ผลกระทบของชนิดของสารละลายในการบ่มต่อกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตเสริมวัสดุเสริมแรง

EFFECTS OF TYPES OF CURING SOLUTION ON COMPRESSIVE AND TENSION STRENGTHS OF CONCRETE WITH REINFORCED MATERIALS

ชลลดา สวนดอกไม้

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ผลกระทบของชนิดของสารละลายในการบ่มต่อกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตเสริมวัสดุเสริมแรง

ชลลดา สวนดอกไม้

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลกระทบของชนิดของสารละลายในการบ่มต่อกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตเสริมวัสดุเสริมแรง

Effects of Type of Curing Solution on Compressive and Tension Strengths of Concrete with Reinforced Materials

ชื่อ – นามสกุล นางสาวชลลดา สวนดอกไม้

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์จตุพล ตั้งปกาศิต, ปร.ด.

ปีการศึกษา 2566

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ปิติศานต์ กร่ำมาตร, ปร.ด.)

.... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ทวีชัย สำราญวานิช, ปร.ด.)

.... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์นิรชร นกแก้ว, วศ.ม.)

.... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จตุพล ตั้งปกาศิต, ปร.ด.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์สรพงษ์ ภวสุปรีย์, Ph.D.)
วันที่ 25 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2567

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลกระทบของชนิดของสารละลายในการบ่มต่อกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตเสริมวัสดุเสริมแรง
ชื่อ-นามสกุล	นางสาวชลลดา สวนดอกไม้
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์จตุพล ตั้งปกาศิต, ปร.ด.
ปีการศึกษา	2566

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำศึกษาผลกระทบของชนิดของสารละลายในการบ่มต่อกำลังรับแรงอัด และกำลังรับแรงดึงโดยตรงของคอนกรีตเสริมเสริมวัสดุเสริมแรง เปรียบเทียบระยะของการต่อทาบของจีโอกริดต่อการรับแรงดึงโดยตรง การรับแรงดัดของตัวอย่างคอนกรีตคานแบบไม่เสริมแรงและแบบเสริมจีโอกริด

ทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกและแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone ที่บ่มในน้ำ ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต และสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ทำการเปรียบเทียบแรงดึงโดยตรงของคอนกรตีแบบไม่เสริมแรง แบบเสริมแรงด้วยวัสดุจีโอกริด และแบบเสริมแรงด้วยเหล็กไวร์เมซ ที่อายุ 28 และ 180 วัน ทดสอบแรงดึงโดยตรงของคอนกรีตเสริมจีโอกริดที่มีการต่อทาบของจีโอกริดแบบ 1, 2 และ 3 ช่อง ที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน เปรียบเทียบกำลังรับแรงดัดของตัวอย่างคอนกรีตคานแบบไม่เสริมแรง และแบบเสริมจีโอกริด ที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน

ผลการทดสอบพบได้ว่า การทดสอบกำลังรับแรงอัด มีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น การบ่มในสารละลายโซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคลอไรด์ ไม่มีผลกระทบต่อกำลังอัดของคอนกรีต การทดสอบแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone ที่บ่มด้วยน้ำ สารละลายโซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคลอไรด์ มีค่าแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างเพิ่มขึ้นตามอายุที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสารละลายทั้งสองชนิดยังไม่ส่งผลกระทบต่อการรับแรงดึงโดยตรง การทดสอบแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone เสริมจีโอกริดที่ระยะทาบรอยต่อ 1, 2 และ 3 ช่อง นั้น มีค่าไม่แตกต่างกัน และการทดสอบการรับแรงดัดของตัวอย่างคอนกรีตคานแบบไม่เสริมแรง และแบบเสริมจีโอกริด มีค่าการรับแรงดัดที่ใกล้เคียงกัน

คำสำคัญ : คอนกรีตเสริมจีโอกริด คอนกรีต สารละลายโซเดียมซัลเฟต สารละลายโซเดียมคลอไรด์ แรงดึงโดยตรง

Thesis Title	Effects of Types of Curing Solution on Compressive and Tension Strengths of Concrete with Reinforced Materials
Name-Surname	Miss Chonlada Suandokmai
Program	Civill Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Jatuphon Tangpagasit, Ph.D.
Academic Year	2023

ABSTRACT

The objective of this research was to investigate the effects of the type of curing solution on the compressive strength of concrete and direct tensile strength of concrete reinforced with reinforcing materials. The joint overlap of the geogrid was compared using direct tensile strength tests. Additionally, the flexural strength of unreinforced and geogrid-reinforced concrete was determined through concrete beam testing.

Compressive strength tests were conducted on cylindrical concrete samples cured in water, sodium sulfate solution, and sodium chloride solution. Direct tensile testing was performed on unreinforced Dog Bone-shaped concrete samples, as well as samples reinforced with geogrid material and steel wire mesh, incubated in water, sodium sulfate solution, and sodium chloride solution at both 28 and 180 days of age. The joint overlap of 1, 2, and 3-grid geogrids was subjected to direct tensile testing at 7, 14, and 28 days of age. The flexural strength of samples, both unreinforced and reinforced with geogrid, was tested after incubation periods of 7, 14, and 28 days.

The test results concluded that the compressive strength increased with the age of the concrete, regardless of curing in sodium sulfate or sodium chloride solution. Direct tensile testing of Dog Bone-shaped concrete samples indicated an increase in strength with age, regardless of the type of curing solution used. Direct tensile tests on Dog Bone-shaped concrete samples reinforced with overlapped geogrids at 1, 2, and 3-grid configurations indicated no significant differences. Similarly, flexural strength testing of both unreinforced and geogrid-reinforced concrete beams yielded similar flexural strength values.

Keywords: geogrid reinforced in concrete, concrete, sulfate solution, chloride solution, direct tension

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษา ค้นคว้า ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณา และความอนุเคราะห์ของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จตุพล ตั้งปกาศิต อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้ทำการศึกษาวิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ ทีนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ปิติศานต์ กร้ำมาตร ประธานกรรมการสอบและกรรมการสอบ รองศาสตราจารย์ นิรชร นกแก้ว ที่ได้ให้ความกรุณาให้คำแนะนำในการแก้ไขข้อบกพร่องของงานวิจัยรวมทั้งเสียสละเวลามาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ทวีชัย สำราญวานิช กรรมการและผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอก จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้ให้ความกรุณาเสียสละเวลามาร่วมเป็นคณะกรรมในการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำในด้านต่างๆ อันเป็นประโยชน์แก่งานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ และมอบความดีทั้งหมดนี้ให้แก่ คุณพ่อ คุณแม่ น้องสาว เพื่อนที่รักและคณะครู-อาจารย์ ที่ให้การสนับสนุนและประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ตลอดมา และเพื่อนๆ สาขาวิศวกรรมโครงสร้างทุกคนที่เป็นกำลังใจ

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจหากการค้นคว้าในครั้งนี้ขาดตกบกพร่อง หรือไม่สมบูรณ์ประการใด ผู้วิจัยขอกราบขออภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ชลลดา สวนดอกไม้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย (3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (4)
กิตติกรรมประกาศ (6)
สารบัญ (7)
สารบัญตาราง (8)
สารบัญรูป (9)
บทที่ 1 บทนำ 12
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 12
1.2 วัตถุประสงค์ 12
1.3 ขอบเขตของการศึกษา 13
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 14
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 15
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 15
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 32
บทที่ 3 วิธีการศึกษา 35
3.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา 35
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา 37
3.3 ขั้นตอนวิธีการดำเนินการศึกษา 40
3.4 แนวทางการวิเคราะห์ผล 48
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผลการศึกษา 50
4.1 ทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก 50
4.2 ทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone 51
4.3 ผลทดสอบกำลังรับแรงดัดของตัวอย่างคอนกรีตคาน 56
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 58
5.1 สรุปผลการวิจัย 58
5.2 ข้อเสนอแนะ 58
บรรณานุกรม 59
ภาคผนวก 60
ภาคผนวก ก 61
ประวัติผู้เขียน 68

สารบัญตาราง

หน้า
ตารางที่ 2.1 เวลาที่ทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของสารประกอบหลักสำเร็จ 80% 18
ตารางที่ 4.1 กำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก 50
ตารางที่ 4.2 กำลังรับแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone แบบไม่เสริมแรง 51
ตารางที่ 4.3 กำลังรับแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone แบบเสริมเหล็กไวร์เมช 52
ตารางที่ 4.4 กำลังรับแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone แบบเสริมจีโอกริด 53
ตารางที่ 4.5 กำลังรับแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone เสริมจีโอกริดแบบต่าง ๆ 55
ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดัดของตัวอย่างคอนกรีตคานขนาด 10 X 10 X 50 ซม. แบบไม่เสริมแรง และแบบเสริมจีโอกริด 56

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงปฏิกิริยาของแคลเซียมซิลิเกต 16
รูปที่ 2.2 ขบวนการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชั่น และขบวนการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชั่น และ Ettringite ของ C_3A) 17
รูปที่ 2.3 ประเภทของจีโอกริด 19
รูปที่ 2.4 เครื่องทดสอบแรงดึงโดยตรงตัวอย่างรูป Dog Bone 23
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างรูป Dog Bone ที่ใช้ทดสอบแรงดึงโดยตรง 24
รูปที่ 2.6 เครื่องทดสอบแรงดึงโดยตรงตัวอย่างรูป Dog Bone 24
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างรูป Dog Bone ที่ใช้ทดสอบแรงดึงโดยตรง 25
รูปที่ 2.8 ความเสียหายของคอนกรีตเสริมเหล็กเนื่องจากคลอไรด์โดยเหล็กเป็นสนิมดันคอนกรีตให้แตกร้าว หรือหลุดร่อนออกมา 26
รูปที่ 2.9 การเกิดสนิมเหล็กเนื่องจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีเมื่อมีคลอไรด์ในคอนกรีต 26
รูปที่ 2.10 การแตกร้าว หลุดร่อนของคอนกรีตเนื่องจากการเกิดสนิมเหล็ก 28
รูปที่ 2.11 การแตกร้าว หลุดร่อนของคอนกรีตเนื่องจากการเกิดสนิมเหล็ก 28
รูปที่ 2.12 ลักษณะการทำลายของสารประกอบซัลเฟตต่อคอนกรีต 29
รูปที่ 2.13 การทดสอบการรับแรงดึงของคานโดยวิธีดัด 32
รูปที่ 3.1 Geogrid Biaxial 35
รูปที่ 3.2 สารละลายโซเดียมซัลเฟต 35
รูปที่ 3.3 สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 36
รูปที่ 3.4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 36
รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรงหรือเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ 37
รูปที่ 3.6 แบบหล่อตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอก 37
รูปที่ 3.7 แบบหล่อตัวอย่างของคอนกรีตรูป Dog Bone 38
รูปที่ 3.8 แบบหล่อคอนกรีตคาน 38
รูปที่ 3.9 เครื่องผสมคอนกรีต 38
รูปที่ 3.10 ชุดตะแกรงร่อนทราย 39
รูปที่ 3.11 ชุดตะแกรงร่อนหิน 39
รูปที่ 3.12 เครื่องชั่งน้ำหนักระบบดิจิตอล 40
รูปที่ 3.13 เตรียมปูนซีเมนต์ในการผสมคอนกรีตตัวอย่าง 40
รูปที่ 3.14 เตรียมทรายในการผสมคอนกรีตตัวอย่าง 41
รูปที่ 3.15 เตรียมหินในการผสมคอนกรีตตัวอย่าง 41
รูปที่ 3.16 ผสมส่วนผสมคอนกรีตตัวอย่าง 42
รูปที่ 3.17 เทคอนกรีตใส่แบบหล่อคอนกรีตทรงกระบอก และทำการกระทุ้งคอนกรีต 42

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.18 ทำการปาดผิวหน้าคอนกรีตทรงกระบอก 43
รูปที่ 3.19 ขนาดของตัวอย่างคอนกรีตรูป Dog Bone และการเสริมจีโอกริด 43
รูปที่ 3.20 ตัวอย่างคอนกรีตรูป Dog Bone เสริมจีโอกริดแบบทาบรอยต่อ 1 ช่อง 44
รูปที่ 3.21 ตัวอย่างคอนกรีตรูป Dog Bone เสริมจีโอกริดแบบทาบรอยต่อ 2 ช่อง 44
รูปที่ 3.22 ตัวอย่างคอนกรีตรูป Dog Bone เสริมจีโอกริดแบบทาบรอยต่อ 3 ช่อง 44
รูปที่ 3.23 ทำการปาดผิวหน้าคอนกรีตรูป Dog Bone ทั้งแบบเสริมจีดกริด และแบบไม่เสริมจีโอกริด 45
รูปที่ 3.24 ตัวอย่างคอนกรีตบ่มในสารละลายโซเดียมยซัลเฟต สารละลายโซเดียมคลอไรด์ และน้ำ 45
รูปที่ 3.25 ตัวอย่างคอนกรีตรูป Dog Bone 45
รูปที่ 3.26 เทคอนกรีตลงแบบหล่อคอนกรีตแบบคาน ทำการกระทุ้งและปาดผิวหน้าให้เรียบ 46
รูปที่ 3.27 ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก 46
รูปที่ 3.28 ตำแหน่งการเสริมจีโอกริดของตัวอย่างคอนกรีตคาน 47
รูปที่ 3.29 ทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรงตัวอย่างคอนกรีตรูปตัว Dog Bone 47
รูปที่ 3.30 ทำการทดสอบกำลังรับแรงดัดตัวอย่างคอนกรีตแบบคาน 48
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่บ่มในน้ำประเภทต่างๆ ที่อายุ 28 วัน และ 180 วัน 48
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึงกับตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone ไม่เสริมแรงที่บ่มในน้ำชนิดต่างๆ ที่อายุ 28 วัน และ 180 วัน 49
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึงกับตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone แบบเสริมเหล็กไวร์เมชที่บ่มในน้ำชนิดต่างๆ ที่อายุ 28 วัน และ 180 วัน 50
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึงกับตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone แบบเสริมจีโอกริดที่บ่มในน้ำชนิดต่างๆ ที่อายุ 28 วัน และ 180 วัน 51
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึงกับตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone แบบเสริมจีโอกริดที่บ่มในน้ำชนิดต่างๆ ที่อายุ 28 วัน และ 180 วัน 52
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึงกับตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone แบบไม่เสริมแรง แบบเสริมจีโอกริด แบบเสริมจีโอกริดแบบทาบรอยต่อ 1 ช่อง 2 ช่อง และ 3 ช่อง ที่อายุ 7 14 และ 28 วัน 53
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึงกับตัวอย่างคอนกรีตรูป Dog Bone แบบไม่เสริมแรง แบบเสริมจีโอกริด และเสริมจีโอกริดแบบทาบรอยต่อ 1 ช่อง 2 ช่อง และ 3 ช่อง ที่อายุ 7 14 และ 28 วัน 54
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังแรงดัดเฉลี่ยของตัวอย่างคอนกรีตคานแบบไม่เสริมจีโอกริด และแบบเสริมจีโอกริด ที่อายุ 7 14 และ 28 วัน 55

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.9 การวิบัติของตัวอย่างคอนกรีตคานแบบไม่เสริมจีโอกริดและแบบเสริมจีโอกริด............55

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันมีสิ่งก่อสร้างมากมายอาทิเช่น ถนน อาคาร สิ่งปลูกสร้าง ที่พักอาศัย ฯลฯ ซึ่งส่วนมากจะใช้โครงสร้างที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก สืบเนื่องจากการใช้เหล็กเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เมื่อระยะเวลาผ่านไปโดยพฤติกรรมของเหล็ก เหล็กจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือถูกออกซิไดซ์ ทำให้เกิดเกิดสนิมและการสึกกร่อนของเหล็ก เนื่องจากเหล็กกับสารประกอบต่างๆที่ปะปนในสิ่งแวดล้อม ที่สัมผัสอากาศนั้นๆ กระบวนการเกิดสนิมของเหล็กโดยเฉพาะการเกิดสนิมในเหล็กที่มีวัสดุอื่นคลุมผิว เช่น เหล็กเสริมในคอนกรีต เมื่อเหล็กเสริมคอนกรีตเริ่มเกิดเป็นสนิมขึ้นแล้วก็จะมีการพัฒนาปริมาณเพิ่มมากขึ้น โครงสร้างของอาคารหรือสิ่งปลูกสร้าง จะถูกทำลายให้เกิดการสูญเสียกำลัง จากขนาดพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมลดลง การสูญเสียแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีต และเกิดรอยแตกร้าวหลุดร่อนออกของคอนกรีตที่หุ้มผิวเหล็กเสริม จึงทำให้โครงสร้างสูญเสียความมั่นคงแข็งแรง และอาจทำให้ไม่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ และอาจเป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหายหรือการวิบัติของโครงสร้างได้

ในปัจจุบันวิวัฒนาการเกี่ยวกับเทคโนโลยีการก่อสร้างได้พัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทำให้มีวัสดุที่นำมาใช้ทดแทนเหล็กเสริมในคอนกรีต จากงานวิจัยนี้ได้จัดทำวัสดุ Geosynthetics ชนิด Geogrid โดยมีวัตถุประสงค์นำมาทดแทนเหล็กเสริมในคอนกรีตเสริมเหล็ก จีโอกริด (Geogrid) คือ วัสดุใยสังเคราะห์ที่ใช้สำหรับเสริมแรงในดินหรือในวัสดุที่ใกล้เคียงกัน วัสดุ Geogrid ใช้งานทั่วไปสำหรับการเสริมแรงในกำแพงกันดิน รวมถึงการเสริมแรงในชั้นทางหรือชั้นดินใต้ถนน ซึ่งดินบดอัดใต้ถนนจะเกิดหน่วยแรงดึงขึ้นเมื่อมีน้ำหนักจากยานพาหนะเข้ามากระทำซึ่ง Geogrid จะช่วยรับแรงดึงที่เกิดขึ้น Geogrid เป็นวัสดุที่รับแรงดึงได้สูง โดยทั่วไปวัสดุ Geogrid ทำขึ้นจากวัสดุ polymer วัสดุ Geogrid อาจเป็น woven หรือ knitted มาจากเส้นด้าย หรือ heat-welded จากแถบของวัสดุ หรือ ผลิตภัณฑ์โดยการเจาะรูในแผ่นวัสดุแล้วยืดวัสดุให้เป็นตาราง เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาผลกระทบของชนิดของสารเคมีต่อกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก

