ (2554) ได้ทำงานวิจัยเรื่องการศึกษาผลของการบ่มต่อกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วนและคอนกรีตที่ใช้วัสดุประสาน ร่วม ปูนซีเมนต์ - ถั่วลอ่ย, ปูนซีเมนต์ - ผงฝุ่นหินปูน และ ปูนซีเมนต์ - ถั่วลอ่ย - ผงฝุ่นหินปูน การทดสอบได้ใช้ ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1, 3 และ 5 ตามมาตรฐาน ASTM C150 เพื่อศึกษาผลของความละเอียด และองค์ประกอบทางเคมีที่ต่างกันของปูนซีเมนต์ และใช้ถั่วลอ่ย ประเภท 2ก และ 2ข ตามมาตรฐาน ว.ส.ท.1014 เพื่อศึกษาผลของชนิดของถั่วลอ่ยผงฝุ่นหินปูนที่ใช้ในการทดสอบมีความละเอียด 5 ไมครอน สภาพการบ่มที่ใช้ในการทดสอบได้แก่การบ่มด้วย น้ำ และบ่มในอากาศ กำหนดให้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานโดยน้ำหนัก (w/b) เท่ากับ 0.35 และ 0.55 ในการศึกษา ได้ประเมินอิทธิพลของการบ่มต่อกำลังอัดของคอนกรีตโดยใช้ดัชนีวัดผลต่อการบ่ม (Curing Sensitivity Index, CSI) ซึ่ง เป็นอัตราส่วนของความแตกต่างด้านกำลังอัดของตัวอย่างที่บ่มในน้ำกับบ่มในอากาศเทียบกับกำลังอัดของตัวอย่างที่บ่มในน้ำ ในกรณีที่คอนกรีตมีค่า CSI สูงแสดงว่าการบ่มมีอิทธิพลต่อกำลังอัดของคอนกรีตนั้น ๆ สูงจาก

การศึกษาพบว่า การบ่มมีอิทธิพลอย่างมากต่อการพัฒนา กำลังอัดของคอนกรีต คอนกรีตที่ได้รับการบ่มน้ำจะมีกำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตที่บ่มใน อากาศ ผลการทดสอบพบว่าเมื่อเปรียบเทียบผลตามชนิดของปูนซีเมนต์พบว่าคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 5 จะมีผลต่อการบ่มมากที่สุด ในขณะที่คอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และ 3 มีค่า CSI ลดลงตามลำดับการใช้เถ้าลอยในคอนกรีตทำให้ CSI สูงขึ้น โดยเถ้าลอยประเภท 2ก จะมี CSI มากกว่าเถ้าลอยประเภท 2ข การใช้ผงฝุ่นหินปูนในคอนกรีตสามารถลด CSI ของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วนและคอนกรีตที่ใช้วัสดุประสานร่วมปูนซีเมนต์- เถ้าลอยได้

นพพร จิตบุต (2557) ศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิต่อการกำลังตรงศูนย์ของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้การแปรผันของตัวแปร คือ ระยะของเวลาหลังการไฟไหม้ระดับของอุณหภูมิและปริมาณเหล็กเสริม โดยทำการทดสอบเสาคอนกรีตตัวอย่างขนาด 0.15×0.15 เมตร ยาว 0.35 เมตร จำนวนทั้งสิ้น 28 ต้น กำลังอัดคอนกรีตระหว่าง 213-417 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรเหล็กเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร กำลังที่ จุดครากเท่ากับ 2891 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ระยะเวลาที่ทำการทดสอบหลังการไฟไหม้ที่หนึ่งสัปดาห์, 64 แปดสัปดาห์และสิบสองสัปดาห์ระดับอุณหภูมิที่ทำการทดสอบ 200°C , 300°C และ 400°C จำนวนเหล็กเสริม 4, 6 และ 8 เส้น ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักจะลดลงเมื่อระยะเวลาหลังการไฟไหม้มากขึ้น และกำลังรับ น้ำหนักจะลดลงเมื่อถูกเผาไฟที่อุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการลดลงของกำลังการรับน้ำหนักจะมากขึ้นเมื่อปริมาณ เหล็กในเสาลดลงผลการคำนวณสูงกว่าผลการทดสอบในทุกกลุ่มเฉลี่ย 15 เปอร์เซ็นต์

ปรีชา สะแลแม (2552) ได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับสัมประสิทธิ์กำลังอัดของคอนกรีตตามลักษณะการบ่ม งานถนนผิวจราจรแบบคอนกรีต ตามมาตรฐาน สท.- มถ.- 027 มาตรฐานงานผิวจราจรแบบคอนกรีต ของกรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่นได้กำหนดวิธีการบ่มคอนกรีตงานถนน 4 ลักษณะ คือ ใช้กระสอบป่านคลุมรดน้ำให้ชุ่ม ใช้น้ำขังเหนือผิวหน้าคอนกรีตไม่น้อยกว่า 5 เซนติเมตร ใช้ทรายสะอาดหนา 5 เซนติเมตรคลุมรดน้ำให้ชุ่ม และใช้น้ำยาบ่มคอนกรีต ตามมาตรฐาน ASTM C309-74 (Type 2) ฟันเคลือบทับผิวหน้าคอนกรีต 2 ชั้น ซึ่งจะ แตกต่างกับการบ่มคอนกรีตมาตรฐาน ที่ใช้วิธีการแช่น้ำตลอดอายุของการทดสอบ ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้มี วัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบและหาค่าสัมประสิทธิ์กำลังอัดของคอนกรีต ตามลักษณะการบ่ม ของงานถนนผิว จราจรแบบคอนกรีต กับกำลังอัดของคอนกรีตบ่มมาตรฐาน ผลการวิจัยสรุปได้ว่าลักษณะการบ่มทั้ง 4 ลักษณะ เมื่อทำการเปรียบเทียบกับบ่ม มาตรฐานกำลังอัดคอนกรีตที่อายุ 28 วันจะมีค่าต่ำกว่า โดยมีความแตกต่างร้อยละ 4.46 ถึงร้อยละ 8.14 ดังนั้น เพื่อให้ได้ค่ากำลังอัดคอนกรีตงานถนนตามที่ออกแบบไว้ควรมีค่ากำลังอัดคอนกรีตบ่มมาตรฐานที่อายุ 28 วัน เท่ากับกำลังอัดคอนกรีตที่ออกแบบคูณด้วยสัมประสิทธิ์สูงสุด 1.0814

อัมพรณดี ยูโซะ (2552) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิน้ำที่มีต่อกำลังอัดของคอนกรีต โดยการแปรผันอุณหภูมิน้ำที่ใช้ในการผสมดังนี้: 10 องศาเซลเซียส 25 องศาเซลเซียส 40 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับจากนั้นหล่อตัวอย่างทรงลูกบาศก์ขนาด 15X15X15 ลูกบาศก์เซนติเมตรแล้วนำไปบ่ม และทดสอบที่อายุการบ่ม 7 วัน 14 วันและ 28 วัน จากผลการทดสอบพบว่าอุณหภูมิน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตมีผล ต่อการพัฒนากำลังของคอนกรีตอย่างมีนัยสำคัญ โดยคอนกรีตที่ผสมด้วยน้ำที่มีอุณหภูมิสูงมีอัตราการพัฒนา กำลังอัดในช่วงอายุ 7 วันแรกสูงกว่าคอนกรีตที่ผสมด้วยน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำ ในทางกลับกันเมื่ออายุการบ่มเพิ่มสูง ขึ้น คอนกรีตที่ผสมด้วยน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำมีการพัฒนากำลังในอัตราที่สูงกว่าคอนกรีตที่ผสมด้วยน้ำที่มีอุณหภูมิสูง จากผลการทดสอบจะเห็นว่าอุณหภูมิน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตจะมีผลต่อการพัฒนาของคอนกรีต จะพบว่าการผสมคอนกรีตที่อุณหภูมิ 40,60 องศาเซลเซียส จะมีอัตราการของกำลังอัดมากกว่าในช่วง 1-7 วันแรก เนื่องด้วยการผสมน้ำที่อุณหภูมิสูงจะทำปฏิกิริยาเคมีกับปูนซีเมนต์ Hydration ได้เร็วกว่าอุณหภูมิที่ 10,25 องศาเซลเซียส ทำให้ได้อัตราการเพิ่มกำลังได้เร็ว ในช่วงระยะเวลาช่วงต้น แต่เมื่ออายุคอนกรีตมากขึ้นการผสมคอนกรีตที่อุณหภูมิ 10,25 องศาเซลเซียสกว่าจะมีอัตราการเพิ่มของกำลังอัดมากกว่า การผสมที่อุณหภูมิ 40,60 องศาเซลเซียสเนื่องด้วยการผสมน้ำอุณหภูมิน้อยจะช่วยลดอุณหภูมิในคอนกรีต ทำให้กำลังอัดที่ได้เพิ่มขึ้นกว่าคอนกรีตผสมน้ำที่อุณหภูมิสูง

