

คุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตผสมน้ำสลัดจจากโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จ

Mechanical Properties of Concrete Containing Sludge Water from Ready-Mixed Concrete Plant

บุรฉัตร ฉัตรวีระ^[1] ณรงค์ศักดิ์ มากุล^[2] และ นพปฎล นุชประยูร^[3]

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต) อ. คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12121

โทรศัพท์: (+66) 2564-3001-9 ต่อ 3105 โทรสาร: (+66) 2564-3010

E-mail: ^[1]cburacha@engr.tu.ac.th ^[2]shinomomo7@hotmail.com and ^[3]Noppradool_TU@ engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ :

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตผสมน้ำสลัดจ (Sludge Water) จากโรงงานผลิตคอนกรีตผสมเสร็จซึ่งมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 63,400 ส่วนในล้านส่วน (ppm) และมีค่าความเป็นด่าง (pH) สูงถึง 12 โดยทำการแทนที่น้ำสลัดจปริมาณมากในน้ำประปาเพื่อใช้เป็นน้ำผสมคอนกรีต คุณสมบัติของคอนกรีตสดที่ทำการศึกษาได้แก่ หน่วยน้ำหนัก ค่าการยุบตัวเริ่มต้น และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น คุณสมบัติทางกลประกอบด้วย ค่ากำลังอัดและแรงคด และโมดูลัสยืดหยุ่นที่ 28 วัน โดยมีตัวแปรคือ อัตราส่วนการแทนที่ของน้ำสลัดจในน้ำประปาโดยน้ำหนักที่ร้อยละ 0 (น้ำประปา), 40, 60, 80 และ 100 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.5, 0.6 และ 0.7 จากการทดสอบ พบว่าค่ากำลังอัดและแรงคด ค่าการยุบตัวเริ่มต้นและโมดูลัสยืดหยุ่นที่ 28 วัน มีค่าลดลง เมื่อสัดส่วนการแทนที่ของน้ำสลัดจในน้ำประปาเพิ่มขึ้น ในขณะที่การแทนที่น้ำสลัดจในน้ำประปามีปริมาณมากไม่ส่งผลกระทบต่อหน่วยน้ำหนักในสภาพสด และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของคอนกรีต

ABSTRACT :

This research was to study mechanical properties of concrete mixed with sludge water (SW) from ready-mixed concrete plant which has a total solid content of 63,400 ppm and alkalinity as pH value up to 12. High volume sludge water was used to replace tap water for concrete mixing water. The tested properties of fresh concrete were unit weight, initial slump, and temperature rise. The mechanical properties included compressive and flexural strengths and modulus of elasticity at 28 days. The variables were the percentage replacements of sludge water in tap water by weight (0% (tap water), 40%, 60%, 80%, and 100%) and water to cement ratios (w/c) of 0.5, 0.6, and 0.7. The tested results showed that compressive and flexural strengths, initial slump, and modulus of elasticity at 28 days decreased when the percentage replacements of sludge water in tap water increased. Whereas the high volume replacement of sludge water in tap water did not affect on unit weight and temperature rise of concrete.

1. บทนำ

ในปัจจุบันความต้องการใช้คอนกรีตผสมเสร็จในการก่อสร้างได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่กระนั้นก็ทำให้เกิดของเสียจากกระบวนการผลิตที่สำคัญคือ น้ำสลัดจ (Sludge Water) ซึ่งเกิดจากการล้างคอนกรีตที่เหลือตกค้างอยู่ในรถโมและนำกลับมาทิ้งไว้ในบ่อพักภายในโรงงานก่อนทำการกำจัดต่อไป จากการสำรวจการจัดการน้ำสลัดจของโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จโดยทั่วไปพบว่า บ่อพักสำหรับทิ้งเศษของคอนกรีตประกอบด้วย 2 บ่อ โดยให้บ่อแรกทำหน้าที่รับกากคอนกรีตและน้ำล้างจากการล้างรถโม (รูปที่ 1 (ก)) และส่วนบ่อที่สองเป็นบ่อรองรับน้ำสลัดจ และเศษตะกอนขนาดเล็กประเภททรายและเม็ดปูนซีเมนต์ที่ล้นจากบ่อแรกเมื่อผ่านการตกตะกอน (รูปที่ 1 (ข)) ในช่วงเวลาหนึ่งและน้ำส่วนที่ไหลกลับมามีอนุภาคน้ำใช้ในการล้างทำความสะอาดผสมคอนกรีต ในขณะที่กากคอนกรีตจากบ่อแรกและโคลนสลัดจที่ตกตะกอนในบ่อที่สอง โดยปกติทางบริษัทผู้ผลิตคอนกรีตผสมเสร็จจะทำการนำจ้างบริษัทผู้รับเหมามาทำการขุดลอกและนำไปทิ้งโดยการถมที่เป็นประจำทำให้สูญเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น รวมทั้งปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากตะกอนและความเป็นด่างที่มีค่าสูงมากในโคลนสลัดจ [1] จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีแนวคิดในการนำน้ำสลัดจกลับมาใช้ในการผลิตคอนกรีต [2] เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดและเป็นการรักษาสภาพสิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่ง

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตผสมน้ำสลัดจจากโรงงานผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ

3. วิธีการศึกษา

3.1 ขอบเขตของการศึกษา

3.1.1 คอนกรีตที่ใช้ศึกษามีค่าอัตราส่วนการแทนที่ของน้ำสลัดจในน้ำประปาที่ร้อยละ 0, 40, 60, 80 และ 100 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.5, 0.6 และ 0.7 และอัตราส่วนระหว่างปริมาตรเพสต์ต่อปริมาตรช่องว่างระหว่างมวลรวมที่อัดแน่นในสถานะแห้ง (γ) เท่ากับ 1.2

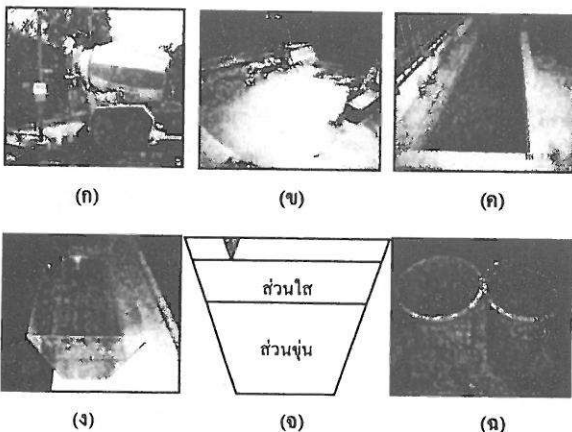
3.1.2 คุณสมบัติที่ศึกษาประกอบไปด้วย หน่วยน้ำหนักในสภาพสด ค่าการยุบตัวเริ่มต้น อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น กำลังอัด กำลังคด และโมดูลัสยืดหยุ่นที่อายุ 28 วัน

3.2 รายละเอียดการทดสอบ

3.2.1 วัสดุที่ใช้

3.2.1.1 ปูนซีเมนต์: ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

3.2.1.2 น้ำสลิค: จากโรงงานผลิตคอนกรีตผสมเสร็จแสดงดังรูปที่ 1 (ก) ซึ่งมีขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างน้ำสลิคเริ่มจากการนำน้ำสลิคที่เก็บมาจากบ่อตะกอนบ่อที่สองซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็นน้ำใสและส่วนที่เป็นตะกอนมาพร้อมกัน แล้วนำมาทำการเก็บไว้ในบ่อพักที่เตรียมไว้ (รูปที่ 1 (ค)) จากนั้นจะทำการกวนน้ำและตะกอนในบ่อพักเข้าด้วยกันจนกระทั่งสม่ำเสมอแล้วนำมาเทในอ่างจำลองซึ่งทำจากพลาสติก โดยทำการจำลองทั้งขนาดและรูปร่างต่อขนาดบ่อจริงในอัตราส่วน 1 ต่อ 10 (รูปที่ 1 (ง)) และก่อนนำมาใช้ได้มีการปรับแต่งสัดส่วนของตะกอนในน้ำสลิค โดยควบคุมสัดส่วนขององค์ประกอบทั้งส่วนใสและส่วนเป็นตะกอนที่เท่ากับที่ร้อยละ 50 : 50 โดยปริมาตร (รูปที่ 1 (จ)) จากนั้นทำการกวนให้สม่ำเสมออีกครั้งแล้วนำมาเก็บไว้ในถังพลาสติกเพื่อเตรียมนำไปผสมคอนกรีตต่อไป (รูปที่ 1 (ฉ))



รูปที่ 1 การเตรียมตัวอย่างน้ำสลิคมาใช้ในการผสมคอนกรีต

3.2.1.3 มวลรวมละเอียด: ใช้ทรายแม่น้ำซึ่งมีค่าโมดูลัสความละเอียด (F.M.) เท่ากับ 2.53 และมีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 1.97

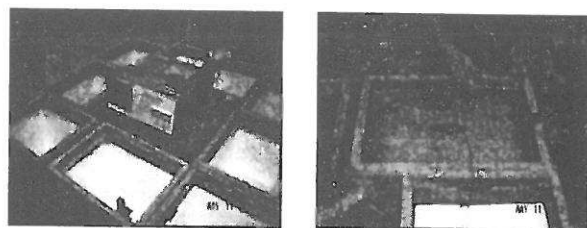
3.2.1.4 มวลรวมหยาบ: ใช้หินปูนซึ่งมีขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 20 มิลลิเมตร และมีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 0.86

3.2.2 วิธีการทดสอบ

3.2.2.1 การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตในสภาพสด ตามมาตรฐาน ASTM C 138 [3]

3.2.2.2 การทดสอบหาค่าการยุบตัวเริ่มต้น ตามมาตรฐาน ASTM C 143 [4]

3.2.2.3 การทดสอบอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของคอนกรีตจนถึงที่อายุ 5 วัน โดยใช้ตัวอย่างขนาด 260 x 300 x 400 มม. ตามขนาดของกล่องโฟมและทำการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลซึ่งต่อเข้ากับเครื่อง Data Logger ที่จุดกึ่งกลางของกล่องโฟม โดยหลังจากทำการผสมคอนกรีตเรียบร้อยแล้ว จึงนำมาใส่ลงในกล่องโฟมและครอบด้วยกล่องไม้ไผ่ที่มีความหนา 10 มม. แล้วทำการปิดฝาไม้ไผ่และอุดรอยต่อโดยรอบด้วยดินน้ำมันดังแสดงในรูปที่ 2



(ก) การติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล ซึ่งต่อกับเครื่อง Data Logger
(ข) การอุดรอยต่อโดยรอบ ด้วยดินน้ำมัน
รูปที่ 2 การติดตั้งเครื่องมือการวัดอุณหภูมิภายในคอนกรีต

3.2.2.4 การทดสอบกำลังอัดคอนกรีตที่อายุ 3, 7, 28, 60 และ 90 วัน ตามลำดับ โดยใช้ตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 100 x 200 มม. ตามมาตรฐาน ASTM C 39 [5]

3.2.2.5 การทดสอบโมดูลัสความยืดหยุ่นที่อายุ 28 วันตามมาตรฐาน ASTM C 469 [6]

3.2.2.6 การทดสอบหาลำดับคดที่อายุ 3, 7, 28, 60 และ 90 วัน ตามลำดับโดยใช้ตัวอย่างขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 100 x 100 x 500 มม. ตามมาตรฐาน ASTM C 78 [7]

3.2.3 สัดส่วนของคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบ

สัดส่วนของคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบแสดงในตารางที่ 1 โดยกำหนดสัญลักษณ์คือ (OPC/SW)X(Z) หมายถึงคอนกรีตซึ่งใช้น้ำประปาส่วน (OPC) หรือคอนกรีตซึ่งใช้น้ำสลิค (SW) แทนที่ในน้ำประปาที่อัตราส่วนร้อยละ X โดยน้ำหนัก นอกจากนั้นคอนกรีตที่ใช้มีค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาตรผลต่อปริมาตรช่องว่างระหว่างมวลรวมที่อัดแน่นในสภาวะแห้ง (γ) เท่ากับ 1.2 และมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ Z

ตารางที่ 1 ลักษณะของคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบ (กก./ม³)

สัญลักษณ์	ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1	น้ำ	น้ำ สลัดจ์	ทราย	หิน
OPC(0.5)	347	173	0	910	966
OPC(0.6)	309	185	0	910	966
OPC(0.7)	279	195	0	910	966
SW40(0.5)	347	104	69	910	966
SW40(0.6)	309	111	74	910	966
SW40(0.7)	279	117	78	910	966
SW60(0.5)	347	69	104	910	966
SW60(0.6)	309	74	111	910	966
SW60(0.7)	279	78	117	910	966
SW80(0.5)	347	35	139	910	966
SW80(0.6)	309	37	148	910	966
SW80(0.7)	279	39	156	910	966
SW100(0.5)	347	0	173	910	966
SW100(0.6)	309	0	185	910	966
SW100(0.7)	279	0	195	910	966

4. การทดสอบและการวิเคราะห์ผล

4.1 คุณสมบัติของน้ำสลัดจ์

4.1.1 องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีของน้ำประปาและน้ำสลัดจ์แสดงในตารางที่ 2 พบว่าค่าความเป็นกรดค่า (pH) ของน้ำสลัดจ์มีค่าเท่ากับ 12 ซึ่งมากกว่าน้ำประปาที่มีค่าเท่ากับ 7 อันเป็นผลมาจากเมื่อปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยาไฮดรชันเกิดผลิตภัณฑ์เป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮดรต (C-S-H) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)₂) ซึ่งโดยปกติแคลเซียมไฮดรอกไซด์สามารถแตกตัวเป็นแคลเซียมไอออน (Ca²⁺) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH⁻) ละลายอยู่ในน้ำทำให้ค่าความเป็นด่างเพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid) ของน้ำสลัดจ์มีค่า 63,400 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งมากกว่าข้อกำหนดตามมาตรฐาน ASTM C 94 [8] ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 50,000 ส่วนในล้านส่วน ในขณะที่ค่าปริมาณคลอไรด์ไอออน (Cl⁻) และซัลเฟตไอออน (SO₄²⁻) ของน้ำสลัดจ์และน้ำประปามีไม่เกินกว่าที่มาตรฐานกำหนด

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของน้ำสลัดจ์และน้ำประปาซึ่งเปรียบเทียบกับ

มาตรฐาน ASTM C 94 [8]

คุณสมบัติทางเคมี	ASTM C 94 (ppm)	น้ำประปา (ppm)	น้ำสลัดจ์ (ppm)
ค่าความเป็นกรดค่า (pH)	-	7	12
คลอไรด์ (Cl ⁻)	ไม่เกิน 1,000	14.9	25
ซัลเฟต (SO ₄ ²⁻)	ไม่เกิน 3,000	34.96	12.74
ของแข็งทั้งหมด	ไม่เกิน 50,000	150	63,400
ความถ่วงจำเพาะ	-	1.0	1.02