1.2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบของสารละลายโซเดียมซัลเฟตและสารละลายโซเดียมคอลไรด์ในการบ่มต่อกำลังรับแรงดึงโดยตรงของคอนกรีตรูป Dog Bone แบบไม่เสริมแรง แบบเสริมแรงด้วยเหล็กตะแกรงไวร์เมช และแบบเสริมแรงด้วยจีโอกริด

1.2.3 เพื่อศึกษากำลังรับแรงดึงโดยตรงของคอนกรีตรูป Dog Bone แบบไม่เสริมแรง แบบเสริมแรงด้วยจีโอกริด แบบเสริมแรงด้วยจีโอกริดแบบทาบรอยต่อ 1 ช่อง 2 ช่อง และ 3 ช่อง

1.2.4 เพื่อศึกษากำลังรับแรงดัดของตัวอย่างคอนกรีตคานแบบไม่เสริมจีโอกริด และเสริมแรงด้วยจีโอกริด

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ทดสอบเท่ากับ 200 กก./ซม.^{2}

1.3.2 เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตทรงกระบอกที่บ่มในน้ำ บ่มในสารละลายโซเดียมซัลเฟต และบ่มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ที่มีความเข้มข้นเป็นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ทดสอบที่อายุ 28 วัน และ 180 วัน

1.3.3 เปรียบเทียบกำลังรับแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างคอนกรีตรูป Dog Bone แบบไม่เสริมจีโอกริด แบบเสริมเหล็กไวร์เมช และแบบเสริมจีโอกริด ที่บ่มในน้ำ บ่มในสารละลายโซเดียมซัลเฟต และบ่มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นเป็นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ทดสอบที่อายุ 28 วัน และ 180 วัน

1.3.4 เปรียบเทียบกำลังรับแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างคอนกรีตรูป Dog Bone แบบไม่เสริมจีโอกริด แบบเสริมจีโอกริด แบบเสริมจีโอกริดแบบทาบรอยต่อ 1, 2 และ 3 ช่อง ทดสอบที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน

1.3.5 ทดสอบกำลังรับแรงดัดของตัวอย่างคานคอนกรีตแบบไม่เสริมจีโอกริด และเสริมด้วยจีโอกริด ทดสอบที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.4.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ คือ ปูนซีเมนต์ประเภท 1 ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในงานก่อสร้างในปัจจุบันใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตคอนกรีต ปูนมอร์ต้าร์ และปูนซีเมนต์สูตรพิเศษประเภทต่างๆ มีส่วนผสมหลักโดยมี หินปูน หินดินดาน ดินลูกรัง และทราย รวมไปถึงการเพิ่มสารอื่นๆ เพื่อช่วยพัฒนาคุณภาพของปูนซีเมนต์ เช่น ยิปซัม สารปอซโซลาน สารลดน้ำ เป็นต้น มีลักษณะเป็นผงเมื่อผสม คลุกกับน้ำแล้วทิ้งไว้จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมี มีผลทำให้เกิดการก่อตัวและแข็งตัวได้

1.4.2 จีโอกริด คือ ตาข่ายเสริมกำลังดิน เป็นแผ่นที่มีการผลิตจาการประสานเส้นวัสดุจำพวกโพลิเมอร์ (Polymer) ให้เป็นแผ่นตารางขนาดต่างๆ โดยช่องว่างบนแผ่นมีขนาดใหญ่และเส้นวัสดุที่นำมาเพื่อประสานนั้นจะมีขนาดที่ใหญ่กว่าเส้นใยของแผ่นเส้นใยสังเคราะห์ (Geotextiles) ซึ่งการประสานวัสดุ

อาจทำโดยการถักทอหรือใช้เทคนิควิธีอื่นๆ คุณประโยชน์หลักจีโอกริด คือการเสริมแรงหรือเสริมความคงทนเกือบทั้งหมด การยืดตัวจะมีระยะที่ต่ำกว่าแผ่นใยสังเคราะห์และสามารถผลิตให้มีการรับแรงดึงได้สูง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงความสามารถในกำลังรับแรงดึง และแรงดัดของคอนกรีตเสริมแรงด้วยจีโอกริด

1.4.2 ทราบผลกระทบของสารละลายโซเดียมซัลเฟต และสารละลายโซเดียมคอลไรด์ต่อการรับแรงของคอนกรีตเสริมจีโอกริด

1.4.3 เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการนำวัสดุจีโอกริดเป็นวัสดุทางเลือกชนิดใหม่ที่ใช้ทดแทนเหล็กได้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 [1]

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 นิยมใช้กันเป็นจำนวนมากในงานคอนกรีตโดยประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ ที่ผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นปูนซีเมนต์ประเภทนี้ สำหรับการใช้งานคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่อาจไม่ต้องการคุณภาพพิเศษ และใช้ในการก่อสร้างตามปกติทั่วไป เช่น เสา คาน ฐานราก ถนน เป็นต้น ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ให้กำลังสูงในระยะเวลาไม่รวดเร็วมากนักและให้ความร้อนปานกลาง

2.1.2 ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น [2]

การก่อตัวและแข็งตัวของซีเมนต์ เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์ จะเกิดองค์ประกอบ 2 ลักษณะ คือ

2.1.2.1 ต้องใช้สารละลาย ซีเมนต์จะละลายในน้ำ ก่อให้เกิดไอออนนี้จะผสมกันทำให้เกิดสารประกอบขึ้นใหม่

2.1.2.2 การเกิดของปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง ปฏิกิริยาเกิดขึ้นโดยตรงที่ผิวของของแข็ง โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารละลายปฏิกิริยาประเภทนี้เรียกว่า “Solid State Reaction”

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์จะเกิดขึ้นทั้ง 2 ลักษณะ โดยในช่วงแรกจะอาศัยสาระละลาย และช่วงถัดไปจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็งซีเมนต์ประกอบไปด้วยสารประกอบหลายชนิด เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ผลิตภัณฑ์ที่จะได้อาจเกิดปฏิกิริยาต่อไป ทำให้มันแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่ได้ครั้งแรก ดังนั้นในที่นี้เราจะแยกพิจารณาปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของสารประกอบหลักของซีเมนต์ 4 ประเภท ดังนี้

1. แคลเซียมซิลิเกต (C_3S,C_2S) แคลเซียมซิลิเกต จะทำปฏิกิริยากับน้ำก่อให้เกิด $Ca(OH)_2$ และ Calcium Silicate Hydrate (CSH) ที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสาน ดังแสดงในรูปที่ (2.1) และสมการ (2.2) เกิดปฏิกิริยาดังนี้

$2(3CaO)\cdot SiO_2+6H_2O \longrightarrow 3CaO\cdot 2SiO_2\cdot 3H_2O+3Ca(OH_2)$

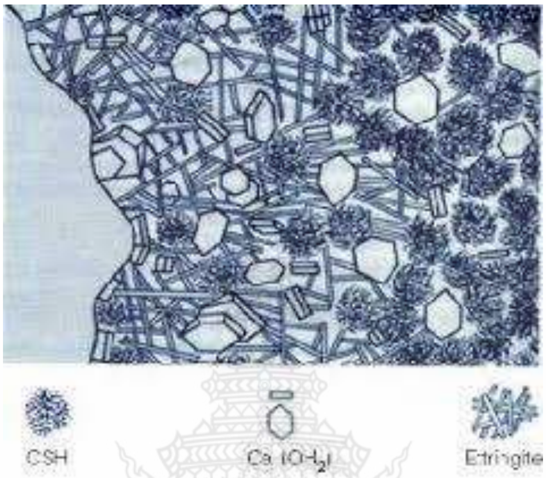
หรือ

$2C_3S+ 6H_2O \longrightarrow C_3S_2H_3+3Ca(OH)_2$ (2.1)

$2(2CaO \cdot SiO)_2 + 4H_2O \longrightarrow 3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O + Ca(OH)_2$

หรือ

$2C_2S + 4H_2O \longrightarrow C_3S_2H_3 + Ca(OH)_2$ (2.2)



รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงปฏิกิริยาของแคลเซียมซิลิเกต [2]

จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นนี้ จะเกิด Gel ซึ่งเมื่อเกิดแข็งตัวจะมีลักษณะที่สำคัญ 2 ประการ คือ โครงสร้างที่ไม่สม่ำเสมอและมีรูพรุน องค์ประกอบทางเคมีของ CSH นี้ ขึ้นอยู่กับ เวลา อุณหภูมิ และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ในที่นี้จะใช้ตัวย่อ CSH แทน Calcium SiliCate Hydate ที่เกิดขึ้นไม่ว่าจะมีองค์ประกอบและโครงสร้างเป็นอย่างไร $Ca(OH)_2$ ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ทำให้ซีเมนต์เพสต์มีคุณสมบัติเป็นด่างอย่างมาก คือมี pH ประมาณ 12.5 ซึ่งจะช่วยป้องกันการกัดก่อนของเหล็กเสริมได้อย่างดีมาก

2) ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A)

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของ C_3A จะเกิดขึ้นทันทีทันใด และก่อให้เกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็วของซีเมนต์เพสต์ ดังสมการ (2.3)

$3CaO \bullet Al_2O_3 + 6H_2O \longrightarrow 3CaO \bullet Al_2O_3 \bullet 6H_2O$

หรือ $C_3A+6H_2O \longrightarrow 3C_3AH_6$

เพื่อที่จะหน่วงไม่ให้เกิดปฏิกิริยานี้อย่างรวดเร็ว จึงใส่ยิบซั่ม ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) เข้าไปในระหว่างขบวนการบดซีเมนต์ ยิบซั่มจะทำปฏิกิริยากับ C_3A ก่อให้เกิดชั้นของ Ettringite บนผิวของอนุภาค C_3A ดังสมการ

$C_3A+CaSO_4 \cdot 2H_2O \longrightarrow 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$ *(Ettringite)*

แต่เมื่อเกิดการแตกตัว จะเกิด Ettringite ใหม่เข้าไปแทนที่คือการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชั่นอีกครั้งหนึ่ง ขั้นตอนจะเป็นเช่นนี้ ไปจน Sulphate Ions มีปริมาณไม่มากเพียงพอที่จะทำให้เกิด Ettringite จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น C_3A โดยเปลี่ยน Ettringite ไปเป็น Monosulphate ดังแสดง

รูปที่ 2.2 ขบวนการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชั่น และขบวนการหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชั่น และ Ettringite[2] ของ C_3A)[2]

3) เตตราแคลเซียม อลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF)

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของ (C_4AF) นี้จะเกิดขึ้นในช่วงต้น โดย (C_4AF) จะทำให้ปฏิกิริยากับยิบซั่มและ $Ca(OH)_2$ ทำให้เกิดอนุภาคที่มีรูปร่างเหมือนเข็มของ Sulphoaluminate และ Sulphoferrite ดังสมการ (2.5)

$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3 + CaSO_4 \cdot 2H_2O + Ca(HO)_2 \longrightarrow 3CaO(Al_2O_3, Fe_2O_3) \cdot 3CaSO_4$

เวลาที่ใช้เพื่อให้ถึง 80% ของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของสารประกอบหลักทั้ง 4 แสดงในตาราง 2.1

ตารางที่ 2.1 เวลาที่ทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของสารประกอบหลักสำเร็จ 80%

สารประกอบหลัก	เวลา (วัน)
ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S)	10
ไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S)	100
ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต (C_3A)	6
เตตราแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF)	50

2.1.3 Geogrid [8]

วัสดุใยสังเคราะห์ที่ใช้สำหรับเสริมแรงในดินหรือในวัสดุที่ใกล้เคียงกัน โดยทั่วไปแล้ววัสดุ Geogrid จะใช้เพื่อเสริมกำลังกำแพงกันดิน ตลอดจนการเสริมแรงในชั้นทาง ชั้นดินใต้ถนนหรือโครงสร้าง ซึ่งดินบดอัดใต้ถนนจะเกิดหน่วยแรงดึงขึ้นเมื่อมีน้ำหนักจากยานพาหนะหรือวัตถุเข้ามากระทำซึ่ง Geogrid จะช่วยรับแรงดึงที่เกิดขึ้นซึ่ง Geogrid เป็นวัสดุที่รับแรงดึงได้สูง โดยทั่วไปวัสดุ Geogrid ทำขึ้นจากวัสดุ polymer วัสดุ Geogrid อาจจะเป็น woven หรือ knitted มาจากเส้นด้าย หรือ heat-welded จากแถบของวัสดุ หรือ ผลิตภัณฑ์โดยการเจาะรูในแผ่นวัสดุแล้วยืดวัสดุแก้ให้เป็นตาราง เป็นต้น

2.1.3.1 คุณสมบัติของจีโอกริด

1.) แรงดึงสูงในขณะการยืดตัวต่ำ

2.) มีความล้าต่ำ

3.) ทนทานต่อความเสียหายระหว่างการติดตั้ง

4.) มีความต้านทานต่อสารเคมีและชีวภาพสูง

5.) มีความสามารถในแรงยึดเหนี่ยวกับคอนกรีต

6.) ติดตั้งได้ง่ายและรวดเร็ว

2.1.3.2 ประเภทของจีโอกริด

1.) Uniaxial geogrid สามารถรับแรง 2 ทิศทางไม่เท่ากัน

2.) Biaxial geogrid สามารถรับแรง 2 ทิศทางได้เท่ากัน

3.) Triangular geogrid สามารถรับแรง 3 ทิศทางได้เท่ากัน

2.1.3.3 การใช้งาน

1.) จีโอกริดใช้ในงานลาดชัน ช่วยปรับปรุงการยึดเกาะของดินบนพื้นผิวแรงดึงของ จีโอกริดช่วยรับภาระของแรง ที่เกิดจากการทำให้แยกออกจากกันทำให้ได้ความลาดชันตามที่ต้องการจีโอกริดในผนังยึดต้านแรงบนผนังยึด ง่ายต่อการใช้จีโอกริดในการยึดผนังผนัง

2.) การใช้จีโอกริดในคอนกรีต สามารถทนสารเคมี สารละลายกรดและด่างได้ ไม่ถูกทำลายโดยสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก ทนการกัดกร่อน ต้านทานแรงดึงได้ดี และทนอุณหภูมิ

รูปที่ 2.3 ประเภทของจีโอกริด [8]

2.1.4 น้ำ [1]

2.1.4.1 น้ำสำหรับผสมคอนกรีต [1]

น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตถ้ามีสารแปลกปลอมเจือปนอยู่มากเกินไปอาจก่อปัญหาด้านระยะเวลาในการก่อตัว การหดของคอนกรีต การมีรอยคราบเกลือ (efflorescence) อยู่ที่พื้นผิวขอคอนกรีตกำลังที่ต่ำลง ตลอดจนความคงทนของคอนกรีตลดลง สารแปลกปลอมเหล่านี้อาจสามารถแบ่งออกได้เป็นสารแขวนลอย สารละลายอนินทรีย์ และสารละลายอินทรีย์

2.1.4.2 น้ำสำหรับบ่มคอนกรีต [1]

ในทางปฏิบัติจะใช้น้ำสะอาดที่มีคุณภาพเดียวกันกับน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตด้วย แต่ไม่ควรมีสารที่ทำลายคอนกรีตอยู่ในน้ำ เช่น สารซัลเฟตและกรดต่างๆ นอกจากนี้การใช้น้ำทะเลบ่มคอนกรีตอาจทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิมได้ ส่วนน้ำที่มีสนิมเหล็ก ดินตะกอน หรือเกลือผสมอยู่จะทำให้ผิวของคอนกรีตเป็นรอยด่างแลดูไม่สวยงาม ถ้าน้ำมีน้ำมันผสมอยู่ก็จะทำให้ผิวของคอนกรีตสกปรกและทาสีทับได้ยาก

2.1.4.3 น้ำสำหรับล้างมวลรวม [1]

น้ำสำหรับล้างทำความสะอาดมวลรวมควรจะเป็นน้ำที่มีคุณสมบัติเดียวกับน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต การใช้น้ำที่มีสิ่งแปลกปลอมเจือปนอยู่ เช่น พวกดินตะกอน สารอินทรีย์ และเกลือต่างๆ เพื่อล้างมวลรวมจะทำให้สิ่งแปลกปลอมเหล่านี้จะอยู่ที่ผิวของมวลรวมและอาจมีผลต่อการยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์เพสต์กับมวลรวมหรือมีผลต่อการทำปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์กับน้ำ ส่งผลให้คุณภาพของคอนกรีตด้อยลงได้

2.1.5 การทดสอบหาค่ายุบตัว [1]

การทดสอบเพื่อหาค่ายุบตัว (slump test) เป็นวิธีที่ใช้กันมายาวนานและเป็นที่นิยมมากที่สุด เพราะทำได้ง่าย ใช้เวลาสั้นๆ เหมาะสำหรับการทดสอบคอนกรีตในภาค เครื่องมือประกอบด้วยกรวยตัดและเหล็กกระทุ้ง กรวยด้านบนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 102 มม. ด้านล่างมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 203 มม. ความสูง 305 มม. มีหูจับ และมีแผ่นโลหะยื่นออกมาสำหรับเท้าเหยียบทั้งสองข้าง ส่วนเหล็กที่ใช้กระทุ้งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. ยาว 600 มม. ปลายทั้ง 2 ด้านกลมมน

ทดสอบโดยใช้มาตรฐาน ASTM C143 โดยเทคอนกรีตสดลงในแบบ 3 ชั้น ทุกชั้นจะกระทุ้งด้วยเหล็กกระทุ้ง 25 ครั้งกระจายให้ทั่วทั้งหน้าตัด เมื่อครบ 3 ชั้น ปาดหน้าคอนกรีตให้เรียบได้ระดับกับขอบกรวย เมื่อยกแบบขึ้นตามแนวดิ่ง คอนกรีตจะยุบลงมา ค่ายุบตัวอาจมีความคาดเคลื่อนจากความเสียดทานกับผิวด้านในของกรวยตัด ดังนั้นก่อนทำการทดสอบจึงต้องทำให้ผิวด้านในของกรวยเปียก เพื่อลดแรงเสียดทานของการวัดค่ายุบตัวของคอนกรีตควรวัดให้ละเอียดถึง 5 มม.

