การศึกษากระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ของคอนกรีตสด
A STUDY OF RYCYCLED FRESH CONCRETE AND ITS PROPERTIES

กษิดิศ ณ สงขลา
กิตติภพ อภิโรจน์
คมกฤช สิทธิการ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การศึกษากระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ของคอนกรีตสด

A STUDY OF RYCYCLED FRESH CONCRETE

AND ITS PROPERTIES

กษิดิศ ณ สงขลา

กิตติภพ อภิโรจน์

คมกฤช สิทธิการ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY OF RECYCLED FRESH CONCRETE

AND ITS PROPERTIES

KASIDIS NA SONGKHLA

KITTIPHOP APIROJ

KOMGRID SITTIKARN

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ การศึกษากระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ของคอนกรีตสด

A STUDY OF RECYCLED FRESH CONCRETE AND ITS PROPERTIES

นักศึกษา นายกษิดิศ ณ สงขลา รหัสนักศึกษา 57010047

นายกิตติภพ อภิโรจน์ รหัสนักศึกษา 57010097

นายคมกฤช สิทธิการ รหัสนักศึกษา 57010137

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ชดชนก อัฑฒพงศ์

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
ดร.ชดชนก อัฑฒพงศ์	
รศ.ดร.แหลมทอง เหล่าคงถาวร	
ผศ.ดร.ชลิดา อู่ตะเภา	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 7/6/61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษากระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ของคอนกรีตสด

นายกษิดิศ	ณ สงขลา	รหัสนักศึกษา 57010047
นายกิตติภพ	อภิโรจน์	รหัสนักศึกษา 57010097
นายคมกฤช	สิทธิการ	รหัสนักศึกษา 57010137

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ชดชนก อัฑฒพงศ์

ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันของเสียจากอุตสาหกรรมก่อสร้างมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะคอนกรีตสดซึ่งเหลือทิ้งจากการสั่งคอนกรีตมาเกินปริมาณใช้งานของการก่อสร้าง จึงมีการศึกษาการนำคอนกรีตสดกลับมาใช้ใหม่ซึ่งจะทำการแยกส่วนประกอบของคอนกรีต โดยการนำส่วนที่เป็นซีเมนต์เพสต์มาทำให้แห้งและบดเป็นผงให้มีขนาดใกล้เคียงกับผงปูนซีเมนต์ปกติมากที่สุด โครงงานนี้จึงศึกษาผงปูนซีเมนต์ที่ได้จากกระบวนการการนำกลับมาใช้ใหม่ของคอนกรีตสด 4 ชนิดคือ ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 และ 4 ชั่วโมงและปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 และ 4 ชั่วโมงแบบใส่สารหน่วงการก่อตัว จากนั้นทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของผงปูนซีเมนต์ที่ได้ โดยใช้การทดสอบปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยีตามมาตรฐาน ASTM ประกอบด้วย ความถ่วงจำเพาะของผงปูนซีเมนต์ ความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์เพสต์ ระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นของซีเมนต์เพสต์ ความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์มอร์ตาร์ และกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ปกติ โดยวัตถุประสงค์ของโครงงานนี้คือเพื่อศึกษาวิธีการนำคอนกรีตสดซึ่งเหลือใช้จากการก่อสร้างกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์ เพื่อทดสอบคุณสมบัติของผงปูนซีเมนต์ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของคอนกรีตสำหรับนำกลับมาใช้ใหม่ในด้านต่างๆ และเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของคอนกรีตที่นำกลับมาใช้ใหม่และคอนกรีตทั่วไป โดยจากการทดลองพบว่า ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่ ทั้ง 4 ชนิดมีคุณสมบัติเชิงกายภาพใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปกติโดยเฉพาะปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมงแบบใส่สารหน่วงการก่อตัวซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปกติมากที่สุด โดยพบว่าคุณสมบัติของผงปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่ขึ้นอยู่กับอายุของปูนซีเมนต์และการใส่สารหน่วงการก่อตัว ถ้าอายุของปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่น้อยจะสามารถรักษาคุณสมบัติในด้านต่างๆไว้ได้ และการใส่สารหน่วงการก่อตัวสามารถรักษาคุณสมบัติของปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่โดยเฉพาะกำลังรับแรงอัดไว้ได้เช่นกัน การศึกษาโครงงานนี้เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษากระบวนการและเทคโนโลยีสำหรับการนำคอนกรีตสดกลับมาใช้ใหม่ได้ในอนาคต

คำสำคัญ: คอนกรีตสด, ของเสียในอุตสาหกรรมก่อสร้าง, การนำกลับมาใช้ใหม่ของคอนกรีตสด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A study of recycled fresh concrete and its properties

Mr. Kasidis Na Songkhla Student ID. 57010047
Mr. Kittiphop Apiroj Student ID. 57010097
Mr. Komgrid Sittikarn Student ID. 57010137
Advisor: Dr. Chodchanok Attaphong
Academic Year 2017

ABSTRACT

Currently the construction industrial waste has continuously increased, especially the fresh concrete waste generated from the over-ordered concrete. Therefore, a study of fresh concrete waste recycling had been studied by using physical method to separate aggregates from cement paste. Subsequently, cement paste had been dried and crushed into powder sizes as small as ordinary-cement powder sizes. This project studied the physical properties of 4 types of recycled cement powder from fresh concrete waste recycling, which are 2-hour recycled cement, 4-hour recycled cement, 2-hour recycled cement with admixture, and 4-hour recycled cement with admixture. Physical properties of 4 types of recycled cement, which are the specific gravity of cement powder, consistency of cement paste, setting time of cement paste, consistency of cement mortar, and compressive strength of cement mortar, were investigated in concrete testing laboratory following to the ASTM standard compared to those of ordinary cement. The objectives of this project were to study the fresh concrete waste recycling process, to test physical properties of the recycled cement powder from fresh concrete waste, and to compare the properties of recycled cement with those of ordinary cement. The results showed that physical properties of all types the studied recycled cement were not significantly different from those of ordinary cement, especially, 2-hour recycled cement with admixture had similar properties to those of ordinary cement. It was also found that the properties of recycled cement powder depended on the age of the cement and admixture addition. Lower age and adding admixture of the recycled cement could maintain the cement properties, especially compressive strength. The results of this

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

project can be useful as a guideline for further method and technology of fresh concrete waste recycling.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ดร.ชดชนก อัฑฒพงศ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง คอยแนะนำช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหา คอยให้ความรู้ เอาใจใส่ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือจนสำเร็จได้ด้วยดี พวกเราผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในทุก ๆ รายวิชาที่ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐาน โดยคณาจารย์ท่านต่าง ๆ ได้ถ่ายทอดความรู้ทั้งทางด้านวิชาการ ความรู้ทั่วไป และประสบการณ์ต่าง ๆ จนสามารถนำมาใช้ในการทำงานและการดำเนินชีวิตได้อย่างดียิ่ง ตลอดจนขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ร่วมเป็นกรรมการในการทดสอบ

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือซึ่งกันและกันในการทำโครงงาน รวมถึงตลอดระยะเวลาที่ได้เรียนรู้ศึกษาในภาควิชาโยธานี้ตลอดมา

ขอขอบคุณผู้ตอบแบบสอบถามทุกท่านที่ได้กรุณาให้ข้อมูลโดยการตอบแบบสอบถามตามความเป็นจริงและครบถ้วน

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดาอันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ให้ความรักและกำลังใจในการสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด ทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้ได้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

กษิดิศ ณ สงขลา
กิตติภพ อภิโรจน์
คมกฤช สิทธิการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II

กิตติกรรมประกาศ..... IV

สารบัญ..... V

สารบัญตาราง..... VIII

สารบัญรูป..... IX

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ..... 1

1.2 ปัญหางานวิจัย..... 2

1.3 วัตถุประสงค์..... 2

1.4 ขอบเขตการวิจัย..... 2

1.5 วิธีการวิจัย..... 2

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ..... 3

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 3

บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม..... 4

2.1 ปูนซีเมนต์..... 4

2.1.1 กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์..... 4

2.1.2 ขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์..... 5

2.1.3 องค์ประกอบทางเคมีของซีเมนต์..... 5

2.1.4 การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration of Cement)..... 8

