สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

คุณสมบัติด้านกำลังของคอนกรีตบดอัดผสมเถ้าลอยในปริมาณสูง ที่ใช้ชนิดวัสดุมวลหยาบต่างกัน

STRENGTH OF ROLLER COMPACTED CONCRETE USING DIFFERENT TYPES OF COARSE AGGREGATES

โดย

นายเปรมชัย บูรณวนิช

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42407
วัน, เดือน, ปี 20 พ.ค. 2545

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STRENGTH OF ROLLER COMPACTED CONCRETE USING DIFFERENT TYPES OF COARSE AGGREGATES

MR. PREMCHAI BOORANAVANICH

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE BACHELOR
DEGREE OF CONSTRUCTION ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ คุณสมบัติด้านกำลังของคอนกรีตบดอัดผสมเถ้าลอยในปริมาณสูงที่ใช้วัสดุมวลรวมหยาบต่างกัน

นักศึกษา นายเปรมชัย บูรณวนิช รหัสประจำตัว 39014327

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.อุบะ ศิริแก้ว

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ ลายมือชื่อ

อ.อำนวย พานิชกุลพงศ์ .....

อ.อุบะ ศิริแก้ว .....

อ.แหลมทอง เหล่าคงถาวร .....

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผศ.ดร.แดง เหรียญสุวรรณ)
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา
วันที่ เดือน พ.ศ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	คุณสมบัติด้านกำลังของคอนกรีตบดอัดผสมเถ้าลอยในปริมาณสูง ที่ใช้ชนิดวัสดุมวลรวมหยาบต่างกัน STRENGTH OF ROLLER COMPACTED CONCRETE USING DIFFERENT TYPES OF COARSE AGGREGATES
นักศึกษา	นายเปรมชัย บูรณวนิช
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
พ.ศ.	2542

บทคัดย่อ

การเลือกใช้วัสดุมวลหยาบ ที่ได้จากภายในพื้นที่ก่อสร้าง จะเป็นการประหยัดงบประมาณ ในการกำหนดราคากลางสำหรับการจ้างเหมาของโครงการของรัฐบางโครงการกำหนดราคาวัสดุมวลหยาบ เป็นราคาซื้อขายจากแหล่งภายนอก ซึ่งทำให้มูลค่าของโครงการมีราคาสูง การพิจารณาเลือกใช้วัสดุมวลหยาบในแหล่งก่อสร้างเป็นทางที่ดีที่สุด เมื่อคุณสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์กำหนด การศึกษาโครงงานพิเศษ มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังอัดของ RCC ที่ผสมเถ้าลอยในอัตราสูง เมื่อใช้มวลรวมหยาบต่างชนิดกัน เมื่อใช้อัตราส่วนซีเมนต์ต่อเถ้าลอย 30:70 มวลรวมหยาบ 1024 กก./ลบ. ม. มวลรวมละเอียด 875 กก./ลบ. ม. น้ำ 145 ลิตร/ลบ.ม.

ผลการทดลองนี้ สรุปว่า การใช้มวลรวมหยาบที่ต่างชนิดกัน ให้ค่ากำลังอัดที่ใกล้เคียงกัน ที่อายุ 3 วัน 7 วัน และ 28 วัน โดย RCC ที่ใช้หิน Tuff เป็นส่วนผสมจะให้ ค่ากำลังอัดสูงกว่ากรวดแม่น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title : STRENGTH OF ROLLER COMPACTED CONCRETE USING DIFFERENT TYPES OF COARSE AGGREGATES

Name : MR.PREMCHAI BOORANAVANICH

Department : CONSTRUCTION ENGINEERING

Faculty : ENGINEERING

Advisor : MISS.UBA SIRIKEAW

ABSTRACT

Using the local coarse aggregate is aim at reducing the project budget. Some public project specified the unit cost of the aggregate by market price. Thus the project is more costly. This study sets up the concrete mix design using local coarse aggregate of the two constrution sites, namely, Tha Darn Dam and Mae Sui Dam. One cubic meter of RCC compressive strength of 250 kilograms of cement and fly ash (C:F ; 30:70), 1029 kilograms of coarse aggregate 875 kilograms of fine aggregate, 143 kilograms of water. The ages of RCC for compressive testing are 7 , 14 and 28 days.

The result shows that Tuff aggregate is higher than gravel aggregate effected of compressive strength of RCC dam which of these exceed specification value.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้ก็สำเร็จลงได้ด้วยดี คุณความดีครั้งนี้ขอมอบให้แก่ผู้ที่ให้ความอนุเคราะห์ทุกๆท่าน ท่านอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ทางวิชาการ ความเข้าใจและเป็นกำลังใจแก่ผู้จัดทำ จนได้มีโอกาสทำโครงงานพิเศษเล่มนี้ขึ้นมา ขอขอบคุณ อาจารย์ อุบะ ศิริแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน , อาจารย์ แหลมทอง เหล่าคงถาวร , เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา , ภาควิชาวิศวกรรมโยธา , ข้าราชการทุกท่านรวมทั้งเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ที่แสนดีที่ให้ความช่วยเหลือทุกคน

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจและทุนทรัพย์เสมอมา

นายเปรมชัย บูรณวนิช

ผู้จัดทำโครงงานพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน(ภาษาไทย)	ก
	ปกใน(ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอนุมัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ฌ
	สารบัญภาพ	ญ
1	**บทนำ**	
	1.1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2. วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ	2
	1.3. ทฤษฎีหรือสมมติฐาน	2
	1.4. ขอบเขตของโครงงานพิเศษ	2
	1.5. วิธีการดำเนินการศึกษา	3
	1.6. ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา	3
2	**วรรณกรรมปริทัศน์**	
	2.1. คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเถ้าลอย	4
	2.1.1. คุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าลอย	4
	2.1.1.1. รูปร่างของเถ้าลอย	5
	2.1.1.2. ความละเอียดของเถ้าลอย	6
	2.1.1.3. องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอย	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.2. ประเภทของเถ้าลอย	7
	2.2.1. เถ้าลอยชั้นคุณภาพ F	8
	2.2.2. เถ้าลอยชั้นคุณภาพ C	8
	2.3. เหตุผลในการเลือกใช้เถ้าลอยในงานคอนกรีต	10
	2.4. ผลกระทบของการใช้เถ้าลอยต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของคอนกรีต	10
	2.4.1. ข้อดีของการใช้เถ้าลอยในคอนกรีต	11
	2.4.2. ข้อด้อยของการใช้เถ้าลอยในคอนกรีต	12
	2.5. ปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต	12
	2.5.1. กำลังรับแรงอัด	13
	2.5.1.1. ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังอัดที่อายุ 28 วันของคอนกรีตผสมเถ้าลอย	13
	2.5.1.2. ปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเถ้าลอย	14
	2.5.2. ความสามารถในการเทได้	15
	2.6. แหล่ง Fly Ash	16
3	**วิธีดำเนินการศึกษา**	
	3.1. การศึกษาข้อมูล	17
	3.2. การจัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์	17
	3.2.1. วัสดุ	17
	3.2.2. อุปกรณ์	18
	3.3. การเตรียมตัวอย่างทดสอบและการการทดสอบในห้องปฏิบัติการ	19
	3.3.1. ข้อกำหนดและข้อจำกัดของการทดลอง	19
	3.3.2. Compression Test	20
	3.3.3. แผนงานและขั้นตอนที่ใช้ทำการทดสอบ	21
4	**การศึกษาและวิเคราะห์**	
	4.1. คุณสมบัติของมวลรวม	22
	4.2. คุณสมบัติด้านกำลังอัดของ RCC	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่	เรื่อง	หน้า
	4.3. การเปรียบเทียบหน่วยน้ำหนัก	28
	4.4. การเปรียบเทียบด้านกำลังอัด	28
	4.5. ส่วนผสมที่ใช้ใน RCC	28
5	**สรุปผลศึกษาและข้อเสนอแนะ**	
	5.1. สรุปผลการศึกษา	29
	5.2. ข้อเสนอแนะ	29
	บรรณานุกรม	
	ภาคผนวก ก	
	ภาคผนวก ข	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1.	แสดงข้อกำหนดทางกายภาพของเถ้าลอยตามมาตรฐาน ASTM	4
2.2.	แสดงองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้าลอยจากแหล่งต่างๆ	7
2.3.	แสดงการแบ่งชั้นคุณภาพของเถ้าลอยตามมาตรฐาน ASTM	8
2.4.	แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจากแหล่งต่างๆ	9
2.5.	แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจากประเทศไทยในปีต่างๆ	9
4.1.	แสดงการวิเคราะห์ขนาดคละของหิน Tuff ครั้งที่ 1	22
4.2.	แสดงการวิเคราะห์ขนาดคละของหิน Tuff ครั้งที่ 2	23
4.3.	แสดงการวิเคราะห์ขนาดคละของหิน Tuff ครั้งที่ 3	23
4.4.	แสดงการวิเคราะห์ขนาดคละของกรวดแม่น้ำ ครั้งที่ 1	24
4.5.	แสดงการวิเคราะห์ขนาดคละของกรวดแม่น้ำ ครั้งที่ 2	24
4.6.	แสดงการวิเคราะห์ขนาดคละของกรวดแม่น้ำ ครั้งที่ 3	25
4.7.	แสดงขนาดคละของมวลรวมที่ทำการปรับค่า	26
4.8.	แสดงค่ากำลังอัดของส่วนผสมระหว่าง หิน Tuff กับ กรวดแม่น้ำที่ระยะเวลาต่างๆ	26
4.9.	แสดงถึงส่วนผสมของ RCC ที่ใช้ในโครงงานพิเศษ	28
ผ.ข.1.	แสดงผล Compression Test ที่ระยะบ่ม 7 วัน ของหิน Tuff	39
ผ.ข.2.	แสดงผล Compression Test ที่ระยะบ่ม 14 วัน ของหิน Tuff	39
ผ.ข.3.	แสดงผล Compression Test ที่ระยะบ่ม 28 วัน ของหิน Tuff	39
ผ.ข.4.	แสดงผล Compression Test ที่ระยะบ่ม 7 วัน ของกรวดแม่น้ำ	40
ผ.ข.5.	แสดงผล Compression Test ที่ระยะบ่ม 7 วัน ของกรวดแม่น้ำ	40
ผ.ข.6.	แสดงผล Compression Test ที่ระยะบ่ม 7 วัน ของกรวดแม่น้ำ	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	ชื่อภาพ	หน้า
2.1.	แสดงภาพขยาย SEM ของอนุภาคเถ้าลอยที่มีลักษณะต่างๆกัน	5
2.2.	แสดงภาพขยาย SEM ของอนุภาคปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้าลอย จากแหล่งต่างๆ	16
3.1.	แสดงขั้นตอนการศึกษา	18
4.1.	แสดงการเปรียบเทียบขนาดคละของหินทั้งสองชนิด	25
4.2.	แสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังอัดที่ระยะเวลาต่างๆ ของหิน Tuff กับ หินแม่น้ำ	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

เนื้อหาในบทที่ 1 จะกล่าวถึงแนวความคิด และที่มา ความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์และทฤษฎีที่ใช้ในโครงงานพิเศษนี้ รวมทั้งขอบเขตและวิธีการศึกษาตลอดจนผลที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษาดังนี้

1.1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันโครงการก่อสร้างต่างๆมักจะเน้นในด้านการประหยัดค่าก่อสร้างโดยการเลือกใช้วัสดุที่หาได้ง่ายและมีราคาถูก ในส่วนของงานคอนกรีตก็มีการนำวัสดุขี้เถ้าลอยลิกไนต์(Fly–Ash)มาใช้เป็นส่วนผสมเพราะขี้เถ้าลอยมีราคาถูก อีกทั้งยังเป็นของเสียที่ได้จากการเผาถ่านหินลิกไนต์ซึ่งมีปริมาณมาก และไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่น การนำขี้เถ้าลอยมาใช้เป็นส่วนผสม จึงเป็นการประหยัดค่าก่อสร้าง และยังช่วยกำจัดของเสียอีกทางหนึ่งด้วย ตัวอย่างสิ่งก่อสร้างที่นำไปใช้ทำ เช่น ถนนคอนกรีต เขื่อนคอนกรีต อาคาร แต่โดยมากจะใช้ในการก่อสร้างเขื่อน ที่เรียกว่า "เขื่อนคอนกรีตบดอัด"

แต่ทว่าในประเทศไทยนั้นเพิ่งจะเริ่มใช้ขี้เถ้าลอยมาเป็นส่วนผสมคอนกรีตเพียงไม่กี่ปีเท่านั้น จึงนับได้ว่าเป็นวิธีที่ค่อนข้างใหม่ และยังมีปัญหาที่รอการปรับปรุงอยู่พอสมควร โดยเฉพาะการนำมาเป็นส่วนผสมในการสร้างเขื่อน จึงควรที่จะศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับการนำขี้เถ้าลอยมาประยุกต์ใช้ในการก่อสร้างเขื่อนคอนกรีตบดอัด เพื่อจะได้นำไปเป็นมาตรฐานในการก่อสร้าง และเป็นที่รู้จักแพร่หลายต่อไปในอนาคต

ดังนั้นในส่วนของโครงการพิเศษนี้ จะได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์นำขี้เถ้าลอยมาใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตบดอัด ในการก่อสร้างเขื่อนคอนกรีตบดอัด (Roller Compacted Concrete Dam ; RCC Dam) และศึกษาถึงคุณสมบัติทางด้านกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2. วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

เพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติทางด้านกำลังของคอนกรีตบดอัด ที่มีส่วนผสมในปริมาณสูงของขี้เถ้าลอยซึ่งได้จากการเผาไหม้ของถ่านหินลิกไนต์ เพื่อใช้วัสดุมวลรวมหยาบต่างชนิดกันซ้ำได้จากแหล่งภายในสถานที่ก่อสร้าง 2 แห่ง ได้แก่ 1. อ.ท่าด่าน จังหวัดนครนายก และ 2. อ.แม่สรวย จังหวัดเชียงราย เพื่อทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรมในด้านรับกำลังอัด จากส่วนผสมของทั้ง 2 โครงการ

การนำขี้เถ้าลอยมาเป็นส่วนผสมในการก่อสร้างจะเป็นการประหยัดค่าก่อสร้างเพราะจะทำให้ใช้ปูนซีเมนต์ซึ่งมีราคาสูงในปริมาณที่น้อยลง ทำให้เกิดผลดีอย่างมากต่อโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ เช่น โครงการก่อสร้างเขื่อน จะทำให้ค่าก่อสร้างลดลงอย่างมาก แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึง คุณสมบัติทางวิศวกรรม และปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องรวมทั้งผลกระทบที่มีต่อความปลอดภัย และความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ด้วย

ดังนั้นการศึกษาถึงคุณสมบัติของคอนกรีตบดอัดผสมขี้เถ้าลอยซึ่งมีมวลรวมต่างชนิดกัน จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาและทำวิจัยต่อไปในอนาคต อีกทั้งยังสามารถเป็นฐานข้อมูลที่ใช้ในการค้นคว้าต่อไปได้ในอนาคต

1.3. ทฤษฎีหรือสมมุติฐานที่ใช้ในโครงงานพิเศษ

จากการศึกษาเขื่อนทางด้านเขื่อนคอนกรีตบดอัดของ Schrader, E. K., 1985 กล่าวว่าคอนกรีตซึ่งได้รับการบดอัดในลักษณะคล้ายกับการบดอัดดิน จะเรียกว่าคอนกรีตบดอัด คอนกรีตธรรมดาเมื่อได้รับการบดอัดซึ่งเป็นการเพิ่มพลังงานให้กับคอนกรีตแล้ว จะส่งผลทำให้มีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น เมื่อความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติในด้านอื่นๆของคอนกรีตด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะในด้านกำลังอัดของคอนกรีต (Compressive Strength)

1.4. ขอบเขตของโครงการพิเศษ

ในโครงการพิเศษนี้จะทำการศึกษาถึงคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมดังนี้

- ความสามารถในการรับกำลังอัด (Compression Strength)
- เปรียบเทียบกำลังอัดของส่วนผสมที่มีมวลรวมต่างชนิดกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจะอ้างอิงตามข้อกำหนด และ มาตรฐานของ ASTM เป็นหลัก แต่จะทำการประยุกต์ในการทดลองบางรายการเพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะของอุปกรณ์ เครื่องมือ และสภาพของการทดลอง

1.5. วิธีการที่ใช้ในการดำเนินโครงการพิเศษ

ในช่วงเริ่มต้นจะทำการค้นคว้า และรวบรวมข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับโครงการพิเศษนี้ แล้วจึงทำการวางแผนในการดำเนินการทดสอบ และกรรมวิธีในการทดสอบ รวมทั้งศึกษาการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือในการทดสอบ เพื่อให้ได้คุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ถูกต้อง และคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด จากนั้น ก็ทำการวิเคราะห์ ผลการทดสอบที่ได้ แล้วจึงทำการสรุปผลการทดสอบ และข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น รวมทั้งระบุถึงข้อเสนอแนะและแนวทางการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ต่อไป

1.6. ผลที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการพิเศษ

ได้ทราบและเข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติของคอนกรีตบดอัดที่ผสมขี้เถ้าลอยในปริมาณสูงที่ใช้มวลรวมหยาบต่างชนิดกันเพื่อการนำไปใช้ในการก่อสร้างเขื่อน อีกทั้งยังเป็นการเรียนรู้ถึงสภาพการทำงานที่สถานที่ก่อสร้างจริง และการวางแผนทำงาน ตลอดจนเป็นการเพิ่มประสบการณ์ในการทำการทดสอบ และใช้เป็นฐานข้อมูลเพื่อการศึกษา และพัฒนาต่อไปได้ในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วรรณกรรมปริทัศน์

ในบทที่ 2 นี้จะกล่าวถึง ทฤษฎีต่างๆที่ใช้ประกอบการทำการศึกษาโครงงานพิเศษนี้ และรวบรวมข้อมูลที่ได้เคยมีการศึกษามาก่อนนี้แล้ว เกี่ยวกับการศึกษาเรื่องเขื่อนคอนกรีตบดอัด โดยอ้างอิงจาก วินิจ ช่อวิเชียร(2539) ธันวา ดาราฮึม(2541) รศ.ดร. สมนึก ตั้งเติมสิริกุล (2542) และเทอดศักดิ์ บุญยขจรและคณะ(2542) และข้อมูลเกี่ยวกับเขื่อนRCC ได้สรุปลงในภาคผนวก ก

2.1. คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเถ้าลอย (Physical and Chemical Properties of Fly Ash)

2.1.1. คุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าลอย

คุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าลอยโดยทั่วไปจะแสดงพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสม (Fly Ash Concrete) แต่คุณสมบัติของเถ้าลอยอาจเปลี่ยนแปลงในกระบวนการเผาไหม้ เช่น มีการเผาน้ำมันเตาร่วมกับการเผาถ่านหิน มีการเติมวัสดุบางประเภทเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ และลดการกัดกร่อน ดังนั้นการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของเถ้าลอยเพื่อนำไปใช้งาน อาศัยข้อกำหนดทางกายภาพตามมาตรฐาน ASTM C618 ดังตารางที่ 2.1.

ตารางที่ 2.1. แสดงข้อกำหนดทางกายภาพของเถ้าลอยตามมาตรฐาน (ASTM C618-97)

ข้อกำหนดด้านกายภาพ	Class of Fly Ash	
	F	C
ความละเอียด ส่วนที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 หลังจากการร่อนแบบเปียก ,max%	34	34
หาดัชนีกำลัง โดยผสมกับปอร์ตแลนด์ซีเมนต์		
-7 วัน ,min % เมื่อเทียบกับตัวควบคุม	75	75
-28 วัน ,min % เมื่อเทียบกับตัวควบคุม	75	75
ความต้องการน้ำ ,max % เมื่อเทียบกับตัวควบคุม	105	105
ความอยู่ตัว การขยายหรือหดตัวโดยวิธี Autoclave,max%	0.8	0.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1.(ต่อ) แสดงข้อกำหนดทางกายภาพของเถ้าลอยตามมาตรฐาน (ASTM C618-97)

ข้อกำหนดด้านกายภาพ	Class of Fly Ash	
	F	C
การกำหนดความสม่ำเสมอ		
- ความหนาแน่น ,maxจากค่าเฉลี่ย %	5	5
-ส่วนที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 , max จากค่าเฉลี่ย	5	5
Multiple Factorผลคูณระหว่าง%LOIกับ%ของปริมาณที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 325	225	-
Drying Shrinkage ของแท่งมอร์ต้าที่ 28 วัน max% ที่แตกต่างจากตัวควบคุม	0.03	0.03

2.1.1.1. รูปร่างของเถ้าลอย

เถ้าลอยโดยทั่วไปจะมีรูปร่างลักษณะค่อนข้างเป็นทรงกลม บางครั้งอาจพบเป็นรูพรุน ซึ่งมีน้ำหนักเบาลอยน้ำได้หรืออาจพบในลักษณะที่มีรูปร่างไม่แน่นอน ซึ่งแตกต่างจากซีเมนต์ที่มีลักษณะเป็นแท่งหรือสี่เหลี่ยม ทั้งนี้รูปร่างจะเป็นแบบใดขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เผาถ่านหิน ความละเอียดของถ่านหินก่อนจะเผาและชนิดของถ่านหิน ดังแสดงในรูปที่ 2.1. และ รูปที่ 2.2.

เถ้าลอยลักษณะกลม เถ้าลอยที่มีลักษณะพรุน เถ้าลอยที่มีลักษณะไม่แน่นอน

รูปที่ 2.1. แสดงภาพขยาย SEM ของอนุภาคเถ้าลอยที่มีลักษณะต่างๆกัน

จากจุดเด่นทางด้านรูปร่างของเถ้าลอยที่มีทรงกลม หลังจากทดแทนซีเมนต์ในส่วนผสมของคอนกรีตแล้วจะเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของคอนกรีตทำให้เนื้อคอนกรีตแน่นทึบ หรือ ในการเทคอนกรีตในที่แคบๆที่ต้องการให้ไหลลื่น ได้ซึ่งคอนกรีตบางชนิดจำเป็นต้องอาศัยคุณสมบัติเหล่านี้ แต่ถ้ามีรูปร่างไม่แน่นอนหรือมีรูพรุนอาจมีผลต่อปริมาณน้ำที่ใช้มีผลให้กำลังอัดของส่วนผสมที่ได้ต่ำลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.2. ความละเอียดของเถ้าลอย

ขนาดหรือพื้นที่ผิวจำเพาะของเถ้าลอยจะบ่งบอกถึงความสามารถในการทำปฏิกิริยา Pozzolanic ซึ่งจะใช้การทดสอบความละเอียดของเถ้าลอย ตามมาตรฐาน ASTM C430 โดยกำหนดปริมาณของเถ้าลอยที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 โดยวิธีร่อนแบบเปียก เนื่องจากเถ้าลอยที่มีอนุภาคหยาบจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยทำปฏิกิริยาได้ช้ากว่าอนุภาคที่ละเอียดกว่า นั่นคือส่วนที่ ผ่านตะแกรงแล้วจะทำปฏิกิริยาได้ประสิทธิภาพที่ดีกว่านอกจากนี้ยังจะบอกขนาดของอนุภาคจากการวัดพื้นที่ผิวจำเพาะโดยวิธีของเบลน (Blaine Specific surface-area technique) ตามมาตรฐาน ASTM หรือวิธี Brunauer-Emmett-Teller (BET) มีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตรต่อกรัม

2.1.1.3. องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอย

จากการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจากแหล่งต่างๆ โดยใช้เทคนิค X-ray Fluorescence ประกอบด้วย องค์ประกอบออกไซด์ของแร่ธาตุต่างๆ ได้แก่ ซิลิก้าออกไซด์ (SiO_2) อลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) และออกไซด์ของธาตุอื่นๆปะปนอยู่อีกบ้างในปริมาณน้อย ส่วนประกอบทางเคมีเหล่านี้จะมีค่าแตกต่างกันในเชิงปริมาณตามแหล่งหรือชนิดของถ่านหินที่มาของเถ้าลอย ขบวนการเผาอุณหภูมิที่ใช้เผา ด้วยเหตุนี้จึงมีการแยกประเภทของเถ้าลอยมาตรฐาน ASTM C618 เป็น Class F และ Class C

สำหรับข้อกำหนดทางด้านเคมีตามมาตรฐาน ASTM C618 ใช้ผลรวมของปริมาณออกไซด์ของซิลิก้า อลูมินา และเหล็ก ในเถ้าลอยโดยที่ Class F และ Class C ผลรวมร้อยละของออกไซด์ดังกล่างอย่างน้อย 70 และ 50 ตามลำดับ ทั้งนี้การกำหนดดังกล่าวเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าในเถ้าลอยนั้นมีส่วนประกอบที่สามารถเกิดปฏิกิริยาเพียงพอ นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์กับอัตราการเกิดปฏิกิริยาPozzolanic ในระยะยาวด้วย สำหรับร้อยละของปริมาณซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) กำหนดให้ไม่เกิน 5 ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณซัลเฟอร์ในเถ้าลอย มีผลต่อการพัฒนาความสามารถในการรับกำลังอัดและเวลาในการก่อตัว นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยเสริมการเกิด Sulphate Attack กับคอนกรีตอีกด้วย

สำหรับปริมาณร้อยละความชื้นของเถ้าลอยไม่ควรเกิน 3 มิฉะนั้นจะเป็นอุปสรรคต่อการปฏิบัติงาน (Handing difficulty) และสำหรับ Fly Ash Class C แล้ว จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นขึ้นได้ง่ายนอกจากนี้ยังมีการกำหนดค่าร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสียเนื่องจากการเผา (Loss on Ignition,LOI)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไว้ไม่เกิน 6 ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่ในเถ้าลอยหากมี LOI มากการควบคุมในด้าน Air entrainment ของคอนกรีตสดจะทำได้ยากและยังต้องการน้ำเพิ่ม ในคอนกรีตในทั่วไปแล้ว Fly Ash จากโรงไฟฟ้าจะมีค่า LOI ต่ำกว่า 6 มาก ร้อยละของปริมาณอัลคาไลน์ (Alkalies) ในรูปของโซเดียมออกไซด์ (Na_2O Equivalent) มากที่สุดไม่เกิน 1.5 ซึ่งเป็นข้อกำหนดเสริมใน ASTM C618 ทั้งนี้เนื่องจากเถ้าลอยที่มีปริมาณ CaO สูงจะมีโอกาสเกิดปฏิริยาของ Alkali-aggregate ขึ้นได้ แต่อย่างไรก็ตาม เถ้าลอยที่มีร้อยละของปริมาณอัลคาไลน์มากกว่า 1.5 จะนำมาใช้กับมวลรวมที่ไวต่อปฏิกิริยาได้ก็ต่อเมื่อผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการไม่ปรากฏการขยายตัวจนเกิดความเสียหายได้ (Deleterious Expansion)

เถ้าลอยจากแหล่งต่างๆ ในประเทศและต่างประเทศแสดงในตารางที่ 2.2 สามารถจัดอยู่ใน Class F ได้แต่มีข้อที่น่าสังเกตคือ เถ้าลอยที่อยู่ใน Class F โดยทั่งไปจะมีประมาณ CaO ค่อนข้างต่ำ แต่ลักษณะเถ้าลอยถ่านหินในประเทศเราจะมี CaO ค่อนข้างสูง (มากกว่า 10 %)

ตารางที่ 2.2. แสดงองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้าลอยจากแหล่งต่างๆ

แหล่งเถ้าวัสดุลอย	องค์ประกอบทางเคมี								
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	SO_3	LOI
แม่เมาะ	46.25	28.43	10.71	7.61	2.21	1.11	3.07	1.85	0.23
ระยอง	45.02	36.21	4.09	3.64	0.54	0.44	0.31	0.48	5.32
สมุทรสาคร	43.92	36.61	3.97	3.05	0.55	0.38	0.44	0.64	7.52
กาญจนบุรี	47.39	22.73	6.29	8.36	2.64	0.63	2.95	3.38	3.12
ต่างประเทศ	49.04	37.91	2.75	1.03	0.39	0.38	0.52	0.18	4.70
ซีเมนต์	20.60	5.22	3.10	65.00	0.91	0.07	0.50	2.70	1.10

2.2. ประเภทของเถ้าลอย (Type of Fly Ash)

เถ้าลอยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชั้นคุณภาพตามมาตรฐาน ASTM C618-94a (1995) ได้แก่ชั้นคุณภาพ F และ ชั้นคุณภาพ C โดยใช้องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยที่ได้หลังจากการเผาถ่านหินดังแสดงในตารางที่ 2.3.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3. แสดงการแบ่งชั้นคุณภาพของเถ้าลอย ตามมาตรฐาน ASTM (ASTM C618-94a ,1995)

คุณสมบัติ	Class of Fly Ash	
	F	C
$SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$,ร้อยละ	70	50
SO3 , มากที่สุดร้อยละ	5	5
ปริมาณความชื้น , มากที่สุดร้อยละ	3	3
การสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้ , มากที่สุดร้อยละ	6	6
ดัชนีกำลัง , น้อยที่สุดร้อยละ	75	75

2.2.1. เถ้าลอยชั้นคุณภาพ F

เป็นเถ้าลอยที่มีผลรวมของซิลิก้าออกไซด์ เฟอร์ริกออกไซด์ และ อลูมินาออกไซด์ มากกว่าร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก เกิดจากการเผาถ่านหินประเภทแอนทราไซด์ และบิทูมินัส มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์น้อยกว่าร้อยละ 5 ดังนั้น เถ้าลอยประเภทนี้บางครั้งจะเรียกว่า Low Calcium Fly Ash ซึ่งมีคุณสมบัติการเป็นซีเมนต์อยู่น้อยหรือแทบจะไม่มี เถ้าลอยประเภทนี้ได้ถูกนำมาใช้งานแทนที่ซีเมนต์ในงานสร้างเขื่อนตั้งแต่ปี ค.ศ. 1935 โดยมีจุดประสงค์หลักเพื่อช่วยลดความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น แต่เมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติการรับแรงของคอนกรีตที่ใช้เถ้าลอยประเภทนี้แทนที่ซีเมนต์ พบว่า การพัฒนากำลังรับแรงอัดในช่วงต้นต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดา แต่หลังจากที่ปฏิกิริยา Pozzolanic ได้เริ่มขึ้น กำลังรับแรงอัดในช่วงปลายของคอนกรีตที่ได้รับการผสมด้วยปฏิภาคที่เหมาะสมจะพัฒนาเท่าเทียมกับคอนกรีตธรรมดา

2.2.3. เถ้าลอยชั้นคุณภาพ C

เป็นเถ้าลอยที่มีผลรวมของซิลิก้าออกไซด์ เฟอร์ริกออกไซด์ และอลูมินาออกไซด์ อยู่ระหว่างร้อยละ 50-70 โดยน้ำหนัก เกิดจากการเผาถ่านหินประเภทลิกไนต์ และ ซับบิทูมินัส มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์ออกไซด์อยู่ประมาณร้อยละ 15-23 ดังนั้นเถ้าลอยประเภทนี้บางครั้งจะเรียกว่า High Calcium Fly Ash กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้เถ้าลอยประเภทนี้แทนที่ซีเมนต์ จะพัฒนาได้อย่างรวดเร็วในช่วงต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณภาพและปริมาณของเถ้าลอยสามารถแปรผันได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า ชนิดของถ่านหิน อุณหภูมิที่ใช้เผาและระบบการดักจับเถ้า ดังนั้นเถ้าลอยที่ได้ในแต่ละประเทศจะมีคุณสมบัติที่ไม่เหมือนกัน ดังตัวอย่างที่แสดงใน ตารางที่ 2.4. นอกจากนี้คุณภาพและองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยยังอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามเวลาได้อีกด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2.5.

ตารางที่ 2.4. แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจากแหล่งต่างๆ (ธันวา ดาราฮีม, 2541)

องค์ประกอบทางเคมี	ขี้เถ้าลอยจาก				
	เยอรมัน	ไต้หวัน	แคนาดา	อเมริกา	ไทย
	ปริมาณร้อยละเฉลี่ย ,%โดยน้ำหนัก				
SiO_2	51.5	53.13	42.2	30	42.45
Al_2O_3	27	30.44	21.6	17.6	22.51
Fe_2O_3	7.79	3.59	27.6	4.9	9.02
CaO	2.32	2.12	1.87	27.9	9.82
SO_3	0.77	-	1.1	-	1.51
$MgO+Na_2O$	2.82	0.78	3.69	7.6	3.23
K_2O	3.57	1.05	2.55	0.3	2.53
LOI	2.73	6.63	1.85	0.2	1.36

ตารางที่ 2.5. แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจากประเทศไทยในปีต่างๆ (ธันวา ดาราฮีม,2541)

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณร้อยละเฉลี่ย (%โดยน้ำหนัก)							
	2533	2534	2535	2536	2537	2538	2539	2540
SiO_2	37.8	42.8	40.3	43.1	52.8	39.6	39.6	39.9
Al_2O_3	20.5	23.3	24	20.2	18	22.3	23	26.9
Fe_2O_3	14.2	14	15	13.2	8.5	12.5	12.6	11.8
CaO	17.4	10.5	11.2	13	13.3	14	12.4	9
SO_3	3.9	3.9	3.1	2.6	2.8	2.7	2.4	0.9
MgO	3.3	2.4	2.8	2.7	1.4	2.5	2.4	1.2
Na_2O	0.9	0.8	1	1.3	0.9	0.7	1.1	0.6
K_2O	2.1	2.3	2.6	2.4	2	2.3	2.9	3.1
LOI	0.8	0.7	0.5	0.6	0.3	0.9	0.8	0.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3. เหตุผลในการเลือกใช้เถ้าลอยในงานคอนกรีต

ปัจจุบันการนำเถ้าลอยมาใช้ในงานคอนกรีตได้แพร่หลายมากขึ้น โดยอาศัยข้อดีทั้งทางกายภาพและทางเคมีของเถ้าลอยมาใช้ประโยชน์ กล่าวคือ เถ้าลอยมีอนุภาคค่อนข้างเป็นทรงกลมส่งผลดีต่อความสามารถในการเทได้ของคอนกรีต อีกทั้งอนุภาคยังมีความละเอียดสูงกว่าซีเมนต์ด้วยจึงทำหน้าที่เป็นวัสดุอุดช่องว่าง (Filler) ระหว่างอนุภาคของซีเมนต์ ซึ่งโดยปกติแล้วช่องว่างเหล่านี้จะถูกอุดด้วยปริมาณน้ำส่วนที่เกินจากการใช้ทำปฏิริยาไฮเดรชั่น

คอนกรีตที่มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสม จะทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ช้าลงกว่าปกติ ทำให้คอนกรีตสามารถระบายความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาได้ทันโดยไม่ทำให้เกิดการแตกร้าวในคอนกรีต จึงเหมาะกับงานคอนกรีตหลา เช่น งานเขื่อนหรือหรือโครงสร้างคอนกรีตขนาดใหญ่เป็นอย่างยิ่ง นอกจากนั้นแล้วเถ้าลอยยังช่วยเพิ่มคุณสมบัติพื้นฐานของคอนกรีตให้ดียิ่งขึ้น เพิ่มคุณสมบัติการรับแรง ความทนทาน คุณสมบัติการรับแรงอัด ลดค่าความซึมผ่านได้ของน้ำ ลดการเยิ้มและการแยกตัว เพิ่มความทนทานต่อซัลเฟต ลดการแยกตัวและการแตกร้าวเนื่องจากปฏิกิริยา Alkali-Aggregate

ในแง่ของโครงสร้างของเขื่อนนั้น การที่ผสม Fly Ash ในส่วนผสมของคอนกรีต จะทำให้ได้คอนกรีตที่มีน้ำหนักเบากว่าปกติ แต่ให้ความสามารถในด้านกำลังเทียบเท่าหรือดีกว่า คอนกรีตธรรมดาจึงทำให้ได้โครงสร้างคอนกรีตที่เบากว่า ทำให้สามารถลดขนาดของโครงสร้างในส่วนของฐานรากที่รองรับให้มีขนาดเล็กลงได้จึงเป็นการประหยัด

ส่วนผลดีในด้านเศรษฐศาสตร์ก็คือจะสามารถประหยัดวัสดุปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการผสมทำคอนกรีตลงได้มาก โดยใช้วัสดุขี้เถ้าลอยแทนซึ่งเป็นวัสดุที่ไร้ประโยชน์และเป็นภาระในการกำจัดทิ้ง เมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายที่จะต้องใช้ซื้อปูนซีเมนต์แล้ว ถือว่าเป็นการประหยัดค่าวัสดุลงได้อย่างมหาศาล โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับงานที่ต้องใช้ปริมาณคอนกรีตเป็นจำนวนมาก

2.4. ผลกระทบของการใช้เถ้าลอยต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของคอนกรีต

การประยุกต์นำขี้เถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ในงานก่อสร้างคอนกรีต อาจมีทั้งผลดีขึ้น และผลเสียลงต่อคุณสมบัติของคอนกรีตในด้านต่างๆ ดังนั้นก่อนที่นำขี้เถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ในงานก่อสร้างใดๆ จะต้องคำนึงผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีต สำหรับสภาวะการทำงานนั้นๆ ให้รอบคอบเสียก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1. ข้อดีของการใช้เถ้าลอยในคอนกรีต

(1) Workability

ผลที่ได้จาก Fly Ash จะคล้ายกับวัสดุ Pozzolans อื่นๆ คือ ช่วยปรับปรุง workability ของคอนกรีต และช่วยลดการแยกตัวของมวลรวม และลดอัตราการเยิ้ม ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากลักษณะของ Fly Ash ที่มีลักษณะกลม ดังนั้นการพิจารณาการใช้ Fly Ash นั้นอาจจะใช้เมื่อส่วนผสมของคอนกรีตขาดวัสดุเม็ดละเอียด หรือเมื่อคอนกรีต หรือคอนกรีตมีอัตราการเยิ้มสูง

(2) Water Requirement and Heat of Hydration

ตามปกติการใช้ Pozzolans เป็นส่วนผสมนคอนกรีตจะทำให้คอนกรีตมีความต้องการน้ำมากกว่าคอนกรีตปกติ สำหรับค่าการยุบตัวที่เท่ากัน แต่ Fly Ash แตกต่างจากวัสดุ Pozzolans ทั่วไป คอนกรีตที่ผสม Fly Ash ที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำ (2 เปอร์เซ็นต์) โดยทั่วไปจะต้องการปริมาณน้ำน้อยลง แต่คอนกรีตที่ผสม Fly Ash ที่มีปริมาณคาร์บอนมากกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ จะต้องการปริมาณน้ำมากกว่าคอนกรีตทั่วๆไป คอนกรีตที่ผสม Fly Ash จะมีความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่ต่ำกว่า ดังเช่นคอนกรีตที่ผสม Fly Ash ที่ใช้ในการก่อสร้าง เขื่อน Hungry Horse ความร้อนที่เกิดขึ้นต่ำกว่าคอนกรีตปกติถึง 1.5 เท่า

(3) ค่าความซึมผ่านได้ของน้ำและอากาศ

คอนกรีตที่มีค่าความซึมน้ำต่ำนั้นเป็นองค์ประกอบที่สำคัญมากในการก่อสร้างเขื่อน ซึ่งพบว่าคอนกรีตจะมีค่าความซึมน้ำต่ำลงเมื่อแทนบางส่วนของ ซีเมนต์ด้วย Fly Ash

(4) ความทนทานต่อซัลเฟส

การเพิ่มความทนทานต่อการกัดกร่อนของซัลเฟตจาก น้ำทะเลในดิน และน้ำที่มีสมบัติเป็นกรดตามธรรมชาติ สามารถทำได้โดยการใช้ Fly Ash หรือวัสดุ Pozzolans ชนิดอื่นๆ และจะดียิ่งขึ้นถ้าใช้ในคอนกรีตที่มีส่วนประกอบของซีเมนต์ต่ำ การเพิ่มวัสดุ Pozzolans ใน ซีเมนต์ปอร์ตแลนต์ชนิดทนซัลเฟตสูงจะไม่เพิ่มความสามารถในการทนซัลเฟตอีกแต่อย่างใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5) Strength

จากการเปรียบเทียบ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสม Fly Ash และไม่ผสม Fly Ash จะเห็นได้ว่ากำลังของคอนกรีตที่ 28 วัน ของคอนกรีตหยาบ (4-4.5 ถุง/ลูกบาศก์หลา) ที่ผสม Fly Ash จะมีค่ามากกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสม Fly Ash และกำลังอัดของคอนกรีตที่ 28 วัน ของคอนกรีตที่มีปริมาณซีเมนต์สูง (6 ถุง/ลูกบาศก์หลา) ที่ผสม Fly Ash จะมีค่าน้อยกว่าคอนกรีตที่ไม่ ผสม Fly Ash

2.4.2 ข้อด้อยของการใช้เถ้าลอยในคอนกรีต

คอนกรีตที่ผสม Fly Ash ส่วนมากต้องการสารกักกระจายฟองอากาศมากกว่าปรกติ เพื่อให้ได้ปริมาณฟองอากาศที่เท่ากับคอนกรีตปรกติที่ไม่ได้ผสม Fly Ash จากการค้นคว้าของสถาบัน Battelle Memorial ได้ชี้ชัดว่าสารกักกระจายฟองอากาศไม่สามารถทำปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดการกระจายตัวของฟองอากาศได้ ซึ่งการกระจายตัวของคอนกรีตนี้จะช่วยให้คอนกรีตมีความคงทนต่อการแข็งตัวของน้ำ หรือเกลือที่ทำให้น้ำแข็งละลาย

2.5. ปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ดีควรจะต้องออกแบบให้คอนกรีตนั้นมีความสามารถเทได้ง่าย (Workable) มีกำลังเพียงพอในการรับแรงและราคาประหยัด นอกจากนี้ยังควรจะต้องพิจารณาคุณสมบัติด้านอื่นๆ ได้แก่การก่อตัว (Setting Time) การเยิ้ม (Bleeding) อุณหภูมิเพิ่ม (Temperature rise) การซึมน้ำ (Permeability) และที่สำคัญคือความทนทาน (Durability) ของคอนกรีตในระยะยาวด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1. กำลังรับแรงอัด

คุณสมบัติของคอนกรีตที่ยังอยู่ในสภาพเหลวจะมีความสำคัญในขณะก่อสร้างเท่านั้น แต่คุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วจะมีไปจนตลอดการใช้งานของคอนกรีตนั้นๆ คุณสมบัติที่สำคัญของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วซึ่งนิยมใช้เป็นตัวกำหนดในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตโดยทั่วไป คือ กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) ทั้งนี้เนื่องจากกำลังรับแรงอื่นๆ เช่น กำลังรับแรงดึง (Tensile Strength) กำลังรับแรงดัด (Flexural Strength) กำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength) และกำลังยึดเหนี่ยว (Bond Strength) มักจะนิยมกำหนดให้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังรับแรงอัด ดังนั้นคอนกกรีตที่มีกำลังรับแรงอัดสูงก็จะมีกำลังรับแรงอื่นๆสูงตามไปด้วย

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตโดยทั่วไปมักจะให้ใช้กำลังรับแรงอัดที่ 28 วันเป็นข้อกำหนดในการออกแบบ นั่นคือที่อายุดังกล่าวกำลังรับแรงอัดที่อายุต้นๆ เป็นข้อกำหนดในการออกแบบ เช่น งานคอนกรีตอัดแรง งานซ่อมแซม หรืองานที่กำหนดให้ใช้กำลังรับแรงอัดที่อายุยาวนานเป็นข้อกำหนดในการออกแบบ เช่นงานเขื่อน ผู้ออกแบบสามารถออกแบบได้โดยใช้ค่ากำลังรับแรงอัดที่ 28 วันเป็นค่าอ้างอิงก่อนหลังจากนั้นจึงใช้สัมประสิทธิ์ตัวคูณซึ่งหามาจากหลักการของการพัฒนากำลังรับแรงอัดปรับค่ากำลังรับแรงอัดที่ 28 วันให้เป็นกำลังรับแรงอัดที่อายุอื่นๆ ที่ต้องการ นอกจากนั้นในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตโดยปกติจะต้องมีการเผื่อกำลังของคอนกรีตเนื่องจากในบางกรณีคอนกรีตที่ผลิตได้อาจให้กำลังรับแรงอัดต่ำกว่าที่กำหนด การเผื่อค่ากำลังรับแรงอัดนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ การควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ และการผลิต ซึ่งแต่ละโรงงานผสมคอนกรีต อาจเผื่อค่าไม่เท่ากัน

2.5.1.1. ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดที่ 28 วันของคอนกรีตผสมเถ้าลอย

(1) ปริมาณแคลเซียมออกไซด์รวมในวัสดุประสาน (CaO)

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกำลังรับแรงอัดที่ถูกนำมาพิจารณาได้แก่ องค์ประกอบทางเคมี ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับความสามารถในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่น แคลเซียมออกไซด์ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญซึ่งมีอยู่ในสารเกิดปฏิกิริยาสำคัญ 4 ตัวของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์นั้นคือ C_3S , C_2S , C_3A และ C_4AF

เมื่อพิจารณากำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน การเพิ่มของแคลเซียมออกไซด์โดยรวมในคอนกรีตจะทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้น การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณแคลเซียมออกไซด์โดยรวมลดลงเนื่องจากเถ้าลอยมีแคลเซียมออกไซด์เป็นองค์ประกอบน้อยกว่าปูนซีเมนต์ ดังนั้นปริมาณของเถ้าลอยที่แทนที่ปูนซีเมนต์จึงมีผลสำคัญต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต อย่างไรก็ดีกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตในระยะยาวมิได้ขึ้นอยู่กับปริมาณซิลิกาไดออกไซด์ (SiO_2) ด้วย

(2) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน

การแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนด้วยเถ้าลอยเป็นการเพิ่มความสามารถในการเทได้ (Workability) ให้คอนกรีตสด เนื่องจากเถ้าลอยมีรูปร่างที่ค่อนข้างเป็นทรงกลม จึงสามารถลดแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคและลดความต้องการน้ำของส่วนผสมคอนกรีตได้สำหรับการออกแบบคอนกรีตผสมเถ้าลอย จะใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) แทนโดยอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่สูงจะมีผลทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตต่ำลง

(3) อัตราส่วนปริมาตรเพสต์ต่อปริมาตรช่องว่างระหว่างมวลรวมที่อัดแน่น (γ)

ผลของปริมาณเพสต์ต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตสามารถอธิบายโดยใช้ตัวแปรอัตราส่วนปริมาตรเพสต์ต่อปริมาตรช่องว่างระหว่างมวลรวมที่อัดแน่น (γ) โดยกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับปริมาณเพสต์ ถ้าเพสต์มีปริมาณมากเพียงพอที่ทำให้มีกำลังยึดเหนี่ยวระหว่างเพสต์และมวลรวมที่ดีจะมีผลทำให้ได้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่สูง อย่างไรก็ตามถ้าเพสต์มีมากเกินไปก็จะมีผลทำให้คอนกรีตมีความหนาแน่นต่ำลงและทำให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดต่ำลงด้วย หรือถ้าเพสต์มีปริมาณน้อยเกินไปจนไม่เพียงพอที่จะอุดช่องว่างระหว่างมวลรวมและยึดมวลรวมให้ติดกันได้ ก็จะทำให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดต่ำลงเช่นเดียวกัน ดังนั้นค่าที่ให้ผลดีที่สุด (Optimum) ของ γ จึงจะให้กำลังรับแรงอัดที่สูงที่สุด

2.5.1.2. ปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเถ้าลอย

(1) อัตราส่วนซิลิกาไดออกไซด์ต่อแคลเซียมออกไซด์ (SiO_2/CaO)

ในปูนซีเมนต์ SiO_2 จะมีปริมาณน้อยในขณะที่ในเถ้าลอยจะมีมากกว่า ดังนั้นถ้าผสมเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณมากจะมีผลทำให้ SiO_2/CaO มีค่ามากเกินไปจนเป็นสาเหตุให้ $Ca(OH)_2$ ไม่เพียงพอที่จะทำปฏิกิริยากับ SiO_2 ในเถ้าลอยเป็นผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดต่ำลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางกลับกันถ้า SiO_2/CaO มีค่าน้อยจนเกินไป ปริมาณ SiO_2 ก็จะไม่เพียงพอที่จะเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิก (Pozzolanic Reaction) กำลังรับแรงอัดก็จะพัฒนาไม่มากในระยะยาว

(2) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b)

เป็นที่ทราบกันว่าคอนกรีตที่มีค่า w/b สูงจะมีกำลังรับแรงอัดต่ำ เนื่องจาก w/b ที่สูงจะทำให้เกิดช่องว่างคะปิลลารี่ (Capillary Pores) มากในเพสต์ซึ่งเป็นผลทำให้ความหนาแน่นของเพสต์ต่ำ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจึงต่ำตามไปด้วย แต่ถ้าพิจารณาถึงอัตราการพัฒนากำลังรับแรงอัดในระยะยาวแล้ว คอนกรีตที่มีค่า w/b ต่ำเนื่องจากมีปริมาณน้ำมากสำหรับการทำปฏิกิริยาต่อเนื่องในระยะยาว อย่างไรก็ดีคอนกรีตที่มีค่า w/b ต่ำก็มักจะมีกำลังรับแรงอัดในระยะยาวสูงกว่าคอนกรีตที่มีค่า w/b สูง เนื่องจากผลของ w/b ต่อการพัฒนากำลังรับแรงอัดมีไม่มากเมื่อเทียบกับผลของ w/b ต่อปริมาณช่องว่างคะปิลลารี่ในเพสต์

(3) อายุของคอนกรีต (Time)

โดยปกติแล้วในช่วง 28 วันแรก กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะมีอัตราการเพิ่มอย่างมาก หลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ สำหรับคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยมักจะให้กำลังรับแรงอัดที่น้อยกว่าคอนกรีตธรรมดาในช่วง 28 วันแรกโดยเมื่อเปรียบกันแล้วเถ้าลอยที่มี CaO สูงจะให้กำลังรับแรงอัดในระยะต้นสูงกว่าเถ้าลอยที่มี CaO ต่ำ สำหรับในระยะยาวคอนกรีตทีผสมเถ้าลอยมักจะให้กำลังรับแรงอัดที่เท่ากับหรือมากกว่าคอนกรีตธรรมดา แต่ถ้าผสมเถ้าลอยในประมาณสูงมากๆ กำลังรับแรงอัดในระยะยาวก็อาจต่ำกว่าคอนกรีตที่ไม่ใส่เถ้าลอยที่ใช้ในส่วนผสมด้วย ถึงแม้ว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยในปริมาณมากๆ อาจต่ำกว่าคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าคอนกรีตนั้นจะใช้ไม่ได้ สิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาก็คือ กำลังรับแรงอัดที่ได้นั้นเพียงพอต่อการรับแรงของโครงสร้างนั้นหรือไม่ และพิจารณาคุณสมบัติอื่นๆ ประกอบกันไปด้วย

2.5.2. ความสามารถในการเทได้

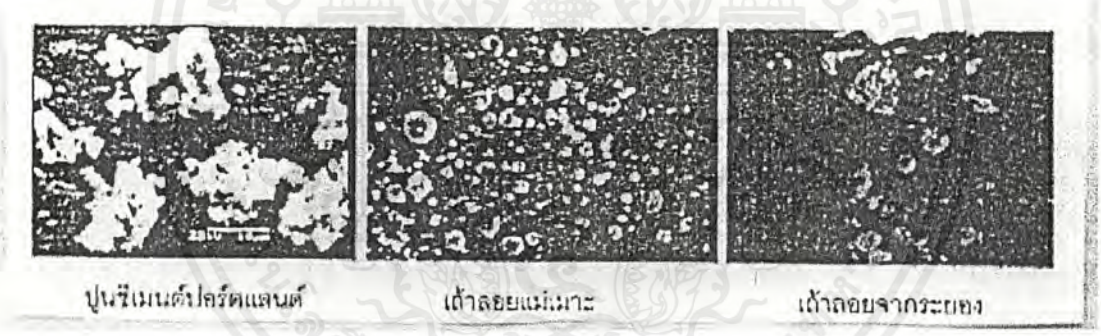
ความสามารถในการเทได้ของคอนกรีตสามารถทดสอบได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับความข้นเหลวของคอนกรีตสด ตามปกติโดยทั่วๆไปนิยมใช้การทดสอบการยุบตัว (slump) ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบที่แพร่หลายที่สุดสำหรับคอนกรีตที่ไม่แข็งหรือไม่เหลวจนเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตที่ผสมเสร็จใหม่ๆหรือที่เรียกว่าคอนกรีตสด ควรมีความข้นเหลวพอเหมาะที่จะนำไปเทเข้าแบบได้สะดวกและทำให้แน่นตัวโดยใช้พลังงานน้อยที่สุด แต่ถ้าคอนกรีตมีความเหลวเกินไปก็จะมีผลทำให้เกิดการแยกตัวในขณะลำเลียงและเทคอนกรีตอีกทั้งทำให้กำลังรับแรงของคอนกรีตต่ำลง ไม่คงทน และมีโอกาสแตกร้าวได้ง่าย

2.6.แหล่ง Fly Ash

แหล่งขี้เถ้าลอย ซึ่งเป็นส่วนผสมสำคัญสำหรับวัสดุผสม Roller Compacted Concrete สำหรับเขื่อน RCC นี้ ในประเทศไทยมีอยู่มากที่สุดแหล่งเดียวคือ ที่เหมืองถ่านหินแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ปริมาณ Fly Ash ที่ผลิตได้ในแต่ละวันในช่วงแต่ละปี มีเพียงพอสำหรับปริมาณที่ต้องการใช้ในการก่อสร้างเขื่อน RCC ซึ่งลักษณะของเถ้าลอยจากแม่เมาะเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์และเถ้าลอยจากแหล่งอื่นๆ มีลักษณะดังรูปที่ 2.2.



รูปที่ 2.2. ภาพขยาย SEM ของอนุภาคปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้าลอยจากแหล่งต่างๆ
(ธันวา ดาราฮีม, 2541)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการศึกษา

ในบทที่ 3 นี้ จะกล่าวถึงขั้นตอนและรายละเอียดของวิธีการดำเนินการศึกษา เพื่อให้ได้มา ซึ่งผลการทดลองต่าง ๆ ตลอดจนแสดงแผนผังต่าง ๆ เกี่ยวกับการทำงาน

3.1. การศึกษาข้อมูล

เป็นการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ ขี้เถ้าลอยลิกไนต์ (Fly Ash) ซีเมนต์ (Cement) วัสดุมวลรวมหยาบ (Aggregate) คอนกรีต (Concrete) และ คอนกรีตบดอัด (Roller Compacted Concrete , RCC) เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการออกแบบการทดลองในห้องปฏิบัติการ กระบวนการดำเนินการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 3.1.

3.2. การจัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์

เป็นการจัดเตรียม วัสดุและอุปกรณ์ตลอดจนการศึกษาถึงมาตรฐานข้อกำหนดของวัสดุและอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในการทดลอง

3.2.1. วัสดุ :- วัสดุที่ต้องใช้ในการเตรียมส่วนผสมประกอบไปด้วยวัสดุต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

(1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ซึ่งมีคุณสมบัติตามกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มอก.15-2514/2517 ประเภทที่ 1 และมาตรฐานอเมริกัน ASTM C150 Type 1 ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ปูนซีเมนต์ตราเพชร

(2) ขี้เถ้าลอยลิกไนต์ ได้จาก โรงไฟฟ้าพลังความร้อนแม่เมาะ จ.ลำปาง คุณสมบัติทางด้านกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 2.2. ถึง 2.5. ในส่วนวรรณกรรมปริทัศน์

(3) น้ำ ใช้น้ำประปาจากโรงปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา ของภาควิชาวิศวกรรมโยธา

(4) วัสดุมวลรวมหยาบ (หิน) การทดลองในโครงการนี้ใช้หินในการทดลอง 2 ประเภท คือ หินจากโครงการท่าด่าน (หิน Tuff) และหินจากโครงการแม่สรวย (กรวดแม่น้ำ)

(5) วัสดุมวลรวมละเอียด (ทราย) ใช้ทรายจากแหล่งขายวัสดุก่อสร้างทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

42407

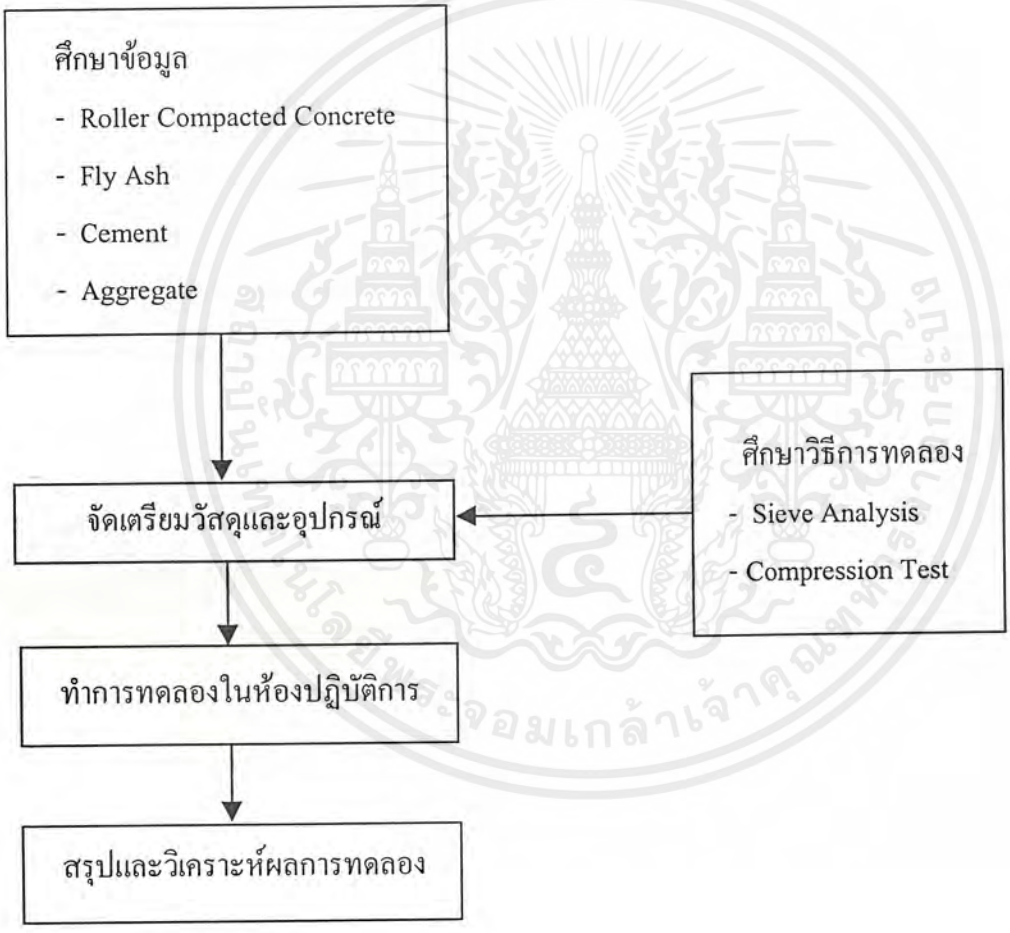
3.2.2. อุปกรณ์ :- อุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

(1) ชุดทดลอง Compaction Test สำหรับดินแบบ Standard Proctor 1 ชุด

(2) แบบหล่อ Cylinder Mold ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. (D15x30cm) จำนวน 18 ชุด

(3) โม่ผสมคอนกรีตแบบตั้ง 1 ชุด

(4) ชุดเครื่องมือทดสอบหาขนาดคละของมวลรวม



รูปที่ 3.1. แสดงขั้นตอนการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3. การเตรียมตัวอย่างทดสอบและการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

การทดลองในห้องปฏิบัติการ เป็นการทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมในการรับกำลังบดอัดผสมขี้เถ้าลอยลิกไนต์ในปริมาณสูง ในสภาพที่สอดคล้องกับสภาพการทำงานจริงของการทำงานเขื่อนคอนกรีตบดอัด และศึกษาถึงผลกระทบและความแตกต่างของการใช้วัสดุมวลรวมหยาบจากแหล่งวัสดุ 2 แห่ง เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของคอนกรีตบดอัดทั้ง 2 ส่วนผสม

3.3.1. ข้อกำหนดและข้อจำกัดของการทดลอง

(1) มาตรฐานการทดลองทั้งหมดอ้างอิงจากมาตรฐาน ASTM เป็นหลักและประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับสภาพการทดลองในบางเรื่อง

(2) การพิจารณาเลือกใช้ปริมาณซีเมนต์รวมกับขี้เถ้าลอยลิกไนต์พิจารณาจากปริมาณที่ใช้ในการทำงานจริง โดยประมาณและได้ประยุกต์ดัดแปลงให้เหมาะสมกับการทดลองโดยใช้เท่ากับ 250 kg/m^3

(3) กำหนดใช้ปริมาณขี้เถ้าลอยลิกไนต์เป็นเปอร์เซนต์ในการเข้าไปแทนที่ซีเมนต์ (%F=F/C+F) โดยเลือกใช้อัตราส่วนปริมาณขี้เถ้าลอยลิกไนต์ต่อปริมาณซีเมนต์เป็นเปอร์เซนต์ ดังนี้ คือ F:C = 70:30

เนื่องจากปัจจุบันนี้ยังไม่มีมาตรฐานที่ใช้กันโดยทั่วไปในการเตรียมตัวอย่างทดสอบสำหรับทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อหาคุณสมบัติของส่วนผสม RCC ดังนั้นในการเตรียมตัวอย่างทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของ RCC จึงยังมีข้อแตกต่างกันอยู่บ้างในแต่ละพื้นที่ ปัญหาอยู่ที่ว่าจะเตรียมตัวอย่างทดสอบสำหรับทดสอบในห้องปฏิบัติการอย่างไรให้มีสภาวะ (condition) เหมือนกับตอนที่จะทำการเท RCC ลงในสถานที่ก่อสร้างจริง ที่ซึ่งมี รถบรรทุก รถบดและสั่นสะเทือน ส่งผลกระทบต่อส่วนผสม RCC ที่จะเท