ลักษณะของการยุบตัวของคอนกรีตที่พบมีอยู่ 3 แบบคือ การยุบตัวจริง (true slump) การยุบตัวแบบเฉือน (shear slump) และการยุบตัวแบบฮวบ (collapse slump) การยุบตัวจริงนั้นเกิดจากการทรุดตัวของคอนกรีตด้วยน้ำหนักของตัวเอง คอนกรีตที่มีส่วนผสมของวัสดุละเอียดและหยาบที่ดีส่วนมากแล้วมีการยุบตัวจริง การยุบตัวเฉือนจะเกิดจากการเลื่อนไถลของคอนกรีตในส่วนบนซึ่งจะเฉือนลงไปด้านข้าง หากการทดสอบในครั้งแรกได้ผลเป็นการยุบตัวแบบเฉือน ควรทำการทดสอบคอนกรีตซ้ำอีกครั้ง เพราะการยุบตัวแบบเฉือนอาจจะเกิดจากขณะการยกกรวยขึ้นไม่ตรง แต่ถ้าทดสอบซ้ำอีกครั้งยังได้ผลเป็นการยุบตัวแบบเฉือนเช่นเดิม แสดงว่าคอนกรีตดังกล่าวมีความกระด้างไม่ยึดเกาะกันเพราะมีส่วนผสมของวัสดุหยาบ (หิน) ค่อนข้างมากหรือมีปูนซีเมนต์น้อยเกินไป ซึ่งต้องทำการปรับปรุงส่วนผสมใหม่ให้ได้การยุบตัวจริง การยุบตัวฮวบเกิดเมื่อคอนกรีตมีน้ำผสมมากจนทำให้เหลวและยุบตัวลงไหลกองติดพื้น คอนกรีตที่มีการยุบตัวแบบฮวบควรระมัดระวังเพราะอาจจะเกิดการแยกตัวได้ง่ายถ้ามีการจี้เขย่าคอนกรีตมากเกินไป

คอนกรีตที่มีส่วนผสมที่คล้ายคลึงกันจะสามารถเทได้ใกล้เคียงกันเมื่อมีค่ายุบตัวเท่ากัน ในทางกลับกันเมื่อคอนกรีตสดทั้งสองชนิดมีค่าการยุบตัวเท่ากัน คอนกรีตทั้งสองอาจต่างกันมากเช่นกัน

คอนกรีตชนิดแรกที่มีค่ายุบตัวต่ำเพราะกระด้างและมีน้ำผสมอยู่น้อย และคอนกรีตอีกชนิดหนึ่งอาจมีค่าการยุบตัวต่ำเช่นกันแต่จะมีการเกาะตัวดี การทดสอบค่ายุบตัวไม่สามารถแยกแยะความสามารถที่เทได้ของคอนกรีตที่มีค่ายุบตัวต่ำ เช่น มีค่าการยุบตัวเป็นศูนย์ดังนั้นจึงต้องทำการวัดความสามารถที่จะเทได้ของคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวต่ำมากด้วยวิธีอื่น

2.1.6 การบ่มชื้น [1]

วิธีการบ่มตัวอย่างคอนกรีตที่นิยมทำกันได้แก่การใช้น้ำพ่น การขังน้ำ และการใช้กระสอบชื้นหรือวัสดุที่เปียกชื้นคลุมทับคอนกรีต เนื่องจากผิวคอนกรีตที่สัมผัสอากาศจะสูญเสียความชื้นได้ง่ายจึงควรให้ความชื้นหรือน้ำทันทีที่คอนกรีตแข็งแรงพอหรือทันทีที่ถอดแบบ น้ำที่ใช้ในการบ่มคอนกรีตควรเป็นน้ำที่ไม่ก่อให้เกิดคราบสกปรกบนผิวหน้าของคอนกรีต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ต้องการโชว์ผิวหน้าหน้าคอนกรีต รอยคราบสกปรกเหล่านี้มักเกิดจากการใช้น้ำที่มีสนิมเหล็กสูง หรือใช้น้ำที่ไหลผ่านท่อเหล็กในการฉีดน้ำสำหรับบ่มคอนกรีต การใช้สายยางฉีดน้ำเพื่อใช้ในการบ่มคอนกรีตสามารถลดปัญหาดังกล่าวได้ดี

2.1.7 การทำคอนกรีตให้แน่น [1]

ภายหลังการเทคอนกรีตเข้าสู่แบบแล้วจะทำให้คอนกรีตแน่นเพื่อลดช่องว่างและฟองอากาศส่วนใหญ่จะทำให้แน่นโดยใช้เครื่องสั่น (vibrator) โดยเฉพาะคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวต่ำ แต่คอนกรีตที่มีค่ายุบตัวคอนข้างสูงอาจใช้เหล็กกระทุ้งแทนการเขย่าเพื่อไม่ให้เกิดการแยกตัวของคอนกรีต เครื่องสั่นแบบจุ่มหัว (immersion or poker vibrator) ใช้สำหรับการสั่นเนื้อคอนกรีตโดยตรงจึงมีประสิทธิภาพสูงและเป็นที่นิยมใช้กันมาก เครื่องสั่นแบบจุ่มหัวมีความถี่ของการสั่นระหว่าง 4,000 ถึง 12,000 รอบต่อนาที ขณะที่เครื่องสั่นแบบภายนอก (external vibrator) มีความถี่ 2,000 ถึง 8,000 รอบต่อนาที และใช้ยึดติดกับแบบเพื่อสั่นทั้งคอนกรีตและแบบไปพร้อมกัน โดยที่แบบต้องแข็งแรงและตั้งอยู่บนที่รองรับที่ยึดหยุ่น เครื่องสั่นแบบภายนอกจะใช้ในงานคอนกรีตสำเร็จรูป หรือสำหรับการเทคอนกรีตชิ้นบางหรือเป็นรูปโค้งที่ไม่เหมาะในการใช้เครื่องสั่นแบบหัวจุ่มคอนกรีตสดที่มีความสามารถในการเทได้สูงจะมีฟองอากาศอยู่ประมาณร้อยละ 5 และอาจเพิ่มมากขึ้นเป็นร้อยละ 20 สำหรับคอนกรีตที่มีค่ายุบตัวต่ำ เครื่องสั่งคอนกรีตแบบหัวจุ่มจะส่งพลังงานจากหัวจุ่มไปสู่คอนกรีตที่ต้องการทำให้แน่น ทำให้ส่วนผสมในคอนกรีตเกิดการเคลื่อนที่ ลดแรงเสียดทานภายในลงและปรับส่วนผสมให้แน่นขึ้น ไล่ฟองอากาศให้ลอยขึ้นมายังผิวหน้าคอนกรีตทำให้คอนกรีตมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ในการทำงานให้จุ่มลงในคอนกรีตตามแนวดิ่งทุกระยะ 0.5 ถึง 1.0 เมตร เวลาที่ใช้ในการสั่นคอนกรีตให้แน่นจะเป็นเพราะความสามารถในการเทคอนกรีตและประสิทธิภาพของหัวจุ่มที่ใช้ โดยทั่วไปพบว่าควรจุ่มหัวจุ่มลงไปในคอนกรีตประมาณ 5 ถึง 30 วินาที แต่ถ้าส่วนผสมเข้มข้นหรือเหนียวมากควรเพิ่มเวลาให้นานขึ้นซึ่งอาจนานถึง 2 นาที เวลาในการจุ่มหัวจุ่มลงในคอนกรีตที่พอเหมาะสังเกตได้จากการที่ผิวคอนกรีตจะเริ่มเรียบและไม่เป็นโพรง

การสั่นนานจะทำให้มีมอร์ต้าร์ลอยอยู่ที่ผิวหน้ามากเกินไป การถอนหัวจุ่มออกจากคอนกรีตไม่ควรถอนหัวจุ่มเร็วเกินไปควรถอนด้วยอัตราประมาณ 8 ซม./วินาที เพื่อทำให้ช่องว่างที่เกิดจากการถอนหัวจุ่มปิดด้วยตัวเองได้สนิท การจุ่มหัวจุ่มต้องจุ่มให้สุดความลึกของคอนกรีตของคอนกรีตที่เทหรือลึกลงไปประมาณ 2-3 ซม. ของชั้นคอนกรีตที่เทไปก่อนถ้าคอนกรีตชั้นล่างยังคงอยู่ในสภาพพลาสติก นอกจากเครื่องสั่นแบบหัวจุ่มและเครื่องสั่นแบบภายนอกแล้วยังมีเครื่องสั่นคอนกรีตแบบโต๊ะ ซึ่งนิยมใช้ในงานสำเร็จรูปและในห้องปฏิบัติการ

การสั่นซ้ำ (Revibration) 1 ถึง 2 ชม. หลังจากการอัดแน่นครั้งแรก จะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตสูงขึ้น โดยทั่วไปแล้วการเพิ่มขึ้นของกำลังจะขึ้นกับความข้นเหลวของส่วนผสม ส่วนผสมที่เยิ้มน้ำสูงเมื่อได้รับการสั่นซ้ำจะทำให้น้ำที่กักอยู่ใต้มวลรวมถูกขจัดออกไปทำให้กำลังดีขึ้นและทำให้การยึดเหนี่ยวของคอนกรีตกับเหล็กเสริมได้ดีขึ้นด้วย

อย่างไรก็ตามเทคนิคการสั่นซ้ำไม่นิยมนำมาใช้ในงานคอนกรีตโดยทั่วไปเพราะทำให้ค่าก่อสร้างมีราคาสูงขึ้น และหากทำการสั่นซ้ำภายหลังจากการก่อตัวของคอนกรีตเป็นเวลานานเกินไปอาจส่งผลเสียหายต่อคอนกรีตได้

สำหรับคอนกรีตที่มีความสามารถในการทำงานต่ำ เช่น คอนกรีตบดอัด (roller compacted concrete) ในการบดอัดในภาคสนามจะใช้รถสำหรับการสั่นและบดอัด (vibratory roller) เนื่องจากทำงานได้เร็วและบดอัดเป็นชั้นได้ ส่วนการบดอัดในห้องปฏิบัติการสามารถใช้เครื่องอัดและสั่นด้วย นอกจากนี้เครื่องมือการบดอัดแบบพรอคเตอร์ (proctor compaction) ที่ใช้ในการอัดดินก็สามารถใช้ได้เช่นกัน

2.1.8 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต [1]

ในการทดสอบกำลังรับแรงอัดเป็นเรื่องสำคัญมากเพราะเป็นการควบคุมคุณภาพของคอนกรีตที่ใช้งานรูปทรงของคอนกรีตที่นิยมเพื่อใช้ในการทดสอบเพื่อหากำลังอัดของคอนกรีตที่นิยมกันมี 2 แบบคือรูปทรงลูกบาศก์และรูปทรงกระบอก ซึ่งให้กำลังอัด (ความเค้น) ต่างกัน กำลังอัดของรูปทรงกระบอกมีค่าร้อยละ 80 ของรูปทรงลูกบาศก์ และเมื่อค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตสูงขึ้นอัตราส่วนระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตทรงกระบอกต่อทรงลูกบาศก์มีแนวโน้มที่สูงขึ้นด้วย

การเลือกใช้ตัวอย่างคอนกรีตในการทดสอบให้ใช้หลักตามมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ เช่นการออกแบบตามมาตรฐานอังกฤษควรใช้รูปทรงลูกบาศก์ในการทดสอบกำลังอัด และหากใช้ตามมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ หรือมาตรฐานอเมริกันในการออกแบบก็ควรใช้คอนกรีตรูปทรงกระบอก นอกจากนี้ RIREM ซึ่งเป็นหน่วยงานที่กำหนดมาตรฐานการทดสอบแนะนำให้ใช้คอนกรีตรูปทรงกระบอกเนื่องจากเหตุผลดังต่อไปนี้

1. คอนกรีตรูปทรงกระบอกให้ค่าที่สม่ำเสมอกว่า เนื่องจากผลกระทบการยึดรั้งที่ปลาย (end restraints) ของตัวอย่างกับแท่งทดสอบมีค่าน้อยกว่า

2. ผลกระทบอันเนื่องจากชนิดของหินต่อกำลังอัดของคอนกรีตมีค่าน้อยกว่าแบบทรงลูกบาศก์

3. การกระจายของแรงอัดที่ผิวหน้าคอนกรีตมีค่าสม่ำเสมอกว่า

4. คอนกรีตทรงกระบอกทำการเทและการทดสอบในทิศทางเดียวกันคือแนวตั้งซึ่งเหมือนการใช้งานจริง ซึ่งคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์มีการเทและการทดสอบในทิศทางที่ทำมุม 90 องศา

2.1.9 กำลังรับแรงดึงโดยตรงของคอนกรีต (Direct Tensile Test) [2]

มีความต้านทานในด้านรับแรงดึงของคอนกรีตมีต่ำมาก คิดเป็นร้อยละ 10 ของกำลังอัดประลัย แม้ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก คอนกรีตจะไม่ได้รับแรงดึงโดยตรงก็ตาม แต่การทราบค่ากำลังนี้จะช่วยควบคุมการแตกร้าวของคอนกรีตจากผลกระทบต่างๆ ได้

2.1.9.1 วิธีการรับแรงดึงโดยตรงของคอนกรีต

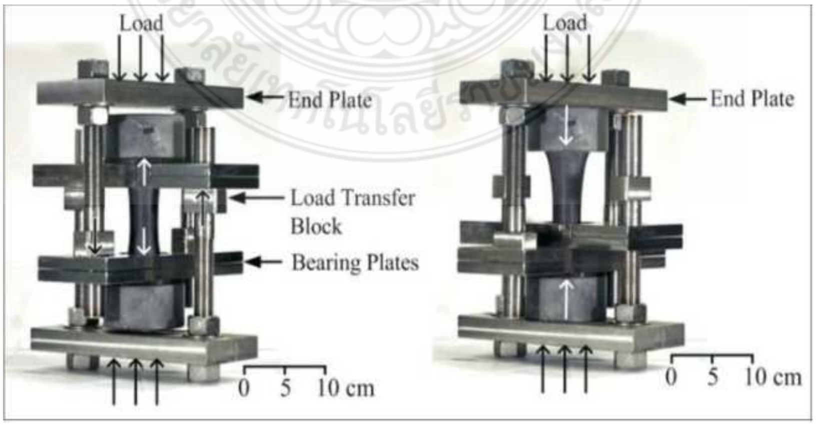
โดยปกติแล้วการให้แรงโดยตรงกับตัวอย่างคอนกรีต จะทำได้ยากเพราะอาจเกิดความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบดังนี้

1. เกิดการเยื้องศูนย์ของตัวอย่าง ทำให้คอนกรีตแตกหักก่อนที่จะได้ค่ากำลังดึงที่แท้จริง ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญ

2. มีหน่วยแรงอื่นแทรกเข้ามาจากหัวจับยึด ทำให้มีเป็นหน่วยแรงเฉพาะที่ และจนกระทั่งจะเกิดการแตก ณ บริเวณนี้

3. เมื่อมีการร้าว จะแพร่ขยายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วกำลังรับแรงดึงที่ได้จะเป็นของบริเวณที่กำลังต่ำสุด ซึ่งไม่ตรงต่อความเป็นจริง

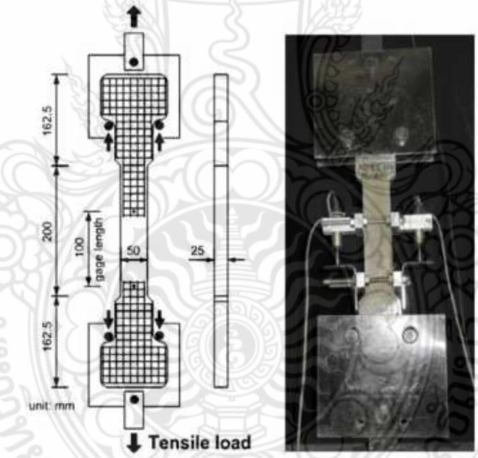
เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบ จึงได้มีการปรับปรุงเครื่องมือที่จะใช้ในการทดสอบกำลังแรงดึงโดยตรง และรูปแบบของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ ซึ่งกิตติเทพ เฟื่องขจร และสิปปกร กลั่นภูมีศรี ได้ทำการพัฒนาและปรับปรุงเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรงและรูปแบบของตัวอย่างที่จะใช้ทดสอบ เพื่อทดสอบคุณสมบัติกำลังรับแรงดึงของหินภายใต้แรงกด โดยการทดสอบกำลังรับแรงดึงแบบตรงของตัวอย่างหิน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 และ 2.5



