กำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วันของก้อนตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิการ่วมกับมวลรวมหยาบประดิษฐ์ (ที่ขึ้นรูปจาก เถ้าก้นเตา เถ้าลอยและตะกอนน้ำประปา) เป็นส่วนผสม

28 Days Compressive Strength of Concreted Mixed from Silica Cement with Synthetic Coarse Aggregate (made from Bottom Ash, Fly Ash and Water Supply Sludge)

นายดนุพล ขุนคำ

นายวันชัย น่วมทอง

นายวิทวัส พุ่มอิ่ม

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 14 ก.ค. 2553
เลขทะเบียน ว 5070399 e.2
เลขเรียกหนังสือ ค1230
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๒๕๕๒

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการการศึกษา 2552

ใบรับรองโครงงาน

หัวข้อโครงงานวิศวกรรมโยธา : กำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วันของก้อนตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิการ่วมกับมวลรวมหยาบประดิษฐ์ (ที่ขึ้นรูปจากเถ้าก้นเตาเถ้าลอยและตะกอนน้ำประปา) เป็นส่วนผสม

28 Days Compressive Strength of Concreted Mixed from Silica Cement with Synthetic Coarse Aggregate (made from Bottom Ash, Fly Ash and Water Supply Sludge)

ผู้ดำเนินงานวิศวกรรมโยธา : นายคนุพล ขุนคำ รหัสนิสิต 49360563

นายวันชัย น่วมทอง รหัสนิสิต 49361829

นายวิทวัส พุ่มอิ่ม รหัสนิสิต 49361867

ที่ปรึกษาโครงงานวิศวกรรมโยธา : ผศ.ดร.สสิกรณ์ เหลืองวิชชเจริญ

ผศ.ดร.สรัณกร เหมะวิบูลย์

สาขาวิชา : วิศวกรรมโยธา

ภาควิชา : วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา : 2552

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา

คณะกรรมการสอบโครงงานวิศวกรรมโยธา

.....ประธานกรรมการ

(ผศ.ดร.สสิกรณ์ เหลืองวิชชเจริญ)

.....กรรมการ

(ผศ.ดร.สรัณกร เหมะวิบูลย์)

.....กรรมการ

(อ.วรางค์ลักษณ์ ซ่อนกลิ่น)

หัวข้อโครงงานวิศวกรรมโยธา : กำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วันของก้อนตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิการ่วมกับมวลรวมหยาบประดิษฐ์(ที่ขึ้นรูปจากเถ้าก้นเตา เถ้าลอยและตะกอนน้ำประปา) เป็นส่วนผสม

28 Days Compressive Strength of Concreted Mixed from Silica Cement with Synthetic Coarse Aggregate (made fromBottom Ash, Fly Ash and Water Supply Sludge)

ผู้ดำเนินงานวิศวกรรมโยธา : นายคนุพล ขุนคำ รหัสนิสิต 49360563
นายวันชัย น่วมทอง รหัสนิสิต 49361829
นายวิทวัส พุ่มอิ่ม รหัสนิสิต 49361867

ที่ปรึกษาโครงงานวิศวกรรมโยธา : ผศ.ดร.สสิกรณ์ เหลืองวิชชเจริญ
ผศ.ดร.สรัณกร เหมะวิบูลย์

สาขาวิชา : วิศวกรรมโยธา

ภาควิชา : วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา : 2552

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างคอนกรีต ที่ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิกา(แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์) ร่วมกับ มวลรวมหยาบประดิษฐ์ที่ขึ้นรูปจาก เถ้าก้นเตา เถ้าลอยและตะกอนน้ำประปา (แทนที่หิน) เป็นส่วนผสม โดยเถ้าก้นเตาและเถ้าลอยได้มาจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง และตะกอนน้ำประปาได้มาจากโรงผลิตน้ำประปา มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก มวลรวมหยาบประดิษฐ์ถูกขึ้นรูป ด้วยเครื่องขึ้นรูปชนิดจานหมุน โดยมีการปรับสัดส่วนระหว่าง เถ้าก้นเตา:เถ้าลอย:ตะกอนน้ำประปา หลายสัดส่วน ได้แก่ 33:33:33, 25:50:25, 50:25:25, 30:20:50, 20:30:50, 10:10:80, 5:5:90, 8:2:90, 20:10:70 ซึ่งกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่อายุ 28 วันมีค่าเป็น 50.97 ksc, 30.58 ksc, 40.77 ksc, 81.85 ksc, 61.16 ksc, 112.13 ksc, 122.32 ksc, 112.13 ksc และ 132.52 ksc ตามลำดับ และยังพบว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบประดิษฐ์มีน้ำหนักเบากว่าที่ใช้หิน โดยเฉลี่ยประมาณ 11%

Project Title	:	28 Days Compressive Strength of Concreted Mixed from Silica Cement with Synthetic Coarse Aggregate (made from Bottom Ash, Fly Ash and Water Supply Sludge)

Name	:	Mr. Danuphon Khunkhom	Code 49360563
		Mr. Wanchai Nuamthong	Code 49361829
		Mr. Witthawat Pumim	Code 49361867
Project Adviser	:	Assit. Prof. Dr. Sasikorn Leungvichcharoen	
		Assit. Prof. Dr. Saranagon Hemavibool	
Major	:	Civil Engineering	
Department	:	Civil Engineering	
		Faculty of Engineering	
		Naresuan University	
Academic Year	:	2009	

Abstract

The aim of this research is to investigate 28 days compressive strength of concrete mixed from silica cement (instead of portland cement) with synthetic coarse aggregate (instead of rock) made from bottom ash, fly ash and water supply sludge. Bottom ash and fly ash used in this research are from Mae-Moh power plant, where water supply sludge is from Naresuan university water treatment plant. Using disc pelletizer, synthetic coarse aggregate are made with different portions of materials (i.e., bottom ash: water supply sludge: fly ash). The experiment results show that 28 days compressive strength of concrete which used normal aggregate (rocks) was 81.55 ksc. On the other hand, compressive strength of concrete made from coarse synthetic aggregate with different portions of materials (bottom ash: water supply sludge: fly ash) 33:33:33, 25:50:25, 50:25:25, 30:20:50, 20:30:50, 10:10:80, 5:5:90, 8:2:90, 20:10:70 was 50.97 ksc, 30.58 ksc, 40.77 ksc, 81.85 ksc, 61.16 ksc, 112.13 ksc, 122.32 ksc, 112.13 ksc and 132.52 ksc, respectively. This research also shows that concrete made from synthetic coarse aggregate was approximately 11% lighter in weight that concrete made from normal aggregate (rocks).

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้จัดทำขึ้นมาเพื่อความสมบูรณ์ของกระบวนวิชา 304499 (Civil Engineering Project) ตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยนเรศวร โครงงานนี้ได้ทดลองสำเร็จลุล่วงด้วยดีโดยได้รับความร่วมมือและคำแนะนำจากบุคคลหลายฝ่าย ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ อาจารย์สสิกรณ์ เหลืองวิชเจริญ และ อาจารย์สรัณกร เหมะวิบูลย์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ให้คำแนะนำหลักการ ข้อคิด และวิธีการทดลองต่างๆ ในการทดลอง รวมถึงช่วยตรวจสอบข้อผิดพลาดต่างๆอย่างใกล้ชิดตลอดระยะเวลาของโครงงานจนกระทั่งโครงงานนี้สำเร็จลุล่วง และ ศ.ดร.สมนึก ตั้งเติมศิริกุล อนุเคราะห์เครื่องสร้างกรีนเพลเล็ต (Disc Pelletizer)

ขอขอบพระคุณโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ที่ช่วยเหลือเอื้อเฟื้อ เถ้าลอย (Fly Ash) และ เถ้าก้นเตา (Bottom Ash)

ขอขอบพระคุณโรงประปามหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์สำหรับตะกอนน้ำประปา

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่อาคารปฏิบัติการทางวิศวกรรมโยธา ที่ช่วยอำนวยความสะดวกด้านอุปกรณ์และสถานที่

ขอขอบคุณเพื่อนเกียร์ 13 ที่ช่วยเหลือแรงกายและแรงใจในการทำโครงงานครั้งนี้

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบุพการีและคณาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวรทุกท่านที่ได้สั่งสอนและประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ผู้จัดทำซึ่งสามารถนำความรู้และความเข้าใจที่ได้รับมาแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำโครงงานนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

บทคัดย่อ....3
กิตติกรรมประกาศ....4
สารบัญ....6
สารบัญตาราง....7
สารบัญรูปภาพ....8
สารบัญกราฟ....9
บทที่ 1....10
บทนำ....10
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน....10
1.2 วัตถุประสงค์....11
1.3 ขอบข่ายของโครงงาน....11
1.4 แผนการดำเนินงาน....11
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ....13
1.6 งบประมาณที่ใช้....13
บทที่ 2....15
ทฤษฎี....15
2.1 ปูนซีเมนต์ซิลิกา....15
2.2 ตะกอนน้ำประปา....19
2.3. เถ้าก้นเตา (Bottom Ash)....22
2.4 เถ้าลอย (Fly Ash)....25
2.5 ปฏิกิริยาปอซโซลานิค....28
บทที่3....31
อุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงานและวิธีการทดลอง....31
3.1 วัตถุประสงค์การทดลอง....31
3.2 ขั้นตอนการขึ้นรูปมวลรวมประดิษฐ์และวิธีบ่มมวลรวมประดิษฐ์....31
3.3 ขั้นตอนการผสมคอนกรีต....37
3.4 การทดสอบความต้านทานแรงอัด....45
บทที่ 4....47
ผลการทดสอบ....47
4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่นำมาทำเป็นมวลรวมประดิษฐ์....47
4.2 วิเคราะห์กราฟ....50
บทที่ 5....51
สรุปผล....51
บรรณานุกรม....53
ภาคผนวก ก. ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดที่อายุ 7 วัน....55

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ค่าออกไซด์ต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....15
ตารางที่ 2.2 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....16
ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างการคำนวณหาสารประกอบหลัก.....17
ตารางที่ 2.4 เวลาที่ทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของสารประกอบหลัก สำเร็จ 80% 18
ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีในรูปออกไซด์ของตะกอนน้ำประปา 20
ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบทางเคมีในรูปออกไซด์ของเถ้าก้นเตา (Bottom Ash).....24
ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอย (Fly Ash).....26
ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของวัสดุที่จะนำไปขึ้นรูปมวลรวมประดิษฐ์.....32
ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์.....38
ตารางที่ 4.1 ปริมาณความชื้นของมวลรวมประดิษฐ์.....47
ตารางที่ 4.2 ปริมาณความหนาแน่นของมวลรวมประดิษฐ์.....47
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน.....48
ตารางที่ 4.4 แสดงน้ำหนักของก้อนคอนกรีตที่ใช้หินและมวลรวมประดิษฐ์ในอัตราส่วนต่างๆเป็นส่วนผสม 49
ตารางที่ ก-1 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่อายุ 7 วัน 54
ตารางที่ ก-2 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิกา ที่อายุ 7 วัน.....55

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตน้ำประปา....19
รูปที่ 2.2 อนุภาคของตะกอนน้ำประปา ที่ภาพกำลังขยาย 100X ,500X , 1000X , 3000X 21
รูปที่ 2.3 รูปแสดงกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า....23
รูปที่ 2.4 อนุภาคของเถ้าก้นเตา ที่ภาพกำลังขยาย 100X ,500X , 1000X , 3000X 25
รูปที่ 2.5 อนุภาคของเถ้าลอย ที่ภาพกำลังขยาย 100X ,500X , 1000X , 3000X 28
รูปที่ 3.1 เครื่องขึ้นรูปมวลรวมประดิษฐ์....31
รูปที่ 3.2 ส่วนผสมที่จะขึ้นรูปมวลรวมประดิษฐ์....33
รูปที่ 3.3 จานผสมมวลรวมประดิษฐ์เอียงประมาณ 30 องศา....33
รูปที่ 3.4 การสเปรย์น้ำใส่ในส่วนผสม....34
รูปที่ 3.5 จานผสมมวลรวมประดิษฐ์เอียงประมาณ 45 องศา....34
รูปที่ 3.6 ใช้เหล็กเส้นคอยแทงให้ส่วนผสมแยกจากกัน....35
รูปที่ 3.7 ใช้แผ่นฟิวเจอร์บอร์ดกันไม่ให้เม็ดมวลรวมประดิษฐ์กระเด็นออก....35
รูปที่ 3.8 มวลรวมประดิษฐ์มีความกลมและความแน่น....36
รูปที่ 3.9 การบ่มมวลรวมประดิษฐ์....36
รูปที่ 3.10 อุปกรณ์ในการผสมคอนกรีต....37
รูปที่ 3.11 หินและทรายที่ใช้ในการทดสอบ....39
รูปที่ 3.12 แสดงการแทนที่ของหิน....41
รูปที่ 3.13 แสดงการแทนที่มวลรวมประดิษฐ์....41
รูปที่ 3.14 แสดงการผสมปูนซีเมนต์กับทราย....42
รูปที่ 3.15 แสดงการเติมน้ำ....42
รูปที่ 3.16 แสดงการใส่มวลรวมหยาบ....43
รูปที่ 3.17 แสดงการนำคอนกรีตที่ผสมเสร็จแล้ว ไปใส่ในแบบหล่อขนาด 10*10*10 ซม. 43
รูปที่ 3.18 แสดงการใช้เกรียงปาดหน้าให้เรียบ....44
รูปที่ 3.19 แสดงคอนกรีตออกจากแบบ....44
รูปที่ 3.20 แสดงการบ่มคอนกรีตในน้ำ....45
รูปที่ 3.21 เครื่องมือทดสอบหากำลังอัดของคอนกรีต....45
รูปที่ 3.22 แสดงการชั่งน้ำหนักก้อนทดสอบ....46
รูปที่ 3.23 แสดงการวางก้อนทดสอบให้อยู่ได้ศูนย์กลางแป้นกด....46

สารบัญกราฟ

กราฟที่ 2.1 แสดงปริมาณเชิงคุณภาพขององค์ประกอบทางเคมีของตะกอนน้ำประปา.....20
กราฟที่ 2.2 แสดงปริมาณเชิงคุณภาพขององค์ประกอบทางเคมีของเถ้าก้นเตา.....24
กราฟที่ 2.3 แสดงปริมาณเชิงคุณภาพขององค์ประกอบทางเคมีของเถ้าก้นลอย.....26
กราฟที่ 3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดตะแกรงกับ % ค้างสะสม.....39
กราฟที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิกาที่อายุ 28 วัน.....49
กราฟที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักคอนกรีตที่ใช้หินและมวลรวมประดิษฐ์ในแต่ละส่วนผสม.....49
กราฟที่ ก-1 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่อายุ 7 วัน.....54
กราฟที่ ก-2 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิกาที่อายุ 7 วัน.....55

บทที่ 1

บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีว่าปัจจุบันมีการตื่นตัวในด้านสิ่งแวดล้อมมากขึ้น มีการรณรงค์ทั้งในภาครัฐและภาคเอกชนกับภาวะวิกฤตการณ์โลกร้อน จึงทำให้หลายฝ่ายหันมาให้ความสำคัญกับวัสดุที่เหลือใช้ในกระบวนการผลิตต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการผลิตกระแสไฟฟ้าจากถ่านหิน การผลิตน้ำประปา เป็นต้น

กระบวนการเหล่านี้ล้วนมีสิ่งที่เหลือจากการผลิตทั้งสิ้นทั้งยังก่อให้เกิดปัญหาด้านมลพิษ ปัญหาด้านการฝังกลบ ทำให้สูญเสียค่าใช้จ่ายจำนวนมาก เป็นผลให้เกิดการวิจัยสิ่งต่างๆเหล่านี้เพื่อนำไปใช้ประโยชน์อย่างเช่น เถ้าลอยมีการนำไปใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ มีคุณสมบัติเป็นปอซโซลานสามารถนำไปแทนที่ปูนซีเมนต์และปรับปรุงคุณภาพคอนกรีตให้ดีขึ้น ส่วนเถ้าก้นเตาและตะกอน-น้ำประปายังมิได้มีการศึกษาและนำไปใช้อย่างกว้างขวาง หากสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ก็จะเป็นการใช้ประโยชน์จากสิ่งที่ไม่มีประโยชน์อย่างคุ้มค่า

เถ้าก้นเตา ตะกอนน้ำประปาและเถ้าลอย ล้วนเป็นวัสดุเหลือใช้ทั้งสิ้น ซึ่งทางคณะผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้าศึกษาข้อมูลในประเทศไทยพบว่า เถ้าก้นเตาและตะกอนน้ำประปามีการนำมาใช้ประโยชน์น้อยมาก ด้วยเหตุนี้ทางคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเถ้าก้นเตาและตะกอนน้ำประปาพบว่า มีองค์ประกอบทางเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นปอซโซลาน อีกทั้งตะกอนน้ำประปามีลักษณะเป็นตัวเชื่อมประสานได้ดี ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงนำเถ้าก้นเตา ตะกอนน้ำประปาและเถ้าลอย มาทำเป็นมวลรวมประดิษฐ์ซึ่งใช้แทนที่หินในคอนกรีต โดยให้ความสำคัญไปที่ความแข็งแรงของมวลรวมประดิษฐ์ ในเบื้องต้นต้องมีกระบวนการที่ขึ้นรูปง่ายไม่ซับซ้อนและสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