2.1.5 ประเภทของซีเมนต์ (Type of Cement)..... 10

2.2 คอนกรีต..... 12

2.2.1 ปูนซีเมนต์ (cement)..... 12

2.2.2 มวลรวม (aggregate)..... 13

2.2.3 น้ำ (Water)..... 13

2.2.4 สารผสมเพิ่มหรือน้ำยาผสมคอนกรีต (Concrete Admixture)..... 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3 คอนกรีตสด 16
2.3.1 ความสามารถเทได้ (Workability) 16
2.3.2 การแยกตัว (Segregation) 16
2.3.3 การเยิ้มน้ำ (Bleeding) 17
2.3.4 ปริมาณฟองอากาศ (Air Entrainment) 17
2.3.5 การก่อตัว (Setting) 17
2.4 ของเสียในอุตสาหกรรมก่อสร้าง 18
2.4.1 ประเภทของคอนกรีตเหลือใช้ 18
2.4.2 การจัดการคอนกรีตเหลือใช้ 18
บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน 20
3.1 การนำกลับมาใช้ใหม่ของปูนซีเมนต์ 20
3.2 การเตรียมตัวอย่าง 20
3.2.1 ตัวอย่างปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการทดลอง 20
3.2.2 การผสมซีเมนต์เพสต์ 21
3.3 กระบวนการนำปูนซีเมนต์กลับมาใช้ใหม่ 22
3.3.1 การอบซีเมนต์เพสต์ 22
3.3.2 การบดซีเมนต์เพสต์ 22
3.4 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของผงปูนซีเมนต์ 23
3.4.1 การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของผงปูนซีเมนต์ 24
3.4.2 การทดสอบหาความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์เพสต์ 25
3.4.3 การทดสอบหาเวลาการก่อตัวขั้นต้นของซีเมนต์เพสต์ 27
3.4.4 การทดสอบหาความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์มอร์ตาร์ 28
3.4.5 การทดสอบหากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ 30
บทที่ 4 ผลการดำเนินโครงงาน 31
4.1 ความถ่วงจำเพาะของผงปูนซีเมนต์ 31
4.2 ความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์เพสต์ 33
4.3 ระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นของซีเมนต์เพสต์ 34
4.4 ความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์มอร์ตาร์ 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.5 กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ 36

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ 40

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 40

5.2 ปัญหาและอุปสรรคที่พบ 40

5.3 ข้อเสนอแนะ 41

เอกสารอ้างอิง 42

ภาคผนวก 43

ประวัติผู้เขียน 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ค่าออกไซด์ต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์..... 7

ตารางที่ 2.2 เวลาในการเกิดคุณสมบัติต่างๆของสารประกอบ..... 8

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานปริมาณสารประกอบ C_3A ในปูนซีเมนต์ประเภททนซัลเฟตสูง.... 11

ตารางที่ 2.4 ปริมาณร้อยละปริมาณของสารประกอบในปูนซีเมนต์ประเภทต่างๆ..... 11

ตารางที่ 2.5 สารเจือปนในน้ำและผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีต..... 14

ตารางที่ 4.1 ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์แต่ละชนิดที่ได้จากการทดลอง..... 32

ตารางที่ 4.2 ความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์เพสต์ที่ได้จากการทดลอง..... 33

ตารางที่ 4.3 ระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นของซีเมนต์เพสต์ที่ได้จากการทดลอง..... 34

ตารางที่ 4.4 ความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ได้จากการทดลอง..... 35

ตารางที่ 4.5 กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์แต่ละชนิดที่ได้จากการทดลอง..... 37

ตารางที่ 4.6 กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ของปูนปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 37

ตารางที่ 4.7 ค่าความแตกต่างของกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าที่ได้จากการนำปูนซีเมนต์กลับมาใช้ใหม่เทียบกับกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ต้าจากปูนซีเมนต์ปกติ..... 38

ตารางที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ได้จากการนำปูนซีเมนต์กลับมาใช้ใหม่เทียบกับกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์จากปูนซีเมนต์ปกติ..... 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปภาพที่ 2.1 กระบวนการต่างๆ ในการผลิตปูนซีเมนต์..... 6

รูปภาพที่ 2.2 ส่วนผสมของปูนซีเมนต์..... 12

รูปภาพที่ 2.3 ช่วงการก่อตัวของซีเมนต์..... 17

รูปภาพที่ 2.4 กระบวนการต่างๆในการนำขยะคอนกรีตกลับมาใช้ประโยชน์..... 19

รูปภาพที่ 3.1 เครื่องทดสอบลอสแองเจลิส..... 23

รูปภาพที่ 3.2 ขวดแก้ว Le Chatelier..... 25

รูปภาพที่ 3.3 อุปกรณ์ไวแคทปลาย plunger 26

รูปภาพที่ 3.4 อุปกรณ์ไวแคทปลายเข็ม needle 27

รูปภาพที่ 3.5 โต๊ะควบคุมการไหล..... 29

รูปภาพที่ 3.6 แบบหล่อลูกบาศก์ขนาด 5×5×5 เซนติเมตร..... 30

รูปภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของปูนซีเมนต์และความถ่วงจำเพาะ..... 32

รูปภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของปูนซีเมนต์และระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้น... 34

รูปภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการบ่มและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์.. 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

สิ่งแวดล้อมในปัจจุบันถูกปนเปื้อนโดยของเสียจากอุตสาหกรรมก่อสร้างซึ่งส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการ นำคอนกรีตที่เหลือจากการก่อสร้างทิ้งลงสู่สิ่งแวดล้อมโดยตรง ซึ่งการนำคอนกรีตมาใช้ในการก่อสร้างนั้นมี ปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อการคาดการณ์ปริมาณคอนกรีตเพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการของงานแต่ละประเภท ถึงแม้ว่าจะมีการคำนวณปริมาณที่ต้องการใช้มาอย่างดีแล้วแต่ผู้รับเหมาส่วนใหญ่ก็เลือกที่จะสั่งคอนกรีต ในปริมาณที่มากกว่าความต้องการใช้ ส่งผลให้มีปริมาณคอนกรีตที่เหลือทิ้ง ณ พื้นที่ก่อสร้างไม่มากก็น้อย ดังนั้นการนำคอนกรีตที่เหลือใช้นำกลับมาใช้ใหม่จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดของเสียจากการก่อสร้างและ ทำให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อไปได้

ทั้งนี้จะเห็นว่ามีการศึกษาค้นคว้าและงานวิจัยที่ตระหนักถึงผลที่ตามมาจากของเสียซึ่งมาจากการ ก่อสร้างและสนใจการนำคอนกรีตที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ โดยงานวิจัยได้กล่าวถึงผลกระทบของของเสียจากอุตสาหกรรมก่อสร้างโดยเจาะจงที่ของเสียซึ่งเหลือจากการใช้งานของคอนกรีตเป็นส่วนมากของขยะในงานก่อสร้างทั้งหมดจากผลการศึกษาพบว่า การทำลายคอนกรีตโดยวิธีต่างๆมีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ในด้านผิวหนังและระบบทางเดินหายใจ อีกทั้งยังส่งผลต่อคุณสมบัติของดินและน้ำซึ่งหากสามารถลดหรือกำจัดคอนกรีตเหลือทิ้งได้นั้นจะเป็นประโยชน์ในหลายๆด้าน ทั้งลดการใช้พื้นที่ในการเป็นสถานที่ทิ้งขยะจากการก่อสร้าง ลดการใช้พลังงานในการขนย้าย และอื่นๆ [1] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการนำของเสียจากการก่อสร้างคือคอนกรีตสดมาใช้ประโยชน์ด้วยวิธีการต่างๆ ซึ่งพบว่าการจะทำให้คอนกรีตรีไซเคิลมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับคอนกรีตปกตินั้นมีหลายปัจจัยที่จะส่งผลให้คุณสมบัติเปลี่ยนไปไม่ตรงตามความต้องการใช้งาน [2] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการนำคอนกรีตสดที่เหลือจากการใช้งานกลับมาใช้ใหม่โดยการรอให้คอนกรีตแห้งและนำเอาเฉพาะส่วนที่เป็นซีเมนต์เพสต์มาใช้ การทำเป็นผงและนำไปผสมกับผงซีเมนต์ใหม่ที่ยังไม่เคยใช้งานในอัตราส่วนต่างๆพบว่าผงซีเมนต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่นั้นเมื่อนำมาผสมกับน้ำเพื่อทำเป็นสี่เหลี่ยมลูกบาศก์แล้วนำไปทดสอบกำลังรับแรงอัดแล้วได้ผลเป็นที่น่าพอใจเนื่องจากมีค่าใกล้เคียงกับกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์ซึ่งเทียบจากมาตรฐาน ASTM [3]