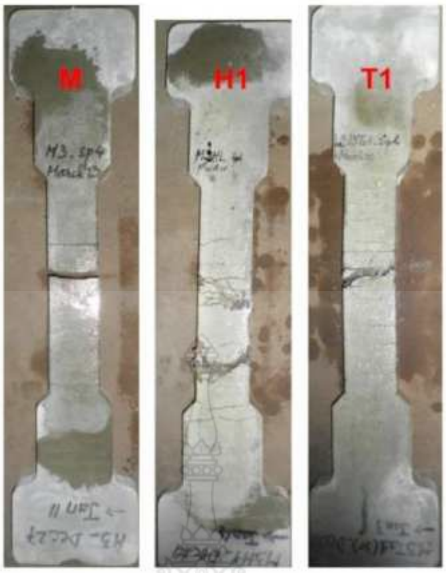
รูปที่ 2.4 เครื่องทดสอบแรงดึงโดยตรงตัวอย่างรูป Dog Bone [2]

รูปที่ 2.5 ตัวอย่างรูป Dog Bone ที่ใช้ทดสอบแรงดึงโดยตรง [2]

Tuan Kiet Tran และ Dong Joo Kim [10] ได้ทำการพัฒนาและปรับปรุงเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ เพื่อการตรวจสอบพฤติกรรม ของแรงดึงโดยตรงจากซีเมนต์เสริมเส้นใยที่มีประสิทธิภาพสูง ในอัตราความเครียดสูง ดังแสดงในรูป 2.6 และ 2.7



รูปที่ 2.6 เครื่องทดสอบแรงดึงโดยตรงตัวอย่างรูป Dog Bone [10]



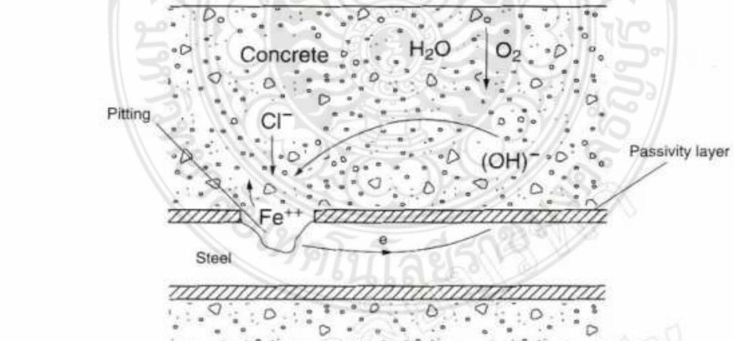
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างรูป Dog Bone ที่ใช้ทดสอบแรงดึงโดยตรง [10]

2.1.10 การกัดกร่อนเนื่องจากคลอไรด์ [1], [5]

โดยทั่วไปสารประกอบคลอไรด์ไม่ส่งผลที่เป็นอันตรายกับเนื้อของคอนกรีตที่ไม่มีเหล็กเสริม ซึ่งงานศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การใช้น้ำที่มีคลอไรด์ผสมในคอนกรีตซึ่งส่งผลให้คอนกรีตมีกำลังอัดที่สูงขึ้น เพราะเป็นสารที่เร่งการก่อตัวและเร่งการแข็งตัวของคอนกรีต แต่การใช้งานของคอนกรีตในโครงสร้างทั่วไป จำเป็นอย่างยิ่งต้องใส่เหล็กเสริมเข้าไปในคอนกรีตเพื่อให้รับแรงดึงเพราะจากคอนกรีตมีความสามารถในการรับแรงดึงได้น้อย และการที่คอนกรีตมีเหล็กเสริมนี้เองจึงส่งผลให้การทำลายเนื่องจากคลอไรด์ต่อโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีความชัดเจนและรุนแรงมาก ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการกัดกร่อน เนื่องจากคลอไรด์แตกต่างจากการกัดกร่อนจากสารเคมีอื่นที่คลอไรด์สามารถทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิมและคอนกรีตบริเวณรอบๆ เหล็กเสริมเท่านั้นที่เสียหายจากการขยายตัวของเหล็กเสริมดันคอนกรีตให้เกิดการแตกร้าว ตลอดจนทำให้ความสามารถในการรับแรงยึดเหนี่ยวของเหล็กเสริมและคอนกรีตต่ำลง และเป็นสาเหตุหลักที่ทำลายคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยลักษณะการทำลายของคลอไรด์ต่อคอนกรีตเสริมเหล็กที่อยู่ในสภาพแวดล้อมจริง ดังรูปที่ 2.8

รูปที่ 2.8 ความเสียหายของคอนกรีตเสริมเหล็กเนื่องจากคลอไรด์โดยเหล็กเป็นสนิมดันคอนกรีตให้แตกร้าว หรือหลุดร่อนออกมา [1]

การกัดกร่อนอันเนื่องจากคลอไรด์แตกต่างจากการกัดกร่อนทางเคมีอื่นตรงที่คลอไรด์ทำให้เหล็กเป็นสนิม และคอนกรีตบริเวณรอบ ๆ เหล็กเสริมเท่านั้นที่เสียหาย เนื่องจากเกิดการขยายตัวของเหล็กเสริมและเป็นสาเหตุหลักที่ทำลายองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก หลังการเกิดปฏิกิริยา ไฮเดรชันจะเกิดผลิตภัณฑ์อย่างหนึ่งเกิดขึ้นนั้นคือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นด่าง ทำให้ซีเมนต์เพสต์หรือคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว คือ มีค่า pH ประมาณ 12.5 ถึง 13.5 ความเป็นด่างของคอนกรีตจะช่วยป้องกันเหล็กเสริมภายในคอนกรีตไม่ให้เกิดสนิม โดยมีชั้นฟิล์มบางๆ ของ γ-Fe_2O_3 เคลือบผิวเหล็กเสริมไว้ ซึ่งสามารถป้องกันน้ำและก๊าซออกซิเจนไม่ให้มาทำปฏิกิริยากับเหล็กเสริมจึงไม่ก่อให้เกิดสนิม แต่เมื่อออนของคลอไรด์ทำลายฟิล์มนี้ได้ และเมื่อมีน้ำและออกซิเจนมาสัมผัสกับเหล็กเสริมบริเวณที่ไม่มีฟิล์มออกไซด์ป้องกันอยู่ เหล็กก็จะเป็นสนิม แสดงดังรูป 2.10



รูปที่ 2.9 การเกิดสนิมเหล็กเนื่องจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีเมื่อมีคลอไรด์ในคอนกรีต [1]

ความเป็นด่างของคอนกรีตอาจจะลดลงได้จากหลายสาเหตุ การแทรกซึมของคลอไรด์ก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่ง และหากค่าความเป็นด่างของคอนกรีตลดลงจนค่า pH ต่ำกว่า 9 หรือ 10 การเกิดสนิมเหล็กจะเกิดขึ้น เมื่อคลอไรด์จากน้ำทะเลสามารถแทรกซึมเข้าสู่คอนกรีตถึงชั้นของเหล็กเสริมและทำลาย

ชั้นฟิล์มดังกล่าว ประกอบกับมีน้ำหรือความชื้นและก๊าซออกซิเจนภายในคอนกรีต ทำให้เกิดกระบวนการสนิมจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีเกิดขึ้นในรูปแบบของเซลล์กัลวานิค (Galvanic Cell) เนื่องจากเกิดศักย์ไฟฟ้าที่บริเวณผิวของเหล็กเสริม ซึ่งมีสาเหตุจากความแตกต่างของสภาพแวดล้อมของคอนกรีต ความแตกต่างของความชื้น ความแตกต่างของความเข้มข้นสารละลายเกลือภายในช่องว่างคอนกรีต ฯลฯ ทำให้เกิดสภาพขั้วบวกและขั้วลบ เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าโดยมีสารละลายของเกลือคลอไรด์ในช่องว่างคอนกรีตเป็นสื่ออิเลคโทรไลต์ให้อิเลคตรอนวิ่งผ่าน

กระบวนการไฟฟ้าเคมี ของกระบวนการให้เกิดสนิมจะเริ่มจากขั้วบวก เหล็กจะแตกตัวเป็นเฟอร์รัสอิออน (Fe^{2+}) เข้าสู่สภาพสารละลาย ดังสมการ (2.6) ส่วนอิเลคตรอน (e^-) จะวิ่งผ่านไปตามเหล็กเสริมเข้าสู่ขั้วลบ โดยมีน้ำที่มีคลอไรด์ทำหน้าที่เป็นสื่ออิเลคโทรไลต์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เรียกว่าปฏิกิริยาแอโนดิค จากนั้นอิเลคตรอน (e^-) จากปฏิกิริยาแอโนดจะไปรวมตัวกับน้ำและก๊าซออกซิเจนเกิดเป็น ไฮดรอกซิลอิอน ($(OH)^-$) ซึ่งเรียกว่าปฏิกิริยาแคโทดิค ดังสมการ (2.9) และเมื่อ Fe^{2+} และ $(OH)^-$ จะเกิดเป็นเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_2$) ดังสมการ (2.7) และเมือทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเป็นเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$) หรือสนิมเหล็กในที่สุด ดังสมการ (2.8) [1]

Anodic Reaction

$$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^- \quad (2.6)$$

$$Fe^{2+} + 2(OH)^- \rightarrow Fe(OH)_2 \text{ (Ferrous Hydroxide)} \quad (2.7)$$

$$4Fe(OH)_2 + 2H_2O + O_2 \rightarrow 4Fe(OH_3) \text{ (Ferric Hydroxide)} \quad (2.8)$$

Cathodic Reaction

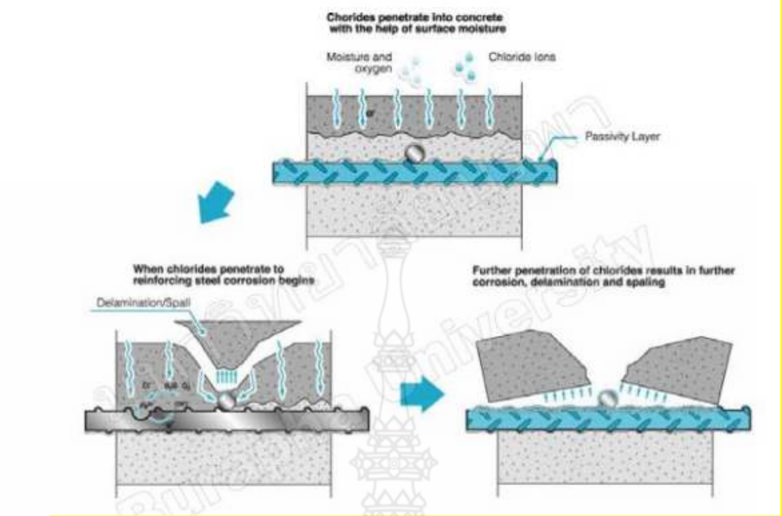
$$4e^- + O_2 + 2H_2O \rightarrow 4(OH)^- \quad (2.9)$$

Fe^{2+} ที่เกิดขึ้นอีกส่วนหนึ่งจะทำปฏิกิริยา CL^- เกิดเป็นเฟอร์ริกคลอไรด์ ($FeCL_2$) ซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะกลายเป็นสนิมเหล็กเช่นกัน ดังสมการ (2.10) และ (2.11)

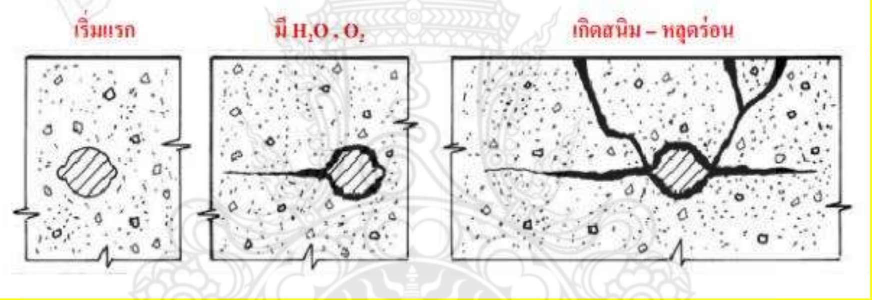
$$Fe^{2+} + 2Cl^- \rightarrow FeCl_2 \quad (2.10)$$

$$FeCl_2 + 2H_2O \rightarrow Fe(OH)_2 + 2HCl \quad (2.11)$$

การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นส่งผลทำให้มีการขยายตัวเนื่องจากเหล็กเสริมมีปริมาตรมากกว่าเนื้อเหล็กเดิมหลายเท่า ซึ่งอาจมากถึง 4-6 เท่า และผลักดันคอนกรีตให้แตกร้าวเสียหาย ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.10 การแตกร้าว หลุดร่อนของคอนกรีตเนื่องจากการเกิดสนิมเหล็ก [1]



รูปที่ 2.11 การแตกร้าว หลุดร่อนของคอนกรีตเนื่องจากการเกิดสนิมเหล็ก [1]

2.1.11 การกัดกร่อนเนื่องจากซัลเฟต [1],[3],[4]

เกลือซัลเฟตมีอยู่ตามธรรมชาติทั้งในและในน้ำใต้ดิน เช่น โซเดียมซัลเฟต (NA_2SO_4) โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) เป็นต้น ความรุนแรงจากการทำลายของซัลเฟตที่มีต่อคอนกรีตขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของซัลเฟตและความชื้น สารซัลเฟตที่อยู่ในสภานะของแข็งไม่เป็นอันตรายที่มีต่อคอนกรีต และการทำลายของซัลเฟตไม่เกิดขึ้นเมื่อคอนกรีตอยู่ในสภาพแห้ง แต่มีความรุนแรงมากขึ้นเมื่อคอนกรีตเปียกมีความชื้นและรุนแรงอย่างมากในกรณีที่คอนกรีตอยู่ในสภาพแห้ง แต่มีความรุนแรงมากขึ้นเมื่อคอนกรีตมีความเปียกชื้นและรุนแรงอย่างมากในกรณีที่คอนกรีตอยู่ในสภาพเปียกสลับแห้ง โดยสารละลายซัลเฟตจะซึมเข้าไปภายในโพรงช่องว่างของเนื้อคอนกรีตและทำปฏิกิริยากับซีเมนต์เพสต์ ทำให้เกิดสารประกอบชนิดใหม่ขึ้นซึ่งมีการขยายตัวและแตกร้าวจนทำให้ไม่สามารถรับกำลังได้

เกลือซัลเฟตที่พบในธรรมชาติและเป็นอันตรายต่อโครงสร้างคอนกรีตได้แก่ โซเดียมซัลเฟต แมกนีเซียมซัลเฟต และแคลเซียมซัลเฟต โดยทั่วไปคอนกรีตมีส่วนผสมของมวลรวมกับปูนซีเมนต์แต่มวลรวมมีการทำปฏิกิริยากับซัลเฟตน้อยมาก ดังนั้นจึงนำมาเสนอเฉพาะกระบวนการกัดกร่อนที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับซัลเฟตเท่านั้น โดยนำเสนอเฉพาะกระบวนการกัดกร่อนที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับซัลเฟตเท่านั้น โดยนำเสนอเฉพาะสารประกอบซัลเฟตที่ส่งผลต่อการทำลายคอนกรีต และจะพบมากในสภาพแวดล้อมทั่วไป เช่น ในสภาวะแวดล้อมทะเล ในบริเวณดินเค็ม เป็นต้น ในที่นี้กล่าวถึงกระบวนกระกัดกร่อนเนื่องจากโซเดียมซัลเฟตและแมกนีเซียมซัลเฟต ซึ่งพบมากในสภาพแวดล้อมทั่วไปมีผลต่อการทำลายโครงสร้างคอนกรีตคอนข้างรุนแรง ซึ่งโดยภาพรวมแล้วทำการทำลายเนื่องจากซัลเฟตต่อคอนกรีตจะเป็นในลักษณะที่ทำให้คอนกรีตขยายตัว แตกร้าวจะสูญเสียกำลังรับแรง ดังแสดงในรูปที่ 2.12

รูปที่ 2.12 ลักษณะการทำลายของสารประกอบซัลเฟตต่อคอนกรีต [1]

กระบวนการเกิดกัดกร่อนของสารประกอบของโซเดียมต่อซัลเฟตต่อคอนกรีตเริ่มต้นจากปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมซัลเฟตกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เป็นปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ทำให้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ($Na_2(OH)_2$) และแคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) หรือยิปซัม ตามสมการ (2.12) โดยยิปซัมสามารถทำปฏิกิริยาต่อเนื่อง C-A-H ซึ่งได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น โดยปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังสมการ (2.13) และบางส่วนอาจทำปฏิกิริยากับแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรตที่ซัลเฟตอิออนหายไป หรืออาจทำปฏิกิริยากับ C_3A ที่เหลือจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ซึ่งทั้งหมดนี้ทำให้ได้แคลเซียมซัลโฟอลูมิเนต ($3CaO \cdot Al0_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$) หรือ Ettringite [1]

$$Ca(OH)_2+Na_2SO_4+2H_2O \longrightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O+Na_2(OH)_2 \qquad (2.12)$$

$$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 12H_2O+3\left(CaSO_4 \cdot 2H_2O\right)+14H_2O \longrightarrow 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2OCa \qquad (2.13)$$

กระบวนการกัดกร่อนของแมกนีเซียมซัลเฟตต่อคอนกรีตปฏิกิริยาระหว่างแมกนีเซียมซัลเฟตกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ทำให้ได้แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ($Mg(SO)_4$) และแคลเซียมซัลเฟตหรือยิปซัมตามสมการ (2.14) จากนั้นยิปซัมจะทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกับ C-A-H ได้ผลเป็นแคลเซียมซัลโฟอลูมิเนตหรือ Ettringite นอกจากนั้นแมกนีเซียมซัลเฟต ($Mg(SO)_4$) ยังทำปฏิกิริยา C-A-H ได้เป็นแคลเซียมซัลโฟอลูมิเนตอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($Al(OH)_3$) และแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ($Mg(OH)_2$) ตามสมการที่ (2.15) อีกด้วย [1]

$$Ca(OH)_2+MgSO_4+2H_2O \longrightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O+Mg(OH)_2 \qquad (2.14)$$

$$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 12H_2O+3\left(MgSO_4 \cdot 7H_2O\right)+12H_2O \longrightarrow$$
$$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O+2Al\left(OH\right)_3+3Mg\left(OH\right)_2+8H_2O \qquad (2.15)$$