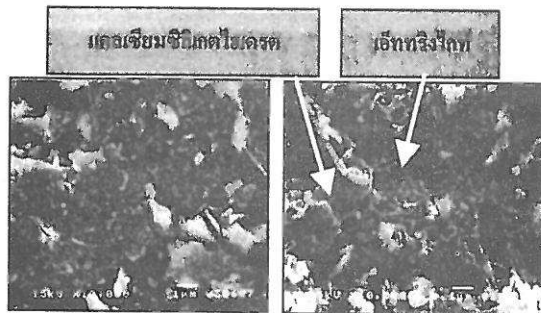
จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของตะกอนสลัดจ์เปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าตะกอนสลัดจ์ที่ผ่านการอบแห้งมีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์มาก ในขณะที่ค่าดัชนีกำลังทั้งที่อายุ 7 และ 28 วัน มีค่าร้อยละเท่ากับ 64 และ 71 ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการนำตะกอนสลัดจ์ซึ่งผ่านการอบแห้งมาใช้แทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เท่ากับร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก จะส่งผลกระทบต่อกำลังอัดของมอร์ต้าร์มาก ทั้งนี้เพราะตะกอนสลัดจ์มีส่วนประกอบทั้งที่เป็นปูนซีเมนต์ที่ไม่ทำปฏิกิริยา ปูนซีเมนต์ที่ทำปฏิกิริยา และตะกอนละเอียดซึ่งมีต่อ โครงสร้างของแคลเซียมซิลิเกตไฮดรตที่ไม่ต่อเนื่องทำให้กำลังรับแรงมีค่าลดลง แต่กระนั้นในการใช้งานกับคอนกรีต ตะกอนสลัดจ์ดังกล่าวจะอยู่ในรูปของทั้งสารละลายและสารแขวนลอยในน้ำซึ่งมีสัดส่วนในคอนกรีตน้อยกว่าปริมาณของมวลรวมดังแสดงในตารางที่ 1 ทำให้ผลกระทบของน้ำสลัดจ์ที่มีต่อคุณสมบัติคอนกรีตลดลงซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางกายภาพของตะกอนสลัดจ์ที่อบแห้งที่อุณหภูมิ

110 ± 5 องศาเซลเซียสเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1

คุณสมบัติทางกายภาพ	ปูนซีเมนต์	ตะกอนสลัดจ์
1. การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากเผาไหม้ (ร้อยละ)	0.96	25.5
2. ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	0.19	0.0
3. พื้นที่ผิวจำเพาะโดยวิธีเบลม (ตร.ซม./กก.)	3,248	9,940
4. ความถ่วงจำเพาะ	3.14	2.50
5. ความละเอียด (ร้อยละผ่าน)		
≥ 75 ไมโครเมตร	0.5	8.99
75 ไมโครเมตร	5.25	9.85
45 ไมโครเมตร	3.6	4.94
≤ 36 ไมโครเมตร	90.62	76.22
6. ดัชนีกำลัง		
ที่อายุ 7 วัน (ร้อยละเทียบกับตัวอย่างควบคุม)	100	64
ที่อายุ 28 วัน (ร้อยละเทียบกับตัวอย่างควบคุม)	100	71
7. ความหนาแน่นรวม (กก./ด.)	1.03	0.39

จากภาพถ่ายของอนุภาคปูนซีเมนต์และตะกอนสลิคจ์ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า ดังแสดงรูปที่ 3 พบว่าอนุภาคปูนซีเมนต์มีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุมไม่แน่นอน ในขณะที่ตะกอนสลิคจ์จะมีลักษณะของเอทริงไกท์ (Ettringite) ซึ่งมีลักษณะคล้ายเข็มและแคลเซียมซัลเฟตไฮเดรต (C-S-H)



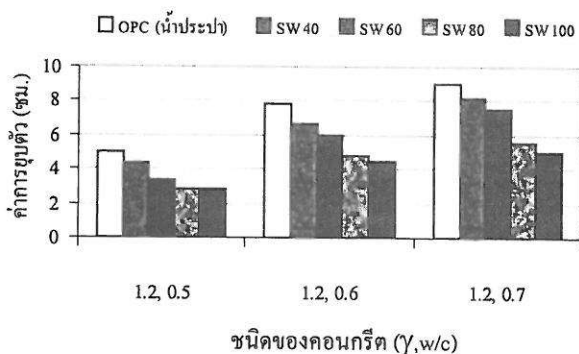
(ก) ภาพถ่ายอนุภาคปูนซีเมนต์ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า (ข) ภาพถ่ายอนุภาคของตะกอนสลิคจ์ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า

รูปที่ 3 ภาพถ่ายอนุภาคที่กำลังขยายขนาด 10,000 เท่า
(ก) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และ (ข) ตะกอนสลิคจ์

4.2 คุณสมบัติของคอนกรีตในสภาพสด

4.2.1 ค่าการยุบตัว

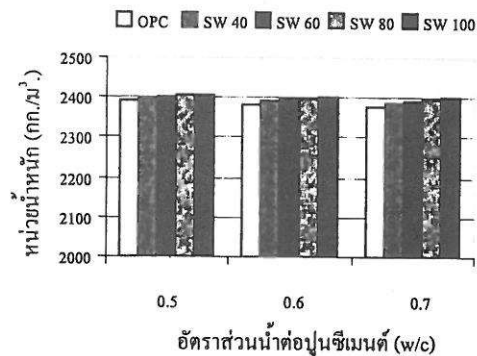
จากการทดสอบดังรูปที่ 4 พบว่าเมื่อสัดส่วนการแทนที่ของน้ำสลิคจ์ในน้ำประปามากขึ้นทำให้ค่าการยุบตัวของคอนกรีตมีค่าลดลง ทั้งนี้เพราะในน้ำสลิคจ์มีปริมาณตะกอนในรูปของแข็งทั้งส่วนที่เป็นปูนซีเมนต์ที่ไม่ทำปฏิกิริยา (Unhydrated Cement) ปูนซีเมนต์ที่ทำปฏิกิริยา (Hydrated Cement) และตะกอนละเอียด (Fine Particles) ซึ่งล้วนแต่เพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำไว้ทั้งที่ผิวและดูดซึมเข้าสู่ภายในได้ส่งผลให้คอนกรีตมีการยุบตัวลดลงตามลำดับ ในขณะที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าการยุบตัวเพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากปริมาณน้ำอิสระ (Free Water) ที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4 ค่าการยุบตัวของคอนกรีตในสภาพสด

4.2.2 หน่วยน้ำหนักคอนกรีตสด

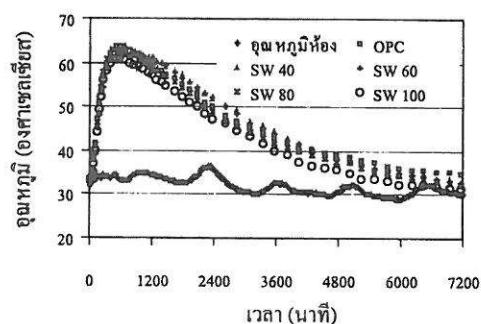
ในรูปที่ 5 แสดงผลการทดสอบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสด พบว่าคอนกรีตที่มีสัดส่วนของน้ำสลิคจ์ที่เพิ่มขึ้นมีค่าหน่วยน้ำหนักไม่ต่างไปจากคอนกรีตปกติ เนื่องจากค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำสลิคจ์มีค่าใกล้เคียงกับน้ำประปา นอกจากนั้นคอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) เพิ่มขึ้นมีค่าหน่วยน้ำหนักลดลงตามลำดับ



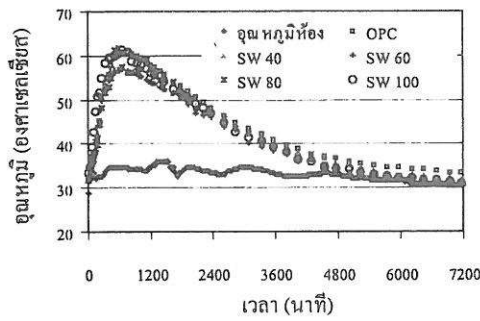
รูปที่ 5 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตในสภาพสด

4.2.3 อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของคอนกรีต

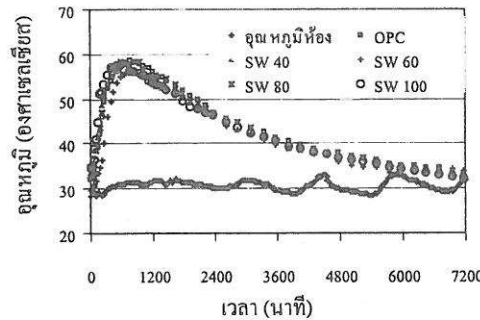
จากการทดสอบอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิห้องของคอนกรีตที่ใช้ น้ำประปาล้วนและคอนกรีตผสมน้ำสลิคจ์แสดงดังรูปที่ 6 พบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของคอนกรีตผสมน้ำสลิคจ์มีค่าไม่ต่างไปจากคอนกรีตปกติที่ใช้ น้ำประปาล้วน แสดงว่าการใช้น้ำสลิคจ์ในการผสมคอนกรีตไม่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของปฏิกิริยาไฮเดรชัน และการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) ทำให้อุณหภูมิสูงสุดมีค่าลดลงเนื่องจากคอนกรีตมีปริมาณปูนซีเมนต์ลดลง



(ก) คอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.5



(ข) คอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.6



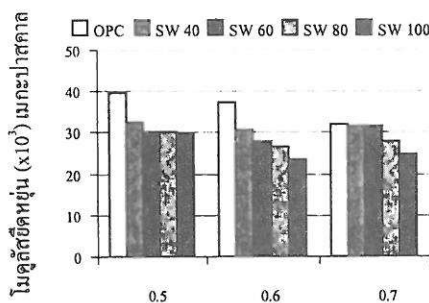
(ค) คอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.7

รูปที่ 6 อุณหภูมิของคอนกรีตที่มีค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาตรเพสต์ต่อปริมาตรมวลรวมที่อัดแน่น (γ) เท่ากับ 1.2

4.3 คุณสมบัติทางกลของคอนกรีต

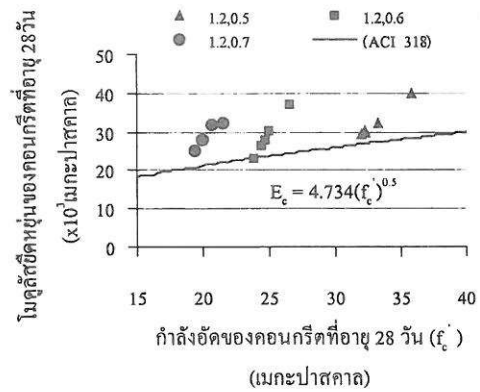
4.3.1 โมดูลัสยืดหยุ่นที่อายุ 28 วัน

ผลการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตปกติและคอนกรีตผสมน้ำสัจจที่อายุ 28 วัน แสดงในรูปที่ 7 พบว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าลดลงเมื่อสัดส่วนของการแทนที่น้ำสัจจในน้ำประปามีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะน้ำสัจจส่วนประกอบทั้งที่เป็นปูนซีเมนต์ที่ไม่ทำปฏิกิริยา ปูนซีเมนต์ที่ทำปฏิกิริยา และตะกอนละเอียดซึ่งมีส่วนทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของโครงสร้างแคลเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์ (C-S-H) กับมวลรวม จึงทำให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าลดลง และเมื่อพิจารณาโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ACI 318 [9] (รูปที่ 7 (ข)) พบว่าทั้งคอนกรีตปกติและคอนกรีตผสมน้ำสัจจมีค่าสูงกว่าที่มาตรฐาน ACI 318 ได้แนะนำไว้



อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c)

(ก) โมดูลัสยืดหยุ่นที่อายุ 28 วัน



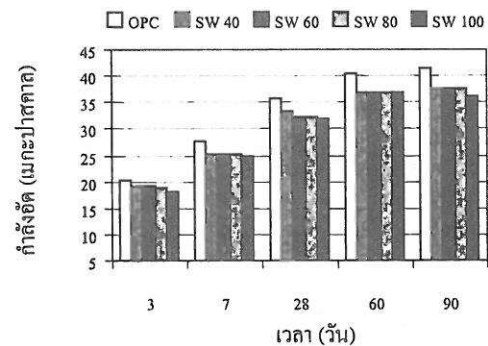
(ข) ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตปกติและคอนกรีตผสมน้ำสัจจเปรียบเทียบกับค่าที่แนะนำไว้ในมาตรฐาน ACI 318 [9]

รูปที่ 7 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน

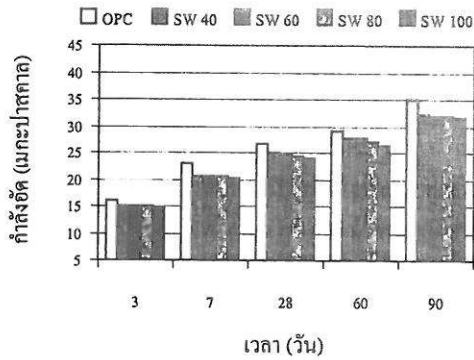
4.3.2 กำลังอัด

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตปกติและคอนกรีตซึ่งมีส่วนผสมของน้ำสัจจแสดงในรูปที่ 8 พบว่าเมื่อปริมาณการแทนที่ของน้ำสัจจในน้ำประปาเพิ่มขึ้นทำให้กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าลดลง เนื่องจากตะกอนสัจจที่มีเอททริงไกท์ (Ettringite) ดังรูปที่ 3(ข) อยู่ซึ่งโดยปกติจะเปลี่ยนสภาพไปเป็นโมโนซัลโฟเอตลูมินตามกลไกของปฏิกิริยาไฮเดรชันทำให้หลังจากการเปลี่ยนสภาพของเอททริงไกท์จึงเกิดโพรง (Pores) ในเนื้อคอนกรีต และจากผลของความเป็นด่างที่สูงทำให้ฟิล์มดับเพล็กซ์ (Duplex Film) ซึ่งเป็นชั้นที่อยู่ในบริเวณทรานซิชัน (Interfacial Transition Zone) ระหว่างมวลรวมและเนื้อเพสต์มีค่าความหนาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนาของบริเวณดังกล่าวมีมากขึ้น ซึ่งหมายถึงการบิดเกาะระหว่างมวลรวมและเนื้อเพสต์ที่มีค่าลดลงตามลำดับ [10] ทำให้กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าลดลง

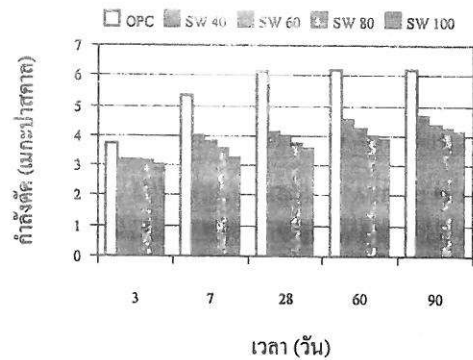
เมื่อพิจารณาในส่วนของการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) จาก 0.5 ไปเป็น 0.6 และ 0.7 ตามลำดับ พบว่าคอนกรีตกำลังอัดมีค่าลดลงเนื่องจากอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) ที่มากขึ้นทำให้โครงสร้างของคอนกรีตมีความพรุนเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นของคอนกรีตลดลงตามไปด้วย ทำให้กำลังในการรับแรงอัดลดลง [11]



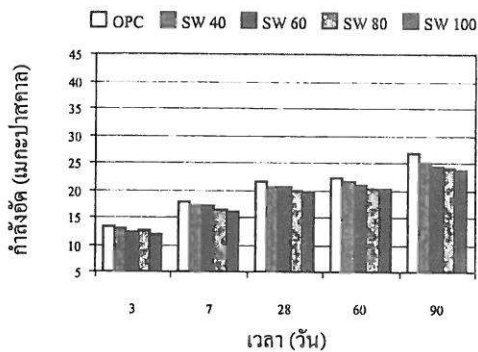
(ก) คอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.5



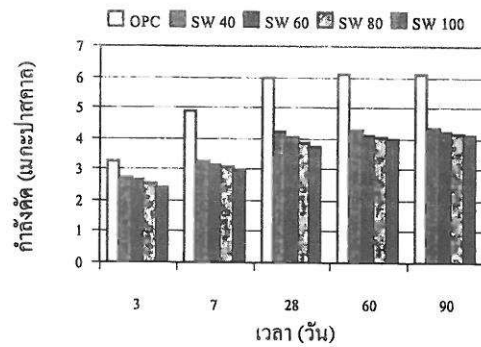
(ข) คอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.6



(ค) คอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.7



(ง) คอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.5



(จ) คอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.6

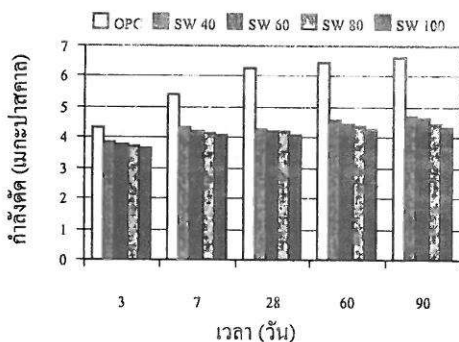
โดย OPC คือ คอนกรีตที่ใช้น้ำประปาในการผสม

SW X คือ คอนกรีตซึ่งทำการแทนที่น้ำสลัดจ์ (Sludge Water) ในน้ำประปาโดยน้ำหนักในอัตราส่วนร้อยละ X

รูปที่ 8 กำลังอัดของคอนกรีตที่มีอัตราส่วนระหว่างปริมาตรเฟสต่อปริมาตรมวลรวมที่อัดแน่น (γ) เท่ากับ 1.2

4.3.3 กำลังอัด

จากการทดสอบกำลังอัดซึ่งบ่งชี้ความสามารถในการยึดเกาะระหว่างมวลรวมและเนื้อเฟสในรูปที่ 9 พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตมีค่าลดลงมากดังเหตุผลดังกล่าวข้างต้น



(ก) คอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.5

รูปที่ 9 กำลังอัดของคอนกรีตที่มีอัตราส่วนระหว่างปริมาตรเฟสต่อปริมาตรมวลรวมที่อัดแน่น (γ) เท่ากับ 1.2

5. สรุปผลการศึกษา

5.1 น้ำสลัดจ์จากการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จมีค่าความเป็นกรดค่า (pH) เท่ากับ 12 ซึ่งมีค่ามากกว่าน้ำประปา และมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 63,400 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ซึ่งมากกว่ามาตรฐาน ASTM C 94 (ไม่เกิน 50,000 ppm) ในขณะที่ปริมาณคลอไรด์และซัลเฟตมีค่าไม่เกินมาตรฐาน

5.2 กำลังอัด แรงอัด และโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าลดลงเมื่อสัดส่วนของน้ำสลัดจ์ในน้ำประปามีค่าเพิ่มขึ้น

5.3 การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำสลัดจ์ในน้ำประปาไม่ส่งผลกระทบต่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสดและการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอุณหภูมิคอนกรีต ในขณะที่ค่าการยุบตัวของคอนกรีตผสมน้ำสลัดจ์มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตปกติ

6. ข้อเสนอแนะสำหรับการนำน้ำสลัดจ์มาใช้งานคอนกรีต

6.1 เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำสลัดจ์อาจมีค่า ปริมาณของแข็งทั้งหมด คลอไรด์ ซัลเฟต เป็นต้น มีความแปรปรวนสูง ดังนั้นในการใช้น้ำงานจริง ควรทำการเก็บข้อมูลปริมาณของแต่ละองค์ประกอบของน้ำสลัดจ์

เบื้องต้นที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาเพื่อนำมาประกอบการพิจารณาปรับสัดส่วนของน้ำสลัดจ์ในคอนกรีต

6.2 ในการนำน้ำสลัดจ์ซึ่งมีปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับหรือน้อยกว่า 63,400 ส่วนในล้านส่วน (ppm) มาใช้แทนที่ในน้ำประปาบางส่วนหรือทั้งหมดเพื่อนำมาผสมทำคอนกรีต เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบในส่วนกำลังอัดของคอนกรีตและแนวทางตามมาตรฐาน ASTM C 94 ทำให้สามารถอนุมานมาใช้เทียบกับคอนกรีต โดยน้ำที่ไม่ใช่น้ำสะอาดและต้องการนำมาผสมคอนกรีตจะต้องทำให้กำลังอัดที่อายุ 7 วัน ของคอนกรีตมีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ของคอนกรีตปกติ ซึ่งจะเห็นว่ากำลังอัดของคอนกรีตผสมน้ำสลัดจ์มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 85 ถึง 94 ของคอนกรีตปกติ ดังนั้นจึงสามารถนำน้ำสลัดจ์มาผสมคอนกรีตได้ แต่จะต้องคำนึงถึงชนิดของโครงสร้าง อาทิเช่น โครงสร้างซึ่งทำหน้าที่รับแรงอัด อาทิเช่น เสา เป็นต้น ในขณะที่โครงสร้างซึ่งทำหน้าที่รับแรงดัดไม่ควรนำน้ำสลัดจ์มาใช้ผสมทำคอนกรีต เนื่องจากผลกระทบของการใช้น้ำสลัดจ์ผสมคอนกรีตทำให้กำลังดัดลดลงมาก นอกจากนั้นสำหรับงานคอนกรีตหยาบ (Mass Concrete) สามารถใช้น้ำสลัดจ์ผสมคอนกรีตได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อค่าการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอุณหภูมิคอนกรีตซึ่งสามารถลดต้นทุนในส่วนของการผลิตคอนกรีตได้ เนื่องจากน้ำสลัดจ์เป็นวัตถุดิบที่ไม่มีมูลค่าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำประปา

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณบริษัท ปูนซิเมนต์ไทย จำกัด และบริษัท ผลิตภัณฑ์และวัตถุดิบก่อสร้าง จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ปูนซิเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และน้ำสลัดจ์ที่ใช้ในการศึกษาตามลำดับ บริษัท ปูนซิเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทดสอบคุณสมบัติของผลสลัดจ์อบแห้ง และสถาบันราชภัฏพระนคร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย จนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

8. บรรณานุกรม

- [1] ณรงค์ศักดิ์ มาณกุล, อารยะ เขียวรึก และบุรฉัตร ฉัตรวีระ, คุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ผสมน้ำล้างโมโน ในโรงงานผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ, เอกสารการประชุมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 5, พัทยา หน้า 165 - 170, 2542.
- [2] Moon, H. Y., Properties of Cement Matrix Mixed with Ready-mixed Concrete Sludge and Residual Water, Hanyang University of Korea, ICCMC/IBST 2001.
- [3] American Society for Testing and Materials, "ASTM C 138: Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete", Annual Book of ASTM Standard Vol. 4.02, Philadelphia, PA, USA, 2002.
- [4] American Society for Testing and Materials, "ASTM C 143: Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete", Annual Book of ASTM Standard Vol. 4.02, Philadelphia, PA, USA, 2002.
- [5] American Society for Testing and Materials, "ASTM C 39: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens", Annual Book of ASTM Standard Vol. 4.02, Philadelphia, PA, USA, 2002.
- [6] American Society for Testing and Materials, "ASTM C 469: Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression", Annual Book of ASTM Standard Vol. 4.02, Philadelphia, PA, USA, 2002.
- [7] American Society for Testing and Materials, "ASTM C 78: Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)", Annual Book of ASTM Standard Vol. 4.02, Philadelphia, PA, USA, 2002.
- [8] American Society for Testing and Materials, "ASTM C 94: Standard Specification for Ready-Mixed Concrete", Annual Book of ASTM Standard Vol. 4.02, Philadelphia, PA, USA, 2002.
- [9] American Concrete Institute, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI Committee 318), Michigan, USA, 2002.
- [10] J. Bendsted and P. Barnes, Structure and Performance of Cement, London, England, 2002.
- [11] Neville A. M., Properties of Concrete, Fourth Edition, Pitman Books Limited, London, England, 1995.