จากวรรณกรรมข้างต้นพบว่า มีนักวิจัยหลายท่านศึกษาและให้ความสำคัญเกี่ยวกับผลกระทบของคอนกรีตที่ใช้แล้ว ซึ่งเป็นของเสียที่เหลือจากการก่อสร้างและพยายามหาวิธีการกำจัดการลดปริมาณการใช้งานและการนำกลับมาใช้ใหม่ โดยพบว่ามีนักวิจัยที่ศึกษาวิธีการนำกลับมาใช้ใหม่ไม่มากนัก ดังนั้นทางผู้จัดทำจึงเห็นความสำคัญของการนำของเสียจากอุตสาหกรรมก่อสร้างกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ปัญหางานวิจัย

1.2.1 ของเสียซึ่งเกิดจากอุตสาหกรรมก่อสร้างส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1.2.2 ของเสียซึ่งเกิดจากอุตสาหกรรมก่อสร้างยากต่อการกำจัด

1.3 วัตถุประสงค์

1.3.1 เพื่อศึกษาวิธีการนำคอนกรีตเหลือใช้จากการก่อสร้างกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.3.2 เพื่อทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตที่นำกลับมาใช้ใหม่ในด้านต่างๆ

1.3.3 เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของคอนกรีตรีไซเคิลและคอนกรีตทั่วไปที่ใช้ในงานก่อสร้าง

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาการนำมาใช้ใหม่ของคอนกรีตโดยเลือกใช้ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1

1.4.2 ทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ 3 ชนิด คือ ปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่และปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่ที่มีสารผสมเพิ่ม

1.4.3 สารผสมเพิ่มเป็นสารผสมเพิ่มประเภทหน่วงการก่อตัวและลดน้ำ

1.5 วิธีการวิจัย

1.5.1 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 วางแผนเกี่ยวกับการหาวิธีการนำซีเมนต์เพสต์กลับมาใช้ใหม่ด้วยวิธีการต่างๆ

1.5.3 ศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตและซีเมนต์เพสต์เพื่อหาตัวชี้วัดประสิทธิภาพของซีเมนต์เพสต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ตามมาตรฐาน ASTM

1.5.4 วางแผนออกแบบวิธีการทดสอบคุณภาพของคอนกรีตในห้องปฏิบัติการ (Laboratory) ที่นำกลับมาใช้ใหม่ รวมถึงหาค่า w/c ratio ที่เหมาะสมของซีเมนต์เพสต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่

1.5.5 การทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติของคอนกรีตรีไซเคิล มีดังต่อไปนี้

(1) การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์

(2) การทดสอบหาความข้นเหลวของซีเมนต์เพสต์

(3) การทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวและการก่อตัวผิดปกติของซีเมนต์เพสต์

(4) การทดสอบหาความอยู่ตัวของวุ้นซีเมนต์

(5) การทดสอบหากำลังรับแรงดึงของซีเมนต์มอร์ตาร์

(6) การทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.6 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบ เพื่อหาความเป็นไปได้ของการนำไปใช้จริงในงานก่อสร้าง

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 วิธีการนำคอนกรีตที่เหลือใช้หรือที่ปัจจุบันเรียกว่าของเสียจากอุตสาหกรรมการก่อสร้างมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.6.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตที่นำกลับมาใช้ใหม่เป็นไปตามที่คาดการณ์

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 เพื่อลดปริมาณคอนกรีตที่เหลือใช้ซึ่งจัดเป็นของเสียจากอุตสาหกรรมการก่อสร้าง

1.7.2 เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการทิ้งคอนกรีตที่เหลือใช้ลงสู่สิ่งแวดล้อม

1.7.3 เพื่อลดต้นทุนในการก่อสร้างในส่วนของคอนกรีตทีนำกลับมาใช้ใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรม

คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างพื้นฐานที่สำคัญในอุตสาหกรรมก่อสร้าง โดยเกิดจากการผสมปูนซีเมนต์ น้ำ มวลรวม เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาขึ้น ทำให้คอนกรีตเกิดการแข็งตัวและสามารถรับกำลังได้ ซึ่งในปัจจุบัน อุตสาหกรรมการก่อสร้างมีการขยายตัวมากขึ้น ทำให้มีความต้องการการใช้ทรัพยากรมากขึ้น แต่ในทางกลับกันแหล่งทรัพยากรก็จะมีจำนวนลดลงอย่างช้าๆ ซึ่งในการใช้ทรัพยากรในกระบวนการต่างๆ จะก่อให้เกิดขยะและของเสียที่ตามมาจากการก่อสร้างเช่น คอนกรีต เศษหิน ทราย เป็นต้น ปัจจุบันของเสียพวกนี้จะถูกกำจัดออกโดยการนำไปทิ้ง นำไปถมดิน ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่นผลกระทบต่อน้ำ ผลกระทบต่อพื้นดินที่มีอยู่อย่างจำกัด ซึ่งในปัจจุบันสามารถนำคอนกรีตที่เกิดจากอุตสาหกรรมก่อสร้างกลับมาใช้ใหม่ เพื่อเป็นทางเลือกใหม่ๆ ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ช่วยการลดพลังงาน และยังอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ

2.1 ปูนซีเมนต์

ซีเมนต์เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติเหนียวเกาะ มีลักษณะเป็นตัวเชื่อมประสาน ให้วัสดุและส่วนต่างๆให้เป็นเนื้อเดียวกันหรือเป็นโครงสร้างเดียวกัน ซึ่งในปัจจุบันปูนซีเมนต์เป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญที่สุดในการก่อสร้างทางวิศวกรรม (ชัชวาล และคณะ. 2548)

2.1.1 กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ (Cement Manufacturing Process)

ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์โดยทั่วไปสามารถจำแนกโดยใช้ลักษณะของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการกระบวนการผลิตซึ่งแบ่งเป็น 2 วิธี คือ การผลิตแบบแห้ง (dry and semi-dry processes) และ การผลิตแบบเปียก (wet process) ดังแสดงในรูปที่ 2.1

1) การผลิตแบบแห้ง (dry and semi-dry process) กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์โดยใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นปกติ ประมาณ 0.1-0.2% เช่น หินปูน (limestone) ดินดาน (shale) ดินลูกรัง (laterite) และทราย (Sand) จะถูกทำให้มีขนาดเล็กลงด้วยการกระบวนบดพร้อมทั้งผสมด้วยวัตถุดิบอื่นๆ ในสภาพที่แห้งและในระหว่างที่บดจะใช้ลมร้อน ช่วยไล่ความชื้น ออกจากวัตถุดิบ วัตถุดิบที่เตรียมเสร็จแล้วจะมีลักษณะเป็นผงละเอียด (Powder) หลังจากนั้นจะถูกส่งเข้าหม้อเผา นำไปสู่กระบวนการผลิตเม็ดปูนต่อไป

2) การผลิตแบบเปียก (wet process) กระบวนการผลิตโดยใช้วัตถุดิบที่มีความชื้นสูง เช่น ดินขาว (marl) และดินเหนียว (clay) นำมาบดผสม กันในสภาพที่เปียกและเติมน้ำเพิ่มเข้าไปในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อช่วยในการบดผสม วัตถุดิบที่เตรียมเสร็จจะมีน้ำเป็นส่วนผสมอยู่ประมาณ 30-40% หลังจากนั้นจะถูกส่งไปยังหม้อเผาเพื่อผลิตเม็ดปูนต่อไป ซึ่งในปัจจุบันการผลิตแบบเปียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ได้รับความนิยม เนื่องจากต้องใช้พลังงานความร้อนในการผลิตสูง จึงเป็นการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการเผาเป็นอย่างมาก

2.1.2 ขั้นตอนการผลิตปูนซีเมนต์

1) การทำเหมืองและการเตรียมวัตถุดิบ วัตถุดิบสามารถหาได้จาก เหมืองหิน โดยกระเจาะและการระเบิดหิน ตามแหล่งที่ถูกค้นพบ จากนั้นหินจะถูกลำเลียงไปยังเครื่องบด (crusher) เพื่อบดให้มีขนาดเล็กลงเหลือประมาณ 2.5 เซนติเมตร เมื่อวัตถุดิบมีขนาดใกล้เคียงกันแล้วจะถูกส่งต่อไปยังยุ้งเก็บวัตถุดิบ

2) การบดวัตถุดิบ ลำเลียงวัตถุดิบต่างๆ ที่เตรียมแล้วเข้าถังเก็บวัตถุดิบแยกแต่ละชนิดเพื่อลำเลียงเข้าสู่หม้อบดวัตถุดิบ (raw mill) โดยควบคุมส่วนผสมต่างๆ ตามเกณฑ์ที่กำหนด ขณะระหว่างการบดจะใช้ลมร้อนที่เหลือจากระบบหม้อเผา ไล่ความชื้นออกจากวัตถุดิบ ส่งผลให้วัตถุดิบมีความละเอียดและแห้ง ซึ่งมีลักษณะเป็นผง เรียกว่า วัตถุดิบสำเร็จ (raw Meal) และถูกลำเลียงไปเก็บในไซโล เพื่อป้อนเข้าหม้อเผาต่อไป

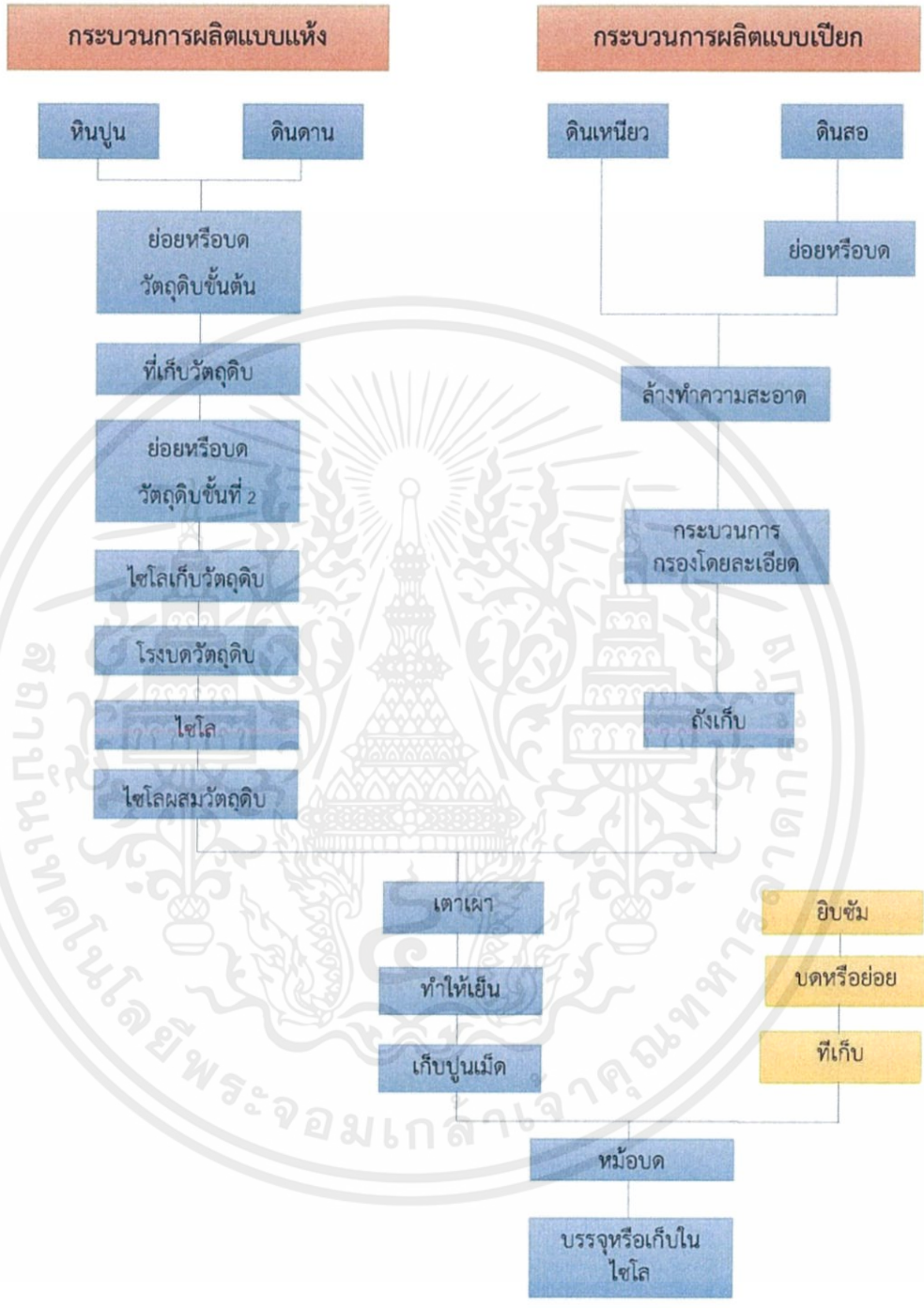
3) การเผาเม็ดปูน หม้อเผาเม็ดปูนจะต้องควบคุมปริมาณวัตถุดิบสำเร็จที่ป้อนเข้าหม้อเผาให้มีปริมาณที่พอเหมาะกับกำลังการผลิตและเผาด้วยอุณหภูมิ 1450°C ปูนเม็ดที่ได้จากกระบวนเผาจะถูกทำให้เย็นตัวลง และถูกลำเลียงผ่านเครื่องย่อย เพื่อย่อยเม็ดปูนให้มีขนาดประมาณ 2.5 เซนติเมตร และลำเลียงไปเก็บยังไซโลเก็บเม็ดปูน

4) การบดปูนซีเมนต์ ปูนเม็ดและยิบซัม จะถูกลำเลียงออกจากไซโลมาเก็บใน Hopper จากนั้นวัตถุดิบจะถูกส่งไปยัง Roller Press เพื่อย่อยให้มีขนาดเล็กลงก่อนเข้าสู่ หม้อบดปูนซีเมนต์ (cement mill) เมื่อได้ปูนซีเมนต์ตามคุณสมบัติที่ต้องการจะถูกลำเลียงไปเก็บยัง ไซโลเก็บปูนซีเมนต์เพื่อรอการบรรจุปูนซีเมนต์ (cement dispatching) และขนส่งปูนซีเมนต์ (cement transporting) ต่อไป

2.1.3 องค์ประกอบทางเคมีของซีเมนต์

วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ประกอบไปด้วยออกไซด์หลัก (major oxides) คือ แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซิลิกาออกไซด์(SiO_2) อลูมินัมออกไซด์ (Al_2O_3) และเฟอริกออกไซด์ (Fe_2O_3) และออกไซด์ย่อยอื่นๆ เช่น Na_2O MgO ซึ่งธาตุเหล่านี้จะทำปฏิกริยากันในกระบวนการเผา ทำให้ได้สารประกอบหลัก คือ ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) ไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A) เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ (C_4AF) และแคลเซียมซัลเฟตไดไฮเดรต (CSH_2) ซึ่งสารประกอบแต่ละชนิดส่งผลต่อคุณภาพของปูนซีเมนต์ชนิดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 กระบวนการต่างๆ ในการผลิตปูนซีเมนต์ (ชัชวาล เศรษฐบุตร และคณะ. 2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ค่าออกไซด์ต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ (ปิติ สุคลธสุขกุล. 2556)

ชื่อออกไซด์	ปริมาณโดยน้ำหนัก (%)
CaO	60-67
SiO_2	17-25
Al_2O_3	3-8
Fe_2O_3	0.5-0.6
MgO	0.5-4.0
Alkalis(Na_2O)	0.3-1.2
SO_3	2.0-3.5

2.1.3.1 คุณสมบัติของสารประกอบหลัก

สารประกอบหลักของปูนซีเมนต์ ประกอบด้วย C_3S C_2S C_3A และ C_4AF ซึ่งพบว่าปริมาณของสารประกอบเหล่านี้มีมากถึง 90% ดังนั้นสารประกอบดังกล่าวจึงเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติและคุณภาพของปูนซีเมนต์ (พิชัย นิมิตยงสกุล. 2556) ดังแสดงในตารางที่ 2.2

1) ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) สารประกอบ C_3S มีอยู่มากที่สุด ประมาณ45-55% โดยจะมีลักษณะรูปร่างเป็นเหลี่ยมสีเท่าแก่ สามารถสลายตัวได้ที่อุณหภูมิ 1250°C เมื่อผสม C_3S กับน้ำ ทำให้เกิดการก่อตัว แข็งตัวและให้กำลังเกิดขึ้นเร็ว ในขณะเดียวกันก็ยังเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Heat of hydration) ทำให้เกิดความร้อนประมาณ 500 จูล/กรัม

2) ไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) สารประกอบ C_2S มีอยู่ประมาณ 15-35% มีลักษณะเป็นเม็ดกลม โดย C_2Sจะมีอยู่ 4 รูปแบบขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ คือ ที่อุณหภูมิสูงมาก จะเป็น α-C_2S เมื่อลดอุณหภูมิลงเหลือ 1450°C จะเปลี่ยนรูปเป็น γ-C_2S จากนั้นเป็น γ-C_2S ที่อุณหภูมิ 670°C และอุณหภูมิทั่วไปในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ C_2S ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแบบ β-C_2S ซึ่งเมื่อนำ β-C_2S มาผสมกับน้ำ จะทำปฏิกิริยากันทำให้เกิดความร้อนขึ้น แต่ความร้อนค่อนข้างต่ำประมาณ 250 จูล/กรัม และการพัฒนากำลังค่อนข้างช้า

3) ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A) สารประกอบ C_3A มีอยู่ในปูนซีเมนต์ประมาณ 7-15% มีลักษณะรูปร่างเป็นเหลี่ยมมีสีเทาอ่อน เมื่อ C_3A ผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันรุนแรงมาก เกิดความร้อน 880 จูล/กรัม การพัฒนากำลังจะเกิดขึ้นเร็วมาก สามารถพัฒนาได้ภายในวันเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไลต์ (C_4AF) จะมีอยู่ในซีเมนต์ค่อนข้างน้อย ประมาณ 5-10% มีลักษณะเป็น สารละลายแข็ง เมื่อนำมาผสมกับน้ำ จะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันค่อนปานกลางมีความร้อนประมาณ 420 จูล/กรัม แต่สามารถพัฒนากำลังอัดได้เร็วมาก เช่นเดียวกับ C_3A

ตาราง 2.2 เวลาในการเกิดคุณสมบัติต่างๆของสารประกอบ (พิชัย นิมิตยงสกุล. 2556)

คุณสมบัติ	สารประกอบ			
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน	เร็ว (ชั่วโมง)	ช้า (วัน)	ทันทีทันใด	เร็วสุด (นาที)
การพัฒนากำลัง	เร็ว (วัน)	ช้า (สัปดาห์)	เร็วมาก (1 วัน)	เร็วมาก (1 วัน)
กำลังประลัย	สูง	สูง	ต่ำ	ต่ำ
ความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน	ปานกลาง	ต่ำ	สูง	ปานกลาง

2.1.3.2 คุณสมบัติของสารประกอบรอง

สารประประกอบที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์ที่นอกเหนือจากสารประกอบหลักทั้ง 4 อย่าง ซึ่งมีปริมาณในปูนซีเมนต์อยู่น้อย แต่ก็มีผลต่อคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ (ชัชวาล เศรษฐบุตร. 2548)

1) ยิบซัม (gypsum) ยิบซัมจะอยู่ในรูปสารประกอบคัลเซียมซัลเฟต ได้แก่ ยิบซัม Anhydrite และ Plaster โดยการเติมยิบซัมในระหว่างการบดปูนซีเมนต์เพื่อทำปฏิกิริยากับ C_3A เป็น Ettringite เพื่อหน่วงการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3A หรือควบคุมระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ ยิบซัมที่ใส่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดและการหดตัวให้มีกำลังมากแต่หดตัวน้อยที่สุด ตามลำดับ

2) ปูนขาวอิสระ (free lime,CaO) เมื่อ CaO ทำปฏิกิริยากับน้ำ จะทำให้ปูนซีเมนต์แข็งตัว CaO ทำให้เกิดการขยายตัวของปริมาตร ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดกากรแตกร้าวและเสียหายขึ้นได้

3) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) มีผลทำให้ปริมาตรของปูนซีเมนต์เพิ่มมากขึ้น และ เกิดการก่อตัวแบบไม่อยู่ตัว ซึ่งส่งผลต่อ การขยายและหดตัวของ MgO โดยความไม่อยู่ตัวของ MgO จะขึ้นอยู่กับขนาดของผลึก ซึ่งยิ่งมีขนาดเล็กจะทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันรวดเร็วยิ่งขึ้น

4) อัลคาไลน์ออกไซด์ (alkali oxide) เมื่อนำอัลคาไลน์มาทำปฏิกิริยาระหว่างด่างกับมวลรวมส่งผลให้เกิดการขยายตัวของคอนกรีต เป็นผลเสียทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวขึ้นได้

2.1.4 การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration of Cement)

เมื่อผสมปูนซีเมนต์กับน้ำ จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างสารประกอบระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ เรียกว่า Hydration of Cement ซึ่งโดยทั่วไปการเกิดปฏิกิริยานั้นจะมี 2 ลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ เกิดปฏิกิริยาโดยอาศัยสารละลาย และการเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง โดยการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันนั้นจะเกิดทั้ง2ลักษณะ โดยจะเริ่มในลักษณะการอาศัยสารละลายก่อน แล้วตามด้วยการเกิดปฏิกิริยาระหว่างของแข็ง ซึ่งในการเกิดปฏิกิริยา สารประกอบมีหลายชนิดซึ่งสารประกอบแต่ละชนิดจะส่งผลต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้น ทำให้เราสามารถแยกการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบแต่ละชนิดได้ดังสมการต่อไปนี้ (ชัชวาล เศรษฐบุตร. 2548)

1) ปฏิกิริยาไฮเดรชันของแคลเซียมซิลิเกต (C_3S)

คัลเซียมซิลิเกต เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ ทำให้เกิด แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH_2)$) และแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($C_3S_2H_3$) โดย $Ca(OH_2)$มีคุณสมบัติเป็นด่าง ทำหน้าที่ช่วยป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กเสริม $C_3S_2H_3$ ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสาน และให้ความแข็งแรง ดังสมการต่อไปนี้

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

$$\text{หรือ } 2C_3S + 6H \longrightarrow C_3S_2H_3 + 3CH$$

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

$$\text{หรือ } 2C_3S + 4H \longrightarrow C_3S_2H_3 + CH$$

การทำปฏิกิริยาไฮเดรชันนั้น ยังมีผลทำให้เกิดความร้อน เมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงมากขึ้นเพียงใดค่าความร้อนก็จะยิ่งสูงขึ้นตามไปด้วย โดยสามารถแบ่งช่วงการเกิดปฏิกิริยาได้ 3 ช่วง คือ ช่วงเริ่มต้นการผสม จะเกิดปฏิกิริยาทันทีทันใดและมีความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและลดลงจนหยุด หลังจากเริ่มทำปฏิกิริยา 15 นาที หลังจากนั้น ซีเมนต์จะมีสภาพเป็นพลาสติก ซึ่งส่งผลให้การเกิดปฏิกิริยาน้อยลงอย่างมาก ซึ่งเรียกช่วงนี้ว่า ระยะสงบ ทำให้คอนกรีตยังไม่แข็งตัว สามารถเท หล่อแบบ หรือขนส่งคอนกรีตได้ และหลังจากการผสม 2-3ชั่วโมงจะเป็นช่วงที่คอนกรีตเริ่มก่อตัว และเกิดความร้อนเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา4-8ชั่วโมง คอนกรีตจะเริ่มแข็งตัวและสามารถรับกำลังได้พร้อมทั้งการเกิดปฏิกิริยาค่อยๆลดลงแต่จะดำเนินต่อไป

2) ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A)

ไตรแคลเซียมอลูมิเนต เมื่อผสมน้ำ จะเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วและได้แคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต(CAH) ทำให้เกิดการก่อตัวอย่างรวดเร็ว ดังสมการ

$$3CaO.Al_2O_3 + 6H_2O \longrightarrow 3CaO.Al_2O3.6H_2O$$

$$\text{หรือ } C_3A + 6H2O \longrightarrow C_3AH_6$$

ซึ่งในทางตรงกันข้ามเมื่อการก่อตัวเร็วเกิดไปจะเป็นข้อเสีย ดังนั้นจำเป็นต้องใส่ยิบซัมเพิ่มเข้าไปเพื่อช่วยหน่วงการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน

$$3CaO.Al_2O_3 + CaSO_4 + 2H_2O \longrightarrow 3CaO.Al_2O3.3CaSO_4.6H_2O$$

$$\text{หรือ } C_3A + 6H2O \longrightarrow C_3AH_6$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดปฏิกิริยาของแคลเซียมอลูมิเนตกับน้ำเมื่อมียิบซัม จะเกิดขึ้นรวดเร็วมากและทำให้เกิด Ettringite เมื่ออิออนของซัลเฟตเพียงพอจะทำให้เอททริงไกด์สามารถช่วยหน่วงการเกิดปฏิกิริยาให้น้อยลง