นอกจากนี้แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันทำยังปฏิกิริยากับแมกนีเซียมซัลเฟตได้เป็นยิปซัม แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ และซิลิกาเจล ($SiO_2 \cdot nH_2O$) ตามสมการที่ (2.16)

$$3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot nH_2O+MgSO_4 \cdot 7H_2O \longrightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O+Mg\left(OH\right)_2+SiO_2 \cdot nH_2O \qquad (2.16)$$

ยิปซัมที่เกิดขึ้นนี้ยังสามารถทำปฏิกิริยากับ C-A-H ตามสมการที่ (2.15) อีกด้วยซึ่งผลที่ได้เป็น Ettringite เหมือนเดิม ส่วนซิลิกาเจล $SiO_2 \cdot nH_2O$ ตามสมการที่ (2.16) ยังทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์เป็น แมกนีเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($4MgO \cdot SiO_2 \cdot 8.5H_2O$) ดังสมการที่ (2.17)

$$4Mg\left(OH\right)_2+SiO_2 \cdot nH_2O \longrightarrow 4MgO \cdot SiO_2 \cdot 8.5H_2O+(n-4.5)H_2O) \qquad (2.17)$$

ยิปซัมและแคลเซียมซัลโฟอลูมิเนตที่เกิดขึ้น มีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าสารประกอบเดิม มีการขยายตัวซึ่งทำให้มีปริมาณมากขึ้น และเกิดแรงดันในคอนกรีตเป็นผลให้คอนกรีตแตกร้าวในที่สุด ส่วนซิลิกาเจลและแมกนีเซียมซิลิกาไฮเดรต เป็นสารที่ไม่แข็งแรงเท่ากับแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตที่สูญเสียไปทำให้กำลังของคอนกรีตอาจลดลง จากสมการทางเคมีข้างต้นพบว่าในการลดปริมาณของ C_3A ให้น้อยลงทำให้ปริมาณของแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรตลดลง ส่งผลให้ปริมาณในการเกิดยิปซัม แคลเซียม

ซัลโฟอลูมิเนต และแมกนีเซียมซิลิเกตไฮเดรตลดลงตามไปด้วย ทำให้การกัดกร่อนของซัลเฟตลดลง ดังนั้นการใช้ปูนซีเมนต์ที่มี C_3A ต่ำ จึงสามารถลดการกัดกร่อนจากซัลเฟตได้ดี

โดยสรุปแล้วกระบวนการกัดกร่อนทางเคมีเนื่องจากสารประกอบซัลเฟตที่มีต่อคอนกรีตทำให้ได้สารประกอบที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีตดังนี้แคลเซียมซัลเฟต หรือ ยิปซัม เป็นผลจากปฏิกิริยาระหว่าง แคลเซียมไฮดรอกไซด์เกิดกับแมกนีเซียมซัลเฟต โดยยิปซัมมีการขยายตัวมากกว่าแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นสารดั้งเดิมถึง 2.2 เท่า เป็นผลทำให้คอนกรีตเกิดการขยายตัวและแตกร้าว นอกจากนั้นยังทำให้คอนกรีตไม่สามารถยึดเกาะระหว่างซีเมนต์เพสต์กับมวลรวม อันเนื่องจากเกลือที่เกิดขึ้นสามารถชะล้างหลุดออกไปได้ง่ายส่งผลให้เนื้อคอนกรีตหายไปด้วยและมวลรวมหลุจากคอนกรีตได้ง่าย โดยในกระบวนการผลิตคอนกรีตสามารถลดปริมาณของยิปซัมลงได้โดยการเติมสารที่มีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลานเพื่อลด C_3S และ C_2S ซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดแคลเซียมไฮดรอกไซด์

แมกนีเซียมซิลิเกตไฮเดรต เป็นสารประกอบที่เป็นผลจากปฏิกิริยาระหว่างซิลิกาเจลกับแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ โดยสารนี้มีลักษณะเป็นสีขาวมีความแข็งแรงต่ำและส่งผลให้กำลังอัดคอนกรีตลดลงอีกด้วย

2.1.15 แรงดัดในคาน [1]

รายละเอียดการทดสอบแรงดึงของคอนกรีตโดยวิธีการดัด (bending method) หรือเรียกว่าการทดสอบโมดูลัสแตกร้าว (modulus of rupture) โดยเทคอนกรีต 2 ชั้นแต่ละชั้นกระทุ้งจำนวน 60 ครั้งแต่ละครั้งครอบคลุมพื้นที่ 12.5 ซม.^{2} คอนกรีตที่มีความข้นหรือเหนียวมากให้ใช้เครื่องเขย่าภายหลังจากหล่อคอนกรีตประมาณ 24 ชั่วโมงถึงถอดแบบและนำไปบ่มเพื่อทดสอบการรับแรงดึงด้วยวิธีดัดนิยมใช้การกดแบบ 3 จุด (third point loading) การให้น้ำหนักกดลงตัวอย่างคอนกรีตจะให้ในอัตรา 860 ถึง 1,200 กิโลปาสกาลต่อนาที จนตัวอย่างแตกหักออกจากกันโดยทั่วไปคานอาจจะหักเป็น 2 ท่อนตรงบริเวณช่วงระหว่าง L/3 ถึง 2L/3 ซึ่งบริเวณดังกล่าวมีค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดและไม่มีแรงเฉือนและถือว่าการแตกหักโดยโมเมนต์ล้วนๆ การคำนวณกำลังดัด (แรงดึง) ประลัยที่ทำให้คานแตกหักออกจากกันสามารถคำนวณจากสมการที่ 2.18 และกรณีที่รอยแตกหักของตัวอย่างไม่อยู่ในช่วงระหว่าง L/3 ถึง 2L/3 ของคานแต่ต้องไม่เกินร้อยละ 5 ของช่วงความยาวช่วงคานโดยใช้สมการที่ 2.19 เพื่อใช้คำนวณ

$$\sigma = \frac{PL}{bd^2} \tag{2.18}$$

$$\sigma = \frac{3PL}{bd^2} \tag{2.19}$$

เมื่อ σ เป็นกำลังดัด (แรงดึง) ประลัยของคอนกรีต (กก./ซม.^{2})

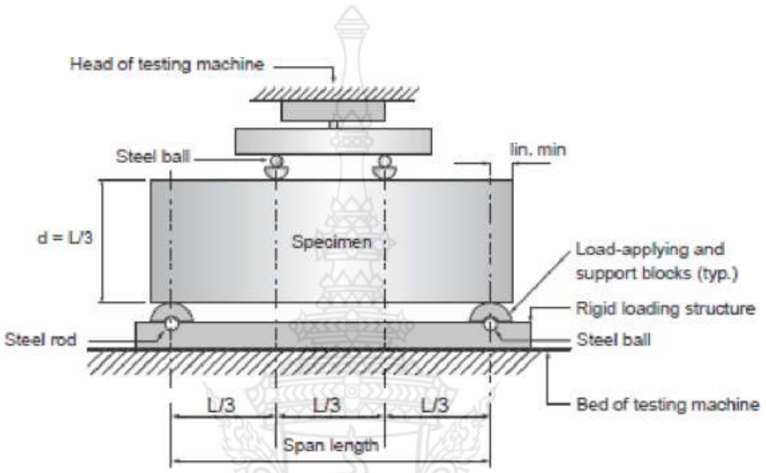
P เป็นน้ำหนักประลัยที่ทำให้คอนกรีตแตกหัก (กก.)

L เป็นช่วงความยาวของคานระหว่างจุดรองรับกับจุดให้น้ำหนัก (ซม.)

b เป็นความกว้างของคาน (ซม.)

d เป็นความลึกของคาน (ซม.)

r เป็นระยะเฉลี่ยจากจุดรองรับถึงจุดแตกหักของคาน (ซม.)



รูปที่ 2.13 การทดสอบการรับแรงดึงของคานโดยวิธีดัด

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 เรืองรุชดิ์ ชีระโรจน์ และ คณะ [8] ได้กล่าวว่าอนุภาคขนาดเล็กของวัสดุมีผลทำให้มอร์ต้าร์หรือคอนกรีตมีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้นเป็นผลให้กำลังอัดสูงขึ้นโดยไม่ต้องอาศัยปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งเกิดจากการจัดเรียงที่เหมาะสมของอนุภาคที่มีขนาดเล็กและแทรกอยู่ในช่องระหว่างปูนซีเมนต์ และทรายหรือหิน กำลังอัดส่วนที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นกำลังอัดที่เกิดขึ้นนอกเหนือจากกำลังอัดที่เป็นผลจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่ได้จากปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำ และผลการทดสอบพบว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีปริมาณน้ำหนักของวัสดุที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 อยู่ร้อยละ 13 และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 11 ไมโครเมตร

2.2.2 ชัชวาล [1] กล่าวว่าความต้านทานให้ต้านรับแรงดึงของคอนกรีตต่ำมาก คือประมาณร้อยละ 10 ของกำลังประลัย ถึงแม้ในการคำนวณออกแบบในการคำนวณออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก คอนกรีตจะไม่ได้รับแรงดึงโดยตรงก็ตาม แต่การทราบค่ากำลังนี้จะช่วยในการควบคุมการแตกร้าวของคอนกรีตจากผลกระทบต่างๆ เช่น อุณหภูมิ การหดตัววิธีวัดค่าแรงดึงในคอนกรีตทำได้ 3

วิธีคือ 1. วิธีกำลังรับแรงดึงโดยตรง (Direct Tensile Test) 2. วิธีกำลังรับแรงดึง แบบผ่าซีก (Splitting Test) 3. วิธีโมดูลัสการแตกร้าวของคอนกรีต (Flexural Strength Test) [1]

2.2.3 Lea [9] กล่าวว่าปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์เกิดจากไตรแคลเซียมซิลิเกต ($3CaO{\cdot}SiO_2$) ไดแคลเซียมซิลิเกต ($2CaO{\cdot}SiO_2$) ไตรแคลเซียมอลูมิเนต ($3CaO{\cdot}Al_2O_3$) เตจราคัลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ *($4C_aO{\cdot}Al_2O{\cdot}Fe_2O_3$)* รวมกับน้ำจะทำให้ปูนซเมนต์มีลักษณะเป็นของเหลวข้นและเกิดสารประกอบขึ้นมา 2 ชนิดคือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($Z3C_aO{\cdot}2SiO_2{\cdot}3H_2O$) หรือเรียกย่อๆว่า C-S-H และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($C_a(OH)_2$) [4]

2.2.4 กิรติกร และ วิเชียร [5] กล่าวว่ากำลังอัดคอนกรีตที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลต่อการลดความลึกของการแทรกซึมคลอไรด์ในคอนกรีตแบบธรรมดามากกว่าคอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหิน โดยการแทนที่เถ้าถ่านหินในปริมาณที่สูงขึ้น การเพิ่มกำลังอัดก็ยิ่งทำให้มีอิทธิพลต่อการลดความลึกของการแทรกซึมคลอไรด์ได้น้อยลง (ความลึกของการแทรกซึมคลอไรด์ในคอนกรีตที่แช่) [5]

2.2.5 Cho Ching Joe Kwan [7] กล่าวว่ารายละเอียดของความสัมพันธ์ระหว่างกริดกับมวลรวม เพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างกันและระบุองค์ประกอบที่สำคัญ ซึ่งแสดงกลไกการเชื่อมต่อกัน การเสริมแรงของวัสดุจะต้องอาศัยการเชื่อมต่อกันระหว่างกริดและมวลรวมที่มีประสิทธิภาพ เมื่อมีการเสริมกำลังเกิดขึ้นจะมีการลดความเครียดที่ไม่สามารถกู้คืนได้เหนือเขตอิทธิพลของกริด ช่วยลดการทรุดตัวตามแนวตั้งของบัลลาสต์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพผลกระทบความแข็งของตารางขนาดของช่องรับความแข็งแรงของกริดและตำแหน่งของเส้นตารางภายในชั้นบัลลาสต์ [8]

2.2.6 ชยณัฐ และ จตุพล [11] การศึกษาถึงผลกระทบของการใช้ตะกอนประปา, ทรายบด และเถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ ต่อค่าการอัดตัวของอนุภาค และปฏิกิริยาปอซโซลานค่าแรงดึงโดยตรงของคอนกรีต ผลการทดลองพบว่าขนาดของอนุภาคขนาดที่เล็กที่สุดจะให้ค่าแรงดึงโดยตรงของคอนกรีตสูงกว่าขนาดที่ใหญ่กว่า สำหรับการใช้เถ้าถ่านหินที่มีขนากเล็กกว่าจะให้ผลของปฏิกิริยาปอซโซลานต่อค่าแรงดึงโดยตรงของคอนกรีตสูงกว่าการใช้เถ้าถ่านหินขนาดใหญ่กว่า และการแทนที่มากขึ้นมีผลต่อค่าแรงดึงโดยตรงของคอนกรีตเนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลาน

2.2.7 ยิ่งพงษ์ และ จตุพล [12] งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงผลของการใช้ตะกอนน้ำประปามาใช้ในงานคอนกรีต ต่อกำลังอัดประลัย แรงดึงโดยตรง ที่อายุ 7, 28 และ 60 วัน ผลการทดสอบพบว่าค่ากำลังอัดของคอนกรีตและค่าแรงดึงโดยตรงที่ใช้ตะกอนน้ำประปามีค่าต่ำกว่าคอนกรีตปกติ ทั้งกำลังอัดและค่าแรงดึงโดยตรงของการแทนที่ตะกอนน้ำประปาที่ร้อยละ 20 มีค่าน้อยกว่าการแทนที่ที่ร้อยละ 10 1เนื่องจากการแทนที่ตะกอนน้ำประปามากขึ้น

2.2.8 ตะวัน เพชรอาวุธ และ จตุพล ตั้งปกาศิต [13] ได้ทำการศึกษาถึงผลของการใช้ตะกอนน้ำประปาจากโรงผลิตน้ำประปาบางเขนมาใช้แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ใน

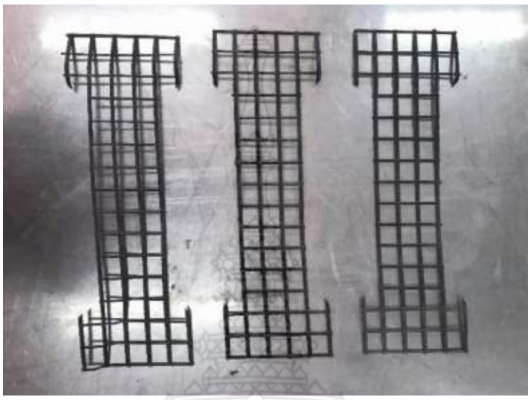
งานมอร์ต้าร์เกร้าท์รอยต่อผิวทางคอนกรีตสำเร็จรูป ผลการทดสอบแรงดึงโดยตรงพบว่าค่าแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างคอนกรีตที่ฝังเหล็กแล้วใช้มอร์ต้าร์เกร้าท์มีค่าสูงกว่าแรงดึงในคอนกรีตล้วน

2.2.9 Tuan Kiet Tran และ Dong Joo Kim [14] ได้พัฒนาและปรับปรุงเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรง และรูปแบบของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบเพื่อการตรวจสอบพฤติกรรมของแรงดึงโดยตรงจากซีเมนต์เสริมเส้นใยที่มีประสิทธิภาพสูง

บทที่ 3
วิธีการศึกษา

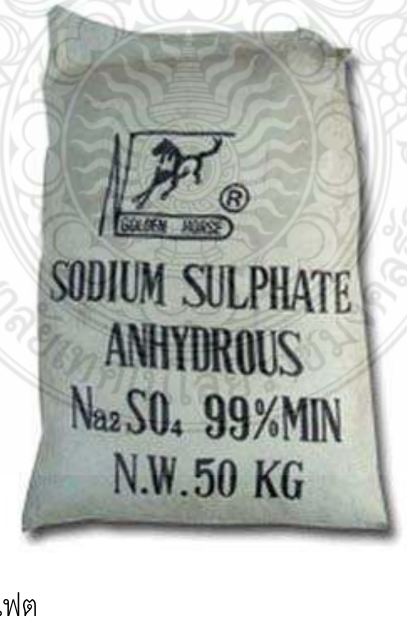
3.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

3.1.1 Geogrid Biaxial ใช้เป็นวัสดุเสริมแรง



รูปที่ 3.1 Geogrid Biaxial

3.1.2 สารละลายโซเดียมซัลเฟต ผสมในน้ำที่ใช้บ่มตัวอย่างคอนกรีตโดยใช้ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 3.2 สารละลายโซเดียมซัลเฟต

3.1.3 สารละลายโซเดียมคลอไรด์ ผสมในน้ำที่ใช้บ่มตัวอย่างคอนกรีตโดยใช้ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

รูปที่ 3.3 สารละลายโซเดียมคลอไรด์

3.1.4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

รูปที่ 3.4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

3.2.1 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรง หรือ เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine : UTM)

รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบกำลังดึงโดยตรงหรือเครื่องทดสอบอเนกประสงค์

3.2.2 แบบหล่อตัวอย่างของคอนกรีตรูปทรงกระบอก, รูปตัวไอ และแบบคาน

รูปที่ 3.6 แบบหล่อตัวอย่างของคอนกรีตกระบอก

รูปที่ 3.7 แบบหล่อตัวอย่างของคอนกรีตรูป Dog Bone

รูปที่ 3.8 แบบหล่อคอนกรีตคาน

3.2.4 เครื่องผสมคอนกรีต

รูปที่ 3.9 เครื่องผสมคอนกรีต

3.2.5 ชุดตะแกรงร่อนทราย

รูปที่ 3.10 ชุดตะแกรงร่อนทราย

3.2.6 ชุดตะแกรงร่อนหิน

รูปที่ 3.11 ชุดตะแกรงร่อนหิน

3.2.7 เครื่องชั่งน้ำหนักระบบดิจิตอล

รูปที่ 3.12 เครื่องชั่งน้ำหนักระบบดิจิตอล

3.3 ขั้นตอนวิธีการดำเนินการศึกษา

3.3.1 เตรียมวัสดุในการศึกษา เตรียมวัสดุจีโอกริด เหล็กตะแกรงไวร์เมช น้ำ สารละลายโซเดียมซัลเฟต และสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เตรียมตัวอย่างคอนกรีตสำหรับการทดสอบ