จากการศึกษาในอดีตพบว่าสามารถนำ เถ้าก้นเตา (Bottom Ash) เถ้าลอย (Fly Ash) และตะกอนประปา (Water Supply Sludge) มาขึ้นรูปเป็นมวลรวมประดิษฐ์ได้ ซึ่ง เถ้าก้นเตา (Bottom Ash) เถ้าลอย (Fly Ash) เป็นวัสดุที่เหลือใช้จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ถ่านหิน และตะกอนน้ำประปา (Water Supply Sludge) ก็ถือว่าเป็นวัสดุเหลือใช้จากการผลิตน้ำประปา ซึ่งวัสดุเหล่านี้ล้วนเป็นวัสดุเหลือใช้ทั้งสิ้นโดย เถ้าก้นเตา (Bottom Ash) เถ้าลอย (Fly Ash) มีส่วนประกอบทางเคมีที่มีคุณสมบัติเป็นสารปอซโซลานที่สามารถทำปฏิกิริยาเกิดสารเชื่อมประสานให้มีความ

แข็งแรงมากขึ้น แต่เมื่อนำมาผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แล้วมีกำลังรับแรงอัดต่ำกว่าการใช้หินจริง การศึกษานี้จึงทดลองเพื่อหากำลังรับแรงอัดของมวลรวมประดิษฐ์ที่มีอัตราส่วนต่างๆไปผสมกับปูนซีเมนต์ซิลิกา เพื่อศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ซึ่งหากเป็นไปได้ก็จะเป็นการนำวัสดุเหลือใช้มาใช้ประโยชน์ช่วยลดปัญหาในการจัดเก็บและประหยัดค่าใช้จ่าย นอกจากนี้ยังช่วยพัฒนาให้เกิดอาชีพใหม่แก่คนในพื้นที่

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษากำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วันของก้อนตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิกาเป็นส่วนผสมร่วมกับมวลรวมหยาบประดิษฐ์ที่ขึ้นรูปจาก เถ้าก้นเตา, ตะกอนประปาและเถ้าลอย

1.3 ขอบข่ายของโครงงาน

1.3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย

1.3.1.1 ปูนซีเมนต์ซิลิกา

1.3.1.2 ทรายแม่น้ำ

1.3.1.3 เถ้าลอย (Fly Ash) จากการผลิตไฟฟ้า ของโรงไฟฟ้าถ่านหินแม่เมาะ

1.3.1.4 เถ้าก้นเตา (Bottom Ash) จากการผลิตไฟฟ้า ของโรงไฟฟ้าถ่านหินแม่เมาะ

1.3.1.5 ตะกอนน้ำประปาที่เหลือจากการผลิตน้ำประปาของมหาวิทยาลัยนเรศวร

1.3.1.6 มวลรวมหยาบ (หิน)

1.3.2 การศึกษาคุณสมบัติของเถ้าลอยและเถ้าก้นเตาได้แก่ ส่วนผสมทางเคมี คุณสมบัติทางกายภาพ คือ ความถ่วงจำเพาะ และขนาดคละการกระจายตัว

1.3.3 การศึกษาคุณสมบัติของตะกอนน้ำประปา ได้แก่ ส่วนผสมทางเคมี คุณสมบัติทางกายภาพ คือ ความถ่วงจำเพาะ และขนาดคละการกระจายตัว

1.3.4 การศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิกาที่มวลรวมหยาบถูกแทนที่ด้วยมวลรวมประดิษฐ์ในคอนกรีตที่มีอายุ 28 วัน สามารถแบ่งชุดการทดลองได้ดังนี้

1.3.4.1 การศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิการ่วมกับมวลรวมประดิษฐ์ที่มีอัตราส่วนผสม ระหว่าง เถ้าก้นเตา/ตะกอนน้ำประปา/เถ้าลอย **33/33/33** หล่อคอนกรีตในแบบลูกบาศก์ขนาด 10x10x10 Cm.

1.3.4.2 การศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิการ่วมกับมวลรวมประดิษฐ์ที่มีอัตราส่วนผสม ระหว่าง เถ้าก้นเตา/ตะกอนน้ำประปา/เถ้าลอย **25/50/25** หล่อคอนกรีตในแบบลูกบาศก์ขนาด 10x10x10 Cm.

1.3.4.2 การศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิการ่วมกับมวลรวมประดิษฐ์ที่มีอัตราส่วนผสม ระหว่าง เถ้าก้นเตา/ตะกอนน้ำประปา/เถ้าลอย **25/50/25** หล่อคอนกรีตในแบบลูกบาศก์ขนาด 10x10x10 Cm.

1.3.4.3 การศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิการ่วมกับมวลรวมประดิษฐ์ที่มีอัตราส่วนผสม ระหว่าง เถ้าก้นเตา/ตะกอนน้ำประปา/เถ้าลอย **50/25/25** หล่อคอนกรีตในแบบลูกบาศก์ขนาด 10x10x10 Cm.

1.3.4.4 การศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิการ่วมกับมวลรวมประดิษฐ์ที่มีอัตราส่วนผสม ระหว่าง เถ้าก้นเตา/ตะกอนน้ำประปา/เถ้าลอย **20/30/50** หล่อคอนกรีตในแบบลูกบาศก์ขนาด 10x10x10 Cm.

1.3.4.5 การศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิการ่วมกับมวลรวมประดิษฐ์ที่มีอัตราส่วนผสม ระหว่าง เถ้าก้นเตา/ตะกอนน้ำประปา/เถ้าลอย **30/20/50** หล่อคอนกรีตในแบบลูกบาศก์ขนาด 10x10x10 Cm.

1.3.4.6 การศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิการ่วมกับมวลรวมประดิษฐ์ที่มีอัตราส่วนผสม ระหว่าง เถ้าก้นเตา/ตะกอนน้ำประปา/เถ้าลอย **10/10/80** หล่อคอนกรีตในแบบลูกบาศก์ขนาด 10x10x10 Cm.

1.3.4.7 การศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิการ่วมกับมวลรวมประดิษฐ์ที่มีอัตราส่วนผสม ระหว่าง เถ้าก้นเตา/ตะกอนน้ำประปา/เถ้าลอย **5/5/90** หล่อคอนกรีตในแบบลูกบาศก์ขนาด 10x10x10 Cm.

1.3.4.8 การศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิการ่วมกับมวลรวมประดิษฐ์ที่มีอัตราส่วนผสม ระหว่าง เถ้าก้นเตา/ตะกอนน้ำประปา/เถ้าลอย **8/2/90** หล่อคอนกรีตในแบบลูกบาศก์ขนาด 10x10x10 Cm.

1.3.4.9 การศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิการ่วมกับมวลรวมประดิษฐ์ที่มีอัตราส่วนผสม ระหว่าง เถ้าก้นเตา/ตะกอนน้ำประปา/เถ้าลอย **20/10/70** หล่อคอนกรีตในแบบลูกบาศก์ขนาด 10x10x10 Cm.

1.3.4.10 การศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิการ่วมกับมวลรวมประดิษฐ์ที่มีอัตราส่วนผสม ระหว่าง เถ้าก้นเตา/ตะกอนน้ำประปา/เถ้าลอย **5/70/25** หล่อคอนกรีตในแบบลูกบาศก์ขนาด 10x10x10 Cm.

1.3.5 เปรียบเทียบกำลังอัดระหว่างคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิกาที่มีมวลรวมหยาบเป็นหินกับคอนกรีตที่มีมวลรวมหยาบ เป็นมวลรวมประดิษฐ์

1.4 แผนการดำเนินงาน

เดือน / กิจกรรม	ตุลาคม 1 2 3 4	พฤศจิกายน 1 2 3 4	ธันวาคม 1 2 3 4	มกราคม 1 2 3 4	กุมภาพันธ์ 1 2 3 4
1.กำหนดขั้นตอนการทำงาน					
2.เก็บข้อมูลและรวบรวมข้อมูล					
3.วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล					
4.ทำรายงานฉบับโครงร่าง					
5.ปรับปรุงและแก้ไขโครงงาน					
6.ส่งรายงานฉบับสมบูรณ์					

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

งานวิจัยนี้จะแสดงถึงการนำเถ้าก้นเตาที่ได้จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะมาใช้ร่วมกับตะกอนน้ำประปาเพื่อผลิตมวลรวมประดิษฐ์(แทนมวลรวมหยาบ)ในงานคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิกาและทดสอบกำลังอัดของมวลรวมประดิษฐ์ที่อายุ 28 วัน ประโยชน์ที่ได้น่าจะเป็นการลดปริมาณการทำลายทรัพยากรธรรมชาติและลดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งน่าจะเกิดประโยชน์โดยตรงต่อโรงไฟฟ้าแม่เมาะและประชาชนในบริเวณใกล้เคียง

1.6 งบประมาณที่ใช้

ค่าจ้างถ่ายเอกสารและเข้าเล่ม	500	บาท
ค่าทดสอบวัสดุ	1500	บาท
ค่าวัสดุในการประดิษฐ์มวลรวมประดิษฐ์	500	บาท
ค่าขนส่งและเดินทาง	500	บาท
รวมค่าใช้จ่าย	3000	บาท

(สามพันบาทถ้วน)

หมายเหตุ : ขออนุมัติถัวเฉลี่ยทุกรายการ

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1ปูนซีเมนต์ซิลิกา

เนื่องจากปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นปูนซีเมนต์ซิลิกาซึ่งเป็นเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่นำมาผสมกับทรายเพื่อให้ราคาถูกลง โดยบดปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดเม็ด 70% ผสมทราย 30% และผสมยิปซัมลงไปด้วยเล็กน้อย โดยมาตราฐานของปูนซีเมนต์ซิลิกาส่วนมากกำหนดส่วนต่ำสุดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ซึ่งใช้ผสมไว้ 50% โดยต่อไปจะกล่าวถึง องค์ประกอบและคุณสมบัติต่างๆ ทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และปฏิกิริยาไฮเดรชั่น

2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะประกอบด้วยออกไซด์ 2 กลุ่มใหญ่ได้แก่

1. ออกไซด์หลัก ได้แก่ CaO,SiO_2,Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ซึ่งรวมกันประมาณ 90% ของน้ำหนักซีเมนต์
2. ออกไซด์รอง ได้แก่ MgO,Na_2O,TiO_2,P_2O_5 และยิปซั่ม ปริมาณออกไซด์ต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าออกไซด์ต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ออกไซด์	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ออกไซด์หลัก	
CaO	60-70
SiO_2	17-25
Al_2O_3	3-8
Fe_2O_3	0.5-6.0
ออกไซด์รอง	
MgO	0.1-5.5
$Na_2O + K_2O$	0.5-1.3
TiO_2	0.1-0.4
P_2O_5	0.1-0.2
SO_3	1-3

ออกไซด์หลักจะรวมตัวในระหว่างการเกิดปูนเม็ด (Clinker) เกิดเป็นสารประกอบ 4 อย่าง ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ชื่อสารประกอบ	ส่วนประกอบทางเคมี	ชื่อย่อ
ไตรคัลเซียม ซิลิเกต	$3\ CaO.SiO_2$	C_3S
ไดคัลเซียม ซิลิเกต	$2\ CaO.SiO_2$	C_2S
ไตรคัลเซียม อลูมิเนต	$3\ CaO.Al_2O_3$	C_3A
เตตราคัลเซียม อลูมิโนเฟอร์ไรท์	$4\ CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF

เราสามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของสารประกอบหลักทั้ง 4 ในปูนซีเมนต์ได้โดยประมาณจากผลวิเคราะห์ปริมาณออกไซด์ชนิดต่างๆ และอัตราส่วนการรวมตัวทางเคมีของสารประกอบนั้นๆ โดยใช้สูตรการคำนวณของ Bogue

ปริมาณ C_3S $= 4.07(CaO) - 7.60(SiO_2) - 6.72(Al_2O_3) - 1.43(Fe_2O_3) - 2.85(SO_3)$

ปริมาณ C_2S $= 2.87(SiO_2) - 0.754(C_3S)$

ปริมาณ C_3A $= 2.65(Al_2O_3) - 1.69(Fe_2O_3)$

ปริมาณ C_4AF $= 3.04(Fe_2O_3)$

ตัวเลขในวงเล็บคือ เปอร์เซ็นต์ของออกไซด์ในเนื้อของซีเมนต์ทั้งหมด และปริมาณ CaO ในสูตรที่ใช้คำนวณหาปริมาณต้องเป็น CaO ที่ทำปฏิกิริยาเท่านั้น ไม่รวม Free Lime

ตัวอย่างการคำนวณหาสารประกอบหลักตามสูตรของ Bogue อยู่ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างการคำนวณหาสารประกอบหลัก

ออกไซด์ต่างๆ (%) ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์		สารประกอบหลักคำนวณจากสมการของ Bogue
CaO	64.73	C_3S = 4.07(64.73- 1.60) – 7.60(21.20) –
SiO_2	21.20	6.72(5.22) – 1.43(3.08) – 2.85(2.01)
Al_2O_3	5.22	= 50.6%
Fe_2O_3	3.08	
		C_2S = 2.87(21.20) – 0.754(50.6)
MgO	1.04	= 22.7%
SO_3	2.01	
Na_2O	0.19	C_3A = 2.65(5.22) – 1.69(3.08)
		= 8.6%
K_2O	0.42	
Loss of Ignition	1.45	C_4AF = 3.04(3.08)
Insoluble Residue	0.66	= 9.4%
Free Lime	1.60	

คุณสมบัติสำคัญของสารประกอบหลัก

- C_3S มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเร็วภายในไม่กี่ชั่วโมง และมีการพัฒนากำลังอัดเพิ่มขึ้นอย่างมาก ในช่วงสัปดาห์แรก การเกิดปฏิกิริยากับน้ำจะก่อให้เกิดความร้อนปานกลาง (500 J/g)

- C_2S เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นมีอัตราการเกิดช้าเป็นวัน ความร้อนที่ปล่อยออกมาน้อย (250J/g) มีการพัฒนากำลังอัดอย่างช้าๆ แต่ในระยะยาวจะได้กำลังอัดใกล้เคียงกับ C_3S

- C_3A จะทำปฏิกิริยากับน้ำทันที ก่อให้เกิด Flash set และความร้อนจำนวนมาก (850 J/g) การป้องกัน Flash set ทำได้โดยการเติมยิปซั่มในระหว่างการบดซีเมนต์ กำลังอัดของ C_3A จะพัฒนาภายใน 1-2 วัน แต่กำลังอัดค่อนข้างต่ำ

- C_4AF ทำปฏิกิริยากับน้ำได้รวดเร็วมาก ก่อตัวภายในไม่กี่นาที ความร้อนที่เกิดปานกลาง (420 J/g) กำลังอัดของ C_4AF ค่อนข้างต่ำ

2.1.2 ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น

การก่อตัวและแข็งตัวของซีเมนต์ เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นขององค์ประกอบของซีเมนต์ดังนี้

- ดัลเซียมซิลิเกต (C_3S, C_2S)

$$2C_3S + 6H_2O \longrightarrow C_3S_2H_3 + 3Ca(OH)_2$$

$$2C_2S + 4H_2O \longrightarrow C_3S_2H_3 + Ca(OH)_2$$

ดัลเซียมซิลิเกต จะทำปฏิกิริยากับน้ำ ก่อให้เกิด $Ca(OH_2)$ และ Calcium Silicate Hydrate (CSH) ซึ่งสิ่งที่เราต้องการคือ CSH เพราะมีลักษณะเหมือนกาว ทำหน้าที่เชื่อมประสาน ส่วน $Ca(OH_2)$ มีคุณสมบัติเป็นด่างอย่างมาก ซึ่งช่วยป้องกันการเกิดสนิมของเหล็กเสริม

- ไตรดัลเซียมอลูมิเนต (C_3A)

$$C_3A + 6H_2O \longrightarrow 3C_3AH_6$$

ในปฏิกิริยานี้จะก่อให้เกิด Flash set ทำให้เกิดการแตกร้าวของคอนกรีต เพื่อหน่วงไม่ให้เกิดปฏิกิริยานี้อย่างรวดเร็วจึงใส่ยิปซั่ม ($CaSO_4.2H_2O$) เข้าไปในระหว่างกระบวนการบดซีเมนต์ ยิปซั่มจะทำปฏิกิริยากับ C_3A ก่อให้เกิดชั้นของ Ettringite บนผิวของอนุภาค C_3A ดังสมการ

$$C_3A + CaSO_4\ 2H_2O \longrightarrow 3CaO\ Al_2O_3\ 3CaSO_4\ 31H_2O\ (Ettringite)$$

- เตตราดัลเซียม อลูมิโนเฟอร์ไรท์ (C_4AF)

$$4CaO\ Al_2O_3\ Fe_2O_3 + CaSO_4\ 2H_2O + Ca(OH)_2 \longrightarrow 3CaO(Al_2O_3\ Fe_2O_3)\ 3CaSO_4$$

เวลาที่ใช้เพื่อให้บรรลุ 80% ของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของสารประกอบหลักทั้ง 4 ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 เวลาที่ทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของสารประกอบหลัก สำเร็จ 80%