วิธีการที่ใช้กันก็คือ จัดการกับตัวอย่างทดสอบให้มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับ ที่จะใช้จริงในตอนสุดท้ายให้มากที่สุด อาจจะเป็นเพราะสมมุติฐานที่ว่า ความหนาแน่น นั้นเป็นสัดส่วนกับคุณสมบัติอื่น ๆ ที่ต้องการของส่วนผสมนั้น และที่มีผลกระทบมากที่สุดก็คือ กำลังกดอัดสำหรับส่วนผสมเดียวกันนั้น เช่น ส่วนผสมที่บดอัดด้วยพลังงานต่างกันจะทำให้ได้ความหนาแน่นของส่วนผสมนั้นต่างกัน ส่วนผลให้ได้กำลังกดอัด (Compressive Strength) ต่างกัน รวมทั้งคุณสมบัติอื่น ๆ ของ RCC ที่อาจแตกต่างกันได้อีกด้วย ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสิ่งสำคัญในการจัดเตรียมตัวอย่างทดสอบก็คือ จะต้องเตรียมตัวอย่างทดสอบให้มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับสภาพใช้งานจริงมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการที่ใช้สำหรับทดสอบ RCC ในปัจจุบันได้ถูกพัฒนามาจากการทดสอบสำหรับคอนกรีตแบบธรรมดา (conventional concrete) หรือ ในบางกรณีมาจากการทดสอบสำหรับดิน (soils) ซึ่งมีความคล้ายคลึงกันมาก แต่ก็ยังมีความแตกต่างจากการทดสอบทั่วไปของ conventional concrete หรือ soil อยู่บ้างในบางเรื่อง

การทดลองสำหรับโครงการพิเศษนี้จะมุ่งศึกษาถึงประเด็นหลัก คือ

(1) ทดลองศึกษาคุณสมบัติทางด้านกำลังของส่วนผสมคอนกรีตบดอัด เมื่อมีการใช้ขี้เถ้าลอยลิกไนต์ไปผสมแทนปูนซีเมนต์

(2) ทดลองศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบต่อคุณสมบัติทางด้านกำลังในการใช้วัสดุมวลรวมหยาบจากแหล่งวัสดุที่ต่างกัน

ในโครงการพิเศษนี้ จะใช้ขี้เถ้าลอยลิกไนต์ เป็นส่วนผสมในคอนกรีตบดอัดแทนซีเมนต์เป็นสัดส่วน F:C = 70:30 สำหรับทดสอบคุณสมบัติทางด้านกำลังอัดตามที่ได้กำหนดไว้ในข้อกำหนดของการทดลองและจะมีการใช้วัสดุมวลรวมหยาบ จากโครงการท่าด่าน ซึ่งเป็นหินภูเขาไฟ (หินทัฟ) และจากโครงการแม่สรวย ซึ่งเป็นกรวดแม่น้ำ เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรมในด้านกำลังอัด และรายละเอียดของเขื่อนบดอัดคอนกรีตแสดงในภาคผนวก ก.

เนื่องจากโครงการพิเศษนี้ ต้องการที่จะศึกษาถึงความแตกต่างของคุณสมบัติทางวิศวกรรมในด้านกำลังอัด ในการใช้วัสดุมวลรวมที่แตกต่างกัน จึงต้องทำการทดสอบหาขนาดคละของวัสดุมวลรวมหยาบ ทั้ง 2 ชนิด เพื่อที่จะได้ปรับให้ขนาดคละของวัสดุมวลรวมทั้ง 2 ชนิด มีขนาดใกล้เคียงกัน โดยใช้วิธี Sieve Analysis คุณสมบัติทางวิศวกรรมในด้านกำลังอัดได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

3.3.2. Compression Test

กำลังกดอัดเป็นคุณสมบัติทางทางวิศวกรรมอีกอย่างหนึ่งที่ต้องพิจารณาสำหรับวัสดุที่จะนำมาใช้ทำเป็นตัวเขื่อน RCC กำลังกดอัดแปรผันตามกับค่าความหนาแน่นของส่วนผสม ถ้าความหนาแน่นมีค่ามากจะส่งผลให้ได้กำลังกดอัดที่มากตามไปด้วย กำลังกดอัดของคอนกรีตธรรมดามีผลต่อคุณสมบัติอื่นๆของคอนกรีตมาก โดยมากเมื่อคอนกรีตมีกำลังกดอัดที่ดีแล้ว คุณสมบัติอื่นๆ ก็จะดีตามไปด้วย ส่วนผสมของ RCC ก็เช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงต้องมีการทดสอบ Compression Test กับส่วนผสม RCC ด้วยเพื่อจะได้ทราบว่าส่วนผสมมีกำลังกดอัดที่ดีได้ตามต้องการหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการเตรียมตัวอย่างทดสอบ Compressive Strength ของ RCC นั้นจะมีความแตกต่างจากของคอนกรีตธรรมดา คือ จะต้องมีการบดอัดตัวอย่างด้วย โดยวิธีการที่ใช้ในการบดอัด ในที่นี้จะใช้วิธีของ Standard Proctor Test เช่นเดียวกันกับตอนทดสอบ Moisture – Density Test ซึ่งให้พลังงานในการบดอัดเท่ากับ 12,400 ft-lb/ft^3 จากนั้นจึงนำตัวอย่างไปบ่มตามระยะเวลาแล้วจึงนำมากดเพื่อหาค่ากำลังอัดของแท่งตัวอย่าง

3.3.3. แผนงานและขั้นตอนที่ใช้ทำการทดสอบ

เริ่มต้นจากการศึกษาถึงวิธีการในการทดสอบหาขนาดคละของมวลรวมหยาบ (Sieve Analysis) และวิธีการทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compression Test) เพื่อที่จะได้มีความเข้าใจในกระบวนการทดสอบ หลังจากที่ได้ศึกษาแล้ว จะทำการเตรียมอุปกรณ์ที่จะต้องใช้ในการทำงานให้พร้อม การทดสอบแรกที่เริ่มทำ คือ การทดสอบหาขนาดคละของวัสดุมวลรวมทั้ง 2 ชนิด และทำการปรับสัดส่วนของขนาดคละให้ใกล้เคียงกัน

เมื่อได้ขนาดคละที่ใกล้เคียงกันแล้ว จึงทำการผสมวัสดุที่ใช้ต่างๆ คือ ปูนซีเมนต์ , ขี้เถ้าลอยลิกไนต์ , วัสดุมวลรวมหยาบ(Coarse Aggregate) คือ หิน , วัสดุมวลรวมละเอียด(Fine Aggregate) คือ ทราย โดยแบ่งเป็น 2 ชุด ตามชนิดของหินที่นำมาใช้ผสม ในแต่ละชุดจะมี 9 ตัวอย่าง แบ่งตามระยะเวลาการบ่ม คือ บ่ม 7 วัน 3 ตัวอย่าง , บ่ม 14 วัน 3 ตัวอย่าง , บ่ม 28 วัน 3 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 18 ตัวอย่าง

หลังจากได้ส่วนผสมเรียบร้อยแล้ว จึงทำการบดอัดตามวิธี Standard Proctor Test จะทำการถอดแบบได้หลังจากทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วนำไปบ่มจนถึงระยะเวลาที่กำหนดต่าง ๆ คือ 7 วัน , 14 วัน และ 28 วัน แล้วจึงนำขึ้นจากบ่อบ่ม มาทำการชั่งน้ำหนัก เพื่อหาความหนาแน่นก่อน จากนั้นจึงทำการกดตัวอย่างเพื่อหาค่ากำลังกดอัดแล้วบันทึกผลไว้จนครบทุกตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการศึกษาและวิเคราะห์

ในบทที่ 4 จะแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของ RCC โดยจะให้เป็นคุณสมบัติด้านกำลังอัด และคุณสมบัติของมวลรวม รวมทั้งวิเคราะห์ผลการทดสอบและอธิบายถึงเหตุผลต่างๆที่ได้จากการทดสอบ

4.1. คุณสมบัติของมวลรวม

โครงงานพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาถึงคุณสมบัติของมวลรวม 2 ชนิด ที่มีความแตกต่างกันทางด้านรูปร่างและลักษณะผิวของมวลรวม ได้แก่ หิน Tuff ซึ่งเป็นหินภูเขาไฟ (เหลี่ยม) ซึ่งได้จากแหล่งหินภายในสถานที่ก่อสร้างโครงการท่าด่าน กับกรวดแม่น้ำ(กลม) ซึ่งได้จากแหล่งหินภายในสถานที่ก่อสร้างโครงการแม่สรวย จ.เชียงราย

ตารางที่ 4.1. แสดงการวิเคราะห์ขนาดคละของหิน Tuff ครั้งที่ 1 น้ำหนักหินทั้งหมด 5.05 กิโลกรัม

ตะแกรงเบอร์	น้ำหนักหินที่ค้าง (kg)	%ที่ค้าง	%ที่ค้างสะสม
1"	0.145	2.870	2.870
¾"	1.310	25.940	28.810
½"	1.305	25.840	54.650
3/8"	1.085	21.485	76.135
No.4	0.855	16.930	93.065
No.8	0.090	1.782	94.847
ถาดรอง	0.260	5.148	100.000
น้ำหนักรวม	5.05	100.000	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2. แสดงการวิเคราะห์ขนาดคละของหิน Tuff ครั้งที่ 2 น้ำหนักหินทั้งหมด 5.035 กิโลกรัม

ตะแกรงเบอร์	น้ำหนักหินที่ค้าง (kg)	%ที่ค้าง	%ที่ค้างสะสม
1"	0.130	2.580	2.580
¾"	1.240	24.627	27.207
½"	1.575	31.281	58.488
3/8"	1.055	20.953	79.441
No.4	0.930	18.470	97.911
No.8	0.090	1.787	99.698
ถาดรอง	0.015	0.298	100.000
น้ำหนักรวม	5.035	100.000	

ตารางที่ 4.3. แสดงการวิเคราะห์ขนาดคละของหิน Tuff ครั้งที่ 3 น้ำหนักหินทั้งหมด 5.085 กิโลกรัม

ตะแกรงเบอร์	น้ำหนักหินที่ค้าง (kg)	%ที่ค้าง	%ที่ค้างสะสม
1"	0.065	1.278	1.278
¾"	0.900	17.700	18.978
½"	1.815	35.690	54.668
3/8"	1.365	26.843	81.511
No.4	0.875	17.207	98.718
No.8	0.060	1.180	99.898
ถาดรอง	0.005	0.098	100.000
น้ำหนักรวม	5.085	100	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4. แสดงการวิเคราะห์ขนาดคละของกรวดแม่น้ำ ครั้งที่ 1 น้ำหนักหินทั้งหมด 5.070 กิโลกรัม

ตะแกรงเบอร์	น้ำหนักหินที่ค้าง (kg)	%ที่ค้าง	%ที่ค้างสะสม
1"	0.185	3.649	3.649
¾"	0.345	6.800	10.449
½"	1.345	26.528	36.977
3/8"	1.140	22.485	59.435
No.4	1.740	34.319	93.754
No.8	0.300	5.920	99.674
ถาดรอง	0.015	0.290	100.000
น้ำหนักรวม	5.070	100.000	

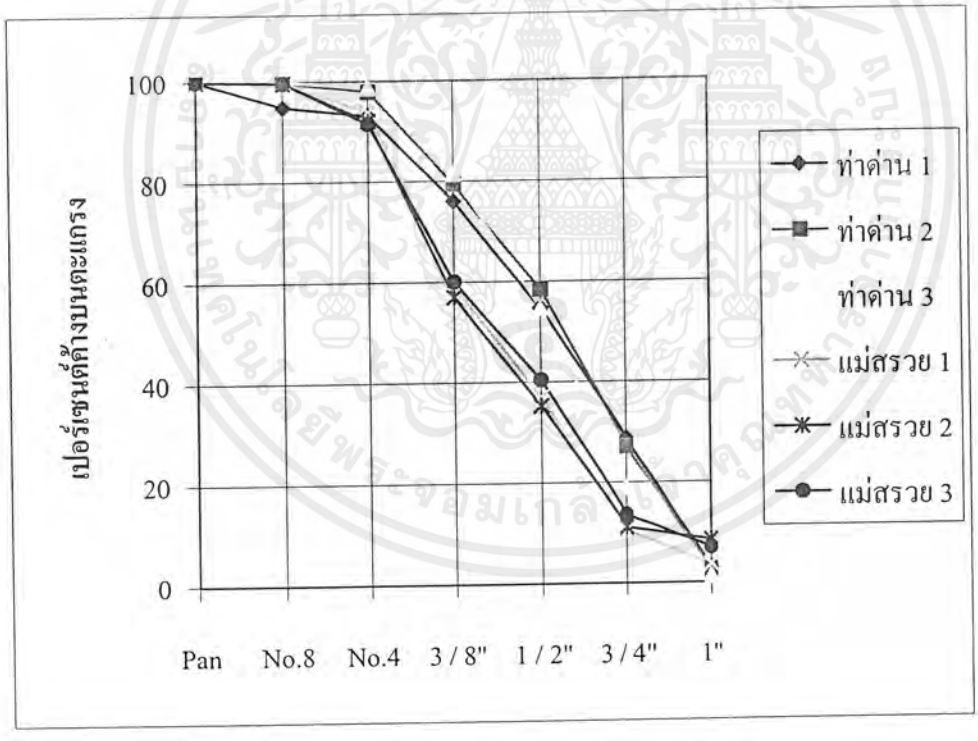
ตารางที่ 4.5. แสดงการวิเคราะห์ขนาดคละของกรวดแม่น้ำ ครั้งที่ 2 น้ำหนักหินทั้งหมด 5.100 กิโลกรัม

ตะแกรงเบอร์	น้ำหนักหินที่ค้าง (kg)	%ที่ค้าง	%ที่ค้างสะสม
1"	0.430	8.430	8.430
¾"	0.135	2.650	11.080
½"	1.235	24.215	35.295
3/8"	1.105	21.666	56.961
No.4	1.790	35.098	92.059
No.8	0.385	7.549	99.608
ถาดรอง	0.020	0.392	100.000
น้ำหนักรวม	5.100	100.000	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6. แสดงการวิเคราะห์ขนาดคละของกรวดแม่น้ำ ครั้งที่ 3 น้ำหนักหินทั้งหมด 5.085 กิโลกรัม

ตะแกรงเบอร์	น้ำหนักหินที่ค้าง (kg)	%ที่ค้าง	%ที่ค้างสะสม
1"	0.355	6.980	6.980
¾"	0.355	6.580	13.560
½"	1.365	26.843	40.403
3/8"	1.000	19.665	60.068
No.4	1.595	31.366	91.434
No.8	0.415	8.161	99.595
ถาดรอง	0.020	0.393	100.000
น้ำหนักรวม	5.085	100.000	



รูปที่ 4.1. แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบขนาดคละของหินทั้งสองชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบ Gradation ของมวลรวมทั้งสองชนิด จะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันในขนาดคละจึงต้องทำการปรับขนาดคละให้เท่ากัน เพื่อที่จะได้นำไปเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านกำลังของ RCC โดยทำการปรับตามตารางที่ 4.7.

ตารางที่ 4.7. ขนาดคละของมวลรวมที่ทำการปรับค่า

ตะแกรง	ช่วงเปอร์เซนต์ค้างที่ใช้ได้	เปอร์เซนต์ที่ใช้
1"	1% - 4%	2%
¾"	18% - 26%	23%
½"	26% - 36%	31%
3/8"	21% - 27%	22%
No.4	17% - 35%	22%
No.8	1% - 2%	-

4.2 คุณสมบัติทางด้านกำลังอัดของ RCC

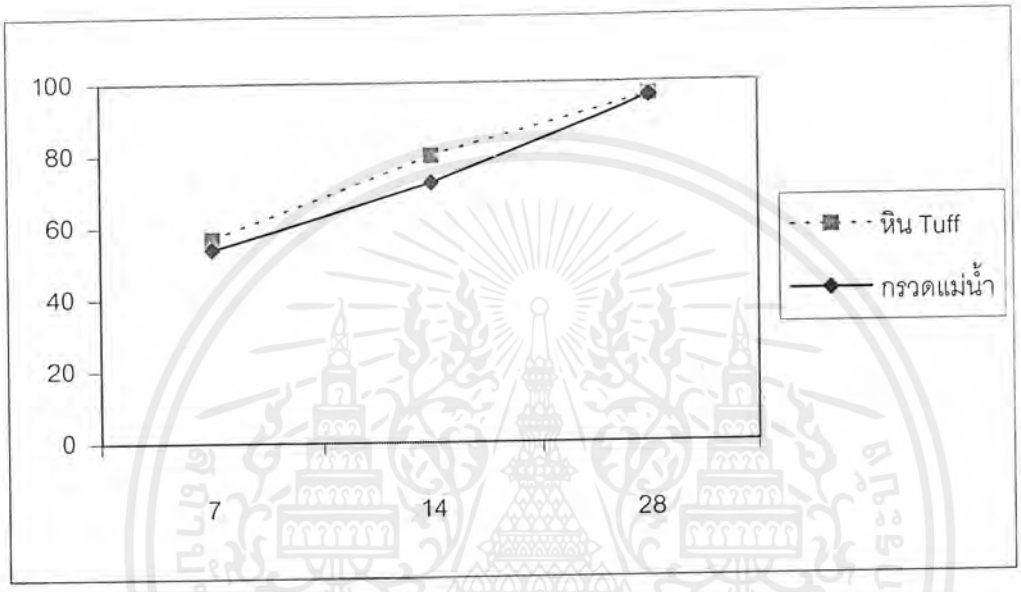
เนื่องจากโครงงานพิเศษนี้ ได้เลือกใช้อัตราส่วนปริมาณเถ้าลอยแทนซีเมนต์ที่อัตราส่วนผสม F:C 70:30 ซึ่งจากการศึกษาของ ธีรวัฒน์ นิมนภาโรจน์ และ ธนบดี นุชนารถ (2542) ได้แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนผสมนี้ เหมาะสมที่จะใช้ทำและทำการทดสอบตัวอย่างที่ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน ซึ่งผลของการทดสอบ Compression Test ได้แสดงให้เห็นดังตารางที่ 4.8. และรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.

ตารางที่ 4.8. แสดงค่ากำลังอัดของส่วนผสมระหว่าง หิน Tuff กับ กรวดแม่น้ำที่ระยะเวลาต่างๆ

ระยะเวลาทดสอบ(วัน)	ค่ากำลังอัด (ksc)	
	หิน Tuff	กรวดแม่น้ำ
7	57.06	53.948
14	79.8	72.245
28	96.577	96.011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลที่ได้ จะเห็นว่าค่ากำลังอัดของ RCC ที่ใช้ หิน Tuff เป็นส่วนผสมจะสูงกว่า ค่ากำลังอัดของ RCC ที่ใช้กรวดแม่น้ำเป็นส่วนผสม ที่ 7 วัน หิน Tuff ได้ 57 ksc กรวดแม่น้ำได้ 53.948 ksc ที่ 14 วันหินTuff ได้ 79.8 ksc กรวดแม่น้ำได้ 72.245 ที่ 28วัน หินTuff ได้ 96.577 ksc กรวดแม่น้ำได้ 96.011 ksc



รูปที่ 4.2 .แสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังอัดที่ระยะเวลาต่างๆ ของหิน Tuff กับกรวดแม่น้ำ

พิจารณาได้จากการเปรียบเทียบส่วนผสมของ RCC ทั้ง 2 ชนิด ส่วนผสมที่ใช้จะถูกควบคุมให้เหมือนกันและเท่ากันหมด ยกเว้นมวลรวมหยาบ (หิน) ที่แตกต่างกันในด้านขนาดคละ และรูปร่าง แต่จากการปรับขนาดคละให้เท่ากัน จึงเหลือแต่ตัวแปรเพียงอย่างเดียวที่มีผลต่อกำลังอัด ก็คือรูปร่างหิน

หิน Tuff จะมีผิวที่ขรุขระและมีเหลี่ยม ส่วนกรวดแม่น้ำจะมีผิวที่เกลี้ยงและรูปร่างค่อนข้างที่จะกลม มน จึงทำให้ Bonding ระหว่าง ซีเมนต์เพสต์กับหิน Tuff ดีกว่า Bonding ระหว่างซีเมนต์เพสต์กับกรวดแม่น้ำ ด้วยสาเหตุนี้จึงทำให้ค่ากำลังอัดของ RCC ที่ผสมหิน Tuff มีค่ามากกว่า RCC ที่ผสมกรวดแม่น้ำนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3. การเปรียบเทียบหน่วยน้ำหนัก (Unit Weight)

จากข้อกำหนดของ RCC เขื่อนท่าด่าน ได้กำหนดไว้ว่า ความหนาแน่น (Unit Weight) จะต้องไม่น้อยกว่า 2300 กก./ลบ.ม. ซึ่งจากผลการทดสอบที่ได้จะได้หน่วยน้ำหนักของ RCC ที่ใช้หิน Tuff ผสม จะมีหน่วยน้ำหนักมากที่สุด 2360.3 กก./ ลบ.ซม. น้อยที่สุด 2328.3 กก./ ลบ.ซม. ส่วน RCC ที่ใช้กรวดแม่น้ำผสม จะมีหน่วยน้ำหนักมากที่สุด 2353.77 กก./ ลบ.ซม.น้อยที่สุด 2301.89 กก./ ลบ.ซม. ซึ่งจากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าส่วนผสมทั้ง 2 สามารถนำไปใช้งานได้

4.4. การเปรียบเทียบด้านกำลังอัด (Compression Strength)

จากข้อกำหนดของ RCC เขื่อนท่าด่านได้กำหนด ค่ากำลังอัด (Compression Strength) ที่ 91 วัน ต้องไม่ต่ำกว่า 100 กก./ ลบ.ม. แต่การทดสอบในโครงงานพิเศษนี้มีระยะเวลาสูงสุดเพียง 28 วัน ซึ่ง ค่ากำลังอัดของ RCC ที่ใช้หิน Tuff ผสมที่ 28 วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 96.577 กก./ ลบ.ซม. และค่ากำลังอัดของ RCC ที่ใช้กรวดแม่น้ำผสม ที่ 28 วัน ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 96.011 กก./ ลบ.ซม.

สำหรับกรณีนี้การทดสอบที่ระยะเวลา 91 วัน ไม่ได้ทำการทดสอบ แต่ดูจากผลที่ 28 วันจะได้ค่ากำลังอัดที่ใกล้ 100 กก./ ลบ.ซม. มาก ซึ่งถ้าดูแนวโน้มแล้วจะสามารถพัฒนากำลังอัดให้มากกว่า 100 กก./ ลบ.ซม. ได้ในที่สุด รายละเอียดของการทดสอบแสดงในภาคผนวก ข

4.5. ส่วนผสมที่ใช้ใน RCC

ในการที่จะออกแบบส่วนผสมของ RCC นั้น จะต้องใช้ประสบการณ์ในการทำงานเป็นอย่างมากเพราะยังไม่มีกฎเกณฑ์ที่วางไว้แน่นอน ในโครงงานพิเศษนี้จึงใช้ส่วนผสมที่ได้จากการศึกษาของ ธีรวัฒน์ นิมนภาโรจน์ และ ธนบดี นุชนารถ (2542) ดังตารางที่ 4.9.

ตารางที่ 4.9 แสดงถึงส่วนผสมของ RCC ที่ใช้ในโครงงานพิเศษ

ส่วนผสม	ปริมาณที่ใช้
ปูนซีเมนต์+เถ้าลอย (kg/m^3)	250
เถ้าลอย (kg/m^3)	175
ปูนซีเมนต์ (kg/m^3)	75
มวลรวมละเอียด(ทราย) (kg/m^3)	875
มวลรวมหยาบ(หิน) (kg/m^3)	1024
น้ำ (ลิตร)	143

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

ในบทที่ 5 จะกล่าวถึงการสรุปผลที่ได้จากการศึกษาและข้อเสนอแนะในส่วนที่ควรจะเพิ่มเติม เพื่อที่จะทำให้ผลการศึกษามีความสมบูรณ์ขึ้น

5.1. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาและผลการทดสอบสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

(1) จากการศึกษาด้านกายภาพจะพบว่า เมื่อใช้ขี้เถ้าลอยลิกไนต์เข้าไปผสมแทนที่ซีเมนต์ประมาณ 2400 กก./ลบ.ม. ส่วนหน่วยน้ำหนักของ RCC จะประมาณ 2300 กก./ลบ.ม.

(2) ความต้องการน้ำในส่วนผสมลดลง เนื่องจากปริมาณซีเมนต์ที่ใช้น้อยลง

(3) จากผลการศึกษาด้านกำลัง จะพบว่า รูปร่างและลักษณะผิวของมวลรวมจะมีผลต่อกำลังอัดของ RCC โดยมวลรวมที่เป็นกรวดแม่น้ำ ซึ่งมีลักษณะกลมมน จะมีกำลังอัดที่ต่ำกว่า มวลรวมที่เป็นหิน Tuff ซึ่งมีลักษณะเป็นเหลี่ยมคม

5.2. ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาที่ผ่านมา ผู้จัดทำได้มีข้อเสนอแนะที่อาจทำให้ผลการศึกษามีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

(1) ค่ากำลังอัดของส่วนผสม ในโครงงานพิเศษนี้ได้ทดสอบที่ระยะเวลามากที่สุด 28 วัน ซึ่งยังไม่ให้ความกระจ่างมากนัก ควรจะมีการศึกษาและทดสอบหาค่ากำลังอัดที่แท้จริงที่ 91 วันต่อไป

(2) ควรที่จะใช้ Aggregate ในการเปรียบเทียบให้มากกว่าเดิม

(3) ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับ ปฏิกิริยา Pozzolanic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

การใช้งานเถ้าลอยลิกไนต์แม่เมาะเป็นวัสดุทดแทนซีเมนต์ในงานคอนกรีต

เมื่อใช้เถ้าลอยลิกไนต์รวมกับซีเมนต์เป็นสารเชื่อมประสาน(binder)ในงานคอนกรีต เนื่องจากเถ้าลอยลิกไนต์แม่เมาะมีคุณสมบัติเป็นสารPozzolanซึ่งส่วนประกอบหลักเป็นสารประกอบของsilicaและaluminaเมื่อสารประกอบดังกล่าวอยู่ในสภาพที่มีความชื้นก็จะทำปฏิกิริยาpozzolanicกับสาร$Ca(OH)_2$ซึ่งเป็นสารเคมีที่เหลือจากปฏิกิริยาhydrationระหว่างน้ำกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทำให้เกิดสารเชื่อมประสานที่แข็งตัวเช่นCalcium Silicate HydrateหรือCalcium Aluminate Hydrateเพิ่มขึ้นจากปกติและส่งผลให้คอนกรีตที่มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสมทดแทนซีเมนต์เหลือปริมาณ$Ca(OH)_2$อิสระในpore solution น้อยลงและมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นในระยะยาวในปัจจุบันกฟผ.ได้ทดลองนำเถ้าลอยลิกไนต์ไปใช้เป็นวัสดุผสมทดแทนซีเมนต์ในงานคอนกรีตไปแล้วหลายงานซึ่งอาจจำแนกงานเหล่านั้นออกได้เป็น 4 ลักษณะใหญ่ๆคือ

1. งานคอนกรีตบดอัด(Roller Compacted Concrete,RCC)

คอนกรีตบดอัดเป็นคอนกรีตที่มีเนื้อคอนกรีตค่อนข้างกระด้างและมีคุณสมบัติการยุบตัวเป็นศูนย์(No-Slump Concrete)ดังนั้นจึงไม่สามารถทดสอบการยุบตัวได้ด้วยSlump Coneเช่นคอนกรีตปกติทั่วไปคอนกรีตชนิดนี้จะผสมน้ำในปริมาณต่ำเพียงเพื่อให้ได้เนื้อคอนกรีตสดอยู่ในสภาพที่เหมาะสมจะทำงานบดอัดได้สะดวกด้วยรถบดอัดที่ใช้ความสั่นสะเทือน(Vibration Roller)ลักษณะที่ปรากฏของคอนกรีตบดอัดจะมีคล้ายคลึงกับหินคลุกผสมน้ำหมาดๆ ซึ่งมักใช้กันตามปกติในการบดอัดชั้นพื้นทาง (base course) ของถนนลาดยาง แต่อย่างไรก็ตามคอนกรีตบดอัดจะมีคุณสมบัติเชื่อมแน่น(Cohesive)อยู่มากกว่าหินคลุกดังกล่าวเนื้อคอนกรีตสดที่เหมาะสมสำหรับงานบดอัดจะต้องไม่เปียกชื้นจนเกิดรอยร่องล้อจากการบดอัดและต้องไม่แห้งจนเกิดการแยกตัว(segregation)ของหินย่อยได้ง่ายซึ่งจะทำให้การบดอัดให้เนื้อคอนกรีตแน่นสม่ำเสมอกระทำได้ยาก

การวัดความสามารถในการทำงานของคอนกรีตชนิดนี้จะใช้อุปกรณ์ที่ออกแบบขึ้นเป็นพิเศษและใช้วิธีการทดสอบที่เรียกว่าการทดสอบ Loaded VeBe time หรือ VC time ซึ่งเป็นการทดสอบหาปูนทราย(cement mortar)ในคอนกรีตจะต้องใช้เพื่อแทรกตัวเข้าไปเติมเต็มช่องว่างระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หินย่อยหลังจากให้ความสั่นสะเทือนแก่ตัวอย่างคอนกรีตสดในการทดลองจะตักคอนกรีตสดโรยลงไปจนเต็มภาชนะทรงกระบอกที่มีขนาดจำกัดประมาณ 9 ลิตรและถูกยึดตรึงไว้บนโต๊ะที่สามารถให้ความสั่นสะเทือนได้ประมาณ3000รอบ/นาทีโดยมีระยะแกว่งสูงสุดในแนวดิ่ง(amplitude)ประมาณ 0.5 มม. ปาดผิวหน้าคอนกรีตให้เรียบแล้วจึงวางแผ่นพลาสติกใสปิดทับเต็มผิวหน้าคอนกรีตสด ต่อไปวางก้อนน้ำหนักคงตัว(ซึ่งอาจมีขนาดแตกต่างกันบ้างระหว่างมาตรฐานต่างๆ)กดทับเหนือแผ่นพลาสติกอีกชั้นหนึ่ง

เมื่อเริ่มให้ความสั่นสะเทือนจะเริ่มจับเวลาไปพร้อมกันในการทดลองจะสังเกตผลของความสั่นสะเทือนและบันทึกค่าเวลา Loaded VeBe time ซึ่งเป็นเวลาที่เห็นน้ำปูนล้นเอ่อขึ้นมาเต็มผิวหน้าแผ่นพลาสติกใสและลักษณะที่ปรากฏดังกล่าวเป็นสิ่งบ่งชี้ว่าปูนทรายได้แทรกเข้าไปเต็มช่องว่างระหว่างหินย่อยแล้วด้วยพลังการสั่นสะเทือนค่า Loaded VeBe time ที่เหมาะสมของเนื้อคอนกรีตสดซึ่งสามารถทำงานบดอัดในสนามได้สะดวกจะอยู่ระหว่าง 15-25 วินาทีและอุปกรณ์หลักที่เหมาะสมจะใช้กับงานบดอัดคอนกรีตทั่วไป คือรถบดล้อเหล็กเรียบชนิดที่มีความสั่นสะเทือน ขนาดหนักประมาณ 10 ตัน

1.1.งานก่อสร้างเขื่อนคอนกรีตบดอัดRCCที่ปากมูล(3)

เนื่องจากเขื่อนคอนกรีตบดอัดมักต้องการความแข็งแรงที่ไม่สูงมากโดยเฉพาะในระยะก่อสร้างแต่ควรต้องมีความทึบน้ำสูงพอสมควร การออกแบบส่วนผสมจึงมุ่งที่จะหาส่วนผสมซึ่งใช้ปริมาณสารเชื่อมประสานเพียงเท่าที่จำเป็นสำหรับอุดช่องว่าง(void)ระหว่างมวลรวมและใช้ซีเมนต์ในปริมาณที่ค่อนข้างต่ำเพื่อลดปัญหาการสะสมความร้อนขึ้นในมวลของคอนกรีตแต่ปริมาณPasteต้องมากเพียงพอที่จะทำให้สามารถบดอัดได้ง่ายได้คอนกรีตที่มีความทึบน้ำและมีความแข็งแรงไม่ต่ำกว่าข้อกำหนด

กฟผ.ได้นำเทคโนโลยีคอนกรีตบดอัดไปใช้ในงานก่อสร้างเป็นครั้งแรกที่โครงการก่อสร้างเขื่อนปากมูลซึ่งเป็นเขื่อนที่ใช้เทคโนโลยีคอนกรีตบดอัดเป็นลำดับแรกในเอเชียอาคเนย์และเป็นลำดับที่ 107 ในโลกงานคอนกรีตบดอัดในโครงการนี้มีปริมาณ 52000 ลบ.ม. ซึ่งใช้เถ้าลอยลิกไนต์แม่เมาะประมาณ 6450 ตันคุณสมบัติของคอนกรีตบดอัดตามข้อกำหนดในงานนี้คือ

1) หน่วยน้ำหนักโดยเฉลี่ยของคอนกรีตหลังการบดอัดต้องไม่ต่ำกว่า 2300 กก. / ลบ.ม.
2) กำลังอัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีตบดอัดทรงกระบอกที่อายุ 28 วันและ 91วันต้องไม่ต่ำกว่า 61 กก. / ตร.ซม.และ102 กก. / ตร.ซม.ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) สัมประสิทธิ์ความซาบซึมได้ของน้ำ (Coefficient of permeability) ซึ่งไหลผ่านคอนกรีตบดอัดในสนามต้องต่ำกว่า $1x10^{-5}$ ซม. / วินาที

ในช่วงเดือน มีนาคม-เมษายน พ.ศ.2536 หน่วยงานก่อสร้างเขื่อนปากมูลได้ทดลองปรับเปลี่ยนส่วนผสมต่างๆของคอนกรีตบดอัดจำนวน 21 การทดลองจนได้ส่วนผสมที่พอใจ คือ ส่วนผสมที่สามารถทำงานบดอัดได้ง่ายได้ความหนาแน่นของคอนกรีตและกำลังอัดที่อายุต่างๆสูงกว่าเกณฑ์ที่ต้องการและใช้ปริมาณการเชื่อมประสานโดยเฉพาะซีเมนต์ก่อนข้างต่ำในงานนี้ได้เลือกใช้สารเชื่อมประสานซึ่งเป็นซีเมนต์ 58 กก./ ลบ.ม.ของคอนกรีตและใช้เถ้าลอย 124 กก/ลบ.ม.ของคอนกรีตนับได้ว่าในงานเขื่อน RCC ครั้งนี้ได้ใช้เถ้าลอยทดแทนซีเมนต์ในปริมาณที่สูงมากถึงร้อยละ 68โดยน้ำหนักดังมีรายละเอียดแสดงไว้ในตารางที่ 2

ก่อนเริ่มงานก่อสร้างจริงได้ทดลองการบดอัดคอนกรีตด้วยรถบดล้อเหล็กในแปลงทดลองที่โครงการก่อสร้างเขื่อนปากมูลเพื่อทดสอบหาจำนวนเที่ยวการบดอัดที่เหมาะสมเพื่อกำหนดช่วงของค่า Loaded VeBe timeที่เหมาะจะใช้กับการบดอัดและเพื่อกำหนดเกณฑ์ขั้นต่ำที่ยอมรับได้สำหรับค่าความหนาแน่นของเนื้อคอนกรีตสดที่อ่านได้จากเครื่องตรวจวัด nuclear densiometer หลังจากการบดอัดในสนาม

ในงานก่อสร้างจริงได้พยายามควบคุมค่า Load VeBe Time ไว้ในช่วง 17-19 วินาที ซึ่งเป็นค่าที่ทำงานบดอัดได้ผลดี ในการบดอัดได้ใช้รถบดล้อเหล็กขนาด 10 ตัน บดอัดคอนกรีตสดซึ่งมีความหนาเริ่มต้นชั้นละ 35 ซม. การบดอัดเที่ยวแรกกระทำโดยไม่ใช้ความสั่นสะเทือน แต่ได้ใช้การสั่นสะเทือนเข้าช่วยในการบดอัด 5 เที่ยวถัดไป ในงานนี้ได้ควบคุมการบดอัดให้เสร็จสิ้นภายในเวลา 1.5 ชม. นับจากเวลาที่เริ่มผสมน้ำเข้ากับสารเชื่อมประสาน

ผลการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตบดอัดที่เตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการสำหรับส่วนผสมที่ได้เลือกนำไปใช้ก่อสร้างเขื่อน RCC ที่ปากมูล จะได้กำลังอัดที่อายุ 91 วัน และ 182 วัน สูงถึง 169 กก./ ตร.ซม. และ 196 กก./ ตร.ซม. ตามลำดับ นอกจากนั้นกำลังอัดที่อายุ 91 วันของตัวอย่างคอนกรีตบดอัดซึ่งเจาะเก็บจากตัวเขื่อน ล้วนสูงกว่า150 กก./ ตร.ซม. ซึ่งสูงกว่ากำลังอัดที่กำหนดประมาณ 50 % ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การรั่วซึมของน้ำซึ่งได้จากการทดสอบในหลุมเจาะในตัวเขื่อน RCC และความหนาแน่นของแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่เก็บได้ล้วนดีกว่าข้อกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการตรวจวัดอุณหภูมิที่สะสมในตัวเขื่อนสูงสุดที่ตรวจพบคือ 46 °C ซึ่งอุณหภูมินี้สูงกว่าอุณหภูมิต่อสุดของสภาพแวดล้อมเพียง 21 °C และความแตกต่างสูงสุดของอุณหภูมิระหว่างส่วนในของตัวเขื่อนกับส่วนใกล้ผิวนอกของตัวเขื่อนแตกต่างกันเพียง 8 °C ภายใต้สภาพแวดล้อมเช่นนี้ตัวเขื่อนคอนกรีตบดอัดจึงปลอดภัยจากการแตกร้าวอันสืบเนื่องมาจากผลความแตกต่างของอุณหภูมิดังกล่าว การก่อสร้างเขื่อนปากมูลเฉพาะในส่วนที่เป็นงานคอนกรีตบดอัด 52,000 ลบ.ม. สามารถกระทำให้เสร็จลงได้ในเวลาเพียง 4 เดือน โดยการทำงานส่วนใหญ่จะดำเนินต่อเนื่องกันตลอด 24 ชั่วโมง และใช้เครื่องจักรบดอัดหลักเป็นเพียงรพบดล้อเหล็ก 1 คันขนาด 10 ตันซึ่งใช้ความสั่นสะเทือนได้

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเขื่อนคอนกรีตบดอัด (Roller Compacted Concrete Dam)

1. เขื่อนชนิดใหม่

คอนกรีตบดอัด (Roller Compacted Concrete – RCC Dam) คือวัสดุก่อสร้างและวิธีการก่อสร้างชนิดใหม่ที่นำเอาคอนกรีตมาทำการก่อสร้างแบบดินโดยมีการบดอัด อย่างไรก็ตามคอนกรีตบดอัดมีความแตกต่างจากดินซีเมนต์ (Soil Cement) เนื่องจากคอนกรีตบดอัดใช้วัสดุผสมที่มีขนาดใหญ่กว่า 19 มม. จึงมีความแข็งแรงสูงกว่าดินซีเมนต์มาก การก่อสร้างโดยใช้คอนกรีตบดอัดเป็นการคิดค้นของวิศวกรออกแบบเขื่อน และวิศวกรธรณีเทคนิค ที่นำวิธีการก่อสร้างเขื่อนดินมาใช้ในการก่อสร้างเขื่อนคอนกรีตทำให้ได้เขื่อนที่มีค่าก่อสร้างต่ำ ก่อสร้างได้รวดเร็ว และมีความแข็งแรงปลอดภัยเช่นเดียวกันกับเขื่อนคอนกรีต จึงทำให้เป็นที่ยอมรับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2523 เป็นต้นมา

2. วิศวกรรมงานดินและคอนกรีต

การผสมผสานวิศวกรรมงานดิน กับวิศวกรรมงานคอนกรีตเข้าด้วยกัน ทำให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีของคอนกรีตจากเหลวมาเป็นแห้งจนไม่มีค่ายุบตัว(No Slump)ทำให้สามารถบดทับได้เหมือนบดทับดิน

ในงานวิศวกรรมงานดินนั้น การออกแบบส่วนผสมจะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของความชื้นกับความหนาแน่น(Moisture-Density) ความแข็งแรง จะขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture) กับการบดอัด ถ้าการบดอัดกระทำ ณ ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม ก็จะทำให้ความหนาแน่นขณะแห้ง(Dry Density) มีค่าสูง ซึ่งจะทำให้ Compressive Strength at 7 days สูงขึ้นด้วย ตามหลักการ Zero Air Void ของวิศวกรรมงานดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนวิศวกรรมงานคอนกรีตนั้น ความแข็งแรง (Compressive Strength) จะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ (Water-Cement Ratio) คือ เมื่อซีเมนต์มีปริมาณมากจะทำให้ความสามารถในการรับกำลังมีค่าสูง และโดยเฉพาะที่ปริมาณซีเมนต์คงที่ ส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้น้ำจะน้อยลง ทำให้ความแข็งแรงสูงขึ้น

การผสมผสานหลักการด้านวิศวกรรมงานดินและงานคอนกรีตเข้าด้วยกันโดยวิธี No-Slump-Zero-Air-Void-Concrete คือ พัฒนาคอนกรีตใช้ปริมาณน้ำน้อยแล้วบดทับจนไม่มีช่องว่างระหว่างเม็ดวัสดุ จะทำให้ได้คอนกรีตบดอัดที่มี Compressive Strength สูง โดยจากการทดลองในห้องปฏิบัติการในประเทศญี่ปุ่น พบว่า RCC ที่ใช้น้ำในการผสมน้อยในการผสมน้อยในปริมาณประมาณ 90 กก. ต่อ ลบ.ม. จะทำให้ได้ RCC ที่มี Compressive Strength สูงที่สุด

3. วัสดุที่ใช้

วัสดุที่ใช้ในคอนกรีตบดอัดประกอบด้วย

- Cementitious Materials (สารซีเมนต์เชื่อมประสาน) ได้แก่ Portland Cement และPozzolan ได้แก่ ขี้เถ้าลอย (Fly Ash)
- วัสดุผสม (Aggregate) ได้แก่ หินและทราย
- น้ำ
- สารผสมเพิ่ม (Admixtures)

เนื่องจากตัวเขื่อนเป็นอาคารที่มีมวลขนาดใหญ่ ดังนั้นเขื่อนคอนกรีตขนาดใหญ่จึงมีความร้อนจากการก่อตัว (Heat of Hydration) ของสารซีเมนต์ก่อประสานสูง ดังนั้นในการก่อสร้างเขื่อนจึงใช้ Portland Cement ที่มีความร้อนจากการก่อตัวต่ำ เช่น Portland – Pozzolan Cement และ Portland Blast Furnace Slag Cement ซึ่งจะมีการก่อตัวช้า แต่อย่างไรก็ตาม ก็จะให้ Strength ที่ 90 วัน สูงกว่า Portland Cement ธรรมดา

Pozzolans ที่จะใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตบดนั้น จะต้องเป็นวัสดุที่ได้มาตรฐาน เช่น ASTM C618 และจะต้องมีราคาต่ำและมีปริมาณมากเพียงพอ เช่น ขี้เถ้าลอย (Fly Ash) ซึ่งควรเป็นชนิดที่มีปริมาณ Lime ต่ำ (Low Lime Class F Fly Ash) อย่างไรก็ตามก็ได้มีการใช้ High Lime Class C Fly Ash ในการก่อสร้างอาคารระบายน้ำล้น ของเขื่อน Stacy มาแล้ว นอกจากนั้นยังมีการใช้ Ground Blast Furnace Slag ที่เรียกว่า Slagment และดินเหนียวชนิด Calcined (Calcined Clay) เป็น Pozzolan ด้วย ขนาดและการกระจายขนาด (Gradation) ของวัสดุผสมที่ใช้กับคอนกรีตบดอัดนั้น จะมีผลมากต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของคอนกรีตบดอัด ทั้งหินและทรายจะมีขนาดเล็กกว่าขนาดที่ใช้ในงานคอนกรีตทั่วไป เพื่อป้องกันการแยกตัวของหิน (Segregation) ไปอยู่ส่วนล่างของชั้นคอนกรีตบดอัดในแต่ละชั้น วัสดุผสมที่มีคุณภาพดีก็จะทำให้คอนกรีตบดอัดมี Strength สูงด้วย น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตบดอัดต้องสะอาด ไม่มีกรด ด่าง หรือสารอินทรีย์มากเกินไปจนมีผลต่อความแข็งแรง โดยทั่วไปแล้วจะใช้น้ำประมาณ 80-119 กก. / ลบ.ม.เพื่อให้มีการยุบตัวน้อยหรือไม่ยุบตัว (No Slump) สารผสมเพิ่มนั้น จะมีผลทำให้สามารถใช้น้ำในส่วนผสมน้อยลงซึ่งจะมีผลทำให้คอนกรีตบดอัด มีกำลังแข็งแรงมากขึ้นเช่นเดียวกันกับคอนกรีตทั่วไป

4. ชนิดของเขื่อนคอนกรีตบดอัด

การพัฒนาเขื่อนคอนกรีตบดอัด ได้เริ่มขึ้นในปี 2513 เป็นต้นมา โดยมีการพัฒนาเป็น 3 ทิศทาง ทำให้ในปัจจุบันมีเขื่อนคอนกรีตบดอัดอยู่ 3 ชนิด คือ

4.1 Lean RCC Dam

พัฒนาโดย United State Army Corps of Engineers เริ่มตั้งแต่ปี พ.ศ.2513 เป็นต้นมา โดยเริ่มใช้ทดลองก่อสร้างเขื่อน Jackson ใน Mississippi ในปี พ.ศ. 2515 และ Lost Creek Dam ใน Oregon ในปีพ.ศ. 2516 และได้ใช้ชื่อ Roller Compacted Concrete นี้เป็นครั้งแรก นับแต่นั้นมา และได้ใช้ประสบการณ์ดังกล่าวในการพัฒนาเขื่อนคอนกรีตบดอัดมาอย่างต่อเนื่อง Lean RCC Dam จะเป็นเขื่อนคอนกรีตบดอัดที่มีส่วนผสมของสารซีเมนต์เชื่อมประสาน (Cementitious Material = Pozzolan + Portland Cement) ในเกณฑ์ต่ำ กล่าวคือ น้อยกว่า 99 กก./ลบ.ม. โดยใช้สัดส่วน Pozzolan ต่อ Cement เป็น 40 : 60 หรือต่ำกว่าร้อยละ 40 จึงทำให้เกิดความร้อนต่ำในเนื้อคอนกรีตในระหว่างการก่อตัวของคอนกรีต ทำให้เกิดรอยต่อ (Joint) น้อย ส่งผลให้ก่อสร้างได้รวดเร็วและราคาค่าก่อสร้างต่ำ

4.2 Roller Compacted Dam (RCD)

เป็น RCC Dam ที่ได้คิดค้นและพัฒนาขึ้นในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งอาจเรียกว่าเป็น Medium Paste RCC เนื่องจาก มีส่วนผสมใช้ Cementitious Material ประมาณ 120 – 130 กก./ ลบ.ม. โดยใช้สัดส่วน Pozzalan ต่อ Cement ในช่วงตั้งแต่ 20:80 ถึง 35:65 ในการก่อสร้างจะมีการเกลี่ยโดยมีความหนาของชั้นคอนกรีตหลังการบดอัดแล้วหนากว่าชนิดอื่น กล่าวคือชั้นละ 50–100 ซ.ม.และมีการก่อสร้างชั้นคอนกรีต (Conventional Concrete) ด้านเหนือน้ำ และท้ายน้ำ หนามากกว่าชนิดอื่นๆ กล่าวคือหนาประมาณ 2 – 3 เมตร จึงเป็นเขื่อนที่เหมาะสมกับสภาพแผ่นดินไหว อุทกวิทยา และภูมิประเทศของญี่ปุ่น ซึ่งได้ใช้ในการก่อสร้างเขื่อน Shimajigawa สูง 89 เมตร และเขื่อน Okawa ในปี พ.ศ.2521

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 High Paste RCC Dam

High Paste RCC Dam เป็นเขื่อนคอนกรีตบดอัดที่มีส่วนผสมที่ใช้ Cementitious Material เพิ่มมากขึ้นเป็นมากกว่า 150 กก. ต่อ ลบ.ม. โดยใช้สัดส่วน Pozzolan ต่อ Cement อยู่ในช่วง 70:30 ถึง 80:20 โดยมีความหนาของคอนกรีตหลังบดอัดแน่นชั้นละประมาณ 30 ซ.ม. ริเริ่มโดย Tennessee Valley Authority แล้วได้รับการพัฒนาให้ก้าวหน้าขึ้นที่ประเทศอังกฤษ ในปี พ.ศ.2520โดยได้มีการวิจัยอย่างกว้างขวางและนำผลงานวิจัยมาใช้ในการออกแบบเขื่อน Milton Brook ที่ Devon ประเทศอังกฤษ ซึ่งพบว่า High Paste RCC Dam มีความแข็งแรง เช่นเดียวกันกับเขื่อนคอนกรีต แต่ก่อสร้าง ได้งานเช่นเดียวกับเขื่อนดิน จึงทำให้ก่อสร้างได้รวดเร็วและได้นำไปพัฒนาใช้ในการก่อสร้างเขื่อนต่างๆ มากมายเช่น เขื่อน Upper Stillwater ในอเมริกา ซึ่งออกแบบโดย United States Bureau of Reclamation (USBR) เป็นเขื่อนสูง 90 ม. สร้างเสร็จในปี พ.ศ. 2531

5 คุณสมบัติทางวิศวกรรม

คุณสมบัติทางวิศวกรรมของคอนการตบดอัดขึ้นอยู่กับคุณภาพของวัสดุที่ใช้ สัดส่วนผสมและการบดอัด อย่างไรก็ตามจะขึ้นอยู่กับวัสดุผสม (Aggregates) ได้แก่ Elasticity และคุณสมบัติทางความร้อน (Thermal Property) เช่นเดียวกันกับคอนกรีตทั่วไป แต่กำลังแข็งแรงขึ้นอยู่กับระดับความแน่นของการบดอัดมากกว่าสัดส่วนผสม ดังนั้นคอนกรีตที่บดอัดแน่นกว่า มีช่องว่างระหว่างวัสดุ (Void) น้อยกว่า ก็จะมีกำลังแข็งแรงมากกว่า อย่างไรก็ตามส่วนผสมที่มีวัสดุมวลรวมหยาบ (Course Aggragates) มากจะทำให้เกิดมีช่องว่างระหว่างวัสดุมากกว่า ทำให้ความแน่นและกำลังแข็งแรงต่ำ ซึ่งจากการทดสอบเขื่อนคอนกรีตบดอัดทั่วไปมีข้อมูลพอสรุปได้ดังนี้

1. Compressive Strength ที่อายุ 28 วัน

คอนกรีตบดอัดที่ทดสอบจากการก่อสร้างเขื่อนคอนกรีตบดอัดทั่วไปที่เคยก่อสร้างจะอยู่ในเกณฑ์ดังนี้

- ทดสอบจากแท่งทดสอบ 25-240 กก./ตร.ซม.
- ทดสอบจากแท่งเจาะจากคอนกรีตบดอัด 80-145 กก./ตร.ซม
- ทดสอบจากเขื่อนปากมูล 100-225 กก./ตร.ซม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Tensile Strength

จากการทดสอบโดยวิธี Splitting Tension Test จากแท่งเจาะจากคอนกรีตพบว่า

- คอนกรีตทั่วไปมี Tensile Strength เฉลี่ยประมาณร้อยละ 10 ของ Compressive Strength
- คอนกรีตบดอัดมี Tensile Strength ร้อยละ 11 ถึง 14 ของ Compressive Strength

จึงพอสรุปได้ว่า คอนกรีตบดอัดมี Tensile Strength สูงกว่าคอนกรีตทั่วไป

3. ข้อดี ข้อเสีย ของเขื่อนคอนกรีตบดอัด

การใช้คอนกรีตบดอัดโดยทั่วไปนั้นจะได้ประโยชน์จากข้อดีของคอนกรีตบดอัดได้แก่

3.1 ขี้เถ้าลอยลิกไนต์ (Lignite Fly Ash) จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะมีเม็ดเป็นทรงกลม ช่วยให้คอนกรีตมี Workability ดีขึ้น

3.2 ลดความร้อนระหว่างคอนกรีตก่อตัว เนื่องจากการใช้ซีเมนต์ในการผสมคอนกรีตน้อยลง การเกิดปฏิกิริยาเคมีกับน้ำแล้วความความร้อน (Hydration) จึงลดลง

3.3 ลดอันตรายต่อโครงสร้างอาคารจากการเกิด Aggregate Alkali Reaction (การขยายปริมาตรเกิดการแตกร้าวในระยะยาว) จากการใช้วัสดุผสมที่เป็นหินชนิดหินภูเขาไฟบางชนิด

3.4 ลดการเกิดการกัดกร่อนเนื้อคอนกรีตจากซัลเฟต และน้ำทะเล

ข้อดีของการก่อสร้างเขื่อนคอนกรีตแบบ RCC Dam เมื่อเปรียบเทียบกับการก่อสร้างเขื่อนประเภทเขื่อนดิน เขื่อนหิน ที่มีความสูงเท่ากันมีดังนี้

1. การก่อสร้างเขื่อนคอนกรีตบดอัด จะทำการก่อสร้างได้รวดเร็วกว่า
2. รูปตัดของเขื่อนคอนกรีตบดอัดเมื่อเปรียบเทียบกับเขื่อนดิน เขื่อนหินจะเล็กกว่า ทำให้ปริมาณงานก่อสร้างคอนกรีตน้อยลง
3. อาคารทางระบายน้ำล้น อาคารท่อส่งน้ำของเขื่อนประเภทคอนกรีตบดอัดจะอยู่ที่ตัวเขื่อน ไม่ต้องแยกออกจากตัวเขื่อน เช่นประเภท เขื่อนดิน เขื่อนหิน
4. เขื่อนคอนกรีต มีความแข็งแรงต่อการกัดเซาะของน้ำ ทางด้านหน้าเขื่อนและลาดด้านท้ายเขื่อน
5. การใช้วัสดุ Pozzolan มาเป็นส่วนผสมของซีเมนต์ทำให้ปริมาณการใช้ซีเมนต์ลดลง ราคาค่าก่อนสร้างจะถูกกว่าเขื่อนคอนกรีตแบบธรรมดา
6. จากการที่ขนาดของเขื่อนมีขนาดเล็กลง และทำการก่อสร้างเสร็จได้ในระยะเวลาอันสั้น ทำให้ราคาค่าก่อสร้างลดลง เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสียของการก่อสร้างเขื่อนคอนกรีตบดอัดเมื่อเปรียบเทียบกับการก่อสร้างเขื่อนประเภทอื่นมีดังนี้

1. การก่อสร้างเขื่อนประเภทคอนกรีตบดอัดก็เหมือนคอนกรีตทั่วไปที่มีน้ำหนักมาก จะต้องตั้งอยู่บนชั้นหินฐานรากที่แข็งแรง
2. ในการก่อสร้างต้องการผู้ที่มีความชำนาญในการก่อสร้าง และทดสอบวัสดุ ควบคุมอย่างใกล้ชิด
3. การขนส่ง วัสดุ ซีเมนต์ Pozzolans ในสถานที่ก่อสร้างมีจำนวนมากเหมือนกรณีเขื่อนคอนกรีตทั่วไป

สรุปแล้วเขื่อนคอนกรีตบดอัดเป็นวัสดุและเทคนิคการก่อสร้างใหม่ ที่ทำให้การก่อสร้างเขื่อนคอนกรีตมีราคาก่อสร้างถูกลง และสร้างได้รวดเร็วขึ้น เหมาะสมที่ใช้ในการก่อสร้างเขื่อนในที่ที่มีหินฐานรากแข็งแรง รับน้ำหนักได้ดี แค่มีวัสดุหรือหินที่จะใช้ในการสร้างตัวเขื่อนในบริเวณใกล้เคียงไม่เพียงพอ นอกจากนั้นยังเหมาะสมที่จะใช้ก่อสร้างเป็นอาคารประกอบเขื่อน หรือ อาคารคอนกรีตขนาดใหญ่ประเภทอื่นๆ เพราะนอกจาก Workability ที่ดีแล้ว ยังช่วยประหยัดซีเมนต์ เกิดความร้อนสะสมในตัวคอนกรีตบดอัดในระหว่างคอนกรีตก่อตัวต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดา ทำให้ประหยัดซีเมนต์ เกิดความร้อนสะสมในตัวคอนกรีตบดอัดในระหว่างคอนกรีตก่อตัวต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดา ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการบ่มคอนกรีต และยังมีผลพลอยได้จากการนำขี้เถ้าลอยลิกไนต์ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้นำมาให้เป็นประโยชน์อีกด้วย จึงควรมีการสนับสนุนการออกแบบและการก่อสร้าง เพื่อให้วิศวกรไทยมีความชำนาญในการออกแบบและก่อสร้างเขื่อนและอาคารคอนกรีตบดอัด เพื่อจะได้ศึกษาเปรียบเทียบ และพิจารณานำไปใช้ในงานก่อสร้างโครงสร้างคอนกรีตให้เป็นที่แพร่หลายต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผล Compression test ของหินท่าด่าน(หิน Tuff)

ตารางที่ ผ.ข.1. แสดงผล Compression ที่ระยะการบ่ม 7 วัน ของหิน Tuff

Sample	น้ำหนักกด (kg)	น้ำหนักตัวอย่าง (kg)	กำลังอัด (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
1	9,150	12.340	51.778	2,328.3
2	10,400	12.440	58.852	2,347.1
3	10,700	12.480	60.549	2,354.7
เฉลี่ย	10,083.34		57.060	

ตารางที่ ผ.ข.2. แสดงผล Compression ที่ระยะการบ่ม 14 วัน ของหิน Tuff

Sample	น้ำหนักกด (kg)	น้ำหนักตัวอย่าง (kg)	กำลังอัด (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
1	13,000	12.370	73.565	2,333.9
2	14,500	12.465	82.053	2,351.8
3	14,800	12.510	83.751	2,360.3
เฉลี่ย	14,100		79.789	

ตารางที่ ผ.ข.3. แสดงผล Compression ที่ระยะการบ่ม 28 วัน ของหิน Tuff

Sample	น้ำหนักกด (kg)	น้ำหนักตัวอย่าง (kg)	กำลังอัด (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
1	16,100	12.380	91.107	2,335.8
2	17,500	12.445	99.030	2,348.1
3	17,600	12.460	99.595	2,350.9
เฉลี่ย	17,066.67		96.577	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผล Compression test ของหินแม่สรวย (กรวดแม่น้ำ)

ตารางที่ ผ.ข.4. แสดงผล Compression ที่ระยะการบ่ม 7 วัน ของกรวดแม่น้ำ

Sample	น้ำหนักกด (kg)	น้ำหนักตัวอย่าง (kg)	กำลังอัด (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
1	9,500	12.250	53.760	2,311.320
2	9,700	12.300	54.891	2,320.755
3	9,400	12.475	53.193	2,353.774
เฉลี่ย	9,533.3		53.948	

ตารางที่ ผ.ข.5. แสดงผล Compression ที่ระยะการบ่ม 14 วัน ของกรวดแม่น้ำ

Sample	น้ำหนักกด (kg)	น้ำหนักตัวอย่าง (kg)	กำลังอัด (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
1	13,400	12.230	75.830	2,307.55
2	13,500	12.280	76.395	2,316.98
3	11,400	12.200	64.511	2,301.89
เฉลี่ย	12,766.66		72.245	

ตารางที่ ผ.ข.6. แสดงผล Compression ที่ระยะการบ่ม 14 วัน ของกรวดแม่น้ำ

Sample	น้ำหนักกด (kg)	น้ำหนักตัวอย่าง (kg)	กำลังอัด (ksc)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
1	17,200	12.310	97.332	2,322.64
2	16,400	12.220	92.805	2,305.66
3	17,300	12.360	97.898	2332.07
เฉลี่ย	16,966.67		96.011	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร 2539 คอนกรีตเทคโนโลยี พิมพ์ครั้งที่ 4 กรุงเทพ ฯ : บริษัท ผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด

มณเฑียร กังศศิเทียม , 2539 .กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม . พิมพ์ครั้งที่ 7 กรุงเทพฯ ม.ท.ป.

วรากร ไม้เรียง , จิรพัฒน์ โชติกไกร , ประทีป ดวงเดือน 2525 ปฐพีกลศาสตร์ ทฤษฎีและปฏิบัติการ พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพ ฯ : ม.ท.ป.

วรากร ไม้เรียง , 2542 วิศวกรรมเขื่อนดิน พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพ ฯ : ม.ท.ป.

วินิต ช่อวิเชียร 2539 คอนกรีตเทคโนโลยี พิมพ์ครั้งที่ 8 กรุงเทพฯ : ม.ท.ป.

เทอดศักดิ์ บุญยขจร , ธนู หาญพิพัฒน์พาณิชย์ , ชวลิต จันทรรัตน์ , สมศักดิ์ รุจาจรัสวงศ์ และ Sterenberg,J 2542 การศึกษาและออกแบบโครงการเขื่อนคลองท่าด่านอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เอกสารประกอบการบรรยายพิเศษเรื่อง การศึกษาและออกแบบโครงการเขื่อยคลองท่าด่านอันเนื่องมาจากพระราชดำริ , วิทยาลัยการชลประทาน ปากเกร็ด

ธันวา ดาราฮึม 2541 การประยุกต์ใช้เถ้าลอยลิกไนต์เพื่อเป็นส่วนประสมสำหรับอัดฉีดในมวลหิน . ปริญญานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ธีรวัฒน์ นิมนภาโรจน์ , ธนบดี นุชนารถ 2542 คุณสมบัติด้านกำลังและการซึมผ่านได้ของน้ำของคอนกรีตบดอัดผสมเถ้าลอยปริมาณสูง กรณีศึกษาเขื่อนคอนกรีตบดอัดโครงการท่าด่าน จังหวัดนครนายก ปริญญานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สมนึก ตั้งเติมสิริกุล 2542 การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตผสมเถ้าลอย พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพ ฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์

Aoyama , S.,1996 Conventional and modern outline of concrete gravity dam. Dam Seminar In Rid, Thailand

Capp,J.P, and Spencer,J.Dd., 1970. Fly Ash Utilization. A Summary of Applications and Technology : 1-15

Chonggang,S., 1991. Roller Compacted Concrete Dams in China. International Water Power & Dam Construction November : 45-49

Hansen,K.D., 1994. Built in the USA –RCC Dams of the1990's. International Water Power & Dam Construction, April : 24-32

Hollingworth , F., Hopper,D.J., and Geringer,J.J.,1989 Roller Compact Concrete Arched Dams. Water Power and Dam Construction, November :39-34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Schrader ,E.KJ., 1985 . Roller Compacted Concrete. Advance Dam Engineering : 569-577

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้