3.3.2 การเตรียมวัสดุผสมคอนกรีตและการผสมคอนกรีต

รูปที่ 3.13 เตรียมปูนซีเมนต์ในการผสมคอนกรีตตัวอย่าง

รูปที่ 3.14 เตรียมทรายในการผสมคอนกรีตตัวอย่าง

รูปที่ 3.15 เตรียมหินในการผสมคอนกรีตตัวอย่าง

รูปที่ 3.16 ผสมส่วนผสมคอนกรีตตัวอย่าง

3.3.2 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต

นำวัสดุต่างๆ ที่ใช้ผสมคอนกรีตมาผสมตามอัตราส่วนที่ทำการออกไว้แล้วเทลงแบบหล่อ ตัวอย่างคอนกรีต ซึ่งจะแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอก รูปตัวไอ และแบบคาน ดังนี้

- ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก

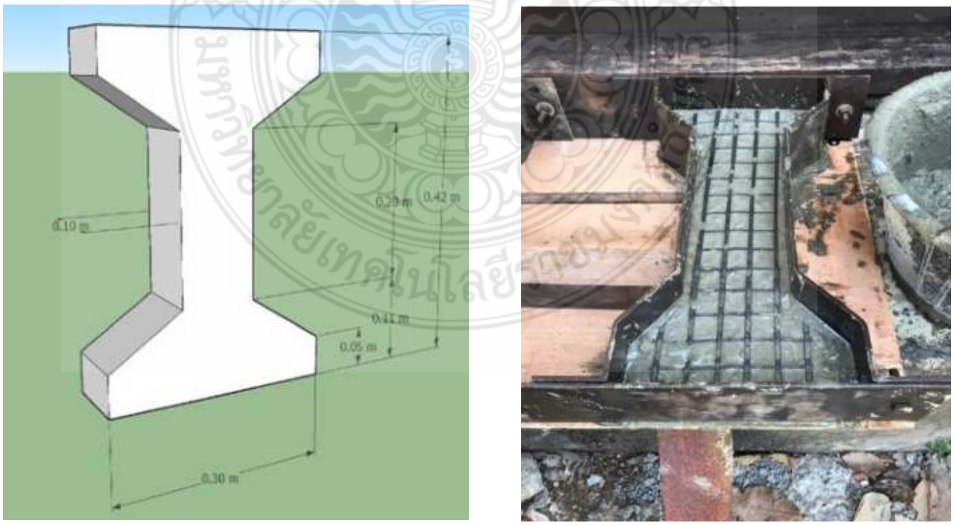
นำคอนกรีตที่ผสมเสร็จแล้ว ที่ใช้กำลังอัดเท่ากับ 200 ksc. หลังจากนั้นทำการเทคอนกรีตใส่แบบหล่อ โดยการเทคอนกรีตแบ่งเป็น 3 ชั้น ทุกชั้นจะทำการทุ้งคอนกรีตชั้นละ 25 ครั้ง ปาดหน้าคอนกรีตให้เรียบสม่ำเสมอเมื่อคอนกรีตก่อตัวครบ 24 ชม. จึงถอดแบบหล่อแล้วนำคอนกรีตบ่มในน้ำ บ่มในสารละลายโซเดียมซัลเฟต และบ่มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ที่อายุ 28 และ 180 วัน เพื่อนำไปทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด

รูปที่ 3.17 เทคอนกรีตใส่แบบหล่อคอนกรีตทรงกระบอก และทำการกระทุ้งคอนกรีต

รูปที่ 3.18 ทำการปาดผิวหน้าคอนกรีตทรงกระบอก

- ตัวอย่างคอนกรีตรูป Dog Bone

นำแบบหล่อคอนกรีตตัวอย่างรูป Dog Bone หลังจากนั้นทำการเทคอนกรีตใส่แบบหล่อจะแบ่งเป็น 3 ชั้น ทุกชั้นจะทำการทุ้งคอนกรีตชั้นละ 25 ครั้ง โดยการหล่อตัวอย่างชนิดนี้จะมีทั้งการเสริมจีโอกริด และมีแบบไม่เสริมแรง ซึ่งตัวอย่างคอนกรีตรูป Dog Bone เป็นการทดสอบหลักสำหรับกำลังรับแรงดึงโดยตรงของคอนกรีตเสริมจีโอกริด เทียบกับตัวอย่างต่างๆ ทำการถอดแบบเมื่อคอนกรีตก่อตัวครบ 24 ชั่วโมง แล้วนำไปบ่มในน้ำ บ่มในสารละลายโซเดียมซัลเฟต และบ่มสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นใช้ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เมื่อครบอายุ 28 วัน และ 180 วัน แล้วจึงนำไปทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรง



รูปที่ 3.19 ขนาดของตัวอย่างคอนกรีตรูป Dog Bone และการเสริมจีโอกริด

รูปที่ 3.20 ตัวอย่างคอนกรีตรูป Dog Bone เสริมจีโอกริดแบบทาบรอยต่อ 1 ช่อง

รูปที่ 3.21 ตัวอย่างคอนกรีตรูป Dog Bone เสริมจีโอกริดแบบทาบรอยต่อ 2 ช่อง

รูปที่ 3.22 ตัวอย่างคอนกรีตรูป Dog Bone เสริมจีโอกริดแบบทาบรอยต่อ 3 ช่อง

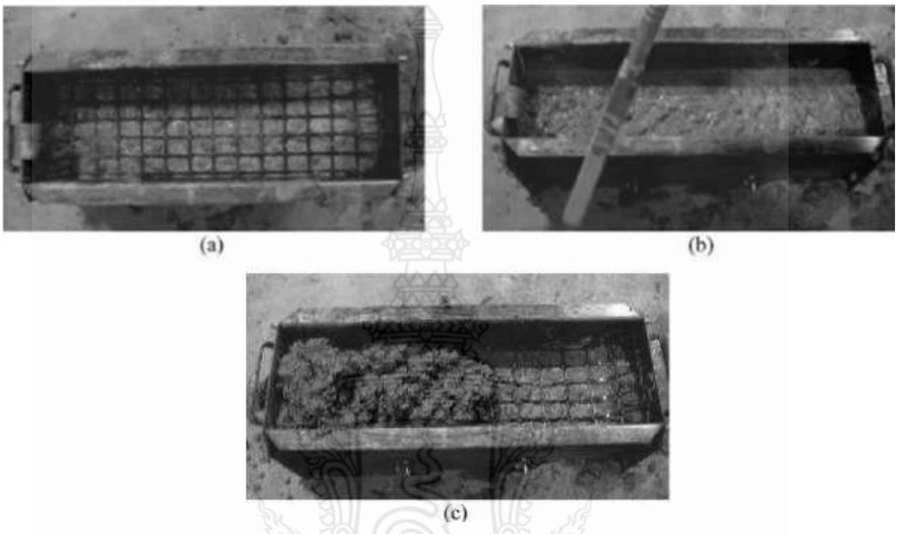
รูปที่ 3.23 ทำการปาดผิวหน้าคอนกรีตรูป Dog Bone ทั้งแบบเสริมจีดกริด และแบบไม่เสริมจีโอกริด

รูปที่ 3.24 ตัวอย่างคอนกรีตบ่มในสารละลายโซเดียมซัลเฟต, สารละลายโซเดียมคลอไรด์ และน้ำ

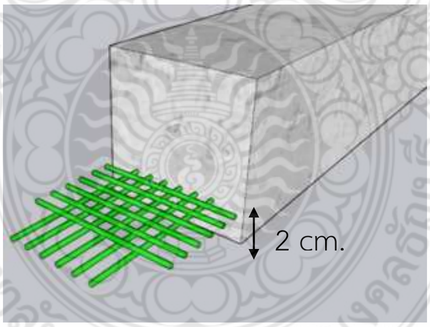
รูปที่ 3.25 ตัวอย่างคอนกรีตรูป Dog Bone

- ตัวอย่างคอนกรีตคาน

หลังจากผสมคอนกรีตแล้ว ทำการเทคอนกรีตลงแบบหล่อโดยการหล่อตัวอย่างซึ่งแแบ่งเป็น 3 ชั้น แต่ละชั้นจะทำการทุ้งคอนกรีตชั้นละ 25 ครั้ง ทั้งตัวอย่างคานคอนกรีตแบบไม่เสริมแรง และเสริมแรงด้วยจีโอกริด ทำการถอดแบบเมื่อคอนกรีตก่อตัวครบ 24 ชั่วโมง ทำการถอดแบบแล้วนำไปบ่มในน้ำ เมื่ออายุครบ 28 วัน และ 90 วัน แล้วนำไปทำการทดสอบกำลังรับแรงดัด



รูปที่ 3.26 เทคอนกรีตลงแบบหล่อคอนกรีตแบบคาน ทำการกระทุ้งและปาดผิวหน้าให้เรียบ



รูปที่ 3.27 ตำแหน่งการเสริมจีโอกริดของตัวอย่างคอนกรีตคาน

3.3.4 วิธีการทดสอบ

- ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก

นำตัวอย่างคอนกรีตที่บ่มในน้ำทั้ง 3 ชนิด ที่อายุ 28 และ 180 วัน ขึ้นมาผึ่งให้แห้ง จากนั้นทำการวัดขนาด ชั่งน้ำหนัก และจดบันทึกค่าไว้ จากนั้นทำการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัด บันทึกค่ากำลังอัดที่เครื่องทดสอบอ่านได้ เพื่อศึกษาผลกระทบของสารเคมีต่อตัวอย่างคอนกรีต

รูปที่ 3.28 ทำการทดสอบกำลังอัดตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอก

- ตัวอย่างคอนกรีตรูป Dog Bone

นำตัวอย่างคอนกรีตแบบไม่เสริมแรง แบบเสริมเหล็กไวร์เมช และแบบเสริมจีโอกริดที่บ่มแช่ในน้ำทั้ง 3 ชนิด ที่อายุ 28 และ 180 วัน และตัวอย่างคอนกรีตเสริมจีโอกริดแบบทาบรอยต่อ 1 2 และ 3 ช่อง ที่อายุ 7 14 และ 28 วัน ตามกำหนดวันทดสอบผึ่งให้แห้ง จากนั้นชั่งน้ำหนักและจดค่าบันทึกไว้ นำมาทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรง โดยใช้ที่ยึดปลายทั้งสองข้างของตัวอย่างคอนกรีตรูป Dog Bone จากนั้นทำการทดสอบคอนกรีตตัวอย่างจดบันทึกค่ากำลังดึงจากเครื่องทดสอบ เพื่อใช้ในการคิดคำนวณและเปรียบเทียบค่าในแต่ละกรณีต่อไป

รูปที่ 3.29 ทำการทดสอบแรงดึงโดยตรงตัวอย่างคอนกรีตรูป Dog Bone

- ตัวอย่างคอนกรีตคาน

นำตัวอย่างคอนกรีตที่บ่มในน้ำที่อายุ 7 14 วัน และ 28 วัน นำขึ้นมาผึ่งให้แห้ง จากนั้นชั่งน้ำหนักและจดค่าบันทึกไว้ นำมาทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบกำลังรับแรงดัดแบบใช้แรงกด การทดสอบรูปแบบนี้คือให้แรงกระทำที่ 2 จุดในบริเวณตรงกึ่งกลางของตัวอย่าง และจุดรองรับในทิศทางตรงกันข้ามกับบริเวณปลายทั้งสองด้าน ตามมาตรฐาน ASTM C78 จากนั้นทำการทดสอบตัวอย่างคอนกรีต และสังเกตพฤติกรรมการแอ่นตัว (ductility) จนกระทั่ง ตัวอย่างคอนกรีตคานเกิดการวิบัติ นำค่าที่ได้มาคิดคำนวณและเปรียบเทียบค่าในแต่ละกรณีต่อไป

รูปที่ 3.30 ทำการทดสอบกำลังรับแรงดัดตัวอย่างคอนกรีตแบบคาน

3.4 แนวทางการวิเคราะห์ผล

การทดสอบตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกเป็นการทดสอบกำลังรับแรงอัด ตัวอย่างคอนกรีตรูป Dog Bone เป็นการทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรง และตัวอย่างคอนกรีตแบบคานเป็นการทดสอบกำลังรับแรงดัด โดยใช้กำลังอัด 200 ksc.

1) กรณีของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก ที่อายุ 28 และ 180 วัน ทำการทดสอบและเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่บ่มในน้ำทั้ง 3 ชนิด

2) กรณีของตัวอย่างรูป Dog Bone แบบไม่เสริมแรง แบบเสริมเหล็กตะแกรงไวร์เมช และแบบเสริมแรงด้วยจีโอกริด ที่บ่มในน้ำ บ่มในสารละลายโซเดียมซัลเฟต และสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรง โดยเปรียบเทียบค่ากำลังการรับดึงและผลกระทบของสารเคมีต่อคอนกรีตที่อายุ 28 และ 180 วัน

3) กรณีของตัวอย่างรูป Dog Bone แบบไม่เสริมแรง เสริมแรงด้วยจีโอกริดแบบทาบ 1 ช่อง 2 ช่อง และ 3 ช่อง ทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรง โดยเปรียบเทียบค่ากำลังรับดึงที่อายุ 7 14 และ 28 วัน

4) กรณีของตัวอย่างคอนกรีตแบบคาน โดยตัวอย่างคอนกรีตคานแบบไม่เสริมแรง และตัวอย่างคอนกรีตคานแบบเสริมแรงด้วยจีโอกริด ทดสอบกำลังรับแรงดัดที่อายุ 7 14 วัน และ 28 วัน เพื่อให้ได้ค่ากำลังในการรับแรงดัดของตัวอย่างคอนกรีตคานทั้ง 2 แบบ

บทที่ 4
ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผลการศึกษา

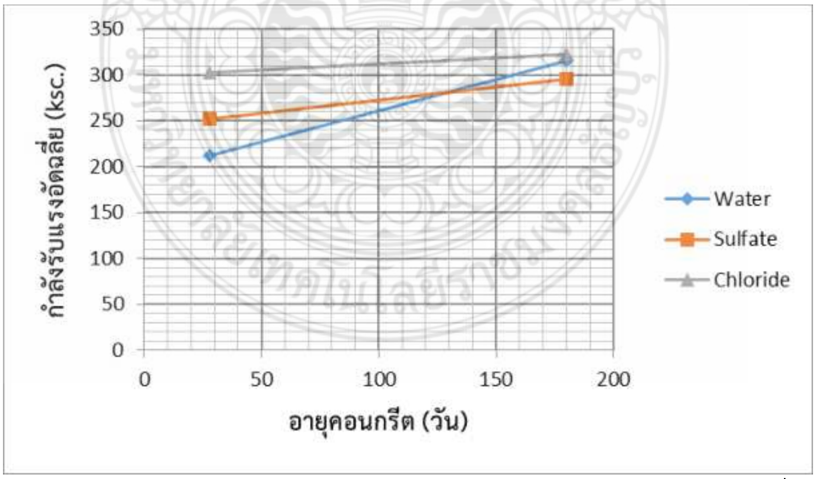
ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ผลการทดสอบ โดยแบ่งออกเป็นผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาด 15 X 30 ซม. และการทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone แบบไม่เสริมแรง แบบเสริมด้วยไวร์เมช และ แบบเสริมด้วยจีโอกริด ที่บ่มในน้ำ บ่มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และบ่มในสารละลายโซเดียมซัลเฟต ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone เสริมจีโอกริดแบบทาบรอยต่อ 1 ช่อง 2 ช่อง และ 3 ช่อง และผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของตัวอย่างคอนกรีตแบบคานขนาด 10 X 10 X 50 ซม. แบบไม่เสริมจีโอกริด และแบบเสริมจีโอกริด

4.1 ทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก

จากผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตทรงกระบอก ทดสอบที่อายุ 28 และ 180 วัน โดยทำการเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่บ่มน้ำต่างชนิดกัน

ตารางที่ 4.1 กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอก

อายุคอนกรีต (วัน)	Water (ksc.)	Sulfate (ksc.)	Chloride (ksc.)
C-28	212	252	302
C-180	315	295	322



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่บ่มในน้ำประเภทต่างๆ ที่อายุ 28 วัน และ 180 วัน

จากการทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน ดังแสดงในตารางที่ 1 และ รูปที่ 4.1 พบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตที่บ่มในน้ำมีค่า 212 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งมีค่าเป็นไปตามที่ออกแบบส่วนผสมไว้ และเมื่ออายุ 180 วัน ค่ากำลังอัดพัฒนาขึ้นไปถึง 315 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งเป็นการเพิ่มกำลังอัดตามอายุที่เพิ่มขึ้นของปฏิกิริยาไฮเดรชัน และที่อายุ 180 วัน มีการเพิ่มขึ้น ของกำลังรับแรงอัดมากขึ้นตามอายุที่มากขึ้นเท่ากับ 315 295 และ 322 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ของตัวอย่างคอนกรีตที่บ่มในน้ำ บ่มในสารละลายโซเดียมซัลเฟต และบ่มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ตามลำดับ จากผลที่ได้พบว่าสารละลายแต่ละชนิดยังไม่ส่งผลกระทบอย่างชัดเจนกับตัวอย่างคอนกรีต