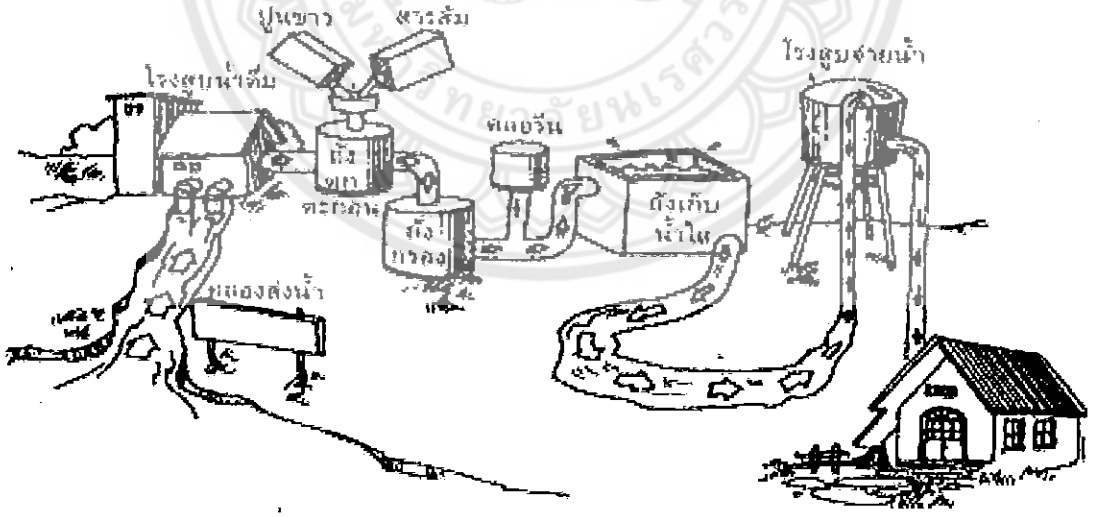
สารประกอบหลัก	เวลา (วัน)
C_3S	10
C_2S	100
C_3A	6
C_4AF	50

2.2 ตะกอนน้ำประปา

ตะกอนน้ำประปา คือ ตะกอนที่เหลือจากการผลิตน้ำประปาเกิดขึ้นจากกระบวนการกำจัดตะกอนความขุ่น

2.2.1 กระบวนการผลิตน้ำประปา

การผลิตน้ำประปา น้ำดิบที่ได้จากการสูบขึ้นมาจากแหล่งน้ำดิบจะถูกส่งไปยังถังกวนเร็ว (โรงผลิตน้ำประปามหาวิทยาลัยนเรศวรใช้ Static Mixer) ในขั้นตอนนี้ก่อนที่น้ำดิบจะเข้าสู่ถังกวนเร็ว จะถูกเติมสารเคมีเพื่อทำหน้าที่จับตัวกับตะกอนแขวนลอยในน้ำและทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ สารเคมีที่เติมในโรงผลิตน้ำประปามหาวิทยาลัยนเรศวรคือ สารส้ม [$Al_2(SO_4)_3 14H_2O$], PE Polymer , โซดาแอช จากนั้นน้ำดิบจะถูกส่งไปยังถัง Solid Contact ซึ่งรวมถังกวนช้าและถังตกตะกอนไว้ด้วยกัน ในถัง Solid Contact นี้ จะเกิดกระบวนการกวนช้าซึ่งทำให้เกิดฟลอค (floc) จับตัวเป็นก้อนใหญ่ขึ้นแล้วก็จะเกิดการตกตะกอนจมลงสู่ก้นถัง ในถังนี้เองตะกอนประปาจะมีมากที่สุด เมื่อถึงเวลาตะกอนน้ำประปาจะถูกขับทิ้งไปยังบ่อพักตะกอน



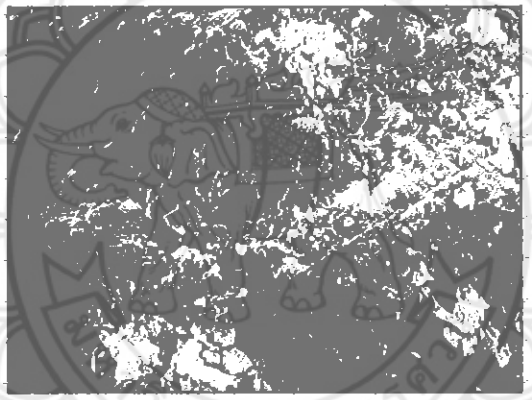
รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตน้ำประปา

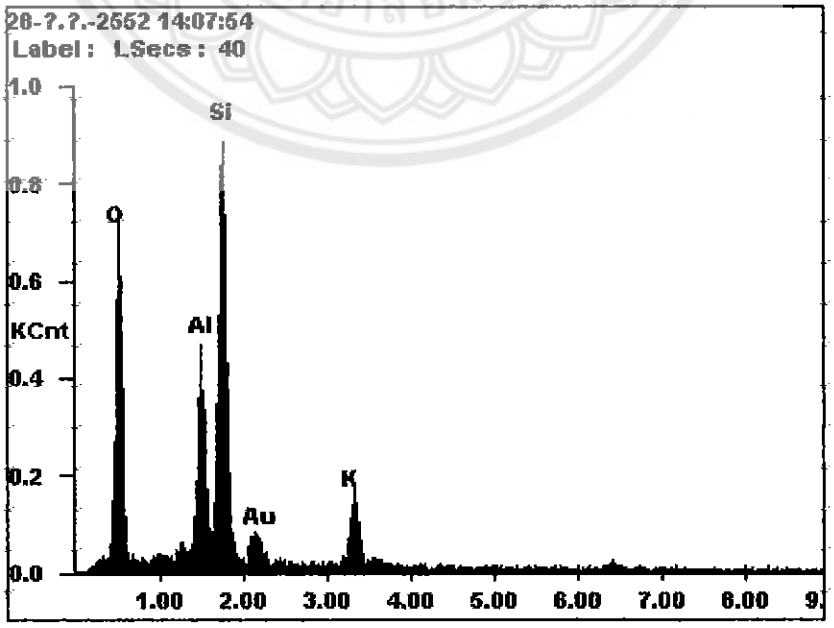
2.2.2 องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของตะกอนน้ำประปาจะประกอบไปด้วยออกไซด์ของซิลิกาและอลูมินาเป็นส่วนใหญ่ ถูกแสดงในรูปออกไซด์ดังในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีในรูปออกไซด์ของตะกอนน้ำประปา

Element	*Wt%*	*At%*
O	50.14	67.91
Al	10.75	08.63
Si	24.78	19.12
Au	08.10	00.89
K	06.23	03.45

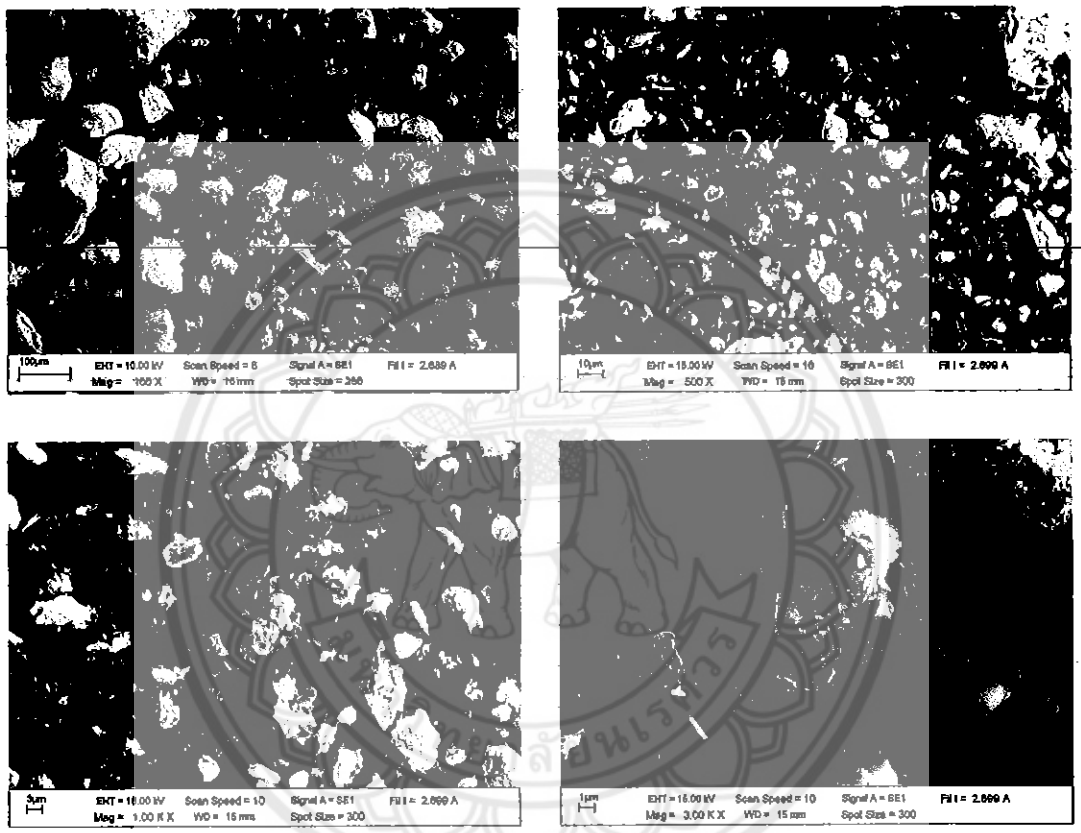




กราฟที่ 2.1 แสดงปริมาณเชิงคุณภาพขององค์ประกอบทางเคมีของตะกอนน้ำประปา

2.2.3 ลักษณะทางกายภาพ

ลักษณะทางกายภาพทั่วไปของตะกอนน้ำประปาที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 100 เมื่อดูภาพที่กำลังขยาย 100 เท่าจะมีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุม มีขนาดคละกระจายตัว ส่วนภาพที่กำลังขยาย 500 เท่า, 1,000 เท่าและ 3,000 เท่า จะเห็นลักษณะของอนุภาคตะกอนน้ำประปาเป็นเหลี่ยมมุมอย่างชัดเจน ส่วนผิวของอนุภาคมีลักษณะเป็นพุย มีแผ่นเล็กๆจำนวนหลายแผ่นมารวมตัวกันทำให้เกิดเป็นก้อนอนุภาคดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 อนุภาคของตะกอนน้ำประปาที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 100 ที่ภาพกำลังขยาย 100X, 500X, 1000X, 3000X เรียงจากซ้ายไปขวา บนลงล่างตามลำดับ

สำหรับการผลิตน้ำประปาของโรงผลิตน้ำประปามหาวิทยาลัยนเรศวร ผลิตน้ำประปาประมาณ 3000 ลูกบาศก์เมตร/วัน มีการใช้สารส้มประมาณ 150 กิโลกรัม/วัน ดังนั้นจะเกิดตะกอนประปาขึ้นดังสมการ

$$Al_2(SO_4)_3\ 14.3H_2O + 3Ca(HCO_3)_2 \longrightarrow 2Al(OH)_3 + 3CaSO_4 + 6CO_2 + 14.3H_2O$$

ในสมการนี้ตะกอนประปาก็คือ $2Al(OH)_3$ หาปริมาณได้จาก

ใช้ $Al_2(SO_4)_3\ 14.3H_2O$ 1 กิโลกรัม เกิด $2Al(OH)_3$ = 0.260 กิโลกรัม

ใช้ $Al_2(SO_4)_3\ 14.3H_2O$ 150 กิโลกรัม เกิด $2Al(OH)_3$ = 0.26*150/1 = 39 กิโลกรัม/วัน

ดังนั้นในหนึ่งปีจะมีจำนวนตะกอนน้ำประปาประมาณ 14,040 กิโลกรัม ซึ่งเป็นปริมาณที่มากและไม่มีประโยชน์อะไรอีกทั้งต้องหาที่กลบทิ้ง

2.3. เถ้าก้นเตา (Bottom Ash)

2.3.1กระบวนการผลิตของเถ้าก้นเตา

โรงไฟฟ้าแม่เมาะเป็นโรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่ใช้ถ่านลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิง ด้วยการแปรสภาพพลังงานสะสมของถ่านลิกไนต์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง กระบวนการแปรสภาพพลังงานดังกล่าว มีขั้นตอนดังนี้ เปลี่ยนพลังงานสะสมในถ่านลิกไนต์ให้เป็นพลังงานความร้อน โดยการเผาไหม้หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการสันดาป (Combustion or Oxidation) พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ถูกส่งผ่านไปให้กับน้ำทำให้น้ำกลายเป็นไอน้ำ อุณหภูมิและความดันสูงเปลี่ยนพลังงานความร้อนของไอน้ำให้เป็นพลังงานกล โดยใช้ไอน้ำไปหมุนกังหันไอน้ำเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยให้กังหันไอน้ำไปหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นการสิ้นสุดขั้นตอนการแปรสภาพพลังงาน

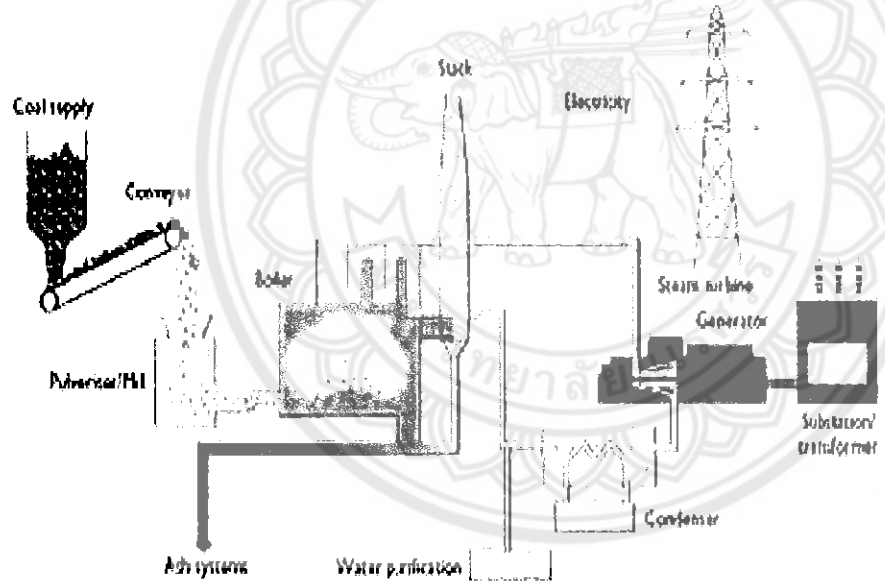
ถ่านลิกไนต์ที่ขุดจากเหมืองแม่เมาะ ถูกส่งเข้ามาบดในเครื่องย่อยถ่านชุดแรกและผ่านออกมาในขนาดไม่โตกว่า 30 ลบ.ซม. จากนั้นจะใช้สายพานลำเลียงมากองไว้ยังบานกองย่อย ถ่านจากลานกองจะถูกส่งขึ้นมายังโรงย่อยถ่าน โดยมีระบบแม่เหล็กไฟฟ้าและระบบตรวจสอบโลหะเพื่อแยกโลหะไม่พึงประสงค์ออก ก่อนจะผ่านไปยังเครื่องย่อยถ่านชุดที่สอง ซึ่งจะย่อยถ่านให้มีขนาดไม่โตกว่า 3 ลบ.ซม. และส่งไปเก็บไว้ในยุ้งถ่าน (Coal Bunker) ในตัวโรงไฟฟ้าเพื่อเตรียมใช้งานต่อไป ถ่านลิกไนต์ติดไฟค่อนข้างยาก ในช่วงแรกของการจุดเตาจึงต้องใช้ Light Oil จุดนำก่อน โดยใช้หัวฉีดน้ำมัน ฉีด Light Oil ให้กระจายเป็นฝอยเข้าไปในตัวเตาใช้ระบบจุดระเบิดโดยการ Spark ของไฟฟ้าแรงสูง ทำให้ Light Oil ลุกไหม้ภายในเตา เมื่อการเผาไหม้ Light Oil อยู่ในสภาวะคงที่ (Stable) และอุณหภูมิภายในเตาสูงพอ จึงจะเริ่มเผาถ่านลิกไนต์ ถ่านลิกไนต์จากยุ้งเก็บถ่านถูกป้อนเข้าโม่บดยังเครื่องป้อนถ่าน (Coal Feeder) ซึ่งเป็นตัวควบคุมปริมาณถ่านที่จะเผา ในโม่บดถ่านจะมีลมร้อนจากเครื่องอุ่นอากาศเป่าเข้าไปในโม่ ถ่านจะถูกบดโดยมีลมร้อนเป็นตัวกวนให้การบดมีประสิทธิภาพดีและไล่ความชื้นออกจากถ่าน ถ่านที่บดแล้วจะมีขนาดประมาณ 75/1,000 มิลลิเมตร และอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส ถูกลมร้อนพาขึ้นไปตามท่อส่งถ่านไปยังหัวฉีดถ่าน (Coal Burner) หัวฉีดถ่านจะทำหน้าที่ควบคุมให้ถ่านกระจายเข้าไปในเตาอย่างมีระเบียบ เมื่อผงถ่านปะทะ

กับ Light Oil ที่กำลังลุกไหม้และมีอุณหภูมิสูง ผงถ่านจะติดไฟและเกิดการเผาไหม้ขึ้น ในช่วงนี้ก็จะหยุดใช้ Light Oil และใช้ถ่านเพียงอย่างเดียวได้ การเผาถ่านจะทำให้เกิดขี้เถ้า ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

ขี้เถ้าหนัก (Bottom Ash) จะตกลงสู่ก้นเตาและถูกลำเลียงออกจากเตาโดยระบบสายพานเหล็ก (Scrapper Conveyor)

ขี้เถ้าเบา (Fly Ash or Dry Ash) จะปนไปกับก๊าซร้อน ปริมาณขี้เถ้าเบาที่เกิดขึ้นมีปริมาณร้อยละ 80-95 ของขี้เถ้าที่เกิดขึ้นทั้งหมด จึงต้องมีการติดตั้งเครื่องดักจับฝุ่นไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator) เพื่อแยกฝุ่นออกจากก๊าซร้อน ก่อนจะปล่อยก๊าซออกทางปล่องควัน

วัตถุดิบที่นำมาผลิตกระแสไฟฟ้า คือ ถ่านลิกไนต์ (lignite) เป็นถ่านหินที่ยังพอมีซากพืชเหลือปรากฏให้เห็นอยู่เล็กน้อยมีสีน้ำตาลเข้มจน ถึงดำมีปริมาณคาร์บอนค่อนข้างน้อยและมีปริมาณความชื้นสูงถึงร้อยละ 30-70 ส่วนใหญ่ถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงและถือว่าเป็นถ่านหินที่มีคุณภาพต่ำ



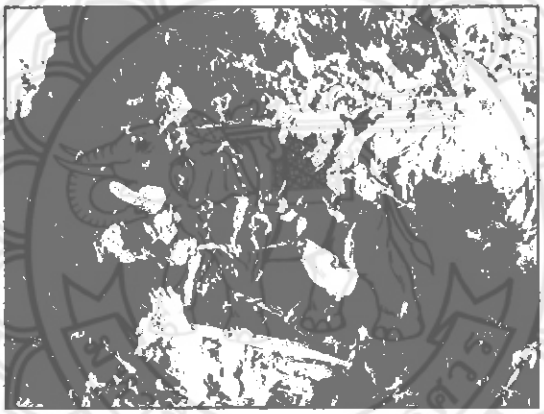
รูปที่ 2.3 รูปแสดงขบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า

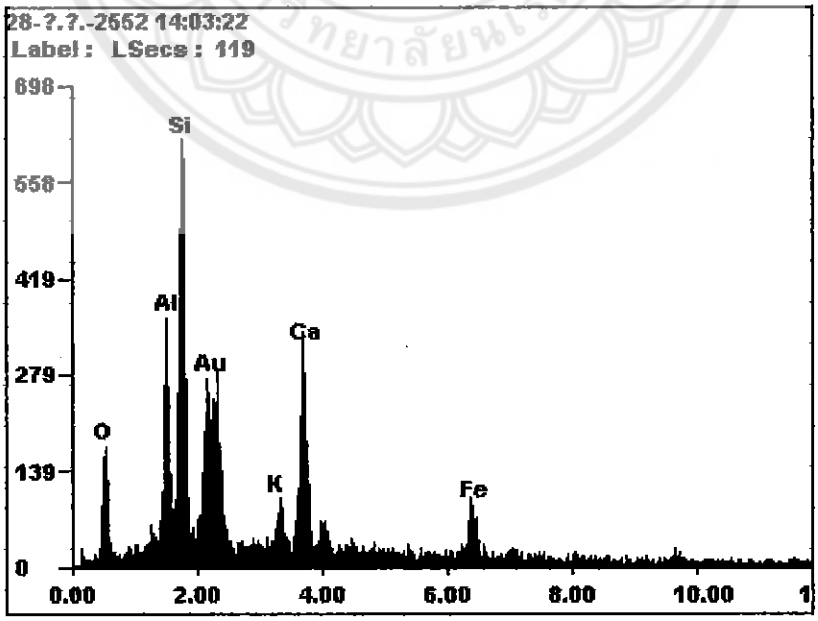
2.3.2องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าก้นเตาจะประกอบไปด้วยออกไซด์ของซิลิกาและแคลเซียม เป็นส่วนใหญ่ ถูกแสดงในรูปออกไซด์ดังในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบทางเคมีในรูปออกไซด์ของเถ้าก้นเตา (Bottom Ash)

Element	*Wt%*	*At%*
O	19.19	41.13
Al	09.35	11.88
Si	18.51	22.59
Au	27.56	04.80
K	03.06	02.68
Ca	13.31	11.38
Fe	0902	05.54



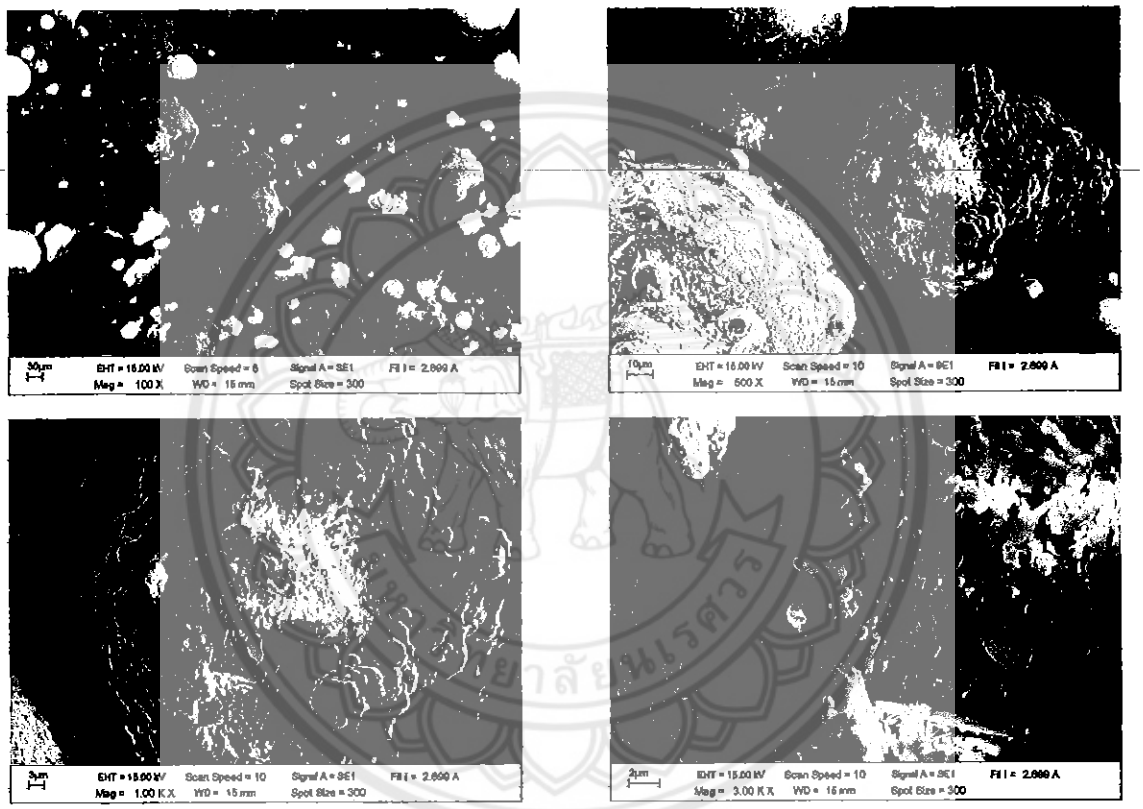


กราฟที่ 2.2 แสดงปริมาณเชิงคุณภาพขององค์ประกอบทางเคมีของเถ้าก้นเตา

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
มร.
๑๗๒๓๑
๒๕๕๒
๔-๒๕
๑50703๑๑

2.3.3 ลักษณะทางกายภาพ

ลักษณะทางกายภาพทั่วไปของเถ้าก้นเตาที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 100 เมื่อดูภาพที่กำลังขยาย 100 เท่าจะมีลักษณะเป็นก้อนเหลี่ยมมุมและกลมคละกัน มีขนาดคละกระจายตัว ส่วนภาพที่กำลังขยาย 500 เท่า, 1,000 เท่า และ 3,000 เท่า จะเห็นลักษณะของอนุภาคเถ้าก้นเตาเป็นก้อนกลมอาจมีเหลี่ยมมุมบ้างอย่างชัดเจน ส่วนผิวของอนุภาคมีลักษณะเป็นปุย มีแผ่นเล็กๆจำนวนหลายแผ่นมารวมตัวกันทำให้เกิดเป็นก้อนอนุภาคดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 อนุภาคของเถ้าก้นเตาที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 100 ที่ภาพกำลังขยาย 100X ,500X , 1000X , 3000X

เรียงจากซ้ายไปขวา บนลงล่างตามลำดับ

2.4 เถ้าลอย (Fly Ash)

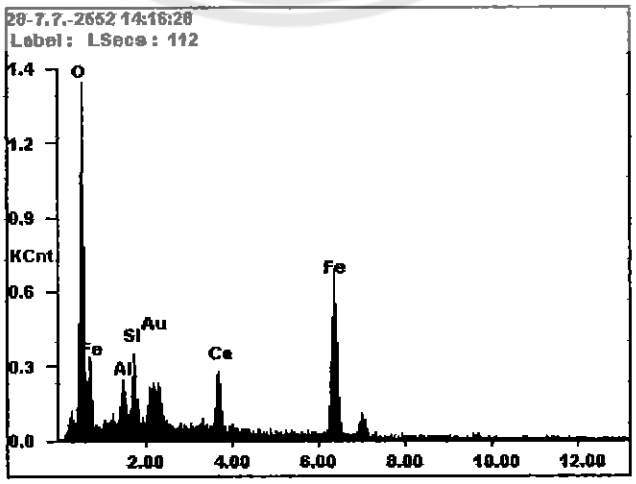
การผลิตกระแสไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะ ใช้ถ่านหินลิกไนต์จากเหมืองแม่เมาะเป็นเชื้อเพลิง ประมาณวันละกว่า 40,000 ตัน การเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์จะได้เถ้าลิกไนต์ออกมาประมาณวันละ 10,000 ตัน ซึ่งในจำนวนนี้จะเป็นเถ้าลอยประมาณ 8,000 ตัน

2.4.1องค์ประกอบทางเคมี

การเย็นตัวอย่างรวดเร็วของเถ้าลอยลิกไนต์ หลังจากผ่านการเผาถ่านหินลิกไนต์ ที่อุณหภูมิสูง ทำให้เถ้าลอยลิกไนต์แม่เมาะ มีองค์ประกอบทางแร่วิทยาดังนี้ เป็นผลึก (Crystalline) 15 ถึง 35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งส่วนใหญ่จะไม่เกิดปฏิกิริยาเคมี กับด่าง $Ca(OH)_2$ และตรวจพบว่า ประมาณ 65 ถึง 85 เปอร์เซ็นต์ ของเถ้าลอยลิกไนต์ อยู่ในรูปอสัณฐาน ที่ไม่เป็นโครงสร้าง ซึ่งมีรูปแน่นอน (Amorphous) และไม่มีความเป็นผลึก (Non-Crystalline) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็น SiO_2 กับ Al_2O_3 ที่อยู่ใน Glass phase ซึ่งเป็นส่วนสำคัญ ที่สามารถ เกิดปฏิกิริยาเคมี กับด่าง $Ca(OH)_2$ ได้

ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอย (Fly Ash)

Element	*Wt%*	*At%*
O	42.43	70.82
Al	03.35	03.32
Si	04.88	04.64
Au	09.85	01.34
Ca	05.32	03.54
Fe	34.18	16.34



กราฟที่ 2.3 แสดงปริมาณเชิงคุณภาพขององค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอย

2.4.2ลักษณะทางกายภาพ

เถ้าลอยเป็นของแข็งเม็ดกลมมีความละเอียด ซึ่งลอยขึ้นมาพร้อมกับอากาศที่ร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของถ่านหินที่บดละเอียด (Pulverized Coal) ในโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า และจะถูกจับด้วยเครื่องดักจับ (Precipitator) หลังจากนั้นจะถูกส่งต่อไปยังลังเก็บ ซึ่งถ่านหินที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงนี้ประกอบไปด้วย สารประกอบคาร์บอนและแร่ธาตุอื่น ๆ เช่น ดินดาน ดินเหนียว ซัลไฟด์ และคาร์บอเนต เมื่อถูกเผาที่อุณหภูมิสูงในเตาเผา คุณสมบัติของสารประกอบต่าง ๆ ในถ่านหินจะเปลี่ยนไป ทั้งทางด้านกายภาพและด้านเคมี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในเตาเผา รวมทั้งวิธีการที่ทำให้เย็นตัวของเถ้าลอย ซึ่งเถ้าลอยนี้ส่วนใหญ่เป็นออกไซด์ของซิลิกา และอะลูมินาเป็นองค์ประกอบหลัก โดยทั่วไปแล้วสารปอซโซลานจะไม่มีคุณสมบัติในการยึดประสาน แต่ถ้าสารปอซโซลานมีความละเอียดมากๆ และมีน้ำเพียงพอจะสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียม โฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิปกติ ทำให้ได้สารประกอบที่มีคุณสมบัติยึดประสาน

ความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 2.00-2.60 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญคือ ซิลิกา (SiO_2) อะลูมินา (Al_2O_3) และ เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) อัตราส่วนของออกไซด์ทั้ง 3 ชนิดจะแปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ, สภาพแวดล้อมขณะเผา และชนิดของถ่านหินที่ใช้เผา

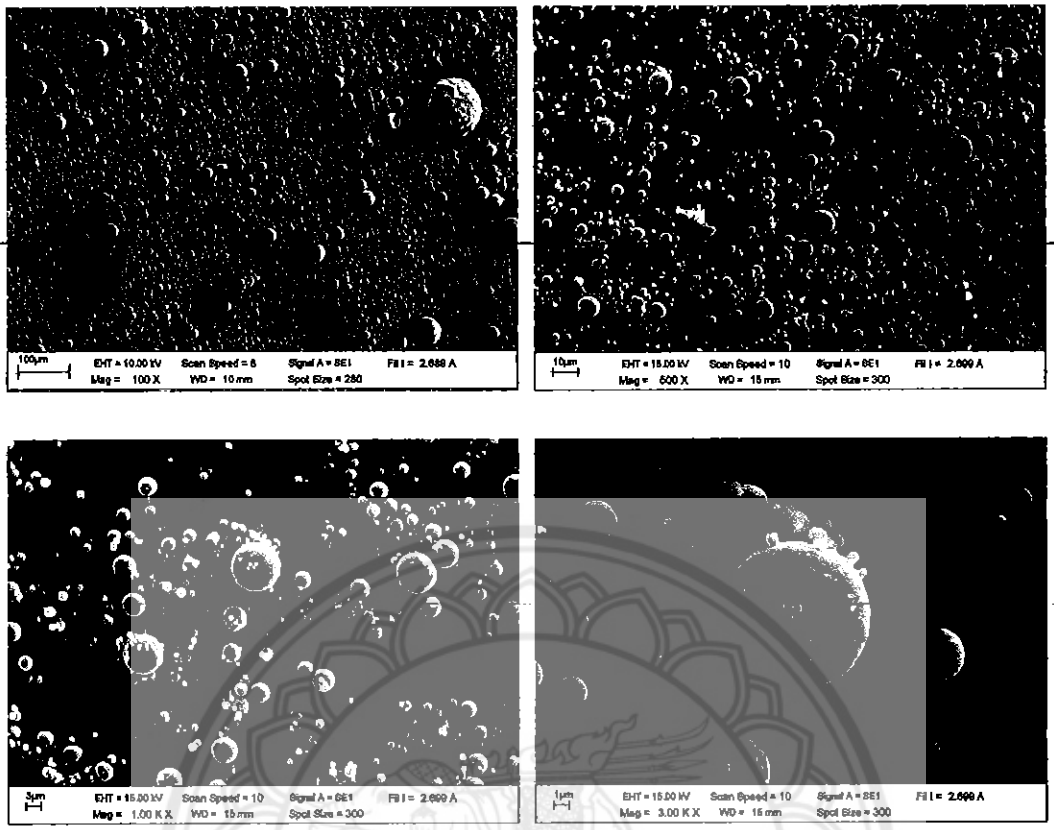
มาตรฐาน ASTM C 618 "Specification for Fly Ash and Raw or Calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in portland cement concrete" ได้จัดแยกประเภทของเถ้าลอยไว้ 2 ชนิดคือ Class F และ Class C

Class F มีปริมาณ $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ มากกว่า 70% โดยน้ำหนัก

Class C มีปริมาณ $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ ระหว่าง 50-70% โดยน้ำหนัก

เถ้าลอยลิกไนต์โดยทั่วไปแล้วจะมีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ ลักษณะทั่วไปเป็นรูปทรงกลม มีขนาดตั้งแต่เล็กกว่า 1 ไมโครเมตร (0.001 มิลลิเมตร) จนถึง 150 ไมโครเมตร (0.15 มิลลิเมตร)

ลักษณะทางกายภาพทั่วไปของเถ้าลอย เมื่อดูภาพที่กำลังขยาย 100 เท่า, 500 เท่า, 1,000 เท่า และ 3,000 เท่า จะเห็นลักษณะของอนุภาคของเถ้าลอยเป็นก้อนกลมอย่างชัดเจนและมีขนาดคละกระจายตัว ส่วนผิวของอนุภาคมีลักษณะเป็นขุยค่อนข้างละเอียด อัดจนทำให้เกิดเป็นก้อนอนุภาคดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 อนุภาคของเถ้าลอย ที่ภาพกำลังขยาย 100X ,500X , 1000X , 3000X

เรียงจากซ้ายไปขวา บนลงล่างตามลำดับ

2.5 ปฏิกิริยาปอซโซลานิค

สารประกอบในสารปอซโซลานซึ่งได้แก่ SiO_2 และ Al_2O_3 จะทำปฏิกิริยากับ Calcuim Hydroxide $Ca(OH)_2$ ที่เหลือจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ ดังสมการ

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

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

หรือ

$$Ca(OH)_2 + SiO_2 \text{ (จากสารปอซโซลาน)} + \text{น้ำ} \longrightarrow CSH$$

ซึ่ง CSH นี้ทำหน้าที่เป็นวัสดุประสาน ช่วยให้ส่วนผสมของคอนกรีตจับตัวกัน ปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆของคอนกรีตให้ดีขึ้นไม่ว่าจะเป็นกำลังอัด การต้านทานการซึมผ่านน้ำ เป็นต้น

อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาปอซโซลานิคนี้จะเกิดช้ากว่าปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ จึงต้องใช้เวลาระยะหนึ่งกว่าปฏิกิริยาจะสมบูรณ์ สำหรับสารปอซโซลานนั้นเหมาะกับงาน

คอนกรีตหลา เพราะความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาจะไม่มาก มีอัตราการพัฒนากำลังอัดช้าแต่ในระยะหลังอาจจะเท่ากันหรือมากกว่าเมื่อใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา โดยบ่มชื้นให้นานกว่าปกติ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- การใช้เถ้าก้นเตาร่วมกับตะกอนน้ำประปาในการผลิตมวลรวมประดิษฐ์สำหรับงานคอนกรีต (นายประสงค์ เพิ่มสุวรรณ/นายจักรพงศ์ เสนีวงศ์ ณ อยุธยา/นายพงศธร พิลึก, 2551)

- การพัฒนาเพื่อนำเถ้าถ่านหินบดจากแม่เมาะไปใช้ในงานคอนกรีต [สวทช.41-43] (ศ.ดร.ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2551)

- การศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และปูนซีเมนต์ซิลิกาผสมขี้เถ้าแกลบที่อุณหภูมิต่างๆ (วิทูล แก้วสันเทียะ, ไพรชิต คำภูเมือง,2545)

- อิฐบล็อกผสมเถ้าก้นเตา (ศิริชัย ตันรัตนวงศ์ , 2550)

- มวลรวมประดิษฐ์ (เถ้าลอยผสมตะกอนน้ำประปา)(Harikrishnan , K. I. / Ramamurthy, K, 2006)

2.5.1 หลักการ

เป็นเครื่องที่ใช้หลักการการหมุนและเอียงจานผสม ทำให้ส่วนผสมเมื่อผสมกับน้ำแล้วจะจับตัวกันเป็นก้อน และเมื่อถูกหมุนไปกระทบกับใบที่กั้นก็จะแยกตัวและตกลงมาในขนาดที่เหมาะสม ขนาดของเม็ดมวลรวมประดิษฐ์และลักษณะต่างๆของมวลรวมประดิษฐ์ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ต่างๆดังนี้

2.5.1.1 องศาของจานผสม

องศาของจานผสมมีส่วนสำคัญมากในการกำหนดขนาดของเม็ดมวลรวมประดิษฐ์ ถ้าองศาของจานผสมเป็นศูนย์ ส่วนผสมจะจับตัวเป็นก้อนใหญ่และไปติดอยู่ที่ใบที่กั้น แต่ถ้าปรับองศาให้มากขึ้นเม็ดมวลรวมประดิษฐ์ก็จะเริ่มแยกตัวออกเป็นขนาดและมีลักษณะกลม การที่องศามากขึ้นนี้เม็ดมวลรวมประดิษฐ์ก็จะมีขนาดเล็กลง จนถึงจุดหนึ่งจะไม่สามารถเอียงจานองศาได้อีก เพราะจะทำให้เม็ดมวลรวมประดิษฐ์กระเด็นตกออกมา องศาที่เอียงได้มากสุดประมาณ 50-60 องศา

2.5.1.2 ความเร็วรอบของจานผสม

ความเร็วรอบในการหมุนก็มีส่วนสำคัญในการกำหนดขนาดเม็ดมวลรวมประดิษฐ์ด้วยเช่นกัน โดยการที่ความเร็วรอบมีค่าน้อย เม็ดมวลรวมประดิษฐ์จะมีขนาดใหญ่ แต่ถ้าความเร็วรอบมีค่ามาก เม็ดมวลรวมประดิษฐ์ก็จะมีขนาดเล็ก

2.5.1.3 เวลา

เวลามีส่วนสำคัญในการกำหนดความแน่นและความอยู่ตัวของเม็ดมวลรวมประดิษฐ์ คือถ้าใช้เวลาที่ผสมแต่ละขั้นตอนน้อยส่วนผสมก็จะไม่เข้ากัน ความแน่นของเม็ดมวลรวมประดิษฐ์ก็จะน้อย แต่ถ้าใช้เวลามากเกินไปจะทำให้เม็ดมวลรวมประดิษฐ์แตกและแยกตัวออกเป็นเม็ดเล็กๆ เนื่องจากน้ำที่อยู่ในเม็ดมวลรวมประดิษฐ์นั้นออกไปจนหมดเป็นผลมาจากการหมุนนานๆ ดังนั้นเวลาที่ใช้แต่ขั้นตอนต้องเหมาะสมทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับส่วนผสมที่จะนำมาผสมด้วย

2.5.1.4 น้ำ

น้ำจะเป็นตัวกำหนดขนาด การรวมตัว การแยกตัวและความแน่น ถ้าใช้น้ำน้อยการจับตัวของมวลรวมประดิษฐ์ก็จะเกิดขึ้นไม่ดีทำให้เกิดการแยกตัวเป็นเม็ดเล็กๆ และไม่มีความแน่นจึงนำไปใช้งานไม่ได้ แต่การที่ใช้น้ำมากเกินไปจะทำให้ส่วนผสมจับตัวเป็นก้อนใหญ่และเป็นการยากที่จะทำให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ ดังนั้นจึงต้องใช้ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในแต่ละส่วนผสม ผู้ที่ทำการผสมต้องระวังเรื่องนี้ให้มาก

บทที่ 3

อุปกรณ์ที่ใช้ในโครงงานและวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุประสงค์การทดลอง

3.1.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพบางประการของ เถ้าก้นเตา , ตะกอนน้ำประปา และเถ้าลอย

3.1.2 เพื่อศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่มีมวลรวมหยาบ (หิน) ถูกแทนที่ด้วยมวลรวมหยาบประดิษฐ์ 100% ที่อายุ 7 วัน และที่อายุ 28 วัน

3.2 ขั้นตอนการขึ้นรูปมวลรวมประดิษฐ์และวิธีบ่มมวลรวมประดิษฐ์

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปมวลรวมประดิษฐ์และการบ่มมวลรวมประดิษฐ์

รูปที่ 3.1 เครื่องขึ้นรูปมวลรวมประดิษฐ์

3.2.1.1 เครื่องขึ้นรูปมวลรวมประดิษฐ์

3.2.1.2 สเปรย์ฉีดน้ำ

3.2.1.3 น้ำสะอาด

3.2.1.4 เหล็กเส้น

3.2.1.5 นาฬิกาจับเวลา

3.2.1.6 ถาดสำหรับใส่มวลรวมประดิษฐ์ 2 ถาด

3.2.1.7 แผ่นฟิวเจอร์บอร์ด

3.2.1.8 ตะกร้าใส่มวลรวมประดิษฐ์

3.2.1.9 ถุงพลาสติก

3.2.2วัสดุที่ใช้สำหรับการขึ้นรูปมวลรวมประดิษฐ์

1. นำวัสดุทั้งสามมาจากแหล่งที่หาได้ เถ้าก้นเตาและเถ้าลอยจะนำมาจากโรงผลิตไฟฟ้าถ่านหินแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ส่วนตะกอนน้ำประปาจะนำมาจากโรงผลิตน้ำประปามหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

2. เมื่อได้วัสดุมาครบถ้วนแล้วก็นำเถ้าก้นเตาและตะกอนน้ำประปาไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 วัน ส่วนเถ้าลอยไม่ต้องอบเพราะมีลักษณะแห้งอยู่แล้ว

3. นำเถ้าก้นเตาและตะกอนน้ำประปาออกจากตู้อบแล้วนำไปผึ่งลมให้เย็น จากนั้นนำไปทุบให้ละเอียดด้วยค้อนยาง ส่วนเถ้าลอยมีขนาดที่ละเอียดอยู่แล้ว

4. นำเถ้าก้นเตาและตะกอนน้ำประปาที่ได้มาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 16, 30, 40, 50 และ 100 โดยการทดลองครั้งนี้จะนำเฉพาะส่วนละเอียดที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 100 มาใช้งานเท่านั้น ส่วนเถ้าลอยมีขนาดอนุภาคที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 100 อยู่แล้ว

5. นำวัสดุที่ได้จากข้อ 4 ไปผสมให้เข้ากันตามอัตราส่วนที่กำหนดเพื่อนำไปขึ้นรูปมวลรวมประดิษฐ์คือ เถ้าก้นเตา / ตะกอนน้ำประปา / เถ้าลอย มีทั้งหมด 10 อัตราส่วนดังตารางที่ 3.1 โดยจะแบ่งบางส่วนของวัสดุทั้งสามเพื่อนำไปหาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของวัสดุที่จะนำไปขึ้นรูปมวลรวมประดิษฐ์

วัสดุ	ตัวอย่างที่									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เถ้าก้นเตา%	33	25	50	20	30	10	5	8	20	5
ตะกอนน้ำประปา%	33	50	25	30	20	10	5	2	10	70
เถ้าลอย%	33	25	25	50	50	80	90	90	70	25

3.2.3 วิธีการขึ้นรูปมวลรวมประดิษฐ์และวิธีบ่มมวลรวมประดิษฐ์

รูปที่ 3.2 ส่วนผสมที่จะขึ้นรูปมวลรวมประดิษฐ์

1. เตรียมส่วนผสมที่จะขึ้นรูปมวลรวมประดิษฐ์ในอัตราส่วนที่เตรียมไว้ใส่ในถาด จากนั้นเตรียมน้ำในปริมาณที่ได้กำหนดไว้ใส่สเปรย์

2. เปิดเครื่องขึ้นรูปมวลรวมประดิษฐ์แต่ยังไม่เปิดให้หมุน

3. เอียงจานผสมของเครื่องขึ้นรูปมวลรวมประดิษฐ์ประมาณ 30 องศา ดังรูปที่ 3.3 แล้วใส่ส่วนผสมลงไปในจานผสม จากนั้นเปิดเครื่องหมุนจำนวนรอบไปที่ประมาณ 7-8 รอบ/วินาที (ความเร็วรอบมอเตอร์) โดยที่ความเร็วจานหมุน 55 รอบ/นาทีกระบวนการนี้ใช้เวลาประมาณ 2 นาที

รูปที่ 3.3 จานผสมมวลรวมประดิษฐ์เอียงประมาณ 30 องศา

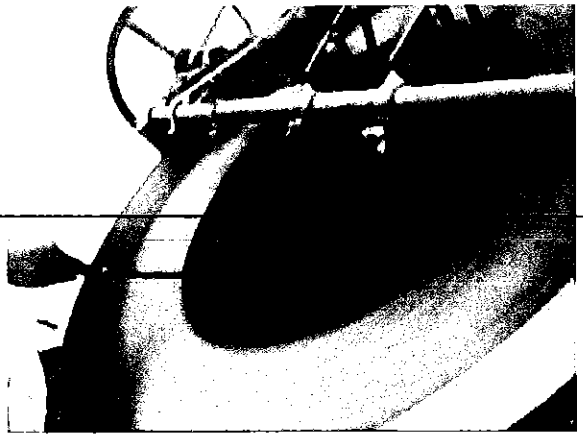
4. สเปรย์น้ำใส่ในส่วนผสมในปริมาณ 50% ของจำนวนน้ำที่ใช้ทั้งหมด ใช้เวลาให้ส่วนผสมคลุกเคล้าให้ทั่วประมาณ 3-5 นาที ดังรูปที่ 3.4

รูปที่ 3.4 การสเปรย์น้ำใส่ในส่วนผสม

5. ปรับเอียงจานผสมของเครื่องขึ้นรูปมวลรวมประดิษฐ์ประมาณ 45 องศา ปรับความเร็วรอบเป็น 9-10 รอบ/วินาที (ความเร็วรอบมอเตอร์) โดยที่ความเร็วจานหมุน 85 รอบ/นาที ดังรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 จานผสมมวลรวมประดิษฐ์เอียงประมาณ 45 องศา

6. แล้วสเปรย์น้ำเป็นระยะๆ ในขั้นตอนนี้ส่วนผสมจะไปติดและรวมกันที่บริเวณที่กั้น จึงต้องใช้เหล็กเส้นคอยแทงให้ส่วนผสมแยกจากกัน ขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 15 นาที ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ใช้เหล็กเส้นคอยแทงให้ส่วนผสมแยกจากกัน

7. เมื่อเวลาผ่านไปได้ประมาณ 15 นาทีส่วนผสมจะเริ่มจับตัวขึ้นรูปเป็นก้อนขนาดพอเหมาะจนเป็นเม็ดมวลรวมประดิษฐ์ ขั้นตอนนี้เองต้องระวังเม็ดมวลรวมประดิษฐ์จะกระเด็นออกจากจานผสม จึงต้องมีสิ่งที่นำไปกันไม่ให้เม็ดมวลรวมประดิษฐ์กระเด็นออกจากจานผสม ในที่นี้ใช้แผ่นฟิวเจอร์บอร์ด ดังรูปที่ 3.7 ขั้นตอนนี้จะรอประมาณ 10-20 นาทีเพื่อที่จะให้เม็ดมวลรวมประดิษฐ์มีความกลมและความแน่น

รูปที่ 3.7 ใช้แผ่นฟิวเจอร์บอร์ดกันไม่ให้เม็ดมวลรวมประดิษฐ์กระเด็นออก

8. เมื่อเม็ดมวลรวมประดิษฐ์มีความกลมและความแน่นพอสมควรแล้ว ก็ปิดเครื่องขึ้นรูปมวลรวมประดิษฐ์ แล้วก็นำเม็ดมวลรวมประดิษฐ์ใส่ตะกร้า

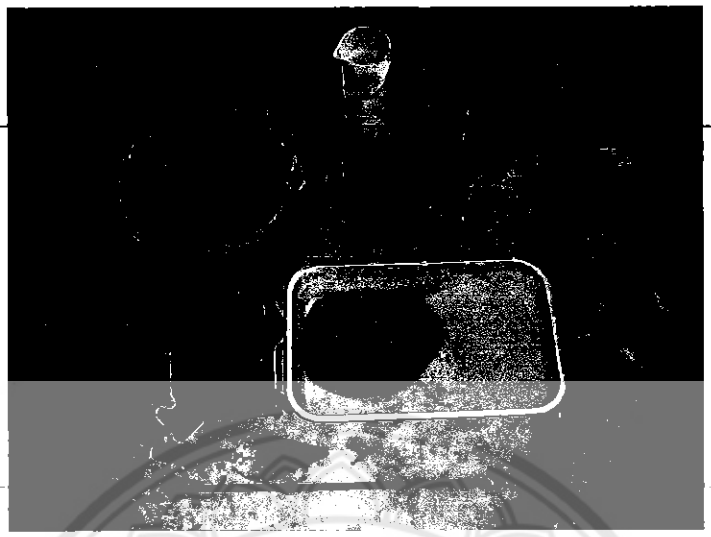
รูปที่ 3.8 มวลรวมประดิษฐ์มีความกลมและความแน่น

9. วิธีการบ่มคือเอาถุงพลาสติกคลุมตะกร้าที่ใส่มวลรวมประดิษฐ์แล้วคอยสเปรย์น้ำทุกวัน เวลาที่ใช่บ่มคือ 28 วัน ดังรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9 การบ่มมวลรวมประดิษฐ์

3.3 ขั้นตอนการผสมคอนกรีต

3.3.1 อุปกรณ์ในการผสมคอนกรีตและบ่มคอนกรีต ประกอบด้วย



รูปที่ 3.10 อุปกรณ์ในการผสมคอนกรีต

3.2.6.1 เครื่องชั่งน้ำหนัก (Weights and Weighing devices) 1 ชุด

3.2.6.2 กระบอกตวง (Glass Graduate) 1 ชุด สามารถตวงน้ำซึ่งใช้เป็นส่วนผสมได้ในปริมาณที่เพียงพอแก่การใช้ภายใน 1 ครั้ง และมีขีดแบ่งอย่างน้อย 5 ml.

3.2.6.3 แบบหล่อคอนกรีตลูกบาศก์ขนาด 10 ซม.

3.2.6.4 เกรียงมาตรฐาน 1 อัน

3.2.6.5 ถุงมือ

3.2.6.6 อ่างน้ำบ่มก้อนคอนกรีต

3.2.6.7 กระบอกตวงปริมาตรมวลรวมหยาบ

3.3.2 วัสดุที่ใช้สำหรับการผสมคอนกรีต

3.3.2.1 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการศึกษานี้เป็น ปูนซีเมนต์ซิลิกา (ตราดอกบัว) ผลิตโดย บริษัท ปูนซีเมนต์เอเชีย จำกัด (มหาชน) ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ผสม มอก. 80-2550 โดยเป็นการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกับซิลิกาโดยมีส่วนประสมต่ำสุดของซิลิกา 30 % และปูนซีเมนต์มีองค์ประกอบทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละโดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์
CaO_2	60 - 67
SiO_2	17 - 25
Al_2O_3	3 - 8
Fe_2O_3	0.5 – 6.0
MgO	0.1 – 5.5
$Na_2O + K_2O$	0.5 – 1.3
TiO_2	0.1 – 0.4
P_2O_5	0.1 – 0.2
SO_3	1 - 3

ที่มา : คู่มือคอนกรีตเทคโนโลยี (บริษัท ผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้าง (CPAC))

โดยปูนซีเมนต์นี้ ถูกจัดเก็บไว้ในถังพลาสติก เพื่อป้องกันความชื้น ซึ่งจะทำให้ปูนซีเมนต์แข็งและเกาะตัวกันเป็นก้อน

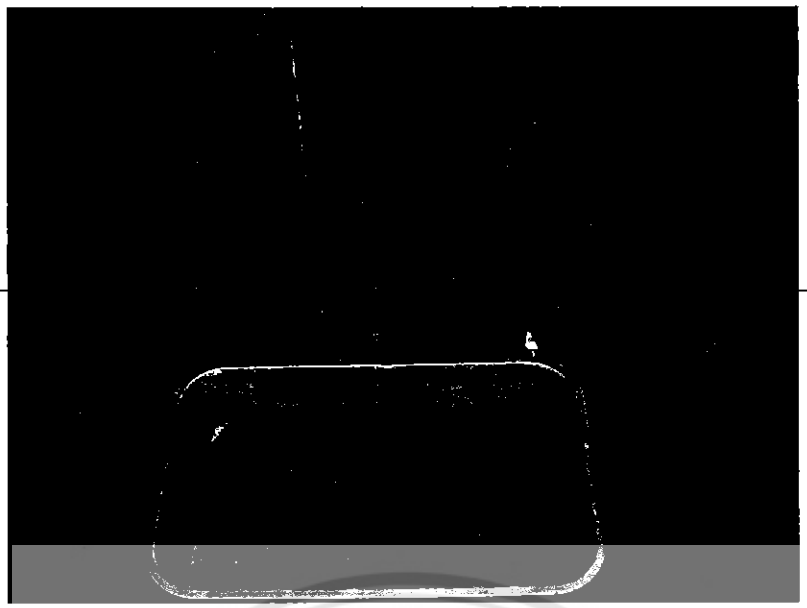
3.3.2.2 หิน

หินที่ใช้ในการทดสอบ คือ หินปูน (Limestone) มีแหล่งผลิตอยู่ที่ จังหวัด กำแพงเพชร ขนาดโตสุดของหินที่ใช้ประมาณ 4.75 ม.ม.มีค่าความแข็งแรง ประมาณ 50-105 กิโลกรัม/ลบ.ซม. ค่าต้านทานความสึกกร่อน ประมาณ 20 - 37% (คู่มือคอนกรีตเทคโนโลยี , บทที่ 3 มวลรวม , บริษัท ผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้าง (CPAC))

ในการเตรียมหินที่จะใช้ในการทดสอบ จะเริ่มจากการร่อนหินผ่านตะแกรงเบอร์ 3/8 นิ้ว (9.5 มิลลิเมตร) จากนั้น นำหินที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 3/8 นิ้วและค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) มาล้างด้วยน้ำสะอาดโดยสังเกตจากสีของน้ำที่ใช้ล้างให้มีความใสพอสมควร นำหินที่ล้างเสร็จแล้วมาผึ่งแดดให้แห้งและเก็บไว้ในถังพลาสติกเพื่อป้องกันฝุ่นและความชื้น

3.3.2.3 ทราย

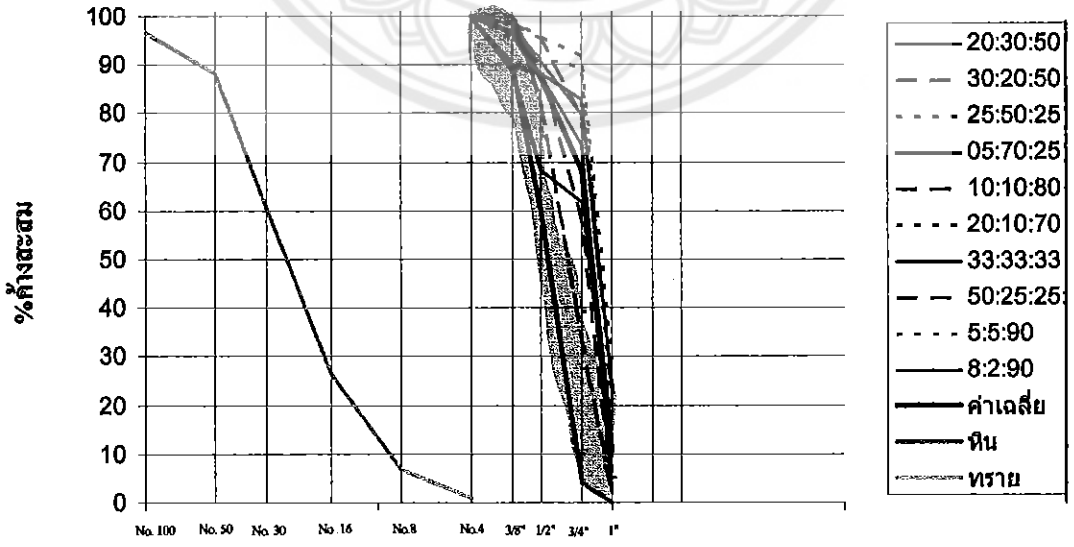
ทรายที่ใช้ในการทดสอบ คือ ทรายแม่น้ำ โดยมีแหล่งผลิตอยู่ที่ จังหวัด กำแพงเพชร โดยในการเตรียมทรายที่จะใช้ในการทดสอบ ทำการร่อนทรายโดยใช้ตะแกรงเบอร์ 20 (0.85 มิลลิเมตร) ร่อน นำทรายที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 20 และค้างบนตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มิลลิเมตร) ที่จะใช้ในการทดสอบเก็บไว้ในถังพลาสติกเพื่อป้องกันฝุ่นและความชื้น



รูปที่ 3.11 หินและทรายที่ใช้ในการทดสอบ

3.3.2.4 ขนาดคละของมวลรวมที่ใช้ (Aggregate gradation)

ในการหาขนาดคละของหินและทรายที่ใช้ในการศึกษา อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C136 และ ASTM C 33 ซึ่งเป็นการทดสอบที่เรียกว่า การวิเคราะห์หาส่วนขนาดคละของมวลรวมด้วยตะแกรง (Gradation of Aggregates by Sieve Analysis) การทดสอบดำเนินการโดยร่อนหินหรือทราย ผ่านตะแกรงมาตรฐานที่มีลักษณะเป็นช่องเปิดสี่เหลี่ยม โดยใช้ตะแกรงมาตรฐานขนาด 2", 1½", 1", 3/4", 1/2", 3/8" และ เบอร์ 4 สำหรับการทดสอบหิน และใช้ตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4, 8, 16, 30, 50 และ 100 สำหรับการทดสอบทราย ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบได้ถูกแสดงไว้ในกราฟที่ 3.1



กราฟที่ 3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดตะแกรงกับ % ค้างสะสม

3.3.3 วิธีการเตรียมส่วนผสมคอนกรีต

- หาสัดส่วนผสมคอนกรีตโดยปริมาตร

หน่วยน้ำหนักปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 = 1400 กก/ลบ.ม

หน่วยน้ำหนัก หินและทราย = 1450 กก/ลบ.ม

การคำนวณ ใช้อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน 2 : 3 : 3

ปูนซีเมนต์ 2 ถุง มีน้ำหนัก 100 กก. มีปริมาตร 100/1400 = 0.0714 ลบ.ม

ทราย 3 ส่วน มีปริมาตร 0.0714*3 = 0.214 ลบ.ม

น้ำหนักทราย 0.214*1450 = 310.3 กก.

หินก็มีน้ำหนักเช่นเดียวกับทราย = 310.3 กก.

ปริมาณน้ำ ใช้ W/C = 0.6 จะได้ปริมาณน้ำ 100*0.6 = 60 ลิตร

น้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมดเมื่อใช้ปูน 2 ถุง = 100+(2*310.3)+60 = 780.6 กก.

แบบหล่อมีปริมาตร = 0.001 ลบ.ม ดังนั้นคอนกรีตจะหนัก 2.4 กก.

ต้องใช้ปริมาณปูน 2.4/780.6 = 0.0031 ถุง

ดังนั้นจะได้น้ำหนักของส่วนผสมต่างๆ ดังนี้

ปูนซีเมนต์ 100*0.0031 = 0.310 กก.

ทราย 310.3*0.0031 = 0.962 กก.

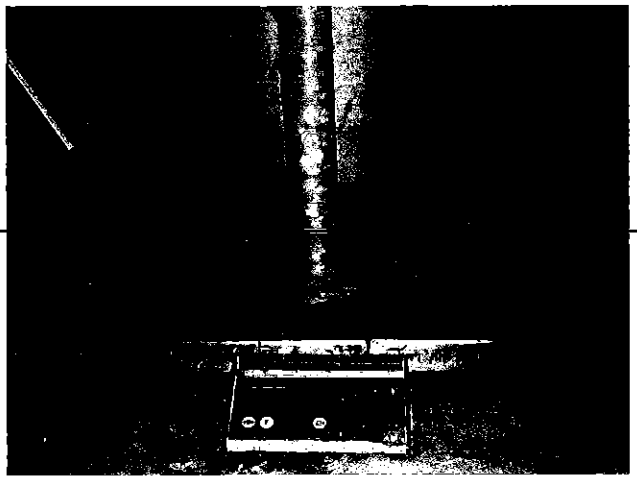
หิน 310.3*0.0031 = 0.962 กก.

น้ำ 60*0.0031 = 0.186 กก.

- วิธีการหาปริมาณมวลรวมประดิษฐ์ที่จะแทนที่หินในคอนกรีต

ในการแทนที่หินด้วยมวลรวมประดิษฐ์ 100% นั้น จะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่มวลรวมประดิษฐ์แทนที่หิน กล่าวได้ง่ายๆว่าน้ำหนักหินคิดเป็น 100% ต้องแทนด้วยน้ำหนักของมวลรวมประดิษฐ์กี่เปอร์เซ็นต์ที่ปริมาตรเท่ากัน วิธีการก็คือ

1. นำหินที่มีน้ำหนัก 1 กก. ไปใส่บีกเกอร์ เขย่าให้แน่นแล้วขีดเส้นระดับของหินที่อยู่บนสุด ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงการแทนที่ของหิน

2. นำมวลรวมประดิษฐ์ไปใส่ขวดที่ได้ขีดเส้นไว้และเขย่าให้แน่น ใส่ให้ได้ตามระดับที่ขีดเส้นไว้ เสร็จแล้วนำไปชั่ง ดังรูปที่ 3.13

รูปที่ 3.13 แสดงการแทนที่มวลรวมประดิษฐ์

3. นำค่าน้ำหนักทั้งสองมาคิดเป็นเปอร์เซนต์ โดยตั้งน้ำหนักของหินเป็น 100%

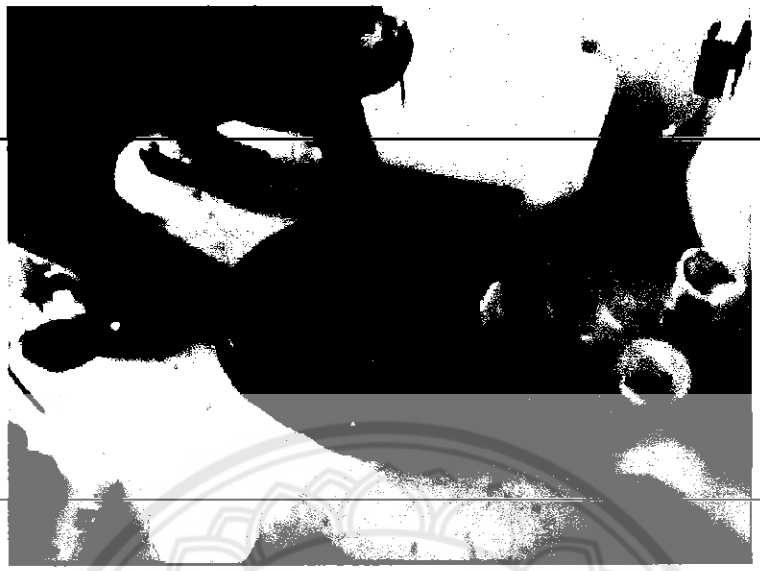
- วิธีการหาปริมาณน้ำส่วนเพิ่ม

นำค่าที่ได้จากการทดสอบหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นส่วนผสมคอนกรีตมาคิดหาปริมาณน้ำส่วนเพิ่ม

3.3.4 วิธีผสมคอนกรีตและบ่มคอนกรีต

1. เตรียมวัสดุและส่วนผสมที่จะผสมคอนกรีตตามที่ได้ออกแบบไว้

2. ผสมปูนซีเมนต์กับทรายให้เข้ากัน ดังรูปที่ 3.14

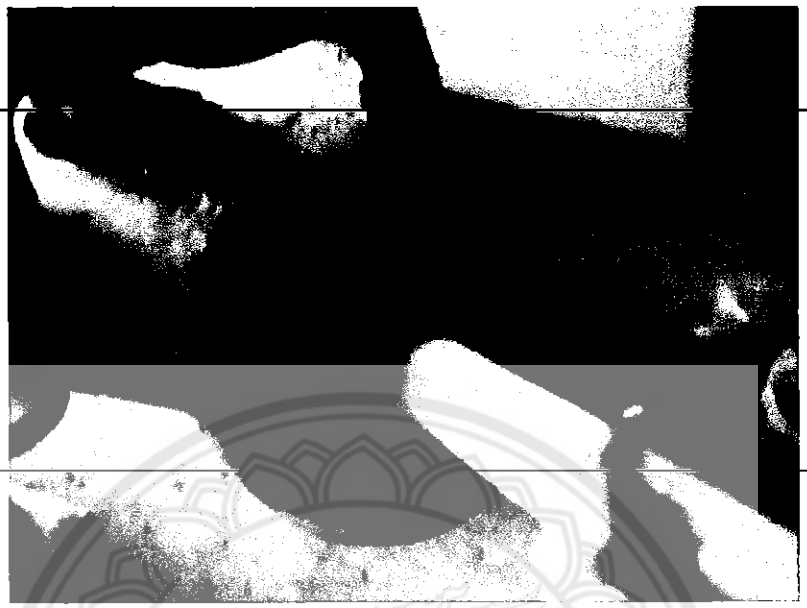


รูปที่ 3.14 แสดงการผสมปูนซีเมนต์กับทราย

3. จากนั้นก็เติมน้ำประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำที่เตรียมไว้ ดังรูปที่ 3.15

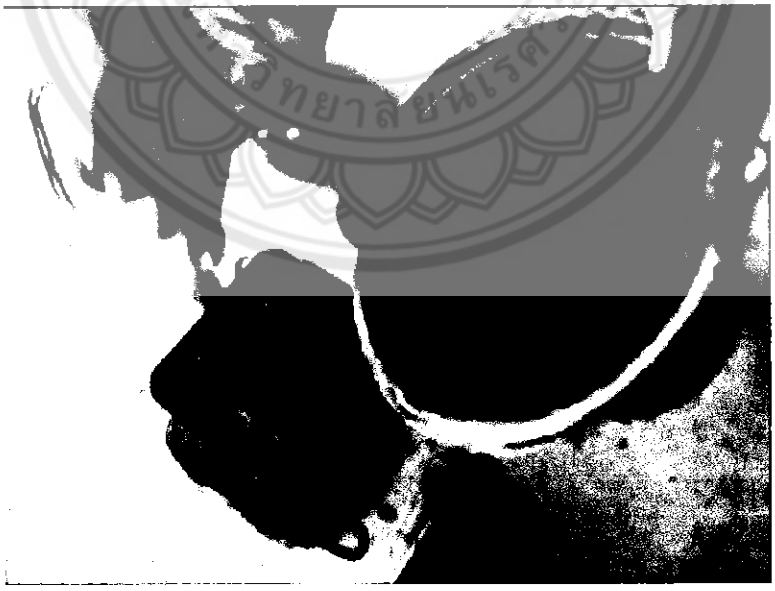
รูปที่ 3.15 แสดงการเติมน้ำ

4. เมื่อเข้ากันดีแล้วก็ใส่มวลรวมหยาบลงไปและผสมให้เข้ากันอีกทีโดยค่อย ๆ เติมน้ำ แต่ระวังอย่าให้คอนกรีตเหลวจนเกินไป ดังรูปที่ 3.16



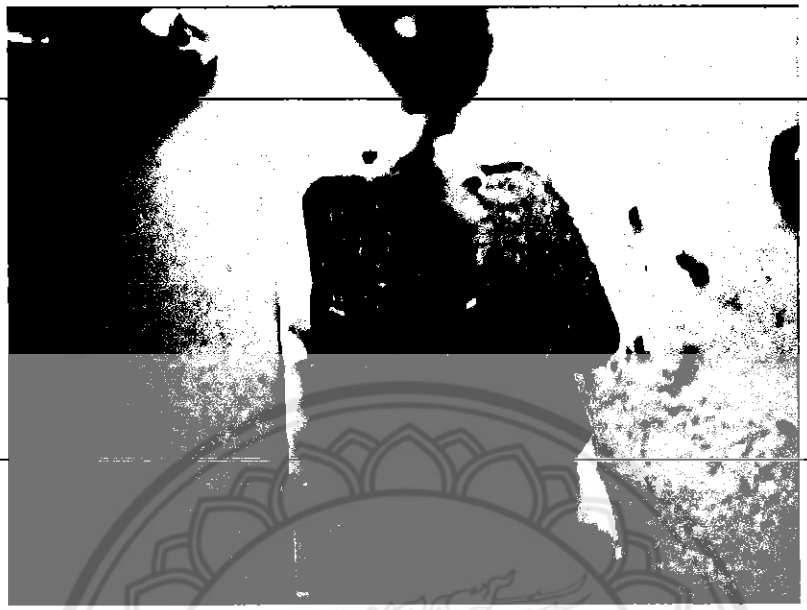
รูปที่ 3.16 แสดงการใส่มวลรวมหยาบ

5. นำคอนกรีตที่ผสมเสร็จแล้ว ไปใส่ในแบบหล่อขนาด 10*10*10 ซม.โดยใส่เป็นชั้นๆ 3 ชั้น เท่า ๆ กันแต่ละชั้นกระทุ้ง 25 ครั้ง ดังรูปที่ 3.17



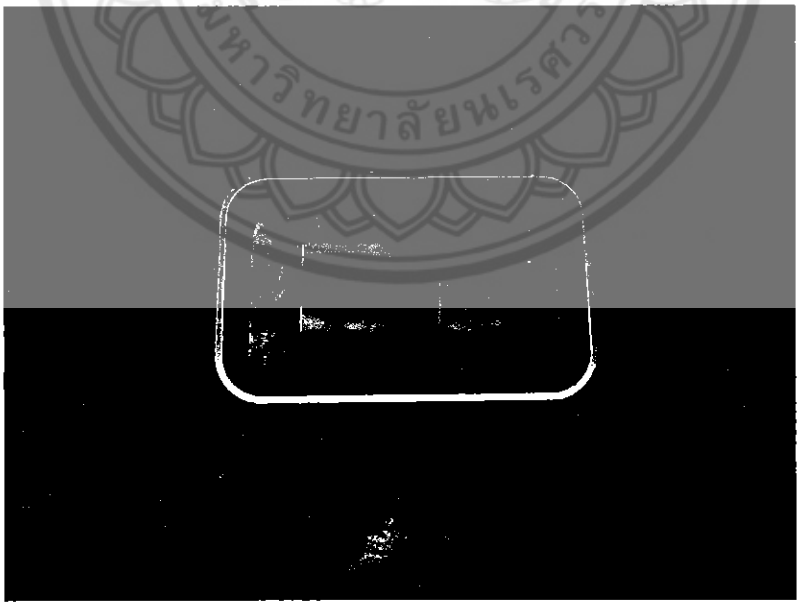
*รูปที่ 3.17 แสดงการนำคอนกรีตที่ผสมเสร็จแล้ว ไปใส่ในแบบหล่อขนาด 10*10*10 ซม.*

6. ใช้เกรียงปาดหน้าให้เรียบ และนำไปวางไว้ที่มีอุณหภูมิห้องโดยใช้ถุงพลาสติกคลุมหน้าทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง ดังรูป 3.18

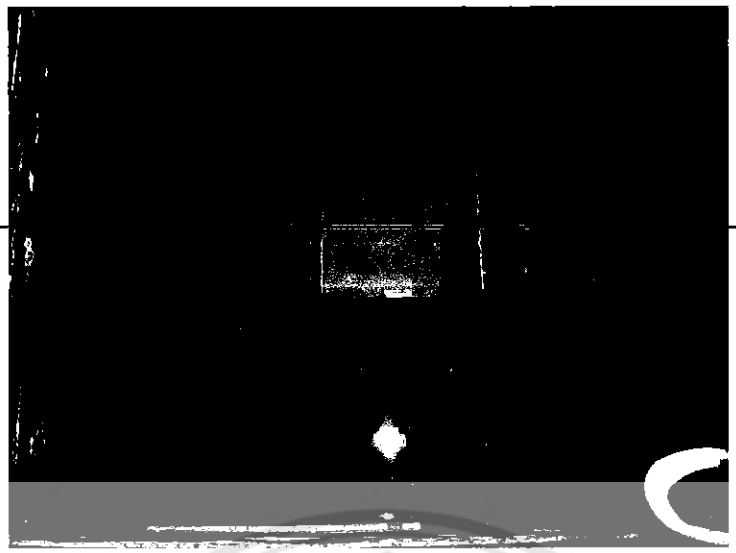


รูปที่ 3.18 แสดงการใช้เกรียงปาดหน้าให้เรียบ

7. ถอดคอนกรีตออกจากแบบ แล้วนำไปบ่มในน้ำ เป็นเวลา 28 วัน ดังรูป 3.19



รูปที่ 3.19 แสดงก้อนคอนกรีตออกจากแบบ



รูปที่ 3.20 แสดงการบ่มคอนกรีตในน้ำ

3.4 การทดสอบความต้านทานแรงอัด

3.4.1 เครื่องมือทดสอบ

ทดสอบหากำลังอัดของคอนกรีตโดย เครื่องทดสอบกำลังอัด

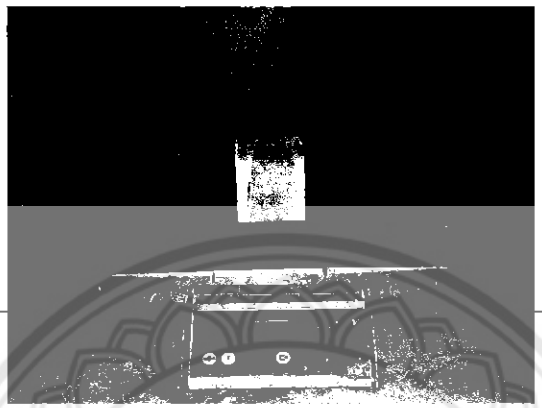
รูปที่ 3.21 เครื่องมือทดสอบหากำลังอัดของคอนกรีต

3.4.2 วิธีการทดสอบความต้านทานแรงอัด

1. ให้ทดสอบก้อนทดสอบทันทีหลังจากที่นำออกมาจากอ่างแช่ก้อนทดสอบ

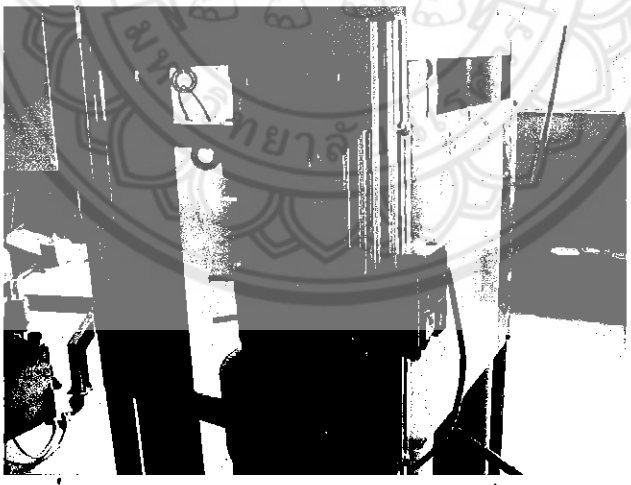
2. เช็ดผิวก้อนทดสอบแต่ละก้อนให้แห้ง ใช้ไม้บรรทัดเหล็กทาบหากปรากฏว่าผิวหน้าโค้งต้องฝนให้เรียบ

3. ชั่งน้ำหนักก้อนทดสอบ ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 แสดงการชั่งน้ำหนักก้อนทดสอบ

4. วางก้อนทดสอบให้อยู่ใต้ศูนย์กลางแป้นกดตัวบน โดยให้ผิวที่สัมผัสกับแบบหล่อเป็นด้านที่รับแรงกดและต้องให้แน่ใจว่าแป้นกดตัวนั้นเอียงได้อย่างอิสระจากนั้นตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆในเครื่องให้เสร็จแล้วกดเครื่องทดสอบ ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 แสดงการวางก้อนทดสอบให้อยู่ใต้ศูนย์กลางแป้นกด

5. เมื่อเครื่องทดสอบกดก้อนทดสอบจนถึงจุดดรากแล้ว เครื่องจะปริ๊นค่าออกมาให้ ค่าหน่วยแรงอัดที่ได้จะเป็น N/mm^2 ดังนั้นจึงแปลงหน่วยมาเป็น ksc

6. ในการทดสอบนี้ได้ทำตัวอย่างละ 2 ก้อน ดังนั้นนำกำลังที่ทดสอบได้จากทั้ง 2 ก้อนมาเฉลี่ยกัน

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

ในบทนี้เป็นการแสดงผลที่ได้จากการทดสอบตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ซึ่งผลดังกล่าวแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่นำมาทำเป็นมวลรวมประดิษฐ์และผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตโดยการแทนที่หินด้วยมวลรวมประดิษฐ์ 100%

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่นำมาทำเป็นมวลรวมประดิษฐ์

ตารางที่ 4.1 ปริมาณความชื้นของมวลรวมประดิษฐ์

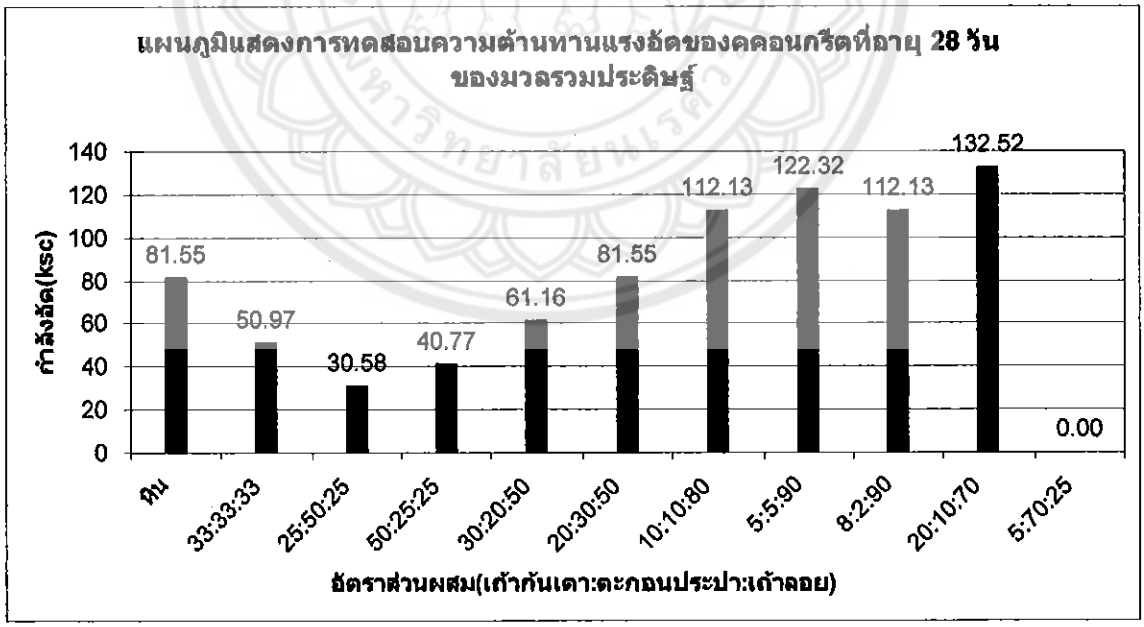
ปริมาณความชื้นของมวลรวม					
อัตราส่วนผสม	33:33:33	25:50:25	50:25:50	20:30:50	30:20:50
ปริมาณความชื้น (ω%)	19.163	22.458	19.573	18.660	16.304
อัตราส่วนผสม	10:10:80	5:5:90	8:2:90	20:10:70	5:70:25
ปริมาณความชื้น (ω%)	13.526	11.753	12.170	12.500	13.419

ตารางที่ 4.2 ปริมาณความหนาแน่นของมวลรวมประดิษฐ์

ปริมาณความหนาแน่น (kg/m^3)							
มวลรวมหยาบ	มวลรวมหยาบประดิษฐ์						
หิน	33:33:33	25:50:25	50:25:25	30:20:50	20:30:50	10:10:80	5:5:90
1266.67	768.67	783.33	766.67	758.33	716.67	983.33	983.33

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน

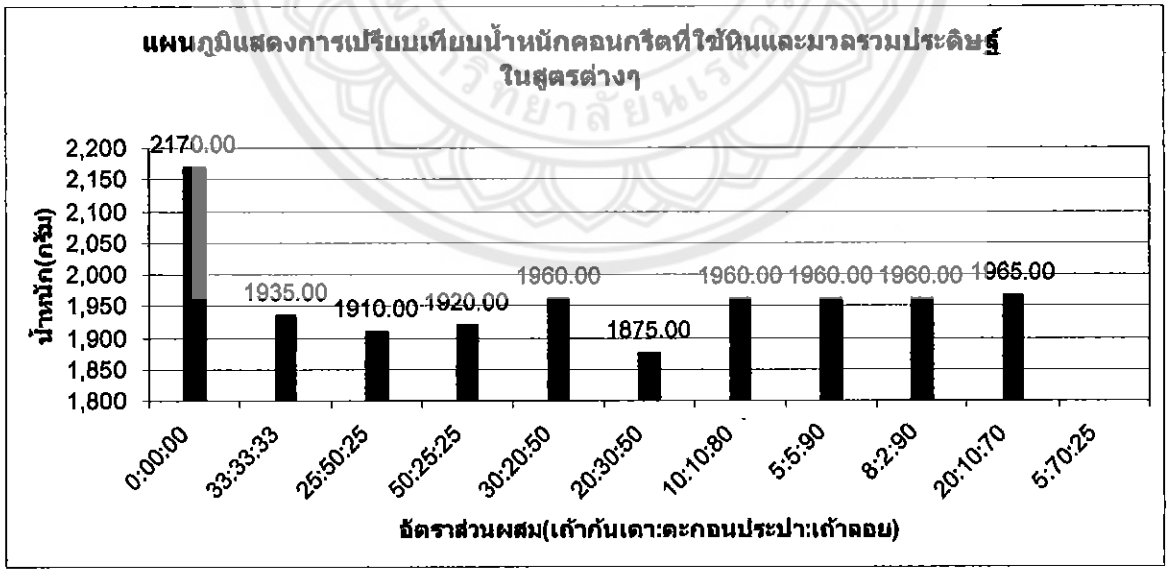
มวลรวมหยาบ	กำลังอัด(ksc)
หิน	81.55
33:33:33	50.97
25:50:25	30.58
50:25:50	40.77
20:30:50	61.16
30:20:50	81.55
10:10:80	112.13
5:5:90	122.32
8:2:90	112.13
20:10:70	132.52
5:70:25	หาค่าไม่ได้



กราฟที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิกาที่อายุ 28 วัน

ตารางที่ 4.4 แสดงน้ำหนักของก้อนคอนกรีตที่ใช้หินและมวลรวมประดิษฐ์ในอัตราส่วนต่างๆเป็นส่วนผสม

อัตราส่วน	น้ำหนัก(g)
หิน	2170.00
33:33:33	1935.00
25:50:25	1910.00
50:25:50	1920.00
20:30:50	1960.00
30:20:50	1875.00
10:10:80	1960.00
5:5:90	1960.00
8:2:90	1960.00
20:10:70	1965.00
5:70:25	หาค่าไม่ได้



กราฟที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักคอนกรีตที่ใช้หินและมวลรวมประดิษฐ์ในแต่ละส่วนผสม

4.2 วิเคราะห์กราฟ

จากข้อมูลกราฟที่ 4.1 เมื่ออัตราส่วนของเถ้าลอยในมวลรวมประดิษฐ์เพิ่มขึ้น กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตก็จะเพิ่มขึ้น โดยคอนกรีตที่ใช้มวลรวมประดิษฐ์ที่มีอัตราส่วน 20:10:70 ที่อายุ 28 วัน มีกำลังรับแรงอัดคือ 132.52 ksc. ซึ่งมากกว่าคอนกรีตที่ใช้หินธรรมชาติ ประมาณ 38.47% ทั้งนี้อาจเป็นเนื่องมาจากระยะเวลาการบ่มของมวลรวมประดิษฐ์ที่ 28 วัน ส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวมวลรวมประดิษฐ์กับซีเมนต์เพลสนั้นมีการยึดเหนี่ยวที่ดีขึ้น

กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้หินเป็นส่วนผสม คือ 81.55 ksc. ซึ่งเท่ากับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมประดิษฐ์อัตราส่วน 20:30:50

กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมประดิษฐ์ที่มีอัตราส่วนผสม 33:33:33, 25:50:25, 50:25:25, 30:20:50 , 20:30:50 เป็นส่วนผสม มีค่ากำลังรับแรงอัดน้อยกว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้หินเป็นส่วนผสม คือ 50.95 ksc, 30.58 ksc, 44.77 ksc และ 61.16 ksc. ตามลำดับ

กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมประดิษฐ์อัตราส่วน 10:10:80, 5:5:90, 8:2:90, 20:10:70 เป็นส่วนผสม มีค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้หินเป็นส่วนผสม คือ 112.13 ksc, 122.32 ksc, 112.13 ksc และ 132.52 ksc. ตามลำดับ

จากข้อมูลกราฟที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าก้อนคอนกรีตที่ใช้มวลรวมประดิษฐ์จะมีส่วนต่างของน้ำหนักโดยเฉลี่ยเบากว่าเมื่อเทียบกับก้อนคอนกรีตตัวอย่างที่ใช้หินจริงประมาณ 10.67 %

บทที่ 5

สรุปผล

ในการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วันของก้อนตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิกาเป็นส่วนผสมร่วมกับมวลรวมประดิษฐ์ที่ขึ้นรูปจากเถ้าก้นเตา, ตะกอนประปาและเถ้าลอยสามารถสรุปโครงงานนี้ได้ว่า

1. มวลรวมประดิษฐ์ที่มีอัตราส่วนของตะกอนน้ำประปาหรือเถ้าก้นเตารวมกันมากประมาณ 50% ขึ้นไป เมื่อนำไปบ่มโดยการพรมน้ำมีแนวโน้มที่จะละลายน้ำและเมื่อนำมาหากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมประดิษฐ์เป็นส่วนผสมจะทำให้ค่ารับกำลังอัดต่ำลงด้วย

2. มวลรวมประดิษฐ์ที่มีอัตราส่วนผสมของตะกอนน้ำประปาหรือเถ้าก้นเตามากถึง 70% จะทำให้มวลรวมประดิษฐ์ละลายไปกับน้ำมีสภาพเหมือนดินโคลนไม่สามารถนำมาใช้ได้

3. ถ้าอัตราส่วนของเถ้าก้นเตามากจะส่งผลให้มีการดูดซึมน้ำของมวลรวมประดิษฐ์มาก

4. คอนกรีตที่ใช้มวลรวมประดิษฐ์ที่มีปริมาณเถ้าลอยสูงขึ้น จะมีค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำ

5. เมื่อเปรียบเทียบคอนกรีตที่ใช้หินธรรมชาติกับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมประดิษฐ์ คอนกรีตที่ใช้มวลรวมประดิษฐ์จะมีน้ำหนักที่เบากว่า

6. เมื่อเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิกาทำให้ทราบว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมประดิษฐ์อัตราส่วน 20:30:50 เป็นส่วนผสม ได้กำลังอัดที่เท่ากับคอนกรีตที่ใช้หินเป็นส่วนผสมและกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมประดิษฐ์อัตราส่วน 10:10:80, 5:5:90, 8:2:90, 20:10:70 เป็นส่วนผสม มีค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้หินเป็นส่วนผสม คือ 112.13 ksc, 122.32 ksc, 112.13 ksc และ 132.52 ksc ตามลำดับ

อภิปรายผลการทดลอง

ในการศึกษาหากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมประดิษฐ์เป็นส่วนผสมที่อายุ 7 วันไม่สามารถนำไปเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่อายุ 28 วันและอายุ 7 วันในอัตราส่วนใหม่ได้ เนื่องจากซีเมนต์ที่ใช้เป็นส่วนผสมในคอนกรีตเป็นซีเมนต์ต่างชนิดกัน คือ คอนกรีตที่อายุ 7 วันใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ type 1 แต่คอนกรีตที่อายุ 28 วันและอายุ 7 วันในอัตราส่วนใหม่ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิกา โดยคอนกรีตที่อายุ 28 วัน ที่มีอัตราส่วนผสมของมวลรวมประดิษฐ์ 10:10:80, 5:5:90, 8:2:90, 20:10:70 มีค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้หินเป็นส่วนผสม เนื่องจากปูนซีเมนต์ซิลิกา มีซิลิกาเป็นส่วนผสมเพิ่มที่ทำให้ราคาถูกลง จึงมีซีเมนต์น้อย ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ลดลง ส่งผลให้ Calcium Silicate Hydrate (CSH) น้อยลง แต่ว่ามวลรวมประดิษฐ์มีเถ้าลอยเป็นส่วนผสมซึ่งมี SiO_2 กับ Al_2O_3 มาก สามารถทำปฏิกิริยากับ $Ca(OH)_2$ แทนซีเมนต์ จึงสามารถเพิ่มกำลังรับแรงอัดได้ ซึ่งคอนกรีตที่ใช้หินเป็นส่วนผสมจะเกิดรอยแตกที่เนื้อซีเมนต์แต่คอนกรีตที่มีมวลรวมประดิษฐ์เป็นส่วนผสมจะเกิดรอยแตกที่มวลรวมประดิษฐ์

ข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษาครั้งต่อไปควรเพิ่มการทดสอบแรงอัดที่อายุต่างๆให้มากขึ้นเพื่อการศึกษาการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมประดิษฐ์
2. ในการศึกษาครั้งต่อไปควรทำให้มวลรวมประดิษฐ์มีความเป็นเหลี่ยมมุมมากกว่านี้และทำหลายๆ ขนาดเพื่อที่จะมีขนาดคละที่ดี
3. ในการศึกษาครั้งต่อไปควรให้ความสำคัญในการบ่มมวลรวมประดิษฐ์ให้มากเพราะมีผลต่อกำลังของมวลรวมประดิษฐ์เอง
4. ในการศึกษาครั้งต่อไปควรทำการหาคุณสมบัติของมวลรวมประดิษฐ์ให้มากกว่านี้
5. ในการขึ้นรูปมวลรวมประดิษฐ์ปริมาณน้ำและความเร็วรอบของจานเครื่องขึ้นรูปมีผลต่อขนาดของมวลรวมประดิษฐ์
6. ในการศึกษาครั้งต่อไปควรเพิ่มอัตราส่วนของ เถ้าก้นเตา, ตะกอนประปา, เถ้าลอย ในอัตราส่วนที่ต่างๆกัน เพื่อให้ทราบกำลังรับแรงอัดในอัตราส่วนที่ต่างกัน

บรรณานุกรม

ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, คอนกรีตเทคโนโลยี, กทม,2543

Poon, C. S., Qiao, X. C. and Lin, Z. S. "Pozzolanic properties of reject fly ash in blended cement pastes" Cement and Concrete Research, Vol. 33, pp. 1857-1865, 2003.

ณัตรชัย ชูทอง, วันชัย สะตะ และ เรืองรุชดิ์ ชีระโรจน์, 2550. การใช้เถ้าก้นเตาเป็นมวลรวมละเอียดและเถ้าถ่านหินเป็นวัสดุปอซโซลานในคอนกรีต การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 3, 2550.

ศิริชัย ตันรัตนวงศ์, การศึกษาความเป็นไปได้ของเถ้าเปียกลิกไนต์เพื่อนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของวัสดุก่อสร้าง, ข้อเสนอโครงการวิจัย, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ทุนอุดหนุนงานวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2550.

ศิริชัย ตันรัตนวงศ์, การใช้เถ้าเปียกลิกไนต์ในส่วนผสมของปูนซีเมนต์มอร์ตาร์ผงสำเร็จรูปสำหรับงานก่อ, ข้อเสนอโครงการวิจัย, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, โครงการ IRPUS, ประจำปีงบประมาณ 2552.

นพปฏล เสงี่ยมศักดิ์, เรืองรุชดิ์ ชีระโรจน์, บล็อกประสานผสมเถ้าก้นเตาและเถ้าแกลบ, การประชุมวิชาการคอนกรีตแห่งชาติ ครั้งที่ 4, 20-22 ตุลาคม 2551, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, อุบลราชธานี, 2551.

แผนกประชาสัมพันธ์โรงไฟฟ้าแม่เมาะ, การแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ, มกราคม 2549.

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, ฝ่ายประชาสัมพันธ์, กฟผ.แม่เมาะ, เมษายน 2544.

เกษม พฤกษะวัน, การผลิตเซรามิกจากดินตะกอนน้ำประปา, โครงการถ่ายทอดเทคโนโลยี, คลินิกเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยรามคำแหง, ประจำปีงบประมาณ 2548.

นพปฏล เสงี่ยมศักดิ์, เรืองรุชดิ์ ชีระโรจน์, การศึกษาคุณสมบัติของมวลรวมประดิษฐ์ที่ทำจากตะกอนน้ำประปา, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 13, 14-16 พฤษภาคม 2551, จอมเทียน ปาล์มบีช พัทยา ชลบุรี, 2551.

นพปฏล เสงี่ยมศักดิ์, เรืองรุชดิ์ ชีระโรจน์, การหาสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับบล็อกประสานที่ผสมตะกอนน้ำประปา, การประชุมวิชาการคอนกรีตแห่งชาติ ครั้งที่ 4, 20-22 ตุลาคม 2551, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, อุบลราชธานี, 2551.

คณะวิทยาศาสตร์, ภาควิชาฟิสิกซ์, มหาวิทยาลัยนเรศวร, ตุลาคม, 2552.

กระทรวงอุตสาหกรรม,ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์, มอก.15 เล่ม 1-2547.

กระทรวงอุตสาหกรรม,ปูนซีเมนต์ผสม, มอก.80-2550.

www.tisi.go.th

Monzó, J., Payá J., Borrachero, M. V., and Girbés, I., "Reuse of sewage sludge ashes (SSA) in cement mixtures: the effect of SSA on the workability of cement mortars," *Waste Management*, Vol. 23, pg. 373-381, 2003.

Harikrishnan, K. I., and Ramamurthy, K. "Influence of pelletization process on the properties of fly ash aggregates", Waste Management, Vol. 26, pp. 846–852, 2006.

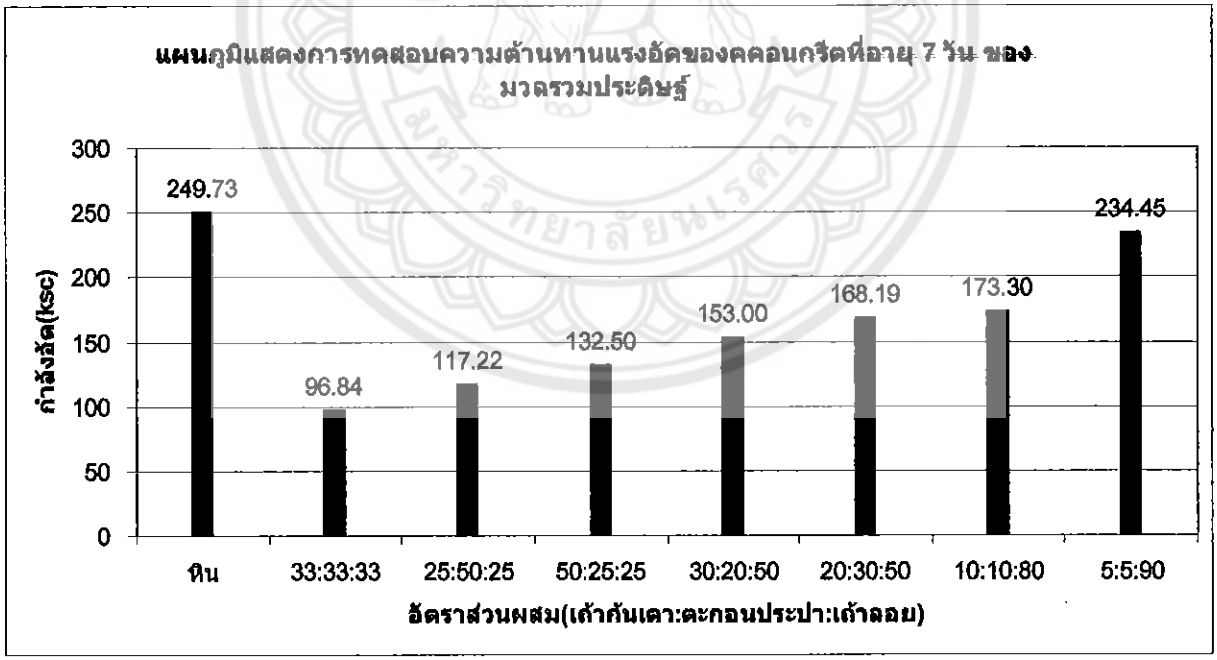
Bai, Y., Darcy, F. and Basheer, P. A. M., "Strength and drying shrinkage properties of concrete containing furnace bottom ash as fine aggregate," *Construction and Building Materials*, Vol. 19, pg. 691-697, 2005.

Kokalj, F., Samec, N., and Juric, B. "Utilization of bottom ash from the incineration of separated wastes as a cement substitute," *Waste Management Research*, Vol. 23, pg. 468-472, pg. 2005.

ภาคผนวก ก. ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดที่อายุ 7 วัน

ตารางที่ ก-1 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่อายุ 7 วัน

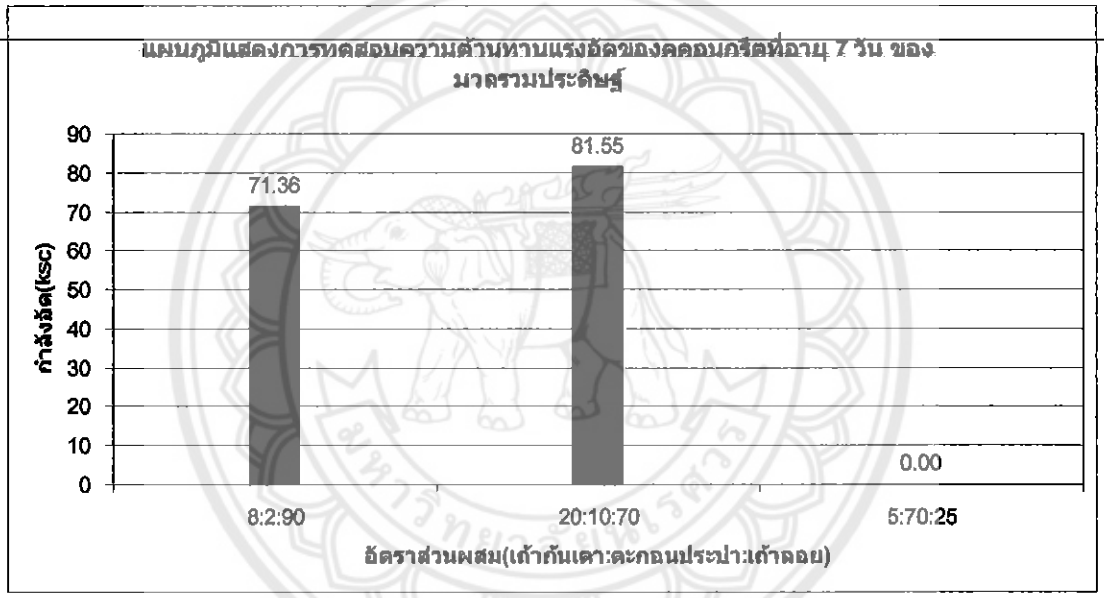
มวลรวมหยาบ	กำลังอัด (ksc)
หิน	249.73
33:33:33	96.84
25:50:25	117.22
50:25:25	132.50
30:20:50	153.00
20:30:50	168.19
10:10:80	173.30
5:5:90	234.45



กราฟที่ ก-1 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่อายุ 7 วัน

ตารางที่ ก-2 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิกา ที่อายุ 7 วัน

มวลรวมหยาบ	กำลังอัด (ksc)
8:2:90	71.36
20:10:70	81.55
5:70:25	หาค่าไม่ได้



กราฟที่ ก-2 แสดงผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ซิลิกาที่อายุ 7 วัน

ประวัติผู้จัดทำ

ชื่อ	นายดนุพล ขุนคำ
เกิดวันที่	2 มีนาคม 2529
ที่อยู่	448 หมู่ที่ 1 ตำบลท่าข้าม อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์
E-mail	Onetouch_15@hotmail.com
ประวัติการศึกษา	
- ระดับประถมศึกษา	โรงเรียนบ้านท่าข้าม อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์
- ระดับมัธยมศึกษา	โรงเรียนเพชรพิทยาคม อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์
- ระดับอุดมศึกษา	สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก

ประวัติผู้จัดทำ

ชื่อ นายวันชัย น่วมทอง

เกิดวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2531

ที่อยู่ 44/1 หมู่ที่ 5 ตำบลหาดกรวด อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์

E-mail wan_chai_n@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

- ระดับประถมศึกษา โรงเรียนเทศบาลวัดคลองโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์

- ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนอุตรดิตถ์ อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์

- ระดับอุดมศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก

ประวัติผู้จัดทำ

ชื่อ นายวิทวัส พุ่มอิ่ม

เกิดวันที่ 12 พฤศจิกายน 2530

ที่อยู่ 65/11 หมู่ที่ 3 ตำบลย่านยาว อำเภอสวรรคโลก จังหวัดสุโขทัย

E-mail Witthawat_pu@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

- ระดับประถมศึกษา โรงเรียนเทศบาลเมืองสวรรคโลก อำเภอสวรรคโลก จังหวัดสุโขทัย

- ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนสวรรค์อนันต์วิทยา อำเภอสวรรคโลก จังหวัดสุโขทัย

- ระดับอุดมศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก

ประวัติผู้จัดทำ

ชื่อ นายวันชัย น่วมทอง

เกิดวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2531

ที่อยู่ 44/1 หมู่ที่ 5 ตำบลหาดกรวด อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์

E-mail wan_chai_n@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

- ระดับประถมศึกษา โรงเรียนเทศบาลวัดคลองโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์

- ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนอุตรดิตถ์ อำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์

- ระดับอุดมศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก

ประวัติผู้จัดทำ

ชื่อ นายวิทวัส พุ่มอิ่ม

เกิดวันที่ 12 พฤศจิกายน 2530

ที่อยู่ 65/11 หมู่ที่ 3 ตำบลย่านยาว อำเภอสวรรคโลก จังหวัดสุโขทัย

E-mail Witthawat_pu@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

- ระดับประถมศึกษา โรงเรียนเทศบาลเมืองสวรรคโลก อำเภอสวรรคโลก จังหวัดสุโขทัย

- ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนสวรรค์อนันต์วิทยา อำเภอสวรรคโลก จังหวัดสุโขทัย

- ระดับอุดมศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก