การประยุกต์ใช้ขี้เถ้าลอยลิกไนต์เพื่อเป็นของผสมสำหรับอัดฉีดในมวลหิน

APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING

T033942

โดย

นายธันวา ดาราฮีม

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....33942
วัน, เดือน, ปี 23 ก.ย. 2542

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING

BY

MR. TANVA DARAHEEM 38014199

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR THE BACHELOR'S DEGREE OF CONSTRUCTION ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

.....

หัวข้อโครงงานพิเศษ (ไทย) การประยุกต์ใช้ขี้เถ้าลอยลิกไนต์เพื่อเป็นของผสมสำหรับอัดฉีดในมวลหิน

(อังกฤษ) Application on using flyash as a slurry for rock grouting

นักศึกษา นาย ธันวา ดาราฮีม รหัสประจำตัว 38014199

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์อุบะ ศิริแก้ว

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์อำนวย พานิชกุลพงษ์	.....
2. อาจารย์อุบะ ศิริแก้ว	.....
3. อาจารย์แหลมทอง เหล่าคงถาวร	.....

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

.....

(ผศ.ดร.แดง เหรียญสุวรรณ)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ท่านอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาการความรู้ ความหวังให้แก่ผู้จัดทำที่ได้มีโอกาสทำโครงงานเล่มนี้จนสำเร็จลุล่วง ขอขอบคุณอาจารย์อุบะ ศิริแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน , ข้าราชการกรมชลประทาน, ข้าราชการการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, สำนักหอสมุดกลาง , คณะวิศวกรรมศาสตร์, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, พนักงาน ข้าราชการทุกท่าน และเพื่อนๆพี่ๆน้องๆที่แสนดีทุกคน

ขอขอบคุณ ท่านพ่อและท่านแม่ ที่เป็นกำลังใจเสมอมา

นายธันวา ดาราฮีม

ผู้จัดทำโครงงานพิเศษ

11 เม.ย. 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์ใช้ขี้เถ้าลอยลิกไนต์เพื่อเป็นของผสมสำหรับอัดฉีดในมวลหิน

APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING

โดย	นายธันวา	ดาราฮีม	รหัสประจำตัว 38014199
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์อุบะ	ศิริแก้ว	

บทคัดย่อ

ขี้เถ้าลอยลิกไนต์แม่เมาะเป็นของเสียที่เหลือจากการเผาถ่านหินลิกไนต์เพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อน มีจำนวนมหาศาลและเพิ่มจำนวนมากขึ้นทุกปี เป็นภาระอย่างมากแก่การไฟฟ้าแห่งประเทศไทย ในการจัดการขนไปทิ้งในที่ที่ต้องจัดเตรียมไว้เป็นพิเศษเพื่อควบคุมให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระดับต่ำที่สุด การศึกษาครั้งนี้มีความมุ่งหมายที่จะทดลองหาอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดที่ใช้ขี้เถ้าลอยลิกไนต์ซึ่งเป็นวัสดุไร้ประโยชน์ มาใช้เป็นส่วนผสมทดแทนซีเมนต์สำหรับการอัดฉีดเพื่อปรับปรุงฐานรากเขื่อนมวลหิน

ขี้เถ้าลอยลิกไนต์แม่เมาะเป็นวัสดุปอซโซลาน ซึ่งจะแข็งตัวได้เมื่อผสมกับน้ำในปริมาณที่เพียงพอ ในการศึกษาได้ทดลองนำขี้เถ้าลอยลิกไนต์มาผสมกับซีเมนต์และน้ำในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อตรวจสอบถึงพฤติกรรม 3 อย่าง คือ ความข้นเหลวปกติ ระยะเวลาการก่อตัว การซึมผ่านได้ของน้ำ และหาส่วนผสมที่ดีที่สุดของขี้เถ้าลอยลิกไนต์เพื่อใช้เป็นของผสมกับการอัดฉีดในมวลหิน การหาความข้นเหลวปกติ พบว่า ยิ่งใช้ปริมาณขี้เถ้าลอยลิกไนต์เข้าไปแทนที่ซีเมนต์เพิ่มมากขึ้น ความต้องการน้ำที่จะทำให้ส่วนผสมมีความข้นเหลวปกติมีค่าลดลง และระยะเวลาในการก่อตัวยิ่งเพิ่มมากขึ้น สำหรับการทดลองหาค่าการซึมผ่านได้ของน้ำของ ซีเมนต์ผสมกับขี้เถ้าลอยลิกไนต์ในปริมาณเปอร์เซ็นต์ต่างๆนั้นมีค่าน้อยมากเท่ากับศูนย์

ABSTRACT

Mae Moh lignite fly ash is a waste residue from lignite burning power generation at Mae Moh thermal. The tremendous amount of the fly ash which increases every year puts a big overburden to the Electricity Generating Authority of Thailand in handling and providing transportation to the waste dumping area in such a way that the environmental impact is kept to the minimum. The objective of this study is to find appropriate methods to utilize the fly ash as a slurry for rock grouting.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mae Moh fly ash is a pozzolan after being mixed with sufficient amount of water it becomes hard. This study use Mae Moh lignite fly ash mixed with cement and water in various ratio to find 3 behavior that is Normal Consistency, Setting Time, Permeability and find out the best mix ratio of Mae Moh lignite fly ash for use as a slurry for rock grouting. It was found that to find Normal Consistency as much as it use Mae Moh lignite fly ash the demand water in action the mixer has a Normal Consistency is lower but the Setting Time is higher. For the Permeability test of cement blend with Mae Moh lignite fly ash in various percent is low value equal to zero.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ	(i)
บทคัดย่อ	(ii)
สารบัญ	(iv)
รายการตารางประกอบ	(vi)
รายการรูปประกอบ	(vii)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ	1
1.3 แนวคิดที่ใช้ในโครงงานพิเศษ	2
1.4 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ	2
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์	3
2.1 การปรับปรุงฐานรากเขื่อนมวลหินด้วยวิธีการอัดฉีด	3
2.2 วัสดุที่ใช้	3
2.3 การศึกษางานที่เคยใช้ขี้เถ้าลอยลิกไนต์	15
2.4 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของเถ้าลอย	16
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการศึกษา	17
3.1 การศึกษาข้อมูล	17
3.2 การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์	18
3.3 การทดลอง	19
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์	23
4.1 การทดลองหาความข้นเหลวปกติ	23
4.2 การทดลองหาระยะเวลาการก่อตัว ณ ความข้นเหลวปกติ	24
4.3 การทดลองหาระยะเวลาการก่อตัว ณ ความข้นเหลวออกแบบสำหรับการอัดฉีด	25
4.4 ข้อบกพร่องในการทดลองหาระยะเวลาการก่อตัว	26
4.5 การเลือกอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดจากการทดลอง	26
4.6 การทดลองหาค่าการซึมผ่านได้ของน้ำ	27
4.7 ข้อบกพร่องในการทดลองหาค่าการซึมผ่านได้ของน้ำ	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ **28**

5.1 สรุป 28

5.2 ข้อเสนอแนะ 28

ภาคผนวก ก **29**

ภาคผนวก ข **31**

ภาคผนวก ค **34**

บรรณานุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการตารางประกอบ

ตารางที่ 2.1 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 4

ตารางที่ 2.2 การแบ่งชั้นคุณภาพของเถ้าลอยตามมาตรฐาน ASTM C618-94a(1995) 6

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอย 8

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอย 9

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้าลอยจากแหล่งต่างๆ 11

ตารางที่ 2.6 ข้อกำหนดทางกายภาพมาตรฐาน ASTM C618-97 13

ตารางที่ 2.7 ปริมาณโลหะหนักที่วิเคราะห์ตัวอย่างเถ้าลอยลิกไนต์แม่เมาะหน่วยที่ 12 16

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีของขี้เถ้าลอยลิกไนต์
แม่เมาะที่ใช้ในการทดลองและซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เปรียบเทียบกับ
มาตรฐาน ASTM สำหรับวัสดุ Pozzolan 18

ตารางที่ 3.2 แสดงจำนวนตัวอย่างทั้งหมดสำหรับการทดลองในห้องปฏิบัติการ 20

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความข้นเหลวปกติและระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์ผสม
กับขี้เถ้าลอยลิกไนต์ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ 23

ตารางที่ 4.2 แสดงระยะเวลาการก่อตัวขั้นสุดท้าย 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการรูปประกอบ

รูปที่ 2.1 อนุภาคเถ้าลอยถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope 6

รูปที่ 2.2 X-ray diffractogram สำหรับเถ้าลอยลิกไนต์ เถ้าลอยจากบิทูมินัส 12

รูปที่ 2.3 ภาพขยาย SEM ของอนุภาคเถ้าลอยที่มีลักษณะต่างๆกัน 14

รูปที่ 2.4 ภาพขยาย SEM ของอนุภาคปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
และเถ้าลอยจากแหล่งต่างๆ 14

รูปที่ 3.1 กระบวนการทำงาน 17

รูปที่ 3.2 แสดงกระบวนการทดลองทั้งหมด 22

รูปที่ 4.1 แสดงกราฟระหว่างเปอร์เซ็นต์ขี้เถ้าลอยลิกไนต์กับปริมาณน้ำ
เพื่อให้ได้ความข้นเหลวปกติ 23

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงระยะเวลาการก่อตัวกับปริมาณขี้เถ้าลอยลิกไนต์ 24

รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะเวลาก่อตัวขั้นสุดท้าย
กับ เปอร์เซ็นต์ขี้เถ้าลอยลิกไนต์ 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย(กฟผ.)ได้ผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนแม่เมาะ โดยใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์นี้ทำให้เกิดกากเชื้อเพลิงที่เรียกว่า ขี้เถ้าลิกไนต์ประมาณหลายล้านตันต่อปี ขี้เถ้าลิกไนต์แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ ขี้เถ้าลอยลิกไนต์ (Fly Ash)ประมาณ 80% และขี้เถ้าก้นเตา(Bottom Ash)ประมาณ 20%

ภาพลักษณ์ของขี้เถ้าลอยลิกไนต์เป็นของเสียที่ไร้ประโยชน์ มีจำนวนมหาศาลและเพิ่มพูนขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นภาระและเสียค่าใช้จ่ายจำนวนมากเพื่อจัดการควบบคุมนำไปทิ้งโดยไม่ให้เกิดมลภาวะแก่สิ่งแวดล้อม

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำขี้เถ้าลอยลิกไนต์แม่เมาะมาประยุกต์ใช้ประโยชน์เป็นวัสดุก่อสร้างทดแทนซีเมนต์เพื่อใช้อัดฉีดปรับปรุงฐานรากเขื่อนมวลหิน ซึ่งจะจำกัดอยู่เพียงบริเวณใกล้ๆโรงไฟฟ้าพลังความร้อนแม่เมาะและโรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่กำลังจะเกิดขึ้นเท่านั้น เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการขนส่งอยู่ในระดับต่ำ ผลการศึกษาจะมีส่วนช่วยส่งเสริมและสนับสนุนให้มีการนำขี้เถ้าลอยลิกไนต์ซึ่งเป็นของเสียทิ้งเปล่าประโยชน์ไปใช้ทดแทนวัสดุก่อสร้างงานฐานรากเขื่อน ซึ่งจะส่งผลให้ประหยัดค่าใช้จ่ายทั้งในขั้นการก่อสร้างและขั้นบำรุงรักษาได้เป็นอย่างมาก

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

เพื่อศึกษาพฤติกรรมของอัตราส่วนผสมระหว่าง ซีเมนต์ ขี้เถ้าลอยลิกไนต์ และน้ำ ที่ใช้สำหรับในการปรับปรุงฐานรากมวลหินใต้เขื่อน โดยคำนึงถึงค่าระยะเวลาในการก่อตัวของส่วนผสมในสภาพที่เป็นของเหลว และค่าการซึมผ่านได้ของน้ำเมื่อส่วนผสมได้ก่อตัวเสร็จเรียบร้อยแล้ว

ปริมาณขี้เถ้าลอยลิกไนต์ที่เข้าไปเป็นส่วนผสมมากก็ยิ่งจะทำให้ราคาของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างลดลงด้วย แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับระยะทางและค่าขนส่งด้วย

และศึกษาถึงพฤติกรรมของขี้เถ้าลอยลิกไนต์ เพื่อประโยชน์สำหรับการวิจัยต่อไปในอนาคต พร้อมทั้งจะเป็นการเพิ่มวิถีทางในการที่จะใช้ประโยชน์จากขี้เถ้าลอยลิกไนต์ ซึ่งเป็นวัสดุทิ้งเปล่าและเป็นมลภาวะ ให้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 แนวคิดที่ใช้ในโครงงานพิเศษ

1.3.1วัสดุผสมต้องมีความสามารถในการเข้าไปแทรกในรอยแยกของมวลหินได้

1.3.2จากการศึกษาข้อมูลยิ่งขี้เถ้าลอยลิกไนต์ที่เติมลงไปในคอนกรีตมากจะช่วยเพิ่มความสามารถในการทำงานได้ (Workability) มากขึ้นด้วย ดังนั้นถ้าใช้ขี้เถ้าลอยลิกไนต์เป็นส่วนผสมในการอัดฉีดมากก็ยิ่งน่าจะทำให้เพิ่มความสามารถในการเข้าไปแทรกซึมอยู่ในรอยแยกของมวลหินมากขึ้น

13.3 จากการศึกษาข้อมูลของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (สมชัย กกกำแหง) ขี้เถ้าลอยลิกไนต์ผสมเทเหลวเมื่อแข็งตัวแล้วจะมีค่าการซึมผ่านได้ของน้ำประมาณ 10^{-5} ถึง 10^{-6} ซม./วินาที

1.3.4 ระยะเวลาในการก่อตัวของส่วนผสมสามารถเป็นที่ยอมรับได้

1.4 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

1.4.1 การศึกษาครั้งนี้ใช้ขี้เถ้าลอยลิกไนต์ จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จ.ลำปาง เท่านั้น

1.4.2 การศึกษาเน้นไปที่การศึกษาถึงพฤติกรรมของสารผสมสำหรับอัดฉีดเป็นหลัก

1.4.2 การทดลองหาระยะเวลาการก่อตัวของส่วนผสมได้ทำในห้องปฏิบัติการ โดยใช้อุปกรณ์ Vicat ตามมาตรฐานของ ASTM C 953-87

1.4.3 ไม่คำนึงถึงการทดลองหาค่าความหนืดของส่วนผสม ซึ่งเป็นการแสดงถึงความสามารถในการ แทรกซึมได้เข้าไปในรอยแยกของหิน เนื่องจากสมมติฐานตามแนวคิดข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 การปรับปรุงฐานรากเขื่อนมวลหินด้วยวิธีการอัดฉีด

การปรับปรุงฐานรากเขื่อนมวลหินด้วยวิธีการอัดฉีดเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้โดยทั่วไปสำหรับการปรับปรุงฐานรากของเขื่อน โดยมีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1) เพื่อลดหรือขจัดการไหลซึมของน้ำที่จะลอดใต้ตัวเขื่อน (Seepage)

2) เพื่อลดการยกตัวของพลังน้ำใต้เขื่อน (Hydrostatic Pressure)

3) เพื่อทำให้หินฐานรากแน่นทึบ (Solidity) และแข็งแกร่งยิ่งขึ้น เพื่อที่จะเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักได้

สำหรับวัสดุที่ใช้กันโดยทั่วไปในการอัดฉีด คือ ซีเมนต์ และน้ำ ในอัตราส่วนที่พอเหมาะสำหรับสภาพในแต่ละพื้นที่ ซึ่งหลักเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกใช้ส่วนผสมสำหรับการอัดฉีดคือ

1) อัตราส่วนผสมที่ใช้ต้องมีความข้นเหลวที่พอเหมาะ กล่าวคือ อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ต้องมีความเหลวพอที่จะสามารถเข้าไปแทรกซึมในรอยแยกของหินได้ และไม่เข้มข้นเกินไปเพราะจะเป็นการสิ้นเปลืองวัสดุและยากแก่การอัดฉีด

2) ระยะเวลาในการก่อตัวต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

3) ค่าการซึมผ่านได้ของน้ำของอัตราส่วนผสมเมื่อแข็งตัวแล้วต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

2.2 วัสดุที่ใช้

2.2.1 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ ประกอบด้วยออกไซด์ 2 กลุ่ม คือ

- ออกไซด์หลัก ได้แก่ CaO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 ซึ่งรวมกันประมาณ 90% ของน้ำหนักซีเมนต์

- ออกไซด์รอง ได้แก่ MgO, Na_2O, TiO_2, P_2O_5 และยิปซั่ม

ออกไซด์หลักจะรวมตัวเกิดเป็นสารประกอบหลัก 4 อย่าง ดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ชื่อสารประกอบ	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรคัลเซียม ซิลิเกต (Tricalcium Silicate)	3 CaO . SiO2	C3S
ไดคัลเซียม ซิลิเกต (Dicalcium Silicate)	2 CaO . SiO2	C2S
ไตรคัลเซียม อลูมิเนต (Tricalcium Aluminate)	3 CaO . Al2O3	C3A
เตตราคัลเซียม อลูมิโนเฟอร์ไรท์ (Tetracalcium Aluminoferrite)	4 CaO . Al2O3 . Fe2O3	C4AF

การก่อตัวและการแข็งตัวของซีเมนต์ เกิดจากปฏิกริยาไฮเดรชั่น ดังสมการที่ 2.1

$$\text{ปูนซีเมนต์} + \text{น้ำ} \longrightarrow \text{CSH} + \text{CAH} + \text{Ca(OH)}_2 \qquad (2.1)$$

โดย CSH (Calcium Silicate Hydrate) และ CAH (Calcium Aluminate Hydrate) มีคุณสมบัติเป็นกาวเชื่อมให้ส่วนผสมจับตัวกัน

2.2.2 เถ้าลอย

2.2.2.1 ประวัติความเป็นมา

การใช้เถ้าลอยเกิดขึ้นคล้ายกับการนำเถ้าภูเขาไฟ (Volcanic ashes) มาใช้ในกระบวนการผลิตไฮดรอลิกซีเมนต์ในยุค 2300 ปีก่อน ที่เมืองปอซโซลี (Pozzuoli) ประเทศอิตาลี ซึ่งต่อมาภายหลังได้เปลี่ยนชื่อเรียกเป็นวัสดุปอซโซลาน (Pozzolans) ในปัจจุบันคำว่า "วัสดุปอซโซลาน" ได้ครอบคลุมวัสดุหลายประเภท เช่น เถ้าภูเขาไฟ ซึ่งถือเป็นวัสดุที่ค้นพบเป็นประเภทแรกในจำพวกวัสดุปอซโซลาน นอกจากนั้นแล้วยังมี Pumicite, Opaline, Charts, Burnt Clay และ เถ้าลอย (Fly Ash) เป็นต้น โดยอาจจัดแบ่งสารปอซโซลานเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ สารปอซโซลานธรรมชาติ (Natural Pozzolan) เป็นวัสดุที่สามารถนำมาใช้งานได้โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการใดๆ และสารปอซโซลานสังเคราะห์ (Artificial Pozzolan) เป็นวัสดุที่ได้จากการปรับปรุงคุณภาพและ/หรือองค์ประกอบทางเคมีก่อนนำมาใช้งาน เถ้าลอยจัดเป็นสารปอซโซลานสังเคราะห์ ซึ่งเป็นกากของเหลือที่ได้จากการเผาถ่านหินเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยจะลอยปะปนพร้อมไอร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ และถูกดักจับด้วยเครื่องดักจับประจุไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Precipitators) การประยุกต์ใช้เถ้าลอยในงานคอนกรีตได้เริ่มมีขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1935 บริเวณทวีปอเมริกาเหนือ และเริ่มมีการนำมาใช้ในงานเขื่อน Hungry Horse ในปีค.ศ. 1948 ต่อจากนั้นได้มีการพัฒนาและวิจัยขึ้นอย่างต่อเนื่องและเป็นที่ยอมรับกันมากขึ้นหลังปีค.ศ. 1970

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.2 ประเภทและแหล่งกำเนิดของถ่านหิน

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น เถ้าลอยเป็นผลิตภัณฑ์ที่เหลือจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง นักธรณีวิทยาได้จัดแบ่งถ่านหินตามคุณสมบัติและระยะเวลาการเกิดออกเป็น 4 ประเภทได้แก่

1. พีท (Peat) เป็นถ่านหินที่เกิดจากการทับถมของพืช มีลักษณะเป็นเนื้อไม้พรุนๆ คล้ายฟองน้ำสีน้ำตาลอ่อนไปจนถึงสีดำและดูดซับน้ำไว้มาก
2. ลิกไนต์ (Lignite) หรือถ่านหินสีน้ำตาล (Brown Coal) มีสีน้ำตาลอ่อนจนถึงสีน้ำตาลแก่มีปริมาณคาร์บอนต่ำความชื้นสูง
3. บิทูมินัส (Bituminous) หรือ Soft Coal ติดไฟง่าย กลิ้นแรง มีสารระเหยอยู่ระหว่างร้อยละ 18-45 โดยน้ำหนัก ให้ความร้อนอยู่ระหว่าง 12000-16000 บีทียูต่อปอนด์
4. แอนทราไซด์ (Anthracite) เป็นถ่านหินที่มีปริมาณคาร์บอนสูงประมาณ 92-94 โดยน้ำหนัก เนื้อถ่านหินมีสีดำเป็นเงามีความชื้นน้อยประมาณร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ให้ความร้อนประมาณ 16000 บีทียูต่อปอนด์ ลุกติดไฟช้าและนานกว่าถ่านหินชนิดอื่น

ถ่านหินที่พบในประเทศไทยส่วนใหญ่มีอายุประมาณ 50-70 ล้านปี แม้ว่าถ่านหินลิกไนต์จะมีคุณภาพต่ำกว่าถ่านหินชนิดอื่นๆ แต่ก็สามารถนำมาใช้ประโยชน์แทนน้ำมันเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดี แหล่งถ่านหินที่สำรวจได้มีอยู่ 5 แห่งได้แก่

1. แหล่งลิกไนต์แม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง
2. แหล่งลิกไนต์แม่ตีบ อำเภองาว จังหวัดลำลำปาง
3. แหล่งบ้านป่าคา อำเภอลี้ จังหวัดลำพูน
4. แหล่งบ้านปู อำเภอลี้ จังหวัดลำพูน
5. เหมืองกระบี่ บ้านบางปูดำ จังหวัดกระบี่

ปัจจุบันได้มีการนำเข้าถ่านหินจากประเทศต่างๆ มาใช้แล้วในประเทศไทย แต่ยังไม่เป็นที่รู้จักกันมากนัก

2.2.2.3 แหล่งกำเนิดเถ้าลอย

ถ่านหินเมื่อถูกบดอัดให้ละเอียดจะถูกลำเลียงด้วยสายพานมายังเตาเผา คาร์บอนในถ่านหินจะเผาไหม้เปลี่ยนแปลงสภาพของแร่ธาตุที่มีอยู่ให้เป็นแร่ธาตุในรูปของออกไซด์ของโลหะหลายชนิด กากที่เหลือจากการเผาไหม้ในเตาจะเกิดเป็นเถ้ามีอนุภาคที่เล็ก ลอยตัวปะปนมาพร้อมกับไอร้อนไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าบริเวณปล่องควันและจะถูกดักจับไม่ให้ปนไปในบรรยากาศด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า Electrostatic Precipitator ต่อจากนั้นก็จะถูกรวมไว้ใน Ash Hopper อนุภาคที่เล็กเหล่านี้ถูกเรียกว่า เถ้าลอย (Fly Ash, Puverized Fuel Ash, Dry Ash) มีอยู่ประมาณร้อยละ 75-85 ของเถ้าทั้งหมด ภาพถ่ายอนุภาคเถ้าลอยด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope ขยาย 10000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงในรูปที่ 2.1 โดยทั่วไปเถ้าลอยจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1 ไมครอน และเล็กลงจนถึง 150 ไมครอน ส่วนที่มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่เกิดจากการปะทุของอนุภาคเถ้าในบริเวณที่เกิดการสันดาบ (Combustion Zone) อุณหภูมิในบริเวณจะสูง แล้วหลอมเถ้าที่จะปะทะกันเป็นเม็ดหรือก้อนตกลงสู่ก้นเตา บางส่วนของเถ้าจะปะทะกับผนังเตาและหลอมติดกันเป็นก้อนขนาดใหญ่เรียกว่า ตะกรัน (Slag) เมื่อน้ำหนักรวมกันมากก็จะหล่นลงสู่ก้นเตาตามลำดับ เถ้าที่ได้ประเภทนี้เรียกว่า เถ้าตะกรัน (Furnace Bottom Ash or Slag Ash) ซึ่งจะมีปริมาณร้อยละ 15-25 โดยน้ำหนัก

รูปที่ 2.1 อนุภาคเถ้าลอยถ่ายด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope (ขยาย 10000 เท่า)

2.2.2.4 ประเภทของเถ้าลอย

เถ้าลอยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชั้นคุณภาพตามมาตรฐาน ASTM C618-94a (1995) ได้แก่ ชั้นคุณภาพ F และ ชั้นคุณภาพ C โดยใช้องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยที่ได้หลังจากการเผาถ่านหินดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การแบ่งชั้นคุณภาพของเถ้าลอยตามมาตรฐาน ASTM C618-94a (1995)

คุณสมบัติ	ประเภทของเถ้าลอย	
	ชั้นคุณภาพ F	ชั้นคุณภาพ C
$SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$, ร้อยละ	70	50
SO_3, มากที่สุดร้อยละ	5	5
ปริมาณความชื้น, มากที่สุดร้อยละ	3	3
การสูญเสียเนื่องจากการเผาไหม้, มากที่สุดร้อยละ	6	6
ดัชนีกำลัง, น้อยที่สุดร้อยละ	75	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เถ้าลอยชั้นคุณภาพ F เป็นเถ้าลอยที่มีผลรวมของซิลิกาออกไซด์ เฟอร์ริกออกไซด์ และอลูมินาออกไซด์ มากกว่าร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก เกิดจากการเผาถ่านหินประเภทแอนทราไซด์ และบิทูมินัส มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์น้อยกว่าร้อยละ 5 ดังนั้นเถ้าลอยประเภทนี้บางครั้งจะเรียกว่า Low Calcium Fly Ash หมายถึงเถ้าลอยที่มีปริมาณแคลเซียมต่ำ ซึ่งมีคุณสมบัติการเป็นซีเมนต์อยู่น้อยหรือแทบจะไม่มี แต่ยังมีคุณสมบัติของวัสดุปอซโซลาน เถ้าลอยประเภทนี้ได้ถูกนำมาใช้งานแทนที่ซีเมนต์ในงานสร้างเขื่อนตั้งแต่ปี ค.ศ. 1935 โดยมีจุดประสงค์หลักเพื่อช่วยลดความร้อนที่เกดเนื่องจากปฏิกริยาไฮเดรชั่น แต่เมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติการรับแรงของคอนกรีตที่ใช้เถ้าลอยประเภทนี้แทนที่ซีเมนต์ พบว่า การพัฒนากำลังรับแรงอัดในช่วงต้นจะต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดา แต่หลังจากที่ปฏิกริยาปอซโซลานได้เริ่มขึ้น กำลังรับแรงอัดในช่วงปลายของคอนกรีตที่ได้รับการผสมด้วยปฏิภาคที่เหมาะสมจะพัฒนาเท่าเทียมกับคอนกรีตธรรมดา
2. เถ้าลอยชั้นคุณภาพ C เป็นเถ้าลอยที่มีผลรวมของซิลิกาออกไซด์ เฟอร์ริกออกไซด์ และอลูมินาออกไซด์ อยู่ระหว่างร้อยละ 50-70 โดยน้ำหนัก เกิดจากการเผาถ่านหินประเภทลิกไนต์ และ ซับบิทูมินัส มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์อยู่ประมาณร้อยละ 15-23 ดังนั้นเถ้าลอยประเภทนี้บางครั้งจะเรียกว่า High Calcium fly Ash ซึ่งมีทั้งคุณสมบัติของซีเมนต์และปอซโซลานในตัวเอง กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้เถ้าลอยประเภทนี้แทนที่ซีเมนต์จะพัฒนาได้อย่างรวดเร็วในช่วงต้น

คุณภาพและปริมาณของเถ้าลอยสามารถแปรผันได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของโรงผลิตกระแสไฟฟ้า ชนิดของถ่านหิน อุณหภูมิที่ใช้เผาและระบบการดักจับเถ้า ดังนั้นเถ้าลอยที่ได้ในแต่ละประเทศจะมีคุณสมบัติที่ไม่เหมือนกัน ดังตัวอย่างที่แสดงใน ตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอย

องค์ประกอบทางเคมี	ข้อมูลเถ้าลอยจาก				
	เยอรมัน	ไต้หวัน	แคนนาดา	อเมริกา	ไทย
	ปริมาณร้อยละเฉลี่ย, % โดยน้ำหนัก				
SiO2	51.5	53.13	42.2	30	42.45
Al2O3	27	30.44	21.6	17.6	22.51
Fe2O3	7.79	3.59	27.6	4.9	9.02
CaO	2.32	2.12	1.87	27.9	9.82
SO3	0.77	-	1.1	-	1.51
MgO + Na2O	2.82	0.78	3.69	7.6	3.23
K2O	3.57	1.05	2.55	0.3	2.53
Loss on Ignition	2.73	6.63	1.85	0.2	1.36

2.2.2.5 การนำเถ้าลอยมาใช้ประโยชน์

ปัจจุบันการนำเถ้าลอยมาใช้ในงานคอนกรีตได้แพร่หลายมากขึ้น โดยอาศัยข้อดีทั้งทางกายภาพและทางเคมีของเถ้าลอยมาใช้ประโยชน์ กล่าวคือ เถ้าลอยมีอนุภาคกลมส่งผลดีต่อความสามารถในการเทได้ของคอนกรีต อีกทั้งอนุภาคมีความละเอียดสูงกว่าซีเมนต์ จึงทำหน้าที่เป็นวัสดุอุดช่องว่าง (Filler) ระหว่างอนุภาคของซีเมนต์ซึ่งโดยปกติแล้วช่องว่างเหล่านี้อาจถูกอุดด้วยปริมาณน้ำส่วนที่เกินจากการใช้ทำปฏิกริยาไฮเดรชั่น นอกจากนั้นแล้วเถ้าลอยยังช่วยเพิ่มคุณสมบัติพื้นฐานของคอนกรีตให้ดียิ่งขึ้นเช่น เพิ่มคุณสมบัติการรับแรง ความทนทาน คุณสมบัติรับแรงดัด ลดคุณสมบัติการซึมน้ำ ลดการเยิ้มและการแยกตัว ลดการแยกตัวเนื่องจากปฏิกริยาอัลคาไลน์ เป็นต้น

การนำเถ้าลอยมาใช้งานก็ยังคงมีปัญหาในเรื่องการควบคุมคุณภาพ และความสม่ำเสมอขององค์ประกอบทางเคมี ซึ่งมาจากปัจจัยของคุณภาพถ่านหินที่ใช้ และอุณหภูมิในการเผา ทางการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (สมชัยและคณะ, 2540) จึงใช้วิธีการควบคุมคุณภาพของถ่านหินก่อนป้อนเข้าโรงไฟฟ้าซึ่งรวมถึงการควบคุมปริมาณกำมะถันในถ่านหินให้อยู่ระหว่างร้อยละ 1-3 ทำให้ได้เถ้าลอยที่มีคุณสมบัติสม่ำเสมอ มีปริมาณ SO_3 ในปริมาณที่ไม่เกินเกณฑ์กำหนดตามมาตรฐาน ASTM C618-94a (1995) ซึ่งจากข้อมูลองค์ประกอบเคมีของเถ้าลอยที่ได้รวบรวมโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ดังแสดงในตารางที่ 2.4 พบว่า ปริมาณ SO_3 ได้ลดลงจากร้อยละ 3.9 ถึง 0.9 ในปี พ.ศ. 2533 ถึง 2540 ในขณะที่ปริมาณออกไซด์อื่นๆยังมีค่าที่คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอย

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	12.7	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
Loss on Ignition	0.8	0.7	0.5	0.6	0.3	0.9	0.8	0.8

2.2.2.6 คุณสมบัติพื้นฐานทางเคมีและทางกายภาพของเถ้าลอย

(Chemical and Physical Properties of Fly Ash)

เถ้าถ่านหิน หรือ เถ้าลอย (Fly Ash or Pulverized Fuel Ash) ได้จากการเผาถ่านหินในโรงงานโรงไฟฟ้าถ่านหิน เถ้าลอยจะถูกดักจับไว้ด้วยตัวดักจับแล้วรวบรวมเก็บไว้ในไซโล มีสีเทา เทาดำหรือน้ำตาล เถ้าลอยมีคุณสมบัติเป็นสารปอซโซลาน (Pozzolan) สังเคราะห์ประเภทหนึ่งมีส่วนประกอบหลักเป็นอันยรูปของซิลิกาและอลูมินา เมื่ออยู่ในสภาพแห้งและป่นเป็นฝุ่น ไม่มีคุณสมบัติเชื่อมเกาะระหว่างอนุภาค แต่เมื่อสัมผัสเข้ากับน้ำภายใต้อุณหภูมิปกติจะสามารถทำปฏิกริยาเคมีกับสาร $Ca(OH)_2$ และเกิดเป็นสารใหม่ที่มีคุณสมบัติเชื่อมประสาน (cementitious) โดยที่คุณสมบัติดังกล่าวขึ้นอยู่กับประเภทของถ่านหิน อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาและช่วงเวลาการเผา ดังนั้นคุณภาพและความสม่ำเสมอของเถ้าลอยจึงขึ้นอยู่กับแต่ละแหล่งที่เผาถ่านหิน

การวิจัยในปัจจุบันจะศึกษาคุณสมบัติของเถ้าถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะแทบทั้งสิ้นเนื่องจากเป็นแหล่งผลิตที่มีปริมาณสูงถึง 3000000 ตันต่อปี แต่ในปี 2540-2541 ซึ่งมีการใช้เถ้าลอยลิกไนต์จากแม่เมาะมากที่สุดเป็นจำนวน 300000 ตันต่อปี คิดเป็น 10% ของที่ผลิตได้ ปัจจุบันในประเทศไทยยังมีโรงงานที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงและมีศักยภาพของเถ้าลอยที่จะนำไปใช้ได้ เช่นโรงงานในนิคมอุตสาหกรรมแถบจังหวัดระยอง สมุทรสาครและกาญจนบุรี ดังนั้นการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานทางเคมีและทางกายภาพของเถ้าลอยจึงเป็นแนวทางที่ความสำคัญในการเลือกใช้เถ้าลอยจากแหล่งผลิตที่แตกต่างกัน

ก่อนที่จะกล่าวถึงคุณสมบัติพื้นฐานทางเคมีและทางกายภาพของเถ้าลอยคงต้องพิจารณากฎเกณฑ์หรือมาตรฐานที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพของเถ้าลอยที่จะนำมาใช้ในการผสมคอนกรีต มีหน่วยงานวิจัยหลายหน่วยงานได้กล่าวถึงคุณสมบัติและข้อกำหนดที่ใช้เป็นมาตรฐานที่อ้างอิงถึงจะมี

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ไม่ว่าส่วนใดส่วนหนึ่งของเอกสารนี้ต้องได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ก่อนนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

2 แห่งด้วยกันคือ American Concrete Institute (ACI) และ American Society for Testing and Materials (ASTM) ในที่นี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติพื้นฐานทางเคมีและทางกายภาพของเถ้าลอยตาม ASTM C618 และ ASTM C593 มาเป็นกรอบเพื่อควบคุมคุณภาพและคัดเลือกเถ้าลอยมาใช้ในงานคอนกรีต แต่จากการศึกษาพบว่าคุณสมบัติพื้นฐานทางเคมีและทางกายภาพของเถ้าลอยลิกไนต์แม่เมาะสามารถที่จะอยู่ได้ทั้งใน Class F และ Class C ดังนั้นการจำแนกประเภทของเถ้าลอยโดยอาศัยหลักเกณฑ์ดังกล่าวอาจเกิดข้อโต้แย้งได้ คณะอนุกรรมการสาขาคอนกรีตและวัสดุ คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ จึงริเริ่มที่จะดำเนินการร่างมาตรฐานเพื่อใช้กับเถ้าลอยและการออกแบบคอนกรีตสำหรับประเทศไทยขึ้น

2.2.2.7 คุณสมบัติพื้นฐานทางด้านเคมีของเถ้าลอย

1) ส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าลอย

จากการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจากแหล่งต่างๆ โดยใช้เทคนิค X-ray Fluorescence ประกอบด้วย องค์ประกอบออกไซด์ของแร่ธาตุต่างๆ ได้แก่ ซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) อลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) เป็นต้น ส่วนประกอบทางเคมีเหล่านี้จะมีค่าแตกต่างกันในเชิงปริมาณตามแหล่งหรือชนิดของถ่านหินที่มาของเถ้าลอย ขบวนการเผา อุณหภูมิที่ใช้เผา ด้วยเหตุนี้จึงมีการแยกประเภทของเถ้าลอยดังมาตรฐาน ASTM C618 เป็น Class F และ Class C

สำหรับข้อกำหนดทางด้านเคมีตามมาตรฐาน ASTM C618 ใช้ผลรวมของปริมาณออกไซด์ของซิลิกา อะลูมินาและเหล็กในเถ้าลอยโดยที่ Class F และ Class C ผลรวมร้อยละของออกไซด์ดังกล่าวอย่างน้อย 70 และ 50 ตามลำดับ ทั้งนี้การกำหนดดังกล่าวเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าในเถ้าลอยนั้นมีส่วนประกอบที่สามารถเกิดปฏิกริยาอย่างเพียงพอ นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์กับอัตราการเกิดปฏิกริยาปแซโซลานิกในระยะยาวด้วย สำหรับร้อยละของปริมาณซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) กำหนดให้ไม่เกิน 5 ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณซัลเฟตในเถ้าลอย มีผลต่อการพัฒนาความสามารถในการรับกำลังอัดและเวลาในการก่อตัว และยังมีผลเสียต่อคอนกรีตที่แข็งตัวอีกด้วย อย่างไรก็ตามยังมีส่วนช่วยเสริมในการเกิด Sulfate Attack

สำหรับปริมาณร้อยละความชื้นของเถ้าลอยไม่ควรเกิน 3 มิฉะนั้นจะเป็นอุปสรรคต่อการปฏิบัติงาน (Handling Difficulty) และสำหรับ Class C แล้ว จะเกิดปฏิกริยาไฮเดรชั่นขึ้นได้ง่ายนอกจากนี้ยังมีการกำหนดค่าร้อยละของน้ำหนักที่สูญเสียเนื่องจากการเผา (Loss on Ignition, LOI) ไว้ไม่เกิน 6 ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่ในเถ้าลอยหากมี LOI มากการควบคุมในด้าน Air entrainment ของคอนกรีตสดจะทำได้ยากและยังต้องการน้ำเพิ่ม ในคอนกรีตทั่วไปแล้วจากโรงไฟฟ้าจะมีค่า LOI ต่ำกว่า 6 มาก ร้อยละของปริมาณอัลคาไลน์ (Alkalies) ในรูปของโซเดียมออกไซด์ (Na_2O Equivalent) มากที่สุดไม่เกิน 1.5 ซึ่งเป็นข้อกำหนดเสริมใน ASTM C618 ทั้งนี้เนื่องจากใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เถ้าลอยที่มีปริมาณ CaO สูงจะมีโอกาสเกิดปฏิกริยาของ alkali-aggregate ขึ้นได้ แต่อย่างไรก็ตาม เถ้าลอยที่มีร้อยละของปริมาณอัลคาไลน์มากกว่า 1.5 จะนำมาใช้กับมวลรวมที่ไวต่อปฏิกริยาได้ก็ต่อเมื่อผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการไม่ปรากฏการขยายตัวจนเกิดความเสียหายได้ (Deleterious Expansion)

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้าลอยจากแหล่งต่างๆ

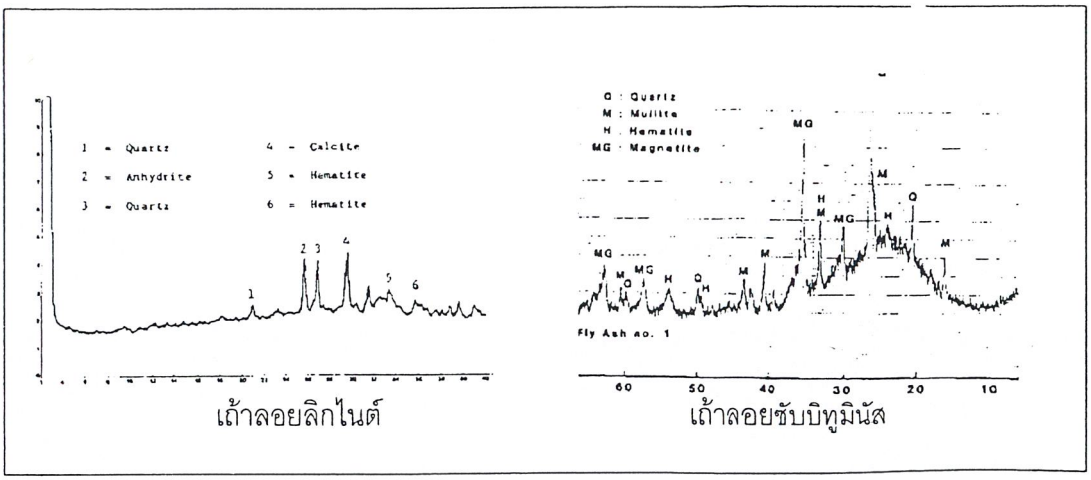
Sample Type	Chemical Composition (%)								
	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	Na2O	K2O	SO3	LOI
ซีเมนต์	20.62	5.22	3.1	64.99	0.91	0.07	0.5	2.7	1.13
แม่เมาะ	46.25	28.43	10.71	7.61	2.21	1.11	3.07	1.85	0.23
ระยอง	45.02	36.21	4.09	3.64	0.54	0.44	0.31	0.48	5.32
สมุทรสาคร	43.92	36.62	3.97	3.05	0.55	0.38	0.44	0.64	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	4.7

จะเห็นว่าเถ้าลอยจากแหล่งต่างๆในประเทศ ดังตารางที่ 2.5 สามารถจัดอยู่ใน Class F ได้แต่มีข้อที่น่าสังเกตคือ เถ้าลอยที่อยู่ใน Class F โดยทั่วไปจะมีปริมาณ CaO ค่อนข้างต่ำแต่ลักษณะเถ้าลอยถ่านหินในประเทศเราจะมี CaO ค่อนข้างสูง (มากกว่า 10%)

2) ส่วนประกอบทางแร่วิทยาของเถ้าลอย (Mineralogical Composition)

ขณะที่มีการเผาถ่านหินและมีการเย็นตัวลงของเถ้าลอยหลังจากการเผาทำให้องค์ประกอบทางแร่วิทยาของเถ้าลอยด้านการเกิดผลึก (Crystalline) แตกต่างกัน สำหรับเถ้าลอยลิกไนต์จะมีความเป็น Noncrystalline (glass) มากกว่า 90% อันเป็นส่วนที่สามารถเกิดปฏิกริยาได้ดี แต่ก็ยังคงมีองค์ประกอบของ Crystalline จำพวก Quartz Anhydrite Calcite Hematite Mullite เฉื่อยต่อการเกิดปฏิกริยา ทั้งนี้สามารถวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray diffraction ดังรูปที่ 2.2 จะพบว่าเถ้าลอยจากถ่านหินลิกไนต์จะมีองค์ประกอบของ Crystalline น้อยกว่าถ่านหินจากบิทูมินัสและแอนทราไซท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เถ้าลอยลิกไนต์ เถ้าลอยซับบิทูมินัส

รูปที่ 2.2 X-ray diffractogram สำหรับเถ้าลอยลิกไนต์ และเถ้าลอยจากบิทูมินัส

3) ปฏิกริยาทางเคมีของเถ้าลอย

ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในคอนกรีตที่มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสมจะมีปฏิกริยาไฮเดรชั่น ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกริยาของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และน้ำทำให้ได้สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($3CaO.2SiO_2.3H_2O$) แคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต ($3CaO.2Al_2O_3.3H_2O$) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) หลังจากนั้นสารปอซโซลานในที่นี้คือเถ้าลอยซึ่งมีส่วนผสมของซิลิกาออกไซด์และอลูมินาออกไซด์ลงในส่วนผสมคอนกรีตจะทำปฏิกริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ที่เหลือจากปฏิกริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เกิดปฏิกริยา Pozzolanic ได้สารไดแคลเซียมซิลิเกต ($2CaO.SiO_2$) และไตรแคลเซียมซิลิเกต ($3CaO.SiO_3$) เมื่อทำปฏิกริยากับน้ำจะได้ผลิตผลเช่นเดียวกับปฏิกริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์ แต่ปฏิกริยาไฮเดรชั่นในคอนกรีตที่มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสมที่เกิดขึ้นจะช้ากว่าปฏิกริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์ ด้วยเหตุนี้ในงานที่เป็นคอนกรีตหลาเมื่อใส่เถ้าลอยลงไปปฏิกริยาไฮเดรชั่นที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆจะทำให้คอนกรีตหลาระบายความร้อนได้ทันปฏิกริยาที่เกิดขึ้นแสดงเป็นรูปสมการเคมีได้ดังนี้

ปฏิกริยาระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับน้ำ (Hydration of portland cement)

$$2\,[2CaO.SiO_2] + 4H_2O \longrightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + Ca(OH)_2$$

$$2\,[3CaO.SiO_2] + 6H_2O \longrightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + 3Ca(OH)_2$$

$$2\,[3CaO.Al_2O_3] + 4H_2O \longrightarrow 3CaO.2Al_2O_3.3H_2O + Ca(OH)_2$$

$$2\,[3CaO.Al_2O_3] + 6H_2O \longrightarrow 3CaO.2Al_2O_3.3H_2O + 3Ca(OH)_2$$

ปฏิกริยาระหว่าง $Ca(OH)_2$ กับเถ้าลอยลิกไนต์ (Pozzolanic reaction)

$$3Ca(OH)_2 + 2.SiO_2 \longrightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O$$

$$3Ca(OH)_2 + 2.AL_2O_3 \longrightarrow 3CaO.2Al_2O_3.3H_2O$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามกลไกในการเกิดปฏิกริยาไฮเดรชั่นจะซับซ้อนกว่าที่นำสารปอซโซลานทำปฏิกริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์โดยตรง มีรายงานว่าเถ้าลอยจะหน่วงปฏิกริยาไฮเดรชั่นของไตรแคลเซียมอลูมิเนตซึ่งเป็นปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในช่วงแรก แต่จะหน่วงนานแค่ไหนขึ้นอยู่กับปริมาณซัลเฟตปริมาณอัลคาไลน์ และปริมาณแคลเซียมในเถ้าลอย

2.2.2.8 คุณสมบัติพื้นฐานทางกายภาพของเถ้าลอย

คุณสมบัติทางกายภาพโดยทั่วไปของเถ้าลอยจะแสดงพฤติกรรมของคอนกรีตที่มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสม (Fly Ash concrete) แต่คุณสมบัติของเถ้าลอยอาจเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการเผาไหม้ เช่น มีการเผาน้ำมันเตาร่วมกับการเผาถ่านหิน มีการเติมวัสดุบางประเภทเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ และลดการกัดกร่อน ดังนั้นการทดสอบคุณสมบัติต่างๆของเถ้าลอยเพื่อนำไปใช้งาน อาศัยข้อกำหนดทางกายภาพตามมาตรฐาน ASTM C618 ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ข้อกำหนดทางกายภาพมาตรฐาน ASTM C618-97

ข้อกำหนดด้านกายภาพ	Class of Fly Ash	
	F	C
ความละเอียด ส่วนที่ค้างบนตะแกรงเบอร์325 หลังการร่อนแบบเปียก, max%	34	34
หาดัชนีกำลัง โดยผสมกับอร์ตแลนด์ซีเมนต์		
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
การกำหนดความสม่ำเสมอ		
- ความหนาแน่น, max จากค่าเฉลี่ย %	5	5
- ส่วนที่ค้างบนตะแกรงเบอร์325, max จากค่าเฉลี่ย %	5	5
Multiple Factor ผลคูณระหว่าง %LOI กับ % ของปริมาณที่ค้างตะแกรงเบอร์325	255	-
Drying Shrinkage ของแท่งมอร์ต้าที่ 28 วัน max% ที่แตกต่างจากตัวควบคุม	0.03	0.03

1) รูปร่างของเถ้าลอย

เถ้าลอยโดยทั่วไปจะมีรูปร่างส่วนใหญ่มีลักษณะค่อนข้างกลมหรือเกือบกลมรูปบางครั้งอาจพบลักษณะเป็นรูพรุน ซึ่งมีน้ำหนักเบาลอยน้ำได้หรืออาจพบในลักษณะที่มีรูปร่างไม่แน่นอน ซึ่งแตกต่างจากซีเมนต์ที่มีลักษณะเป็นแท่งหรือสี่เหลี่ยมดังรูปที่ 2.3 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เผาถ่านหิน ความละเอียดของถ่านหินก่อนจะเผาและชนิดของถ่านหิน จากการศึกษาเถ้าลอยจากแหล่งผลิตต่างๆ

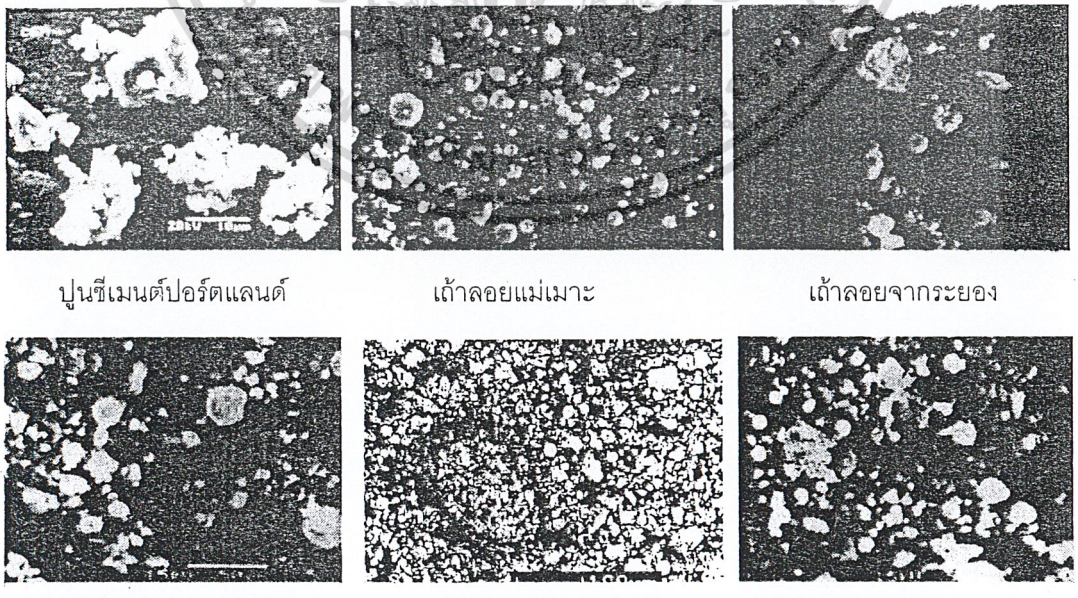
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบด้วยเถ้าลอยถ่านหินลิกไนต์ อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง เถ้าลอยถ่านหินชนิดซับบิทูมินัสจาก จ.ระยอง จ.สมุทรสาคร เถ้าลอยถ่านหินแอนทราไซท์จาก จ.กาญจนบุรี และจากการนำเข้าต่างประเทศเมื่อเปรียบเทียบรูปร่างและขนาดของอนุภาคโดยใช้ Scanning Eleatron Microscope (SEM) ดังรูปที่ 2.4

เถ้าลอยลักษณะกลม เถ้าลอยลักษณะที่มีรูพรุน เถ้าลอยที่มีลักษณะไม่แน่นอน

รูปที่ 2.3 ภาพขยาย SEM ของอนุภาคเถ้าลอยที่มีลักษณะต่างๆกัน

จากจุดเด่นทางด้านรูปร่างของเถ้าลอยที่มีทรงกลมหลังจากทดแทนซีเมนต์ในส่วนผสมของคอนกรีตแล้วจะเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของคอนกรีตทำให้เนื้อคอนกรีตแน่นทึบ หรือในการเทคอนกรีตในที่แคบๆที่ต้องการให้ไหลลื่นได้ซึ่งคอนกรีตบางชนิดจำเป็นต้องอาศัยคุณสมบัติเหล่านี้ แต่ถ้ามีรูปร่างไม่แน่นอนหรือมีรูพรุนอาจมีผลต่อปริมาณน้ำที่ใช้มีผลให้กำลังอัดของส่วนผสมต่ำลงได้



ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เถ้าลอยแม่เมาะ เถ้าลอยจากระยอง

เถ้าลอยจากสมุทรสาคร เถ้าลอยจากกาญจนบุรี เถ้าลอยจากต่างประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.4 ภาพขยาย SEM ของอนุภาคปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้าลอยจากแหล่งต่างๆ

2) ความละเอียด (Fineness)

ขนาดหรือพื้นที่ผิวจำเพาะของเถ้าลอยจะบ่งบอถึงความสามารถในการทำปฏิกริยา Pozzolanic ซึ่งจะใช้การทดสอบความละเอียดของเถ้าลอย ตามมาตรฐาน ASTM C430 โดยกำหนดปริมาณของเถ้าลอยที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 โดยวิธีร่อนแบบเปียก เนื่องจากเถ้าลอยที่มีอนุภาคหยาบจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะน้อยทำปฏิกริยาได้ช้ากว่าอนุภาคที่ละเอียดกว่า นั่นคือส่วนที่ผ่านตะแกรงแล้วจะทำปฏิกริยาได้มีประสิทธิภาพดีกว่า นอกจากนี้ยังจะบอกขนาดของอนุภาคจากการวัดพื้นที่ผิวจำเพาะโดยวิธีของเบลน (Blaine Specific surface-area technique) ตามมาตรฐาน ASTM C204 หรือวิธี Brunauer-Emmett-Teller (BET) มีหน่วยเป็นตารางเซ็นติเมตรต่อกรัม

2.2.3 น้ำ

น้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการใช้ผสมส่วนผสมเพื่อให้เกิดปฏิกริยาไฮเดรชั่น และปฏิกริยาปอซโซลานิค และเป็นตัวทำให้ส่วนผสมมีความข้นเหลวที่เหมาะสม

2.3 การศึกษางานที่เคยใช้ขี้เถ้าลอยลิกไนต์

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา การใช้ประโยชน์ของขี้เถ้าลอยลิกไนต์ได้เริ่มมีการพัฒนามากขึ้น โดยเฉพาะในต่างประเทศได้มีการใช้ประโยชน์จากขี้เถ้าลอยลิกไนต์ในด้านวิศวกรรมโยธาและปฐพีเป็นจำนวนมาก และในเวลาต่อมาได้มีการขยายความรู้เข้ามายังประเทศไทยมากขึ้น

งานด้านวิศวกรรมโยธา (Symposium on Environmental Geotechnics and Problematic Soils and Rock by AIT P. 1-24) ได้มีการนำขี้เถ้าลอยลิกไนต์มาเป็นส่วนผสมเพื่อใช้ในการผลิตซีเมนต์, ใช้เป็นวัสดุเสมือนมวลรวมละเอียดและใช้เป็นทั้งวัสดุทดแทนซีเมนต์กับมวลรวมละเอียดในคอนกรีต

นอกจากนี้ยังสามารถนำขี้เถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ทำอิฐสำหรับการก่อสร้างได้ และเป็นเสมือนตัวผสมใน bituminous concrete, ยางและพลาสติก ส่วนในงานด้านปฐพีได้มีการนำขี้เถ้าลอยลิกไนต์มาใช้เป็นวัสดุถมกับหลังกำแพงกันดินเพื่อลดแรงดันดินด้านข้าง, เป็นวัสดุทำชั้นพื้นทางและรองพื้นทาง, ใช้ทำเขื่อนหรือคันดินถม และเป็นวัสดุอัดฉีดความดันสูงเพื่อซ่อมแซมฐานรากหรือคันดินถมที่ยุบตัวเป็นโพรง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของเถ้าลอย

ในปัจจุบันเถ้าลอยที่ผลิตได้ในแต่ละวันมีปริมาณค่อนข้างสูง หากสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ได้ก็เป็นรายได้เพิ่มของหน่วยงาน แต่หากว่าไม่สามารถใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์แล้วจะเป็นภาระในการกำจัดทิ้งซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ นอกจากนี้บริเวณที่นำไปทิ้งก็จะทำประโยชน์อะไรไม่ได้ อันเป็นการสูญเสียพื้นที่ส่วนนั้นไป

เถ้าลอยเป็นวัสดุที่ไม่ใช้แล้วซึ่งจเข้าข่ายถูกกำหนดให้เป็นสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) ภาคผนวกที่ 1 บัญชีลักษณะและคุณสมบัติของสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว หมวด 1 ข้อ 5 ประเภทสารที่ถูกชะล้างได้ (Leachable substance) ซึ่งเมื่อนำมาสกัดด้วยวิธีสกัดสาร (Leachate extraction procedure) และวิธีวิเคราะห์น้ำสกัดตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดในข้อ 3 ของภาคผนวกที่ 2 มีปริมาณโลหะหนักหรือวัตถุมีพิษในน้ำสกัดหรือมากกว่าค่าใดค่าหนึ่งที่กำหนดไว้ แต่จากการวิเคราะห์เถ้าลอยลิกไนต์ โรงไฟฟ้าแม่เมาะพบว่าปริมาณโลหะหนักหรือวัตถุมีพิษในน้ำสกัดไม่เกิน ดังตารางที่ 2.7 จากผลการวิเคราะห์พบว่าไม่เข้าข่ายเป็นสารที่ต้องกำจัดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540) อย่างไรก็ตามทางการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้จัดการตามหลักวิชาการ

ตารางที่ 2.7 ปริมาณโลหะหนักที่วิเคราะห์ตัวอย่างเถ้าลอยลิกไนต์แม่เมาะหน่วยที่ 12

ตัวอย่างที่วิเคราะห์	โลหะหนักที่กำหนด, มิลลิกรัมต่อลิตร							
	Ag	Ba	Cr	Pb	Cd	As	Se	Hg
ตัวอย่างที่ 1	nd	0.18	0.05	nd	nd	nd	nd	nd
ตัวอย่างที่ 2	nd	0.18	0.06	nd	nd	nd	nd	nd
ตัวอย่างที่ 3	nd	0.16	0.09	nd	nd	0.04	0.04	nd
ตัวอย่างที่ 4	nd	0.12	0.11	nd	nd	0.07	0.05	nd
ตัวอย่างที่ 5	nd	0.2	0.05	nd	nd	nd	nd	nd
ตัวอย่างที่ 6	nd	0.17	0.1	nd	nd	nd	nd	nd
ตัวอย่างที่ 7	nd	0.13	0.13	nd	nd	0.04	0.05	nd
ตัวอย่างที่ 8	nd	0.11	0.15	nd	nd	0.05	0.06	nd
ข้อกำหนด	5	100	5	5	1	5	5	0.2

ดังนั้นหากสามารถนำเถ้าลอยไปใช้ได้ในปริมาณที่มาก ก็จะสามารถลดหรือกำจัดปัญหานี้ได้ ซึ่งนอกจากจะแก้ปัญหาที่ตรงจุดแล้วยังเป็นการนำสิ่งที่ไม่มีค่าหรือมีค่าน้อยมาทำให้เกิดประโยชน์และมีค่าขึ้นอย่างมากซึ่งเป็นการประหยัดทั้งทรัพยากรและพลังงานไปพร้อมกัน

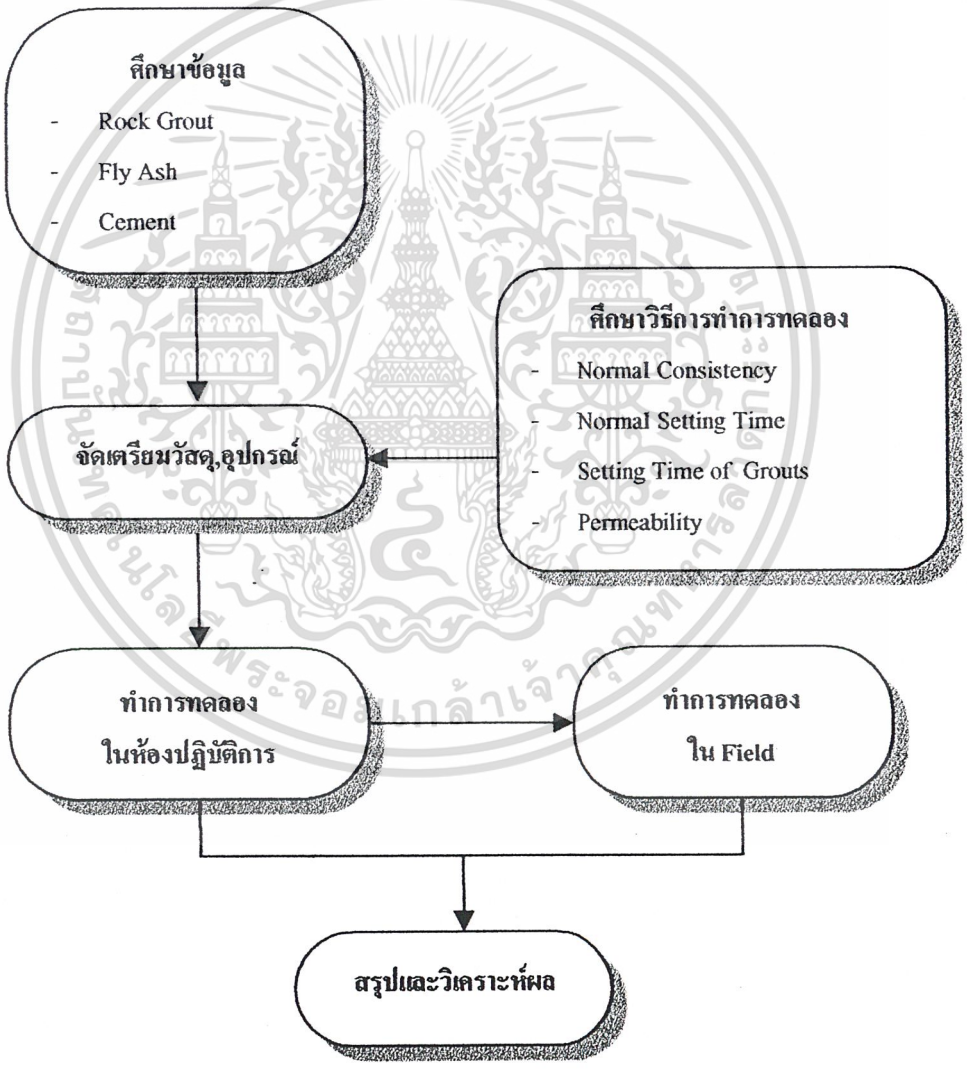
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการศึกษา

3.1 การศึกษาข้อมูล

เป็นการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ ขี้เถ้าลอยลิกไนต์ ซีเมนต์ และวิธีการในการปรับปรุงฐานรากเขื่อนมวลหิน เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการออกแบบทดลอง ในห้องปฏิบัติการ และในสนามจริง กระบวนการดำเนินการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 กระบวนการการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

33942

3.2 การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์

เป็นการจัดเตรียม วัสดุและอุปกรณ์ตลอดจนการศึกษาถึงมาตรฐานข้อกำหนดของ วัสดุและอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในการทดลอง

3.2.1 วัสดุ

- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ซึ่งมีคุณสมบัติตามกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มอก. 15-2514/2517 ประเภทที่ 1 และมาตรฐานอเมริกัน ASTM C150 Type 1 ซึ่งในการทดลองนี้ ใช้ปูนซีเมนต์ตราช้างของเครือซีเมนต์ไทย

- ขี้เถ้าลอยลิกไนต์ ได้จากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนแม่เมาะ จ.ลำปาง คุณสมบัติทางด้านกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีของขี้เถ้าลอยลิกไนต์แม่เมาะที่ใช้ในการทดลองและซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เปรียบเทียบกับ มาตรฐาน ASTM สำหรับวัสดุ Pozzolana

Properties	Pozzolana Class			Mea Moh	Cement
	N	F	C	Lignite Fly Ash	Type I
Mechanical Properties					
Specific Gravity	-	-	-	1.9	3.00-3.15
Bulk Density (g/l)	-	-	-	0.99	-
Finess					
% Retaining 45 mm,max%	34	34	34	44.74	-
Blain Finess (cm^2/g)	-	-	-	2289	2800 (min)
Chemical Composition					
Silicon dioxide (Sio2) + Aluminium oxide (Al2O3) + Iron oxide (Fe2O3),min%	70	70	50	73.89	20.5-39
Silicon dioxide (Sio2)	-	-	-	37.34	17-25
Aluminium oxide (Al2O3)	-	-	-	24.56	5.35
Iron oxide (Fe2O3)	-	-	-	12.05	0.5-6
Calcium oxide (CaO),%	-	-	-	11.75	60-67
Magnicium oxide (MgO),%	-	-	-	2.28	0.1-5.5
Potassium oxide (K2O),%	-	-	-	2.94	0.5-1.3
Sodium oxide (Na2O),max%	1.5	1.5	1.5	0.9	
Sulfur trioxide (SO3),max%	4	5	5	1.83	1-3
Manganese oxide (MnO),%	-	-	-	0.093	-
Loss on ignition,max%	10	6	6	1.36	-
Moisture Content,%	-	-	-	0.11	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- น้ำ ใช้น้ำประปาจากโรงปฏิบัติการวิศวกรรมโยธา ของภาควิชาวิศวกรรมโยธา

3.2.2 อุปกรณ์

- เครื่องผสมซีเมนต์มอร์ต้า ใช้สำหรับกวนส่วนผสม ซีเมนต์ ขี้เถ้าลอยลิกไนต์และน้ำ เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับใช้ในการทดสอบต่างๆ

- Vicat Apparatus ใช้ทดสอบหาค่าความข้นเหลวปกติและระยะเวลาการก่อตัวของส่วนผสมที่ได้ออกแบบไว้สำหรับการทดลอง

- ชุดทดสอบ Permeability ใช้ทดสอบค่าการซึมผ่านได้ของน้ำ

3.3 การทดลอง

การทดลองประกอบด้วย การทดลองในห้องปฏิบัติการและการทดลองในสนาม

3.3.1 การทดลองในห้องปฏิบัติการ

การทดลองในห้องปฏิบัติการ เป็นการทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมของ ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกับขี้เถ้าลอยลิกไนต์ ในปริมาณเปอร์เซ็นต์ต่างๆ ในสภาพที่สอดคล้องกับสภาพการทำงานจริงของการปรับปรุงฐานรากเขื่อนมวลหิน โดยวิธีการอัดฉีดน้ำ และพิจารณาหาสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง

ขั้นตอนและข้อกำหนดในการพิจารณาการทดลองประกอบด้วย

1. การเลือกใช้ วัสดุและอุปกรณ์
2. ใช้มาตรฐานของ ASTM ในการทดลองเป็นหลัก
3. การพิจารณาเลือกอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ผสมกับขี้เถ้าลอยลิกไนต์ (W/C+F) พิจารณาจากอัตราส่วนที่ใช้ในการทำงานจริงและได้ดัดแปลงให้เหมาะสมกับการทดลอง
4. เลือกปริมาณขี้เถ้าลอยลิกไนต์เป็นเปอร์เซ็นต์ในการเข้าไปแทนที่ซีเมนต์ (%F=F/F+C)
5. อัตราส่วนทั้งหมดที่เลือกใช้เป็นอัตราส่วนโดยน้ำหนัก
6. การทดลองในห้องปฏิบัติการประกอบด้วย

6.1การทดลองหาความข้นเหลวปกติของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกับขี้เถ้าลอยลิกไนต์ที่ปริมาณเปอร์เซ็นต์ต่างๆ ตามมาตรฐาน ASTM C187-86

6.2 การทดลองหาระยะเวลาการก่อตัว ณ ความข้นเหลวปกติของ ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกับขี้เถ้าลอยลิกไนต์ที่ปริมาณเปอร์เซ็นต์ขี้เถ้าลอยลิกไนต์ 0, 20, 40, 60, 80, 85 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ตามมาตรฐาน ASTM C191

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 การทดลองหาระยะเวลาการก่อตัวขั้นสุดท้าย ณ ความข้นเหลวออกแบบสำหรับงานอัดฉีด (ในการทดลองนี้ใช้อัตราส่วน W/C+F = 1:1, 0.8:1 และ 0.5:1) ของ ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกับขี้เถ้าลอยลิกไนต์ที่ปริมาณเปอร์เซ็นต์ต่างๆ ตามมาตรฐาน ASTM C953-87

6.4 การทดลองหาค่าการซึมผ่านได้ของน้ำของส่วนผสม ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกับขี้เถ้าลอยลิกไนต์ที่ปริมาณเปอร์เซ็นต์ขี้เถ้าลอยลิกไนต์เท่ากับ 0, 20, 40, 60, 80, 85 และ 90 เปอร์เซ็นต์

จำนวนตัวอย่างทดลองทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงจำนวนตัวอย่างทั้งหมดสำหรับการทดลองในห้องปฏิบัติการ

การทดลองหาระยะเวลาการก่อตัว ณ ความข้นเหลวสำหรับการอัดฉีด

W/C+F	%F	จำนวนตัวอย่างทดสอบ
1.2:1	0	3
	20	3
	40	3
	60	3
	80	3
	85	3
	90	3
1:01	0	3
	20	3
	40	3
	60	3
	80	3
	85	3
	90	3
0.8:1	0	3
	20	3
	40	3
	60	3
	80	3
	85	3
	90	3
0.5:1	0	3
	20	3
	40	3
	60	3
	80	3
	85	3
	90	3

การทดลองหาความข้นเหลวปกติ

%F	จำนวนตัวอย่างทดสอบ
0	2
20	2
40	2
60	2
80	2
85	2
90	2

การทดลองหาค่าการซึมผ่านได้ของน้ำ

W/C+F	%F	จำนวนตัวอย่างทดสอบ
1:1	0	1
	20	1
	40	1
	60	1
	80	1
	85	1
	90	1

การทดลองหาระยะเวลาการก่อตัว ณ ความข้นเหลวปกติ

%F	จำนวนตัวอย่างทดสอบ
0	1
20	1
40	1
60	1
80	1
85	1
90	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

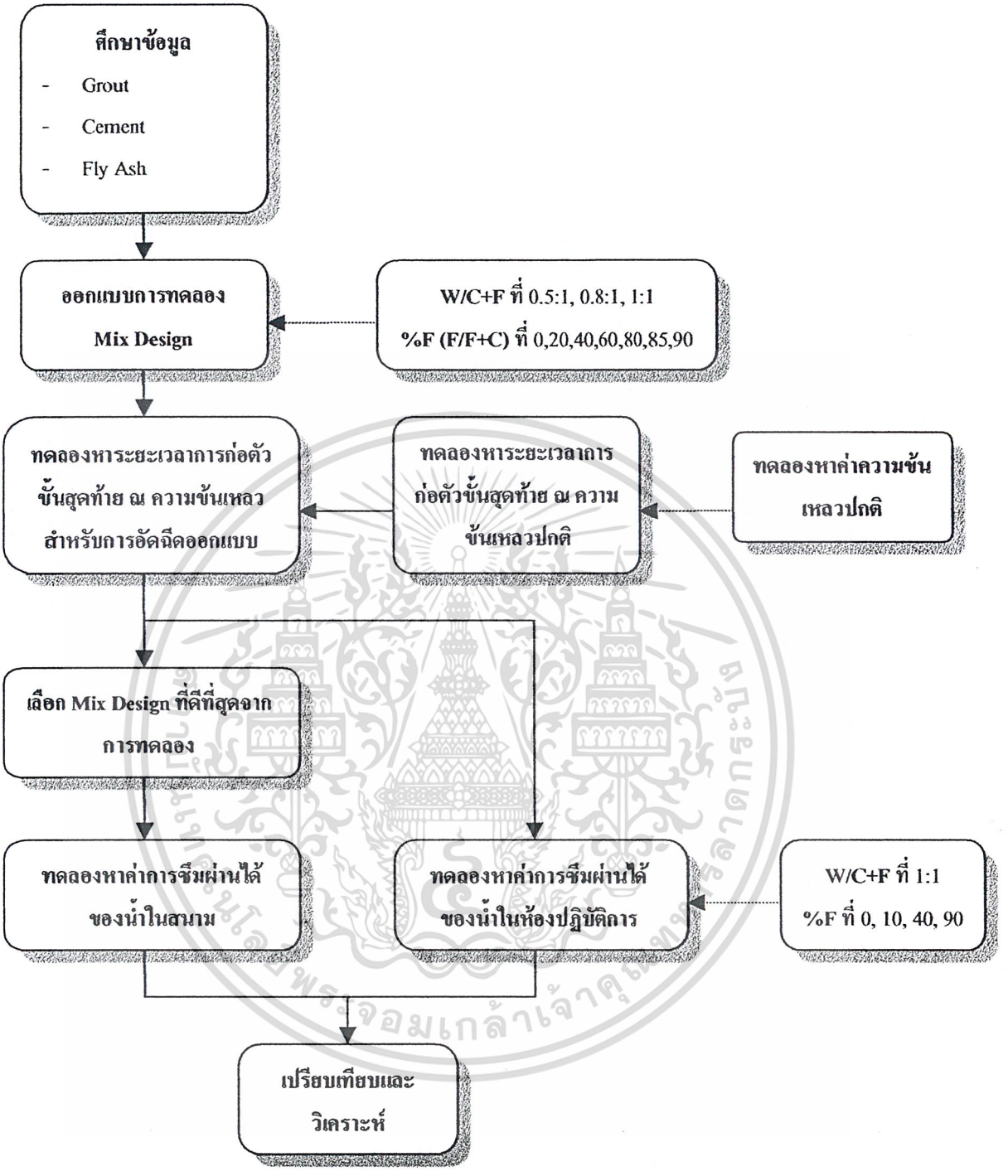
3.3.2 การทดลองในสนาม

หลังจากที่ได้เลือกส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองการหาระยะเวลาการก่อตัว ณ ความข้นเหลวสำหรับการอัดฉีดแล้ว ก็นำส่วนผสมไปทำงานจริงที่ภาคสนามเพื่อทดสอบหาค่าการซึมผ่านได้ของน้ำของส่วนผสมที่เลือก แล้วนำค่ามาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลกับการทดลองหาค่าการซึมผ่านได้ของน้ำในห้องปฏิบัติการ

โดยในการทดสอบได้ทำการเจาะเป็นหลุมสำหรับการอัดฉีด 3 หลุม ในลักษณะเป็นสามเหลี่ยมด้านเท่า เจาะลึกหลุมละ 5 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตามเครื่องมือที่ใช้ และเมื่อส่วนผสมที่ทำการอัดฉีดได้ก่อตัวเสร็จสิ้นแล้ว ก็ทำการทดสอบค่าการซึมผ่านได้ของน้ำ โดยเจาะหลุมทดสอบตรงบริเวณกึ่งกลางของหลุมเจาะที่ได้ทำการอัดฉีดทั้งสามเพื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ต่อไป

กระบวนการทดลองทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงกระบวนการทดลองทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

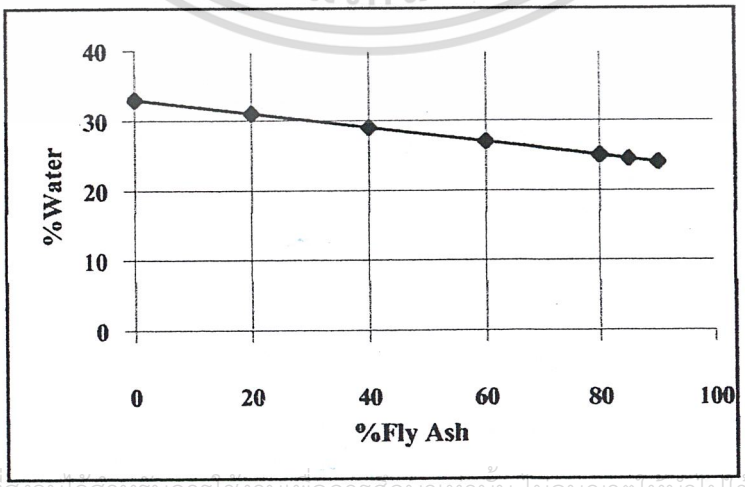
บทที่ 4
ผลการศึกษาและการวิเคราะห์

4.1 การทดลองหาความข้นเหลวปกติ

จากผลการทดลองหาค่าความข้นเหลวปกติ ของซีเมนต์ผสมกับขี้เถ้าลอยลิกไนต์ ในปริมาณเปอร์เซ็นต์ต่างๆ ดังแสดงในภาคผนวก ก ซึ่งแสดงผลการทดลองและนำผลการทดลองมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ ระหว่าง ระยะยุบตัวของเข็ม Plunger กับ เปอร์เซ็นต์ของน้ำ(%W) เพื่อวิเคราะห์หาค่าความข้นเหลวปกติ ของซีเมนต์ผสมกับขี้เถ้าลอยลิกไนต์ ในปริมาณขี้เถ้าลอยลิกไนต์ 0, 20, 40, 60, 80, 85 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ได้ผลการวิเคราะห์ค่าความข้นเหลวปกติ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความข้นเหลวปกติและระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์ผสมกับขี้เถ้าลอยลิกไนต์ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ

%F	%W	ระยะเวลาการก่อตัว(นาที)	
		ขั้นต้น	ขั้นสุดท้าย
0	33%	165	285
20	31%	195	315
40	29%	225	345
60	27%	240	405
80	25%	285	450
85	24.50%	285	480
90	24%	320	515



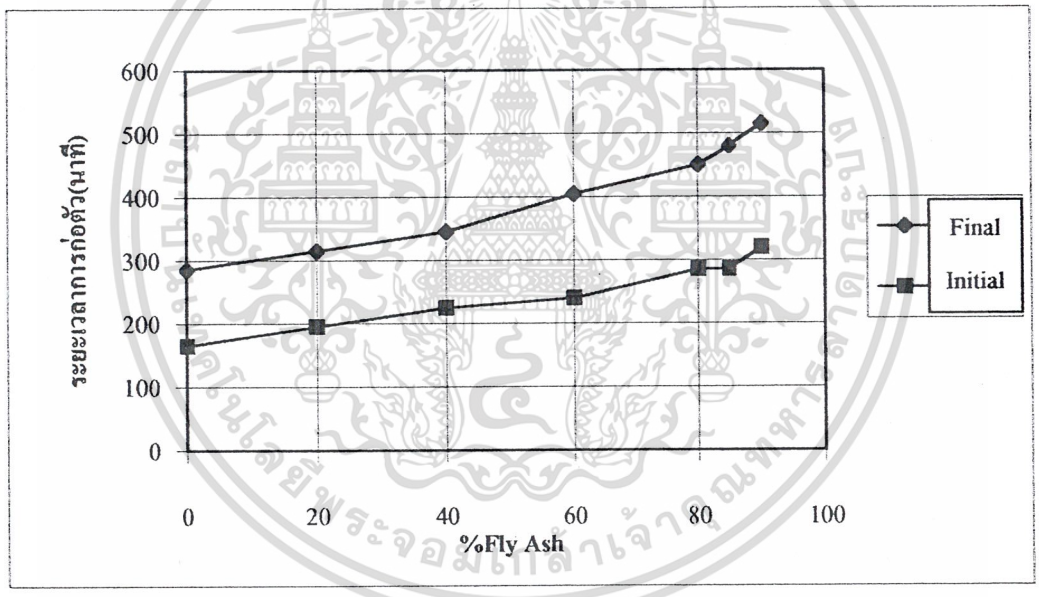
รูปที่ 4.1 แสดงกราฟระหว่างเปอร์เซ็นต์ขี้เถ้าลอยลิกไนต์กับปริมาณน้ำเพื่อให้ได้ความข้นเหลวปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองสรุปได้ว่า ปริมาณขี้เถ้าลอยลิกไนต์ที่เข้าไปแทนที่ซีเมนต์ยิ่งมาก ความต้องการน้ำเพื่อที่จะให้ส่วนผสมได้ค่าความข้นเหลวปกติก็จะยิ่งน้อยลง หรือกล่าวได้ว่า เราอาจใช้ขี้เถ้าลอยลิกไนต์เป็นวัสดุในการลดน้ำ และสามารถใช้ขี้เถ้าลอยลิกไนต์ในการเพิ่มความสามารถในการทำงานได้ (Workability) ของงานที่เกี่ยวกับซีเมนต์หรือคอนกรีต แต่ทั้งนี้ต้องดูผลกระทบของขี้เถ้าลอยลิกไนต์ที่มีต่อคุณสมบัติทางด้านอื่นด้วย

4.2 การทดลองหาระยะเวลาการก่อตัว ณ ความข้นเหลวปกติ

จากผลการทดลองหาระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์ผสมกับขี้เถ้าลอยลิกไนต์ ณ ความข้นเหลวปกติในปริมาณเปอร์เซ็นต์ขี้เถ้าลอยลิกไนต์ต่างๆ ดังแสดงในภาคผนวก ข และตารางที่ 4.1 สามารถนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะเวลาการก่อตัว และปริมาณเปอร์เซ็นต์ขี้เถ้าลอยลิกไนต์ที่เข้าไปแทนที่ซีเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงระยะเวลาการก่อตัวกับปริมาณขี้เถ้าลอยลิกไนต์

จากกราฟรูปที่ 4.2 เราสามารถสรุปได้ว่า ระยะเวลาในการก่อตัวของของผสม เป็นปฏิภาคโดยตรง กับปริมาณขี้เถ้าลอยลิกไนต์ที่เข้าไปแทนที่ซีเมนต์

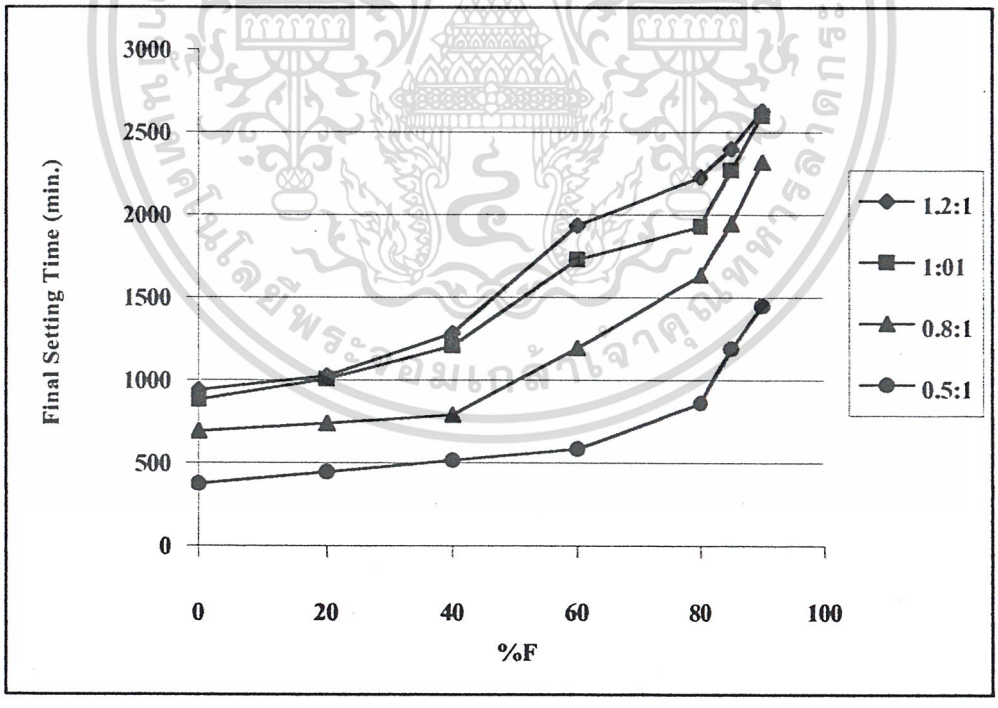
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองหาระยะเวลาการก่อตัว ณ ความข้นเหลวออกแบบสำหรับการอัดฉีด

จากผลการทดลองหาระยะเวลาการก่อตัว ณ ความข้นเหลวออกแบบสำหรับการอัดฉีด (W/C+F = 1:1, 0.8:1 และ 0.5:1) ของซีเมนต์ผสมกับขี้เถ้าลอยลิกไนต์ ในปริมาณเปอร์เซ็นต์ต่างๆ (%F = 0, 20, 40, 60, 80, 85 และ 90) ดังแสดงในภาคผนวก ค และข้อมูลดังตารางที่ 4.2 สามารถนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะเวลาการก่อตัว กับ ปริมาณขี้เถ้าลอยลิกไนต์ ที่เข้าไปแทนที่ซีเมนต์ ดังรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 แสดงระยะเวลาการก่อตัวขั้นสุดท้าย(นาที)

		%F						
		0	20	40	60	80	85	90
W/C+F	1.2:1	940	1025	1285	1935	2230	2400	2630
	1:1	880	1005	1205	1730	1930	2270	2600
	0.8:1	690	740	790	1195	1635	1945	2320
	0.5:1	375	445	515	585	860	1190	1450



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะเวลาก่อตัวขั้นสุดท้าย กับ เปอร์เซ็นต์ขี้เถ้าลอยลิกไนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูปที่ 4.3 เราสามารถสรุปได้ว่า อัตราส่วนของน้ำต่อส่วนผสม(W/C+F) และปริมาณขี้เถ้าลอยลิกไนต์ที่เข้าไปแทนที่ซีเมนต์(%F) เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อระยะเวลาการก่อตัวของส่วนผสม กล่าวคือ อัตราส่วนของน้ำต่อส่วนผสม และปริมาณขี้เถ้าลอยลิกไนต์ เป็นปฏิภาคโดยตรงกับระยะเวลาการก่อตัวของส่วนผสม และจากการสังเกตเส้นกราฟจะพบว่า ในช่วงแรกที่ใช้ปริมาณขี้เถ้าลอยลิกไนต์น้อยๆนั้น เส้นกราฟจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และในช่วงท้าย เส้นกราฟจะมีลักษณะแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นเส้นโค้ง

4.4 ข้อบกพร่องในการทดลองหาระยะเวลาการก่อตัว

ข้อบกพร่องในการทดลองการหาระยะเวลาการก่อตัว ณ ความข้นเหลวออกแบบสำหรับการอัดฉีด ของซีเมนต์ผสมกับขี้เถ้าลอยลิกไนต์ สามารถสรุปเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

1) อุณหภูมิ ในการทดลองไม่สามารถควบคุมให้คงที่ได้ และการทดลองใช้เวลานานกว่าจะเสร็จสิ้นอุณหภูมิจึงขึ้นลงตามเวลา

2) ช่วงวันเวลาที่เริ่มต้นทำการทดลอง ไม่ใช่ช่วงเวลาเดียวกัน ซึ่งจะมีผลโดยตรงกับอุณหภูมิ

3) เข็ม Needle ที่ใช้ในการทดลองเมื่อใช้ไประยะหนึ่งจะเกิดการงอ

4) กรวย(Mold) ตามมาตรฐาน ASTM มีไม่เพียงพอ จึงใช้ท่อ PVC ตัดให้มีขนาดใกล้เคียงกัน และก่อนทำการทดลองได้ทดลองเปรียบเทียบ ระยะเวลาการก่อตัวของตัวอย่างที่ใช้กรวย(Mold) กับท่อ PVC แล้วพบว่าได้ระยะเวลาการก่อตัวที่ใกล้เคียงกัน

4.5 การเลือกอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดจากการทดลอง

การเลือกอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดจากการทดลองในครั้งนี้ ได้เลือกอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ผสมกับขี้เถ้าลอยลิกไนต์ (W/C+F) เท่ากับ 1:1 และปริมาณขี้เถ้าลอยลิกไนต์ที่เข้าไปแทนที่ซีเมนต์ (%F) เท่ากับ 40%

เหตุผลในการเลือกอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ผสมกับขี้เถ้าลอยลิกไนต์ (W/C+F) เท่ากับ 1:1 คือ ในการทำงานอัดฉีดน้ำปูนจริงๆนั้น อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ที่เข้มข้นที่สุดเท่ากับ 1:1 ซึ่งถ้าเลือกอัตราส่วนที่เข้มข้นกว่านี้น้ำปูนที่อัดฉีดเข้าไปอาจจะเข้าไปแทรกซึมในรอยแยกของหินได้ไม่ดีพอ และเป็นการสิ้นเปลืองวัสดุที่ใช้ด้วย

สำหรับการเลือกปริมาณขี้เถ้าลอยลิกไนต์ที่เข้าไปแทนที่ซีเมนต์ (%F) เท่ากับ 40% เนื่องจากเมื่อพิจารณาเส้นกราฟในรูปที่ 4.2 จุดที่ %F เท่ากับ 40% นั้นเป็นจุดที่เส้นกราฟเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความชันขึ้นอย่างรวดเร็ว และเมื่อพิจารณาถึงระยะเวลาในการก่อตัวขั้นสุดท้ายจะได้ระยะเวลาประมาณ 20 ชั่วโมง 5 นาที ซึ่งน้อยกว่า 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นที่ยอมรับได้ในการทำงานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การทดลองหาค่าการซึมผ่านได้ของน้ำ

การทดลองหาค่าการซึมผ่านได้ของน้ำ ได้ทำการทดลองทั้งในสนามและในห้องปฏิบัติการซึ่งได้ผลดังนี้

การทดลองในสนาม

หลังจากได้เลือกอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดจากห้องปฏิบัติการแล้ว ก็นำอัตราส่วนผสมที่ได้ไปทดลองจริงในสนาม ซึ่งผลการทดสอบค่าการซึมผ่านได้ของน้ำน้อยมาก เท่ากับ ศูนย์ แสดงว่าอัตราส่วนผสมที่เลือกสามารถใช้งานได้จริง

การทดลองในห้องปฏิบัติการ

วัตถุประสงค์ของการทดลองในห้องปฏิบัติการก็เพื่อจะหาความสัมพันธ์ ระหว่างค่าการซึมผ่านได้ของน้ำ กับ เปอร์เซ็นต์ขี้เถ้าลอยลิกไนต์ที่เข้าไปแทนที่ซีเมนต์ (ซึ่งการทดลองนี้ได้เลือก %F เท่ากับ 0, 20, 40, 60, 80, 85 และ 90 เปอร์เซ็นต์) แต่ผลที่ได้จากการทดลองปรากฏว่า ค่าการซึมผ่านได้ของน้ำของทุกตัวอย่าง เท่ากับ ศูนย์

4.7 ข้อบกพร่องในการทดลองหาค่าการซึมผ่านได้ของน้ำ

ข้อบกพร่องในการหาค่าการซึมผ่านได้ของน้ำสามารถสรุปได้ดังนี้

ในการทดลองในห้องปฏิบัติการการเตรียมตัวอย่างไม่สามารถทำตัวอย่างให้มีสภาพเหมือนกับสภาพการอัดฉีดจริงได้ เนื่องจากในการอัดฉีดจริงๆนั้น ได้กระทำที่ความดันสูงต่างๆกัน แต่ในการทดลองไม่ได้ใช้ความดันในการเตรียมตัวอย่างแต่อย่างใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

จากผลการศึกษาและการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1) ในการทดลองหาค่าความข้นเหลวปกติของซีเมนต์ผสมกับขี้เถ้าลอยลิกไนต์ ปรากฏว่าเมื่อใช้ปริมาณขี้เถ้าลอยลิกไนต์เข้าไปแทนที่ซีเมนต์ยิ่งมาก ความต้องการน้ำในการเข้าไปทำปฏิกริยากับส่วนผสมกลับน้อยลง ซึ่งสนับสนุนกับข้อมูลที่ว่า ขี้เถ้าลอยลิกไนต์สามารถเข้าไปเพิ่มความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตหรือซีเมนต์มอร์ต้า

2) ระยะเวลาในการก่อตัวของส่วนผสมขึ้นอยู่กับ อัตราส่วนของน้ำต่อส่วนผสม (W/C+F) และปริมาณขี้เถ้าลอยลิกไนต์ที่เข้าไปแทนที่ซีเมนต์ (%F) คือถ้าอัตราส่วนทั้งสองดังกล่าวยิ่งมาก ระยะเวลาในการก่อตัวก็จะมากตามด้วย

3) จากข้อมูลที่ได้ทำการศึกษามาพบว่า ขี้เถ้าลอยลิกไนต์ที่ผสมกับซีเมนต์จะเป็นตัวที่เข้าไปลดความพรุนของคอนกรีตหรือมอร์ต้าได้ ดังนั้นผลการทดลองหาค่าการซึมผ่านได้ของน้ำในห้องปฏิบัติการควรจะมีแนวโน้มลดลง เมื่อใช้ปริมาณขี้เถ้าลอยลิกไนต์ผสมเพิ่มมากขึ้น แต่จากผลการทดลองค่าการซึมผ่านได้ของน้ำเป็นศูนย์ ซึ่งอาจจะเป็นข้อจำกัดของเครื่องมือที่ใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ในการทดลองไม่สามารถจะทดลองหาระยะเวลาการก่อตัวที่อัตราส่วนน้ำต่อส่วนผสม ที่เจือจางกว่า 1.2:1 ได้ เนื่องจากปริมาณน้ำที่มากเกินไปจนไม่มีเนื้อของส่วนผสมที่จะใช้ทำการทดลอง

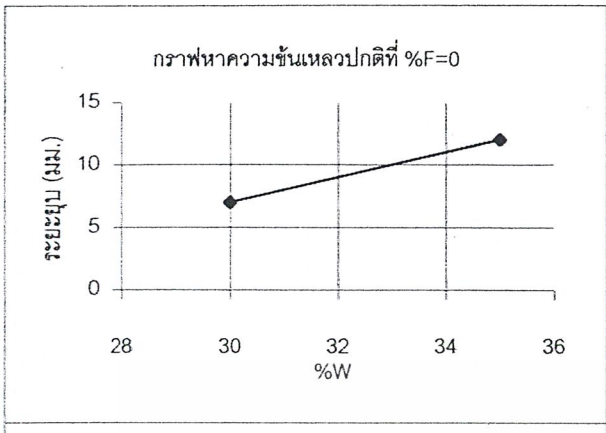
2) เนื่องจากข้อจำกัดหลายๆอย่างจึงไม่สามารถทำการทดลองหาความหนืดของส่วนผสมได้ ซึ่งความหนืดนี้จะมีผลต่อความสามารถในการเข้าไปแทรกซึมได้ภายในรอยแยกของหิน

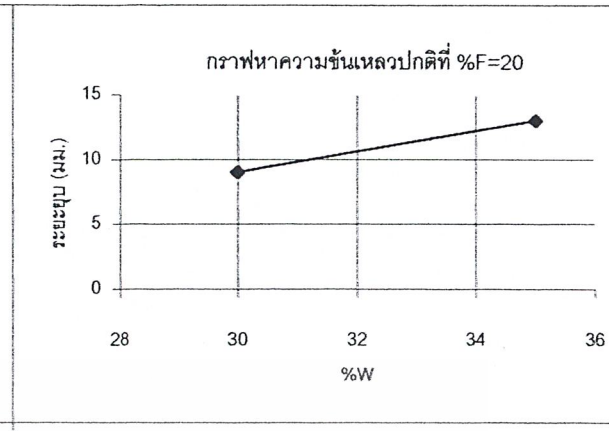
3) การศึกษาในครั้งต่อไปน่าจะทดสอบถึงการทนต่อการขัดสีได้ของส่วนผสมเมื่อแข็งตัวแล้ว

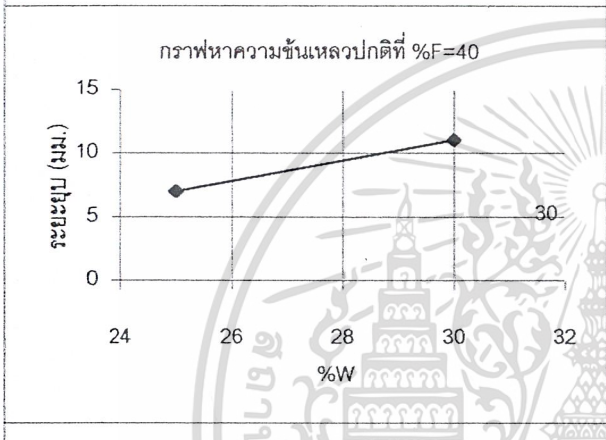
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

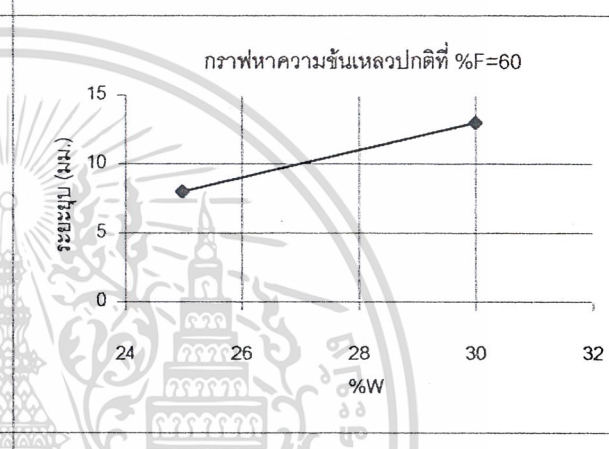
ภาคผนวก ก
การทดลองหาค่าความข้นเหลวปกติ

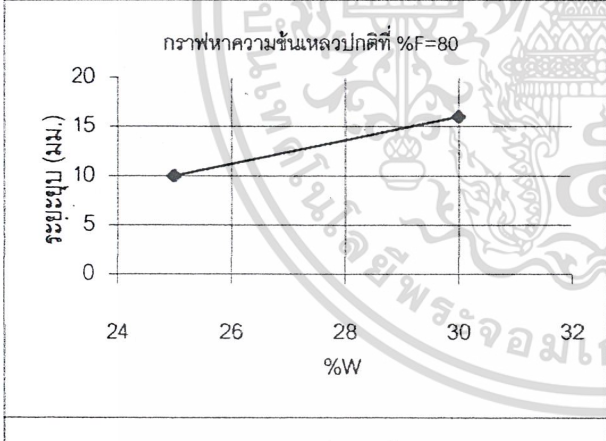
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

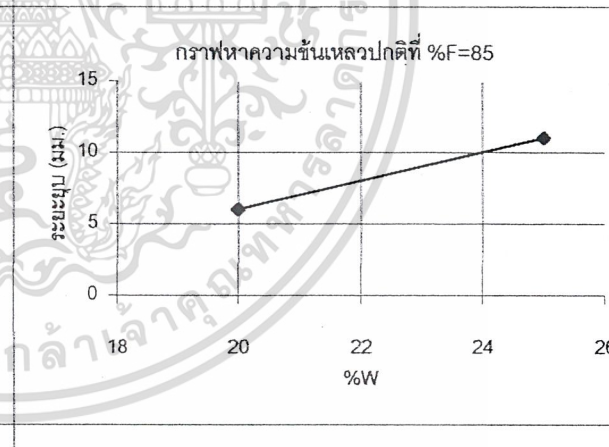


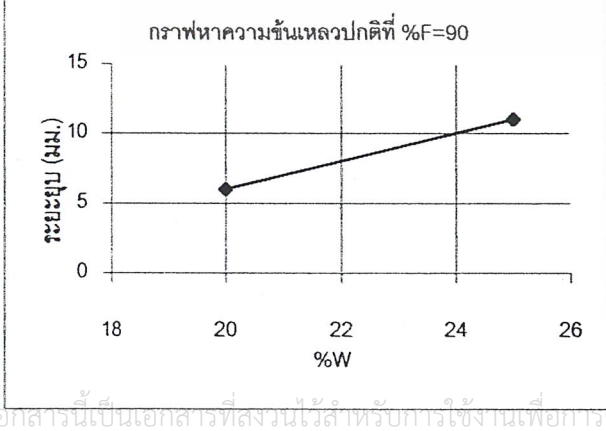












ตารางแสดงการ trial เพื่อหาเปอร์เซนต์น้ำสำหรับความข้นเหลวปกติ

% F		0%	20%	40%	60%	80%	85%	90%
%W	20%	-	-	-	-	-	6	6
	25%	-	-	7	8	10	11	11
	30%	7	9	11	13	16	-	-
	35%	12	13	-	-	-	-	-

ในตารางแสดงการยุบตัวของเซ็มทดสอบ (มม.) โดยอุปกรณ์ Vicat

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การทดลองหาระยะเวลาการก่อตัว ณ ความข้นเหลวปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY VICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	ดิเทศ ดรรชั่น		DATE					ส. 5 มิ.ย. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					25 c
W/(C+F) = 33%	F/(C+F) = 0%		JOB No.					A-1
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.)					REMARK
			ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	
21:50	0:05	135	40					ส. 6 มิ.ย. 42
	0:20	150	32					ส. 6 มิ.ย. 42
	0:35	165	27					ส. 6 มิ.ย. 42
	0:50	180	21					ส. 6 มิ.ย. 42
	1:05	195	18					ส. 6 มิ.ย. 42
	1:20	210	12					ส. 6 มิ.ย. 42
	1:35	225	7					ส. 6 มิ.ย. 42
	1:50	240	3					ส. 6 มิ.ย. 42
	2:05	255	1					ส. 6 มิ.ย. 42
	2:20	270	1					ส. 6 มิ.ย. 42
	2:35	285	0					ส. 6 มิ.ย. 42
final setting time (average) in 285 min (4 hr. 45 min)								

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY VICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	ดิเทศ ดรรชั่น		DATE					ส. 5 มิ.ย. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					25 c
W/(C+F) = 31%	F/(C+F) = 20%		JOB No.					A-2
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.)					REMARK
			ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	
22:50	1:20	150	38					ส. 6 มิ.ย. 42
	1:35	165	35					ส. 6 มิ.ย. 42
	1:50	180	31					ส. 6 มิ.ย. 42
	2:05	195	28					ส. 6 มิ.ย. 42
	2:20	210	21					ส. 6 มิ.ย. 42
	2:35	225	17					ส. 6 มิ.ย. 42
	2:50	240	11					ส. 6 มิ.ย. 42
	3:05	255	6					ส. 6 มิ.ย. 42
	3:20	270	2					ส. 6 มิ.ย. 42
	3:35	285	1					ส. 6 มิ.ย. 42
	3:50	300	1					ส. 6 มิ.ย. 42
	4:05	315	0					ส. 6 มิ.ย. 42
final setting time (average) in 315 min (5 hr. 15 min)								

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY VICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	ดิเทศ ดรรชั่น		DATE					ส. 5 มิ.ย. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					25 c
W/(C+F) = 29%	F/(C+F) = 40%		JOB No.					A-3
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.)					REMARK
			ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	
22:40	1:40	180	36					ส. 6 มิ.ย. 42
	1:55	195	31					ส. 6 มิ.ย. 42
	2:10	210	29					ส. 6 มิ.ย. 42
	2:25	225	23					ส. 6 มิ.ย. 42
	2:40	240	18					ส. 6 มิ.ย. 42
	2:55	255	13					ส. 6 มิ.ย. 42
	3:10	270	8					ส. 6 มิ.ย. 42
	3:25	285	4					ส. 6 มิ.ย. 42
	3:40	300	2					ส. 6 มิ.ย. 42
	3:55	315	1					ส. 6 มิ.ย. 42
	4:10	330	1					ส. 6 มิ.ย. 42
	4:25	345	0					ส. 6 มิ.ย. 42
final setting time (average) in 345 min (5 hr. 45 min)								

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY VICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	ดิเทศ ดรรชั่น		DATE					ส. 5 มิ.ย. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					25 c
W/(C+F) = 27%	F/(C+F) = 60%		JOB No.					A-4
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.)					REMARK
			ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	
22:30	2:00	210	38					ส. 6 มิ.ย. 42
	2:15	225	30					ส. 6 มิ.ย. 42
	2:30	240	26					ส. 6 มิ.ย. 42
	2:45	255	20					ส. 6 มิ.ย. 42
	3:00	270	17					ส. 6 มิ.ย. 42
	3:15	285	15					ส. 6 มิ.ย. 42
	3:30	300	13					ส. 6 มิ.ย. 42
	3:45	315	11					ส. 6 มิ.ย. 42
	4:00	330	9					ส. 6 มิ.ย. 42
	4:15	345	6					ส. 6 มิ.ย. 42
	4:30	360	2					ส. 6 มิ.ย. 42
	4:45	375	1					ส. 6 มิ.ย. 42
	5:00	390	1					ส. 6 มิ.ย. 42
	5:15	405	0					ส. 6 มิ.ย. 42
final setting time (average) in 405 min (6 hr. 45 min)								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY VICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	ดิเทา ดรเมือ		DATE					ส. 5 มิ.ย. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					25 c
W/(C+F) = 25%	F/(C+F) = 80%		JOB No.					A-5
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.) ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	REMARK
22:15	2:15	240	38					ส. 6 มิ.ย. 42
	2:30	255	35					ส. 6 มิ.ย. 42
	2:45	270	30					ส. 6 มิ.ย. 42
	3:00	285	26					ส. 6 มิ.ย. 42
	3:15	300	21					ส. 6 มิ.ย. 42
	3:30	315	18					ส. 6 มิ.ย. 42
	3:45	330	15					ส. 6 มิ.ย. 42
	4:00	345	14					ส. 6 มิ.ย. 42
	4:15	360	11					ส. 6 มิ.ย. 42
	4:30	375	8					ส. 6 มิ.ย. 42
	4:45	390	5					ส. 6 มิ.ย. 42
	5:00	405	1					ส. 6 มิ.ย. 42
	5:15	420	1					ส. 6 มิ.ย. 42
	5:30	435	1					ส. 6 มิ.ย. 42
	5:45	450	0					ส. 6 มิ.ย. 42
final setting time (average) is 450 min (7 hr. 30 min)								

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY VICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	ดิเทา ดรเมือ		DATE					พ. 17 มิ.ย. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					25 c
W/(C+F) = 24.5%	F/(C+F) = 85%		JOB No.					A-6
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.) ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	REMARK
2:20	6:35	255	38					พ. 17 มิ.ย. 42
	6:50	270	32					พ. 17 มิ.ย. 42
	7:05	285	26					พ. 17 มิ.ย. 42
	7:20	300	22					พ. 17 มิ.ย. 42
	7:35	315	19					พ. 17 มิ.ย. 42
	7:50	330	16					พ. 17 มิ.ย. 42
	8:05	345	13					พ. 17 มิ.ย. 42
	8:20	360	11					พ. 17 มิ.ย. 42
	8:35	375	9					พ. 17 มิ.ย. 42
	8:50	390	6					พ. 17 มิ.ย. 42
	9:05	405	4					พ. 17 มิ.ย. 42
	9:20	420	2					พ. 17 มิ.ย. 42
	9:35	435	1					พ. 17 มิ.ย. 42
	9:50	450	1					พ. 17 มิ.ย. 42
	10:05	465	1					พ. 17 มิ.ย. 42
	10:20	480	0					พ. 17 มิ.ย. 42
final setting time (average) is 480 min (8 hr. 00 min)								

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY VICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	ดิเทา ดรเมือ		DATE					พ. 17 มิ.ย. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					25 c
W/(C+F) = 24%	F/(C+F) = 90%		JOB No.					A-7
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.) ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	REMARK
2:25	6:45	260	39					พ. 17 มิ.ย. 42
	7:00	275	35					พ. 17 มิ.ย. 42
	7:15	290	31					พ. 17 มิ.ย. 42
	7:30	305	29					พ. 17 มิ.ย. 42
	7:45	320	25					พ. 17 มิ.ย. 42
	8:00	335	21					พ. 17 มิ.ย. 42
	8:15	350	19					พ. 17 มิ.ย. 42
	8:30	365	17					พ. 17 มิ.ย. 42
	8:45	380	15					พ. 17 มิ.ย. 42
	9:00	395	13					พ. 17 มิ.ย. 42
	9:15	410	10					พ. 17 มิ.ย. 42
	9:30	425	6					พ. 17 มิ.ย. 42
	9:45	440	4					พ. 17 มิ.ย. 42
	10:00	455	3					พ. 17 มิ.ย. 42
	10:15	470	3					พ. 17 มิ.ย. 42
	10:30	485	1					พ. 17 มิ.ย. 42
	10:45	500	1					พ. 17 มิ.ย. 42
	11:00	515	0					พ. 17 มิ.ย. 42
final setting time (average) is 515 min (8 hr. 35 min)								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การทดลองหาระยะเวลาการก่อตัว ณ ความข้นเหลวออกแบบสำหรับการอัดฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY VICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	พีเทา ดอรเม็น		DATE					ส. 13 ก.พ. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					24-28 c
W/(C+F) = 0.5:1	F/(C+F) = 0%		JOB No.					3.1
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.)					REMARK
			ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	
2:15	5:30	195	35	40	38			ส. 13 ก.พ. 42
	6:00	225	33	34	32			ส. 13 ก.พ. 42
	6:30	255	23	25	24			ส. 13 ก.พ. 42
	7:00	285	10	11	10			ส. 13 ก.พ. 42
	7:30	315	5	4	4			ส. 13 ก.พ. 42
	8:00	345	1	1	1			ส. 13 ก.พ. 42
	8:30	375	0	0	0			ส. 13 ก.พ. 42
final setting time (average) is 375 min (6 hr. 15 min)								

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY VICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	พีเทา ดอรเม็น		DATE					ส. 13 ก.พ. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					24-28 c
W/(C+F) = 0.5:1	F/(C+F) = 20%		JOB No.					3.2
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.)					REMARK
			ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	
2:05	5:30	205	40	40	40			ส. 13 ก.พ. 42
	6:00	235	36	39	35			ส. 13 ก.พ. 42
	6:30	265	31	33	30			ส. 13 ก.พ. 42
	7:00	295	28	25	26			ส. 13 ก.พ. 42
	7:30	325	20	21	21			ส. 13 ก.พ. 42
	8:00	355	12	13	12			ส. 13 ก.พ. 42
	8:30	385	6	5	3			ส. 13 ก.พ. 42
	9:00	415	1	1	1			ส. 13 ก.พ. 42
	9:30	445	0	0	0			ส. 13 ก.พ. 42
final setting time (average) is 445 min (7 hr. 25 min)								

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY VICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	พีเทา ดอรเม็น		DATE					ส. 13 ก.พ. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					24-28 c
W/(C+F) = 0.5:1	F/(C+F) = 40%		JOB No.					3.3
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.)					REMARK
			ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	
1:55	5:30	215	40	40	40			ส. 13 ก.พ. 42
	6:00	245	40	40	40			ส. 13 ก.พ. 42
	6:30	275	40	40	40			ส. 13 ก.พ. 42
	7:00	305	37	38	36			ส. 13 ก.พ. 42
	7:30	335	31	33	30			ส. 13 ก.พ. 42
	8:00	365	26	27	26			ส. 13 ก.พ. 42
	8:30	395	19	21	20			ส. 13 ก.พ. 42
	9:00	425	10	10	10			ส. 13 ก.พ. 42
	9:30	455	5	4	5			ส. 13 ก.พ. 42
	10:00	485	1	1	1			ส. 13 ก.พ. 42
	10:30	515	0	0	0			ส. 13 ก.พ. 42
final setting time (average) is 515 min (8 hr. 35 min)								

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY VICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	พีเทา ดอรเม็น		DATE					ส. 13 ก.พ. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					24-28 c
W/(C+F) = 0.5:1	F/(C+F) = 60%		JOB No.					3.4
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.)					REMARK
			ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	
1:45	5:30	225	40	40	40			ส. 13 ก.พ. 42
	6:00	255	40	40	40			ส. 13 ก.พ. 42
	6:30	285	40	40	40			ส. 13 ก.พ. 42
	7:00	315	40	40	40			ส. 13 ก.พ. 42
	7:30	345	38	35	35			ส. 13 ก.พ. 42
	8:00	375	32	30	31			ส. 13 ก.พ. 42
	8:30	405	27	25	23			ส. 13 ก.พ. 42
	9:00	435	19	16	18			ส. 13 ก.พ. 42
	9:30	465	10	9	8			ส. 13 ก.พ. 42
	10:00	495	5	4	5			ส. 13 ก.พ. 42
	10:30	525	2	2	2			ส. 13 ก.พ. 42
	11:00	555	1	1	1			ส. 13 ก.พ. 42
	11:30	585	0	0	0			ส. 13 ก.พ. 42
final setting time (average) is 585 min (9 hr. 45 min)								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY VICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	พีรภา ตรรณ์		DATE					ส. 13 ก.พ. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					24-28 c
W/(C+F) = 0.5:1	F/(C+F) = 80%		JOB No.					3.5
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.)					REMARK
			ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	
1:40	5:30	230	40	40	40			ส. 13 ก.พ. 42
	6:00	260	40	40	40			ส. 13 ก.พ. 42
	6:30	290	40	40	40			ส. 13 ก.พ. 42
	7:00	320	40	40	40			ส. 13 ก.พ. 42
	7:30	350	40	40	40			ส. 13 ก.พ. 42
	8:00	380	40	40	40			ส. 13 ก.พ. 42
	8:30	410	40	40	40			ส. 13 ก.พ. 42
	9:00	440	40	40	40			ส. 13 ก.พ. 42
	9:30	470	40	40	40			ส. 13 ก.พ. 42
	10:00	500	40	40	40			ส. 13 ก.พ. 42
	10:30	530	40	40	40			ส. 13 ก.พ. 42
	11:00	560	37	40	39			ส. 13 ก.พ. 42
	11:30	590	34	38	38			ส. 13 ก.พ. 42
	12:00	620	30	34	31			ส. 13 ก.พ. 42
	12:30	650	26	29	30			ส. 13 ก.พ. 42
	13:00	680	23	24	26			ส. 13 ก.พ. 42
	13:30	710	19	16	20			ส. 13 ก.พ. 42
	14:00	740	11	11	12			ส. 13 ก.พ. 42
	14:30	770	6	7	6			ส. 13 ก.พ. 42
	15:00	800	3	4	4			ส. 13 ก.พ. 42
	15:30	830	1	2	1			ส. 13 ก.พ. 42
	16:00	860	0	0	0			ส. 13 ก.พ. 42
final setting time (average) is 860 min (14 hr. 20 min)								

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY VICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	พีรภา ตรรณ์		DATE					ส. 13 มี.ค. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					24-28 c
W/(C+F) = 0.5:1	F/(C+F) = 85%		JOB No.					3.6
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.)					REMARK
			ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	
3:40	15:00	680	40	40	40			ส. 13 มี.ค. 42
	15:30	710	40	40	40			ส. 13 มี.ค. 42
	16:00	740	40	40	40			ส. 13 มี.ค. 42
	16:30	770	40	40	40			ส. 13 มี.ค. 42
	17:00	800	40	40	40			ส. 13 มี.ค. 42
	17:30	830	40	40	40			ส. 13 มี.ค. 42
	18:00	860	40	39	38			ส. 13 มี.ค. 42
	18:30	890	39	36	37			ส. 13 มี.ค. 42
	19:00	920	35	32	34			ส. 13 มี.ค. 42
	19:30	950	31	29	30			ส. 13 มี.ค. 42
	20:00	980	26	24	25			ส. 13 มี.ค. 42
	20:30	1010	22	20	21			ส. 13 มี.ค. 42
	21:00	1040	18	16	16			ส. 13 มี.ค. 42
	21:30	1070	10	11	10			ส. 13 มี.ค. 42
	22:00	1100	6	6	5			ส. 13 มี.ค. 42
	22:30	1130	2	3	2			ส. 13 มี.ค. 42
	23:00	1160	1	1	1			ส. 13 มี.ค. 42
	23:30	1190	0	0	0			ส. 13 มี.ค. 42
final setting time (average) is 1190 min (19 hr. 50 min)								

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY VICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	พีรภา ตรรณ์		DATE					ส. 13 มี.ค. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					24-28 c
W/(C+F) = 0.5:1	F/(C+F) = 90%		JOB No.					3.7
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.)					REMARK
			ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	
3:20	15:30	730	40	40	40			ส. 13 มี.ค. 42
	16:00	760	40	40	40			ส. 13 มี.ค. 42
	16:30	790	40	40	40			ส. 13 มี.ค. 42
	17:00	820	40	40	40			ส. 13 มี.ค. 42
	17:30	850	40	40	40			ส. 13 มี.ค. 42
	18:00	880	40	40	40			ส. 13 มี.ค. 42
	18:30	910	40	40	40			ส. 13 มี.ค. 42
	19:00	940	40	40	40			ส. 13 มี.ค. 42
	19:30	970	40	40	40			ส. 13 มี.ค. 42
	20:00	1000	40	40	40			ส. 13 มี.ค. 42
	20:30	1030	40	40	40			ส. 13 มี.ค. 42
	21:00	1060	40	40	40			ส. 13 มี.ค. 42
	21:30	1090	40	40	38			ส. 13 มี.ค. 42
	22:00	1120	38	39	35			ส. 13 มี.ค. 42
	22:30	1150	34	34	32			ส. 13 มี.ค. 42
	23:00	1180	30	31	29			ส. 13 มี.ค. 42
	23:30	1210	25	26	23			ส. 13 มี.ค. 42
	0:00	1240	20	22	19			ส. 13 มี.ค. 42
	0:30	1270	15	16	16			ส. 13 มี.ค. 42
	1:00	1300	10	11	11			ส. 13 มี.ค. 42
	1:30	1330	6	7	6			ส. 13 มี.ค. 42
	2:00	1360	2	4	3			ส. 13 มี.ค. 42
	2:30	1390	1	2	1			ส. 13 มี.ค. 42
	3:30	1420	1	1	1			ส. 13 มี.ค. 42
	3:30	1450	0	0	0			ส. 13 มี.ค. 42
final setting time (average) is 1190 min (19 hr. 50 min)								

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY VICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	สัมภาษณ์		DATE					w. 10 n.w. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					24-28 c
W/(C+F) = 0.8:1	F/(C+F) = 0%		JOB No.					2.1
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.)					REMARK
			ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	
15:00	20:30	330	28	27	27			w. 10 n.w. 42
	21:30	390	17	17	17			w. 10 n.w. 42
	22:30	450	10	9	9			w. 10 n.w. 42
	23:30	510	4	3	4			w. 10 n.w. 42
	0:30	570	2	2	2			wq. 11 n.w. 42
	1:30	630	1	1	1			wq. 11 n.w. 42
	2:30	690	0	0	0			wq. 11 n.w. 42
final setting time (average) in 690 min (11 hr. 30 min)								

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY VICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	สัมภาษณ์		DATE					w. 10 n.w. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					24-28 c
W/(C+F) = 0.8:1	F/(C+F) = 20%		JOB No.					2.2
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.)					REMARK
			ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	
15:10	21:30	380	27	29	28			w. 10 n.w. 42
	22:30	440	15	17	16			w. 10 n.w. 42
	23:30	500	8	8	8			w. 10 n.w. 42
	0:30	560	4	5	4			wq. 11 n.w. 42
	1:30	620	2	2	2			wq. 11 n.w. 42
	2:30	680	1	1	1			wq. 11 n.w. 42
	3:30	740	0	0	0			wq. 11 n.w. 42
final setting time (average) in 740 min (12 hr. 20 min)								

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY VICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	สัมภาษณ์		DATE					w. 10 n.w. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					24-28 c
W/(C+F) = 0.8:1	F/(C+F) = 40%		JOB No.					2.3
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.)					REMARK
			ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	
15:20	22:30	430	28	26	27			w. 10 n.w. 42
	23:30	490	16	13	15			w. 10 n.w. 42
	0:30	550	7	8	8			wq. 11 n.w. 42
	1:30	610	4	5	5			wq. 11 n.w. 42
	2:30	670	3	2	2			wq. 11 n.w. 42
	3:30	730	1	1	1			wq. 11 n.w. 42
	4:30	790	0	0	0			wq. 11 n.w. 42
final setting time (average) in 790 min (13 hr. 10 min)								

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY VICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	สัมภาษณ์		DATE					wq. 11 n.w. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					24-28 c
W/(C+F) = 0.8:1	F/(C+F) = 60%		JOB No.					2.4
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.)					REMARK
			ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	
10:35	18:30	475	29	29	30			wq. 11 n.w. 42
	19:30	535	23	20	22			wq. 11 n.w. 42
	20:30	595	20	19	20			wq. 11 n.w. 42
	21:30	655	18	17	19			wq. 11 n.w. 42
	22:30	715	16	16	17			wq. 11 n.w. 42
	23:30	775	14	15	16			wq. 11 n.w. 42
	0:30	835	9	8	9			el. 12 n.w. 42
	1:30	895	6	4	5			el. 12 n.w. 42
	2:30	955	3	2	2			el. 12 n.w. 42
	3:30	1015	2	2	1			el. 12 n.w. 42
	4:30	1075	1	1	1			el. 12 n.w. 42
	5:30	1135	1	1	1			el. 12 n.w. 42
	6:30	1195	0	0	0			el. 12 n.w. 42
final setting time (average) in 1195 min (19 hr. 55 min)								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY YICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	ดิเรก ลดรเม้น		DATE					พฤ. 11 ก.พ. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					24-28 c
W/(C+F) = 0.8:1	F/(C+F) = 80%		JOB No.					2.5
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.)					REMARK
			ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	
10:45	22:00	675	28	29	30			พฤ. 11 ก.พ. 42
	23:00	735	23	25	26			พฤ. 11 ก.พ. 42
	0:00	795	21	23	24			ศ. 12 ก.พ. 42
	1:00	855	20	21	21			ศ. 12 ก.พ. 42
	2:00	915	18	19	18			ศ. 12 ก.พ. 42
	3:00	975	15	17	16			ศ. 12 ก.พ. 42
	4:00	1035	12	15	13			ศ. 12 ก.พ. 42
	5:00	1095	10	13	12			ศ. 12 ก.พ. 42
	6:00	1155	9	11	10			ศ. 12 ก.พ. 42
	7:00	1215	8	9	8			ศ. 12 ก.พ. 42
	8:00	1275	4	6	5			ศ. 12 ก.พ. 42
	9:00	1335	2	3	2			ศ. 12 ก.พ. 42
	10:00	1395	2	2	1			ศ. 12 ก.พ. 42
	11:00	1455	1	2	1			ศ. 12 ก.พ. 42
	12:00	1515	1	1	1			ศ. 12 ก.พ. 42
	13:00	1575	1	1	1			ศ. 12 ก.พ. 42
	14:00	1635	0	0	0			ศ. 12 ก.พ. 42
final setting time (average) in 1635 min (27 hr. 15 min)								

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY YICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	ดิเรก ลดรเม้น		DATE					ส. 13 มี.ค. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					24-28 c
W/(C+F) = 0.8:1	F/(C+F) = 85%		JOB No.					2.6
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.)					REMARK
			ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	
2:35	0:00	1285	5	5	6			อา. 14 มี.ค. 42
	1:00	1345	5	5	5			อา. 14 มี.ค. 42
	2:00	1405	4	4	5			อา. 14 มี.ค. 42
	3:00	1465	4	4	4			อา. 14 มี.ค. 42
	4:00	1525	4	3	3			อา. 14 มี.ค. 42
	5:00	1585	3	3	2			อา. 14 มี.ค. 42
	6:00	1645	3	2	2			อา. 14 มี.ค. 42
	7:00	1705	2	2	2			อา. 14 มี.ค. 42
	8:00	1765	2	1	2			อา. 14 มี.ค. 42
	9:00	1825	1	1	1			อา. 14 มี.ค. 42
	10:00	1885	1	1	1			อา. 14 มี.ค. 42
	11:00	1945	0	0	0			อา. 14 มี.ค. 42
final setting time (average) in 1945 min (32 hr. 25 min)								

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY YICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	ดิเรก ลดรเม้น		DATE					ส. 13 มี.ค. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					24-28 c
W/(C+F) = 0.8:1	F/(C+F) = 90%		JOB No.					2.7
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.)					REMARK
			ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	
2:20	0:00	1300	8	7	8			อา. 14 มี.ค. 42
	1:00	1360	7	7	7			อา. 14 มี.ค. 42
	2:00	1420	6	6	7			อา. 14 มี.ค. 42
	3:00	1480	6	6	6			อา. 14 มี.ค. 42
	4:00	1540	5	6	6			อา. 14 มี.ค. 42
	5:00	1600	5	5	5			อา. 14 มี.ค. 42
	6:00	1660	4	5	5			อา. 14 มี.ค. 42
	7:00	1720	4	4	4			อา. 14 มี.ค. 42
	8:00	1780	3	4	4			อา. 14 มี.ค. 42
	9:00	1840	3	3	3			อา. 14 มี.ค. 42
	10:00	1900	3	2	3			อา. 14 มี.ค. 42
	11:00	1960	2	2	3			อา. 14 มี.ค. 42
	12:00	2020	2	2	2			อา. 14 มี.ค. 42
	13:00	2080	2	2	2			อา. 14 มี.ค. 42
	14:00	2140	1	2	1			อา. 14 มี.ค. 42
	15:00	2200	1	1	1			อา. 14 มี.ค. 42
	16:00	2260	1	1	1			อา. 14 มี.ค. 42
	17:00	2320	0	0	0			อา. 14 มี.ค. 42
final setting time (average) in 2320 min (38 hr. 40 min)								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY VICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	ชัยวา ธรรมัย		DATE					อ. 9 ก.พ. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					24-28 c
W/(C+F) = 1:1	F/(C+F) = 0%		JOB No.					1.1
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.)					REMARK
			ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	
22:35	7:30	535	38	35	34			w. 10 ก.พ. 42
	8:30	595	27	23	24			w. 10 ก.พ. 42
	9:30	655	10	14	13			w. 10 ก.พ. 42
	10:30	715	3	5	3			w. 10 ก.พ. 42
	11:30	775	2	2	2			w. 10 ก.พ. 42
	12:30	835	1	1	1			w. 10 ก.พ. 42
	13:15	880	0	0	0			w. 10 ก.พ. 42
final setting time (average) is 880 min (14 hr. 40 min)								

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY VICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	ชัยวา ธรรมัย		DATE					อ. 9 ก.พ. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					24-28 c
W/(C+F) = 1:1	F/(C+F) = 20%		JOB No.					1.2
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.)					REMARK
			ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	
22:45	8:30	585	35	34	33			w. 10 ก.พ. 42
	9:30	645	28	26	25			w. 10 ก.พ. 42
	10:30	705	12	10	11			w. 10 ก.พ. 42
	11:30	765	5	4	4			w. 10 ก.พ. 42
	12:30	825	2	2	2			w. 10 ก.พ. 42
	13:30	885	2	2	2			w. 10 ก.พ. 42
	14:30	945	1	1	1			w. 10 ก.พ. 42
	15:30	1005	0	0	0			w. 10 ก.พ. 42
final setting time (average) is 1005 min (16 hr. 45 min)								

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY VICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	ชัยวา ธรรมัย		DATE					อ. 9 ก.พ. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					24-28 c
W/(C+F) = 1:1	F/(C+F) = 40%		JOB No.					1.3
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.)					REMARK
			ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	
22:55	10:30	695	30	31	33			w. 10 ก.พ. 42
	11:30	755	20	19	19			w. 10 ก.พ. 42
	12:30	815	9	8	9			w. 10 ก.พ. 42
	13:30	875	6	6	7			w. 10 ก.พ. 42
	14:30	935	3	3	3			w. 10 ก.พ. 42
	15:30	995	2	2	2			w. 10 ก.พ. 42
	16:30	1055	2	1	1			w. 10 ก.พ. 42
	17:30	1115	1	1	1			w. 10 ก.พ. 42
	18:30	1175	1	1	1			w. 10 ก.พ. 42
	19:00	1205	0	0	0			w. 10 ก.พ. 42
final setting time (average) is 1205 min (20hr. 5 min)								

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY VICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	ชัยวา ธรรมัย		DATE					พ. 10 ก.พ. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					24-28 c
W/(C+F) = 1:1	F/(C+F) = 60%		JOB No.					1.4
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.)					REMARK
			ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	
14:40	5:30	890	25	24	25			พฤ. 11 ก.พ. 42
	6:30	950	20	19	21			พฤ. 11 ก.พ. 42
	7:30	1010	17	16	18			พฤ. 11 ก.พ. 42
	8:30	1070	12	13	14			พฤ. 11 ก.พ. 42
	9:30	1130	8	9	9			พฤ. 11 ก.พ. 42
	10:30	1190	7	7	7			พฤ. 11 ก.พ. 42
	11:30	1250	7	7	7			พฤ. 11 ก.พ. 42
	12:30	1310	6	6	7			พฤ. 11 ก.พ. 42
	13:30	1370	5	6	6			พฤ. 11 ก.พ. 42
	14:30	1430	4	4	4			พฤ. 11 ก.พ. 42
	15:30	1490	3	3	3			พฤ. 11 ก.พ. 42
	16:30	1550	2	2	2			พฤ. 11 ก.พ. 42
	17:30	1610	1	1	1			พฤ. 11 ก.พ. 42
	18:30	1670	1	1	1			พฤ. 11 ก.พ. 42
	19:30	1730	0	0	0			พฤ. 11 ก.พ. 42
final setting time (average) is 1730 min (28 hr. 50 min)								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY VICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	ชัยา ธรรมั่น		DATE					พ. 10 ก.พ. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					24-28 c
W/(C+F) = 1:1	F/(C+F) = 80%		JOB No.					1.5
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.) ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	REMARK
14:50	7:30	1000	26	27	27			พฤ. 11 ก.พ. 42
	8:30	1060	19	20	20			พฤ. 11 ก.พ. 42
	9:30	1120	14	16	15			พฤ. 11 ก.พ. 42
	10:30	1180	10	11	11			พฤ. 11 ก.พ. 42
	11:30	1240	8	8	8			พฤ. 11 ก.พ. 42
	12:30	1300	8	8	8			พฤ. 11 ก.พ. 42
	13:30	1360	7	7	7			พฤ. 11 ก.พ. 42
	14:30	1420	6	6	6			พฤ. 11 ก.พ. 42
	15:30	1480	5	5	5			พฤ. 11 ก.พ. 42
	16:30	1540	5	5	5			พฤ. 11 ก.พ. 42
	17:30	1600	4	4	4			พฤ. 11 ก.พ. 42
	18:30	1660	4	3	3			พฤ. 11 ก.พ. 42
	19:30	1720	2	2	2			พฤ. 11 ก.พ. 42
	20:30	1780	2	2	2			พฤ. 11 ก.พ. 42
	21:30	1840	1	1	1			พฤ. 11 ก.พ. 42
	22:30	1900	1	1	1			พฤ. 11 ก.พ. 42
	23:00	1930	0	0	0			พฤ. 11 ก.พ. 42
final setting time (average) in 1930 min (32 hr. 10 min)								

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY VICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	ชัยา ธรรมั่น		DATE					พ. 12 มี.ค. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					24-28 c
W/(C+F) = 1:1	F/(C+F) = 85%		JOB No.					1.6
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.) ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	REMARK
3:10	0:00	1250	7	7	7			ส. 13 มี.ค. 42
	2:00	1370	5	6	6			ส. 13 มี.ค. 42
	4:00	1490	4	5	5			ส. 13 มี.ค. 42
	6:00	1610	3	4	4			ส. 13 มี.ค. 42
	8:00	1730	2	3	3			ส. 13 มี.ค. 42
	10:00	1850	2	2	2			ส. 13 มี.ค. 42
	12:00	1970	2	2	2			ส. 13 มี.ค. 42
	14:00	2090	1	2	2			ส. 13 มี.ค. 42
	15:00	2150	1	1	2			ส. 13 มี.ค. 42
	16:00	2210	1	1	1			ส. 13 มี.ค. 42
	17:00	2270	0	0	0			ส. 13 มี.ค. 42
final setting time (average) in 2270 min (37 hr. 50 min)								

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY VICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	ชัยา ธรรมั่น		DATE					ส. 12 มี.ค. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					24-28 c
W/(C+F) = 1:1	F/(C+F) = 90%		JOB No.					1.7
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.) ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	REMARK
3:00	0:00	1260	9	10	9			ส. 13 มี.ค. 42
	2:00	1380	8	9	8			ส. 13 มี.ค. 42
	4:00	1500	7	8	7			ส. 13 มี.ค. 42
	6:00	1620	6	7	6			ส. 13 มี.ค. 42
	8:00	1740	5	6	5			ส. 13 มี.ค. 42
	10:00	1860	4	5	5			ส. 13 มี.ค. 42
	12:00	1980	4	4	4			ส. 13 มี.ค. 42
	14:00	2100	3	3	3			ส. 13 มี.ค. 42
	16:00	2220	3	2	2			ส. 13 มี.ค. 42
	18:00	2340	2	2	2			ส. 13 มี.ค. 42
	20:00	2460	1	1	1			ส. 13 มี.ค. 42
	21:00	2520	1	1	1			ส. 13 มี.ค. 42
	22:20	2600	0	0	0			ส. 13 มี.ค. 42
final setting time (average) in 2600 min (43 hr. 20 min)								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY YICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	ดิเทา ดอรน้ำ		DATE					พ. 21 มิ.ย. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					24-28 c
W/(C+F) = 1.2:1	F/(C+F) = 0%		JOB No.					4.1
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.)					REMARK
			ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	
0:50	9:30	520	35	37	39			พ. 21 มิ.ย. 42
	10:30	580	28	29	30			พ. 21 มิ.ย. 42
	11:30	640	19	20	22			พ. 21 มิ.ย. 42
	12:30	700	10	11	13			พ. 21 มิ.ย. 42
	13:30	760	3	4	5			พ. 21 มิ.ย. 42
	14:30	820	2	2	2			พ. 21 มิ.ย. 42
	15:30	880	1	1	1			พ. 21 มิ.ย. 42
	16:30	940	0	0	0			พ. 21 มิ.ย. 42
final setting time (average) is 940 min (15 hr. 40 min)								

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY YICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	ดิเทา ดอรน้ำ		DATE					พ. 21 มิ.ย. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					24-28 c
W/(C+F) = 1.2:1	F/(C+F) = 20%		JOB No.					4.2
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.)					REMARK
			ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	
0:55	11:30	635	29	32	36			พ. 21 มิ.ย. 42
	12:30	695	22	25	27			พ. 21 มิ.ย. 42
	13:30	755	16	18	19			พ. 21 มิ.ย. 42
	14:30	815	9	9	10			พ. 21 มิ.ย. 42
	15:30	875	5	4	5			พ. 21 มิ.ย. 42
	16:30	935	2	2	3			พ. 21 มิ.ย. 42
	17:30	995	1	1	1			พ. 21 มิ.ย. 42
	18:00	1025	0	0	0			พ. 21 มิ.ย. 42
final setting time (average) is 1025 min (17 hr. 5 min)								

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY YICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	ดิเทา ดอรน้ำ		DATE					พ. 21 มิ.ย. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					24-28 c
W/(C+F) = 1.2:1	F/(C+F) = 40%		JOB No.					4.3
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.)					REMARK
			ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	
1:05	13:30	745	20	21	22			พ. 21 มิ.ย. 42
	14:30	805	17	18	20			พ. 21 มิ.ย. 42
	15:30	865	12	12	13			พ. 21 มิ.ย. 42
	16:30	925	7	8	10			พ. 21 มิ.ย. 42
	17:30	985	3	4	5			พ. 21 มิ.ย. 42
	18:30	1045	2	2	3			พ. 21 มิ.ย. 42
	19:30	1105	2	1	2			พ. 21 มิ.ย. 42
	20:30	1165	1	1	1			พ. 21 มิ.ย. 42
	21:30	1225	1	1	1			พ. 21 มิ.ย. 42
	22:30	1285	0	0	0			พ. 21 มิ.ย. 42
final setting time (average) is 1285 min (21 hr. 25 min)								

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY YICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	ดิเทา ดอรน้ำ		DATE					พ. 21 มิ.ย. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					24-28 c
W/(C+F) = 1.2:1	F/(C+F) = 60%		JOB No.					4.4
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.)					REMARK
			ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	
1:15	1:30	1395	15	17	16			พ. 22 มิ.ย. 42
	2:30	1455	10	11	11			พ. 22 มิ.ย. 42
	3:30	1515	7	7	8			พ. 22 มิ.ย. 42
	4:30	1575	5	5	6			พ. 22 มิ.ย. 42
	5:30	1635	4	3	4			พ. 22 มิ.ย. 42
	6:30	1695	2	2	2			พ. 22 มิ.ย. 42
	7:30	1755	1	2	1			พ. 22 มิ.ย. 42
	8:30	1815	1	1	1			พ. 22 มิ.ย. 42
	9:30	1875	1	1	1			พ. 22 มิ.ย. 42
	10:30	1935	0	0	0			พ. 22 มิ.ย. 42
final setting time (average) is 1935 min (32 hr. 15 min)								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY VICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	ชัยวา สุขรัมย์		DATE					พ. 22 มี.ค. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					24-28 c
W/(C+F) = 1.2:1	F/(C+F) = 80%		JOB No.					4.5
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.) ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	REMARK
1:20	2:30	1510	11	10	13			พฤ. 22 มี.ค. 42
	3:30	1570	10	10	12			พฤ. 22 มี.ค. 42
	4:30	1630	8	9	11			พฤ. 22 มี.ค. 42
	5:30	1690	7	8	11			พฤ. 22 มี.ค. 42
	6:30	1750	7	8	10			พฤ. 22 มี.ค. 42
	7:30	1810	6	8	9			พฤ. 22 มี.ค. 42
	8:30	1870	5	6	7			พฤ. 22 มี.ค. 42
	9:30	1930	4	4	5			พฤ. 22 มี.ค. 42
	10:30	1990	2	2	2			พฤ. 22 มี.ค. 42
	11:30	2050	2	2	1			พฤ. 22 มี.ค. 42
	12:30	2110	1	1	1			พฤ. 22 มี.ค. 42
	13:30	2170	1	1	1			พฤ. 22 มี.ค. 42
	14:30	2230	0	0	0			พฤ. 22 มี.ค. 42
final setting time (average) is 2230 min (37 hr. 10 min)								

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY VICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	ชัยวา สุขรัมย์		DATE					พ. 22 มี.ค. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					24-28 c
W/(C+F) = 1.2:1	F/(C+F) = 85%		JOB No.					4.6
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.) ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	REMARK
1:30	3:30	1560	10	11	12			พฤ. 22 มี.ค. 42
	4:30	1620	10	11	11			พฤ. 22 มี.ค. 42
	5:30	1680	8	10	10			พฤ. 22 มี.ค. 42
	6:30	1740	7	8	8			พฤ. 22 มี.ค. 42
	7:30	1800	6	8	7			พฤ. 22 มี.ค. 42
	8:30	1860	5	7	7			พฤ. 22 มี.ค. 42
	9:30	1920	5	6	7			พฤ. 22 มี.ค. 42
	10:30	1980	4	5	7			พฤ. 22 มี.ค. 42
	11:30	2040	4	5	6			พฤ. 22 มี.ค. 42
	12:30	2100	3	4	4			พฤ. 22 มี.ค. 42
	13:30	2160	2	2	3			พฤ. 22 มี.ค. 42
	14:30	2220	2	2	2			พฤ. 22 มี.ค. 42
	15:30	2280	1	1	1			พฤ. 22 มี.ค. 42
	16:30	2340	1	1	1			พฤ. 22 มี.ค. 42
	17:30	2400	0	0	0			พฤ. 22 มี.ค. 42
final setting time (average) is 2400 min (40 hr. 0 min)								

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			SETTING TIME TEST BY VICAT APPARATUS					
PROJECT	APPLICATION ON USING FLY ASH AS A SLURRY FOR ROCK GROUTING							
TESTED BY	ชัยวา สุขรัมย์		DATE					พ. 22 มี.ค. 42
DESCRIPTION			TEMPERATURE					24-28 c
W/(C+F) = 1.2:1	F/(C+F) = 90%		JOB No.					4.7
TIME OF MIX	TIME OF TESTED	TOTAL TIME AFTER MIX (min.)	PENETRATION (mm.) ex.1	ex.2	ex.3	ex.4	ex.5	REMARK
1:40	4:30	1610	12	13	14			พฤ. 22 มี.ค. 42
	5:30	1670	11	12	12			พฤ. 22 มี.ค. 42
	6:30	1730	10	12	12			พฤ. 22 มี.ค. 42
	7:30	1790	10	11	12			พฤ. 22 มี.ค. 42
	8:30	1850	9	11	9			พฤ. 22 มี.ค. 42
	9:30	1910	8	10	9			พฤ. 22 มี.ค. 42
	10:30	1970	8	10	8			พฤ. 22 มี.ค. 42
	11:30	2030	7	8	7			พฤ. 22 มี.ค. 42
	12:30	2090	6	7	6			พฤ. 22 มี.ค. 42
	13:30	2150	5	5	6			พฤ. 22 มี.ค. 42
	14:30	2210	5	4	4			พฤ. 22 มี.ค. 42
	15:30	2270	4	3	4			พฤ. 22 มี.ค. 42
	16:30	2330	2	3	3			พฤ. 22 มี.ค. 42
	17:30	2390	2	2	2			พฤ. 22 มี.ค. 42
	18:30	2450	1	2	1			พฤ. 22 มี.ค. 42
	19:30	2510	1	1	1			พฤ. 22 มี.ค. 42
	20:30	2570	1	1	1			พฤ. 22 มี.ค. 42
	21:30	2630	0	0	0			พฤ. 22 มี.ค. 42
final setting time (average) is 2630 min (43 hr. 50 min)								

เอกสารนี้มีไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. A.C. HOULSBY , A.S.T.C. , F.E.I. Aust. , F. ASCE (1990) Construction and design of cement grouting : a guide to grouting in rock foundation.
2. สมชัย กกกำแหง , " การนำขี้เถ้าลอยลิกไนต์มาใช้ประโยชน์เป็นวัสดุก่อสร้างงานดิน " , กองธรณีและปฐพีวิทยา ฝ่ายสำรวจและนิเวศวิทยา การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
3. FLY ASH UTILIZATION FOR SOIL IMPROVEMENT , Symposium on Environmental Geotechnics and Problematic Soil and Rock by AIT , P. 1-24
4. รายงาน ผลการปรับปรุงฐานรากเขื่อนฝั่งขวาโดยวิธีเจาะ-อัดฉีดน้ำปูน , โครงการพัฒนาเกษตรชลประทานแม่กวง อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ , งานวิชาการ ฝ่ายวิศวกรรมธรณี กองวิทยาการธรณี กรมชลประทาน
5. สันธาน ชัยพันธ์วิริยาพร , " Portland Poizzolan Cement กับงานก่อสร้างในอนาคตของไทย " เอกสารประกอบการสัมมนาของ TPI
6. พิชัย นิมิตยงสกุล และ สรรค์ สยามิภักดิ์ , " ประวัติและความเป็นมาของเถ้าลอย " , เอกสารการสัมมนาเรื่อง การใช้เถ้าลอยในงานคอนกรีต , วันพุธที่ 17 กุมภาพันธ์ 2542
7. ดร.ชัย จาตุรพิทักษ์กุล , สุรเชษฐ์ จึงเกษมโชคชัย และ วราภรณ์ คุณาวนากิจ , " คุณสมบัติพื้นฐานทางเคมีและทางกายภาพของเถาลอย " , เอกสารการสัมมนาเรื่อง การใช้เถ้าลอยในงานคอนกรีต , วันพุธที่ 17 กุมภาพันธ์ 2542
8. Annual Book of ASTM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้