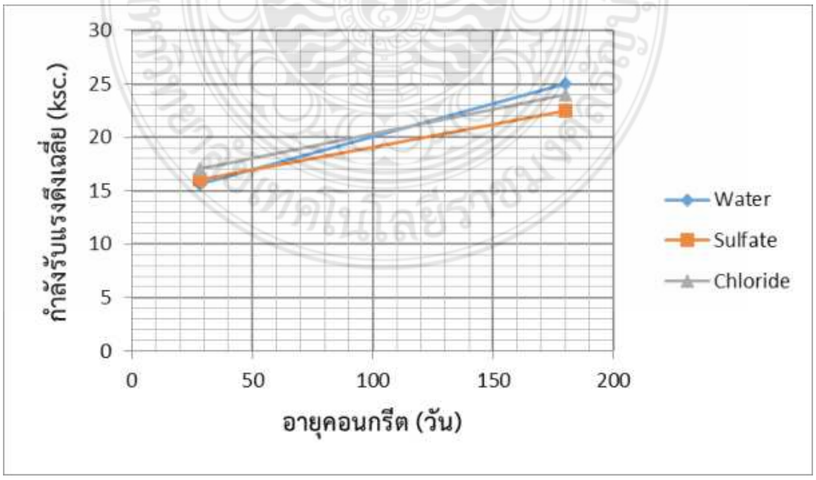
4.2 ทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone

ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone โดยทำการเปรียบเทียบกำลังรับแรงดึงโดยตรงของคอนกรีตแบบไม่เสริมแรง แบบเสริมเหล็กไวร์เมช และแบบเสริมจีโอกริด ในสภาวะการบ่มในน้ำ บ่มในสารละลายโซเดียมซัลเฟต และบ่มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่อายุ 28 วัน และ 180 วัน โดยใช้กำลังอัดออกแบบที่ 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

4.2.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone แบบไม่เสริมแรง

ตารางที่ 4.2 กำลังรับแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone แบบไม่เสริมแรง

อายุคอนกรีต (วัน)	Water (ksc.)	Sulfate (ksc.)	Chloride (ksc.)
N-28	15.6	16.0	17.0
N-180	25.0	22.5	24.0



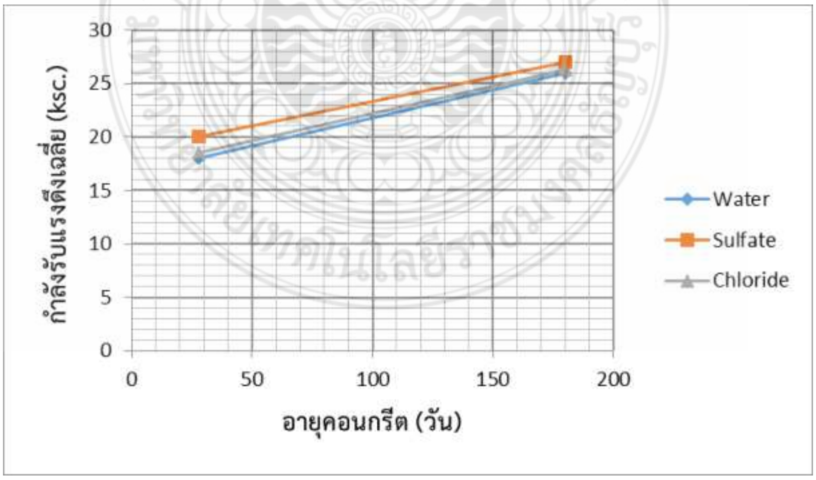
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึงกับตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone ไม่เสริมแรงที่บ่มในน้ำชนิดต่างๆ ที่อายุ 28 วัน และ 180 วัน

จากผลการทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone แบบไม่เสริมแรง ดังแสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 4.2 พบว่าที่อายุตัวอย่างทดสอบ 28 วัน มีค่าการทดสอบดังนี้ คอนกรีตรูปทรง Dog Bone แบบไม่เสริมแรงบ่มในน้ำ มีค่ากำลังรับแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 15.6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร การบ่มในสารละลายโซเดียมซัลเฟต มีค่ากำลังรับแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 16.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร การบ่มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ มีค่ากำลังรับแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 17.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับที่อายุ 180 วัน จะพบว่า ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone แบบไม่เสริมแรงที่บ่มในน้ำ มีค่ากำลังรับแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 25.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร การบ่มในสารละลายโซเดียมซัลเฟต มีค่ากำลังรับแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 22.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และการบ่มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ มีค่ากำลังรับแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 24.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร กำลังรับแรงดึงโดยตรงมีค่าที่เพิ่มมากขึ้น จากผลจะเห็นได้ว่าตัวอย่างคอนกรีตที่บ่มในน้ำ บ่มในสารละลายโซเดียมซัลเฟต และบ่มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์จะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ชนิดของสารละลายไม่มีผลกระทบต่อค่าแรงดึงโดยตรง โดยค่าแรงดึงโดยตรงมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามอายุของคอนกรีตที่มากขึ้น ซึ่งเป็นไปตามการทดสอบของ ชยณัฐ และ จตุพล [11] และ งานวิจัยของ ยิ่งพงษ์ และ จตุพล [12] ที่แสดงค่าแรงดึงโดยตรงมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามอายุของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น

4.2.2 ผลทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone แบบเสริมเหล็กไวร์เมช

ตารางที่ 4.3 กำลังรับแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone แบบเสริมเหล็กไวร์เมช

อายุคอนกรีต (วัน)	Water (ksc.)	Sulfate (ksc.)	Chloride (ksc.)
ST-28	18.0	20.0	18.5
ST-180	26.0	27.0	26.3



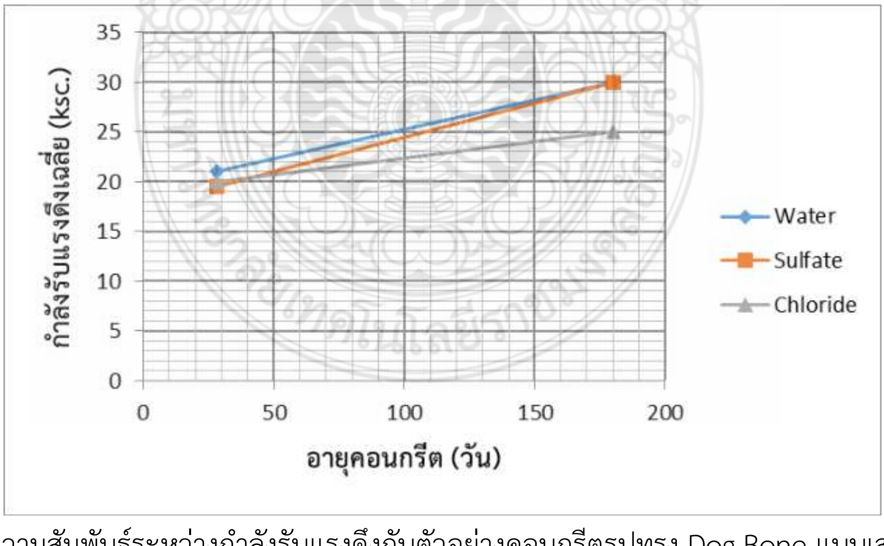
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึงกับตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone แบบเสริมเหล็กไวร์เมช ที่บ่มในน้ำชนิดต่างๆ ที่อายุ 28 วัน และ 180 วัน

จากผลการทำการทดสอบคอนกรีตรูปทรง Dog Bone แบบเสริมแรงด้วยเหล็กไวร์เมช พบว่า ที่อายุ 28 วัน ที่บ่มในน้ำมีค่ากำลังรับแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 18.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่บ่มในสารละลายโซเดียมซัลเฟต มีค่ากำลังรับแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 20.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และที่บ่มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ มีค่ากำลังรับแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 18.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อพิจารณาผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone ที่อายุ 180 วัน จะเห็นได้ว่า ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Boneแบบเสริมแรงด้วยเหล็กไวร์เมชที่บ่มในน้ำมีค่าเท่ากับ 26.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่บ่มในสารละลายโซเดียมซัลเฟตมีค่าเท่ากับ 27.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และที่บ่มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์มีค่ากำลังเท่ากับ 26.3 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งคอนกรีตมีการพัฒนากำลังรับแรงดึงโดยตรงมากขึ้นตามอายุที่มีมากขึ้น และค่าแรงดึงโดยตรงที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ทำให้เห็นว่าไม่มีผลกระทบจากชนิดของสารละลายใช้ในการบ่มคอนกรีต และค่าแรงดึงโดยตรงเพิ่มขึ้นตามอายุที่เพิ่มขึ้นเหมือนกับตัวอย่างคอนกรีตที่ไม่ได้เสริมวัสดุเสริมแรง และ สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ ชยณัฐ และ จตุพล [11] และ งานวิจัยของ ยิ่งพงษ์ และ จตุพล [12]

4.2.3 ผลทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone แบบเสริมจีโอกริด

ตารางที่ 4.4 การทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone แบบเสริมจีโอกริด

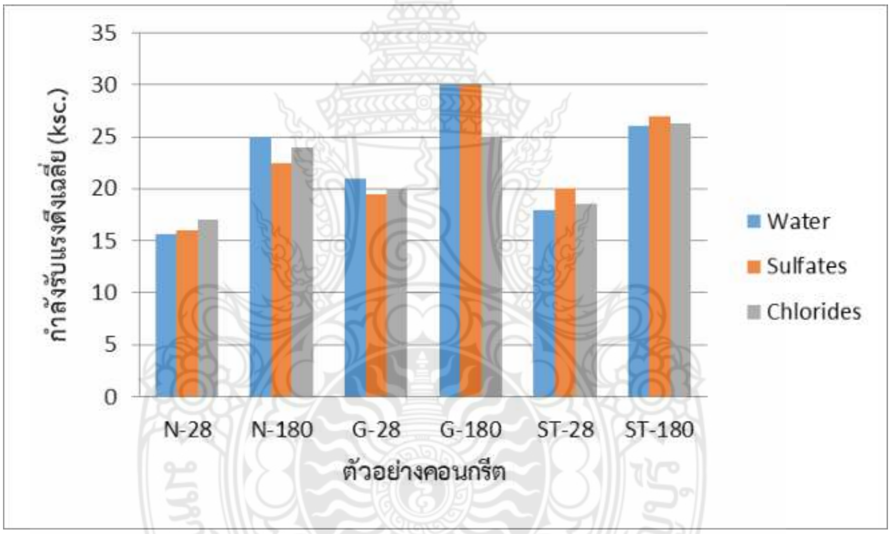
อายุคอนกรีต (วัน)	Water (ksc.)	Sulfate (ksc.)	Chloride (ksc.)
G-28	21.0	19.5	20.0
G-180	30.0	30.0	25.0



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึงกับตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone แบบเสริมจีโอกริด ที่บ่มในน้ำชนิดต่างๆ ที่อายุ 28 วัน และ 180 วัน

จากผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone แบบเสริมแรงด้วยจีโอกริดที่อายุ 28 วัน พบว่า ตัวอย่างคอนกรีตที่บ่มในน้ำ มีค่ากำลังรับแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ

21.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตัวอย่างคอนกรีที่บ่มในสารละลายโซเดียมซัลเฟต มีค่ากำลังรับแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 19.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และตัวอย่างคอนกรีตที่บ่มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ มีค่ากำลังรับแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 20.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะเห็นได้ว่าคอนกรีตมีค่ากำลังรับแรงดึงโดยตรงใกล้เคียงกัน และที่อายุ 180 วัน คอนกรีตที่บ่มในน้ำ มีค่ากำลังรับแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 30.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร คอนกรีตที่บ่มในสารละลายโซเดียมซัลเฟต มีค่ากำลังรับแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 30.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และคอนกรีตที่บ่มในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ มีค่ากำลังรับแรงดึงเฉลี่ยเท่ากับ 25.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งคอนกรีตที่บ่มในน้ำทั้ง 3 ชนิด มีการพัฒนากำลังรับแรงดึงมากขึ้นตามอายุที่มีมากขึ้น โดยค่ากำลังรับแรงดึงที่ได้ไม่แตกต่างกันมากนัก และการบ่มในสารละลายโซเดียมซัลเฟตและสารละลายโซเดียมคลอไรด์ยังไม่มีการส่งผลกระทบชัดเจนต่อการรับแรงดึงโดยตรงของคอนกรีต จากรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าการเสริมแรงในคอนกรีตด้วยเหล็กไวร์เมชมีผลทำให้การรับแรงดึงโดยตรงมีค่าสูงมากกว่าการไม่เสริม และในทำนองเดียวกันการเสริมแรงด้วยจีโอกริดก็มีผลในการรับแรงดึงโดยตรงมีค่ามากขึ้น

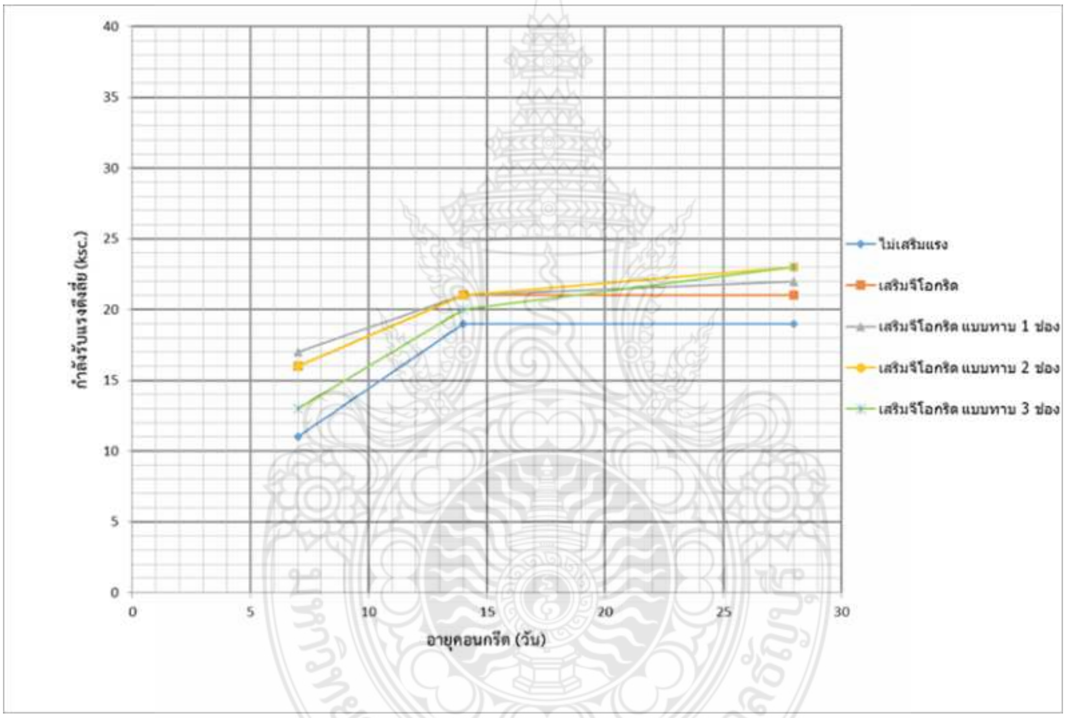


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึงกับตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone แบบไม่เสริมแรง แบบเสริมเหล็กไวร์เมช และแบบเสริมจีโอกริดที่บ่มในน้ำชนิดต่างๆ ที่อายุ 28 วัน และ 180 วัน

4.2.4 ผลทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone แบบไม่เสริมแรง แบบเสริมจีโอกริด แบบเสริมจีโอกริดแบบทาบรอยต่อ 1 ช่อง 2 ช่อง และ 3 ช่อง ที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน

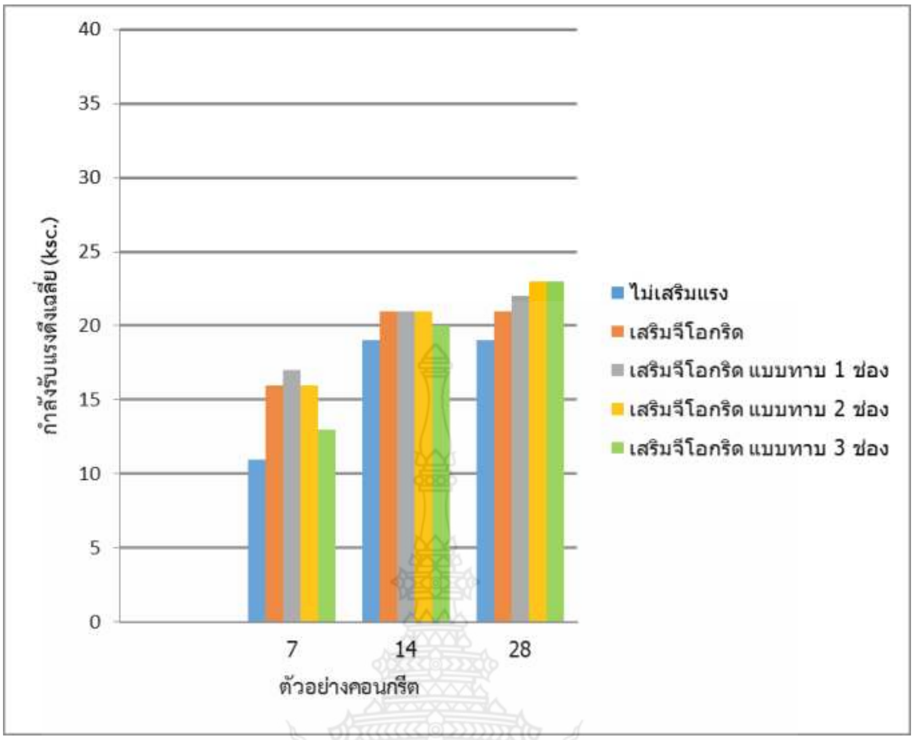
ตารางที่ 4.5 การทดสอบการรับแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone เสริมจีโอกริดแบบต่าง ๆ (ใช้หน่วย ksc.)