อารง มะแข็ง (2552) ได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาผลกระทบของกำลังอัดคอนกรีตในระยะเวลาก่อตัวช่วงสุดท้าย โดยนำคอนกรีตที่กำลังอัด 230, 300 และ 370 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามที่ออกแบบไว้มาผสมให้มีความสามารถเทได้ 10 ± 2.0 เซนติเมตรเก็บตัวอย่างจำนวน 108 ตัวอย่างทดสอบหาลำลังอัด เพื่อเป็นค่ามาตรฐานในการเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ทิ้งไว้แล้วนำมาผสมใหม่ให้มีความสามารถเทได้เท่าเดิม คอ 10 ± 2.0 เซนติเมตรแล้วนำคอนกรีตนั้นมาผสมใหม่ทุก ๆ 30 นาที 45 นาทีและ 60 นาทีจากเวลาที่ผสมคอนกรีต เริ่มต้นจนแล้วเสร็จบันทึกปริมาณน้ำที่เพิ่มเพื่อให้มีความสามารถเทได้ตามที่กำหนดในแต่ละช่วงเวลานำ ตัวอย่างคอนกรีตมาทดสอบความสามารถในการรับกำลังอัดที่อายุการบ่ม 7 วัน 14 วันและ 28 วันนำผลมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่าการนำคอนกรีตมาผสมใหม่โดยการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และควบคุมเพื่อให้มีความสามารถเทได้ตามที่กำหนด 10 ± 2.0 เซนติเมตรตามที่ออกแบบไว้ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีตลดลงเหลือร้อยละ 82.46 หรือกำลังลดลงที่ร้อยละ 17.54

อุดมวิทย์ ไชยสกุลเกียรติ และ อรรถพล มาลัย (2558) การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการใช้หินฝุ่นแทนทรายในงานมอร์ตาร์ผสมเถ้าถ่านหิน เพื่อพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์โดยใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และหินฝุ่นแทนทรายร้อยละ 80, 90, 100 โดยนำหนักแล้วจึงทดสอบกำลังอัดที่อายุการบ่ม 1, 3, 7, 21 และ 28 วันผลการทดสอบกำลังอัดมอร์ตาร์ดังกล่าวพบว่า

มอร์ตาร์ที่ผสมหินฝุ่นและเถ้าถ่านหินจะมีความสามารถรับแรงอัดได้ดีกว่ามอร์ตาร์มาตรฐานอย่างไรก็ตามกำลังอัดของมอร์ตาร์จะลดลงตามสัดส่วนเถ้าถ่านหิน จากการศึกษาผลกระทบกำลังอัดมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าถ่านหินและหินฝุ่นแทนทราย จะพบว่าเมื่อใช้ฝุ่นแทนที่ในปริมาณสูงยังมีผลแปรผันทำให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์สูงตาม เนื่องจากหินฝุ่นเกิดจากเศษหินย่อยซึ่งมีความแข็งกว่าทรายมาก และเมื่อนำหินฝุ่นย่อยมาผสมทรายบางส่วนจะทำให้ขนาดผลของมวลรวมละเอียดดีขึ้น หากแต่เมื่อการผสมเถ้าถ่านหินแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 จะเป็นการลดปริมาณปูนซีเมนต์ลงไป เถ้าถ่านหินเป็นสารจำพวกปอซโซลานจึงช่วยพัฒนากำลังอัดได้ในระยะเวลานานเกินกว่า 28 วัน

กรกฤต คำชุ่ม (2552) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของสนามแม่เหล็กต่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและค่าความกระด้าง พบว่าสนามแม่เหล็กขนาด 1000 เกาส์ มีผลต่อการละลายของออกซิเจนเล็กน้อย เมื่อผ่านท่อทำให้มีปริมาณออกซิเจนละลายเพิ่มขึ้น 17.4% ในน้ำที่มีค่า DO สูงอยู่แล้ว และ 19.35-24.2% ในน้ำที่มีค่า DO ต่ำ ผลต่อการเติมอากาศยิ่งน้อยกว่า โดยเมื่อนำตัวอย่างทั้งที่ผ่านท่อและไม่ผ่านท่อมาเติมอากาศจะได้ DO ใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 7-8 มิลลิกรัม/ลิตร ในน้ำที่มีค่า DO สูง และประมาณ 5.4 มิลลิกรัม/ลิตร

ณัทภา จันทรโสม, ณัฐฉมิ สุวรรณทา และ วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล ได้ทำการศึกษาการกระตุ้นด้วยสนามแม่เหล็กถาวรที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของถั่วงอก โดยการทดลองเปรียบเทียบกลุ่มเมล็ดถั่วงอกควบคุมสายพันธุ์ชยันนาท-72 ที่ไม่ได้รับการกระตุ้น และกลุ่มเมล็ดทดลองที่ได้รับการกระตุ้นด้วยสนามแม่เหล็กถาวรขนาด 1.6 เทสลา เป็นระยะเวลา 15 30 45 และ 60 นาที ก่อนการเพาะปลูกแบบปกติ ผลของการกระตุ้นด้วยสนามแม่เหล็กพบว่า เมล็ดถั่วงอกที่ได้รับการกระตุ้นด้วยสนามแม่เหล็กถาวรระยะเวลานาน 45 นาที มีอัตราการเจริญเติบโตหรือน้ำหนักเฉลี่ยเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 24.82

สุรพงษ์ ยศพล (2548) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีต่อถั่วงอก, กระเจี๊ยบเขียว และกวางตุ้ง โดยการรดน้ำแบบผ่านสนามแม่เหล็ก และไม่ผ่านสนามแม่เหล็ก ผลการทดลองพืชกลุ่มแรกที่ปลูกไว้ในบริเวณที่มีเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กและรดน้ำผ่านสนามแม่เหล็กมีการเจริญเติบโตดีกว่ากลุ่มที่สอง และสาม กลุ่มที่สองที่ปลูกไว้ในบริเวณที่มีเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กและรดน้ำไม่ผ่านสนามแม่เหล็กมีการเจริญเติบโตได้ดีกว่ากลุ่มสาม กลุ่มที่สามที่ปลูกไว้ในบริเวณที่ไม่มีเครื่องกำเนิดสนามแม่เหล็กและรดน้ำไม่ผ่านสนามแม่เหล็ก มีการเจริญเติบโตน้อยที่สุด

คำหล้า แสงรัศมี (2558) ทำการศึกษาลักษณะของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กคงที่ต่ออัตราการงอก และการเจริญเติบโตของต้นข้าวเจ้าแดง จาก สปป ลาว โดยศึกษาถึงค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กช่วงเวลาที่เหมาะสมในการอบเมล็ดข้าว เมื่อนำเอาเมล็ดข้าวตัวอย่างไปอบในสนามไฟฟ้าที่ 0.5, 1 และ 5 kV/m ในเวลา 1, 5, 10, 20 และ 30 นาที ตามลำดับ ความ

เข้มสนามแม่เหล็กที่ 10, 20 และ 40 mT ในเวลา 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 และ 80 นาที ตามลำดับ และอาบทั้งสนามไฟฟ้าที่ 1 kV/m และสนามแม่เหล็กที่ 20 mT ในเวลาอาบ 1, 5, 10, 20, 30 และ 60 นาที ตามลำดับ อาบในสนามแม่เหล็กคงที่ 20 mT และสนามไฟฟ้า 0.5, 1 และ 1.5 kV/m ในเวลาอาบ 10 นาที ตามลำดับ และอาบในสนามไฟฟ้าคงที่ 1 kV/m ที่สนามแม่เหล็ก 5, 10, 15, 20 และ 25 mT ในเวลาอาบ 10 นาที ตามลำดับ การคำนวณหาตัวชี้วัดประสิทธิภาพของการงอกและการเจริญเติบโตของต้นข้าวได้แก่ ดัชนีการงอก ร้อยละการงอกสุดท้าย การเจริญเติบโตของต้นข้าวและดัชนีความแข็งแรง พบว่าสำหรับสนามไฟฟ้าได้ช่วงเวลาอาบและค่าความเข้มที่เหมาะสมคือ 10 นาทีและ 1 kV/m ซึ่งทำให้เมล็ดข้าวมีดัชนีการงอกร้อยละการงอกสุดท้าย การเจริญเติบโตและดัชนีความแข็งแรงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมเพิ่มขึ้นถึง $6\pm 2\%$, $8\pm 1\%$, $20\pm 3\%$ และ $25\pm 3\%$ ตามลำดับ สำหรับสนามแม่เหล็กได้ช่วงเวลาอาบและค่าความเข้มที่เหมาะสมคือ 60 นาทีและ 20 mT ซึ่งทำให้เมล็ดข้าวมีดัชนีการงอกร้อยละการงอกสุดท้าย การเจริญเติบโตของต้นข้าวและดัชนีความแข็งแรงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมเพิ่มขึ้นถึง $8\pm 4\%$, $8\pm 5\%$, $13\pm 6\%$ และ $22\pm 5\%$ ตามลำดับ สำหรับการอาบทั้งสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กพร้อมกันได้ช่วงเวลาอาบและค่าความเข้มสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่เหมาะสมคือ 10 นาที และ 1 kV/m และ 15 mT ซึ่งทำให้ต้นข้าวมีการเจริญเติบโตและดัชนีความแข็งแรง เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมเพิ่มขึ้นถึง $6\pm 1\%$ และ $5\pm 1\%$ ตามลำดับ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบ การดำเนินการ และการทดสอบ ซึ่งการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการบ่มคอนกรีตโครงสร้างเพื่อเพิ่มกำลังอัดแบบแรงด่วน โดยการใช้พลังงานสนามแม่เหล็ก โดยแบ่งหัวข้อการศึกษาค้นคว้าดังนี้

1. การออกแบบระบบน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก
2. การออกแบบการทดลองผลของน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก ที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตโครงสร้าง

3.1 การออกแบบระบบน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบการสร้างน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก โดยใช้คุณสมบัติของแท่งแม่เหล็ก 3 ชนิด คือ แม่เหล็กเฟอร์ไรท์ (Ferrite) แม่เหล็กนีโอไดเมียม (Neodymium) และแม่เหล็กแรงสูงทนความร้อนชามาเรียม (Samarium) โดยแม่เหล็กแรงสูงแต่ละชนิด จะมีความเข้มของค่าสนามแม่เหล็กที่ไม่เท่ากัน โดยแม่เหล็กแต่ละชนิดมีความเข้มสนามแม่เหล็ก ดังนี้

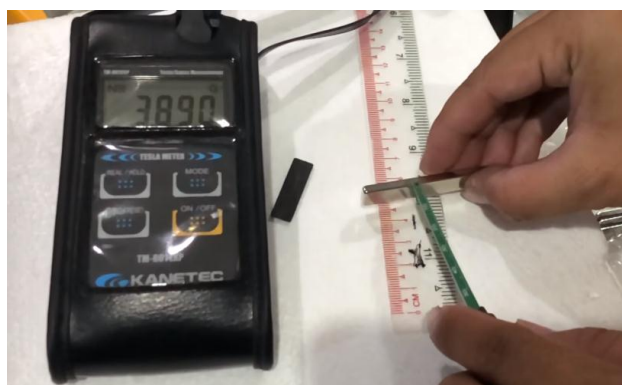
- แม่เหล็กเฟอร์ไรท์ มีความเข้มสนามแม่เหล็กประมาณ 800-1,000 G
- แม่เหล็กนีโอไดเมียม มีความเข้มสนามแม่เหล็กอยู่ประมาณ 1,500-2,900 G
- แม่เหล็กชามาเรียม มีความเข้มสนามแม่เหล็กอยู่ประมาณ 1,900-3,900 G



ภาพที่ 3.1 ตัวอย่างความเข้มสนามแม่เหล็กเฟอร์ไรท์



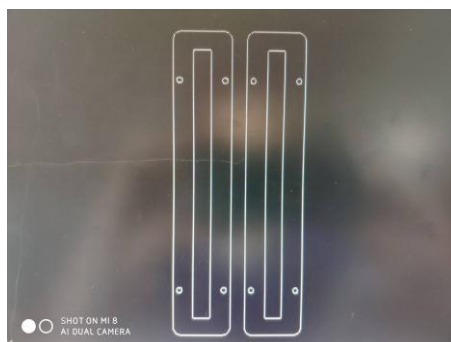
ภาพที่ 3.2 ตัวอย่างความเข้มสนามแม่เหล็กนิโอไดเมียม



ภาพที่ 3.3 ตัวอย่างความเข้มสนามแม่เหล็กซามาเรียม

หลักการในการทำน้ำพลังงานสนามแม่เหล็กคือ การนำน้ำไหลผ่านแม่เหล็กแรงสูงที่เตรียมไว้ โดยนำแม่เหล็กแรงสูงทั้ง 3 ชนิด ใส่ในแผ่นอะคลิลิกที่เตรียมไว้ แล้วนำไปประกบกับสายยางที่ใช้รดน้ำ โดยให้ด้านหนึ่งของแผ่นอะคลิลิกเป็นขั้วเหนือ และอีกด้านเป็นขั้วใต้ เพื่อให้น้ำไหลผ่านสนามแม่เหล็กนั่นเอง โดยมีขั้นตอนการออกแบบตัวสร้างพลังงานสนามแม่เหล็กด้วยแม่เหล็ก 3 ชนิด ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ออกแบบด้วยโปรแกรม AutoCAD



ภาพที่ 3.4 การออกแบบแผ่นอะคลิลิกด้วยโปรแกรม AutoCAD



ภาพที่ 3.8 แผ่นอะคลิลิกที่ตัดด้วยเครื่อง CNC แล้ว

ขั้นตอนที่ 4 นำแม่เหล็กทั้ง 3 ชนิด ประกบด้วยแผ่นอะคลิลิก แล้วนำมาประกบกันโดยหันขั้วเหนือเข้ากับขั้วใต้ โดยเว้นช่องว่างสำหรับวางในภาชนะที่ใช้บ่มคอนกรีต



ภาพที่ 3.9 ตัวอย่างแม่เหล็กในแผ่นอะคลิลิก

3.2 การออกแบบการทดลองปัจจัยที่เหมาะสมในการบ่มคอนกรีตโครงสร้างเพื่อเพิ่มกำลังอัดแบบแรงด่วน โดยการใช้ไฟฟ้าพลังงานสนามแม่เหล็ก

การทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมในการบ่มคอนกรีตโครงสร้างเพื่อเพิ่มกำลังอัดแบบแรงด่วน โดยการใช้ไฟฟ้าพลังงานสนามแม่เหล็ก เป็นการทดสอบการกำลังรับแรง (Strength) ที่สามารถรับได้สูงสุดของลูกปูนทดสอบ โดยทำการทดสอบลูกปูนทรงลูกบาศก์ ขนาด 15 ซม x 15 ซม x 15 ซม บ่มน้ำพลังงานสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ต่างกัน 3 ค่า อันได้แก่ แม่เหล็กเฟอร์ไรท์ มีความเข้มสนามแม่เหล็กประมาณ 800-1,000 G, แม่เหล็กนีโอไดเมียม มีความเข้มสนามแม่เหล็กอยู่ประมาณ 1,500-2,900 G และแม่เหล็กขามาเรียม มีความเข้มสนามแม่เหล็กอยู่ประมาณ 1,900-3,900 G ทำการบ่มและเก็บผลการทดสอบที่ 7 วัน, 14 วัน และ 28 วัน โดยมีลูกปูน

ทดสอบที่บ่มด้วยน้ำปกติเป็นตัวแปรควบคุม และทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบรับแรงอัด (Compression Machine) ที่สามารถให้กำลังอัด 20 ตัน

จากนั้นทำการออกแบบตารางการทดลองเพื่อเก็บการทดลองผลของน้ำปล้งงานสนามแม่เหล็ก ที่มีผลต่อการบ่มคอนกรีตโครงสร้างเพื่อเพิ่มกำลังอัดแบบเร่งด่วน ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงตารางเก็บผลของกำลังรับแรงอัดของลูกปูนทดสอบ

ทรีทเมนต์	Strength (kN/cm^2) ณ เวลาการบ่มต่างๆ		
น้ำปกติ	7 วัน	14 วัน	28 วัน
W1			
W2			
W3			
เฉลี่ย (kN/cm^2)			

ทรีทเมนต์	Strength (kN/cm^2) ณ เวลาการบ่มต่างๆ		
แม่เหล็กเฟอร์ไรท์	7 วัน	14 วัน	28 วัน
F1			
F2			
F3			
เฉลี่ย (kN/cm^2)			

ทรีทเมนต์	Strength (kN/cm^2) ณ เวลาการบ่มต่างๆ		
แม่เหล็กนีโอไดเมียม	7 วัน	14 วัน	28 วัน
N1			
N2			
N3			
เฉลี่ย (kN/cm^2)			

ทรีทเมนต์	Strength (kN/cm^2) ณ เวลาการบ่มต่างๆ		
แม่เหล็กขามาเรียง	7 วัน	14 วัน	28 วัน
S1			
S2			
S3			
เฉลี่ย (kN/cm^2)			

จากนั้นทำการสรุปค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของลูกปูนทดสอบในการทดสอบที่ 7 วัน, 14 วัน และที่ 28 วัน พร้อมเขียนกราฟเพื่อดูแนวโน้มและหาค่าสมการการรับแรงอัด ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของลูกปูนทดสอบที่การบ่ม 7 วัน, 14 วัน และ 28 วัน

7วัน	W (A7)	F (A7)	N (A7)	S (A7)
ค่าเฉลี่ย (kN/cm^2)				

14วัน	W (A14)	F (A14)	N (A14)	S (A14)
ค่าเฉลี่ย (kN/cm^2)				

28วัน	W (A28)	F (A28)	N (A28)	S (A28)
ค่าเฉลี่ย (kN/cm^2)				

3.3 การออกแบบอัตราส่วนผสมและจำนวนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ

อัตราส่วนผสมคอนกรีตคือ 1 : 2 : 4 มีวัสดุผสมดังนี้ ปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน โดยมีจำนวนลูกปูนทดสอบตามทรีทเมนต์ต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 จำนวนลูกปูนทดสอบตามทรีทเมนต์ต่าง ๆ

วัน	น้ำปกติ	แม่เหล็กเฟอร์ไรท์	แม่เหล็กนีโอไดเมียม	แม่เหล็กขามาเรียม
7วัน	(W7)3 ลูก	(F7)3 ลูก	(N7)3 ลูก	(S7)3 ลูก
14วัน	(W14)3 ลูก	(F14)3 ลูก	(N14)3 ลูก	(S14)3 ลูก
28วัน	(W28)3 ลูก	(F28)3 ลูก	(N28)3 ลูก	(S28)3 ลูก

3.4 ขั้นตอนการทดสอบ

3.4.1 ทดสอบหาค่ายุบตัวของคอนกรีต (Slump Test)

ค่ายุบตัวของคอนกรีต (Slump) ควรมีพอเพียงสำหรับการเทคอนกรีตเข้าแบบ และสามารถอัดให้แน่นได้โดยไม่เป็นโพรง ซึ่งค่ายุบตัวของคอนกรีตสำหรับงานประเภทต่าง ๆ จะมีความแตกต่างกัน ตามลักษณะ ความซับซ้อนของโครงสร้าง ซึ่งค่าการยุบตัวที่เหมาะสมตามข้อกำหนด วสท. ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ค่ายุบตัวที่เหมาะสมสำหรับคอนกรีตโครงสร้างประเภทต่าง ๆ ตามข้อกำหนดของ วสท.

ประเภทของโครงสร้าง	ค่าการยุบตัว (ซม.)	
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
งานฐานราก กำแพง คอนกรีตเสริมเหล็ก	8.0	2.0
งานฐานรากคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก งานก่อสร้างใต้น้ำ	8.0	2.0
งานพื้น คาน และผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก	10.0	2.0
งานเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	10.0	2.0
งานพื้นถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก	8.0	2.0
งานคอนกรีตขนาดใหญ่	5.0	2.0

การทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต (Slump Test) ใช้เพื่อทดสอบหาค่าความชันเหลวของคอนกรีตหรือความสามารถเทได้ เพื่อทดสอบปริมาณการใช้น้ำในการผสมคอนกรีต โดยใช้วิธีการทดสอบหาค่าการยุบตัว เป็นดังนี้

3.4.1.1 เมื่อผสมคอนกรีตที่ใช้ปริมาณน้ำที่ต้องการเรียบร้อยแล้ว ใส่คอนกรีตที่จะทดสอบลงในแบบประมาณ 1/3 หรือ ประมาณ 10 เซนติเมตรของปริมาตรแบบทดสอบ แล้วใช้เหล็กกระทุ้งกระทุ้งให้ทั่วผิวของ คอนกรีตในแบบ จำนวน 25 ครั้ง ดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 ทดสอบหาค่ายุบตัวของคอนกรีต Slump Test

3.4.1.2 ใช้แท่งเหล็กปาดขอบผิวบนของแบบจนคอนกรีตเรียบ จับที่หูยกแล้วยกแบบขึ้นตามแนวตั้ง ระวังอย่าให้กระทบเนื้อคอนกรีตภายใน วัดระยะที่ยุบตัวของ คอนกรีต เทียบกับระยะความสูงของแบบ ดังภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 ทดสอบหาค่ายุบตัวของคอนกรีต Slump Test

3.4.2 การหล่อลูกปูนทดสอบ

3.4.2.1 ผสมคลุกเคล้าเข้าด้วยกันในอัตราส่วนที่พอเหมาะ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเคลือบหรือหุ้มผิวของมวลรวมทั้งหมดด้วยซีเมนต์เพสต์ และเพื่อผสมส่วนผสมทั้งหมดให้เป็นเนื้อเดียวกัน ดังภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 ผสมส่วนผสม

3.4.2.2 ใส่คอนกรีตที่จะทดสอบลงในแบบประมาณ $1/3$ หรือประมาณ 5 เซนติเมตรของปริมาตรแบบหล่อ แล้วใช้เหล็กกระทุ้ง กระทุ้งให้ทั่วผิวของคอนกรีตในแบบ จำนวน 25 ครั้ง ดังภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 ลูกปูนทดสอบ

3.4.3 การบ่มคอนกรีต

การบ่มคอนกรีต คือวิธีการที่ช่วยให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของคอนกรีต เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะส่งผลต่อการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีต ความสำคัญของการบ่มคอนกรีตมีด้วยกัน 2 ประการ คือ ป้องกันการสูญเสียความชื้นจากเนื้อคอนกรีตและเพิ่มความชื้นให้กับคอนกรีต โดยในการทดสอบนี้ใช้การบ่มคอนกรีตด้วยการแช่น้ำที่มีค่าความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 3.14



ภาพที่ 3.14 การบ่มลูกปูนทดสอบด้วยน้ำ ที่มีค่าความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกัน

3.4.4 ทดสอบกำลังรับแรงอัด

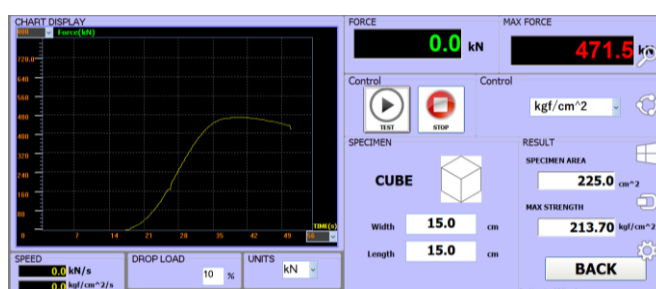
การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต คือการนำลูกทดสอบที่ครบกำหนดระยะเวลาการบ่มมาทำทดสอบด้วยเครื่อง Compressive Machine เพื่อนำผลที่ได้จากการทดสอบไปคำนวณหาค่าเพคเตอร์กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต มีขั้นตอนดังนี้

3.4.4.1 วางลูกปูนทดสอบลงบนเครื่องกด Compressive Machine โดยวางให้อยู่แนวศูนย์กลางของแท่นกดและเพิ่มแรงกระทำกับลูกทดสอบ อย่างต่อเนื่องด้วยความเร็วสม่ำเสมอ จนถึงแรงกดสูงสุด ดังภาพ 3.15



ภาพที่ 3.15 นำลูกปูนเข้าเครื่องทดสอบ Compressive Machine

3.4.4.2 บันทึกค่าแรงอัดสูงสุดที่ได้จากการทดสอบ ดังภาพที่ 3.16



ภาพที่ 3.16 ค่าแรงอัดสูงสุดที่ได้จากการทดสอบ

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองปัจจัยที่เหมาะสมในการบ่มคอนกรีตโครงสร้างเพื่อเพิ่มกำลังอัดแบบเร่งด่วน โดยการใช้ น้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก ดังที่ได้จากการออกแบบไว้ในบทที่ 3 โดยแบ่งหัวข้อดังนี้

1. ผลการทดลองปัจจัยที่เหมาะสมในการบ่มคอนกรีตโครงสร้างเพื่อเพิ่มกำลังอัดแบบเร่งด่วน โดยการใช้ น้ำปกติ (ตัวแปรควบคุม)
2. ผลการทดลองปัจจัยที่เหมาะสมในการบ่มคอนกรีตโครงสร้างเพื่อเพิ่มกำลังอัดแบบเร่งด่วน โดยการใช้ น้ำพลังงานสนามแม่เหล็กเฟอร์ไรท์
3. ผลการทดลองปัจจัยที่เหมาะสมในการบ่มคอนกรีตโครงสร้างเพื่อเพิ่มกำลังอัดแบบเร่งด่วน โดยการใช้ น้ำพลังงานสนามแม่เหล็กแม่เหล็กนีโอไดเมียม
4. ผลการทดลองปัจจัยที่เหมาะสมในการบ่มคอนกรีตโครงสร้างเพื่อเพิ่มกำลังอัดแบบเร่งด่วน โดยการใช้ น้ำพลังงานสนามแม่เหล็กแม่เหล็กซามาเรียม

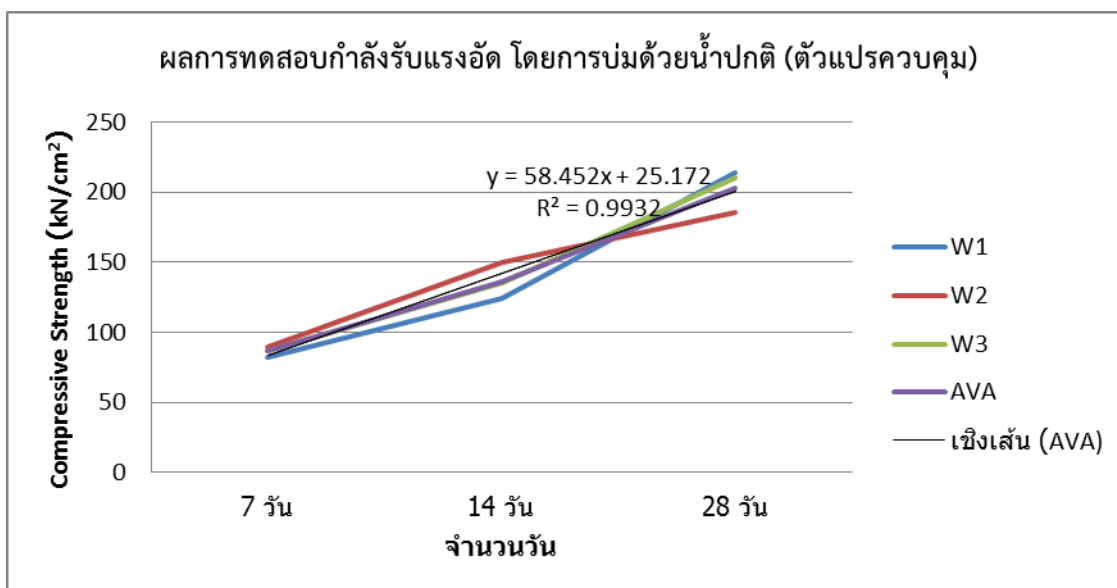
4.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด

4.1.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยการใช้ น้ำปกติ (ตัวแปรควบคุม)

จากผลการทดสอบการบ่มแบบแช่น้ำ โดยทำการทดสอบลูกบุนทดสอบทั้งหมด 3 ลูก และทดสอบการบ่มด้วยน้ำที่ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน พบว่า ค่าเฉลี่ยของการบ่มแบบแช่น้ำที่ 7 วัน เท่ากับ 86.41 kN/cm^2 ที่ 14 วันเท่ากับ 136.50 kN/cm^2 และที่ 28 วันเท่ากับ 203.32 kN/cm^2 โดยสมการที่สามารถหาได้จากกราฟการทดสอบด้วยการบ่มแบบแช่น้ำมีค่าเท่ากับ $y = 58.45x + 25.17$ และ R^2 มีค่าเท่ากับ 0.9932 ดังตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยการใช้ น้ำปกติ (ตัวแปรควบคุม)

ทรีทเมนต์	Strength (kN/cm^2) ณ เวลาการบ่มต่างๆ		
น้ำปกติ	7 วัน	14 วัน	28 วัน
W1	82.18	124.32	213.61
W2	89.93	149.64	185.66
W3	87.12	135.55	210.67
เฉลี่ย (kN/cm^2)	86.41	136.50	203.32



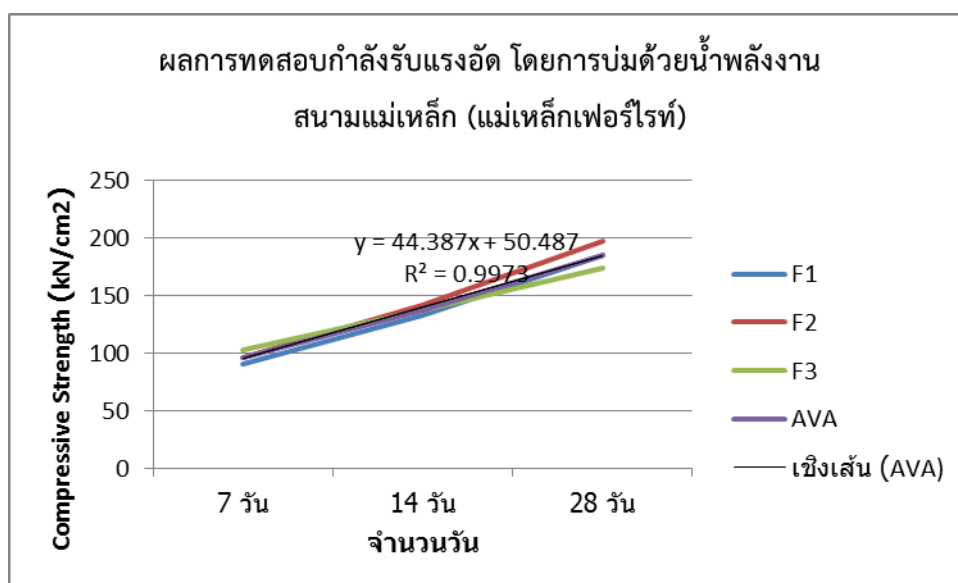
ภาพที่ 4.1 กราฟผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยการบ่มด้วยน้ำปกติ (ตัวแปรควบคุม)

4.1.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยการบ่มด้วยน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กเฟอร์ไรท์)

จากผลการทดสอบการบ่มแบบแช่น้ำ โดยทำการทดสอบลูกปูนทดสอบทั้งหมด 3 ลูก และทดสอบการบ่มด้วยน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กเฟอร์ไรท์) ที่ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน พบว่า ค่าเฉลี่ยของการบ่มแบบแช่น้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กเฟอร์ไรท์) ที่ 7 วันเท่ากับ 96.21 kN/cm^2 ที่ 14 วันเท่ากับ 136.59 kN/cm^2 และที่ 28 วันเท่ากับ 184.98 kN/cm^2 โดยสมการที่สามารถหาได้จากกราฟการทดสอบด้วยการบ่มแบบแช่น้ำมีค่าเท่ากับ $y = 44.39x + 50.49$ และ R^2 มีค่าเท่ากับ 0.9973 ดังตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยการบ่มด้วยน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กเฟอร์ไรท์)

ทรีทเมนต์	Strength (kN/cm^2) ณ เวลาการบ่มต่างๆ		
แม่เหล็กเฟอร์ไรท์	7 วัน	14 วัน	28 วัน
F1	90.25	132.08	184.72
F2	95.84	140.91	196.58
F3	102.53	136.79	173.64
เฉลี่ย (kN/cm^2)	96.21	136.59	184.98



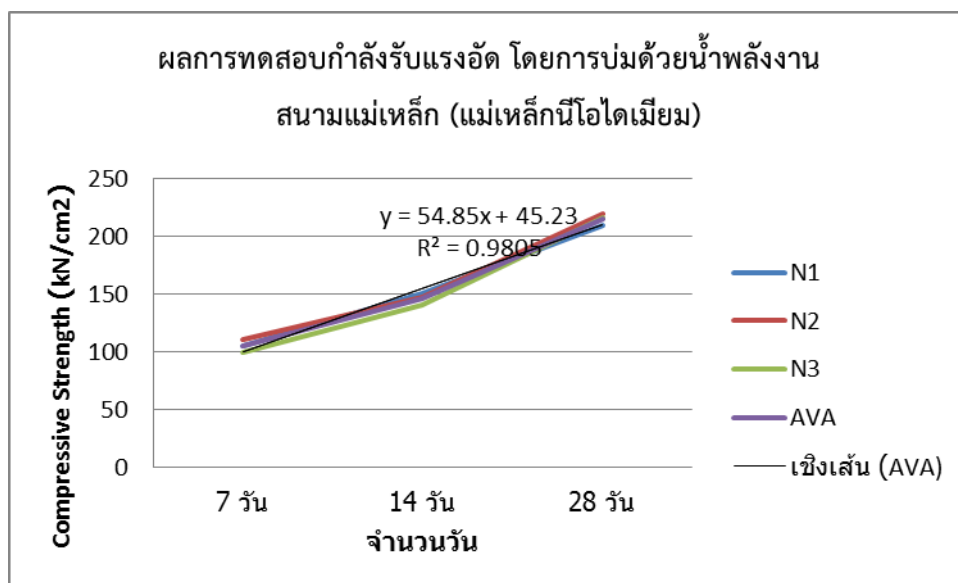
ภาพที่ 4.2 กราฟผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยการบ่มด้วยน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กเฟอร์ไรท์)

4.1.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยการบ่มด้วยน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กนีโอไดเมียม)

จากผลการทดสอบการบ่มแบบแช่น้ำ โดยทำการทดสอบลูกปูนทดสอบทั้งหมด 3 ลูก และทดสอบการบ่มด้วยน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กนีโอไดเมียม) ที่ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน พบว่า ค่าเฉลี่ยของการบ่มแบบแช่น้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กนีโอไดเมียม) ที่ 7 วันเท่ากับ 104.55 kN/cm^2 ที่ 14 วันเท่ากับ 145.99 kN/cm^2 และที่ 28 วันเท่ากับ 214.25 kN/cm^2 โดยสมการที่สามารถหาได้จากกราฟการทดสอบด้วยการบ่มแบบแช่น้ำมีค่าเท่ากับ $y = 54.85x + 45.23$ และ R^2 มีค่าเท่ากับ 0.9805 ดังตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยการบ่มด้วยน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กนีโอไดเมียม)

ทรีทเมนต์	Strength (kN/cm ²) ณ เวลาการบ่มต่างๆ		
แม่เหล็กนีโอไดเมียม	7 วัน	14 วัน	28 วัน
N1	104.65	150.78	208.76
N2	110.24	147.32	218.71
N3	98.76	139.87	215.28
เฉลี่ย (kN/cm ²)	104.55	145.99	214.25



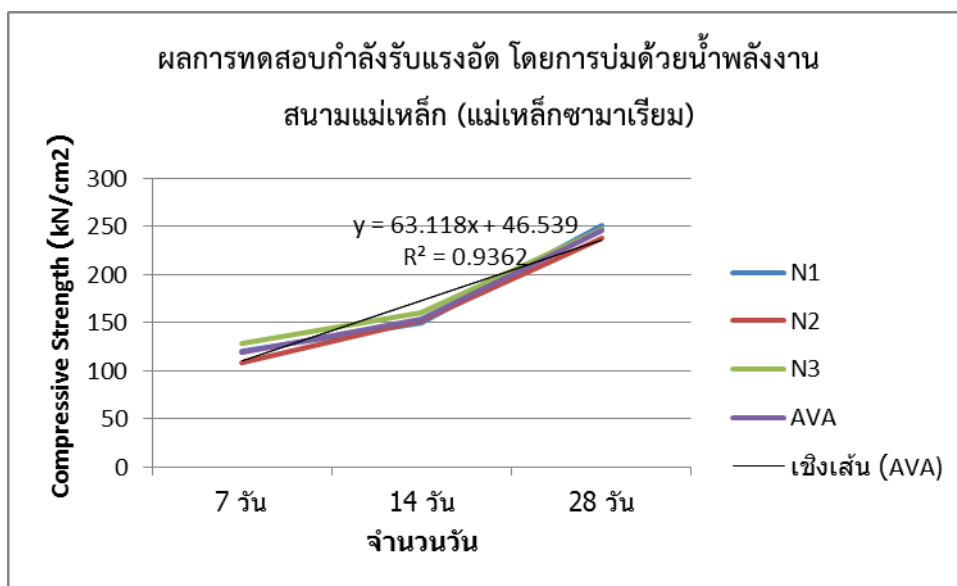
ภาพที่ 4.3 กราฟผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยการบ่มด้วยน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กนีโอไดเมียม)

4.1.4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยการบ่มด้วยน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กขามาเรียม)

จากผลการทดสอบการบ่มแบบแช่น้ำ โดยทำการทดสอบลูกปูนทดสอบทั้งหมด 3 ลูก และทดสอบการบ่มด้วยน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กขามาเรียม) ที่ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน พบว่า ค่าเฉลี่ยของการบ่มแบบแช่น้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กขามาเรียม) ที่ 7 วันเท่ากับ 119.17 kN/cm^2 ที่ 14 วันเท่ากับ 153.74 kN/cm^2 และที่ 28 วันเท่ากับ 245.41 kN/cm^2 โดยสมการที่สามารถหาได้จากกราฟการทดสอบด้วยการบ่มแบบแช่น้ำมีค่าเท่ากับ $y = 63.12x + 46.54$ และ R^2 มีค่าเท่ากับ 0.9362 ดังตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยการบ่มด้วยน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กขามาเรียม)

ทรีทเมนต์	Strength (kN/cm^2) ณ เวลาการบ่มต่างๆ		
แม่เหล็กขามาเรียม	7 วัน	14 วัน	28 วัน
S1	120.47	149.27	250.62
S2	108.54	152.18	238.12
S3	128.51	159.78	247.49
เฉลี่ย (kN/cm^2)	119.17	153.74	245.41



ภาพที่ 4.4 กราฟผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยการบ่มด้วยน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กขามาเรียง)

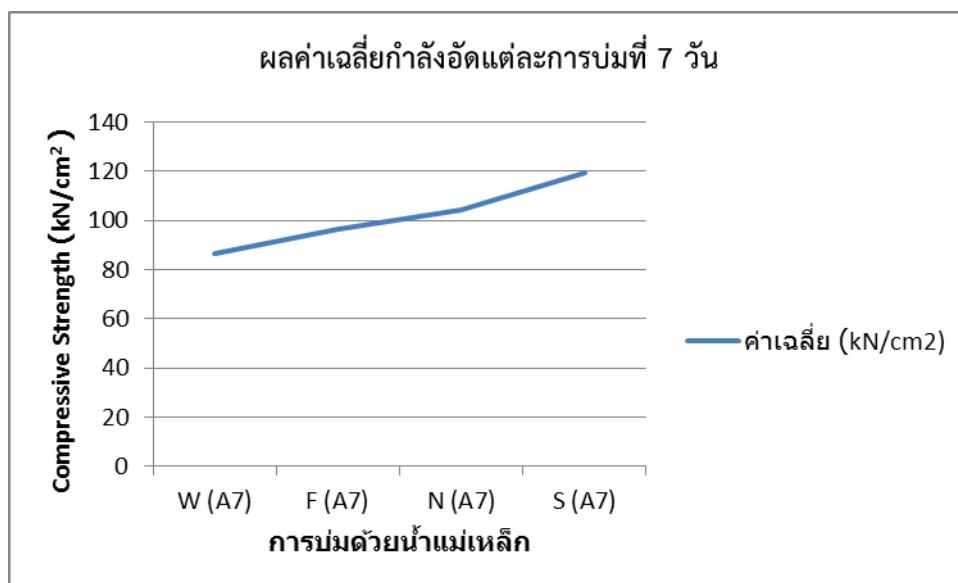
4.2 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดเทียบตามระยะเวลาการบ่ม

4.2.1 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดแต่ละการบ่มที่ 7 วัน

จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของลูกทดสอบจำนวน 12 ลูก ในระยะเวลาการบ่ม 7 วัน ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของแต่ละทริทเมนต์ ดังนี้ การบ่มด้วยน้ำปกติเท่ากับ 86.41 kN/cm² การบ่มน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กเฟอร์ไรต์) เท่ากับ 96.21 kN/cm² การบ่มน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กนีโอไดเมียม) เท่ากับ 104.55 kN/cm² และการบ่มน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กขามาเรียง) เท่ากับ 119.17 kN/cm² จึงสามารถสรุปได้ว่า การบ่มน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กขามาเรียง) ทำให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงได้สูงที่สุดในระยะเวลาการบ่มที่ 7 วัน ดังตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลค่าเฉลี่ยกำลังอัดแต่ละการบ่มที่ 7 วัน

7วัน	W (A7)	F (A7)	N (A7)	S (A7)
ค่าเฉลี่ย (kN/cm ²)	86.41	96.21	104.55	119.17



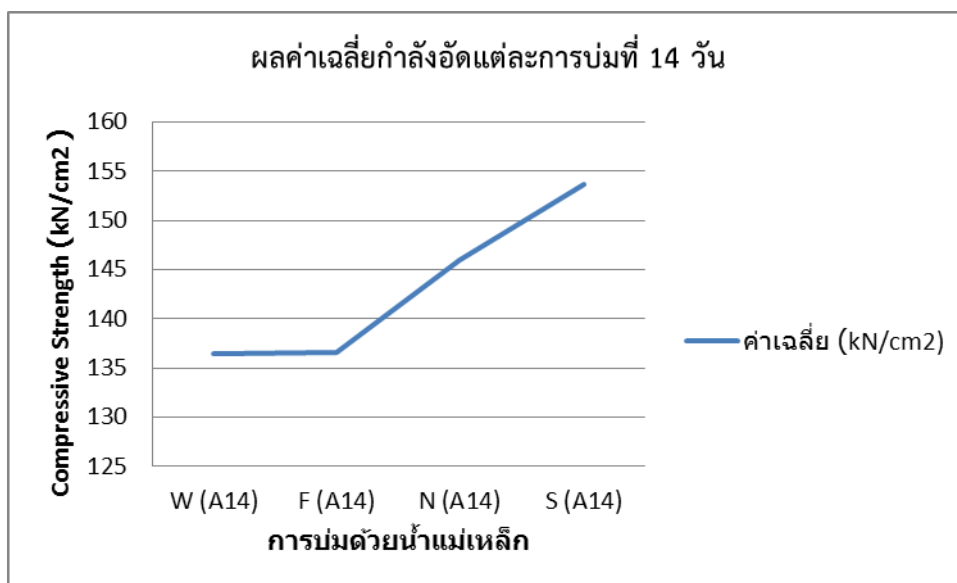
ภาพที่ 4.5 กราฟผลค่าเฉลี่ยกำลังอัดแต่ละการบ่มที่ 7 วัน

4.2.2 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดแต่ละการบ่มที่ 14 วัน

จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของลูกทดสอบจำนวน 12 ลูก ในระยะเวลาการบ่ม 14 วัน ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของแต่ละวิธีเท้นต์ ดังนี้ การบ่มด้วยน้ำปกติเท่ากับ 136.50 kN/cm^2 การบ่มน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กเฟอร์ไรท์) เท่ากับ 136.59 kN/cm^2 การบ่มน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กนีโอไดเมียม) เท่ากับ 145.99 kN/cm^2 และการบ่มน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กซามาเรียม) เท่ากับ 153.74 kN/cm^2 จึงสามารถสรุปได้ว่า การบ่มน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กซามาเรียม) ทำให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงได้สูงที่สุดในระยะเวลาการบ่มที่ 14 วัน ดังตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลค่าเฉลี่ยกำลังอัดแต่ละการบ่มที่ 14 วัน

14วัน	W (A14)	F (A14)	N (A14)	S (A14)
ค่าเฉลี่ย (kN/cm ²)	136.50	136.59	145.99	153.74



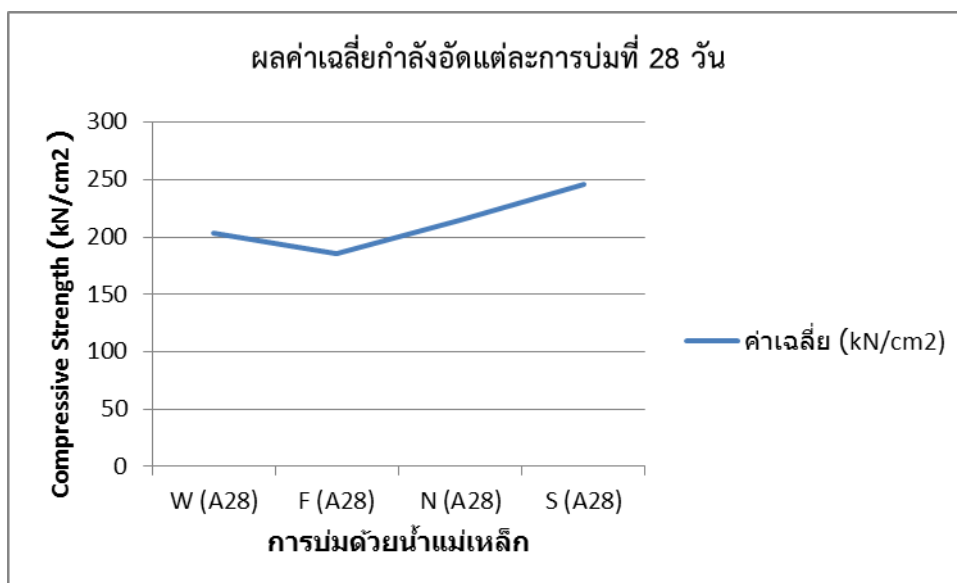
ภาพที่ 4.6 กราฟผลค่าเฉลี่ยกำลังอัดแต่ละการบ่มที่ 14 วัน

4.2.3 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดแต่ละการบ่มที่ 28 วัน

จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของลูกทดสอบจำนวน 12 ลูก ในระยะเวลาการบ่ม 28 วัน ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของแต่ละทริทเมนต์ ดังนี้ การบ่มด้วยน้ำปกติเท่ากับ 203.31 kN/cm^2 การบ่มน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กเฟอร์ไรท์) เท่ากับ 184.98 kN/cm^2 การบ่มน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กนีโอไดเมียม) เท่ากับ 214.25 kN/cm^2 และการบ่มน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กซามาเรียม) เท่ากับ 245.41 kN/cm^2 จึงสามารถสรุปได้ว่า การบ่มน้ำพลังงานสนามแม่เหล็ก (แม่เหล็กซามาเรียม) ทำให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงได้สูงที่สุดในระยะเวลาการบ่มที่ 14 วัน ดังตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลค่าเฉลี่ยกำลังอัดแต่ละการบ่มที่ 28 วัน

14วัน	W (A28)	F (A28)	N (A28)	S (A28)
ค่าเฉลี่ย (kN/cm^2)	203.31	184.98	214.25	245.41



ภาพที่ 4.7 กราฟผลค่าเฉลี่ยกำลังอัดแต่ละการบ่มที่ 28 วัน

บทที่ 5

สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้ ศึกษาเกี่ยวกับการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการบ่มคอนกรีตโครงสร้างเพื่อเพิ่มกำลังอัดแบบเร่งด่วน โดยการใช้พลังงานสนามแม่เหล็ก โดยทำการทดสอบลูกบุนทรงลูกบาศก์ขนาด 15 ซม x 15 ซม x 15 ซม บ่มพลังงานสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ต่างกัน 3 ค่า อันได้แก่ แม่เหล็กเฟอร์ไรต์ มีความเข้มสนามแม่เหล็กประมาณ 800-1,000 G, แม่เหล็กนีโอไดเมียม มีความเข้มสนามแม่เหล็กอยู่ประมาณ 1,500-2,900 G และแม่เหล็กซามาเรียม มีความเข้มสนามแม่เหล็กอยู่ประมาณ 1,900-3,900 G ทำการบ่มและเก็บผลการทดสอบที่ 7 วัน, 14 วัน และ 28 วัน โดยมีลูกบุนทดสอบที่บ่มด้วยน้ำปกติเป็นตัวแปรควบคุม และทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบรับแรงอัด (Compression Machine)

ในการวิจัยนี้ได้ออกแบบการทดสอบทั้งหมด 4 ตัวแปรประกอบด้วย การบ่มด้วยน้ำปกติ (ตัวแปรควบคุม) ทดสอบจำนวน 3 ตัวอย่าง การบ่มด้วยพลังงานสนามแม่เหล็กเฟอร์ไรต์ ทดสอบจำนวน 3 ตัวอย่าง การบ่มด้วยพลังงานสนามแม่เหล็กนีโอไดเมียมทดสอบจำนวน 3 ตัวอย่าง และการบ่มด้วยพลังงานสนามแม่เหล็กซามาเรียมทดสอบจำนวน 3 ตัวอย่าง ทำการบ่มที่ 7 วัน, 14 วัน และ 28 วัน ตามลำดับ โดยจากผลจากการทดสอบพบว่า ที่ 7 วัน ค่ากำลังอัดสูงสุดได้แก่การบ่มด้วยการบ่มด้วยพลังงานสนามแม่เหล็กซามาเรียม มีค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดเท่ากับ 119.17 kN/cm^2 ที่ 14 วัน ค่ากำลังอัดสูงสุดได้แก่การบ่มด้วยการบ่มด้วยพลังงานสนามแม่เหล็กซามาเรียม มีค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดเท่ากับ 153.74 kN/cm^2 และที่ 28 วัน ค่ากำลังอัดสูงสุดได้แก่การบ่มด้วยการบ่มด้วยพลังงานสนามแม่เหล็กซามาเรียม มีค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดเท่ากับ 245.41 kN/cm^2 โดยกำลังอัดสูงสุดที่ 28 วันการบ่มด้วยพลังงานสนามแม่เหล็กซามาเรียมมีค่ามากกว่าตัวแปรควบคุม (การบ่มด้วยน้ำปกติ) คิดเป็น 20.71 เปอร์เซ็นต์

5.2 ข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้ควรเพิ่มเติมการเก็บผลการวิจัยด้านปฏิกิริยาทางเคมีที่น้ำพลังงานสนามแม่เหล็กส่งผลต่อปฏิกิริยาไฮเดรชัน

บรรณานุกรม

- เกียรติศักดิ์คำตรี.(2541).การศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างความยวบยัที่เพิ่มขึ้นกับกำลังอัดที่ลดลงของคอนกรีต วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ชัชวาล เมธาสิทธิกุล. (2541). การประเมินกำลังอัดของคอนกรีตจากคอนกรีตระยะต้น. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- วินิต ช่อวิเชียร. (2544). คอนกรีตเทคโนโลยี. กรุงเทพมหานคร : สัมพันธ์พาณิชย์.
- คำหล้า แสงรัมย์. 2558. ผลกระทบของการอาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กคงที่ต่ออัตราการงอกและการเจริญเติบโตของข้าวเจ้าแดง จาก สปป ลาว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- กรกฤต คำชุ่ม. 2552. อิทธิพลของสนามแม่เหล็กต่อปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและค่าความกระด้าง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปทุมทิพย์ สังข์พันธุ์. 2550. การศึกษาผลกระทบของสนามแม่เหล็กต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สุรพงษ์ ยศพล. 2548. การศึกษาผลกระทบของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีต่อถั่วเขียว กระเจี๊ยบเขียว กวางตุ้ง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ภัทรี เกียรติกำจร. 2547. การศึกษาผลการเจริญเติบโตของถั่วงอกจากอิทธิพลของความเข้มข้นสนามไฟฟ้าพร้อมตำแหน่งการวางเมล็ด. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ร่มฉัตร ยुरประณม. 2540. ผลกระทบของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีต่อการเจริญเติบโตของเมล็ดถั่วเขียว. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณัฏฐา จันทโรสม, ณัฐวุฒิ สุวรรณทา และ วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล. การกระตุ้นด้วยสนามแม่เหล็กถาวรที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของถั่วงอก. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5. หน้า 26-33. กรุงเทพฯ, 2556.
- อิสระ อินุเพท. 2536. แม่เหล็กไฟฟ้า. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น
- วิชัย ทิพนธ์. 2535. วงจรไฟฟ้ากระแสตรง. พิมพ์ครั้งที่ 1. บ.ที.พี.พรินท์ จำกัด.กรุงเทพมหานคร.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ประกาศคณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม เรื่อง
เปิดรับข้อเสนอโครงการวิจัย งบประมาณเงินรายได้คณะเทคโนโลยีการเกษตร
และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563

ประวัติคณะผู้วิจัย

1. ชื่อ – นามสกุล นายณัฐพล ภูระหงษ์
Mr. NUTTAPON PHURAHONG
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน
1 6505 00009019 1
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
4. ตำแหน่งทางวิชาการ -
5. หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้สะดวก
คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ 67000
โทรศัพท์ 0-5671-7151 มือถือ 090-5743810
e-mail : nuttapon_sam@hotmail.com
6. ประวัติการศึกษา
วศ.ม. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วศ.บ. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยนเรศวร
7. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ
เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์
คอมพิวเตอร์
8. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย
 - หัวหน้าโครงการวิจัย การพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานน้ำและพลังงานลม. โครงการวิจัยเดี่ยว ประเภททุนวิจัยงบประมาณแผ่นดิน เพื่อสร้าง สะสมองค์ความรู้ที่มีศักยภาพ : มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ (2560)
 - ผู้ร่วมโครงการวิจัย การสืบค้นย้อนกลับผลิตภัณฑ์ข้าวคุณภาพแบบสุญญากาศของเกษตรกร จังหวัดเพชรบูรณ์.ประเภททุนวิจัยงบประมาณแผ่นดิน เพื่อสร้าง สะสมองค์ความรู้ที่มีศักยภาพ : มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ (2560)

- หัวหน้าโครงการวิจัย ระบบส่องสว่างพลังงานสนามแม่เหล็ก.
โครงการวิจัยเดี่ยว ประเภททุนวิจัยนักวิจัยรุ่นใหม่ : มหาวิทยาลัยราชภัฏ
เพชรบูรณ์ (2559)