ผลกระทบของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยที่มีผลต่อผิวหน้าของคอนกรีต

EFFECT OF CONCRETE MIXED WITH FLY ASH ON SURFACE OF CONCRETE

ขจรศักดิ์ ไชยวงษ์
KAJONSAK CHAIYAWONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2560

KMITL-2017-EN-M-093-167

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ผลกระทบของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยที่มีผลต่อผิวหน้าของคอนกรีต

EFFECT OF CONCRETE MIXED WITH FLY ASH ON SURFACE OF CONCRETE

ขจรศักดิ์ ไชยวงษ์

KAJONSAK CHAIYAWONG

ห้องสมุด
เลขทะเบียน 148767
วัน.เดือน.ปี 23 พ.ย. 2560

b 00267083
l

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

KMITL-2017-EN-M-093-167

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECT OF CONCRETE MIXED WITH FLY ASH ON SURFACE OF CONCRETE

KAJONSAK CHAIYAWONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2017

KMITL-2017-EN-M-093-167

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2017

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลกระทบของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยที่มีผลต่อผิวหน้าของคอนกรีต
Thesis Title Effect of Concrete Mixed with Fly Ash on Surface of Concrete
นักศึกษา นายขจรศักดิ์ ไชยวงษ์
รหัสประจำตัว 55613204
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.คมสัน มาลีสี
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-M-093-167

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.เอนก	ศิริพานิชกร	
รศ.สุวัฒน์	ถิรเศรษฐ์	
ผศ.ดร.อาทิตย์	เพชรศศิธร	
ดร.อัฏฐวิทย์	สุจริตพงศ์	
รศ.ดร.คมสัน	มาลีสี	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 24 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 เวลา 10.00-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติห้อง HM-303

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)
คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่ 24 กรกฎาคม พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลกระทบของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยที่มีผลต่อผิวหน้าของคอนกรีต
นักศึกษา	นายขจรศักดิ์ ไชยวงษ์
รหัสประจำตัว	55613204
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.คมสัน มาลีสี

บทคัดย่อ

ปัจจุบันพบว่ามีการใช้เถ้าลอยทดแทนปริมาณซีเมนต์ในคอนกรีตเป็นจำนวนมากเพื่อลดต้นทุนในการผลิต แต่อาจส่งผลต่อคุณภาพของคอนกรีต ซึ่งพบว่าคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยเมื่อนำไปใช้งานจะเกิดฝุ่นผงที่ผิวหน้าของคอนกรีต งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงการกระจายตัวของเถ้าลอยในแต่ละระดับชั้นของคอนกรีต ซึ่งจะมีผลต่อการสึกกร่อนและกำลังรับแรงอัดที่ผิวหน้าคอนกรีต เมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยร้อยละ0, 15, 30 และ 45 ของค่าน้ำหนักซีเมนต์ทั้งหมด กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 180, 240 และ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทดสอบหาปริมาณการกระจายตัวของเถ้าลอยด้วยเครื่อง XRF ทดสอบกำลังอัดและการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตตาม ASTM C805 และ ASTM C944 ที่อายุ 7,28,90 วัน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยในคอนกรีต การกระจายตัวของเถ้าลอยที่ผิวหน้าคอนกรีตเพิ่มปริมาณมากขึ้นค่าความทนทานต่อการสึกกร่อนที่ผิวหน้าคอนกรีตลดลงสูงมากและกำลังรับแรงอัดที่ผิวหน้าคอนกรีตลดลงสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าลอย

คำสำคัญ: เถ้าลอย, คอนกรีต, การสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Effect of concrete mixed with fly ash on surface of concrete
Student	Mr.Kajonsak Chaiyawong
Student ID.	55613204
Degree	Master of Engineering
Program	Civil Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Associate.Prof.Dr.Komsan Maleesee

ABSTRACT

Nowadays, the mixture concrete uses fly ash in cement replacing in making concrete for reducing production cost. However, perhaps effects on quality of concrete mixing. The concrete mixed with fly ash also founds dust on its while it is used. Therefore, this research is almost to study on the distribution of fly ash in each level of mixed concrete which effect on abrasive surface and compressive strength of concrete. The study used cement replacement in concrete by fly ash at 0%. 15%. 30% and 45%, and kept the compressive strength at 180, 240 and 350 ksc. The test for quantity of distribution of fly ash with XRF machine were introduced. The ASTM C805 and ASTM C944 were used as standard for abrasion on surface and compressive strength of concrete by the sample period as 7, 28 and 90 days. The result revealed that when increased fly ash, the distribution of fly ash on surface of concrete increased but the tolerance to abrasion on surface of concrete decreased when compare to concrete mixed without fly ash.

Keywords: fly ash, concrete, abrasion

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความเมตตากรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.คมสัน มาลีสี ผู้จุดประกายความคิด ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา ตลอดจนให้ความรู้และข้อคิดที่ดีแก่ข้าพเจ้าในหลายๆ ด้าน

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณบริษัท บริษัทผลิตภัณฑ์ และวัตถุก่อสร้าง จำกัด หรือซีแพคธุรกิจในเครือซีเมนต์ไทยผู้ผลิตคอนกรีตผสมเสร็จและผลิตภัณฑ์คอนกรีตสำเร็จรูป ที่ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิจัยตลอดโครงการ

ขอขอบคุณบริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด(มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์เถ้าถ่านหิน BLCP ระยองที่ใช้ในการทดสอบ

ขอขอบคุณบริษัท น่ำเฮงคอนกรีต (1992) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เถ้าถ่านหินแม่เมาะที่ใช้ในการทดสอบ

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดาซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง

ขจรศักดิ์ ไชยวงษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง..... VII

สารบัญภาพ.....VIII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์.....1

1.3 ขอบเขตการศึกษา.....2

1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....2

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา.....2

บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์.....3

2.1 บททฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....3

2.1.1 เถ้าถ่านหินหรือเถ้าลอย.....3

2.1.2 ปฏิกิริยาปอซโซลาลาน ของเถ้าถ่านหิน (Pozzolanic Reaction).....8

2.1.3 การเยิ้มน้ำ (Bleeding).....10

2.1.4 ความสามารถในการทำงานหรือการเท (Workability).....11

2.1.5 คุณสมบัติต้านทานการสึกกร่อน (Surface Abrasion).....11

2.1.6 กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength).....13

2.2 ผลของการศึกษางานวิจัย..... 15

บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย.....19

3.1 การเตรียมตัวอย่างและวัสดุที่ใช้.....19

3.1.1 การเตรียมตัวอย่างซีเมนต์เพสต์.....20

3.1.2 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต.....21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.2 วิธีการทดลอง....21
3.2.1 การเยิ้มน้ำ (Bleeding)....21
3.2.2 ความสามารถในการทำงานหรือการเท (Workability)....22
3.2.3 การทดสอบหาปริมาณการกระจายตัวของเถ้าถ่านหิน (Distribution) ในซีเมนต์เพสต์....23
3.2.4 คุณสมบัติต้านทานการสึกกร่อนที่ผิวหน้า (Surface Abrasion)....26
3.2.5 กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength)....28
3.2.6 การทดลอบการกระจายตัวของเถ้าถ่านหิน (Distribution) ในคอนกรีต.... 28

บทที่ 4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล....36
4.1 ผลการทดสอบซีเมนต์เพสต์....36
4.1.1 การเยิ้มน้ำ (Bleeding)....36
4.1.2 ความสามารถในการทำงานหรือการเท (Workability)....37
4.1.3 การทดสอบหาปริมาณการกระจายตัวของเถ้าถ่านหิน (Distribution) ในซีเมนต์เพสต์....38
4.2 ผลการทดสอบคอนกรีต....39
4.2.1 คุณสมบัติต้านทานการสึกกร่อนที่ผิวหน้า (Surface Abrasion)....39
4.2.2 กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength)....43
4.2.3 การทดลอบการกระจายตัวของเถ้าถ่านหิน (Distribution) ในคอนกรีต.... 46

บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา....49
เอกสารอ้างอิง....53
ภาคผนวก....54
ภาคผนวก ก.ผลการทดสอบ....54
ภาคผนวก ข. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์....59
ประวัติผู้เขียน....68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 คุณสมบัติทางเคมีของเถ้าถ่านหิน....8
3.1 ปริมาณเถ้าลอยที่ใช้แทนที่ซีเมนต์ในซีเมนต์เพสและจำนวนร้อยละซิลิกอนไดออกไซด์ SiO_2 ที่ได้จากการคำนวณ....24
3.2 ปริมาณ SiO_2 ที่ผิวของซีเมนต์เพสต์ จากการทดสอบ (XRF)....25
3.3 ปริมาณเถ้าถ่านหินที่ผิวของซีเมนต์เพสต์ จากการทดสอบ (XRF)....25
3.4 ปริมาณ SiO_2 มอร์ต้าที่อัตราส่วน Binder ต่อทราย 1:2.5 จากการทดสอบ (XRF)....30
3.5 ปริมาณ SiO_2 มอร์ต้าที่อัตราส่วน Binder ต่อทราย 1:30 จากการทดสอบ (XRF)....31
3.6 ปริมาณ SiO_2 มอร์ต้าที่อัตราส่วน Binder ต่อทราย 1:3.5 จากการทดสอบ (XRF)....32
3.7 ปริมาณ SiO_2 ของคอนกรีตที่กำลังรับแรงอัดที่ 180 Ksc จากการทดสอบ (XRF)....33
3.8 ปริมาณ SiO_2 ของคอนกรีตที่กำลังรับแรงอัดที่ 240 Ksc จากการทดสอบ (XRF)....34
3.9 ปริมาณ SiO_2 ของคอนกรีตที่กำลังรับแรงอัดที่ 350 Ksc จากการทดสอบ (XRF)....35
5.1 สรุปปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินในคอนกรีตที่ ร้อยละ 15....50
5.2 สรุปปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินในคอนกรีตที่ ร้อยละ 30....51
5.3 สรุปปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินในคอนกรีตที่ ร้อยละ 45....52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 เถ้าถ่านหินรูปร่างทรงกลม....5

2.2 เถ้าถ่านหินรูปร่างทรงกลวง....5

2.3 เถ้าถ่านหินรูปร่างทรงเหลี่ยมมุม....6

2.4 การใช้เถ้าลอยก่อสร้างเขื่อนปากมูล....9

2.5 ปริมาณการใช้เถ้าถ่านหินในแต่ละปี....10

3.1 เถ้าถ่านหินแม่เมาะ....19

3.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง การทดสอบซีเมนต์เพสต์....20

3.3 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างการทดสอบคอนกรีต....21

3.4 วิธีการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเยิ้มน้ำ....22

3.5 ตัวอย่างการวัดค่าการเยิ้มน้ำ....22

3.6 อุปกรณ์การทดสอบความสามารถในการทำงานหรือการเทของซีเมนต์เพสต์....23

3.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณเถ้าลอยที่ใช้แทนที่ซีเมนต์ในซีเมนต์เพสและ ปริมาณร้อยละการกระจายตัวของ SiO_2 ที่ผิวของซีเมนต์เพสจากการคำนวณ....24

3.8 ปริมาณเถ้าถ่านหินที่ผิวของซีเมนต์เพสต์....26

3.9 การทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้า (Surface Abrasion)....26

3.10 การชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้าตามมาตรฐาน ASTM C944-99....27

3.11 เครื่องทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้าตามมาตรฐาน ASTM C944-99....27

3.12 การทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้าตามมาตรฐาน ASTM C944-99....28

3.13 การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C39....28

3.14 การกำหนดสัดส่วนของมอร์ต้า....29

3.15 ปริมาณเถ้าถ่านหินที่ผิวของมอร์ต้าที่อัตราส่วนผสม Binder ต่อทราย 1:2.5....30

3.16 ปริมาณเถ้าถ่านหินที่ผิวของมอร์ต้าที่อัตราส่วนผสม Binder ต่อทราย 1:3.0....31

3.17 ปริมาณเถ้าถ่านหินที่ผิวของมอร์ต้าที่อัตราส่วนผสม Binder ต่อทราย 1:3.5....32

3.18 ปริมาณเถ้าถ่านหินที่ผิวของคอนกรีต ที่กำลังรับแรงอัดที่ 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร....33

3.19 ปริมาณเถ้าถ่านหินที่ผิวของคอนกรีต ที่กำลังรับแรงอัดที่ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร....34

3.20 ปริมาณเถ้าถ่านหินที่ผิวของคอนกรีต ที่กำลังรับแรงอัดที่ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร....35

4.1 ค่าการเยิ้มน้ำในซีเมนต์เพสต์เมื่อผสมเถ้าลอย....36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.2 อัตราการไหลในซีเมนต์เพสต์เมื่อผสมเถ้าลอย....37
4.3 ปริมาณเถ้าถ่านหินที่ผิวของซีเมนต์เพสต์....39
4.4 การทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ 7 วัน....40
4.5 การทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน....41
4.6 การทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ 90 วัน....42
4.7 การทดสอบการขัดสีที่ผิว (Surface Abrasion) ที่ 7 วัน....43
4.8 การทดสอบการขัดสีที่ผิว (Surface Abrasion) ที่ 28 วัน....44
4.9 การทดสอบการขัดสีที่ผิว (Surface Abrasion) ที่ 90 วัน....45
4.10 ปริมาณเถ้าถ่านหินที่ผิวของมอร์ต้า....47
4.11 ปริมาณเถ้าถ่านหินที่ผิวของคอนกรีต....48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันปริมาณการก่อสร้างในประเทศไทยได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากจึงส่งผลให้ปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ซึ่งจะส่งผลต่อวัสดุธรรมชาติซึ่งเป็นพื้นฐานในการผลิตปูนซีเมนต์ดังนั้นในอุตสาหกรรมคอนกรีตจึงมีการใช้วัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตเพื่อลดปัญหาดังกล่าว โดยวัสดุทดแทนที่นำมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์มีด้วยกันหลายชนิด ยกตัวอย่างเช่น เถ้าถ่านหิน ผงหินปูน ผงซิลิกา เป็นต้น ซึ่งจะช่วยในการลดต้นทุนการผลิตและพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตให้ดีขึ้นอีกด้วย ปัจจุบันวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์และในปัจจุบันวัสดุที่นิยมนำไปใช้ในงานคอนกรีตคือ เถ้าถ่านหิน ซึ่งจะมีคุณสมบัติที่ช่วยให้เพิ่มความสามารถในการทำงานได้ ลดการสูญเสียการยุบตัว เพิ่มกำลังในระยะยาว เป็นต้น แต่ในขณะเดียวกันการใช้เถ้าถ่านหินในปริมาณที่มาก ก็อาจจะส่งผลเสียต่อคอนกรีต เช่นทำให้อัตราการพัฒนากำลังของคอนกรีตต่ำลงในช่วงต้นและอีกหนึ่งปัญหาที่พบคือการเกิดฝุ่นที่ผิวหน้าคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วในโครงสร้างพื้น,งานโครงสร้างถนนคอนกรีต ซึ่งฝุ่นที่ผิวหน้าของคอนกรีตนี้เป็นตัวบ่งบอกว่าโครงสร้างคอนกรีตนั้นสึกกร่อนง่าย โดยฝุ่นที่เกิดขึ้นที่ผิวหน้าคอนกรีตเกิดจากปริมาณเถ้าถ่านหินที่ผิวหน้าของคอนกรีตมีปริมาณที่มากกว่าระดับชั้นอื่นๆเนื่องจากน้ำหนักของตัวเถ้าถ่านหินเบากว่าซีเมนต์ และเมื่อเกิดการเยิ้มน้ำ (Bleeding) ก็จะทำให้เถ้าถ่านหินลอยขึ้นมาที่ผิวหน้าของคอนกรีต ส่งผลให้ปริมาณซีเมนต์ในผิวหน้าของคอนกรีตลดลง ซึ่งจะส่งผลให้ความต้านทานต่อการสึกกร่อนลดลง อายุการใช้งานคอนกรีตต่ำลง งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของซีเมนต์เพสต์และคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยที่มีผลต่อผิวหน้าของคอนกรีต

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1. ศึกษาอัตราการกระจายตัวของเถ้าถ่านหินที่ผิวหน้าของซีเมนต์เพสต์และคอนกรีต
2. ศึกษาการทนทานต่อการขัดข่วนที่ผิวหน้าของคอนกรีตตามสัดส่วนของเถ้าถ่านหินที่ใช้
3. ศึกษากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาถึงการกระจายตัวของเถ้าถ่านหินในแต่ละระดับชั้นของซีเมนต์เพสและคอนกรีต ซึ่งจะมีผลต่อการสึกกร่อนและกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 0, 15, 30 และ 45 ของน้ำหนักซีเมนต์ทั้งหมด กำลังอัดที่ 180, 240, 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทดสอบหาปริมาณการกระจายตัวของเถ้าลอยด้วยเครื่อง X-RAY Fluorescence ทดสอบกำลังอัดและการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตตาม ASTM C944 โดยทำการทดสอบเมื่อทำการบ่มคอนกรีตที่ 7 วัน 28 วัน และ 90 วัน

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาวรรณกรรม งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในส่วนของเถ้าถ่านหินจากแม่เมาะและระยอง
2. ศึกษาทฤษฎีการหาอัตราการกระจายตัวของเถ้าถ่านหินในคอนกรีต
3. ออกแบบ วางแผนการดำเนินการศึกษา และศึกษามาตรฐานการทดสอบ วิธีการทดสอบ รวมไปถึงวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ
4. ทำการทดสอบ และเก็บรวบรวมผลการทดสอบ
5. วิเคราะห์ผลการทดสอบและสรุปผลการศึกษา จัดทำรูปเล่มนำเสนอ

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา

1. การศึกษาเพื่อถึงผลกระทบของปริมาณเถ้าลอยในอัตราร้อยละต่างๆที่ส่งผลต่อความทนทานและการต้านทานความสึกกร่อนของผิวหน้าคอนกรีต
2. การศึกษาเพื่อทราบถึงผลกระทบของปริมาณเถ้าลอยในอัตราร้อยละต่างๆที่ส่งผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอย
3. การศึกษาเพื่อทราบถึงอัตราการกระจายตัวของเถ้าถ่านหินในคอนกรีตเมื่อใส่เถ้าถ่านหินในปริมาณที่แตกต่างกันอัตราการกระจายตัวของเถ้าถ่านหินที่ผิวหน้าจะกระจายในปริมาณที่แตกต่างกันอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

บทนี้จะกล่าวสรุปถึงการทบทวนวรรณกรรม ตำรา เอกสาร วารสารและงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศที่เกี่ยวข้องกับการทำงานวิจัย

2.1 บททฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 เถ้าถ่านหินหรือเถ้าลอย

เถ้าถ่านหินหรือเถ้าลอย (fly ash หรือ pulverized fuel ash) เกิดจากการเผาถ่าน เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า เถ้าถ่านหินจะถูกพัดออกมาตามลมร้อนเพื่อออกไปสู่ปล่องควัน จากนั้นตัวดักจับ (electrostatic precipitator) จะรวบรวมเถ้าถ่านหินเพื่อเก็บไว้ในไซโลต่อไป ในกรณีที่เถ้าถ่านหินหลอมเหลวและบางส่วนจับกัน เป็นก้อนหรือเป็นเม็ดใหญ่ขึ้น ทำให้มีน้ำหนักมาก และตกลงสู่ก้นเตา จึงเรียกว่า เถ้ากันเตาหรือเถ้าหนัก (bottom ash) การผลิตกระแสไฟฟ้าที่โรงงานไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิง กากที่เหลือจากการเผาถ่านหินประกอบด้วยเถ้าถ่านหินประมาณร้อยละ 20 และประมาณว่ามีเถ้าถ่านหินลิกไนต์ที่ได้จากการเผาถ่านหินเฉพาะที่แม่เมาะถึงปีละประมาณ 3 ล้านตันในปี พ.ศ. 2536 นอกจากนี้ยังมีเถ้าถ่านหินจากแหล่งภาคกลางและภาคตะวันออกอีกปีละ 2.8 แสนตันต่อปี และมีการนำเถ้าถ่านหินจากทุกแหล่งไปใช้ในงานคอนกรีตประมาณปีละ 1.5 ล้านตันในปี พ.ศ. 2546

การใช้เถ้าถ่านหินในงานก่อสร้างไม่ใช่เรื่องใหม่ มีรายงานเกี่ยวกับการนำเถ้าถ่านหินมาใช้แทนปูนซีเมนต์โดย Davis และคณะ ตั้งแต่ปีมาก ค.ศ. 1937 ซึ่งถือได้ว่าเป็นก้าวแรกของการนำเถ้าถ่านหินมาใช้ในงานคอนกรีต หลังจากนั้นมามีงานวิจัยเกี่ยวกับการนำเถ้าถ่านหินมาใช้ประโยชน์อีกเป็นจำนวนมากและมีการนำเถ้าถ่านหินไปใช้ในงานจริงเป็นจำนวนมากด้วยเช่นกัน

สำหรับในประเทศไทยพบว่าในช่วงก่อนปี พ.ศ. 2536 มีการนำเถ้าถ่านหินไปใช้ในงานต่างๆ ทั่วประเทศไทยค่อนข้างน้อยประมาณ 100 ถึง 500 ตันต่อปี แต่ในปี พ.ศ. 2541 มีการใช้เถ้าถ่านหินจากอำเภอแม่เมาะ เป็นปริมาณสูงถึง 300,000 ตัน และเพิ่มเป็น 600,000 ตันในปี พ.ศ. 2542 และประมาณ 880,000 ตันในปี พ.ศ. 2543 โดยเถ้าถ่านหินส่วนใหญ่นำไปใช้ในงานคอนกรีตผสมเสร็จของโครงการก่อสร้างต่างๆ เช่นโรงไฟฟ้าราชบุรี และโครงการรถไฟฟ้ามหานคร และโครงการก่อสร้างเขื่อนคลองท่าด่านที่จังหวัดนครนายกซึ่งคาดว่าใช้เถ้าถ่านหินถึง 700,000 ตัน

เถ้าถ่านหิน นิยมนำไปใช้ในงานคอนกรีตมากกว่าในงานชนิดอื่นด้วยเหตุผล 2 ประการ คือ ประการแรก พบว่าเถ้าถ่านหินมีออกไซด์ของธาตุซิลิกา อลูมินา และเหล็ก ซึ่งออกไซด์ของธาตุเหล่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดีและเพิ่มกำลังอัดคอนกรีตให้สูงขึ้น โดยเฉพาะเมื่อใช้เถ้าถ่านหินที่มีคุณภาพดีและในปริมาณที่เหมาะสม ประการที่สอง เนื่องจากเถ้าถ่านหินมีอนุภาคที่ค่อนข้างเล็กและส่วนใหญ่เป็นเม็ดกลมเมื่อผสมในคอนกรีตเถ้าถ่านหินจะเข้าไปอุดช่องว่าเล็กๆระหว่างปูนซีเมนต์และหินหรือทรายทำให้คอนกรีตแน่นขึ้น และลักษณะทรงกลมของเถ้าถ่านหินจะช่วยทำให้คอนกรีตมีการลื่นไหลได้ดีขึ้นทำให้การสูบส่งคอนกรีตหรือเทคอนกรีตลงในแบบทำได้สะดวกและง่ายขึ้น นอกจากนี้คอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าถ่านหินยังสามารถผสมได้ง่ายและลดพลังงานที่ใช้ในเครื่องผสมลงได้เนื่องจากรูปร่างที่กลมและผิวสัมผัสที่ลื่นของเถ้าถ่านหินทำให้แรงเสียดทานระหว่างอนุภาคต่ำลง

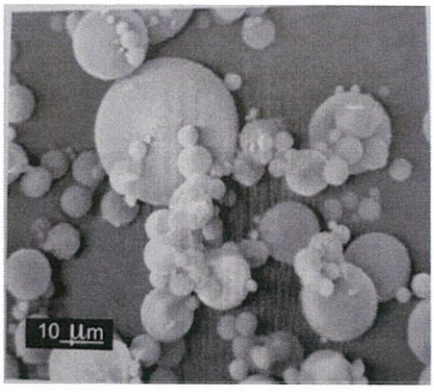
การใช้เถ้าถ่านหินในงานคอนกรีตมีข้อดีหลายประการได้แก่ เพิ่มความสามารถในการเทได้ เพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนของคอนกรีต ลดผลกระทบจากการแยกตัว ลดความร้อนที่เกิดขึ้นในงานคอนกรีต ลดการหดตัว ลดอัตราการซึมของน้ำผ่านคอนกรีต และที่สำคัญคือเพิ่มกำลังอัด และกำลังดึงประลัยของคอนกรีตเมื่อคอนกรีตมีอายุมากขึ้น แต่ทั้งนี้การใช้เถ้าถ่านหินจะมีข้อเสียด้วยคือทำให้อัตราการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตต่ำลงในช่วงอายุต้น ลดความต้านทานต่อสภาวะการแข็งตัวและละลายของน้ำสลับกันไป และทำให้ต้องใช้สารเพื่อเพิ่มฟองอากาศมากขึ้นเพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีปริมาณฟองอากาศตามต้องการในระดับเดียวกับคอนกรีตที่ไม่มีเถ้าถ่านหินผสมอยู่

เถ้าถ่านหินถือได้ว่าเป็นวัสดุปอซโซลานชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถใช้เป็นส่วนผสมหรือแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในการทำคอนกรีตได้แต่เถ้าถ่านหินที่ใช้จะเป็นวัสดุปอซโซลาที่ดีมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเถ้าถ่านหินนั้น

รูปร่างอนุภาคของเถ้าถ่านหินขึ้นอยู่กับความสม่ำเสมอของถ่านหิน แหล่งที่มาของถ่านหิน ความละเอียดของผงถ่านหินก่อนเผาสภาพการเผา (ระดับอุณหภูมิและปริมาณออกซิเจน) ความสม่ำเสมอของการเผา วิธีการดักจับเถ้าลอย

ความละเอียดของเถ้าถ่านหิน (Fly Ash) เถ้าถ่านหินโดยทั่วไปจะมีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ ลักษณะทั่วไปจะเป็นรูปทรงกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่เล็กกว่า 1 ไมโครเมตร (0.001 มม.) จนถึง 0.15 มม. ซึ่งจะพบว่าเถ้าถ่านหินโดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นทรงกลมตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 เถ้าถ่านหินรูปร่างทรงกลม
ที่มา : เถ้าลอยในงานคอนกรีต ศ.ดร.ปริญญา จินดาประเสริฐ

ลักษณะเถ้าถ่านหินกลวง เถ้าถ่านหินที่มีขนาดใหญ่และอาจมีเถ้าถ่านหิน ขนาดเล็กๆ อยู่ภายใน เรียกว่า เถ้าถ่านหินกลวง (Cenosphere) ซึ่งมีน้ำหนักเบาและลอยน้ำได้

รูปที่ 2.2 เถ้าถ่านหินรูปร่างทรงกลวง
ที่มา : เถ้าลอยในงานคอนกรีต ศ.ดร.ปริญญา จินดาประเสริฐ

เถ้าถ่านหินที่มีรูปร่างเป็นเหลี่ยมและพรุน ทำให้คอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหินชนิดนี้ต้องการปริมาณน้ำในส่วนผสมมากขึ้นซึ่งทำให้กำลังของคอนกรีตตกลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 เถ้าถ่านหินรูปร่างทรงเหลี่ยมมุม
ที่มา : เถ้าลอยในงานคอนกรีต ศ.ดร.ปริญญา จินดาประเสริฐ

นอกจากนี้ยังพบว่าความละเอียดและรูปร่างของเถ้าถ่านหิน ยังขึ้นอยู่กับ การบดถ่านหินที่จะนำไปเผา ชนิดของเครื่องบด และชนิดของเตาเผา กล่าวคือ ถ้าบดถ่านหินละเอียดมากขึ้นและเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ในเตาเผา จะทำให้ได้เถ้าถ่านหินที่มีความละเอียดสูงกว่า เมื่อใช้ถ่านหินที่บดหยาบกว่าหรือเผาไหม้ได้ไม่สมบูรณ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์จะมีถ่านหินปนอยู่จำนวนมาก ซึ่งโดยทั่วไปแล้วถ่านหินที่บดละเอียดจะมีขนาดใหญ่กว่าเถ้าถ่านหินมาก ดังนั้นความละเอียดของเถ้าถ่านหินจึงขึ้นกับปัจจัยหลายประการด้วยกัน

ความถ่วงจำเพาะ ความถ่วงจำเพาะของเถ้าลอยอยู่ระหว่าง 2.2-2.8 เถ้าลอยจากแม่เมาะ มีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.0 เมื่อทำการแยกเถ้าลอยให้มีขนาดเล็กลง ความถ่วงจำเพาะจะสูงขึ้น เพราะเถ้าลอยขนาดใหญ่มักมีรูพรุนมากกว่าขนาดเล็ก

ประเภทของเถ้าถ่านหิน เถ้าถ่านหินที่ได้จากการเผาถ่านหินบด มีความละเอียดสามารถผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (ช่วงเปิด 75 มม.) ในปริมาณร้อยละ 70-80 % โดยน้ำหนัก ประเภทของเถ้าลอยแบ่งตาม ASTM C61

เถ้าลอย Class F ได้จากการเผาถ่านหินประเภท แอนทราไซด์ หรือ บิทูมินัส

Class F => $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 > 70\%$

เถ้าลอย Class C ได้จากการเผาถ่านหินประเภท ซับบิทูมินัส หรือ ลิกไนต์

Class C =>$SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 > 50\%$

ศักยภาพของเถ้าถ่านหินมาใช้ประโยชน์ มีรายงานที่เกี่ยวกับการนำเถ้าถ่านหินมาใช้แทนปูนซีเมนต์โดย Davisและคณะ ตั้งแต่เมื่อปี พ.ศ.2480 ถือได้ว่าเป็นก้าวแรกของการนำเถ้าถ่านหินมาใช้งานคอนกรีต หลังจากนั้นมีงานวิจัยเกี่ยวกับการนำเถ้าถ่านหินมาใช้ประโยชน์อีกจำนวนมาก และมีการนำเถ้าถ่านหินไปใช้ในงานจริงเป็นจำนวนมากด้วยเช่นกัน

ธาตุเหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดี ปฏิกิริยาปอซโซลานจะช่วยเพิ่มกำลังอัดคอนกรีตให้สูงขึ้นเมื่อใช้เถ้าถ่านหินที่มีคุณภาพดีและในปริมาณที่เหมาะสม ประการที่สอง เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เถ้าถ่านหินอนุภาคที่ค่อนข้างเล็กละเอียดและเป็นเม็ดกลม ดังนั้นอนุภาคเหล่านี้เมื่อผสมในคอนกรีตจะเข้าไปแทรกอยู่ในช่องว่างเล็กๆ ระหว่างปูนซีเมนต์ ทราย และหิน การที่เถ้าถ่านหินเข้าไปแทรกตัวอยู่ในช่องว่างของคอนกรีตจะทำให้คอนกรีตแน่นขึ้น และเนื่องจากเถ้าถ่านหินมีสัณฐาน เป็นทรงกลมจะทำให้คอนกรีตมีการลื่นไหลได้ดีขึ้น นอกจากนี้ ยังทำให้การปั๊มหรือเทคอนกรีตลงในแบบทำได้สะดวกขึ้นอีกด้วย

เมื่อผสมเถ้าถ่านหินบางส่วนเข้าไปในส่วนผสมคอนกรีตกำลังอัดคอนกรีตที่อายุต้นๆจะต่ำลง มีรายงานว่าการใช้เถ้าถ่านหินแบบ class Fแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 จะทำให้คอนกรีตที่อายุ 1 วัน มีค่าเพียงร้อยละ 50 ของกำลังอัดคอนกรีตในส่วนผสมเดียวกัน ที่ไม่ได้ใส่เถ้าถ่านหิน การใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราร้อยละ 25 และ 35 จะทำให้ทำให้กำลังอัดคอนกรีตที่อายุ 7 วัน มีค่าประมาณร้อยละ 75 และ 65 ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ใช้เถ้าถ่านหิน แต่ว่าค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหินเหล่านี้มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 90 และ 85 ตามลำดับ ของกำลังอัดคอนกรีตที่ไม่มีเถ้าถ่านหินผสมอยู่ในคอนกรีตนี้ มีอายุ 6 เดือน และมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ การใช้เถ้าถ่านหินที่มีความละเอียดสูงจะสามารถแก้ปัญหากำลังอัดต่ำของคอนกรีตในช่วงอายุต้นๆได้

องค์ประกอบทางเคมี องค์ประกอบหลักทางเคมีของเถ้าถ่านหิน คือ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2),อะลูมินัมออกไซด์ (Al_2O_3) และเฟอร์ริคออกไซด์ (Fe_2O_3) อัตราส่วนของออกไซด์ทั้ง 3 ชนิดจะแปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ สภาพแวดล้อมขณะเผา และชนิดของถ่านหินที่ใช้เผา ด้วยเหตุผลนี้ASTM C618 จึงได้แยกประเภทของเถ้าถ่านหินไว้ 2 ชนิด คือ Class C และ Class F โดย Class F มีปริมาณ SiO_2 +Al_2O_2+Fe_2O_2 มากกว่าร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก และ Class C จะมีปริมาณของออกไซด์ดังกล่าว ระหว่างร้อยละ 50-70 โดยน้ำหนักส่วนใหญ่แล้วถ่านหินลิกไนต์ (Lignite), สับบิทูมินัส (Sub-bituminus) เมื่อเผาแล้วจะให้เถ้าถ่านหิน Class C ส่วนถ่านหินชนิดแอนทราไซด์ (Anthracite) บิทูมินัส (Bituminus) จะให้เถ้าถ่านหิน Class F สำหรับโรงผลิตกระแสไฟฟ้าแม่เมาะ ใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นวัตถุดิบในการให้ความร้อน แต่เถ้าถ่านหินที่ได้มีทั้ง Class F และ Class C การที่เถ้าถ่านหินจากแหล่งเดียวกัน แต่สามารถพบเถ้าถ่านหินได้ทั้ง Class F หรือ Class C เป็นเรื่องปกติเพราะถ่านหินเป็นวัสดุธรรมชาติมีเนื้อไม่สม่ำเสมอ คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีย่อมเปลี่ยนไป แต่โดยสรุปก็คือเถ้าถ่านหินที่ได้เป็น Class F หรือ Class C ต่างก็ศักยภาพเพียงพอที่จะนำไปใช้ในงานคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางเคมีของเถ้าถ่านหิน

คุณสมบัติ	ASTM C168 (%)	
	Class F	Class C
$SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$	70	50
SO_3มากที่สุด	5.0	5.0
ปริมาณความชื้นมากที่สุด	3.0	3.0
การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาไหม้	6.0	6.0
อัลคาไลน์ในรูปของ Na_2O มากที่สุด	1.5	1.5

2.1.2 ปฏิกิริยาปอซโซลาลาน ของเถ้าถ่านหิน (Pozzolanic Reaction)

ความสามารถของเถ้าถ่านหิน ในการรวมตัวกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์เพื่อทำปฏิกิริยาปอซโซลาน จะขึ้นอยู่กับความละเอียดของเถ้าถ่านหิน คือ เถ้าถ่านหินที่มีความละเอียดมากปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นได้เร็วกว่าเถ้าถ่านหินที่มีความละเอียดน้อยกว่า และในทำนองเดียวกันเถ้าถ่านหินที่มีปริมาณร้อยละของคาร์บอนต่ำก็จะมีการพัฒนากำลังได้ไวเช่นกัน ความไวในการทำปฏิกิริยาปอซโซลานสามารถวัดได้โดยใช้ค่าดัชนีกำลัง (Strength Activity Index)

$$\text{Strength Activity Index with Portland Cement} = [\frac{A}{B}] \times 100 \quad (2.1)$$

A = กำลังอัดของมอร์ต้าที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินร้อยละ 20

B = กำลังอัดของมอร์ต้าร์มาตรฐานที่ไม่มีเถ้าถ่านหิน

ASTM C618 ได้กำหนดว่าดัชนีกำลังของเถ้าถ่านหินทั้ง Class F และ Class C ไม่ควรต่ำกว่าร้อยละ 75 ของมอร์ตาร์มาตรฐานที่อายุ 28 วัน

กระบวนการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานจะเกิดขึ้นภายหลังปฏิกิริยาไฮเดรชั่น หลังจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเกิดขึ้นแล้วจะทำให้ปูนซีเมนต์มีลักษณะเป็นของเหลวข้น (Cement Gel) และในขณะเดียวกันนี้จะเกิดสารประกอบขึ้นมา 2 ชนิด คือ C-S-H และ $Ca(OH)_2$ หลังจากนั้น $Ca(OH)_2$ ทำปฏิกิริยากับ SiO_2 และ Al_2O_3 ที่มีอยู่ในเถ้าถ่านหินให้สารประกอบมีคุณสมบัติในการยึดประสานทำให้ซีเมนต์เพสต์มีความสามารถในการยึดประสานดีขึ้นและความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีตจะดีขึ้นตามไปด้วย ปฏิกิริยาปอซโซลาน

ปฏิกิริยา Silicate Hydration

$$2C_3S + 6H_2O \longrightarrow CSH + 3Ca(OH)_2 \quad (2.2)$$

$$2C_3S + 6H_2O \longrightarrow CSH + 3Ca(OH)_2 \quad (2.3)$$

ปฏิกิริยาปอซโซลานิ $\quad$ Fly Ash + $Ca(OH)_2$ + $H_2O \longrightarrow$ CSH $\quad$ (2.4)

โดยที่ $\quad$ $CSH = 3CaO.2SiO_2.3H_2O$ = Calcium-silicate-hydrate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้เถ้าถ่านหินในงานคอนกรีตกำลังสูง หลักทั่วไปของการผลิตคอนกรีตกำลังสูง คือ ลดปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตลงมากที่สุดเท่าที่จะทำได้โดยไม่ทำให้คอนกรีตคุณสมบัติด้านการเทเปลี่ยนไปเกิดการแยกตัว ปริมาณที่ใช้จะประมาณ 0.25-0.35 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ซึ่งถือว่าน้อยมาก จึงต้องใช้สารลดน้ำหรือสารลดน้ำพิเศษช่วย ทำให้คอนกรีตใช้น้ำน้อยลง และใช้ซิลิกาฟูมหรือเถ้าถ่านหินผสมเพื่ออุดช่องว่างเล็กๆในคอนกรีต (ต้องใช้เถ้าถ่านหิน class F)จากการทดสอบเถ้าถ่านหินจากแม่เมาะ การใช้เถ้าถ่านหินในคอนกรีตกำลังสูงจะให้กำลังอัดที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับและราคาของคอนกรีตถูกกว่าคอนกรีตที่ทำด้วยซิลิกาฟูม

ข้อที่ควรคำนึงถึงมากที่สุด คุณสมบัติของคอนกรีตกำลังสูงที่มีส่วนผสมของเถ้าถ่านหิน ขึ้นอยู่กับคุณภาพของเถ้าถ่านหินนั้นๆ การใช้เถ้าถ่านหิน การประยุกต์ใช้เถ้าลอยในงานคอนกรีตที่เด่นชัดเริ่มขึ้นครั้งแรก ในปี พ.ศ. 2491 เมื่อมีการสร้างเขื่อน Hungry Horse ในรัฐมอนทานา สหรัฐอเมริกา โดยมีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อลดความร้อนจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับซีเมนต์ ในประเทศไทยมีการทดลองใช้เถ้าลอยครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2530 ในการปรับปรุงถนนภายในโรงไฟฟ้าแม่เมาะ โดยเป็นการทดลองแบบลองผิดลองถูก และใช้เถ้าลอยผสมน้ำโดยไม่มีการผสมกับซีเมนต์ ซึ่งได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ทำให้ในปีต่อมามีการนำเถ้าลอยมาใช้ปรับปรุงถนนทุกสายในโรงไฟฟ้าแม่เมาะ โดยมีการพัฒนาวิธีการให้เหมาะสมมากขึ้นเป็นลำดับ

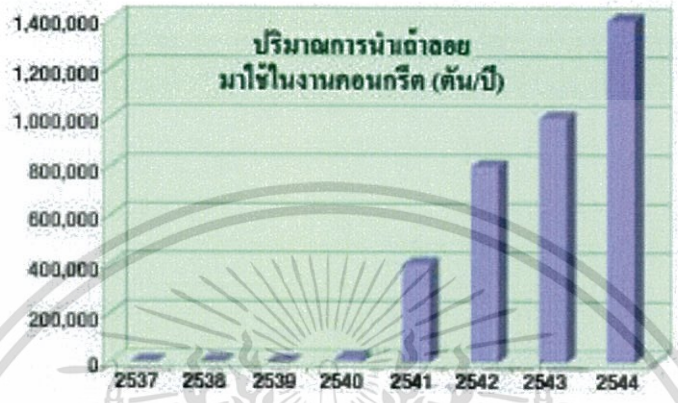
รูปที่ 2.4 การใช้เถ้าลอยก่อสร้างเขื่อนปากมูล

ที่มา : http://www.bloggang.com/data/tangkwar/picture/1122827427.jpg

การก่อสร้างเขื่อนปากมูล เมื่อปี พ.ศ. 2537 ซึ่งใช้คอนกรีตบดอัด (Roller Compacted Concrete) โดยมีส่วนผสมของซีเมนต์ 58 กิโลกรัม และเถ้าลอย 134 กิโลกรัม/คอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร มีการใช้เถ้าถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะไปทั้งสิ้น 6,450 ตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขื่อนคลองท่าด่าน เป็นเขื่อนคอนกรีตบดอัดที่ใหญ่ที่สุดในโลก มีปริมาตรคอนกรีตบดอัด ถึง 5,470,000 ลูกบาศก์เมตร สูง 93 เมตร ยาว 2,720 เมตร ขนาดความจุ 224 ล้านลูกบาศก์เมตร การก่อสร้างผสมผสานระหว่างวิศวกรรมงานคอนกรีตกับวิศวกรรมงานดิน มีการนำเอาเถ้าลอยลิกไนท์ ที่ได้จากเหมืองแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง มาใช้ให้เกิดประโยชน์



รูปที่ 2.5 ปริมาณการใช้เถ้าถ่านหินในแต่ละปี

ที่มา : http://www.pcd.go.th/info_serv/pol_suc_ash.html

จากปริมาณการนำเถ้าลอยมาใช้ดังกล่าว ทำให้ประเทศไทยเป็นอันดับที่หนึ่งในโลก เมื่อเทียบสัดส่วนปริมาณการนำกลับมาใช้ต่อปริมาณการผลิตในปี พ.ศ. 2544 ราคาของเถ้าลอยจำหน่ายที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะ ตันละ 70 บาท ถ้ารวมค่าขนส่งและการจัดการราคาเถ้าลอยจะอยู่ที่ประมาณ 1,000 บาท/ตัน ในขณะที่ซีเมนต์ปกติจะจำหน่ายในราคาประมาณ 2,000 บาท/ตัน ในหนึ่งวันจะมีรถขนเถ้าถ่านหินออกจากโรงไฟฟ้า มากกว่า 150 คัน หรือประมาณ 4,000-5,000 ตัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าเถ้าถ่านหินที่ออกมาจากเตามีปริมาณมากน้อยเพียงใด โดยรถที่เข้ามารับเถ้าลอยนั้นจะต้องเป็นรถที่มีการป้องกันอย่างมิดชิดก่อนที่จะขนออกไป

2.1.3 การเยิ้มน้ำ (Bleeding)

การเยิ้มน้ำ เป็นปรากฏการณ์หนึ่งของคอนกรีตที่เทลงแบบใหม่ๆ และยังไม่ถูกกระทบกระเทือนเลย ก็มีน้ำใสๆเยิ้มขึ้นมาบนผิวหน้าของคอนกรีต สาเหตุเกิดจากหินทรายในส่วนผสมคอนกรีตซึ่งหนักกว่า ค่อยๆทรุดตัวผ่านน้ำลงมาจึงเหลือน้ำใสๆ และเกิดฝ้าปูนที่ผิวคอนกรีต และจับเหล็กเสริมในแนวนอน ทำให้คอนกรีตที่แข็งตัวแล้วมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีตลดลง นอกจากนี้ยังทำให้เกิดช่องว่างในเนื้อคอนกรีต เป็นเหตุให้คอนกรีตไม่ทึบน้ำ และเป็นอันตรายเมื่อน้ำแข็งตัวซึ่งสามารถทำให้คอนกรีตแตกร้าวได้

การเยิ้มน้ำหรือการคายน้ำของคอนกรีต ทำให้คอนกรีตส่วนบนมีความหนาแน่นและกำลังน้อยกว่าคอนกรีตที่อยู่ส่วนล่าง นอกจากนี้ผลของการคายน้ำยังทำให้งานตกแต่งผิวของคอนกรีตล่าช้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไป ถ้าหากอัตราการระเหยของน้ำที่ผิวคอนกรีตเร็วกว่าอัตราการคายน้ำของคอนกรีต ก็จะเป็นเหตุให้ผิวคอนกรีตร้าวเนื่องจากการหดตัวได้ง่าย

การใช้ปูนซีเมนต์ที่ละเอียดจะป้องกันการเยิ้มน้ำได้ดี รูปร่างและสัดส่วนของขนาดคละของวัสดุผสมก็มีผลต่อการคายน้ำ ทรายหยาบจะทำให้เกิดการคายน้ำได้ง่าย การเติมสารผสมเพิ่มเช่นสารกักกระจายฟองอากาศ สารเร่งการก่อตัวจำพวกแคลเซียมคลอไรด์หรือใช้ปูนซีเมนต์ที่มีความด่างมากๆ หรือ C_3A จะช่วยขจัดการเยิ้มลงได้ การเยิ้มหรือการคายน้ำจะหยุดเมื่อซีเมนต์เพสต์แข็งตัว

2.1.4 ความสามารถในการทำงานหรือการเท (Workability)

ความสามารถเทได้ (Workability) เป็นคุณสมบัติที่ต้องการอย่างหนึ่งของคอนกรีตสด หมายถึงการที่คอนกรีตสดสามารถไหลเข้าแบบหล่อได้ดี ทำให้แน่นตัวได้ง่ายโดยใช้กำลังงานน้อย และคอนกรีตที่หล่อได้ปราศจากรูโพรงต่างๆ กล่าวคือ ช่องว่างระหว่างวัสดุผสมจะต้องมีซีเมนต์เพสต์บรรจุเต็ม เหล็กเสริมก็ต้องมีคอนกรีตหุ้มอยู่เป็นอย่างดี และต้องไม่มีการแยกขนาดของส่วนผสมคอนกรีต

ความสามารถเทได้ของคอนกรีตสำหรับงานแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับขนาดของคอนกรีตที่เท ความซับซ้อนของรูปร่างของคอนกรีต ปริมาณเหล็กเสริม ลักษณะความข้นเหลวของคอนกรีตสด ชนิดและประเภทของการใช้เครื่องสั่นคอนกรีต

2.1.5 การสึกกร่อน (Abrasion)

ความต้านทานการสึกกร่อนของคอนกรีตหมายถึงความสามารถของผิวหน้าของคอนกรีตที่จะทนทานต่อการขัดสีหรือเสียดสีของวัตถุอื่นในงานโยธาการสึกกร่อนที่พบอยู่บ่อยๆสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทใหญ่ๆคือ

ประเภทที่ 1 คือการสึกกร่อนของพื้นคอนกรีตเนื่องจากรถยนต์บรรทุกมีน้ำหนักเบาหรือจากคนเดินเท้าหรือจากการลื่นไถลของผิวคอนกรีต

ประเภทที่ 2 เป็นการสึกกร่อนของพื้นผิวคอนกรีตเนื่องจากมีการบรรทุกขนาดใหญ่หรือพวกรถตีนตะขาบ

ประเภทที่ 3 คือการสึกกร่อนของพวกโครงสร้างกันน้ำเช่นเขื่อนรางระบายน้ำอุโมงค์ส่งน้ำหรือตอม่อสะพานซึ่งการกัดกร่อนเหล่านี้เนื่องมากจากกระแสน้ำไหล

ประเภทที่ 4 การสึกกร่อนของโครงสร้างกั้นน้ำในประเภทที่ 3 เกิดจากการไหลของน้ำที่มีความเร็วสูงทำให้เกิดฟองอากาศและการกัดกร่อนที่เรียกว่า cavitation นอกจากนี้ยังมีการสึกกร่อนอื่นอีกเช่นลมที่หอบเอาทรายมาปะทะกับผิวหน้าตึกก็สามารถทำให้เกิดการสึกกร่อนได้

การสึกกร่อนของคอนกรีตนั้นเกิดขึ้นจากการกลิ้งหรือการเสียดสีจากวัตถุอื่นบนผิวของโครงสร้างคอนกรีตโครงสร้างที่เกิดการสึกกร่อนได้มากเช่นพื้นผิวถนนสะพานอาคารบังคับน้ำทางชลศาสตร์ฯลฯ การสึกกร่อนทำให้โครงสร้างคอนกรีตเหล่านี้เสียหายและต้องมีการซ่อมบำรุงถ้าปราศจากการดูแลแล้วการสึกกร่อนจะทำให้อายุการของโครงสร้างนั้นสั้นลงการสึกกร่อนของคอนกรีตขึ้นอยู่กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลายปัจจัยการต้านทานการสึกกร่อนของคอนกรีตก็ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยเช่นคุณสมบัติและปริมาณของมวลรวมกำลังอัดของคอนกรีตปฏิภาคส่วนผสมการใช้วัสดุและสารผสมเพิ่มการบ่มและการตบแต่งผิวคอนกรีตซึ่งผลจากปัจจัยเหล่านี้รวมกันก็จะทำให้คอนกรีตมีความทนทานต่อการสึกกร่อนมากขึ้นในการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าความสามารถในการต้านทานการสึกกร่อนขึ้นอยู่กับกำลังอัดหรือความแข็งแรงของคอนกรีต

การต้านทานการสึกกกร่อนของคอนกรีตมีอยู่หลายปัจจัยที่ได้ศึกษาก่อนหน้านี้และได้พบว่าความต้านทานการสึกกร่อนของคอนกรีตขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของคอนกรีตดังนั้นคอนกรีตกำลังสูงมีความต้านทานการสึกกร่อนที่ดีเพราะว่ามีความทนทานต่อสภาพการขัดสีมากกว่าคอนกรีตที่มีกำลังต่ำอย่างไรก็ตามส่วนผสมของคอนกรีตกำลังสูงที่มีปริมาณปูนซีเมนต์ที่มากจะมีความร้อนสูงและจะมีการหดตัวและทำให้เกิดรอยแตกและมีความทนทานต่ำลง

ในปัจจุบันมีมาตรฐานASTM ที่ใช้สำหรับการทดสอบคอนกรีตอยู่ 4 วิธีหลักๆกล่าวคือ

1. The ASTM C418, Standard Test Method for Concrete Abrasion Resistance to Sand Blasting.วิธีทดสอบมาตรฐานคอนกรีตความต้านทานการขัดสีด้วยการเป่าทรายวิธีนี้เป็นการทดสอบความทนทานการสึกกร่อนของคอนกรีตโดยวิธีเกี่ยวพันกับการทดสอบทรายออตตาวาเป็นการทดสอบเครื่องพ่นทรายไปยังส่วนที่ต้องการทดสอบแต่วิธีนี้คืออาจควบคุมพลังงานบางส่วนไม่ค่อยได้และทรายที่ใช้ต้องมีขนาดอนุภาคที่สม่ำเสมอกัน

2. The ASTM C779, Standard Test Method for Horizontal Concrete Surface Abrasion Resistance วิธีทดสอบมาตรฐานคอนกรีตแนวนอนโดยการขัดสีที่ผิววิธีนี้เป็นการทดสอบความทนทานการสึกกร่อนของคอนกรีตตามแนวขวางวิธีนี้เป็นการประเมินเช่นกันกับการกระแทกและแรงเฉือนบนแผ่นคอนกรีตที่ใช้ทดสอบโดยใช้แรงน้ำหมุน

3. The ASTM C944, Standard Test Method for Concrete or Mortar Surface Abrasion Resistance using the Rotating-Cutter Method. วิธีการทดสอบมาตรฐานคอนกรีตหรือความต้านทานผิวปูนจากการขัดสีโดยวิธีการตัดโดยขั้นตอนนี้ใช้ล้อวางและกดและบนแผ่นตัวอย่างในการเจาะหรือการตัดผิดทดสอบจะขั้นอยู่กับระยะเวลาที่กำหนดไว้และการทดสอบนี้ส่วนมากแล้วจะนิยมใช้กับเส้นทางถนนหรือการควบคุมคุณภาพผิวสะพานคอนกรีต

4. The ASTM C1138, Standard Test Method for Concrete Abrasion Resistance (Underwater Method) วิธีการทดสอบมาตรฐานคอนกรีตโดยวิธีใต้น้ำและเป็นมาตรฐานล่าสุดในการหาค่าการสึกกร่อนโดยการนำแผ่นตัวอย่างคอนกรีตไปทดสอบในเครื่องทดสอบและมีลูกบอลสแตนเลส 3 ขนาดวางอยู่บนพื้นแผ่นตัวอย่างหมุนไปตามแรงของน้ำที่ใช้แรงของมอร์เตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 กำลังต้านทานแรงอัด

การทดสอบกำลังอัดเป็นเรื่องสำคัญมาก เพราะเป็นการควบคุมคุณภาพของคอนกรีตที่ใช้งานรูปทรงของคอนกรีตที่นิยมใช้ใน การทดสอบเพื่อหากำลังอัดของคอนกรีตที่นิยมกันมี 2 แบบ คือ รูปลูกบาศก์และรูปทรงกระบอก สำหรับในประเทศไทยพบว่านิยมใช้ทั้ง 2 ประเภท เนื่องมาจากอิทธิพลของบัณฑิตที่สำเร็จการศึกษาจากประเทศอังกฤษในระยะแรกที่ ใช้ตัวอย่าง คอนกรีตรูปลูกบาศก์ และในระยะหลังที่บัณฑิตส่วนใหญ่จบการศึกษาจากสหรัฐอเมริกา แคนาดา และออสเตรเลีย ที่ใช้ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกก่อนอื่นต้องขอแนะนำ ถึงการเตรียมตัวอย่างคอนกรีตทั้ง 2 ประเภท ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งขนาด วิธีการเตรียมการ ตลอดจนให้ผลของกำลัง อัดที่แตกต่างกัน

การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตรูปลูกบาศก์ การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตรูปลูกบาศก์แบบหล่อคอนกรีตรูปลูกบาศก์เป็นแบบเหล็กขนาด 15 ซม. ทำจากเหล็กหล่อหรือเหล็ก เหนียว ผิวเรียบ และสามารถป้องกันไม่ให้น้ำปูนรั่วออกจากแบบในระหว่างที่เทหรือมีคอนกรีตอยู่ ในแบบ ก่อนการหล่อคอนกรีตจะใช้น้ำมันทาบางๆ ที่ด้านในของแบบหล่อเพื่อให้สามารถถอด แบบได้ง่ายขึ้น การทาน้ำมันมากเกินไปจะทำให้คอนกรีตผสมกับน้ำมันส่วนเกินทำให้มีปัญหาเรื่อง การแข็งตัวและลดกำลังของคอนกรีตการหล่อตัวอย่างคอนกรีตรูปลูกบาศก์ใช้ มาตรฐาน BS 1881 Part 108 โดยใส่คอนกรีตลดลงในแบบมาตรฐานขนาด 15x15x15 ลูกบาศก์เซนติเมตรจำนวน 3 ชั้น แต่ละชั้นให้เขย่าด้วยเครื่องเขย่าแบบโต๊ะหรือกระทุ้งด้วยเหล็กกระทุ้งอย่าง น้อย 35 ครั้ง เหล็ก กระทุ้งมีน้ำหนัก 1.8 กิโลกรัม ยาว 38 เซนติเมตร หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 2.5 เซนติเมตร กระทุ้งคอนกรีตอย่างเต็มที่เพื่อให้เป็นตัวแทนของคอนกรีตที่หล่อในอาคาร ต่างๆ ซึ่งได้รับการ กระทุ้งหรือเขย่าให้แน่นอย่างเต็มที่เช่นเดียวกัน แต่การกระทุ้งจะต้องไม่มากจนทำให้คอนกรีตเกิด การแยกตัว ภายหลังจากกระทุ้งเรียบร้อยแล้วจึงปาดผิวหน้าคอนกรีตให้เรียบ ทิ้งคอนกรีตไว้ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 15 ถึง 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 จากนั้นถอด แบบออกและนำไปบ่มในน้ำที่อุณหภูมิระหว่าง 18 ถึง 22 องศาเซลเซียส การทดสอบนิยมทำเมื่อ คอนกรีตมีอายุ 28 วันซึ่งมักเป็นอายุที่ใช้ในการออกแบบ แต่ทั้งนี้ยังสามารถทำการทดสอบที่อายุอื่น เช่นที่ 3, 7, 14 และ 90 วัน ก็ได้ หากทำการออกแบบกำลังของคอนกรีตที่ใช้งานตามอายุดังกล่าว

การทดสอบ กำลังอัดใช้คอนกรีตที่ผ่านการบ่มและอยู่ในสภาพเปียก โดยใช้หน้าที่เรียบ ของคอนกรีต 2 ด้านตรงกันข้ามเป็นด้านรับแรง ดังนั้นผิวหน้าด้านที่ปาดให้เรียบจะตั้งฉากกับแกน ของแรงกด การให้น้ำหนักกระทำแก่คอนกรีตใช้อัตราคงที่ที่ทำให้เกิดความเค้นเท่ากับ 0.40 เมกะปาสคาลต่อวินาที จนกระทั่งคอนกรีตวิบัติและไม่สามารถรับแรงที่สูงขึ้นได้ต่อไปอีก การให้อัตรากดต่อคอนกรีตที่เร็วมากๆจะทำให้กำลังที่ทดสอบได้สูงกว่าความเป็นจริง และในทางกลับกัน การให้อัตราการกดที่ช้ามากจะทำให้กำลังที่ทดสอบได้ต่ำกว่าความจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงกระบอก แบบหล่อมาตรฐานสำหรับเตรียมตัวอย่างคอนกรีตรูป ทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางเท่ากับ 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ท้าจากเหล็กมีความแข็งแรงผิวด้านในเรียบ สามารถคงรูปทรงกระบอก และสามารถป้องกันน้ำปูนหรือคอนกรีตไม่ให้รั่วออกมาจากแบบหล่อได้ มาตรฐาน ASTM C192 ได้กำหนดให้หล่อคอนกรีตลงแบบมาตรฐานเป็น 3 ชั้น แต่ละ ชั้นมีปริมาตรคอนกรีตเท่าๆกัน แต่ละชั้นกระทุ้ง 25 ครั้งด้วยเหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตรยาว 61 เซนติเมตรโดยชั้นที่ 2และ 3 ต้องกระทุ้งให้ทะลุลงไปยังชั้นที่ต่ำกว่าประมาณ 2.5 เซนติเมตรเพื่อให้เกิดความต่อเนื่อง เมื่อครบทั้ง 3 ชั้นแล้วจึงทำการปาดผิวหน้าของคอนกรีตให้ เรียบ และทิ้งคอนกรีตไว้ที่อุณหภูมิระหว่าง 16 ถึง 27องศาเซลเซียส โดยไม่รบกวนจนคอนกรีตแข็งตัว การถอดแบบจะทำเมื่อคอนกรีตมีอายุ 24 ชั่วโมงและนำไปบ่มในน้ำปูนขาวอิ่มตัวที่ อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส และทำการทดสอบกำลังตามอายุที่กำหนด เนื่องจากการหล่อคอนกรีตแบบนี้ผิว ด้านบนของคอนกรีตจะไม่เรียบพอ ASTM C617 ระบุให้ผิวหน้าของคอนกรีตที่นำมาทดสอบต้องเรียบและแตกต่างกันไม่เกิน 0.05 มิลลิเมตร ซึ่งอาจทำได้โดยการขัดผิวให้เรียบแต่เป็นวิธีที่สิ้นเปลืองและใช้เวลามาก ดังนั้นจึงนิยมใช้การเคลือบหัว (capping) คอนกรีต ซึ่งมีอยู่ 3 แบบ ได้แก่ การใช้ซีเมนต์เพสต์ข้นเททับบนหัวคอนกรีตตอนเทเสร็จ ใหม่ๆ การใช้กำมะถัน และ ปูนปลาสเตอร์กำลังสูงเคลือบหัวคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว การทดสอบคอนกรีตโดยไม่ทำให้ผิวหน้าเรียบจะทำให้กำลังที่ทดสอบมีค่าต่ำกว่า ที่ควรจะเป็นผิวหน้าของคอนกรีตที่ไม่เรียบหรือเอียงเพียง 0.25 มิลลิเมตร อาจทำให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลงได้ถึงร้อยละ 23-33 และจะลดลงมากกว่านี้เมื่อเป็นคอนกรีตกำลังสูง กำลังของวัสดุที่ใช้เคลือบหัวคอนกรีตควร เท่ากับหรือใกล้เคียงกับกำลังอัดของคอนกรีตที่ทดสอบผิวเคลือบหัวคอนกรีตบางประมาณ 1.5 ถึง 3 มิลลิเมตร ซึ่งจะไม่ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมการรับแรงของคอนกรีตภายใต้การทดสอบกำลังอัดนอกจากนี้ภายหลังการเคลือบหัวคอนกรีตแล้วต้องทิ้งให้วัสดุที่เคลือบคอนกรีต แข็งตัว เช่น ถ้าวัสดุเคลือบผิวเป็นกำมะถันควรทิ้งให้แข็งตัวอย่างต่ำ 2 ชั่วโมง มิฉะนั้นเมื่อทดสอบการรับ กำลังอัดคอนกรีตผิวเคลือบที่ยังไม่แข็งตัวเต็มที่จะแตกเสียหายก่อนทำให้กำลังอัดที่ได้ต่ำลงกว่า ความเป็นจริงโดยทั่วไป นิยมใช้กำมะถันเคลือบหัวคอนกรีตสำหรับคอนกรีตที่มีกำลังไม่สูงมาก กรณีที่คอนกรีตมีกำลังสูงมากจะใช้การขัดผิวหน้าให้เรียบ กำมะถันที่ใช้เคลือบผิวหน้าไม่ควรนำกลับมาใช้ใหม่หลายครั้ง เพราะจะมีเศษคอนกรีต ฝุ่น และทรายปนกลับมาทำให้คุณภาพของ กำมะถันลดลง นอกจากนี้กำมะถันที่นำกลับมาใช้อีกหรือที่เหลืออยู่ในหม้อต้มและผ่านการต้ม หลายครั้งจะมีกำลังต่ำลง ดังนั้นจึงควรตรวจสอบว่ากำมะถันที่ใช้ไม่มีปัญหาดังกล่าว รายละเอียดของ การเคลือบหัวคอนกรีตมีอยู่ในมาตรฐาน ASTM C617 ในการเคลือบ ด้วยกำมะถันจะใช้แบบเหล็กผิวเรียบและแท่นสำหรับตั้งคอนกรีตให้ การเคลือบหัวทำโดยการเท กำมะถันเหลวซึ่งต้มที่อุณหภูมิประมาณ 130 องศาเซลเซียส ลงบนแบบเหล็กที่ทาน้ำมันเครื่องบางๆ เพื่อป้องกันกำมะถันติดผิวหน้าแบบเหล็ก จากนั้นจึงคว่ำหัวคอนกรีตที่ต้องการเคลือบลงบนกำมะถันเหลวและให้ตั้งฉากกับ ผิวหน้าของแบบเหล็ก หลังจากนั้นรอให้กำมะถันแข็งตัวซึ่งใช้เวลา ประมาณ 1 - 2 นาที สามารถดึงคอนกรีตที่มีกำมะถันเคลือบหัวอยู่ออกมาจากแบบ ส่วนการเคลือบโดยใช้ปูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลาสเตอร์กำลังสูงจะใช้แผ่นแก้วทาด้วยน้ำมันบางๆกด ปูนปลาสเตอร์ลงให้เรียบบนผิวหน้าคอนกรีตที่ต้องการเคลือบหัวและเมื่อปูนปลาสเตอร์แข็งตัวจะสามารถเอาแผ่นแก้วออกได้ ปัจจุบันในประเทศไทยมีการใช้ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกในการทดสอบกำลัง อัดมากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กนิยมใช้มาตรฐานตามแบบอเมริกัน หรือของ ว.ส.ท. เป็นหลัก แม้ว่าคอนกรีตรูปทรงกระบอกจะเป็นที่นิยมและใช้เป็นมาตรฐานในการ คำนวณและออกแบบก็ตามแต่ในทางปฏิบัติพบว่าคอนกรีตรูปลูกบาศก์มีข้อดีหลายอย่าง เช่น คอนกรีตรูปลูกบาศก์ใช้คอนกรีตน้อยกว่าคอนกรีตรูปทรงกระบอกจึงมีน้ำหนักเบากว่า (คอนกรีต รูปลูกบาศก์หนักประมาณลูกละ 8-8.5 กิโลกรัม ขณะที่คอนกรีตรูปทรงกระบอกหนักประมาณ 12.5-13 กิโลกรัม) สามารถเก็บและบ่มในน้ำโดยใช้พื้นที่การบ่มที่น้อยกว่ากรณีของคอนกรีต รูปทรง กระบอก นอกจากนี้ในการทดสอบกำลังอัดยังสามารถใช้ผิวด้านที่เรียบท้าการทดสอบได้ ทันที แต่ถ้าเป็นคอนกรีตรูปทรงกระบอกต้องหล่อหัวเคลือบหน้าคอนกรีตให้เรียบก่อนทำการทดสอบ ซึ่งทำให้ค่าใช้จ่ายในการทดสอบสูงขึ้น อย่างไรก็ตามคอนกรีตรูปทรงกระบอกมีข้อดีกว่าคอนกรีตรูปลูกบาศก์หลายประการ เช่น การหล่อและการทดสอบในแนวตั้งเช่นเดียวกัน ซึ่งเป็นลักษณะของการเทและรับแรงของโครงสร้างคอนกรีตในงานจริงโดยทั่วไป ดังนั้นจึงถือว่ามีความเหมือนจริงมากกว่าคอนกรีตรูปลูกบาศก์ที่ทิศทางการเท และการทดสอบคอนกรีตจะตั้งฉากกัน นอกจากนี้คอนกรีตรูปทรงกระบอกยังมีผลกระทบจากขนาดของหินน้อยกว่าและการกระจายของหน่วยแรงสม่ำเสมอกว่าคอนกรีตรูปลูกบาศก์ เนื่องจากมีผลกระทบของการยึดที่ปลายด้านบนและด้านล่างของคอนกรีตในระหว่างการทดสอบน้อยกว่า

2.2 ผลของการศึกษางานวิจัย

กรกฎ วิจิตรพงศ์ [1] พบว่า การเติมเถ้าลอยในส่วนผสมคอนกรีตจะสามารถช่วยปรับปรุงความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตสด ในรูปของการยุบตัว การไหล และการทำให้แน่นโดยจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณเถ้าลอยที่เติมลงในส่วนผสม กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเถ้าลอยจะลดลงตามปริมาณเถ้าลอยที่เติมในส่วนผสม โดยลดค่าปริมาณ 10% ทุกๆ 10% ของปริมาณเถ้าลอย

ธีรวัฒน์ สินศิริ [2] ได้ศึกษาผลกระทบของความละเอียด รูปร่างของเถ้าลอยและวัสดุเฉื่อยต่อกำลัง ขนาดโพรง การกระจายขนาดโพรง และการซึมผ่านอากาศในเพสที่แข็งตัวแล้ว ใช้เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ โดยนำเถ้าลอยทั้งที่ไม่ได้แยกขนาด และแยกขนาดมาแทนที่ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 20 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ใช้อัตราส่วนน้ำต่อ วัสดุผงเท่ากับ 0.35 จากการศึกษาพบว่าเพสผสมเถ้าลอยคัดขนาดให้กำลังรับแรงอัดสูงกว่าเพสผสมเถ้าลอยที่ไม่คัดขนาด การแทนที่ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าลอยไม่ได้คัดขนาดในอัตราการแทนที่ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เพสมีปริมาณโพรงทั้งหมดเพิ่มขึ้นแต่ขนาดโพรงโดยเฉลี่ยจะลดลง ส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าลอยขนาดเล็กจะส่งผลให้ทั้งปริมาณโพรงทั้งหมด และขนาดเฉลี่ยของโพรงลดลง เมื่อตรวจสอบปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์พบว่าการแทนที่เถ้าลอยที่มีขนาดเล็ก ส่งผลให้เกิดแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในเพสลดลงมากกว่าการแทนที่ด้วยเถ้าลอยที่หยาบกว่า นอกจากนี้ยังศึกษาเพสที่ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงเท่ากับ 0.35 และเพสที่ควบคุมให้มีปริมาณน้ำที่ความข้นเหลวปกติ ใช้เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ และโรงไฟฟ้า COCO มาคัดแยก 3 ตัวอย่างคือ เถ้าลอยที่ไม่ คัดแยกขนาด เถ้าลอยที่มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ 0-45 และ 0-10 ไมครอน ใช้ทรายแม่น้ำที่บดให้มีขนาดใกล้เคียงกับเถ้าลอย โดยนำเถ้าลอยหรือทรายแม่น้ำแทนที่ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 อัตราส่วนร้อยละ 0, 20 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน พบว่าปริมาณโพรงของเพสเถ้าลอยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการแทนที่เถ้าลอยเพิ่มขึ้น และเมื่อใช้เถ้าลอยขนาดเล็กลงจะส่งผลให้ปริมาณโพรงลดลง การซึมผ่านอากาศในเพสจะลดลงเมื่อปริมาณเถ้าลอยเพิ่มขึ้นและใช้เถ้าลอยมีความละเอียดขึ้น นอกจากนี้พบว่าเพสที่ผสมเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้า COCO มีปริมาณโพรงและการซึมผ่านอากาศสูงกว่าเพสที่ผสมเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะเนื่องจากเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้า COCO มีรูปร่างเป็นเหลี่ยม มีความพรุน และความเป็นผลึกมากว่า ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานน้อยกว่า นอกจากนี้แล้วยังพบว่าเพสผสมวัสดุเฉื่อยที่มีขนาดเล็กจะส่งผลให้ปริมาณโพรงลดลงมากกว่าการผสมด้วยวัสดุเฉื่อยที่หยาบกว่า และเมื่อเทียบระหว่างการแทนที่ด้วยวัสดุเฉื่อยและเถ้าลอยแม่เมาะที่มีขนาดอนุภาคใกล้เคียงกัน และที่อัตราการแทนที่เดียวกัน พบว่าปริมาณโพรงและการซึมผ่านอากาศของเพสผสมวัสดุเฉื่อยสูงกว่าเพสผสมเถ้าลอยแม่เมาะ ทั้งนี้เนื่องจากเถ้าลอยแม่เมาะเป็นวัสดุปอซโซลานจึงสามารถลดขนาดโพรงจากปฏิกิริยาปอซโซลานิกและผลจากการอัดตัวแน่นของอนุภาคที่มีขนาดเล็ก ขณะที่วัสดุเฉื่อยสามารถลดปริมาณโพรงได้เนื่องจากการอัดตัวแน่นของอนุภาคที่มีขนาดเล็กเท่านั้น

เปรมชัย บูรณวนิช [3] ได้ศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังของคอนกรีตบดอัดผสมเถ้าลอยในปริมาณสูงที่ใช้ชนิดวัสดุมวลรวมหยาบต่างกัน โดยการเลือกใช้วัสดุมวลหยาบ ที่ได้จากภายในพื้นที่ก่อสร้าง เพื่อศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังอัดในการก่อสร้างเขื่อนคอนกรีตบดอัด (Roller Compacted Concrete Dam ; RCC) ที่ผสมเถ้าลอยในอัตราส่วนซีเมนต์ต่อเถ้าลอย 30:70 มวลรวมหยาบ 1024 กก./ลบ.ม. มวลรวมละเอียด 875 กก./ลบ.ม. น้ำ 145 ลิตร/ลบ.ม. จากการใช้มวลรวมหยาบที่ต่างชนิดกัน ได้ค่ากำลังอัดที่ใกล้เคียงกัน ที่อายุ 3 วัน 7 วัน และ 28 วัน โดย RCC ที่ใช้หิน Tuff เป็นส่วนผสมจะให้ค่ากำลังอัดสูงกว่ากรวดแม่น้ำ

ฤทธิพงษ์ เลิศลักษณะโสภณ และคณะ [4] ได้ศึกษาอิทธิพลของเถ้าลอยที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตที่ผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน โดยการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างซีเมนต์เพสที่มีเถ้าลอย เป็นสารผสมเพิ่ม และไม่มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสม โดยซีเมนต์เพสและคอนกรีตใช้การผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นหนึ่งส่วนและแบบน้ำออกเป็นสองส่วน เพื่อศึกษาถึงสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการที่จะใช้เถ้าลอยร่วมกับซีเมนต์เพสและคอนกรีต ซึ่งได้จากการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นหนึ่งส่วนและสองส่วน ในการทดลองทำการทดสอบอัตราการเยิ้มน้ำ ความสามารถในการไหล ความสามารถในกาเท การหดตัว ความสามารถในการรับกำลังอัด และระยะเวลาการก่อตัว เริ่มต้นจากการศึกษาพบว่าการผสมซีเมนต์เพสที่มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสมโดยทำการผสมด้วยวิธีการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นหนึ่งส่วนและสองส่วนนั้นปริมาณสัดส่วนและชนิดของเถ้าลอยเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางด้านต่างๆของซีเมนต์เพสและคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

จีรายุทธ อุตมะยาน และคณะ [5] ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของการผสมคอนกรีตแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วนต่อคุณสมบัติของคอนกรีตผสมเถ้าลอย เมื่อเปรียบเทียบกันกับการผสมด้วยวิธีธรรมดา เพื่อที่จะนำมาแก้ไขปัญหาการสึกกร่อน อัตราการเยิ้มน้ำ ความสามารถในการเท ความหนาแน่น การหดตัว ความสามารถในการรับกำลังอัด และการแก้ไขสัดส่วนของเถ้าลอยให้เหมาะสมกับการใช้งาน จาก การศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าซีเมนต์เพสที่มีวัสดุปอซโซลานเป็นส่วนผสม โดยวิธี การผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ปริมาณวัสดุปอซโซลานแทนที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางด้านต่างๆของซีเมนต์และคอนกรีตซึ่งการผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนสามารถพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตให้ดีขึ้นเช่น สามารถลดการเยิ้มน้ำในซีเมนต์เพสและคอนกรีตสดได้ อีกทั้งยังเพิ่มความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสให้มากขึ้นด้วย

PONHSAMPATEA LY [6] ได้ทำการศึกษากำลังอัด, การกัดกร่อนเหล็กเสริม, ปริมาณคลอไรด์ และโครงสร้างจุลภาคของคอนกรีตที่ผสมเถ้าถ่านหินที่แช่ในสภาวะน้ำทะเลเป็นเวลา 15 ปี โดยใช้คอนกรีตที่มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.45 , 0.55 และ 0.65 แต่ละอัตราส่วนวัสดุประสานแทนที่เถ้าถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะในซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 0, 15, 25, 35 และ 50 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน หล่อตัวอย่างคอนกรีตมีขนาดเป็น 200 x 200 x 250ลูกบาศก์มิลลิเมตร มีการฝังเหล็กที่ตำแหน่งมุมที่ระยะหุ้ม 95 มิลลิเมตร หลังจากการบ่มคอนกรีตเป็นเวลา 28 วัน นาคอนกรีตไปแช่ในสภาวะแวดล้อมทะเล ได้เก็บตัวอย่างคอนกรีตจากน้ำทะเลมาเจาะทดสอบกำลังอัด ปริมาณคลอไรด์ (ที่ตำแหน่งเหล็กที่ฝัง) การกัดกร่อนเหล็ก และโครงสร้างทางจุลภาคของคอนกรีต (ด้วยเทคนิค Scanning electron microscopy (SEM) และ energy dispersive spectroscopy (EDX)) หลังอายุแช่น้ำทะเล 15 ปี จากการศึกษา พบว่า การใช้เถ้าถ่านหินในปริมาณที่สูงขึ้นส่งผลให้การสูญเสียกำลังอัดการแทรกซึมของคลอไรด์ และการกัดกร่อนเหล็กเสริมของคอนกรีตลดลง การใช้เถ้าถ่านหินในคอนกรีตที่มี W/B เท่ากับ 0.45 ในช่วงร้อยละ 15 ถึง 35 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน สามารถเพิ่มความคงทนให้กับคอนกรีตในสิ่งแวดล้อมทะเลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

อัครเดช ศรีเสน และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาสมบัติของคอนกรีตที่ใช้เถ้าถ่านหินและกากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นวัสดุประสาน โดยนำเถ้าถ่านหินผสมกับกากแคลเซียมคาร์ไบด์ในอัตราส่วน 70:30 โดยน้ำหนัก จากนั้นบดจนมีปริมาณอนุภาคค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 น้อยกว่าร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก การทดสอบสมบัติของคอนกรีตประกอบด้วย การสูญเสียค่ายุบตัวกำลังอัด การแทรกซึมของคลอไรด์ผ่านคอนกรีตด้วยวิธีการเร่งด้วยไฟฟ้า และการต้านทานการขัดสี ผลการทดสอบพบว่า คอนกรีตที่ใช้เถ้าถ่านหินและกากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นวัสดุประสานมีการสูญเสียค่ายุบตัวเร็วกว่าคอนกรีตควบคุมที่ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน และมีการพัฒนากำลังอัดช่วงแรกช้ากว่าคอนกรีตควบคุม อย่างไรก็ตามที่อายุ 90 วันคอนกรีตที่ใช้เถ้าถ่านหินและกากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นวัสดุประสานสามารถพัฒนากำลังอัดให้มีค่าสูงถึง 359 กก/ซม. โดยไม่มีปูนซีเมนต์ นอกจากนี้ยังพบว่าคอนกรีตที่ใช้เถ้าถ่านหินและกากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นวัสดุประสานมีความต้านทานการแทรกซึมของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

148767

คลอไรด์ได้ดีกว่าคอนกรีตควบคุม ส่วนค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการขัดสีพบว่าคอนกรีตที่ใช้เถ้าถ่านหินและกากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นวัสดุประสานมีค่าไม่แตกต่างจากคอนกรีตควบคุม เมื่อคอนกรีตทั้ง 2 ประเภทมีกำลังอัดใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การดำเนินการวิจัย

บทนี้จะกล่าวถึงวัสดุที่ใช้ในการทดลอง, วิธีการจัดเตรียมวัสดุ, เครื่องมืออุปกรณ์ตลอดจนรายละเอียดการทดลอง โดยจะทำการทดสอบอัตราการเยิ้มน้ำ (Bleeding) ความสามารถเทได้ (Workability) การทดสอบหาปริมาณการกระจายตัวของเถ้าถ่านหิน (Distribution) ในซีเมนต์เพสต์ และการทดสอบหาปริมาณการกระจายตัวของเถ้าถ่านหิน(Distribution) การทดสอบการทนทานต่อการขีดข่วนที่ผิวหน้า (Abrasion) และกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) ของคอนกรีต

3.1 การเตรียมตัวอย่างและวัสดุที่ใช้

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ผลิตใช้มากที่สุดเหมาะสำหรับผลิตคอนกรีตทั่วไปที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดายี่ห้อที่ใช้คือ ปูนซีเมนต์ตราช้าง

2. เถ้าถ่านหิน (Fly Ash) จากแหล่งโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง

รูปที่ 3.1 เถ้าถ่านหินแม่เมาะ
ที่มา :http://slideplayer.com/slide/5701612/18/images/55/Classes+Class+C+Class+F.jpg

3. มวลรวม การใช้มวลรวมที่เหมาะสมและมีคุณภาพดี เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการผลิตคอนกรีต เนื่องจากในคอนกรีตมีปริมาณมวลรวมอยู่ถึง 60-70 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร ซึ่งส่งผลอย่างมากต่อคอนกรีต ทั้งในสภาวะเหลวและแข็งตัวแล้ว นอกจากนี้ยังมีผลโดยตรงต่สัดส่วนการผสมและความประหยัดของคอนกรีตอีกด้วย มวลรวมแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ โดยมวลรวมละเอียดโดยทั่วไปได้แก่ทรายจากธรรมชาติ หรือหินย่อยที่มีขนาดเล็กกว่า 5

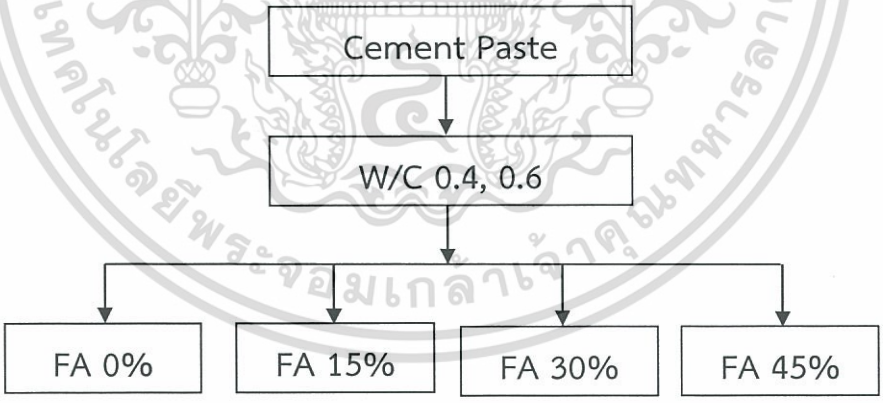
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มม.ในการทดสอบใช้ทรายแม่น้ำล้างน้ำจนสะอาดก่อนนำมาใช้ปรับให้อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งหา ขนาดคละของมวลรวมโดยนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 230 ค้างบนตะแกรงเบอร์ 200 มวลรวมหยาบประกอบด้วยกรวดหรือหินย่อย ที่มีขนาดใหญ่กว่า 5 มม. ซึ่งโดยทั่วไปมีขนาด 10-40 มม. แหล่งที่มาของมวลรวมอาจได้มาจากธรรมชาติโดยการขุดลอกแม่น้ำลำคลอง ทะเลสาบ หรือได้จากกระบวนการย่อยหินขนาดใหญ่จากธรรมชาติ โดยในการทดสอบใช้หินย่อย มีขนาดคละดี สะอาด แข็งแกร่ง มีลักษณะค่อนข้างกลม แต่มีเหลี่ยมมุมและผิวหยาบ ตามมาตรฐานมอก.556 หรือ ASTM C33

4. น้ำ เป็นส่วนผสมสำคัญในคอนกรีต โดยทั่วไปน้ำที่ใชในงานคอนกรีตจะต้องเป็นน้ำจืดที่สะอาด เช่น น้ำประปา ไม่ควรมีความขุ่นที่เกิดจากสารแขวนลอยจำพวกดินและตะกอนดินเหนียวเกิน 2,000 ส่วนในล้านส่วน (ppm.) และจะต้องมีสารละลายอนินทรีย์อยู่ไม่เกิน 2,000 ส่วนในล้านส่วน (ppm.)

3.1.1 การเตรียมตัวอย่างซีเมนต์เพสต์

ในการเตรียมตัวอย่างการทดสอบซีเมนต์เพสต์นั้น ใช้ W/C ในอัตราส่วน 0.4 และ 0.6 และใช้ปริมาณเถ้าถ่านหินจากแม่เมาะในการแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในซีเมนต์เพสต์ที่ร้อยละ 0,15,30,และ 45



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง การทดสอบซีเมนต์เพสต์

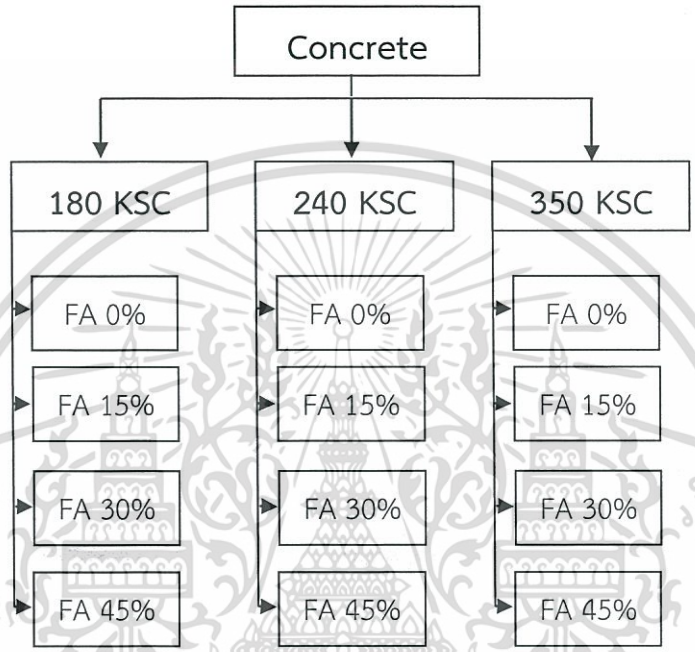
โดยการทดลองจะศึกษาถึงคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

1. ความสัมพันธ์ระหว่างการเยิ้มน้ำ (Bleeding) ที่สัดส่วน ปริมาณเถ้าลอยที่ต่างกัน
2. ความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสท์ (Workability)
3. การทดสอบหาปริมาณการกระจายตัวของเถ้าถ่านหิน (Distribution) ในซีเมนต์เพสต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต

ในการเตรียมตัวอย่างการทดสอบคอนกรีตนั้นจะออกแบบการทดสอบให้คอนกรีตตัวอย่างมีกำลังรับแรงอัดที่ 180,240 และ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ใช้ปริมาณเถ้าถ่านหินจากแม่เมาะในการแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในคอนกรีตที่ร้อยละ 0,15,30,และ 45



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างการทดสอบคอนกรีต

โดยการทดลองจะศึกษาถึงคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

1. การทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้า (Surface Abrasion)
2. กำลังต้านทานแรงอัด (Compressive Strength)
3. การทดลอบการกระจายตัวของเถ้าถ่านหิน (Distribution) ในคอนกรีต

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การเยิ้มน้ำ (Bleeding) การทดสอบวัดค่าการเยิ้มน้ำ (Bleeding) ที่ผิวด้านบน ทำโดยการผสมซีเมนต์กับน้ำในเครื่องผสมซีเมนต์เพสท์ตามขั้นตอนการผสม จากนั้นทำการเทซีเมนต์เพสท์ตัวอย่างลงในชุดทดสอบการเยิ้มน้ำ (Bleeding) ซึ่งปริมาตรซีเมนต์เพสท์ที่ใช้ในการทดลองประมาณ 400 มิลลิลิตร จากนั้นนำแผ่น Scale ที่มีความละเอียดเท่ากับ 1 มิลลิเมตร ติดที่ผิวภายนอกของชุดทดสอบ โดยกำหนดค่าศูนย์อยู่ที่ผิวบนของซีเมนต์เพสท์ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.5จากนั้นทำการแขวนชุดทดสอบไว้แล้วทำการจดบันทึกค่าทุก 30 นาที จนกว่าซีเมนต์เพสท์ตัวอย่างจะหยุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเยิ้มน้ำ หรือระยะเวลาผ่านไปอย่างน้อย 4-6 ชั่วโมง ทำการบันทึกค่า โดยค่าการเยิ้มน้ำที่อ่านได้จะนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การ Bleeding

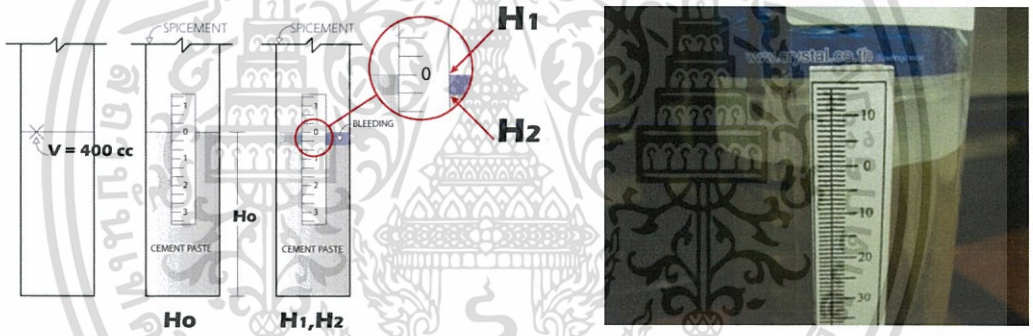
$$\text{Bleeding [\%]} = \frac{V_2 - V_1}{V_c} \times 100 \qquad (3.1)$$

Vc = ความสูงของซีเมนต์เพสท์ที่ปริมาตรเริ่มต้น

V_1 = ความสูงที่ระดับผิวของซีเมนต์เพสท์

V_2 = ความสูงที่ระดับผิวน้ำของตัวอย่างทดสอบ

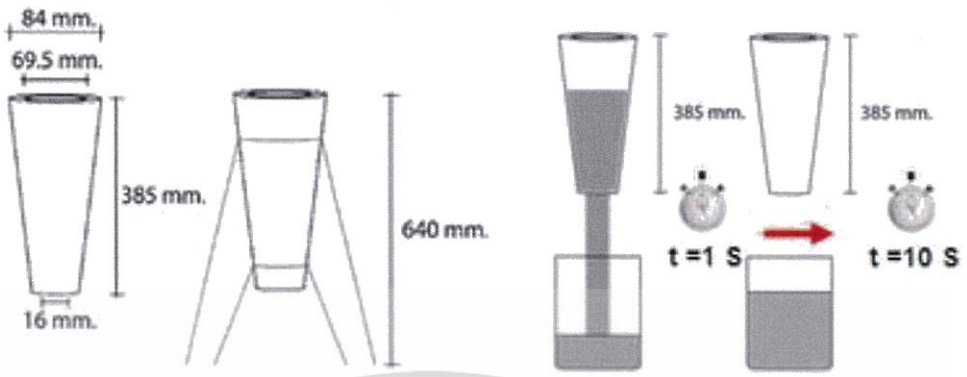
รูปที่ 3.4 วิธีการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเยิ้มน้ำ



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการวัดค่าการเยิ้มน้ำ

3.2.2 ความสามารถในการทำงานหรือการเท การทดสอบความสามารถในการทำงานหรือการเทของซีเมนต์เพสท์ตัวอย่างจะทำการทดสอบตามมาตรฐาน JSCE-F531-1993 โดยการทดสอบจะทำการผสมซีเมนต์เพสท์ตัวอย่างในอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ตามสัดส่วนที่กำหนดไว้ ทำการเทซีเมนต์เพสท์ตัวอย่างที่ผสมเสร็จลงในอุปกรณ์ทดสอบจนเต็มพอดี โดยทำการปิดช่องเปิดบริเวณด้านล่างของอุปกรณ์ทดสอบให้สนิท ทำการจับเวลาอัตราการไหลผ่านของซีเมนต์เพสท์ทันทีเปิดช่องเปิดด้านล่างให้ซีเมนต์เพสท์ตัวอย่างไหลผ่านอุปกรณ์ทดสอบอย่างอิสระ ทำการจดบันทึกค่าอัตราการไหลผ่านอุปกรณ์ทดสอบมาตรฐานของซีเมนต์เพสท์ตัวอย่าง โดยค่าที่ได้จะอยู่ในรูปของเวลาของการไหลของซีเมนต์เพสท์ตัวอย่าง (วินาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 อุปกรณ์การทดสอบความสามารถในการทำงานหรือการเทของซีเมนต์เพสต์ (JSCE-F531-1993)

3.2.3 การทดสอบหาปริมาณการกระจายตัวของเถ้าถ่านหิน (Distribution) ในซีเมนต์เพสต์ เริ่มทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์จากการหาปริมาณเถ้าลอยจากซีเมนต์เพส โดยนำผงซีเมนต์และเถ้าลอยไปทดสอบหาปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ด้วยเครื่อง X-RAY Fluorescence (XRF) พบปริมาณ ร้อยละของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ในซีเมนต์ที่ 8.44 และร้อยละของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ในเถ้าถ่านหินที่ 20.3 ตามลำดับ นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณเถ้าลอยในคอนกรีต จากอัตราส่วนดังกล่าว ด้วยสมการ

$$A + B = C \tag{3.2}$$

$$A = \frac{\left[(X)\ x\ (Z) \right]}{100} \tag{3.3}$$

$$B = \frac{\left[(100 - Z)\ x\ Y \right]}{100} \tag{3.4}$$

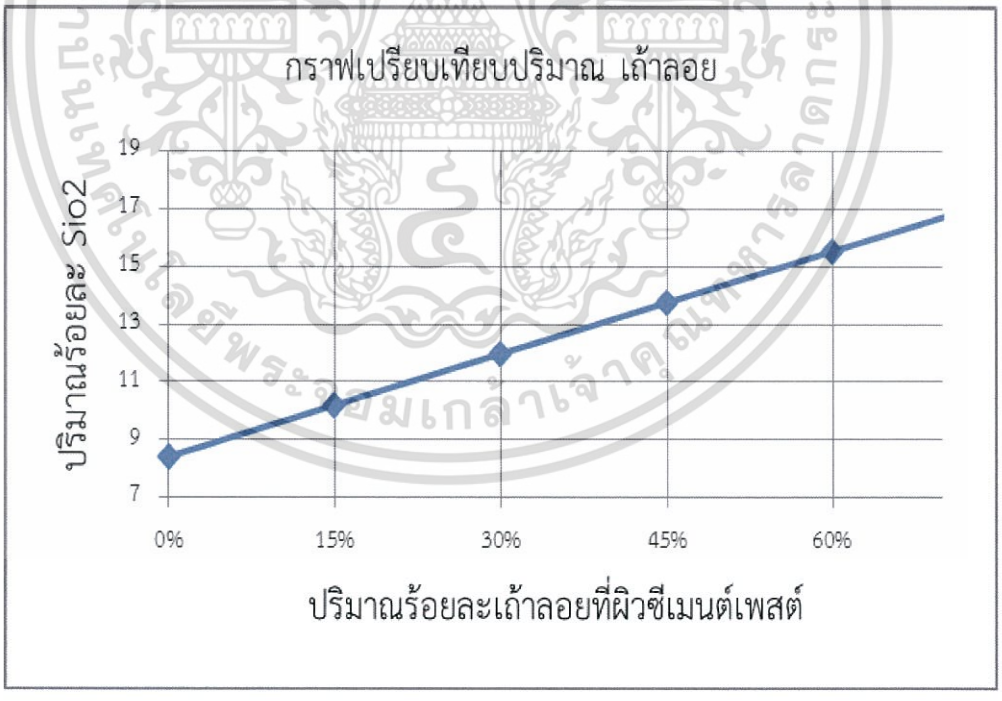
- ปริมาณ SiO_2 ของเถ้าลอยในซีเมนต์เพส มีค่าเท่ากับ A
- ปริมาณ SiO_2 ของซีเมนต์ในซีเมนต์ มีค่าเท่ากับ B
- ปริมาณ SiO_2 ที่ผิวของซีเมนต์เพส มีค่าเท่ากับ C
- ปริมาณ SiO_2 ในเถ้าลอย มีค่าเท่ากับ X
- ปริมาณ SiO_2 ในซีเมนต์ มีค่าเท่ากับ Z
- ปริมาณร้อยละเท่าลอยที่ใช้แทนที่ซีเมนต์ในซีเมนต์เพส มีค่าเท่ากับ Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ปริมาณเถ้าลอยที่ใช้แทนที่ซีเมนต์ในซีเมนต์เพสและจำนวนร้อยละซิลิกอนไดออกไซด์ SiO_2 ที่ได้จากการคำนวณ

ปริมาณร้อยละเถ้าลอยที่ใช้แทนที่ซีเมนต์ในซีเมนต์เพส	ปริมาณร้อยละ SiO_2 ที่ได้จากการคำนวณ
0%	8.44
15%	10.22
30%	12.00
45%	13.78
60%	15.56
75%	17.34

จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณเถ้าลอยที่ใช้แทนที่ซีเมนต์ในซีเมนต์เพสและปริมาณร้อยละการกระจายตัวของ SiO_2 ที่ผิวของซีเมนต์เพสจากการคำนวณ



รูปที่ 3.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณเถ้าลอยที่ใช้แทนที่ซีเมนต์ในซีเมนต์เพสและปริมาณร้อยละการกระจายตัวของ SiO_2 ที่ผิวของซีเมนต์เพสจากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์จากการหาปริมาณเถ้าลอยจากซีเมนต์เพสก่อน โดยผงซีเมนต์และเถ้าลอยไปทดสอบหาปริมาณ SiO_2 ด้วยเครื่อง X-RAY Fluorescence (XRF) จากนั้นทำการผสมซีเมนต์เพส ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) 0.48 อัตราส่วนซีเมนต์ต่อเถ้าลอยร้อยละ 0,15,30 และ 45 แล้วนำซีเมนต์เพสดังกล่าวไปทดสอบ X-RAY Fluorescence (XRF) ซึ่งจะได้ปริมาณของ SiO_2 ของแต่ละอัตราส่วนดังนี้

ตารางที่ 3.2 ปริมาณ SiO_2 ที่ผิวของซีเมนต์เพสต์ จากการทดสอบ (XRF)

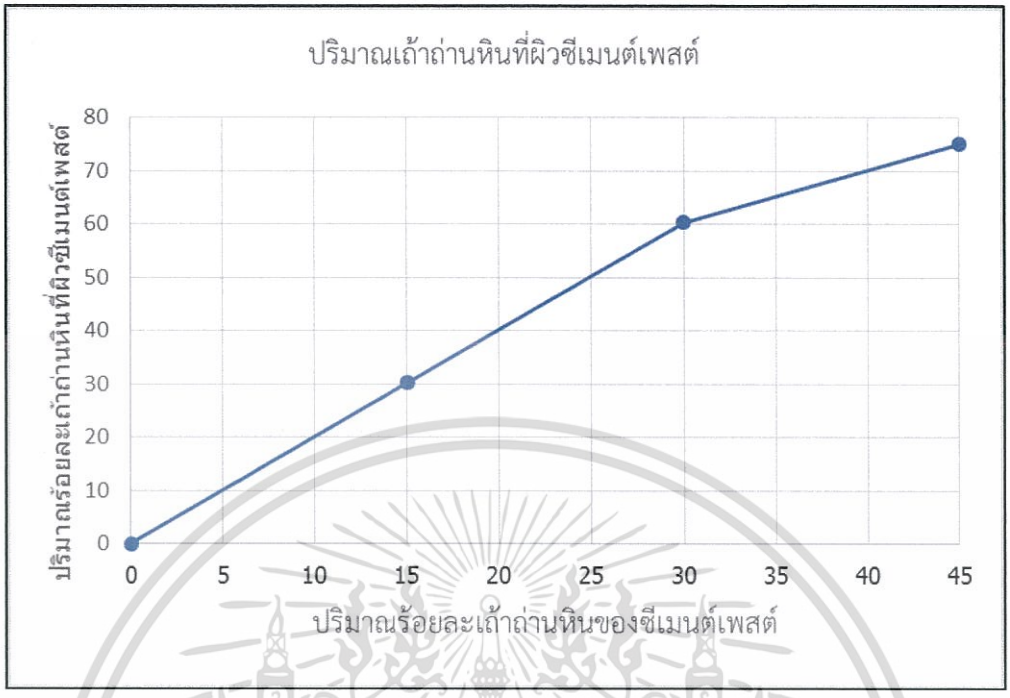
ลำดับ	รายการ	ปริมาณ % SiO_2
1	ผงซีเมนต์	8.44
2	ผงเถ้าลอย	20.30
3	ซีเมนต์เพสเถ้าลอย 0%	8.44
4	ซีเมนต์เพสเถ้าลอย 15%	11.80
5	ซีเมนต์เพสเถ้าลอย 30%	16.70
6	ซีเมนต์เพสเถ้าลอย 45%	18.30

จากนั้นนำค่าปริมาณ SiO_2 ที่ผิวของซีเมนต์เพสต์ไปอ่านค่าปริมาณการกระจายตัวของเถ้าลอยที่ผิวของซีเมนต์เพสต์จากกราฟรูปที่ 3.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณเถ้าลอยที่ใช้แทนที่ซีเมนต์ในซีเมนต์เพสและปริมาณร้อยละการกระจายตัวของ SiO_2 ที่ผิวของซีเมนต์เพสจากการคำนวณได้ผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 3.3 ปริมาณเถ้าถ่านหินที่ผิวของซีเมนต์เพสต์ จากการทดสอบ (XRF)

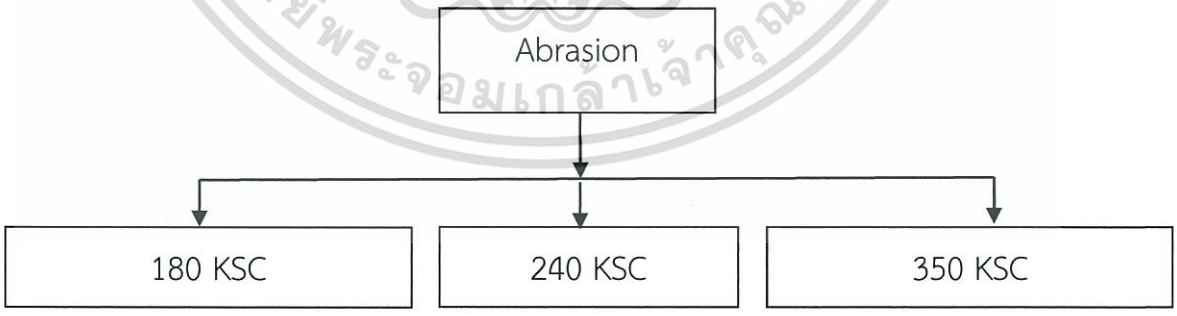
ปริมาณเถ้าลอยที่ใช้แทนที่ซีเมนต์	ปริมาณ SiO_2 ที่ผิวซีเมนต์เพส	ปริมาณเถ้าลอยที่ผิวซีเมนต์เพส
0%	8.44%	0%
15%	11.80%	30.21%
30%	16.70%	60.32%
45%	18.30%	75.11%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ปริมาณเถ้าถ่านหินที่ผิวของซีเมนต์เพสต์

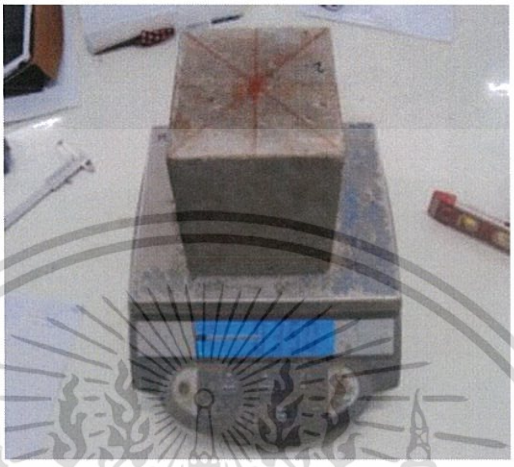
3.2.4 การทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้า (Surface Abrasion) วิธีทดสอบมาตรฐานคอนกรีตโดยการขัดสีที่ผิว ASTM C944 : Standard Test for Abrasion Resistance Method of Concrete or Mortar Surface by the Rotating-Cutter Method),[9] เริ่มทำการทดลองนำคอนกรีตตัวอย่างที่มีอายุ 7 วัน 28 วันและ 90 วัน มาทำการทดสอบ



รูปที่ 3.9 การทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้า (Surface Abrasion)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

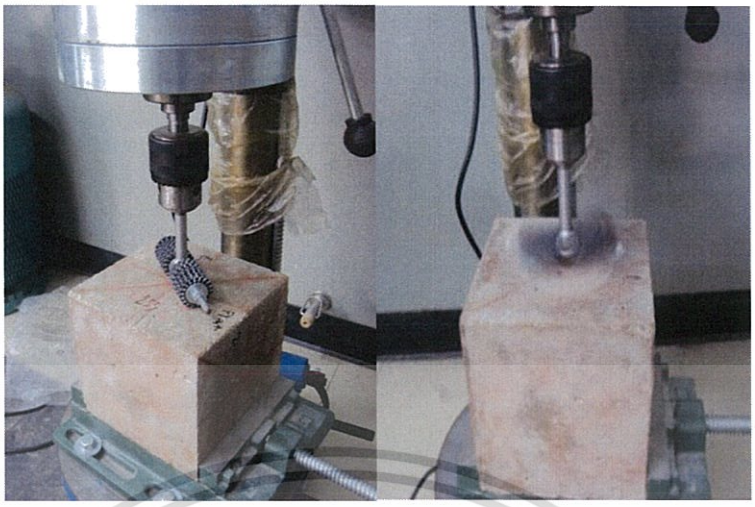
ขั้นตอนการทดสอบ ทำการชั่งน้ำหนักก่อนการทดสอบ จากนั้นทำการทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้าเป็นเวลา 2 นาที ทำการชั่งน้ำหนักหลังทำการทดสอบเพื่อวัดค่าน้ำหนักที่ขาดหายไป (loss weight) ซึ่งเกิดจากการสึกกร่อนโดยเครื่องทดสอบ



รูปที่ 3.10 การชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้าคอนกรีตตาม ASTM C944-99

รูปที่ 3.11 แสดงเครื่องทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้าตาม ASTM C944-99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แสดงการทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้าตาม ASTM C944-99

3.2.5 ความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีต (Compressive Strength) ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C39, "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens",[3] โดยจะทำการเก็บตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์ ขนาด 15x15x15 ซม. ทำการทดสอบคอนกรีตตัวอย่างที่อายุ 7 วัน 28 วัน และ 90 วัน

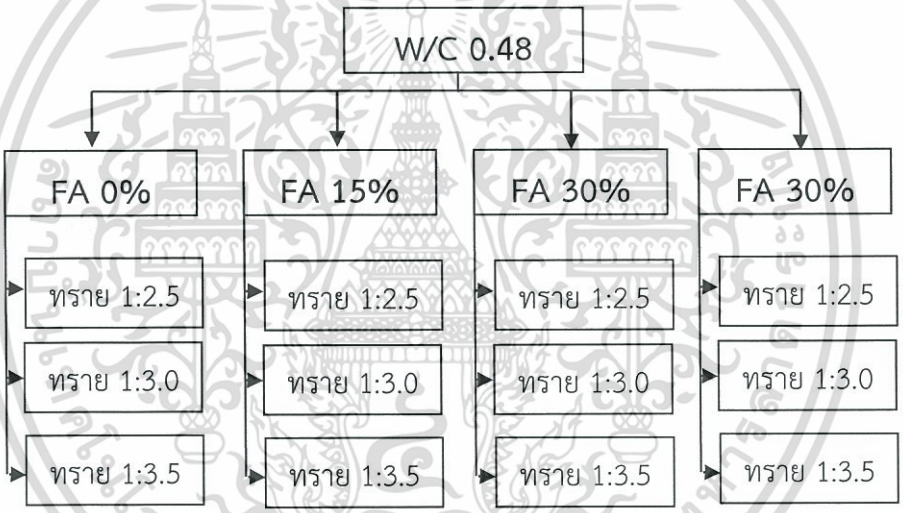
รูปที่ 3.13 แสดงการทดสอบตาม ASTM C39

3.2.6 การทดสอบการกระจายตัวของเถ้าถ่านหิน (Distribution) ในคอนกรีต โดยจะเริ่มจากการหาความสัมพันธ์ของปริมาณเถ้าถ่านหินในซีเมนต์เพสต์และในส่วนของมอร์ต้าก่อนจากการดูปริมาณค่า SiO_2 ทั้งในส่วนของซีเมนต์เพสต์และมอร์ต้าเพื่อจะนำไปสู่การวิเคราะห์หาอัตราการกระจายตัวของเถ้าถ่านหินในคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบการกระจายตัวของเถ้าถ่านหินในซีเมนต์เพสต์ ในการทดสอบในส่วนของซีเมนต์เพสได้ออกแบบการทดสอบเพื่อการหาความสัมพันธ์ของปริมาณ SiO_2 ในอัตราส่วนต่างๆระหว่างซีเมนต์และเถ้าถ่านหินโดยออกแบบการทดสอบให้ใช้ w/c ที่ 0.48 และใช้ปริมาณอัตราส่วนเถ้าถ่านหินต่อซีเมนต์ที่ร้อยละ 0, 15, 30 และ 45 โดยใช้เครื่องผสมตามมาตรฐาน ASTM C:305-91 ในข้อ 3.2.3 การทดสอบหาปริมาณการกระจายตัวของเถ้าถ่านหิน (Distribution) ในซีเมนต์เพสต์

การทดสอบการกระจายตัวของเถ้าถ่านหินของมอร์ต้า ในการทดสอบในส่วนของมอร์ต้าได้ออกแบบการทดสอบเพื่อการหาความสัมพันธ์ของปริมาณ SiO2 ในอัตราส่วนต่างๆระหว่างซีเมนต์เถ้าถ่านหินและทราย โดยออกแบบการทดสอบ W/C ที่ 0.48 ปริมาณอัตราส่วนเถ้าถ่านหินต่อซีเมนต์ที่ร้อยละ 0, 15, 30 และ 45 และอัตราส่วนปูนต่อทรายที่ 1:2.5, 1:3 และ 1:3.5 ดังรูปที่ 3.10 โดยใช้เครื่องผสมตามมาตรฐาน ASTM C:305-91



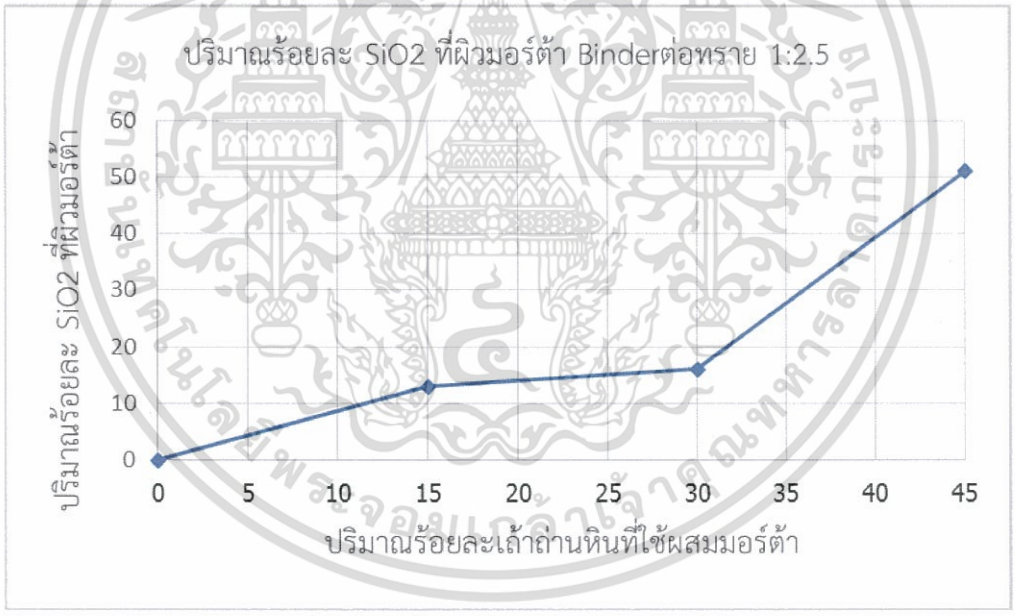
รูปที่ 3.14 แสดงการกำหนดสัดส่วนของมอร์ต้า

เริ่มทำการวิเคราะห์หาปริมาณเถ้าลอยที่ผิวของมอร์ต้า โดยนำผิวของมอร์ต้าตัวอย่างไปทดสอบหาปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ด้วยเครื่อง X-RAY Fluorescence (XRF) พบปริมาณร้อยละของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ที่ผิวของมอร์ต้า คอลัมน์ (3) จากนั้นหักลบปริมาณ (SiO_2) ของทราย คอลัมน์(5) จะได้ ปริมาณ (SiO_2) Binder คอลัมน์ (6) จากนั้นนำปริมาณ (SiO_2) Binder คอลัมน์ (6) ไปอ่านค่าปริมาณเถ้าถ่านหินที่ผิวของมอร์ต้า จาก รูปที่ 3.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเถ้าลอยที่ใช้แทนที่ซีเมนต์ในซีเมนต์เพสและปริมาณร้อยละการกระจายตัวของ SiO_2 ที่ผิวของซีเมนต์เพสจากการคำนวณ ได้ปริมาณเถ้าถ่านหินที่ผิวของมอร์ต้าคอลัมน์ (7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ปริมาณ SiO_2 มอร์ต้าที่อัตราส่วน Binder ต่อทราย 1:2.5 จากการทดสอบ (XRF)

% F.A. ที่ใช้ (1)	อัตราส่วนทราย (2)	SiO_2 ที่ผิวมอร์ต้า (3)	ปริมาณ SiO_2 ในซีเมนต์ (4)	ปริมาณ SiO_2 ทราย (5)	ปริมาณ SiO_2 binder (6)	ปริมาณ F.A. ที่ผิวมอร์ต้า (7)
0%	1:3.5	62.7	8.44	54.26	8.44	0
15%	1:3.5	64.3		54.26	10.04	13.04
30%	1:3.5	64.6		54.26	10.34	16.02
45%	1:3.5	69.5		54.26	15.24	50.96

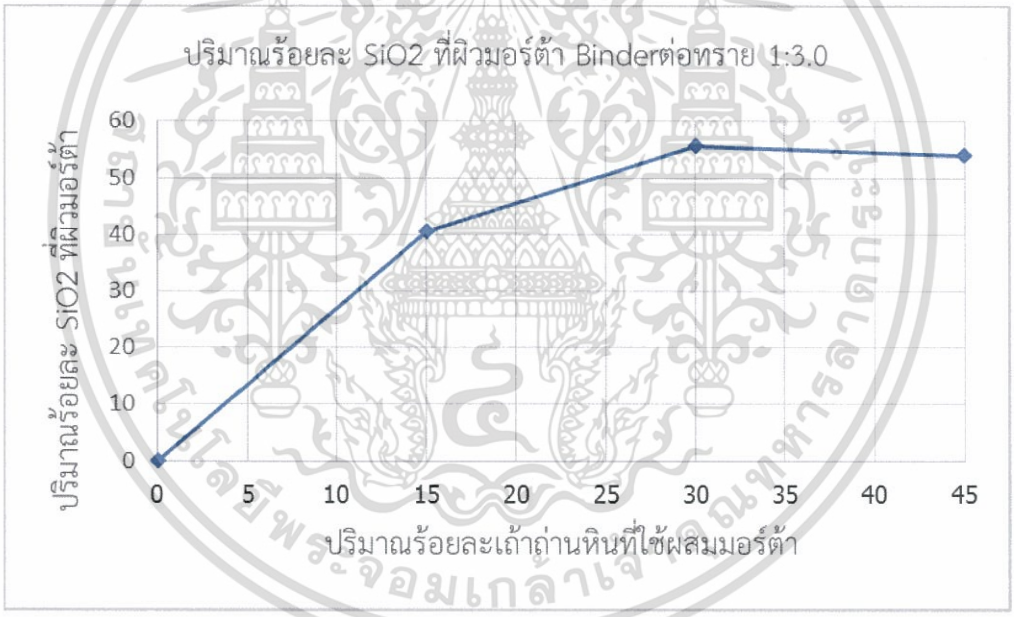


รูปที่ 3.15 ปริมาณเถ้าถ่านหินที่ผิวของมอร์ต้าที่อัตราส่วนผสม Binder ต่อทราย 1:2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 ปริมาณ SiO_2 มอร์ต้าที่อัตราส่วน Binder ต่อทราย 1:3.0 จากการทดสอบ (XRF)

% F.A. ที่ใช้ (1)	อัตราส่วนทราย (2)	SiO_2 ที่ผิวมอร์ต้า (3)	ปริมาณ SiO_2 ในซีเมนต์ (4)	ปริมาณ SiO_2 ทราย (5)	ปริมาณ SiO_2 Binder (6)	ปริมาณ F.A. ที่ผิวมอร์ต้า (7)
0%	1:2.5	51.5	8.44	43.06	8.44	0
15%	1:2.5	56.3		43.06	13.24	40.47
30%	1:2.5	58.1		43.06	15.04	55.64
45%	1:2.5	57.9		43.06	14.84	53.96

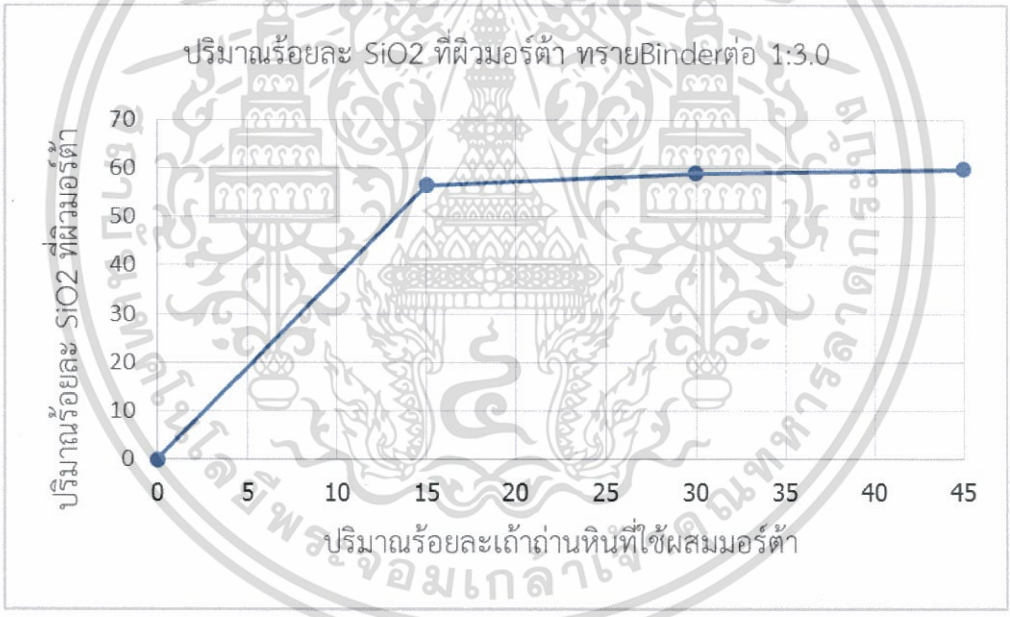


รูปที่ 3.16 ปริมาณเถ้าถ่านหินที่ผิวของมอร์ต้าที่อัตราส่วนผสม Binder ต่อทราย 1:3.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 ปริมาณ SiO_2 มอร์ต้าที่อัตราส่วน Binder ต่อทราย 1:3.5 จากการทดสอบ (XRF)

% F.A. ที่ใช้ (1)	อัตราส่วนทราย (2)	SiO_2 ที่ผิวมอร์ต้า (3)	ปริมาณ SiO_2 ในซีเมนต์ (4)	ปริมาณ SiO_2 ทราย (5)	ปริมาณ SiO_2Binder (6)	ปริมาณ F.A. ที่ผิวมอร์ต้า (7)
0%	1:3	55.6	8.44	47.16	8.44	0
15%	1:3	62.3		47.16	15.14	56.49
30%	1:3	62.6		47.16	15.44	59.02
45%	1:3	62.7		47.16	15.54	59.86



รูปที่ 3.17 ปริมาณเถ้าถ่านหินที่ผิวของมอร์ต้าที่อัตราส่วนผสม Binder ต่อทราย 1:3.5

การทดสอบการกระจายตัวของเถ้าถ่านหินในคอนกรีต วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ปริมาณการกระจายตัวของเถ้าลอยในคอนกรีตโดยการหล่อคอนกรีตตัวอย่าง ลูกบาศก์ 10x10 เซนติเมตร ออกแบบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตามมาตรฐาน ACI 211.1-77 ที่ 180 240 และ 350 Ksc. ที่ 28 วันกำหนดปริมาณเถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีตร้อยละ 0, 15, 30 และ 45 ทำการทดสอบทั้งหมด 3 ชุดการทดสอบ แล้วนำผิวคอนกรีตตัวอย่างดังกล่าวไปทดหาปริมาณ SiO_2 ด้วยวิธีการ X-RAY Fluorescence (XRF) พบปริมาณร้อยละของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ที่ผิวของคอนกรีต คอลัมน์ (3) จากนั้นหักลบปริมาณ SiO_2 ของทราย คอลัมน์(5) จะได้ ปริมาณ SiO_2 Binder คอลัมน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(6) จากนั้นนำปริมาณ SiO_2 Binder คอลัมน์ (6) ไปอ่านค่าปริมาณเถ้าถ่านหินที่ผิวของมอร์ต้า จากรูปที่ 3.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณเถ้าลอยที่ใช้แทนที่ซีเมนต์ในซีเมนต์เพสและปริมาณร้อยละการกระจายตัวของ SiO_2 ที่ผิวของซีเมนต์เพสจากการคำนวณ ได้ปริมาณเถ้าถ่านหินที่ผิวของมอร์ต้าคอลัมน์ (7)

ตารางที่ 3.7 ปริมาณ SiO_2 ของคอนกรีตที่กำลังรับแรงอัดที่ 180 Ksc จากการทดสอบ (XRF)

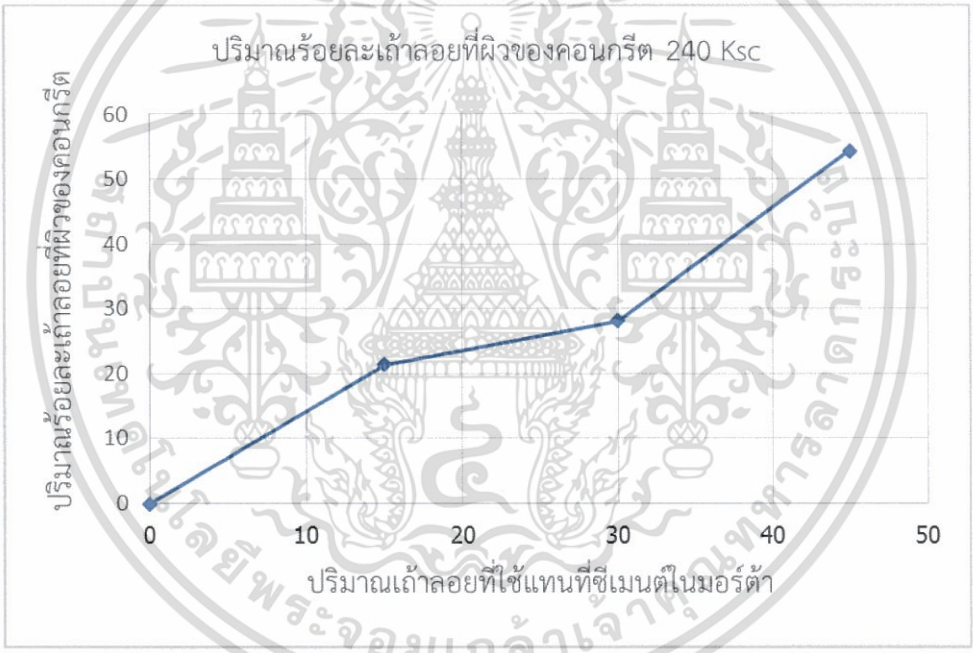
ปริมาณร้อยละเถ้าลอย	180 ksc				
	SiO_2 180 Ksc	SiO_2 ซีเมนต์	SiO_2 ทราย	ปริมาณ SiO_2 Binder	FA ที่ผิวคอนกรีต
0	58.40	8.44	49.96		
15	61.30			11.34	24.45
30	64.40			14.44	50.59
45	65.80			15.84	62.39

รูปที่ 3.18 ปริมาณเถ้าถ่านหินที่ผิวของคอนกรีต ที่กำลังรับแรงอัดที่ 180 KSC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.8 ปริมาณ SiO_2 ของคอนกรีตที่กำลังรับแรงอัดที่ 240 Ksc จากการทดสอบ (XRF)

ปริมาณร้อยละเถ้าลอย	240 ksc				
	SiO_2 240 Ksc	SiO_2 ซีเมนต์	SiO_2 ทราย	ปริมาณ SiO_2Bide	FA ที่ผิว
0	58.96	8.44	50.52		
15	61.50			10.98	21.42
30	64.3			13.78	28.16
45	64.70			14.18	54.30

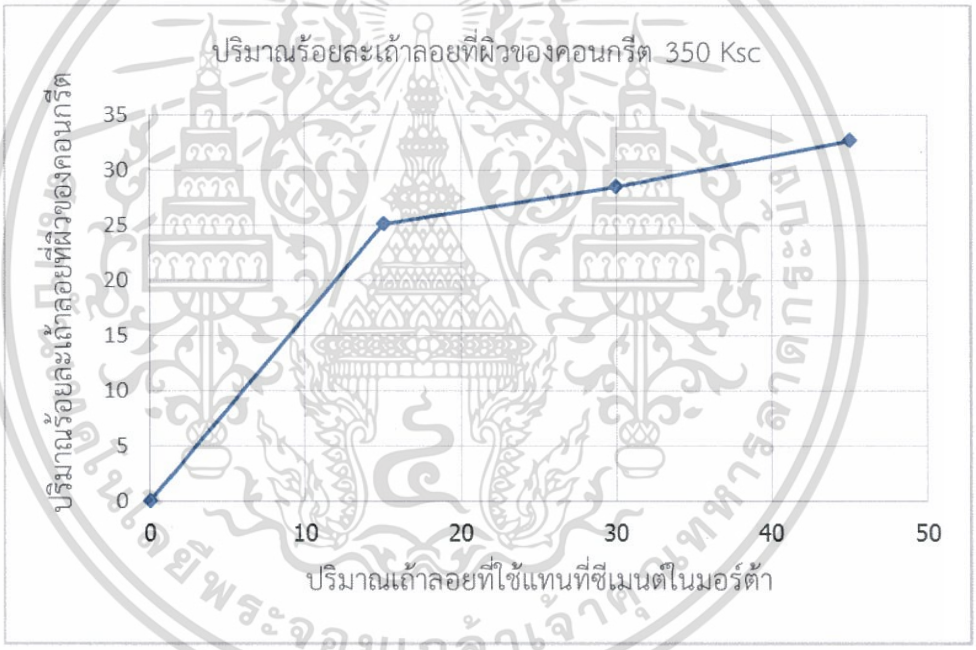


รูปที่ 3.19 ปริมาณเถ้าถ่านหินที่ผิวของคอนกรีต ที่กำลังรับแรงอัดที่ 240 KSC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.9 ปริมาณ SiO_2 ของคอนกรีตที่กำลังรับแรงอัดที่ 350 Ksc จากการทดสอบ (XRF)

ปริมาณร้อยละเถ้าลอย	350 ksc				
	SiO_2 350 Ksc	SiO_2 ซีเมนต์	SiO_2 ทราย	ปริมาณ SiO_2 Binder	FA ที่ผิว
0	59.12	8.44	50.68		
15	62.10			11.42	25.13
30	62.50			11.82	28.50
45	63.00			12.32	32.71



รูปที่ 3.20 ปริมาณเถ้าถ่านหินที่ผิวของคอนกรีต ที่กำลังรับแรงอัดที่ 350 KSC

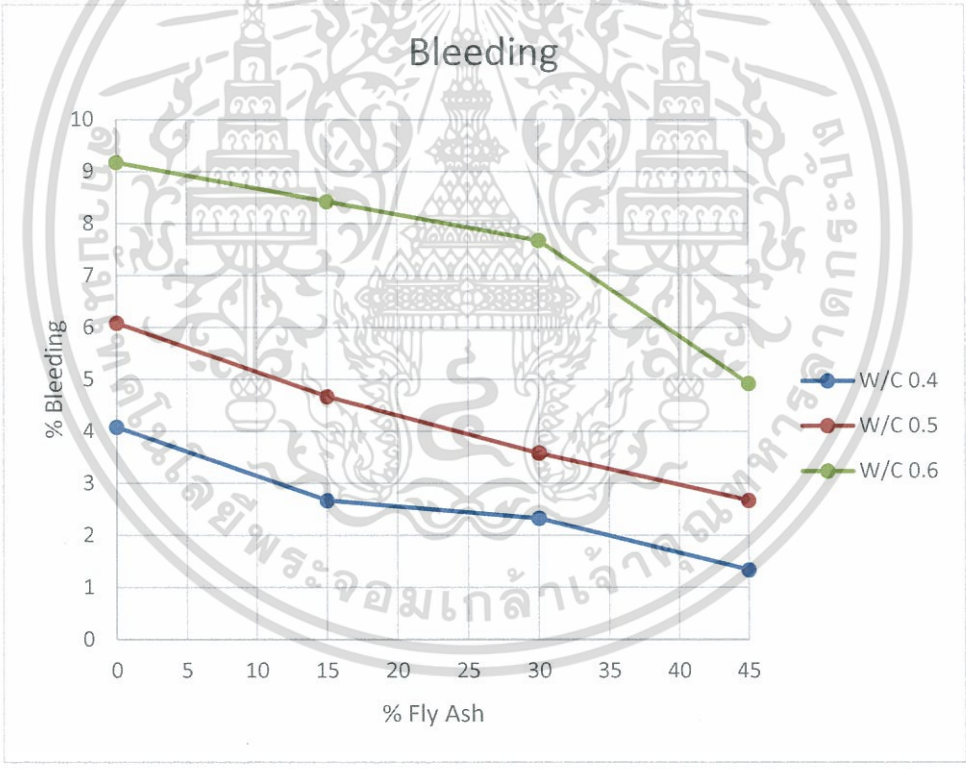
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการทดสอบซีเมนต์เพสต์

4.1.1 ค่าการเยิ้มน้ำ (Bleeding) จากการทดสอบการเยิ้มน้ำของซีเมนต์เพสต์ โดยผสมซีเมนต์เพสต์ตามมาตรฐาน ACI โดยมีการใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพสต์ที่ 0.4, 0.5 และ 0.6 และใช้เถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในซีเมนต์เพสต์ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันจะส่งผลให้เกิดการเยิ้มน้ำที่แตกต่างกัน ดังนี้



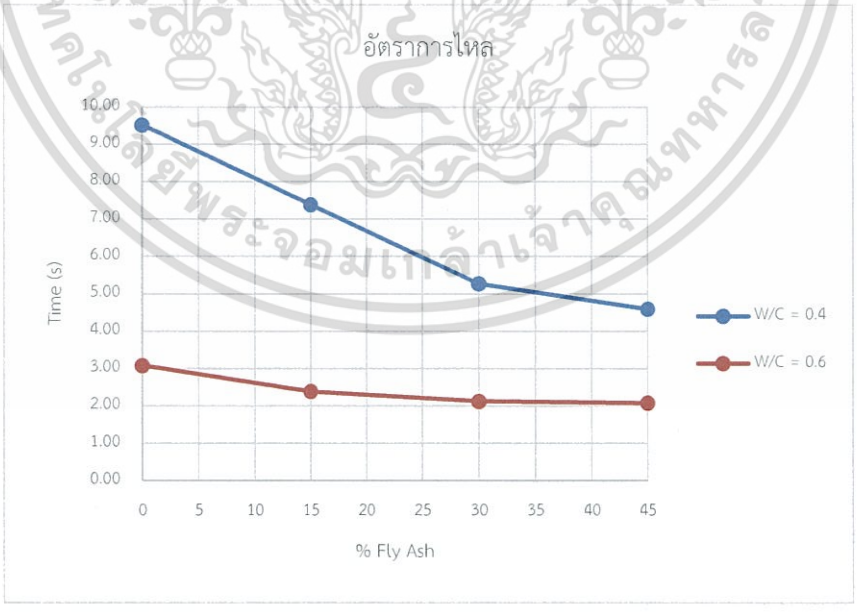
รูปที่ 4.1 ค่าการเยิ้มน้ำในซีเมนต์เพสต์เมื่อผสมเถ้าลอย

จากรูป 4.1 เมื่อทำการผสมซีเมนต์เพสต์ตามมาตรฐาน ACI โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพสต์ที่ W/C 0.4 เถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในซีเมนต์เพสต์ในอัตราส่วน 0% มีค่าการเยิ้มน้ำที่ร้อยละ 4.08 เถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในซีเมนต์เพสต์ในอัตราส่วน 15% มีค่าการเยิ้มน้ำที่ร้อยละ 2.67 เถ้าลอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนที่ปริมาณซีเมนต์ในซีเมนต์เพสต์ในอัตราส่วน 30% มีค่าการเยิ้มน้ำที่ร้อยละ 2.33 เถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในซีเมนต์เพสต์ในอัตราส่วน 45% มีค่าการเยิ้มน้ำที่ร้อยละ 1.34 W/C 0.5 เถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในซีเมนต์เพสต์ในอัตราส่วน 0% มีค่าการเยิ้มน้ำที่ร้อยละ 6.08 เถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในซีเมนต์เพสต์ในอัตราส่วน 15% มีค่าการเยิ้มน้ำที่ร้อยละ 4.67 เถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในซีเมนต์เพสต์ในอัตราส่วน 30% มีค่าการเยิ้มน้ำที่ร้อยละ 3.58 เถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในซีเมนต์เพสต์ในอัตราส่วน 45% มีค่าการเยิ้มน้ำที่ร้อยละ 2.67 W/C 0.6 เถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในซีเมนต์เพสต์ในอัตราส่วน 0% มีค่าการเยิ้มน้ำที่ร้อยละ 9.17 เถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในซีเมนต์เพสต์ในอัตราส่วน 15% มีค่าการเยิ้มน้ำที่ร้อยละ 8.42 เถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในซีเมนต์เพสต์ในอัตราส่วน 30% มีค่าการเยิ้มน้ำที่ร้อยละ 7.67 เถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในซีเมนต์เพสต์ในอัตราส่วน 45% มีค่าการเยิ้มน้ำที่ร้อยละ 4.92

4.1.2 การทดสอบหาความสามารถในการไหล (Workability) JSCE-F531-1993 จากการทดสอบความสามารถในการไหล (Workability) ของซีเมนต์เพสต์ โดยผสมซีเมนต์เพสต์ตามมาตรฐาน JSCE-F531-1993 โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพสต์ที่ 0.4 และ 0.6 และใช้เถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในซีเมนต์เพสต์ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันจะส่งผลให้เกิดการเยิ้มน้ำที่แตกต่างกัน ดังนี้



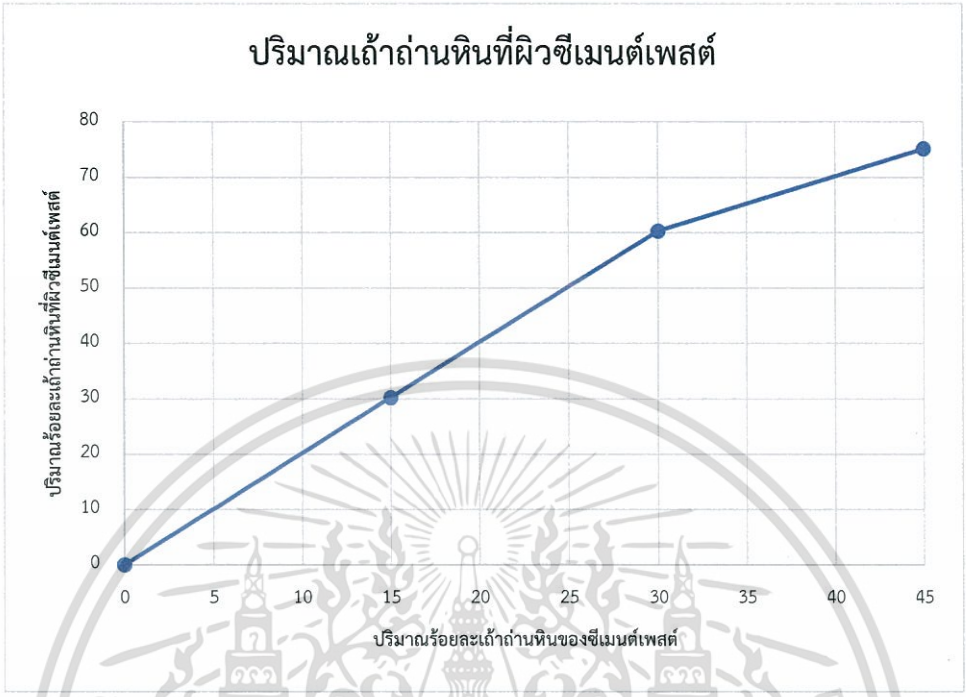
รูปที่ 4.2 อัตราการไหลในซีเมนต์เพสต์เมื่อผสมเถ้าลอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.2 เมื่อทำการผสมซีเมนต์เพสต์ตามมาตรฐาน JSCE-F531-1993 โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพสต์ที่ 0.4 ใช้เถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในซีเมนต์เพสต์ในอัตราส่วน 0% มีอัตราการไหล 9.52 วินาที ใช้เถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในซีเมนต์เพสต์ในอัตราส่วน 15% มีอัตราการไหล 9.52 วินาที ใช้เถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในซีเมนต์เพสต์ในอัตราส่วน 30% มีอัตราการไหล 9.52 วินาที ใช้เถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในซีเมนต์เพสต์ในอัตราส่วน 45% มีอัตราการไหล 9.52 วินาที อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพสต์ที่ 0.5 ใช้เถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในซีเมนต์เพสต์ในอัตราส่วน 0% มีอัตราการไหล 3.08 วินาที ใช้เถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในซีเมนต์เพสต์ในอัตราส่วน 15% มีอัตราการไหล 2.39 วินาที ใช้เถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในซีเมนต์เพสต์ในอัตราส่วน 30% มีอัตราการไหล 2.13 วินาที ใช้เถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในซีเมนต์เพสต์ในอัตราส่วน 45% มีอัตราการไหล 2.08 วินาที

4.1.3 การทดลอบการกระจายตัวของเถ้าถ่านหินที่ผิวของซีเมนต์เพสต์ จากการวิเคราะห์หาปริมาณเถ้าถ่านหินที่ผิวของซีเมนต์เพส จากซีเมนต์เพสตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) 0.48 อัตราส่วนซีเมนต์ต่อเถ้าลอยร้อยละ 0,15,30 และ 45 แล้วนำซีเมนต์เพสดังกล่าวไปทดสอบ X-RAY Fluorescence (XRF) ซึ่งจะได้ปริมาณของ SiO_2 ของแต่ละอัตราส่วน จากนั้นนำไปอ่านค่าปริมาณเถ้าถ่านหินจาก รูปที่ 3.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณเถ้าลอยที่ใช้แทนที่ซีเมนต์ในซีเมนต์เพสและปริมาณร้อยละการกระจายตัวของ SiO_2 ที่ผิวของซีเมนต์เพสจากการคำนวณ นั้นพบว่าเมื่อใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ซีเมนต์ในซีเมนต์เพสต์ 15% พบว่าเถ้าถ่านหินลอยที่ผิวหน้าของซีเมนต์เพสต์ที่ 30.21% เมื่อใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ซีเมนต์ในซีเมนต์เพสต์ 30% พบว่าเถ้าถ่านหินลอยที่ผิวหน้าของซีเมนต์เพสต์ที่ 60.32% เมื่อใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ซีเมนต์ในซีเมนต์เพสต์ 45% พบว่าเถ้าถ่านหินลอยที่ผิวหน้าของซีเมนต์เพสต์ที่ 75.11% ดังรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

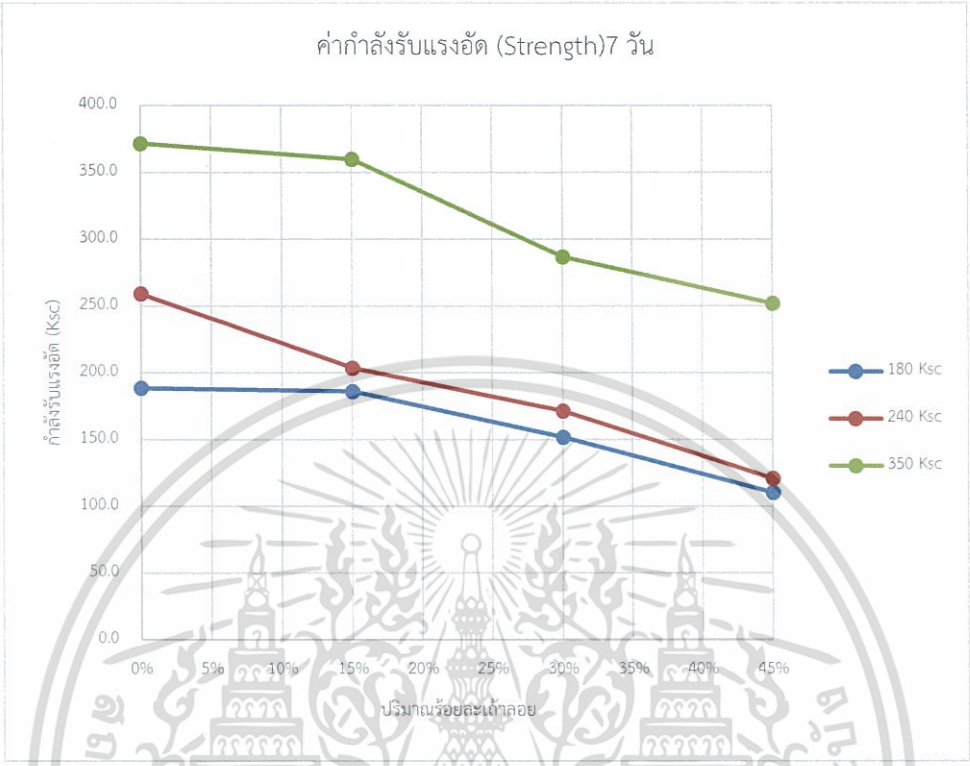


รูปที่ 4.3 ปริมาณเถ้าถ่านหินที่ผิวของซีเมนต์เพสต์

4.2 ผลการทดสอบคอนกรีต

4.2.1 ค่าความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีต (Compressive strength) การทดสอบคอนกรีตนั้นจะออกแบบการทดสอบคอนกรีตตัวอย่างที่กำลังรับแรงอัดที่ 180,240 และ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ใช้ปริมาณเถ้าถ่านหินจากแม่เมาะในการแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในคอนกรีตที่ร้อยละ 0,15,30,และ 45 และทำการทดสอบที่ 7,28 และ 90 ซึ่งได้ผลการทดสอบดังนี้

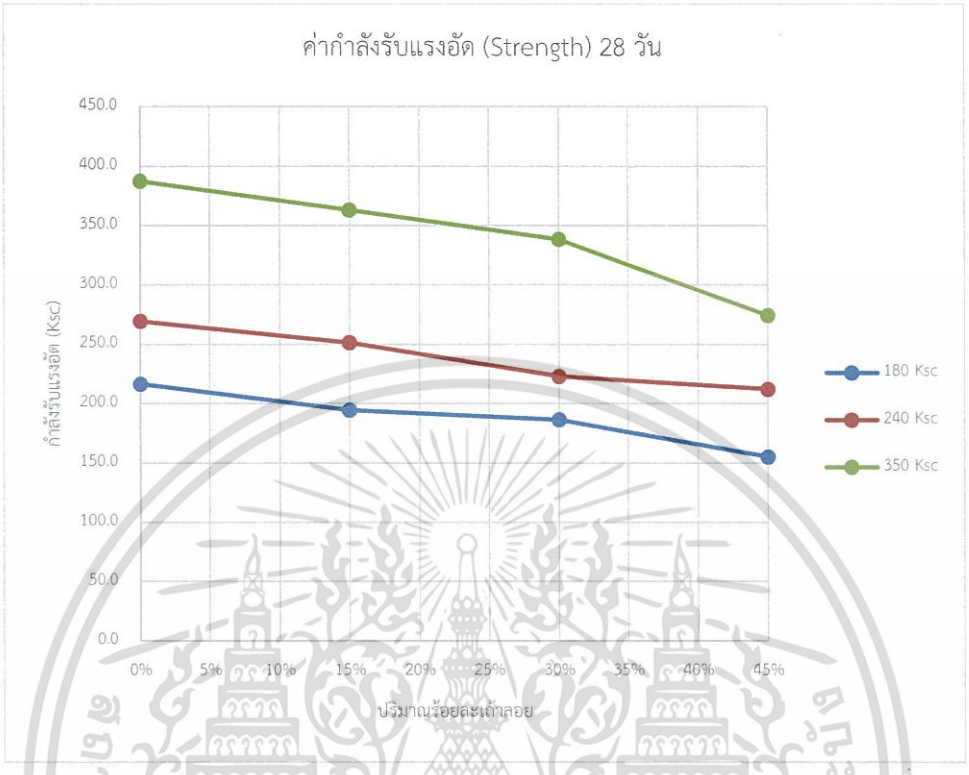
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 การทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ 7 วัน

การทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ 7 วัน พบว่าเมื่อปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยในปริมาณมากขึ้นจะส่งผลให้กำลังรับแรงอัดลดลง โดยกำลังรับแรงอัดที่ออกแบบ 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ที่ร้อยละ 15, 30 และ 45 ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลงร้อยละ 1.36, 19.90, 51.73 ตามลำดับเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ใช้เถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีต กำลังรับแรงอัดที่ออกแบบ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ที่ร้อยละ 15, 30 และ 45 ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลงร้อยละ 21.48, 43.15, 80.83 ตามลำดับเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ใช้เถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีต กำลังรับแรงอัดที่ออกแบบ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ที่ร้อยละ 15, 30 และ 45 ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลงร้อยละ 3.21, 23.61, 41.80 ตามลำดับเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ใช้เถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีต

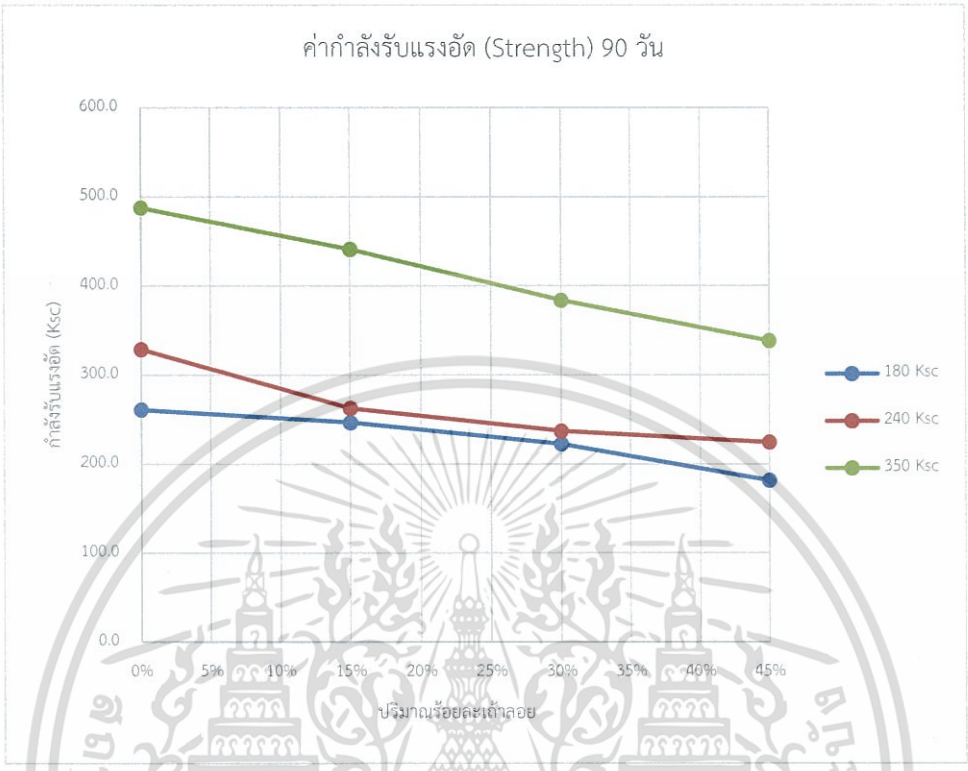
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 การทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน

การทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน พบว่าเมื่อปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยในปริมาณมากขึ้นจะส่งผลให้กำลังรับแรงอัดลดลง โดยกำลังรับแรงอัดที่ออกแบบ 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ที่ 15%, 30% และ 45% ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลง 10.16%, 15.53% และ 32.98% ตามลำดับเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ใช้เถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีต กำลังรับแรงอัดที่ออกแบบ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ที่ 15%,30% และ 45% ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลง 6.70%, 18.42% และ 25.64% ตามลำดับเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ใช้เถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีต กำลังรับแรงอัดที่ออกแบบ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ที่ 15%, 30% และ 45% ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลง 6.30%, 13.48 และ 33.42% ตามลำดับเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ใช้เถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

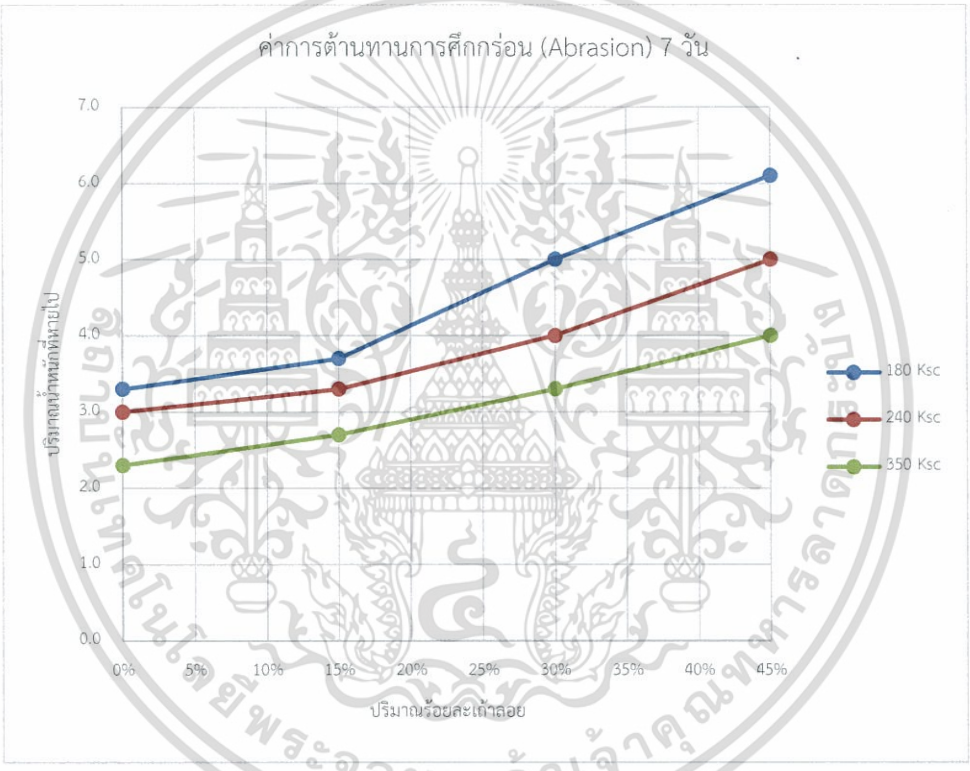


รูปที่ 4.6 การทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ 90 วัน

การทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ 90 วัน พบว่าเมื่อปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยในปริมาณมากขึ้นจะส่งผลให้กำลังรับแรงอัดลดลง โดยกำลังรับแรงอัดที่ออกแบบ 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ที่ 15%, 30% และ 45% ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลง 5.43%, 15.47% และ 35.66% ตามลำดับเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ใช้เถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีต กำลังรับแรงอัดที่ออกแบบ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ที่ 15%,30% และ 45% ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลง 20.11%, 34.86% และ 44.02% ตามลำดับเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ใช้เถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีต กำลังรับแรงอัดที่ออกแบบ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยแทนที่ปริมาณซีเมนต์ที่ 15%, 30% และ 45% ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลง 9.35%, 23.50% และ 38.85% ตามลำดับเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ใช้เถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการทดสอบการขัดสีของคอนกรีตตามมาตรฐาน (Surface Abrasion) การทดสอบการขัดสีที่ผิว (Surface Abrasion) นั้นจะออกแบบการทดสอบคอนกรีตตัวอย่างที่กำลังรับแรงอัดที่ 180,240 และ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ใช้ปริมาณเถ้าถ่านหินจากแม่เมาะในการแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในคอนกรีตที่ร้อยละ 0,15,30,และ 45 และทำการทดสอบที่ 7,28 และ 90 ซึ่งได้ผลการทดสอบดังนี้

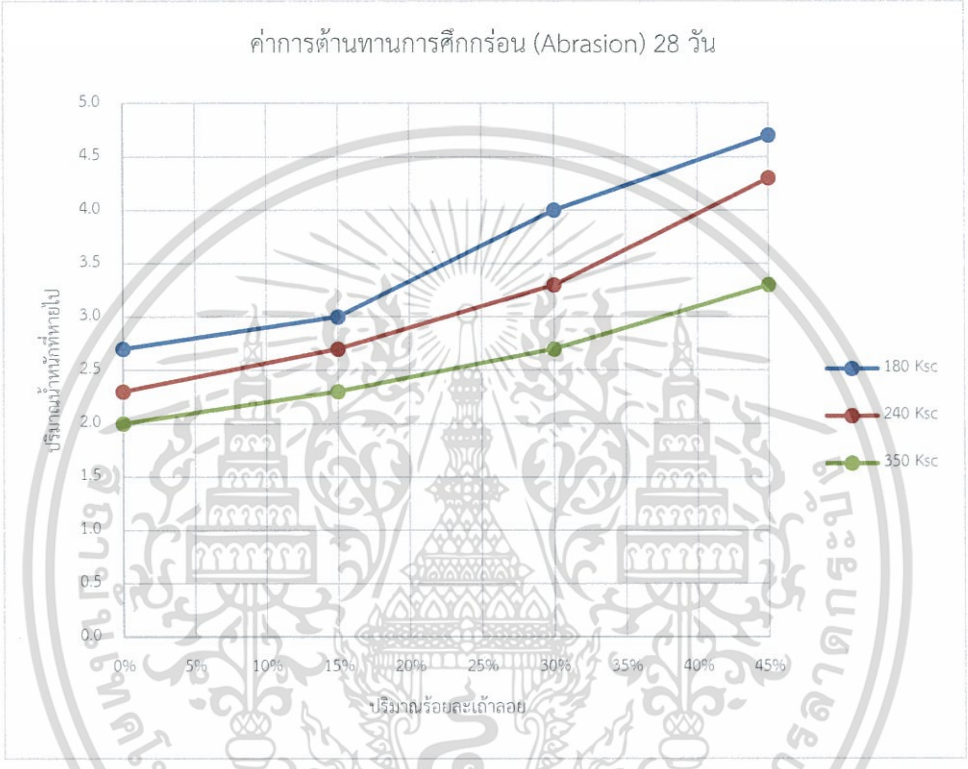


รูปที่ 4.7 การทดสอบการขัดสีที่ผิว (Surface Abrasion) ที่ 7 วัน

การทดสอบการขัดสีที่ผิว (Surface Abrasion) ที่ 7 วัน กำลังรับแรงอัด 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร นั้นพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีตที่ 15%, 30% และ 45% ส่งผลให้การทนทานต่อการขัดสีที่ผิว (Surface Abrasion) ลดลงร้อยละ 12.12, 51.52 และ 84.85 ตามลำดับเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ใช้เถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีต กำลังรับแรงอัด 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร นั้นพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีตที่ 15%, 30% และ 45% ส่งผลให้การทนทานต่อการขัดสีที่ผิว (Surface Abrasion) ลดลงร้อยละ 10.00, 33.33, และ 66.67 ตามลำดับเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ใช้เถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีต กำลังรับแรงอัด 350 กิโลกรัมต่อตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซนติเมตร นั้นพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีตที่ 15%, 30% และ 45% ส่งผลให้การทนทานต่อการขัดสีที่ผิว (Surface Abrasion) ลดลงร้อยละ 17.39, 43.48 และ 73.91 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ใช้เถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีต

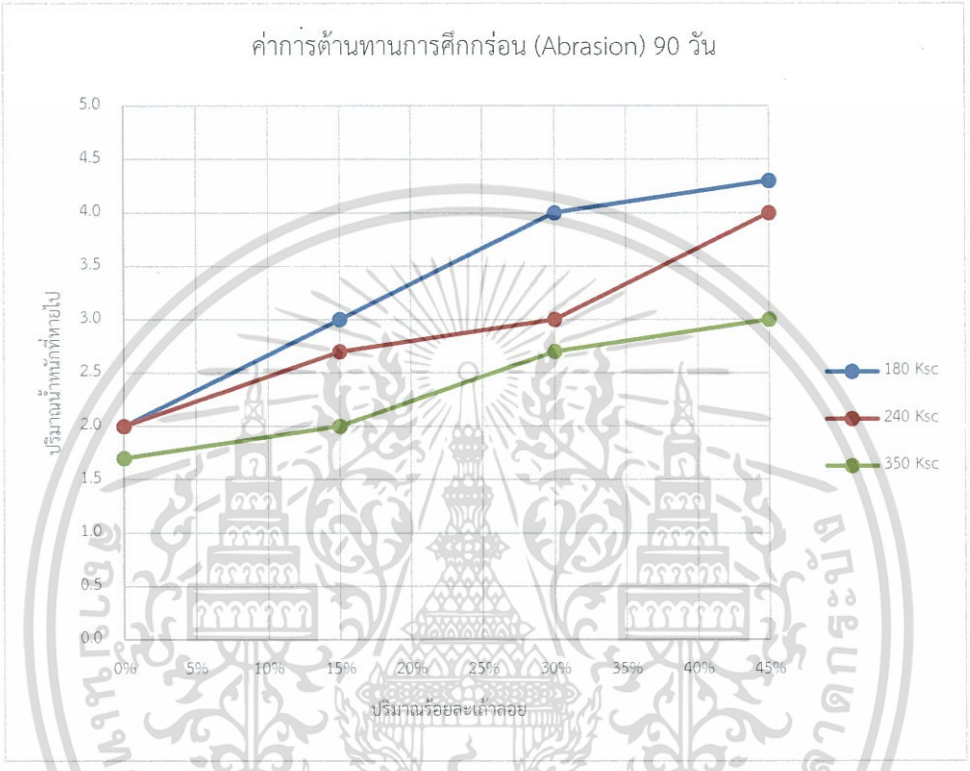


รูปที่ 4.8 การทดสอบการขัดสีที่ผิว (Surface Abrasion) ที่ 28 วัน

การทดสอบการขัดสีที่ผิว (Surface Abrasion) ที่ 28 วัน กำลังรับแรงอัด 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร นั้นพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีตที่ 15%, 30% และ 45% ส่งผลให้การทนทานต่อการขัดสีที่ผิว (Surface Abrasion) ลดลงร้อยละ 11.10, 48.15 และ 74.07 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ใช้เถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีต กำลังรับแรงอัด 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร นั้นพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีตที่ 15%, 30% และ 45% ส่งผลให้การทนทานต่อการขัดสีที่ผิว (Surface Abrasion) ลดลงร้อยละ 17.39, 43.48 และ 86.96 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ใช้เถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีต กำลังรับแรงอัด 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร นั้นพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีตที่ 15%, 30% และ 45% ส่งผลให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทนทานต่อการขัดสีที่ผิว (Surface Abrasion) ลดลงร้อยละ 15.00, 35.00 และ 65.00 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ใช้เถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีต



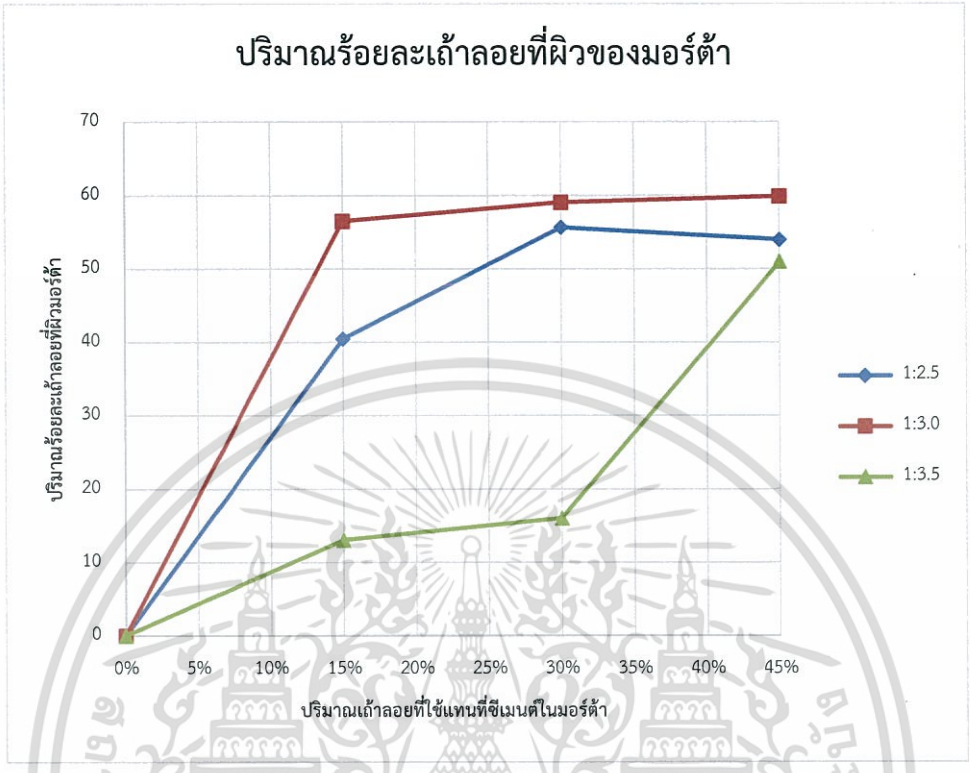
รูปที่ 4.9 การทดสอบการขัดสีที่ผิว (Surface Abrasion) ที่ 90 วัน

การทดสอบการขัดสีที่ผิว (Surface Abrasion) ที่ 90 วัน กำลังรับแรงอัด 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร นั้นพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีตที่ 15%, 30% และ 45% ส่งผลให้การทนทานต่อการขัดสีที่ผิว (Surface Abrasion) ลดลงร้อยละ 50,100 และ 115 ตามลำดับเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ใช้เถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีต กำลังรับแรงอัด 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร นั้นพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีตที่ 15%, 30% และ 45% ส่งผลให้การทนทานต่อการขัดสีที่ผิว (Surface Abrasion) ลดลงร้อยละ 35, 50 และ 100 ตามลำดับเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ใช้เถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีต กำลังรับแรงอัด 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร นั้นพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีตที่ 15%, 30% และ 45% ส่งผลให้การทนทานต่อการขัดสีที่ผิว (Surface Abrasion) ลดลงร้อยละ 17.65, 58.82 และ 76.47 ตามลำดับเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ใช้เถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การทดลอบการกระจายตัวของเถ้าถ่านหินที่ผิวของคอนกรีต จากการวิเคราะห์หาปริมาณเถ้าถ่านหินที่ผิวของมอร์ต้า โดยออกแบบการทดสอบ W/C ที่ 0.48 ปริมาณอัตราส่วนเถ้าถ่านหินต่อซีเมนต์ที่ร้อยละ 0, 15, 30 และ 45 และอัตราส่วนปูนต่อทรายที่ 1:2.5, 1:3 และ 1:3.5 แล้วนำมอร์ต้าดังกล่าวไปทดสอบ X-RAY Fluorescence (XRF) ซึ่งจะได้ปริมาณของ SiO_2 ของแต่ละอัตราส่วน จากนั้นนำไปอ่านค่าปริมาณเถ้าถ่านหินจาก รูปที่ 3.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณเถ้าลอยที่ใช้แทนที่ซีเมนต์ในซีเมนต์เพสและปริมาณร้อยละการกระจายตัวของ SiO_2 ที่ผิวของซีเมนต์เพสจากการคำนวณ เมื่อใช้อัตราส่วนปูนต่อทรายที่ 1:2.5 เถ้าถ่านหินแทนที่ซีเมนต์ในมอร์ต้า15% พบว่าเถ้าถ่านหินลอยที่ผิวหน้าของมอร์ต้าที่ 56.49% เถ้าถ่านหินแทนที่ซีเมนต์ในมอร์ต้า 30% พบว่าเถ้าถ่านหินลอยที่ผิวหน้าของมอร์ต้าที่ 59.02% เถ้าถ่านหินแทนที่ซีเมนต์ในมอร์ต้า 45% พบว่าเถ้าถ่านหินลอยที่ผิวหน้าของมอร์ต้าที่ 59.86% เมื่อใช้อัตราส่วนปูนต่อทรายที่ 1:3.0 เถ้าถ่านหินแทนที่ซีเมนต์ในมอร์ต้า15% พบว่าเถ้าถ่านหินลอยที่ผิวหน้าของมอร์ต้าที่ 40.47% เถ้าถ่านหินแทนที่ซีเมนต์ในมอร์ต้า 30% พบว่าเถ้าถ่านหินลอยที่ผิวหน้าของมอร์ต้าที่ 55.64% เถ้าถ่านหินแทนที่ซีเมนต์ในมอร์ต้า 45% พบว่าเถ้าถ่านหินลอยที่ผิวหน้าของมอร์ต้าที่ 53.96% เมื่อใช้อัตราส่วนปูนต่อทรายที่ 1:3.5 เถ้าถ่านหินแทนที่ซีเมนต์ในมอร์ต้า 15% พบว่าเถ้าถ่านหินลอยที่ผิวหน้าของมอร์ต้าที่ 13.04% เถ้าถ่านหินแทนที่ซีเมนต์ในมอร์ต้า 30% พบว่าเถ้าถ่านหินลอยที่ผิวหน้าของมอร์ต้าที่ 16.02% เถ้าถ่านหินแทนที่ซีเมนต์ในมอร์ต้า 45% พบว่าเถ้าถ่านหินลอยที่ผิวหน้าของมอร์ต้าที่ 50.96% ดังรูปที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

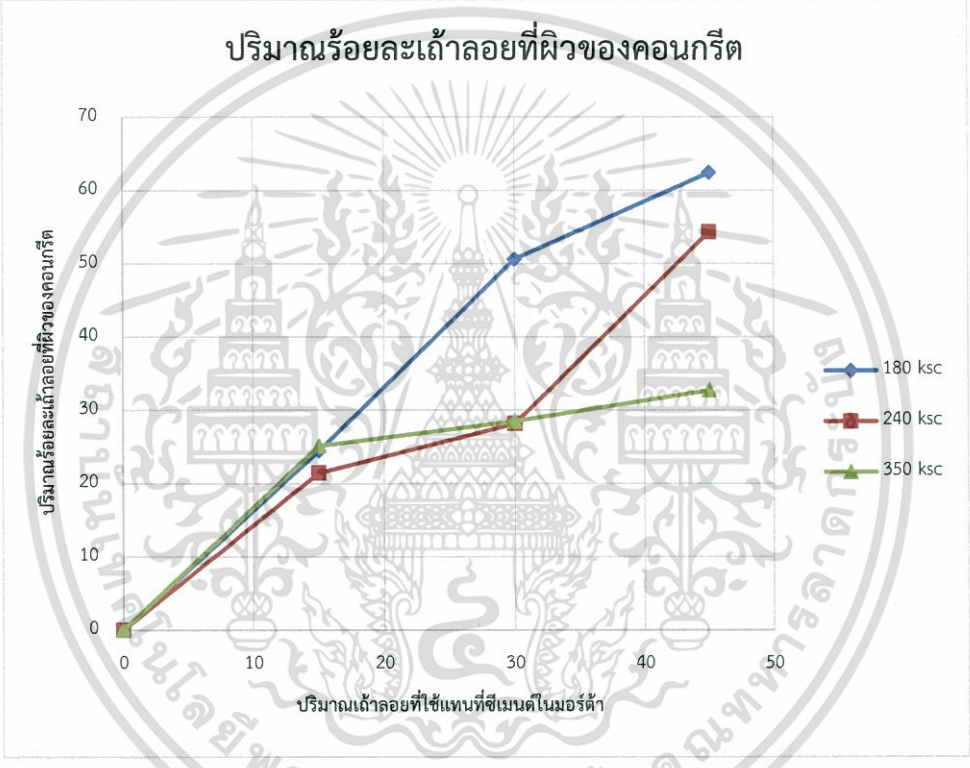


รูปที่ 4.10 ปริมาณเถ้าถ่านหินที่ผิวของมอร์ต้า

จากการวิเคราะห์หาปริมาณเถ้าถ่านหินที่ผิวของคอนกรีต โดยออกแบบคอนกรีตตัวอย่างลูกบาศก์ 10x10 เซนติเมตร ออกแบบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตามมาตรฐาน ACI 211.1-77 ที่ 180 240 และ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่ 28 วันกำหนดปริมาณเถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีตร้อยละ 0, 15, 30 และ 45 แล้วนำคอนกรีตตัวอย่างดังกล่าวไปทดสอบ X-RAY Fluorescence (XRF) ซึ่งจะได้ปริมาณของ SiO_2 ของแต่ละอัตราส่วน จากนั้นนำไปอ่านค่าปริมาณเถ้าถ่านหินจาก รูปที่ 3.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณเถ้าลอยที่ใช้แทนที่ซีเมนต์ในซีเมนต์เพสและปริมาณร้อยละการกระจายตัวของ SiO_2 ที่ผิวของซีเมนต์เพสจากการคำนวณ พบว่าเมื่อออกแบบคอนกรีตตัวอย่างกำลังรับแรงอัดที่ 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีต 15% พบว่าเถ้าถ่านหินลอยที่ผิวหน้าของคอนกรีตที่ 24.45% ใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีต 30% พบว่าเถ้าถ่านหินลอยที่ผิวหน้าของคอนกรีตที่ 50.59% ใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีต 45% พบว่าเถ้าถ่านหินลอยที่ผิวหน้าของคอนกรีตที่ 62.39% เมื่อออกแบบคอนกรีตตัวอย่างกำลังรับแรงอัดที่ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีต 15% พบว่าเถ้าถ่านหินลอยที่ผิวหน้าของคอนกรีตที่ 21.42% ใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีต 30% พบว่าเถ้าถ่านหินลอยที่ผิวหน้าของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนกรีตที่ 28.16% ใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีต 45% พบว่าเถ้าถ่านหินลอยที่ผิวหน้าของคอนกรีตที่ 54.30% เมื่อออกแบบคอนกรีตตัวอย่างกำลังรับแรงอัดที่ 350Ksc ใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีต 15% พบว่าเถ้าถ่านหินลอยที่ผิวหน้าของคอนกรีตที่ 25.13% ใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีต 30% พบว่าเถ้าถ่านหินลอยที่ผิวหน้าของคอนกรีตที่ 28.50% ใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีต 45% พบว่าเถ้าถ่านหินลอยที่ผิวหน้าของคอนกรีตที่ 32.71% ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ปริมาณเถ้าถ่านหินที่ผิวของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

1.แทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินที่ ร้อยละ 15 พบว่าเกิดการกระจายตัวของเถ้าถ่านหินที่ผิวของคอนกรีตที่ออกแบบให้กำลังรับแรงอัดที่ 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่ร้อยละ 24.45 คอนกรีตที่ออกแบบให้กำลังรับแรงอัดที่ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่ร้อยละ 21.42 คอนกรีตที่ออกแบบให้กำลังรับแรงอัดที่ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่ร้อยละ 25.13 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในคอนกรีต จากการศึกษาพบว่า ที่ 7 วัน กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีกำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 20.11 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีกำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 9.53 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีกำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 6.30 ที่ 28 วัน กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีกำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 21.48 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีกำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 6.70กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีกำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 5.43 ที่ 90 วัน กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีกำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 10.16 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีกำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 3.12 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีกำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 1.36 การทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตที่ใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในคอนกรีต จากการศึกษาพบว่า ที่ 7 วัน การทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตที่ 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตลดลงร้อยละ 12.12 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตลดลงร้อยละ 11.11 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีการสึกกร่อนที่ผิวหน้าลดลงร้อยละ 50.00ที่ 28 วัน การทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตที่ 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตลดลงร้อยละ 10.00 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตลดลงร้อยละ 17.39 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีการสึกกร่อนที่ผิวหน้าลดลงร้อยละ 35.00 ที่ 90 วัน การทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตที่ 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตลดลงร้อยละ 17.39 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตลดลงร้อยละ 15.00 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีการสึกกร่อนที่ผิวหน้าลดลงร้อยละ 17.65 ดังตารางที่ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 สรุปปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินในคอนกรีตที่ ร้อยละ 15

กำลังรับแรงอัด	(Distribution)	(Abrasion)			(Strength)		
		7 วัน	28 วัน	90 วัน	7 วัน	28 วัน	90 วัน
180	24.45	12.12	10.00	17.39	20.11	21.48	10.16
240	21.42	11.11	17.39	15.00	9.53	6.70	3.21
350	25.13	50.00	35.00	17.65	6.30	5.43	1.36

2.แทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินที่ ร้อยละ 30 พบว่าเกิดการกระจายตัวของเถ้าถ่านหินที่ผิวของคอนกรีตที่ออกแบบให้กำลังรับแรงอัดที่ 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่ร้อยละ 50.59 คอนกรีตที่ออกแบบให้กำลังรับแรงอัดที่ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่ร้อยละ 28.16 คอนกรีตที่ออกแบบให้กำลังรับแรงอัดที่ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่ร้อยละ 28.50 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในคอนกรีต จากการศึกษาพบว่า ที่ 7 วัน กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีกำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 27.85 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีกำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 22.85 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีกำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 19.63 ที่ 28 วัน กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีกำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 33.88 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีกำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 21.48 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีกำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 14.63 ที่ 90 วัน กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีกำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 17.19 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีกำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 13.95 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีกำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 12.63 การทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตที่ใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในคอนกรีต จากการศึกษาพบว่า ที่ 7 วัน การทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตที่ 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตลดลงร้อยละ 100.00 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตลดลงร้อยละ 51.51 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีการสึกกร่อนที่ผิวหน้าลดลงร้อยละ 48.15 ที่ 28 วัน การทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตที่ 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีการสึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตลดลงร้อยละ 58.58 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตลดลงร้อยละ 43.96 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีการสึกกร่อนที่ผิวหน้าลดลงร้อยละ 35.00 ที่ 90 วัน การทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตที่ 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตลดลงร้อยละ 58.00 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตลดลงร้อยละ 43.48 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีการสึกกร่อนที่ผิวหน้าลดลงร้อยละ 33.33 ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 สรุปปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินในคอนกรีตที่ ร้อยละ 30

กำลังรับแรงอัด	(Distribution)	(Abrasion)			(Strength)		
		7 วัน	28 วัน	90 วัน	7 วัน	28 วัน	90 วัน
180	50.59	100.00	58.80	50.00	27.85	33.88	17.19
240	28.16	51.52	43.96	43.48	22.85	21.48	13.95
350	28.50	48.15	35.00	33.33	19.63	14.63	12.63

3.แทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินที่ ร้อยละ 45 พบว่าเกิดการกระจายตัวของเถ้าถ่านหินที่ผิวของคอนกรีตที่ออกแบบให้กำลังรับแรงอัดที่ 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่ร้อยละ 62.39 คอนกรีตที่ออกแบบให้กำลังรับแรงอัดที่ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่ร้อยละ 54.30 คอนกรีตที่ออกแบบให้กำลังรับแรงอัดที่ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ที่ร้อยละ 52.71 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในคอนกรีต จากการศึกษาพบว่า ที่ 7 วัน กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีกำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 53.44 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีกำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 41.58 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีกำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 32.25 ที่ 28 วัน กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีกำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 31.76 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีกำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 30.59 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีกำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 30.44 ที่ 90 วัน กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีกำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 29.20 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีกำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 28.34 กำลังรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงอัดของคอนกรีตที่ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีกำลังรับแรงอัดลดลงร้อยละ 21.23 การทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตที่ใช้เถ้าถ่านหินแทนที่ปริมาณซีเมนต์ในคอนกรีต จากการศึกษาพบว่า ที่ 7 วัน การทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตที่ 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตลดลงร้อยละ 115.00 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตลดลงร้อยละ 86.96 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีการสึกกร่อนที่ผิวหน้าลดลงร้อยละ 74.07 ที่ 28 วัน การทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตที่ 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตลดลงร้อยละ 100.00 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตลดลงร้อยละ 84.85 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีการสึกกร่อนที่ผิวหน้าลดลงร้อยละ 66.67 ที่ 90 วัน การทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตที่ 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตลดลงร้อยละ 76.47 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตลดลงร้อยละ 73.91 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จะมีการสึกกร่อนที่ผิวหน้าลดลงร้อยละ 65.00 ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 สรุปปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าถ่านหินในคอนกรีตที่ ร้อยละ 45

กำลังรับแรงอัด	(Distribution)	(Abrasion)			(Strength)		
		7 วัน	28 วัน	90 วัน	7 วัน	28 วัน	90 วัน
180	62.39	115.00	100.00	76.47	53.44	31.76	29.20
240	54.30	86.96	84.85	73.91	41.58	30.59	28.34
350	32.71	74.07	66.67	65.00	32.25	30.44	21.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรกฎ วิจิตรพงศ์. "**การใช้ขี้เถ้าลอยแม่เมาะในการปรับปรุงความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตสด.**" วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิศวกรมโยธา, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.2531.

[2] ธีรวัฒน์ สินศิริ. "ผลกระทบของเถ้าถ่านหินต่อคุณสมบัติเพสต์." **การประชุมวิชาการคอนกรีตและจีโอโพลิเมอร์แห่งชาติ,** ครั้งที่ 1, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 31 ตุลาคม 2548, หน้า 166-184

[3] เปรมชัย บูรณวนิชและคณะ. "**คุณสมบัติด้านกำลังคอนกรีตบดอัดผสมเถ้าลอยในปริมาณสูงที่ใช้ชนิดวัสดุมวลรวมหยาบต่างกัน.**" ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิตสาขาวิศวกรรมโยธา, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543

[4] ฤทธิพงษ์ เลิศลักษณะโสภณและคณะ. "**อิทธิพลของเถ้าลอยที่มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตที่ผสมแบบแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วน.**" ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิตสาขาวิศวกรรมโยธา, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2551

[5] จีรายุทธ อุตมะยาน และคณะ. "**อิทธิพลของการผสมคอนกรีตแบบแบ่งน้ำเป็นสองส่วนต่อคุณสมบัติของคอนกรีตผสมเถ้าลอย,**" ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิตสาขาวิศวกรรมโยธา, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2556

[6] Mr.PONHSAMPATEA LY. "**กำลังอัดการกัดกร่อนเหล็กเสริมและโครงสร้างทางจุลภาคของคอนกรีต ที่ผสมเถ้าถ่านหินภายใต้สภาวะแวดล้อมทะเลเป็นระยะเวลา 15 ปี.**" ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิตสาขาวิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยบูรพา 2556

[7] อัครเดช ศรีเสน และคณะ. "สมบัติของคอนกรีตที่ใช้เถ้าถ่านหินและกากแคลเซียมคาร์ไบด์เป็นวัสดุประสาน," **วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,** ปีที่ 37, ฉบับที่ 2, เมษายน - มิถุนายน 2557, หน้า 170-193

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. ผลการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1 การทดสอบหาค่าการเยิ้มน้ำของซีเมนต์เพสต์

ตารางที่ 1 ค่าการเยิ้มน้ำของซีเมนต์เพสต์ (Bleeding : %)

W/C	Fly Ash 0%	Fly Ash 10%	Fly Ash 30%	Fly Ash 50%
0.4	4.08	2.67	2.33	1.34
0.5	6.08	4.67	3.58	2.67
0.6	9.17	8.42	7.67	4.92

ก.2 การทดสอบความสามารถเทได้ (Workability)

ตารางที่ 2 ความสามารถในการไหลของซีเมนต์เพสต์

W/C	Fly Ash 0%	Fly Ash 10%	Fly Ash 30%	Fly Ash 50%
0.4	9.52	7.39	5.27	4.59
0.6	3.08	2.39	2.13	2.08

ก.3 การทดสอบหาความสามารถในการรับแรงอัดของคอนกรีต

ตารางที่ 3 ความสามารถในการรับแรงอัด (compression test : ksc) ที่ 7 วัน

% Fly Ash	180 Ksc	240 Ksc	350 Ksc
0%	188.6	259.2	371.7
15%	186.0	203.5	359.7
30%	151.6	171.4	286.7
45%	110.2	120.7	251.8

ตารางที่ 4 ความสามารถในการรับแรงอัด (compression test : ksc) ที่ 28 วัน

% Fly Ash	180 Ksc	240 Ksc	350 Ksc
0%	216.6	269.4	387.4
15%	194.6	251.3	363.0
30%	186.4	223.1	338.5
45%	155.1	212.2	274.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 ความสามารถในการรับแรงอัด (compression test : ksc) ที่ 90 วัน

% Fly Ash	180 Ksc	240 Ksc	350 Ksc
0%	260.8	328.7	487.6
15%	246.6	262.6	441.1
30%	222.6	237.2	383.9
45%	181.4	224.3	338.4

ก.4 การทดสอบหาค่าการต้านทานการสึกกร่อน

ตารางที่ 6 ค่าการต้านทานการศึกกร่อน (Abrasion) ที่อายุ คอนกรีตที่ 7 วัน

% Fly Ash	180 Ksc	240 Ksc	350 Ksc
0%	3.3	3.0	2.3
15%	3.7	3.3	2.7
30%	5.0	4.0	3.3
45%	6.1	5.0	4.0

ตารางที่ 7 ค่าการต้านทานการศึกกร่อน (Abrasion) ที่อายุ คอนกรีตที่ 28 วัน

% Fly Ash	180 Ksc	240 Ksc	350 Ksc
0%	2.7	2.3	2.0
15%	3.0	2.7	2.3
30%	4.0	3.3	2.7
45%	4.7	4.3	3.3

ตารางที่ 8 ค่าการต้านทานการศึกกร่อน (Abrasion) ที่อายุ คอนกรีตที่ 90 วัน

% Fly Ash	180 Ksc	240 Ksc	350 Ksc
0%	2.0	2.0	1.7
15%	3.0	2.7	2.0
30%	4.0	3.0	2.7
45%	4.3	4.0	3.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.5 การทดสอบหาค่าการกระจายตัวของเถ้าถ่านหินที่ผิวของซีเมนต์เพสต์

ตารางที่ 9 ค่าการกระจายตัวของเถ้าถ่านหินที่ผิวของซีเมนต์เพสต์

ปริมาณ Fly Ash	ปริมาณร้อยละ SiO2 จากการคำนวณ	ปริมาณร้อยละ Fly Ash ที่ผิวซีเมนต์เพสต์
0	8.44	0
15	11.8	30.21
30	16.7	60.32
45	18.3	75.11

ก.8 การทดสอบหาค่าการกระจายตัวของเถ้าถ่านหินที่ผิวของมอร์ต้า

ตารางที่ 10 ค่าการกระจายตัวของเถ้าถ่านหินที่ผิวของมอร์ต้า

% Fly Ash	ปริมาณ F.A. ที่ผิวมอร์ต้า		
	1:2.5	1:3.0	1:3.5
15	13.04	56.49	40.47
30	16.02	59.02	55.64
45	50.96	59.86	53.96

ก.9 การทดสอบหาค่าการกระจายตัวของเถ้าถ่านหินที่ผิวของคอนกรีต

ตารางที่ 11 ค่าการกระจายตัวของเถ้าถ่านหินที่ผิวของคอนกรีตที่กำลังรับแรงอัดที่ 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ปริมาณร้อยละเถ้าลอย	180 ksc				
	SiO2 180 Ksc	Sio2 ซีเมนต์	Sio2 ทราย	ปริมาณ SiO2Bide	FA ที่ผิวคอนกรีต
0	58.40	8.44	49.96		0.00
15	61.30			11.34	24.45
30	64.40			14.44	50.59
45	65.80			15.84	62.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 12 ค่าการกระจายตัวของเถ้าถ่านหินที่ผิวของคอนกรีตที่กำลังรับแรงอัดที่ 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ปริมาณร้อยละเถ้าลอย	240 ksc				
	SiO2 240 Ksc	Sio2 ซีเมนต์	Sio2 ทราย	ปริมาณ SiO2Bide	FA ที่ผิวคอนกรีต
0	58.96	8.44	50.52		0.00
15	61.50			10.98	21.42
30	64.3			13.78	28.16
45	64.70			14.18	54.30

ตารางที่ 13 ค่าการกระจายตัวของเถ้าถ่านหินที่ผิวของคอนกรีตที่กำลังรับแรงอัดที่ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ปริมาณร้อยละเถ้าลอย	350 ksc				
	SiO2 350 Ksc	Sio2 ซีเมนต์	Sio2 ทราย	ปริมาณ SiO2Bide	FA ที่ผิวคอนกรีต
0	59.12	8.44	50.68		0.00
15	62.10			11.42	25.13
30	62.50			11.82	28.50
45	63.00			12.32	32.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ ขจรศักดิ์ ไชยวงษ และ รศ.ดร.คมสัน มาลีสี "ผลกระทบของคอนกรีตที่ผสมเถาลอยที่มีผลตอผิวหนาของคอนกรีต" **การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ**, ครั้งที่ 20, หน้า MAT-089 ณ โรงแรม เดอะซายน์ พัทยาเหนือ จ.ชลบุรี, วันที่ 8-10 กรกฎาคม 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยที่มีผลต่อผิวหน้าของคอนกรีต
The effect of concrete mixed with fly ash on surface of concrete

ขจรศักดิ์ ไชยวงษ์[1] คมสัน มาลีสี[2]

[1] นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จ.กรุงเทพฯ kajon.ch@gmail.com
[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จ.กรุงเทพฯ mkomsan@gmail.com

บทคัดย่อ

ปัจจุบันพบว่ามีการใช้เถ้าลอยทดแทนปริมาณซีเมนต์ในคอนกรีตเป็นจำนวนมากเพื่อลดต้นทุนในการผลิต แต่อาจส่งผลต่อคุณภาพของคอนกรีต ซึ่งพบว่าคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยเมื่อนำไปใช้งานจะเกิดฝุ่นผงที่ผิวหน้าของคอนกรีต งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงการกระจายตัวของเถ้าลอยที่ผิวหน้าของ คอนกรีต ซึ่งจะมีผลต่อการสึกกร่อนและกำลังรับแรงอัดที่ผิวหน้าคอน กรีต เมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 0,15,30,45 กำลังอัดที่ 180,240,350 ksc ทดสอบหาปริมาณการกระจายตัวของเถ้าลอยด้วยเครื่อง XRF ทดสอบ กำลังอัดและการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C39-93a และASTM C944 โดยทำการทดสอบกำลังอัด ที่ 28 วัน และทดส อบการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีต ที่อายุ 7,28 และ 90 วัน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยในคอนกรีต การกระจายตัวของเถ้าลอยที่ผิวหน้าคอนกรีต จะเพิ่มปริมาณมากขึ้นค่าความทนทานต่อการ สึกกร่อนที่ผิวหน้าคอนกรีตลดลงสูงมาก และกำลังรับแรงอัดที่ผิวหน้าคอนกรีตลดลงสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าลอย

คำสำคัญ: เถ้าลอย, คอนกรีต, การสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีต

Abstract

Nowadays, the concrete mixing is using fly ash instead some of concrete ingredient to reduce production costs but it's perhaps effects to quality of concrete mixing. The concrete mixed with fly ash also founds dust on surface while it is used. Therefore this research studies for the distribution of fly ash in each level of concrete mixed which will have the effect of abrasion and compressive strength on surface of concrete. When replaced concrete with fly ash condition at 0%. 15%. 30% and 45%, compressive strength condition at 180, 240 and 350 ksc. Testing for quantity of the distribution of fly ash with XRF, XRD and SEM machine. The ASTM C805 and ASTM C944 are standard for abrasion and compressive strength on surface of concrete testing by take the sample period as 7, 28 and 90 days. Founded that when increased fly ash, the distribution of fly ash on surface of concrete increased but the tolerance to corrosion on surface of concrete decreased when compare to concrete mixed without fly ash.

Keywords: fly ash, concrete, abrasion

1. บทนำ

ปัจจุบันปริมาณการก่อสร้างในประเทศไทยได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากจึงส่งผลให้ปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ซึ่งจะส่งผลต่อวัสดุธรรมชาติซึ่งเป็นพื้นฐานในการผลิตปูนซีเมนต์ ดังนั้นในอุตสาหกรรมคอนกรีตจึงมีการใช้วัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตเพื่อลดปัญหาดังกล่าว โดยวัสดุทดแทนที่นำมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์มีด้วยกันหลายชนิด ยกตัวอย่างเช่น เถ้า ลอย ผงหินปูน ผงซิลิกา เป็นต้น ซึ่งจะช่วยในการลดต้นทุนการผลิตและพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตให้ดีขึ้นอีกด้วย ปัจจุบันวัสดุ ที่นิยมนำมาใช้ ทดแทนปูนซีเมนต์ ในคอนกรีต คือ เถ้า ลอยเนื่องจากเป็นวัสดุที่เหลือใช้จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานความร้อนซึ่งจะใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิง และกากที่เหลือจากการเผาถ่านหินลิกไนต์นั้นจะกลายเป็นเถ้าลอยถึงร้อยละ 80 และเถ้าลอยนี้ได้กลายเป็นวัสดุเหลือใช้จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเถ้าลอยมีออกไซน์ของซิลิกา ,อลูมินา ,และเหล็กเป็นส่วนประกอบ ออกไซน์เหล่านี้สามารถทำปฏิกิริย าปอซโซลานได้ดี และจะช่วยพัฒนา กำลัง รับแรงอัดของคอนกรีตในระยะยาว และยังช่วยพัฒนา คุณสมบัติของคอนกรีตในด้านอื่นๆ เช่น ช่วยเพิ่มความสามารถในการทำงาน ลดการสูญเสียการยุบตัว เป็นต้น แต่ในขณะเดียวกันการใช้เถ้า ลอย นในปริมาณที่มาก ก็อาจจะส่งผลเสียต่อคอนกรีต เช่นทำให้อัตราการพัฒนากำลังของคอนกรีตต่ำลงในช่วงต้นและอีกหนึ่งปัญหาที่พบคือการเกิดฝุ่นที่ผิวหน้าคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วในโครงสร้างพื้น ,งานโครงสร้างถนนคอนกรีต ซึ่งฝุ่นที่ผิวห น้าของคอนกรีตนี้เป็นตัวบ่งบอกว่าโครงสร้างคอนกรีตนั้นสึกกร่อนง่าย โดยฝุ่นที่เกิดขึ้นที่ผิวหน้าคอนกรีตเกิดจากปริมาณเถ้าลอยที่ผิวหน้าของคอนกรีตมีปริมาณที่มากกว่าระดับชั้นอื่นๆเ นื่องจากน้ำหนักของตัวเถ้า ลอยเบากว่าซีเมนต์ และเมื่อเกิดการเยิ้มน้ำ (Bleeding) ก็จะทำ ให้เถ้า ลอยนั้น ลอยขึ้นมาที่ผิวหน้าของคอนกรีต ส่งผลให้ปริมาณซีเมนต์ในผิวหน้าของคอนกรีตลดลง ซึ่งจะส่งผลให้ ความต้านทานต่อการสึกกร่อนลดลง อายุการใช้งานคอนกรีต ต่ำลงงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยที่มีผลต่อผิวหน้าของคอนกรีต โดยการศึกษาแ บ่งออกเป็นสองส่วน คือการศึกษาถึงการกระจายตัวของเถ้าลอยในผิวหน้าของคอนกรีต และการศึกษาถึงการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอย โดยส่วนที่หนึ่งได้ทำการศึกษาถึงอัตราการกระจายตัวของเถ้าลอยที่ผิวคอนกรีตใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนผสมของคอนกรีตเมื่อใช้เถ้าลอยแทนซีเมนต์ในค อนกรีตที่ร้อยละ 0, 15,30และ 45 โดยกำหนดให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 180,240 และ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทำการหาปริมาณเถ้าลอยใน คอนกรีตด้วยการทดสอบ X-RAY Fluorescence (XRF) และในส่วนที่สอง ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยที่มีผลต่อความ ทนทานต่อการขีดข่วนที่ผิวหน้าของคอนกรีต (Abrasions) โดยใช้เถ้าลอย แทนซีเมนต์ในคอนกรีตที่ร้อยละ 0, 15,30และ 45และกำหนดค่ากำลังรับ แรงอัดของคอนกรีตที่ 180,240 และ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และทำการทดสอบที่ 28 วัน

2.บทความหลัก

2.1ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การสึกกร่อน Abrasion

ความต้านทานการสึกกร่อนหมายถึงความสามารถของผิวหน้า คอนกรีตที่ทนทานต่อการขัดสีหรือเสียดสีของวัตถุอื่นในปัจจุบันมีมาตรฐาน ASTM ที่ใช้สำหรับการทดสอบคอนกรีตอยู่ 4 วิธีหลักๆกล่าวคือ

1. The ASTM C418 เป็นวิธีทดสอบมาตรฐานคอนกรีตความ ต้านทานการขัดสีด้วยการเป่าทราย

2. The ASTM C779 เป็นวิธีทดสอบมาตรฐานคอนกรีต แนวนอนโดยการขัดสีที่ผิววิธีนี้เป็นการทดสอบความทนทานการสึกกร่อน ของคอนกรีตตามแนวขวาง

3. The ASTM C944 เป็นวิธีการทดสอบมาตรฐานคอนกรีต หรือความต้านทานผิวปูนจากการขัดสีโดยวิธีการตัดโดยขั้นตอนนี้ใช้ล้อวาง และกดและบนแผ่นตัวอย่างในการเจาะหรือการตั ดผิวทดสอบจะขึ้นอยู่กับ ระยะเวลาที่กำหนดไว้และการทดสอบนี้ส่วนมากแล้วจะนิยมใช้กับถนนหรือ การควบคุมคุณภาพผิวสะพานคอนกรีต

4. The ASTM C1138 เป็นวิธีการทดสอบมาตรฐานคอนกรีต โดยวิธีใต้น้ำและเป็นมาตรฐานล่าสุดในการหาค่าการสึกกร่ อนโดยการนำ แผ่นตัวอย่างคอนกรีตไปทดสอบในเครื่องทดสอบและมีลูกบอลสแตนเลส 3 ขนาดวางอยู่บนพื้นแผ่นตัวอย่างหมุนไปตามแรงของน้ำที่ใช้แรงของมอร์ เตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน

2.1.2 กำลังต้านทานแรงอัด Compressive Strength

กำลังต้านทานแรงอัด เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของคอนกรีต ซึ่ง คอนกรีตนั้นจัดเป็นวัสดุ ที่มีกำลังรับแรงอัดสูงแต่มี กำลังรับแรงดึงต่ำดังนั้น เมื่อกล่าวถึงกำลังของคอนกรีตก็จะกล่าวถึงกำลังรับแรงอัดเป็นหลัก และใน การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กนั้นก็จะใช้กำลังรับแรงอัดในการออกแบบ เป็นหลัก นอกจากนั้นการตรวจสอบกำลังรับแรงอัด ยังเป็ นการควบคุม คุณภาพของคอนกรีตอีกด้วย รูปทรงของคอนกรีตที่นิยมใช้ในการทดสอบมี 2 แบบ คือทรงลูกบาศก์นิยมใช้ในแถบ อังกฤษ เยอร์มันและประเทศใน แถบยุโรปเป็นหลัก และรูปทรงกระบอกนิยมใช้ใน อเมริกา ฝรั่งเศส แคนนา ดาเป็นต้น ส่วนในประเทศไทยนั้นนิยมใช้ทั้งสองแบบ และในงานวิจัย นี้ใช้ รูปทรงลูกบาศก์มาตรฐาน BS 1881 เป็นหลัก โดยจะต้องแบ่งใส่คอนกรีต ลงในลูกบาศก์เป็นสามชั้น แต่ละชั้นกระทุ้งด้วยเหล็กกระทั้งตามมาตรฐาน 35 ครั้ง จากนั้นจะทิ้งคอนกรีตไว้ที่ 24 ชั่วโมง จึงทำการถอดแบบ ซึ่ง หาก มิได้มีการกำหนดไว้เป็นอย่างอื่น จะถือว่าผลการทดสอบกำ ลังอัดของ คอนกรีตที่อายุ 28 วันเป็นเกณฑ์

2.1.3 ปฏิกริยาไฮเดรชัน (Hydration Reaction)

ปฏิกริยาไฮเดรชัน คือปฏิกริยาที่เกิด เมื่อปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำ โดยจะทำให้เกิดการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ โดยมีสมการที่เกิดขึ้นหลักๆ 4 สมการดังนี้

สมการที่ 1 เรียกว่าสมการ *เอไลท์*

$$2(3CaO.SiO_2)+7H_2O \rightarrow 3CaO.2SiO_2 4H_2O+3Ca(OH)_2 \quad (1)$$

สมการที่ 2 เรียกว่าสมการ *บีไลท์*

$$2(2CaO.SiO_2)+5H_2O \rightarrow 3CaO.2SiO_2 4H_2O+Ca(OH)_2 \quad (2)$$

สองสมการดังกล่าวคือสมการ ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของแคลเซียมซิลิเกต โดยแคลเซียมซิลิเกตจะทำ ปฏิกิริยากับน้ำ ก่อให้เกิด $Ca(OH)_2$ และ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate, C-S-H)

สมการที่ 3

$$3CaO.Al_2O_3+6H_2O \rightarrow 3CaO.\ Al_2O_3.6H_2O \quad (3)$$

สมการที่ 3 เป็นปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของไตรแคลเซียมอะลูมิเนต C_3A จะ เกิดทันทีทันใด และก่อให้เกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็วของซีเมนต์เ พสต์เพื่อ หน่วงไม่ให้ปฏิกิริยาเกิดอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงใส่ยิปซัมเข้าไปในระหว่าง ขบวนการบดปูนเม็ด ยิปซัมจะเข้าไปทำ ปฏิกิริยากับ C_3A จะก่อให้เกิด เอ็ททริงไกด์ (Ettringite) เพื่อหน่วงปฏิกิริยาดังกล่าว

สมการที่ 4

$$4\ CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3+\ CaSO_4.2H_2O\ + Ca(OH)_2 \rightarrow 3CaO(\ Al_2O_3,\ Fe_2O_3).3\ CaSO_4 \quad (4)$$

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของเตตระแคลเซียม อะลูมิโนเฟอร์ C_4AF ซึ่ง จะ คล้ายกับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นใน C_3A แต่ปฏิกิริยาจะเกิดช้ากว่าและมีความ ร้อนที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาที่น้อยกว่า

2.1.4 ปฏิกริยาปอสโซลานนิค

ปฏิกิริยาปอซโซลานิกของสารปอซโซลาน คือ ปฏิกิริยาของซิลิคอนได ออกไซด์ (SiO_2) และอะลูมิเนียมออกไซด์ ($Al2O_3$) ในสารปอซโซลานทำ ปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH_2)$) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จาก ปฏิกริยาไฮเดรชั่นของปฏิกริยาเอไลท์และบีไลท์ ดังนี้

$$2SiO_2+\ 3Ca(OH)_2 \rightarrow 3CaO.2SiO_2 3H_2O \quad (5)$$

$$2\ Al2O_3+\ 3Ca(OH)_2 \rightarrow 3CaO.2SiO_2 3H_2O \quad (6)$$

2.2 งานวิจัยที่ผ่านมา

การใช้เถ้าถ่านหินนั้นมีการใช้ งานแทนปูนซีเมนต์ กันตั้งแต่ ค.ศ. 1937 โดย Davis [1] และคณะได้ทำการวิจัยและเป็นผู้เริ่มใช้ และหลังจากนั้นก็มี การทำงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้เถ้าถ่านหินกันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในส่วนของประเทศไทยได้มีการเริ่มใช้เถ้าถ่านหินกันในช่วง ก่อนปี 2536 แต่ยังมีการใช้ถ้าถ่านหินในปริมาณที่น้อยมากเพียงแค่ 100 ถึง 500 ล้านตันต่อปี เท่านั้นเอง การใช้เถ้าถ่านหินในประเทศนั้นเริ่มแพร่หลายในปี พ.ศ.2541 เนื่องจากมีการใช้เถ้าถ่านหิน อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง โดยมีการใช้เถ้าถ่านหินในปริมาณถึง 300,000 ล้านตันต่อปีและเพิ่มปริมาณเป็น 600,000 ตันและ 880,000 ตัน ในปี 2542 และ 2543 ตามลำดับ [2] และได้มีการทำงานวิจัยเกี่ยวกับเถ้าถ่านหินในประเทศไทยกันอย่างแพร่หลาย โดย ประจิต [3] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับคอนกรีตผสมเถ้าลอยของไทยครั้งแรกใน ปี 2523 จากนั้น วรางคณา และส มนีก ได้ทำการวิเคราะห์หาสัดส่วนผสมของเถ้าลอยในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วโดยใช้ วิธีการ X-RAY Fluorescence (XRF) ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี [4]

2.2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกทำการศึกษาที่การ ใช้เถ้าลอยแทนซีเมนต์ในคอนกรีตที่ร้อยละ 0, 15,30และ 45และกำหนดค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 180,240 และ 350 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ซึ่งวัสดุที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้

- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
- เถ้าลอยจากโรงงานไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง
- หินที่มีขนาดใหญ่สุดเท่ากับ 3/8 นิ้ว
- ทรายที่มีค่าโมดูลัสความละเอียดอยู่ระหว่าง 2.9

2.2.2 ขั้นตอนและวิธีการศึกษา

1). วิธีการศึกษาการกระจายตัวของเถ้าลอยในผิวหน้าของคอนกรีตนั้นจะเริ่มจากการหาปริมาณเถ้าลอยในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วก่อน โดยในคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยนั้นจะประกอบไปด้วย ซีเมนต์ เถ้าลอย ทราย หินและน้ำ ทั้งซีเมนต์และเถ้าลอยนั้นจะมีส่วนประกอบหลักที่คล้ายกัน ได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซิลิการ (SiO_2) อลูมินา (Al_2O_3) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) เป็นหลัก โดยออกไซด์ทั้ง 4 ตัวนี้รวมกันได้ร้อยละ 90 ซึ่งในเถ้าลอยนั้นออกไซด์ที่เป็นส่วนประกอบหลักที่มากที่สุดคือ ซิลิการ (SiO_2) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้ ซิลิการ (SiO_2) เป็นหลักในการพิจารณาหาปริมาณเถ้าลอยในคอนกรีต โดยการหาปริมาณเถ้าลอยในคอนกรีตนั้นจะใช้วิธีการ X-RAY Fluorescence (XRF) ในการหาปริมาณ ซิลิการ (SiO_2) ในคอนกรีต ซึ่งวิธีการหาปริมาณเถ้าลอยในคอนกรีตนั้น แบ่งออกเป็นขั้นตอนดังนี้

1.1) เริ่มทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์จากการหาปริมาณเถ้าลอยจากซีเมนต์เพส โดยผงซีเมนต์และเถ้าลอยไปทดสอบหาปริมาณ SiO2 ด้วยเครื่อง X-RAY Fluorescence (XRF) พบปริมาณ ร้อยละ ของ SiO_2 ในซีเมนต์และเถ้าลอย ร้อยละ 20.3 และ 14.6 ตามลำดับ นำค่าที่ได้ไปคำนวนหาปริมาณเถ้าลอยในคอนกรีต จากอัตราส่วนดังกล่าว ด้วยสมการ

$$A + B = C \tag{7}$$

$$A = \frac{\left[(X)\ x\ (Z) \right]}{100} \tag{8}$$

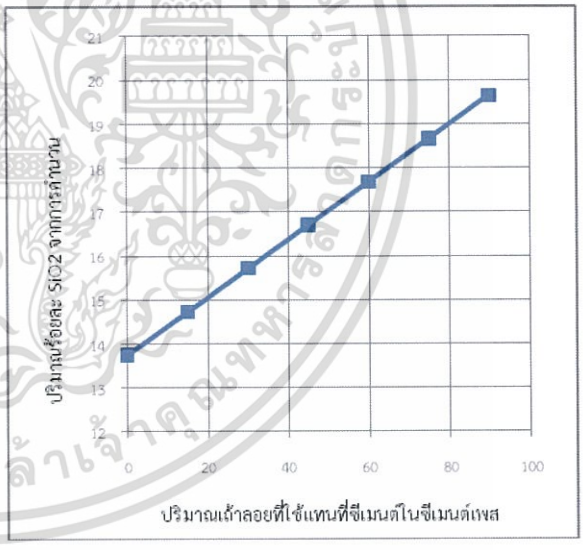
$$B = \frac{\left[(100 - Z)\ x\ Y \right]}{100} \tag{9}$$

- ปริมาณ SiO_2 ของเถ้าลอยในซีเมนต์เพส มีค่าเท่ากับ A
- ปริมาณ SiO_2 ของซีเมนต์ในซีเมนต์เพส มีค่าเท่ากับ B
- ปริมาณเถ้าลอยที่ผิวของซีเมนต์เพส มีค่าเท่ากับ C
- ปริมาณ SiO_2 ในเถ้าลอย มีค่าเท่ากับ X
- ปริมาณ SiO_2 ในซีเมนต์ มีค่าเท่ากับ Y
- ปริมาณเถ้าลอยในการแทนที่ ซีเมนต์ Z

ตารางที่ 1 ปริมาณเถ้าลอยที่ใช้แทนที่ซีเมนต์ในซีเมนต์เพสและจำนวนร้อยละ SiO_2 ที่ได้จากการคำนวน

ปริมาณเถ้าลอยที่ใช้แทนที่ ซีเมนต์	ปริมาณร้อยละ SiO_2 ที่ได้จากการคำนวณ
0%	13.75
15%	14.73
30%	15.71
45%	16.70
60%	17.68
75%	18.66

นำไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ได้ดังนี้



กราฟที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณเถ้าลอยที่ใช้แทนที่ซีเมนต์ในซีเมนต์เพสและปริมาณร้อยละการกระจายตัวของ SiO_2 ที่ผิวของซีเมนต์เพสจากการคำนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการผสมซีเมนต์เพส ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) 0.48 อัตราส่วนซีเมนต์ต่อเถ้าลอยร้อยละ 0, 15, 30 และ 45 แล้วนำซีเมนต์เพสดังกล่าวไปทดสอบ X-RAY Fluorescence (XRF) ซึ่งจะได้ปริมาณของ SiO2ของแต่ละอัตราส่วนดังนี้

ตารางที่ 2 ปริมาณเถ้าลอยที่ใช้แทนที่ซีเมนต์ในซีเมนต์เพสและจำนวนร้อยละ SiO_2 ที่ได้จากการทดสอบที่ผิวของซีเมนต์เพส

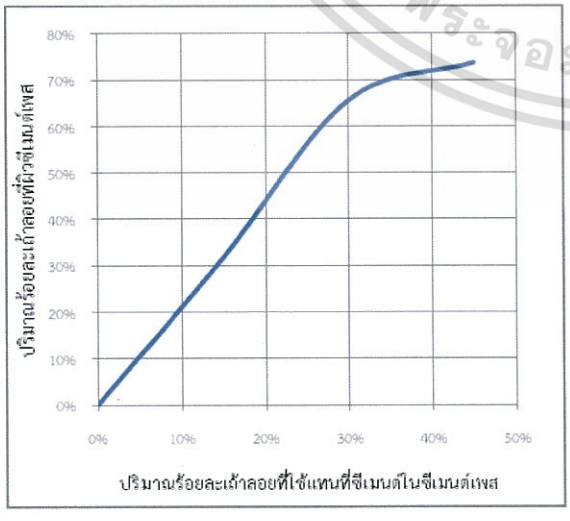
ลำดับที่	รายการ	ปริมาณ %SiO2
1	ซีเมนต์เพสเถ้าลอย 0%	13.75
2	ซีเมนต์เพสเถ้าลอย 15%	15.83
3	ซีเมนต์เพสเถ้าลอย 30%	18.05
4	ซีเมนต์เพสเถ้าลอย 45%	20.2

แล้วนำค่า SiO_2 จากตารางที่ 2 ไปอ่านค่าปริมาณเถ้าลอยที่ผิวซีเมนต์เพส แล้วนำมาคำนวณหาค่าปริมาณการกระจายตัวของเถ้าลอยในซีเมนต์เพสได้ดังตาราง

ตารางที่ 3 ปริมาณเถ้าลอยที่ใช้แทนที่ซีเมนต์ในซีเมนต์เพสและปริมาณเถ้าลอยที่ผิวของซีเมนต์เพสที่ได้จากการนำค่า SiO2 ไปอ่านค่าจากกราฟที่ 1

ลำดับที่	ปริมาณเถ้าลอยที่ใช้แทนที่ซีเมนต์ในซีเมนต์เพส	ปริมาณการกระจายตัวของเถ้าลอยที่ผิวซีเมนต์เพส
1	0%	0%
2	15%	31.76%
3	30%	65.65%
4	45%	73.76%

นำไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ได้ดังนี้



กราฟที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณเถ้าลอยที่ใช้แทนที่ซีเมนต์ในซีเมนต์เพสและปริมาณการกระจายตัวของเถ้าลอยในซีเมนต์เพสจากการทดสอบ

จากกราฟที่ 2 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยในซีเมนต์เพสที่ 15% จะพบเถ้าลอยที่ผิวของซีเมนต์เพส 31.76 % หากเพิ่มการ แทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยในซีเมนต์เพสที่ 30% จะพบเถ้าลอยที่ผิวของซีเมนต์เพส 65.65 % และเมื่อแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยในซีเมนต์เพสที่ 45% จะพบเถ้าลอยที่ผิวของซีเมนต์เพส 73.76 % ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เพิ่มมากขึ้นเป็น 2 เท่าโดยประมาณ

1.2) วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ปริมาณการกระจายตัวของเถ้าลอยในมอร์ต้า โดยการผสมมอร์ต้าที่อัตราส่วนทรายและปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย ที่ต่างกันดังตาราง ทั้งหมด 3 ตัวอย่าง

ตารางที่ 4 ปริมาณเถ้าลอยที่ใช้แทนที่ซีเมนต์ในมอร์ต้าและอัตราส่วนซีเมนต์และเถ้าลอยต่อทราย

ปริมาณเถ้าลอยที่ใช้แทนที่ ซีเมนต์	อัตราส่วนซีเมนต์ต่อทราย		
0%	1:2.5	1:3	1:3.5
15%	1:2.5	1:3	1:3.5
30%	1:2.5	1:3	1:3.5
45%	1:2.5	1:3	1:3.5

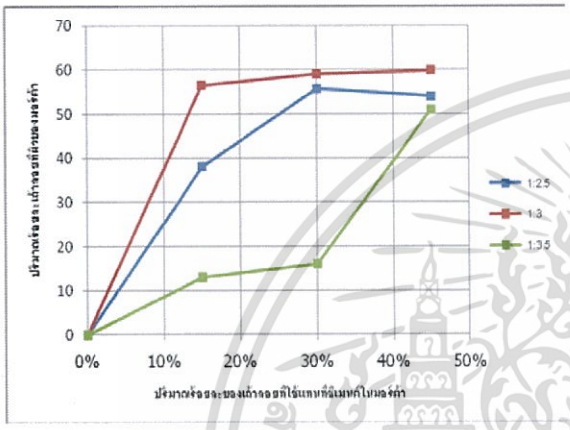
แล้วนำผิวของมอร์ต้าไปทดสอบหาปริมาณ ของ SiO_2 ด้วยวิธีการวิธีการ X-RAY Fluorescence (XRF) ค่าที่ได้จะเป็นค่า SiO_2 ทั้งในส่วนของทรายซีเมนต์และเถ้าลอย ในแถวที่ (2)

ตารางที่ 5 ขั้นตอนการหาปริมาณเถ้าลอยที่ผิวมอร์ต้า

F.A. ที่ใช้ (1)	อัตราส่วนทราย (2)	SiO2 ที่ผิว (3)	ปริมาณ SiO2 ในซีเมนต์ (4)	ปริมาณ SiO2 ทราย (5)	ปริมาณ SiO2 Bider (6)	ปริมาณ F.A. ที่ผิวมอร์ต้า (7)
0%	1:2.5	51.5	8.44	43.06	8.44	0
15%	1:2.5	56.3		43.06	13.24	38.04
30%	1:2.5	58.1		43.06	15.04	55.64
45%	1:2.5	57.9		43.06	14.84	53.96

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

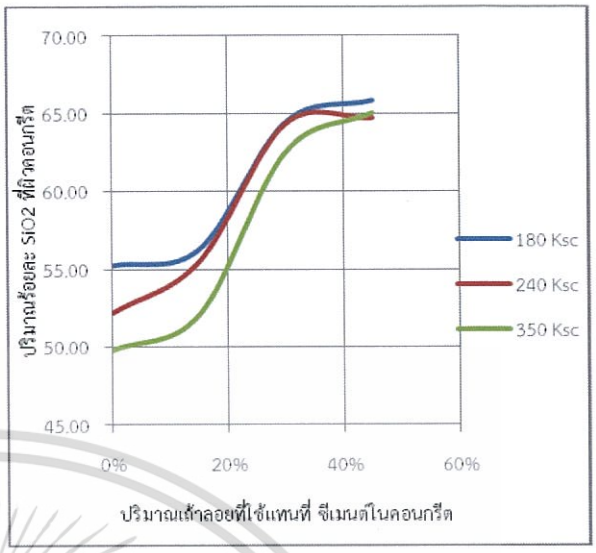
นำค่าปริมาณ SiO_2 ของซีเมนต์จากการทดสอบ ด้วยวิธีการ X-RAY Fluorescence (XRF) ได้ค่าร้อยละของ SiO2 ที่ 8.44 มาลบกับปริมาณ SiO_2 ที่ผิวของมอร์ต้า จากการทดสอบในการแทนที่เถ้าลอยที่ 0% ก็จะได้ปริมาณ SiO_2 ของทรายและสามารถนำปริมาณ SiO_2 ของทรายไปใช้ได้ในทุกๆอัตราส่วนเนื่องจากในการทดสอบทุกๆอัตราส่วนจะใช้ทรายชนิดและปริมาณในการ ใช้ค่าเดียวกัน จากนั้นนำค่า SiO_2 ในทรายไปลบออกจาก ปริมาณ SiO_2 ที่ผิวของซีเมนต์เพส ก็จะได้ SiO_2 ในส่วนของซีเมนต์และเถ้าลอยที่ผิวของมอร์ต้า แล้วนำค้า SiO_2 ดังกล่าวไปอ่านค่าจากกราฟที่ 1 ก็จะได้ปริมาณการกระจายตัวของเถ้าลอยที่ผิวของมอร์ต้า ซึ่งนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ได้ดังนี้



กราฟที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณเถ้าลอยที่ใช้แทนที่ซีเมนต์ในมอร์ต้าและปริมาณการกระจายตัวของเถ้าลอยที่ผิวของมอร์ต้า

จากกราฟที่ 3 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยในมอร์ต้า ส่งผลให้ปริมาณการกระจายตัวของเถ้าลอยที่ผิวของมอร์ต้าเพิ่มขึ้นในทุกอัตราส่วนของซีเมนต์และเถ้าลอยต่อทราย และยังพบว่าอัตราส่วนของซีเมนต์และเถ้าลอยต่อทรายที่ 1:2.5 และ 1:3 นั้นมีอัตราการกระจายตัวของเถ้าลอยที่ผิวของมอร์ต้าใกล้เคียงกัน ส่วนอัตราส่วนของซีเมนต์และเถ้าลอยต่อทรายที่ 1:3.5 มีอัตราการกระจายตัวของเถ้าลอยที่ผิวของมอร์ต้าต่ำกว่าสองอัตราส่วนดังกล่าว

1.3) วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ ปริมาณการกระจายตัวของเถ้าลอยในคอนกรีต โดยการหล่อคอนกรีตตัวอย่าง ลูกบาศก์ 10x10 เซนติเมตร ออกแบบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตามมาตรฐาน ACI 211.1-77 ที่ 180 240 และ 350 Ksc. ที่ 28 วันกำหนดปริมาณเถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีตร้อยละ 0, 15, 30 และ 45 ทำการทดสอบทั้งหมด 3 ชุดการทดสอบ แล้วนำผิวคอนกรีตตัวอย่างดังกล่าวไปทดหาปริมาณ SiO_2 ด้วยวิธีการ X-RAY Fluorescence (XRF) ซึ่งสามารถนำมาเขียนกราฟความปริมาณการกระจายตัวของ SiO2 ที่ผิวของคอนกรีตและปริมาณเถ้าลอยที่ใช้แทนที่คอนกรีตดังนี้

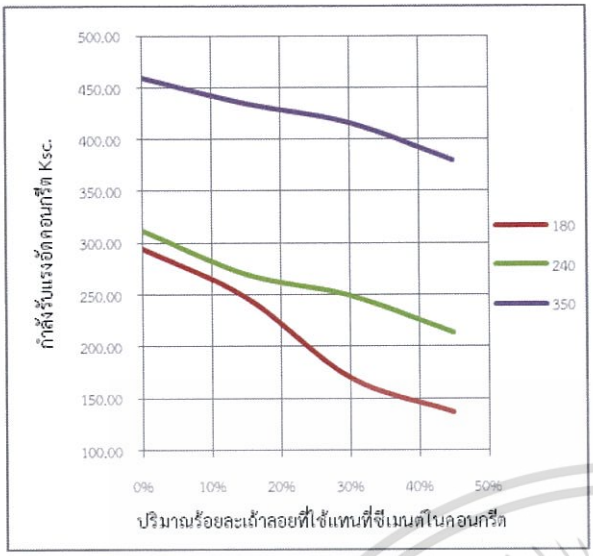


กราฟที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณเถ้าลอยที่ใช้แทนที่ซีเมนต์ใน คอนกรีต และปริมาณการกระจายตัวของ SiO2 ที่ผิวของคอนกรีต

จากกราฟที่ 4 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีตด้วยเถ้าลอยส่งผลให้ป ริมาณการกระจายตัวของ SiO2 ที่ผิวของคอนกรีตเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณเถ้าลอยที่เพิ่ม และยังพบอีกว่าเมื่อออกแบบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมากขึ้นจะส่งผลให้อัตราการกระจายตัวของ SiO2 ที่ผิวของคอนกรีตลดลง ซึ่งจากการศึกษาอัตราการกระจายตัวของเถ้าลอยที่ผิวของซีเมนต์เพสและ มอร์ต้าที่ผ่านมาพบว่า SiO2 ในเถ้าลอยนั้นมีสัดส่วนที่มากกว่า สัดส่วนของ SiO2 ของซีเมนต์ ดังนั้น เมื่อพบปริมาณ SiO2 ที่ผิวของคอนกรีตที่เพิ่มมากขึ้นดังกล่าว ก็จะมีอัตราส่วนการกระจายตัวของเถ้าลอยที่ผิวของคอนกรีตมากขึ้นตามตามสัดส่วนของ SiO2 ตามลำดับ

1.4) ทดสอบกำ ลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยในอัตราส่วนที่ต่างกัน ทำการหล่อคอนกรีตลูกบาศก์ ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร โดยออกแบบกำลังรับแรงอัดที่ 180 240 และ 350 Ksc. ที่ 28 วัน ตามมาตรฐาน ACI 211.1-77 กำหนดปริมาณเถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีตร้อยละ 0, 15, 30 และ 45 ทำการทดสอบทั้งหมด 3 ชุดการทดสอบ แล้วนำมาเขียนความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเถ้าลอยที่ใช้และกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

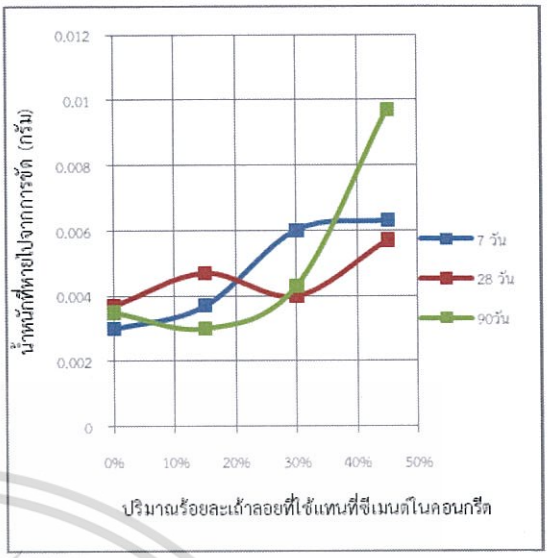


กราฟที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณเถ้าลอยที่ใช้แทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีตและกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ที่ 28 วัน

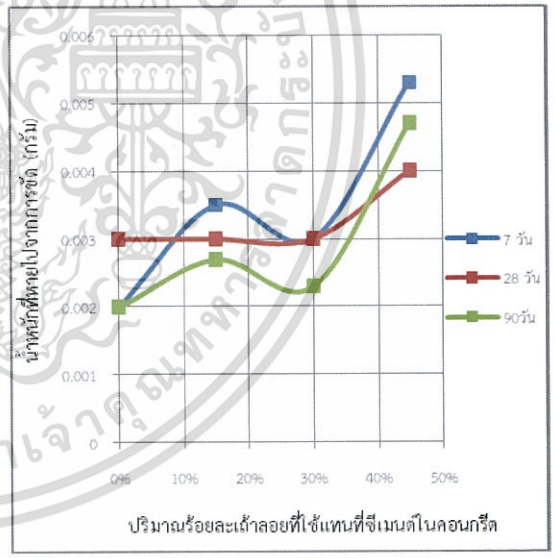
จากการทดสอบกำลังรับแ รงอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอย พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ การแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยจะส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดต่ำลงเมื่อทำการทดสอบที่ 28 วัน โดยพบว่าคอนกรีตที่ออกแบบให้มีกำลังรับแรงอัดที่ 180 Ksc.เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย 15% กำลังรับแรงอัดลดลง 46 Ksc.เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย 30% กำลังรับแรงอัดลดลง 124 Ksc. เมื่อเพิ่มปริมาณ การแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย 45% กำลังรับแรงอัดลดลง 157 Ksc.ที่กำลังรับแรงอัดที่ 240 Ksc.เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย 15% กำลังรับแรงอัดลดลง 42 Ksc.เมื่อเพิ่มปริมาณ การแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย 30% กำลังรับแรงอัดลดลง 17 Ksc. เมื่อเพิ่มปริมาณ การแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย 45% กำลังรับแรงอัดลดลง 99 Ksc. ที่กำลังรับแรงอัดที่ 350 Ksc.เมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย 15% กำลังรับแรงอัดลดลง 25 Ksc.เมื่อเพิ่มปริมาณ การแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย 30% กำลังรับแรงอัดลดลง 43 Ksc. เมื่อเพิ่มปริมาณ การแทนที่ซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย 45% กำลังรับแรงอัดลดลง 79 Ksc.

2). ทดสอบการสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีต (Abrasion) ตามมาตรฐาน ASTM C944

ทำการหล่อคอนกรีตลู กบาศก์ ขนาด 15x15x15 เซนติเมตร โดยออกแบบกำลังรับแรงอัดที่ 180 240 และ 350 Ksc. ที่ 28 วัน ตามมารฐาน ACI 211.1-77 กำหนดปริมาณเถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์ในคอนกรีตร้อยละ 0, 15, 30 และ 45 ทำการทดสอบที่ 7 ,28และ 90 วัน ทั้งหมด 3 ชุดการทดสอบ โดยนำปริมาณน้ำหนักที่หายไป จากการทดสอบมาเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ ดังกราฟ

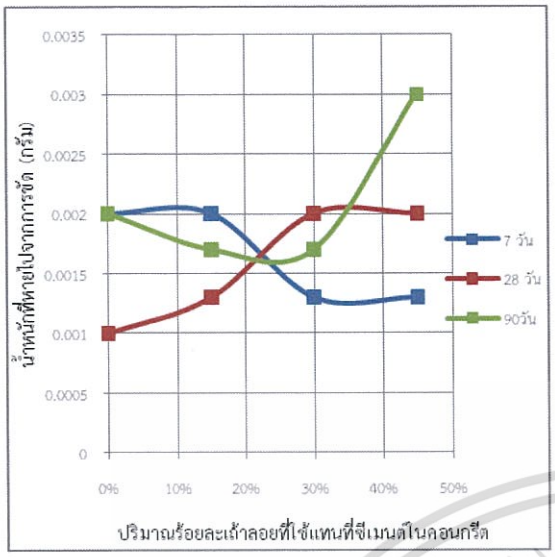


กราฟที่ 6 ความสัมพันธระหว่าง ปริมาณน้ำหนัก ของคอนกรีตที่ลดลงเนื่อง จากการทดสอบ สึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีต และปริมาณเถ้าลอยที่ใช้แทนที่ซีเมนต์ ที่กำลังรับแรงอัดที่ออกแบบที่ 180 Ksc.



กราฟที่ 7 ความสัมพันธระหว่าง ปริมาณน้ำหนักของคอนกรีตที่ลดลงเนื่อง จากการทดสอบ สึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีต และปริมาณเถ้าลอยที่ใช้แทนที่ซีเมนต์ ที่กำลังรับแรงอัดที่ออกแบบที่ 240 Ksc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 8 ความสัมพันธระหว่าง ปริมาณน้ำหนัก ของคอนกรีตที่ลดลงเนื่อง จากการทดสอบ สึกกร่อนที่ผิว หน้าของคอนกรีต และปริมาณเถ้าลอยที่ใช้แทนที่ซีเมนต์ ที่กำลังรับแรงอัดที่ออกแบบที่ 350 Ksc.

จากความสัมพันธระหว่าง ปริมาณน้ำหนักของคอนกรีตที่ลดลงเนื่องจากการทดสอบสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีต และปริมาณเถ้าลอยที่ใช้แทนที่ซีเมนต์ ที่กำลังรับแรงอัดที่ออกแบบที่ 180 และ 240 Ksc. พบว่าในการทดสอบทั้ง 7, 28 และ 90 วัน ปริมาณน้ำหนักของคอนกรีตที่ ลดลงเนื่อง จากการทดสอบสึกกร่อนที่ผิวหน้า มีแนวโน้มลดลงเป็นจำนวนมากเมื่อเพิ่มปริมาณของเถ้าลอย แต่กำลังรับแรงอัดที่ออกแบบที่ 350 Ksc.ปริมาณน้ำหนักของคอนกรีตที่ ลดลงเนื่อง จากการทดสอบ สึกกร่อนที่ผิวหน้า มีแนวโน้ม ลดลงน้อยมากไม่พบความแตกต่างเมื่อเพิ่มปริมาณของเถ้าลอย

3. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลองที่ได้จากการศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ สามารถสรุปรวบรวมไว้เป็นลำดับดังต่อไปนี้

1. การใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่มากขึ้น จะส่งผลให้อัตราการกระจายตัวของเถ้าลอยที่ผิวของมอร์ต้าสูงขึ้นซีเมนต์เพสและคอนกรีตเนื่องจากน้ำหนักของตัวเถ้า ลอยเบากว่าซีเมนต์ และเมื่อเกิดการเยิ้มน้ำ (Bleeding) ก็จะทำให้เถ้า ลอยนั้นลอยขึ้นมาที่ผิวหน้าของคอนกรีต

2.การใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่มากขึ้น จะส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 28 วัน ลดลงเนื่องจากปฏิกริยาปอสโซลานจะเกิดขึ้นช้ากว่าปกิกริยาไฮเดชั่น

3.การใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่มากขึ้น จะส่งผลให้ การสึกกร่อนที่ผิวหน้าของคอนกรีต (Abrasion) เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากอัตราการกระจายตัวของเถ้าลอยที่ผิวมากขึ้นส่งผลให้ปริมาณซีเมนต์ที่ผิวของคอนกรีตลดลงจึงส่งผลให้การพัฒนากำลังที่ผิวของคอนกรีตต่ำลงไปด้วยเช่นกัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัย นี้ สำเร็จลุล่วงด้วยความกรุณาของอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.คมสัน มาลีสี ที่ให้คำปรึกษาและชี้แนะในการศึกษาค้นคว้า แนะนำขั้นตอนและวิธีจัดทำบทความจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี บริษัทผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้าง จำกัด (C-PAC) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย กระผมจึงกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้และขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้กำลังใจในการศึกษา จนกระทั่งประสบความสำเร็จด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] RE.Davis, RW.Carlson, JW.Kelly, HE Davis, 1937, *Properties of cements and concrete containing fly ash*, Journal of American Concrete Institute, Vol.33, p.577-612.

[2] รศ.ดร.ปริญญา จินดาประเสริฐ , รศ.ดร. ชัย จาตุรพิทักษ์กุล , *ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และ คอนกรีต*, สมาคมคอนกรีต (ส.ค.ท.), พ.ศ.2547

[3] ดร .วรางคณา แสงสร้อย , ศ.ดร . สมนึก ตั้งเติมสิริกุล , *การวิเคราะห์หาสัดส่วนผสมของเถ้าลอยคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว* , สมาคมคอนกรีต (ส.ค.ท.), วารสารคอนกรีต, ฉบับที่ 7 ประจำเดือนสิงหาคม 2009

[4] ศ.ดร.ปริญญา จินดาประเสริฐ , *เถ้าลอยในงานคอนกรีต*, ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน, พ.ศ.2553

[5] ผศ.ดร.ปิติ สุคนธสุขกุล, คอนกรีตขั้นพื้นฐาน, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[6] รศ.ดร.ปริญญา จินดาประเสริฐ , รศ.ดร. ชัย จาตุรพิทักษ์กุล , *cements pozzolan and concrete, Cement and Applications*, บริษัทปูนซีเมนต์อุตสาหกรรม จำกัด, พ.ศ.2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายขจรศักดิ์ ไชยวงษ์
วัน เดือน ปีเกิด	2 มีนาคม 2530 ที่จังหวัดนครพนม
ที่อยู่	29หมู่ 3 ถนนชยางกูร ต.ธาตุพนม อ.ธาตุพนม จังหวัดนครพนม 48110
	โทร. 086-3600760
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ.2549-2552	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2546-2548	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนขอนแก่นวิทยายน จังหวัดขอนแก่น
พ.ศ.2543-2545	มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนธาตุพนม อำเภอธาตุพนม จังหวัดนครพนม
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ.2559-ปัจจุบัน	วิศวกรโยธาปฏิบัติการ ส่วนคมนาคมขนส่งและสาธารณูปโภคที่ 2 สำนักวิศวกรรมการผังเมือง กรมโยธาธิการและผังเมือง
พ.ศ.2555- พ.ศ.2557	พนักงานวิศวกรโยธา สำนักวิศวกรรมโครงสร้างและงานระบบ กรมโยธาธิการและผังเมือง
พ.ศ.2554- พ.ศ.2555	ตำแหน่งวิศวกรสนาม บริษัท คริสเตียนีและนีลเส็น (ไทย) จำกัด (มหาชน)
พ.ศ.2553- พ.ศ.2553	ตำแหน่งวิศวกรสนาม บริษัท เพ็นทาก้อนวิศวกรรม จำกัด
ผลงานทางวิชาการ	
พ.ศ.2558	“ผลกระทบของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยที่มีผลต่อผิวหน้าของคอนกรีต” การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้