อายุคอนกรีต (วัน)	ไม่เสริมแรง	เสริมจีโอกริด	เสริมจีโอกริด แบบทาบ รอยต่อ 1 ช่อง	เสริมจีโอกริด แบบทาบ รอยต่อ 2 ช่อง	เสริมจีโอกริด แบบทาบ รอยต่อ 3 ช่อง
7	11	16	17	16	13
14	19	21	21	21	20
28	19	21	22	23	23



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึงกับตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone แบบไม่เสริมแรง แบบเสริมจีโอกริด แบบเสริมจีโอกริดแบบทาบรอยต่อ 1 ช่อง 2 ช่อง และ 3 ช่อง ที่อายุ 7 14 และ 28 วัน

จากผลทดสอบการรับแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone ที่เสริมจีโอกริดแบบทาบรอยต่อ 1 ช่อง, 2 ช่อง และ 3 ช่อง ที่อายุ 7 วัน พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบคอนกรีตที่เสริมด้วยจีโอกริดและตัวอย่างคอนกรีตเสริมจีโอกริดแบบที่มีการต่อทาบรอยต่อ จะเห็นได้ว่าการเสริมจีโอกริดและแบบมีการต่อทาบรอยต่อมีผลของการรับแรงดึงโดยตรงไม่แตกต่างกัน เมื่อคอนกรีตมีอายุ 14 วัน พบว่าค่าการับแรงดึงโดยตรงของคอนกรีตยังคงมีค่าใกล้เคียงกัน และที่อายุ 28 วัน พบว่าค่าการทดสอบแรงดึงโดยตรงยังมีแนวโน้มเดียวกับที่ 7 และ 14 วัน กล่าวคือค่าที่ได้มีใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึงกับตัวอย่างคอนกรีตรูปทรง Dog Bone แบบไม่เสริมแรง แบบเสริมจีโอกริด และเสริมจีโอกริดแบบทาบรอยต่อ 1 ช่อง 2 ช่อง และ 3 ช่อง ที่อายุ 7 14 และ 28 วัน

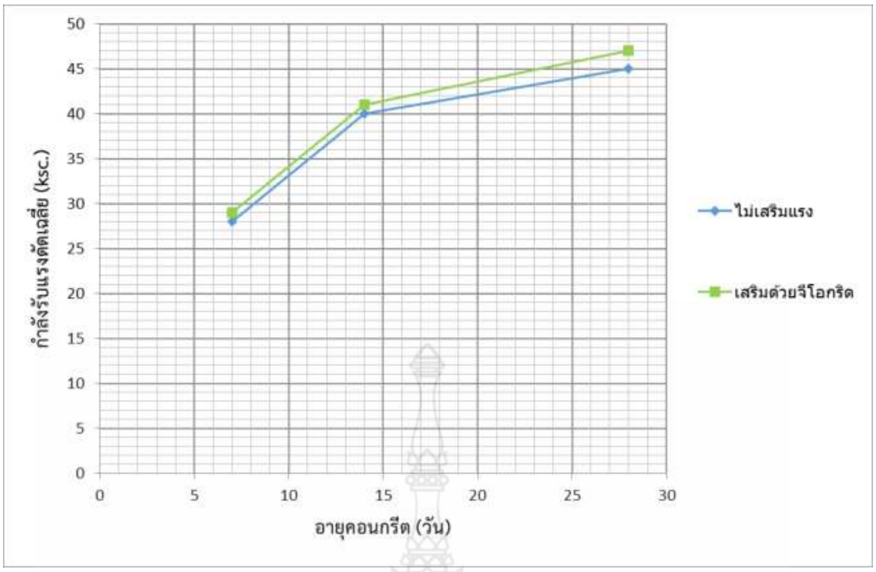
4.3 ผลทดสอบกำลังรับแรงดัดของตัวอย่างคอนกรีตคาน

ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของตัวอย่างคอนกรีตคานแบบไม่เสริมแรง และแบบเสริมจีโอกริด ที่อายุ 7 14 และ 28 วัน โดยใช้กำลังอัด 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

จากการทดสอบกำลังรับแรงดัดตามมาตรฐาน ASTM C 78 ตัวอย่างคอนกรีตคานแบบเสริมจีโอกริด ที่อายุ 7 14 และ 28 วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29, 41 และ 47 กิโลกรัมต่อตาราเมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยการทดสอบกำลังรับแรงดัดของตัวอย่างคอนกรีตคานขนาด 10 X 10 X 50 ซม. แบบไม่เสริมแรง และแบบเสริมจีโอกริด

อายุคอนกรีต (วัน)	กำลังดัดเฉลี่ย แบบไม่เสริมจีโอกริด	กำลังดัดเฉลี่ย แบบเสริมจีโอกริด
7	28	29
14	40	41
28	45	47



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังแรงดัดเฉลี่ยของตัวอย่างคอนกรีตคานแบบไม่เสริมจีโอกริด และแบบเสริมจีโอกริด ที่อายุ 7 14 และ 28 วัน

จากผลการทดสอบการรับแรงดัดของตัวอย่างคอนกรีตคาน พบว่าค่าแรงดัดเฉลี่ยที่อายุ 7 วัน แบบไม่เสริมจีโอกริด และแบบเสริมจีโอกริดมีค่าเท่ากับ 28 และ 29 ksc. ค่ากำลังรับแรงดัดเฉลี่ยที่อายุ 14 วัน แบบไม่เสริมจีโอกริด และแบบเสริมจีโอกริดเท่ากับ 40 และ 41 ksc. ตามลำดับ และค่ากำลังรับแรงดัดเฉลี่ยที่อายุ 28 วัน แบบไม่เสริมจีโอกริด และแบบเสริมจีโอกริดมีค่าเท่ากับ 45 ละ 47 ksc. ตามลำดับ ซึ่งการเสริมวัสดุจีโอกริดมีผลทำให้ตัวอย่างคานมีการรับแรงดัดได้เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากวัสดุจีโอกริดเป็นวัสดุที่ใช้สำหรับรับแรงดึงที่เกิดขึ้นคาน โดยการวิบัติของตัวอย่างคอนกรีตคานแบบไม่เสริมจีโอกริด จะแตกหักออกจากกัน แต่จะเห็นได้ชัดเจนว่าตัวอย่างคอนกรีตคานแบบเสริมจีโอกริดมีเพียงรอยแตกร้าวเท่านั้น เนื่องจากวัสดุจีโอกริดเป็นตัวยึดเหนี่ยวคอนกรีตไว้จึงไม่แตกหักออกจากกัน

รูปที่ 4.9 การวิบัติของตัวอย่างคอนกรีตคานแบบไม่เสริมจีโอกริดและแบบเสริมจีโอกริด

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบการรับกำลังแรงอัดของคอนกรีตทรงกระบอกที่บ่มในน้ำ บ่มในสารละลายซัลเฟต บ่มในสารละลายคลอไรด์ที่อายุ 28 และ 180 วัน ค่ากำลังการรับแรงอัดเพิ่มมากขึ้นตามอายุของคอนกรีต ซึ่งการบ่มในน้ำ บ่มในสารละลายคลอไรด์ และบ่มนสารละลายซัลเฟต ตัวอย่างคอนกรีตสามารถพัฒนากำลังรับแรงอัดได้โดยไม่มีผลกระทบจากสารละลายซัลเฟตและคลอไรด์

จากความสัมพันธ์ของการทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างคอนกรีตรูป Dog Bone ที่มีผลกระทบของการบ่มด้วยสารละลายทางเคมีที่มีอยู่ในน้ำ สรุปได้ว่าค่ากำลังรับแรงดึงโดยตรงของทุกตัวอย่างเพิ่มขึ้นตามอายุที่เพิ่มขึ้นของการบ่มทุกชนิด และไม่เกิดการกัดกร่อนหรือส่งผลกระทบต่อตัวอย่างคอนกรีตรูป Dog Bone สำหรับตัวอย่างคอนกรีตรูป Dog Bone ที่เสริมกำลังด้วยจีโอกริด และตัวอย่างคอนกรีตที่เสริมกำลังด้วยเหล็กไวร์เมช จะให้ค่ากำลังรับแรงดึงโดยตรงของคอนกรีตไม่ต่างกันมากนัก แต่จะเห็นได้ชัดว่าการวิบัติของคอนกรีตแบบไม่เสริมแรง และคอนกรีตที่เสริมกำลังด้วยเหล็กไวร์เมชนั้น จะขาดออกจากกันอย่างชัดเจน ส่วนการวิบัติของคอนกรีตเสริมกำลังด้วยจีโอกริดนั้น วัสดุจีโอกริดสามารถยึดรั้งคอนกรีตที่วิบัติไว้

จากความสัมพันธ์ของการทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรงของตัวอย่างคอนกรีตรูป Dog Bone แบบเสริมจีโอกริด เสริมจีโอกริดแบบรอยต่อทาบ 1 ช่อง 2 ช่อง และ 3 ช่อง พบว่าค่ากำลังการรับแรงดึงเพิ่มขึ้นตามอายุของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น แต่เห็นได้ชัดเจนว่าการวิบัติของตัวอย่างคอนกรีตแบบไม่เสริมแรงแตกหักออกจากกัน และตัวอย่างคอนกรีตแบบเสริมจีโอกริดมีเพียงรอยแตกร้าวเท่านั้น

จากการทดสอบกำลังรับแรงดัดของตัวอย่างคอนกรีตคานแบบไม่เสริมแรง และแบบเสริมจีโอกริดมีค่ากำลังรับแรงดัดที่ใกล้เคียงกัน แต่เห็นได้ชัดเจนว่าการวิบัติของตัวอย่างคอนกรีตคานแบบไม่เสริมแรงจะแตกร้าวและหักออกจากกัน ซึ่งตัวอย่างคอนกรีตคานแบบเสริมจีโอกริด พบเพียงรอยแตกร้าวเล็กน้อยเท่านั้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เพื่อนำไปใช้ปรับปรุงในการทำวิจัย ใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาและแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในการศึกษาวิจัยในครั้งถัดไปมีดังนี้

5.2.1 ควรเพิ่มระยะเวลาในการทดสอบหรือเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย เพื่อให้เห็นผลกระทบต่อตัวอย่างคอนกรีตที่ชัดเจน

5.2.2 ระมัดระวังในการเตรียมตัวอย่างทดสอบ เพื่อลดค่าการคาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้น

5.2.3 ในการทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยตรง และการทดสอบกำลังรับแรงดัด เมื่อคอนกรีตวิบัติแล้วเครื่องทดสอบหยุดทำงานจึงทำให้ไม่ได้ค่าการรับกำลังสูงสุด ควรตั้งค่าเครื่องทดสอบให้ทำงานต่อเพื่อให้ได้ค่าการรับกำลังสูงสุดของตัวอย่างคอนกรีต

บรรณานุกรม

[1] ชัชวาล เศรษฐบุตร, **คอนกรีตเทคโนโลยี.** พิมพ์ครั้งที่ 8.กรุงเทพฯ : 2543.

[2] รำพึง ชัยหลีเจริญ, ปิติศานต์ กร้ำมาตร, จตุพล ตั้งปกาศิต และนฤชาติ ชูเมือง, **การต้านทานซัลเฟตของคอนกรีตผสมตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียด.** วารสารวิศวกรรมศาสตร์ราชมงคลธัญบุรี,ฉบับที่ 1 (2558) : หน้า 13 - 17.

[3] วิเชียร ชาลี และกิรติกร เจริญพร้อม, **การต้านทานการกัดกร่อนเนื่องจากซัลเฟตของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตจากเถ้าถ่านหิน**. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ., ปีที่ 35, ฉบับที่ 2 (เมษายน – มิถุนายน 2555) : หน้า 157 - 161.

[4] กิรติกร เจริญพร้อม และวิเชียร ชาลี, **ความลึกของการแทรกซึมคลอไรด์ในคอนกรีตที่แช่ในสิ่งแวดล้อมทะเล**. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 21, ฉบับที่ 3 (กันยายน - ธันวาคม 2554) : หน้า 522 - 525.

[5] นันทรัตน์ โยคะวัฒน์ และอภิเดช รัตนดิลก ณ ภูเก็ต, **การกักเก็บคลอไรด์และการแทรกซึมของคลอไรด์ในคอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหิน ภายใต้สภาวะแวดล้อมทะเลเป็นเวลา 15 ปี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัญฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, 2556.

[6] Cho Ching Joe Kwan : **GEOGRID REINFORCEMENT OF RAILWAY BALLAST**. Ph.D Dissertations Faculty of Philosophy University of Nottingham, 2006.

[7] Tuan Kiet Tran and Dong Joo Kim, **Investigating direct tensile behavior of high performance fiber reinforced cementitious composites at high strain rates.** Cement and Concrete Research, Vol. 50, pp. 62-73, 2013.

[8] มทช.(ท) 105.2 - 2545 **มาตรฐานการทดสอบการรับแรงดัดของคอนกรีต (FLEXURAL STRENGTH OF CONCRETE)**

[9] American Concrete Institute, ACI 211.1 – 91 : **Standard Practice for Selecting Proportions for normal, Heavyweight, and Mass Concrete,** ACI Manual of Concrete Practice, Part 1 : Michigan. 2000.

[10] American Concrete Institute, ACI 201.2R – 92 : **Guide to Durable Concrete**. ACI Manual of Concrete Practice, Part 1 : Michigan. 2000.

[11] ชยนัฐ หุตะจิตต์ และ จตุพล ตั้งปกาศิต, **ผลกระทบของความละเอียดของวัสดุ ต่อค่าการอัดตัวและปฏิกิริยาปอซโซลานของแรงดึงคอนกรีต.** วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี, ปีที่ 12, ฉบับที่ 2, หน้า 57-70, 2557

[12] ยิ่งพงษ์ หนูเนื้อ และ ดร.จตุพล ตั้งปกาศิต, **ผลกระทบของการใช้ตะกอนประปาแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ทแลนต์ต่อกำลังอัด แรงดึงโดยตรง และ การหดตัวของคอนกรีต**. การประชุมวิชาการ

คอนกรีต ประจำปี ครั้งที่ 14 ณ โรงแรมวรวนา อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มีนาคม 6-8, 2562, สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

[13] ตะวัน เพชรอาวุธ และ จตุพล ตั้งปกาศิต, **การใช้ตะกอนประปา ในมอร์ต้าร์เกร้าท์รอยต่อผิวทางคอนกรีตสำเร็จรูป**. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25 จ.ชลบุรี วันที่ 15-17 กรกฎาคม 2563, สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, หน้า 1238-1244

[14] Tuan Kiet Tran and Dong Joo Kim, **Invertigating direct tensile behavior of high performance fiber reinforced cementitious composites at high strain rates.** Cement and Concrete Research, Vol. 50, pp. 62-73, 2013.

[15] Kittitep Fuenkajorn and Sippakorn Klanphumeesri, **Direct Tension Test of Intact Rock Using Compression-to-Tension Load Converter.** Research and Development Journal, Suranaree University of Technology, Vol. 21 No. 2, pp. 51-57, 2010.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
รูปภาพการวิบัติของตัวอย่างคอนกรีต

รูปภาพ ก 1 การวิบัติของตัวอย่างคอนกรีตรูปตัวไอแบบไม่เสริมแรง ที่เกิดจากแรงดึงโดยตรง

รูปภาพ ก 2 การวิบัติของตัวอย่างคอนกรีตรูปตัวไอแบบเสริมจีโอกริด ที่เกิดจากแรงดึงโดยตรง

รูปภาพ ก 3 การวิบัติของตัวอย่างคอนกรีตรูปตัวไอแบบเสริมเหล็กไวเมช ที่เกิดจากแรงดึงโดยตรง

รูปภาพ ก 4 การวิบัติของตัวอย่างคอนกรีตรูปตัวไอแบบไม่เสริมแรง ที่เกิดจากแรงดึงโดยตรง

รูปภาพ ก 5 การวิบัติของตัวอย่างคอนกรีตรูปตัวไอแบบเสริมจีโอกริด ที่เกิดจากแรงดึงโดยตรง

รูปภาพ ก 6 การวิบัติของตัวอย่างคอนกรีตรูปตัวไอแบบเสริมจีโอกริดแบบทาบรอยต่อ 1 ช่อง ที่เกิดจากแรงดึงโดยตรง

รูปภาพ ก 7 การวิบัติของตัวอย่างคอนกรีตรูปตัวไอแบบเสริมจีโอกริดแบบทาบรอยต่อ 2 ช่อง ที่เกิดจากแรงดึงโดยตรง

รูปภาพ ก 8 การวิบัติของตัวอย่างคอนกรีตรูปตัวไอแบบเสริมจีโอกริดแบบทาบรอยต่อ 3 ช่อง ที่เกิดจากแรงดึงโดยตรง

รูปภาพ ก 9 การวิบัติของตัวอย่างคอนกรีตคานแบบไม่เสริมแรง ที่เกิดจากแรงดัด

รูปภาพ ก 10 การวิบัติของตัวอย่างคอนกรีตคานแบบเสริมจีโอกริด ที่เกิดจากแรงดัด

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาว ชลลดา สวนดอกไม้
วัน เดือน ปีเกิด	12 มกราคม 2530
ที่อยู่	2/1 ตำบลสีบัวทอง อำเภอแสวงหา จังหวัดอ่างทอง 14150
การศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประสบการณ์การทำงาน	ปัจจุบันทำงาน กองทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง กรมทางหลวง วิศวกรโยธา
เบอร์โทรศัพท์	063-523-2951
อีเมล์	chonlada_s@mail.rmutt.ac.th

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัย ขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และข้อความต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า

This thesis consists of research materials conducted at the Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi and hence the copyright owner. I hereby certify that the thesis does not contain any forms of plagiarism.

....

(ชลลดา สวนดอกไม้)

COPYRIGHT © 2023
FACULTY OF ENGINEERING
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI

ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2566
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี