

เล่ม 1
Volume 1

เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ
วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 5

Proceedings of the 5th National Convention on Civil Engineering
24-26 March 1999
Ambassador City Jomtien

บทบาทของวิศวกรโยธาในยุคเศรษฐกิจถดถอย
The Role of Civil Engineers During the Current Economic Recession

24-26 มีนาคม 2542
แอมบาสซาเตอร์ซิตี จอมเทียน

MAT คอนกรีตและวัสดุก่อสร้าง
STR วิศวกรรมโครงสร้าง
CEM การบริหารงานก่อสร้าง
SUR วิศวกรรมสำรวจ
COM คอมพิวเตอร์ประยุกต์ในงานโยธา

จัดโดย ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
และ สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
ร่วมกับ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันอุดมศึกษาทั่วประเทศ

Organized by Department of Civil Engineering, Mahanakorn University of Technology
and The Engineering Institute of Thailand under H.M. the King's Patronage
in Cooperation with Departments of Civil Engineering from Universities in Thailand

การศึกษาค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบดอัด

Compressive Strength of Roller Compacted Concrete

ศุภกิจ นนทนานันท์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

นายธนวัฒน์ ยูววิทยาพานิช
วิศวกรโยธา
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

SUPAKIJ NONTANANANDH
Assistant Professor
Kasetsart University, Bangkok

THANAWAT YUVAVITTAYAPANICH
Civil Engineer
Electricity Generating Authority of Thailand

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตบดอัด (Roller Compacted Concrete, RCC) เพื่อเป็นแนวทางขึ้นต้นในการออกแบบก่อสร้างเขื่อนคอนกรีตบดอัด ในเบื้องต้นจะคัดเลือกสัดส่วนผสมโดยพิจารณาจากความสามารถทำงานได้และเหมาะสมแก่กัน ภายหลังจากคัดเลือกสัดส่วนผสมขั้นต้นได้แล้ว จึงทำการผลิตตัวอย่าง ทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่ม 7, 14, 28 และ 90 วัน ตามลำดับ และพิจารณาผลกระทบของรอยต่อจากการหล่อตัวอย่างแบบไม่ต่อเนื่อง ผลการทดสอบพบว่าวัสดุ RCC ที่มีเถ้าลอย (fly ash) ผสมอยู่ตามสัดส่วนที่กำหนด จะมีกำลังรับแรงอัด 170-210 กก./ซม.² ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งาน ค่ากำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆที่อายุการบ่มมากกว่า 90 วัน รอยต่อที่มีการปรับปรุงเป็นอย่างดีแล้ว จะไม่มีผลทำให้กำลังรับแรงอัดมีค่าลดลง

ABSTRACT

In this study, the objective has been focused on the properties of Roller Compacted Concrete (RCC). Initially, trial mixes were performed by testing workability and density in order to select mixtures which conform to the design criteria for dam construction. Specimens were produced and tested for cube strength at a curing time of 7,14,28 and 90 days. Effect of discontinuity of the specimen on strength of RCC was also observed. It is found that strengths within a range of 170-210 ksc. can be obtained for certain mix proportions. Strengths increase as curing time increases and continue even after 90 days. Results also indicate that there is no strength impairment on the specimens when joint treatment is well prepared.

บทนำ

แนวความคิดในการก่อสร้างเขื่อนคอนกรีตแบบบดอัด ได้เริ่มมีขึ้นตั้งแต่ต้นปี ค.ศ. 1960 โดยผู้เชี่ยวชาญงานปฐพีกลศาสตร์ งานคอนกรีตและเขื่อนเก็บกักน้ำ ได้พยายามจะนำความได้เปรียบ ความแข็งแรงทนทานของเขื่อนคอนกรีต และวิธีการก่อสร้างเขื่อนดิน มาประยุกต์ใช้เข้าด้วยกันสำหรับการก่อสร้างเขื่อนคอนกรีตวิธีใหม่ เทคนิคการก่อสร้างคอนกรีตบดอัด (Roller Compacted Concrete, RCC) เพิ่งจะได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในรอบสิบปีเศษที่ผ่านมา โดยมีข้อดีกว้างขวางก่อสร้างเขื่อนคอนกรีตแบบดั้งเดิม (conventional concrete dam) คือสามารถช่วยประหยัดเวลาทรัพยากรและค่าใช้จ่าย เนื่องจากการทำงานคอนกรีตบดอัดสามารถกระทำได้ต่อเนื่อง 24 ชั่วโมงในแต่ละวัน และเนื่องจากใช้ซีเมนต์ในปริมาณต่ำเมื่อเทียบกับการก่อสร้างเขื่อนคอนกรีตแบบดั้งเดิม ดังนั้นเขื่อน RCC จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการพิจารณาก่อสร้าง ข้อดีของ RCC คือปริมาณความร้อนสะสมจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างซีเมนต์กับน้ำเกิดขึ้นต่ำ จึงไม่จำเป็นต้องมีค่าใช้จ่ายในการระบายความร้อนออกจากมวลคอนกรีตในงานก่อสร้าง fly ash ที่มีอยู่ในส่วนผสมมีส่วนช่วยในการลดความร้อนจากปฏิกิริยา hydration ได้ สำหรับการทำให้คอนกรีตบดอัดมีเนื้อแน่นในสนาม จะใช้พลังงานจากการบดอัดเป็นหลักเหมือนกับการบดอัดดินโดยทั่วไป [1]

สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ เป็นการศึกษาคุณสมบัติของ RCC ทั้งทางด้านกายภาพและทางด้านวิศวกรรม คุณสมบัติทางด้านกายภาพได้ทำการศึกษาหาความหนาแน่น (density) กับค่าความชื้นแฉะโดยวิธี Loaded Vebe time หรือ Vebe time ของคอนกรีตสดโดยใช้ชุดเครื่องมือทดสอบเฉพาะตามมาตรฐาน ASTM C 1170 - 91 (ใช้น้ำหนักถ่วง 10 กก. และจับเวลาในขณะที่เริ่มเขย่าด้วยแท่งที่สั้นสะเทือนไว้ 3,000 รอบต่อนาที) ส่วนคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมจะทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) กับค่าความซึมน้ำ (Permeability) ที่อายุการบ่มต่างๆ

สัดส่วนผสมต่างๆที่ประกอบใน RCC สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ จะประกอบด้วย

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (C)
2. เถ้าลอยถิกไนต์ (FA) ซึ่งเก็บตัวอย่างจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง จากการทดสอบหองค์ประกอบทางเคมีพบว่าเถ้าลอยสอดคล้องกับเกณฑ์กำหนดตามมาตรฐาน ASTM C 618 - 92a และจัดอยู่ในประเภท CLASS C fly ash ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของทั้งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และเถ้าลอยถิกไนต์แม่เมาะ (% โดยน้ำหนัก) กับเกณฑ์กำหนดมาตรฐาน ASTM C 618 - 92a

CHEMICAL COMPOSITION	CEMENT TYPE I	FLY ASH	ASTM C 618 - 92a (FOR FLY ASH CLASS C)
SiO ₂	21.70	47.60	
Al ₂ O ₃	6.20	24.80	
Fe ₂ O ₃	3.38	9.90	
		SUM = 82.3	Min. Sum = 50
CaO	63.70	10.50	
MgO	0.97	2.09	Max. = 5.0
Na ₂ O	0.09	0.60	Max. = 1.5
K ₂ O	0.58	2.73	
SO ₃	1.70	0.16	Max. = 5.0
Loss on ignition	0.90	0.54	Max. = 6.0

3. วัดความหนาแน่น ใช้หินปูนขนาด 1" และ 3/4" และได้ทำการทดสอบเช่น Los Angeles Abrasion Test (ASTM C 131, ASTM C 535) ทดสอบ Soundness (ASTM C88) สัดส่วนของหินปูน 1"-3/4" เท่ากับ 1:1.45 ทุกสัดส่วนผสม จากงานวิจัยพบว่ามวลรวมชนิดใดที่ค่า Vebe time ที่ใหญ่กว่า 75 วินาที มีแนวโน้มที่จะเกิดการแยกตัว แต่ถ้าใช้ขนาดเล็กลง จะลดการเกิดการแยกตัว อย่างไรก็ตามในสัดส่วนผสมจะต้องการปริมาณสารเชื่อมประสานทรายและน้ำเพิ่มขึ้น [2]

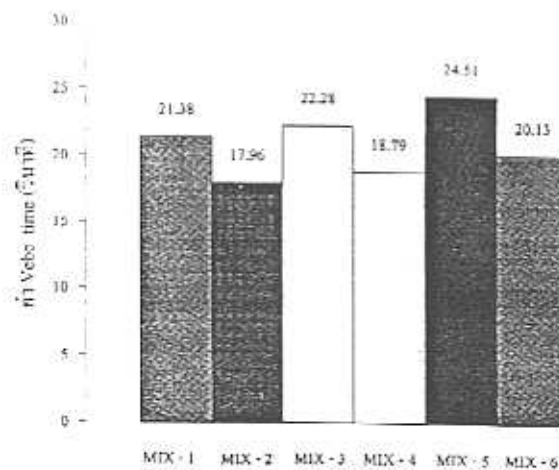
4. วัดความละเอียด ใช้ทรายหยาบจากแม่น้ำ และได้ทำการทดสอบเช่น การหาส่วนขนาดตะกอน (ASTM C 136) และ Impurity Test (ASTM C 40) เป็นต้น ใช้สัดส่วนทรายต่อหินปูนเท่ากับ 1:1.40 ทุกสัดส่วนผสมใน RCC โดยปริมาณทรายที่ใช้ในการผสมคอนกรีตคีย์หรือค้ำนี้อยู่ระหว่าง 35 - 40 % ของวัสดุมวลละเอียดและมวลหยาบรวมกัน

5. น้ำ (W) ใช้สัดส่วน W/ C+FA เท่ากับ 0.55 , 0.60 , 0.65 , 0.70 โดยน้ำหนัก ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าปริมาณน้ำใน RCC ส่วนมากจะอยู่ระหว่าง 89 - 119 กก./ม³ สำหรับมวลรวมชนิดใดที่มีขนาดใหญ่กว่า 50 มม. [3]

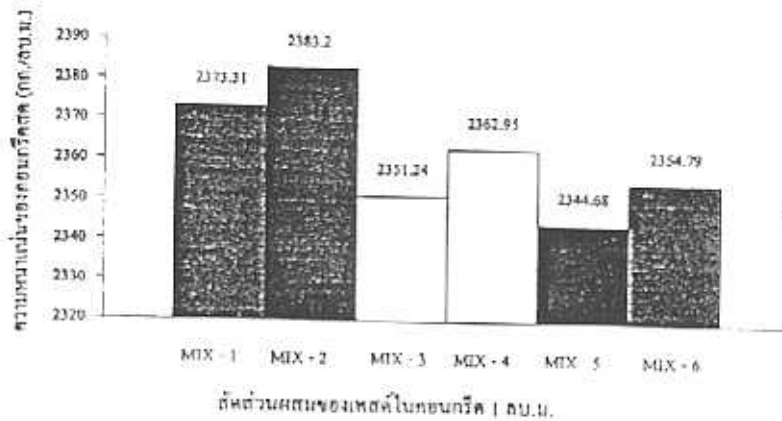
การคัดเลือกสัดส่วนผสมขั้นต้น

เกณฑ์กำหนดในการคัดเลือกสัดส่วนผสมขั้นต้น คือวัสดุ RCC จะต้องมีการ Vebe time อยู่ในช่วง 20±5 วินาที และมีความหนาแน่นมากกว่า 2,300 กก./ม³ สัดส่วนผสมที่ถูกคัดเลือกขั้นต้น (W/ C+FA เท่ากับ 0.65 และ 0.70) แสดงในรูปที่ 1 และ 2 สัดส่วนผสมที่มีปริมาณ FA มากกว่าแต่มีปริมาณน้ำเท่ากัน ค่า Vebe time จะน้อยกว่าในขณะที่ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตจะมากกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่า FA เป็นส่วนผสมอยู่ จะทำให้ความสามารถในการทำงานดีขึ้น หรืออีกนัยหนึ่งอาจกล่าวได้ว่าคอนกรีตที่มีปริมาณ FA อยู่มากกว่า ต้องการปริมาณน้ำน้อยลงเพื่อให้ได้ความสามารถทำงานได้ (workability) เท่ากัน โดยอนุภาคของ FA จะแทรกเข้าไปอยู่ในช่องว่างของคอนกรีตได้มากขึ้น ขณะที่การรบกวน จึงทำให้ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตมีค่าสูงกว่า

ปริมาณสารเชื่อมประสาน (cementitious material) ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้คือซีเมนต์ผสมกับเถ้าลอย โดยออกบทสัดส่วนผสมคือ C ต่อ FA เท่ากับ 50:130 , 60:120 และ 70:110 โดยน้ำหนัก ซึ่งเมื่อคิดโดยปริมาตรแล้ว ปริมาณ FA ที่ใช้จะอยู่ในช่วงประมาณ 70-80 % ในสารเชื่อมประสาน ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยที่เสนอโดย Dunstan (1985) ที่เสนอว่าปริมาณเถ้าลอยที่เหมาะสมในคอนกรีตค้ำจะอยู่ในช่วง 70-80 % [4] ปริมาณสารเชื่อมประสานที่ใช้ ขึ้นอยู่กับความต้องการกำลัง แรงยึดเหนี่ยว (bond) และการพิจารณาถึงอุณหภูมิที่เกิดขึ้น [5]



รูปที่ 1. เปรียบเทียบผลการทดสอบค่า Vebe time ที่สัดส่วนผสมต่างๆ



รูปที่ 2 เปรียบเทียบผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่นของคอนกรีตผสมที่สัดส่วนผสมต่างๆ

การผลิตตัวอย่างและการทดสอบ

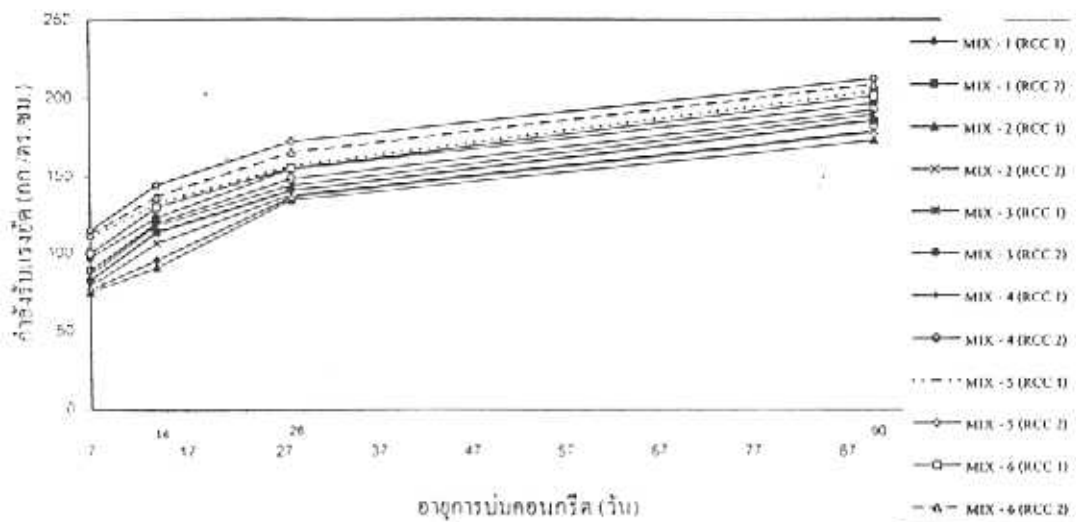
การผลิตตัวอย่างโดยการบดอัด จะผลิตในแบบหล่อรูปลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 ซม. โดยใช้เครื่องบดอัดแบบต้นตะเกียบชนิด electric – powered vibrating rammer (Kango hammer) สำหรับหล่อลูกบุน ซึ่งมีเงื่อนไขในการผลิตตัวอย่าง ดังตารางที่ 2 และสัญลักษณ์ดังแสดงในตารางที่ 3 การทดสอบหาค่าถึงรับแรงอัดจะทำการทดสอบที่อายุการบ่ม 7 , 14 , 28 และ 90 วัน โดยมีเกณฑ์กำหนดคือค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน ต้องได้ไม่ต่ำกว่า 75 กก./ซม.¹

ตารางที่ 2 เงื่อนไขในการผลิตตัวอย่างคอนกรีตบดอัด

ชุดตัวอย่าง	เงื่อนไขในการผลิตตัวอย่าง
RCC 1	ผลิตตัวอย่าง 2 ชิ้นอย่างค่อตั้งในแบบหล่อ
RCC 2	ผลิตตัวอย่างความสูงประมาณครึ่งหนึ่งของแบบหล่อ (7.50 ซม.) แล้วบ่มน้ำ 2 วัน โดยการใส่กระสอบชุ่มน้ำคลุมตัวอย่างในแบบหล่อ หลังจากนั้นจึงปรับปรุงรอยต่อเชื่อมในแนวนอนโดยการทำความสะอาดผิวด้วยการใช้แปรงสวดเหล็กขัดและฉีดน้ำความดันต่ำจนเห็นผิวหิน ปัดยทิ้งไว้ให้ผิวแห้ง 1 ชั่วโมง จึงใช้ฉลุมจากเครื่องบีบลมเป่าที่ผิวของตัวอย่างเพื่อไล่ฝุ่นอีกครั้ง ก่อนที่จะลงมอร์ต้าสัดส่วน W/C+FA=0.57 FA/C+FA=0.30 W=270 กก./ม. ³ C+FA=470 กก./ม. ³ ทราย=1391 กก./ม. ³ หนา 1.5 ซม. [6] แล้วหล่อคอนกรีตชั้นถัดไปจนเต็มแบบหล่อ

ตารางที่ 3 สัญลักษณ์ของสัดส่วนผสมต่างๆของ C:FA และน้ำ ที่ถูกคัดแยกขึ้นต้น

สัดส่วนผสม		RCC 1	RCC 2
C:FA	W C-FA		
50 :130	0.65	MIX - 1 (RCC 1)	MIX - 1 (RCC 2)
	0.70	MIX - 2 (RCC 1)	MIX - 2 (RCC 2)
60 :120	0.65	MIX - 3 (RCC 1)	MIX - 3 (RCC 2)
	0.70	MIX - 4 (RCC 1)	MIX - 4 (RCC 2)
70 :110	0.65	MIX - 5 (RCC 1)	MIX - 5 (RCC 2)
	0.70	MIX - 6 (RCC 1)	MIX - 6 (RCC 2)



รูปที่ 3 เปรียบเทียบผลการทดสอบ Compressive Strength ทุกสัดส่วนผสมที่อายุการบ่ม 7, 14, 28 และ 90 วัน

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของ RCC ที่มีการผลิตตัวอย่าง 2 ชุดในทุกสัดส่วนผสมคือ RCC 1 และ RCC 2 แสดงดังในรูปที่ 3 RCC ที่มีสัดส่วน C คือ FA เท่ากันแต่สัดส่วนที่มีปริมาณน้ำ $W/C+FA = 0.65$ จะมีกำลังรับแรงอัดมากกว่า RCC ที่มีค่าปริมาณน้ำ $W/C+FA = 0.70$ ในทุกสัดส่วนผสมโดยมีค่าสูงกว่าประมาณ 1.3 ถึง 9.5 % (1.8 ถึง 10.5 กก./ซม.²) ที่ช่วงอายุการบ่ม 7 ถึง 90 วัน อัตราส่วนผสมที่มี C มากกว่า จะทำให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่า อัตราส่วนผสมที่มี C น้อยกว่า ในขณะที่ใช้ปริมาณน้ำ $W/C+FA$ เท่ากันในทุกอายุการบ่ม โดยอัตราส่วนผสมที่มี C เพิ่มขึ้นจาก 50 เป็น 70 กก./ม.³ ในขณะที่มีปริมาณน้ำเท่ากัน กำลังรับแรงอัดจะมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 14.8 ถึง 43.3 % (26.3 ถึง 33.3 กก./ซม.²) และ 15.4 ถึง 43.1 % (20.7 ถึง 39.2 กก./ซม.²) สำหรับ RCC 1 ที่ $W/C+FA = 0.65$ และ 0.70 ตามลำดับ ส่วนกำลังรับแรงอัดของ RCC 2 จะมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 14.6 ถึง 40.2 % (27.0 ถึง 32.9 กก./ซม.²) และ 16.5 ถึง 41.8 % (29.5 ถึง 33.1 กก./ซม.²) ที่ $W/C+FA = 0.65$ และ 0.70 ตามลำดับ ที่ช่วงอายุการบ่ม 7 ถึง 90 วัน

เมื่อเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดในทุกสัดส่วนผสมที่อายุการบ่ม 90 วัน สัดส่วนผสมที่ให้ค่ามากที่สุดคือ MIX-5 (RCC 2) โดยมีค่า 212.1 กก./ซม.² และสัดส่วนผสมที่ให้ค่าน้อยที่สุดคือ MIX-2 (RCC 1) โดยมีค่า 172.8 กก./ซม.² กำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่ม 28 วันมีค่าสูงกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดคือ 75 กก./ซม.² ในทุกสัดส่วนผสม จากรูปที่ 3 จะสังเกตเห็นว่าเส้นกราฟยังคงมีความชันมากอยู่ถึงแม้ว่าอายุคอนกรีตจะมากกว่า 90 วัน ซึ่งคาดการณ์ได้ว่ากำลังรับแรงอัดจะสูงขึ้นเรื่อยๆ กล่าวคือปฏิกิริยาปอซโซลานจะเกิดขึ้นช้าๆและใช้เวลานาน

ในสัดส่วนผสมเดียวกัน RCC 1 มีกำลังรับแรงอัดน้อยกว่า RCC 2 ประมาณ 2.5 ถึง 18.0 % (3.4 ถึง 17.6 กก./ซม.²) ที่ช่วงอายุการบ่ม 7 ถึง 90 วัน แสดงว่าความไม่ต่อเนื่องในการบดอัดไม่มีผลต่อกำลังหากมีการปรับปรุงรอยต่อ (Joint treatment) ที่ดี ซึ่งก่อนที่จะหล่อคอนกรีตชั้นที่ 2 ของ RCC 2 ด้วยเครื่องบดอัดแบบต้นสะเทือนนั้น จะมีมอร์ต้า (ในมอร์ต้ามี C+FA มากกว่าในทุกสัดส่วนผสมของคอนกรีต) เทลงไปหนา 1.5 ซม.ก่อน ทำให้น้ำปูนจากมอร์ต้าจำนวนหนึ่งแทรกซึมขึ้นมาบนส่วนคอนกรีตชั้นที่ 2 ซึ่งผลดังกล่าวคาดว่าเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ RCC 2 มีกำลังรับแรงอัดสูงกว่า RCC 1 ในทุกสัดส่วนผสม

สรุปผลการทดสอบ

จากผลการวิจัย สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. สัดส่วนผสมที่มีอัตราส่วนของน้ำต่อปริมาณสารเชื่อมประสานเท่ากับ 0.65 และ 0.70 เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด กล่าวคือ มีค่า Vebe time อยู่ในช่วง 20 ± 5 วินาที และมีความหนาแน่นมากกว่า 2,300 กก./ม.³
2. สัดส่วนผสมที่มี C:FA เท่ากันแต่สัดส่วนที่มี W/ C+FA = 0.65 จะมีค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่าสัดส่วนที่มี W/ C+FA = 0.70 ในทุกสัดส่วนผสมโดยมีค่าสูงกว่าประมาณ 1.3 ถึง 9.5 % (1.8 ถึง 10.5 กก./ซม.²) ที่อายุการบ่ม 7 ถึง 90 วัน
3. อัตราส่วนผสมที่มี C เพิ่มขึ้นจาก 50 เป็น 70 กก./ม.³ ในขณะที่มีปริมาณน้ำเท่ากัน กำลังรับแรงอัดจะมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 14.8 ถึง 43.3 % (26.3 ถึง 33.3 กก./ซม.²) และ 15.4 ถึง 43.1 % (20.7 ถึง 39.2 กก./ซม.²) สำหรับ RCC 1 ที่ W/ C+FA = 0.65 และ 0.70 ตามลำดับ ส่วนกำลังรับแรงอัดของ RCC 2 จะมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 14.6 ถึง 40.2 % (27.0 ถึง 32.9 กก./ซม.²) และ 16.5 ถึง 41.8 % (29.5 ถึง 33.1 กก./ซม.²) ที่ W/ C+FA = 0.65 และ 0.70 ตามลำดับ ที่ช่วงอายุการบ่ม 7 ถึง 90 วัน
4. RCC 1 มีค่ากำลังรับแรงอัดน้อยกว่า RCC 2 ประมาณ 2.5 ถึง 18.0 % (3.4 ถึง 17.6 กก./ม.³) ในสัดส่วนผสมเดียวกัน ที่อายุช่วงการบ่ม 7 ถึง 90 วัน แสดงให้เห็นว่ารอยต่อไม่มีผลทำให้กำลังรับแรงอัดด้อยลงไป ในทางตรงกันข้ามได้มีการปรับโครงสร้างรอยต่ออย่างดี จะเป็นผลดีทำให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น
5. RCC ที่มี FA ผสมกับ C จะเกิดปฏิกิริยา hydration และปฏิกิริยา pozzolanic โดยปฏิกิริยา hydration จะเกิดขึ้นในช่วงแรก ส่วนปฏิกิริยา pozzolanic จะเกิดขึ้นช้าๆและกินเวลายาวนานมากกว่า 90 วัน เมื่อพิจารณาจากค่าการเพิ่มขึ้นของกำลัง ผลการทดสอบพบว่าวัสดุ RCC ที่มีเถ้าลอย (Fly ash) ผสมอยู่ตามสัดส่วนที่กำหนด จะมีค่ากำลังรับแรงอัด 170-210 กก./ซม.² ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งาน
6. สัดส่วนผสมที่เหมาะสมในการใช้งานคือ C : FA = 50 : 130 และ W/ C+FA = 0.70 ทั้งนี้เพราะใช้ปริมาณปูนซีเมนต์น้อยที่สุดทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย และมีค่าความสามารถทำงานได้ ดีที่สุด และเป็นไปตามเกณฑ์กำหนด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ คุณสมชัย กกก้าแหง จากกรมไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ยืมเครื่องบดหินตะเข้ยนสี เบริบท์ลูกปูนที่ใช้ในการทดสอบในงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. สมชัย กกก้าแหง. 2537. การใช้เถ้าลอยลิกไนต์แม่เมาะเป็นส่วนผสมสำคัญในงานก่อสร้างเขื่อนคอนกรีตบดกัดที่ปากมูล. วารสาร กฟผ. 3(2) : 11-27.
2. Hollingworth, F. and F.H.W.M. Druyts. 1985. Experimental use of rollercrete on sections of a concrete gravity dam, pp. 23-38. In ICOLD. 15th International Congress on Large Dams (Volume 2 Question 57) Paris, France.
3. Hansen, K.D. and W.G. Reinhardt. 1991. Roller-Compacted Concrete Dams. McGraw-Hill, Inc., New York.
4. Dunstan, M.R.H. 1985. A method of design for the mix proportions of Roller-Compacted Concrete to be used in dams, pp. 713-738. In ICOLD. 15th International Congress on Large Dams (Volume 2 Question 57) Paris, France.
5. ACI Committee 207.5R-89. 1995. Roller Compacted Mass Concrete, pp. 207.5R-1-207.5R-46. In American Concrete Institute. ACI Manual of Concrete Practice part 1-1995.
6. International Commission on Large Dams, Committee on Materials for Concrete Dams. 1989. Roller Compacted Concrete for Gravity Dams. Bulletin 75 : 151, bd Haussmann, 75008, Paris. 249 p.