3) ปฏิกิริยาไฮเดรชันของเตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรต์ (C_4AF)

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_4AF จะเกิดขึ้นในช่วงเริ่มต้นของปฏิกิริยา โดยจะทำปฏิกิริยากับน้ำได้อนุภาคที่มีรูปร่างเสมือนเข็ม ดังสมการ

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

หรือ C_4AF + Gypsum +$Ca(OH)_2$ ⟶ Sulphoaluminate และ Sulphoferrite

ปฏิกิริยาของ C_4AF คล้ายกับปฏิกิริยาของC_3A แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นช้ากว่าและ มีความร้อนน้อยกว่า ซึ่งสารประกอบเหล็กออกไซด์ จะทำปฏิกิริยาคล้ายกับอลูมิเนียมออกไซด์และสามารถแทนที่กันได้

2.1.5 ประเภทของซีเมนต์ (Type of Cement)

ในปัจจุบัน ปูนซีเมนต์ถูกแบ่งออกเป็นหลายประเภทขึ้นอยู่กับมาตรฐานต่างๆ การเลือกใช้งานขึ้นอยู่กับลักษณะสภาพงานและคุณสมบัติที่ต้องการ โดยทั่วไปจะแบ่งเป็น 5 ประเภท (ปิติ สุคนธสุขกุล. 2556) ดังต่อไปนี้

ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ธรรมดา (ordinary cement) เป็นปูนที่นิยมกันทั่วไป โดยมีปริมาณการใช้งานประมาณ 90% ของปริมาณปูนซีเมนต์ทั้งหมด ซึ่งประกอบไปด้วยเม็ดปูนเผา 95% และส่วนประกอบอื่น ๆไม่เกิน 5% และมีพื้นที่ผิวสัมพัทธ์ระหว่าง 300-400 ตารางเมตรต่อกิโลกรัม

ประเภทที่ 2 ปูนซีเมนต์ดัดแปลง (modified cement) เป็นปูนซีเมนต์ต้านทานซัลเฟตปานกลางและความร้อนต่ำปานกลาง ถูกออกแบบมาเพื่อต้านทานซัลเฟตได้บางส่วน ซึ่งซัลเฟตสามารถพบได้ตามสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น บริเวณใกล้กับทะเล บริเวณแหล่งน้ำใกล้โรงงานอุตสาหกรรม จึงกำหนดปริมาณ C_3A ในส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ ไม่เกิน 7.5%

ประเภทที่ 3 ปูนซีเมนต์ประเภทให้กำลังอัดเร็ว (high early strength cement) เป็นปูนซีเมนต์แข็งตัวเร็ว หรือ ปูนซีเมนต์ที่ให้กำลังสูงในช่วงเริ่มต้น ถูกออกแบบให้มีความละเอียดสูงเพื่อเร่งระยะเวลาในการก่อสร้าง เช่น งานซ่อมแซม แก้ไขโครงสร้างต่างๆ ทำให้เม็ดปูนต้องมีความละเอียดสูง จึงมีพื้นที่ผิวสัมพัทธ์สูงระหว่าง 450-600ตารางเมตรต่อกิโลกรัม และมีปริมาณ C_3S สูงประมาณ 50-70% เพื่อเร่งการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน

ประเภทที่ 4 ปูนซีเมนต์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ (low heat cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในงานโครงสร้างขนาดใหญ่ที่ต้องการใช้คอนกรีตปริมาณมาก เช่น เขื่อน ทำให้มีความร้อนภายในสูงเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน ซึ่งอาจมีผลทำให้สิ่งก่อสร้างเกิดการแตกร้าวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงต้องลดปริมาณสารประกอบ C_3S เพื่อให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันช้าลง และมีพื้นผิวที่สัมพัทธ์ระหว่าง 320-350 ตารางเมตรต่อกิโลกรัม

ประเภทที่ 5 ปูนซีเมนต์ประเภททนซัลเฟตสูง (sulphate resistance cement) เป็นปูนซีเมนต์ต้านทานซัลเฟต ทำได้โดยการลดปริมาณสารประกอบ C_3A ลง โดย C_3A ที่ลดลงมีผลต่อปริมาณ Ettringite ที่จะทำปฏิกิริยากับซัลเฟต จึงทำให้การเกิดปฏิกิริยากับซัลเฟตลดลงด้วยเช่นกัน โดยมีกำหนดมาตรฐานดังนี้

ตารางที่2.3 มาตรฐานปริมาณสารประกอบ C_3A ในปูนซีเมนต์ประเภททนซัลเฟตสูง (ปิติ สุคนธสุขกุล. 2556)

มาตราฐาน	รายละเอียด
BS	C_3A น้อยกว่า 3.5%
ASTM	C_3A มากกว่า 3.5%

BS=British Standard

ASTM=American of Testing and Material

ประเภทที่ 6 ปูนซีเมนต์ประเภทอื่นๆ เช่น ประเภท 1A, ประเภท 2A, ประเภท 3A ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ที่ช่วยกระจายกักฟองอากาศ

ตารางที่2.4 ปริมาณร้อยละปริมาณของสารประกอบในปูนซีเมนต์ประเภทต่างๆ (วินิต ช่อวิเชียร. 2539)

สารประกอบ	ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท 5
ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S)	49	46	56	30	43
ไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S)	25	29	15	46	36
ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (C_3A)	12	6	12	5	4
เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไลต์ (C_4AF)	8	12	8	13	12

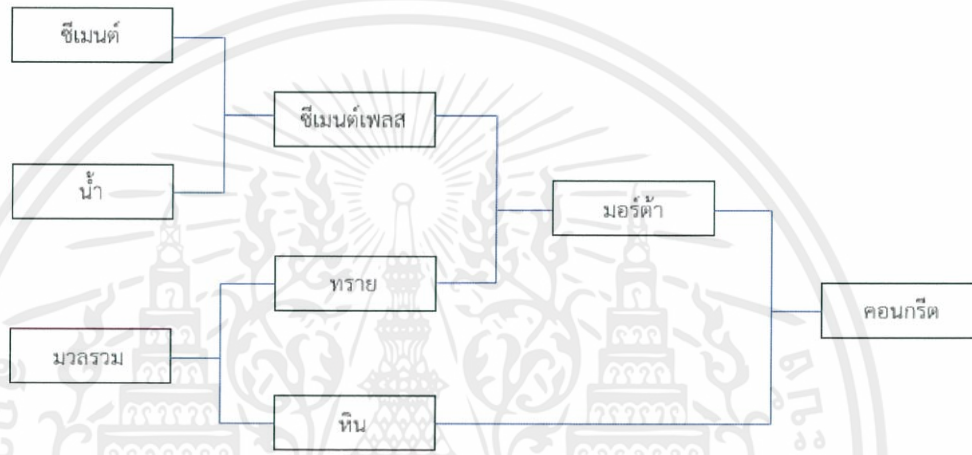
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเมื่อนำปูนซีเมนต์มาผสมกับวัสดุต่าง ๆจะมีชื่อเรียกเฉพาะดังนี้

1) ซีเมนต์เพสต์ต์ (cement paste) เกิดจากปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำและน้ำยาผสมคอนกรีตทำหน้าที่เสริมช่องว่างระหว่างมวลรวม หล่อลื่นคอนกรีตสดขณะเทหรือหล่อ ให้กำลังแก่คอนกรีตและป้องกันการซึมผ่านของน้ำ

2) มอร์ตาร์ (motar) เกิดจากซีเมนต์เพสต์ต์ผสมกับทราย ใช้ในงานก่อหรือฉาบ

3) คอนกรีต (concrete) เกิดจากมอร์ตาร์ผสมกับหินหรือกรวด ใช้ในงานโครงสร้าง



รูปที่ 2.2 ส่วนผสมของปูนซีเมนต์

2.2 คอนกรีต

คอนกรีต คือ วัสดุก่อสร้างที่ประกอบด้วยส่วนผสมของวัสดุต่าง ๆ คือ ปูนซีเมนต์ มวลรวม น้ำ และสารเคมีผสมเพิ่มต่าง ๆ เมื่อผสมกันแล้วจะมีสภาพเหลวอยู่ช่วงหนึ่ง สามารถเทลงแบบก่อสร้างได้ และจะแข็งตัวในเวลาถัดมา สามารถรับน้ำหนักหรือแรงกดได้มากตามการออกแบบของส่วนผสม

ส่วนประกอบของคอนกรีต ประกอบด้วย

2.2.1 ปูนซีเมนต์ (cement)

ซีเมนต์เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติเหนียวเกาะ มีลักษณะเป็นตัวเชื่อมประสาน ให้วัสดุและส่วนต่างๆให้เป็นเนื้อเดียวกันหรือโครงสร้างเดียวกัน ซึ่งปูนซีเมนต์แต่ละชนิดจะมีหน้าที่และการใช้งานในโครงสร้างหรืองานต่าง ๆ ตามการเลือกใช้ ซึ่งรายละเอียดต่างๆ กล่าวไปแล้วในหัวข้อ2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 มวลรวม (aggregate)

มวลรวมเป็นวัสดุที่ใช้ลดการใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ในคอนกรีต ช่วยเสริมกำลังรับน้ำหนักของคอนกรีต การป้องกันการยืดหดตัว และเพื่อทดทานต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ ในการใช้งาน ซึ่งมวลรวมที่ใช้ในงานคอนกรีตมีหลายขนาด ตั้ง 1/10มิลลิเมตร ไปจนถึงหลักเซนติเมตร โดยสามารถแบ่งออกตามขนาดได้ดังนี้ (วินิต ช่อวิเชียร. 2539)

- มวลรวมละเอียด (fine aggregates) เป็นมวลรวมขนาดเล็ก ที่มีขนาดตั้งแต่ 75 ถึง 4.75 มิลลิเมตร เช่น ทราย ดินเหนียว

- มวลรวมหยาบ (coarse aggregates) เป็นมวลรวมที่มีขนาดตั้งแต่ 4.75 มิลลิเมตรขึ้นไป เช่น หิน กรวด

คุณสมบัติของมวลรวม

- ความแข็งแกร่ง (strength) วัสดุผสมต้องมีความสามารถรับกำลังได้ไม่น้อยกว่ากำลังของคอนกรีต

- ความทนทานต่อการกัดกร่อน (abrasion resistance) วัสดุต้องมีความคงทนต่อแรงกระแทกและการเสียดสี

- ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เป็นวัสดุที่มีความสัมพันธ์กับความพรุนและคุณสมบัติการดูดซึมของวัสดุ วัสดุต้องมีความพรุนเพื่อดูดซึมน้ำ ให้สามารถหดหรือขยายตัวในสภาพต่างๆ

- ความคงตัวต่อปฏิกิริยาเคมี (chemical Stability) วัสดุต้องไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับปูนซีเมนต์

- ลักษณะรูปร่างและผิว (particle shape and surface texture) วัสดุต้องมีผิวหยาบ มีเหลี่ยม คม เพื่อช่วยในการยึดเหนี่ยว และยังมีผลต่อความสามารถในการเท

- ความสะอาด (cleanliness) วัสดุต้องสะอาด ปราศจากสิ่งสกปรกหรือสิ่งเจือปน

- ส่วนขนาดคละ (gradation) วัสดุต้องมีหลายขนาดคละกัน เพื่อช่วยในการจัดเรียงและลดช่องว่าง

2.2.3 น้ำ (Water)

น้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญในการผลิตคอนกรีต โดยทำหน้าที่เป็น น้ำผสมคอนกรีต น้ำล้างมวลรวม และน้ำบ่มคอนกรีต ซึ่งคุณภาพและปริมาณของน้ำยังมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต เช่น การก่อตัว กำลัง ความคงทนของคอนกรีต ดังนั้นน้ำจะต้องสะอาด มีความขุ่นไม่เกิน 2000 ppm ปราศจากกรด ด่าง น้ำมันและสารอินทรีย์อื่นๆ ในปริมาณที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีตและเหล็กเสริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.1 หน้าที่ของน้ำสำหรับงานคอนกรีต

1) น้ำผสมคอนกรีต

- ใช้ผสมกับปูนซีเมนต์ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ซึ่งมีผลต่อกำลัง ความคงทนของคอนกรีต และความสามารถในการใช้งานของคอนกรีตสด
- ใช้เคลือบผิวของมวลรวมให้เปียก เพื่อให้ปูนซีเมนต์สามารถยึดเกาะและแข็งตัว
- ใช้หล่อลื่นวัสดุต่างๆ ให้มีความเหลว สามารถเทหรือลงแบบได้

2) น้ำล้างมวลรวม

- ใช้ล้างมวลรวมให้มีความสะอาดพอที่จะนำมาใช้ผสมคอนกรีตได้

3) น้ำบ่มคอนกรีต

- ใช้บ่มคอนกรีตให้มีกำลังเพิ่มขึ้น และ ป้องกันการแตกร้าวเนื่องจากการสูญเสียน้ำของคอนกรีต

2.2.3.2 สารเจือปนในน้ำ

สารเจือปนในน้ำ เช่น ฝุ่น น้ำมัน กรด ด่างและสารอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งถ้าในน้ำมีสารเจือปนเหล่านี้ในปริมาณที่มากเกินไป อาจมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ในคอนกรีตได้

ตารางที่ 2.5 สารเจือปนในน้ำและผลกระทบต่อคุณสมบัติของคอนกรีต (ชัชวาล เศรษฐบุตร. 2548)

สารเจือปน	รายละเอียด
เกลือคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนต	ปริมาณการเจือปน จะทำให้คอนกรีตก่อตัวเร็วขึ้นหรือช้าลง ถ้ามีมากกว่า 0.01% จะทำให้กำลังของคอนกรีตลดต่ำลง
เกลือแร่เหล็ก	ทำให้กำลังของคอนกรีตลดลง
เกลือของแมงกานีส	ทำให้ระยะเวลาการก่อตัวและแข็งตัวช้าลง และกำลังของคอนกรีตก็จะลดลง
เกลือโซเดียมคลอไรด์และซัลเฟต	ทำให้กำลังของคอนกรีตลดลง
น้ำทะเล	- ทำให้คอนกรีตก่อตัวและแข็งตัวเร็วขึ้น - ทำให้กำลังในช่วงแรกของคอนกรีตเพิ่มขึ้น แต่ในระยะยาวกำลังจะลดลง เนื่องจากเกลือซัลเฟตจะทำให้การตกผลึกของ Ettringite ช้าลง - ไอออนของคลอไรด์มีผลต่อการกัดกร่อนของเหล็กเสริม - ไม่ควรใช้น้ำทะเลในการก่อสร้างเนื่องจากจะทำให้เหล็กเสริมในคอนกรีตเป็นสนิม
กรดและด่าง	มีผลต่อกำลังและการก่อตัวของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและน้ำโสโครก	อาจทำให้กำลังของคอนกรีตลดลง
น้ำตาล	ถ้ามีปริมาณน้ำตาลตั้งแต่ 300-1500 มิลลิกรัม จะทำให้การก่อตัวช้าลง แต่ถ้ามีปริมาณมากกว่า 2000 มิลลิกรัม/ลิตร จะทำให้คอนกรีตก่อตัวเร็วขึ้น
ฝุ่นหรือผง	ไม่มีผลต่อกำลังของคอนกรีต แต่อาจจะมีผลต่อคุณสมบัติอื่น ๆ ของคอนกรีต
น้ำมัน	ทำให้คุณภาพและกำลังของคอนกรีตลดลง
ตะไคร่น้ำ	- ทำให้กำลังของคอนกรีตลดลง - การยึดเหนี่ยวของคอนกรีตลดลง - เกิดช่องว่างและรูพรุนในคอนกรีต

2.2.4 สารผสมเพิ่มหรือน้ำยาผสมคอนกรีต (Concrete Admixture)

สารที่ใช้เพิ่มลงไปในคอนกรีตเพื่อปรับปรุงหรือเพิ่มประสิทธิภาพคอนกรีต โดยสามารถแบ่งได้เป็น3 ชนิด คือ แร่ผสมเพิ่ม (mineral Admixture) สารเคมีผสมเพิ่ม (chemical Admixture) และสารผสมเพิ่มอื่น (วินิต ช่อวิเชียร. 2539)

1) แร่ผสมเพิ่ม (mineral Admixture) หมายถึง สารที่เมื่อผสมในคอนกรีตแล้วสามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานได้ เช่น เถ้าลอย (fly ash) ผงซิลิกา (silica fume) เถ้าภูเขาไฟ (volcanic ash) เป็นต้น สารที่ทำปฏิกิริยาไฮเดรชันเมื่อผสมน้ำ สารที่ใช้เปลี่ยนสีคอนกรีต โพลิเมอร์ และสารเติมเต็ม

2) สารเคมีผสมเพิ่ม (chemical Admixture) หมายถึงสารที่ผสมในคอนกรีตเพื่อเพิ่มคุณสมบัติต่าง ๆในคอนกรีต เช่น เพิ่มความสามารถในทำงาน เพิ่มกำลัง ลดน้ำ เป็นต้น

3) สารผสมเพิ่มอื่น ๆ เช่น สารผสมเพิ่มเพื่อช่วยในการปั้มคอนกรีต

ซึ่งโดยทั่วไปเรานิยมใช้กลุ่มของสารผสมเพิ่มอย่างแพร่หลาย เพื่อดัดแปลงคุณสมบัติต่างๆในคอนกรีตซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 7ประเภท ตามมาตราฐาน ASTM ดังนี้ (ปิติ สุคนธสุขกุล. 2556)

ประเภท A สารลดน้ำ (water-reducing admixture)

ประเภท B สารหน่วงการก่อตัว (retarding admixture)

ประเภท C สารเร่งการการก่อตัว (accelerating admixture)

ประเภท D สารลดน้ำและหน่วงการก่อตัว (water- reducing and retarding admixture)

ประเภท E สารลดน้ำและเร่งการก่อตัว (water- reducing and accelerating admixture)

ประเภท F สารลดน้ำพิเศษ (water- reducing high range admixture)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภท G สารลดน้ำพิเศษและหน่วงการก่อตัว (water- reducing high range and retarding admixture)

สารเคมีผสมเพิ่มมีมากมายหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดนั้นจะสามารถเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีตแตกต่างกันไป โดยในกลุ่ม AและF จะเป็นสารที่ใช้ในการปรับปรุงความสามารถในการเท จะทำให้ค่าการยุบตัว (slump) เพิ่มขึ้น แต่ปริมาณน้ำในส่วนผสมยังคงเดิม กลุ่มBและC จะเป็นสารเคมีที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันและการก่อตัวของคอนกรีตในช่วงเริ่มต้น และในกลุ่ม D EและG จะเป็นการผสมผสานกันระหว่างทั้ง2กลุ่มที่กล่าวมา โดยจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้

นอกจากนั้นยังสารผสมประเภทอื่น ๆ ที่ผลิตขึ้นเฉพาะเจาะจง เช่น สารกระจายกักฟองอากาศ (air-entraning admixtures) สารกันซึม (waterproofing admixtures) และสารทำให้เกิดสี (coloring admixtures) เป็นต้น

2.3 คอนกรีตสด

คอนกรีตสด คือ คอนกรีตที่คงสภาพเหลวอยู่ชั่วขณะหนึ่งก่อนที่จะแข็งตัวในเวลาต่อมา ซึ่งคอนกรีตสดที่ดีจะต้องมีความข้นเหลวสม่ำเสมอ มีความสามารถนำไปเทเข้าแบบได้ดี ไม่มีการแยกตัวในขณะลำเลียง มีระยะเวลาการก่อตัวนานมากพอที่จะทำงานได้ และมีปริมาณฟองอากาศที่เหมาะสม ซึ่งคุณสมบัติต่างๆ จะส่งผลต่อคุณภาพและการนำไปใช้งานของคอนกรีตดังนี้ (ปิติ สุคนธสุขกุล. 2556)

2.3.1 ความสามารถเทได้ (Workability)

ความสามารถเทได้ คือ การที่คอนกรีตสดสามารถไหลเข้าแบบหล่อได้ดี ทำให้อัดแน่นปราศจากรูโพรงหรือช่องว่างได้โดยง่าย และไม่เกิดการแยกตัว ซึ่งปัจจัยที่จะส่งผลต่อความสามารถเทได้ เช่น น้ำ สัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ชนิดของปูนซีเมนต์ ขนาดของมวลรวม และการคละกันของมวลรวม

2.3.2 การแยกตัว (Segregation)

การแยกตัวของวัสดุที่ใช้ผสมคอนกรีต โดยแรงยึดเหนี่ยวกันระหว่างวัสดุกับปูนซีเมนต์มีค่าน้อยลง ทำให้เนื้อคอนกรีตไม่สม่ำเสมอ มีผลทำให้เกิดการแยกตัวของเนื้อคอนกรีต ซึ่งสามารถแบ่งการแยกตัวออกได้เป็น 2 แบบ คือ การแยกตัวที่เกิดจากหินแยกตัวออกจากทราย กับ การแยกตัวเนื่องจากคอนกรีตมีความข้นเหลวมากเกินไป ทำให้น้ำปูนซีเมนต์แยกตัวออกจากมวลรวม ทำให้แรงยึดเหนี่ยวมีค่าน้อยลงด้วย ซึ่งการแยกตัวทั้ง 2แบบ มีผลทำให้คอนกรีตขาดคุณสมบัติการยึดเหนี่ยวและยังส่งผลต่อกำลังของคอนกรีต ปัจจัยที่จะส่งผลต่อการแยกตัว เช่น การใช้วัสดุผสมไม่เหมาะสม การผสม การเท และระยะทาในการลำเลียงคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การเยิ้มน้ำ (Bleeding)

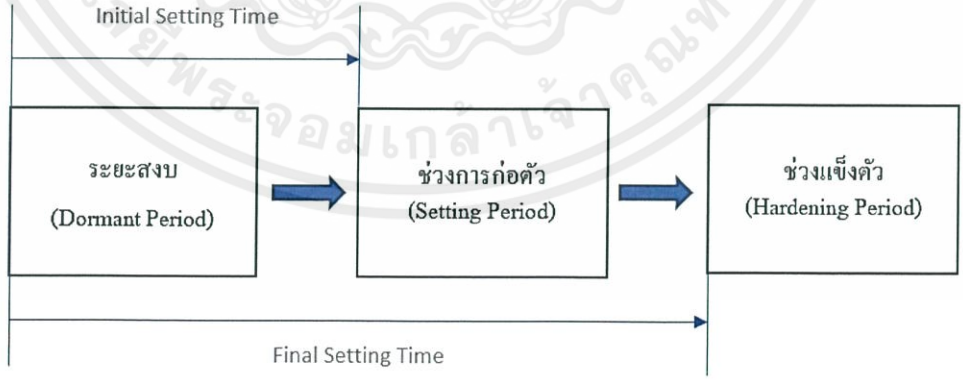
การเยิ้มน้ำ หรือ การคายน้ำของคอนกรีต เกิดขึ้นหลังจากการเทคอนกรีตลงแบบใหม่ๆ ยังไม่ถูกกระทบกระเทือน น้ำจะถูกดันขึ้นมาด้านบนเนื่องจากมวลรวมที่มีน้ำหนักมากกว่าจะจมลงด้านล่าง ทำให้มีน้ำเยิ้มขึ้นมาบนผิวด้านบนของคอนกรีต และการเยิ้มจะหยุดลงเมื่อซีเมนต์เพสต์แข็งตัวพอที่จะหยุดการจมลงได้ มีผลทำให้คอนกรีตด้านบนมีความหนาแน่นต่ำ มีกำลังน้อยกว่าคอนกรีตด้านล่าง และทำให้ผิวของคอนกรีตไม่สวยงาม หลุดร่อนได้

2.3.4 ปริมาณฟองอากาศ (Air Entrainment)

ฟองอากาศในคอนกรีตมีลักษณะเป็นช่องว่างกระจายอยู่ทั่วไปในคอนกรีต ซึ่งถ้ามีปริมาณฟองอากาศมากเกินไป จะทำให้กำลังและความคงทนของคอนกรีตลดลง แต่ในทางตรงกันข้าม ถ้ามีน้อยเกินไปก็ทำให้ความสามารถในการเทลดลงเช่นกัน ดังนั้นปริมาณฟองอากาศที่เหมาะสม จะช่วยลดปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต เพื่อช่วยให้ทำงานง่ายขึ้น ลดการเยิ้มและการแยกตัว

2.3.5 การก่อตัว (Setting)

การก่อตัว คือ การเปลี่ยนสภาพของคอนกรีตจากของเหลวเป็นของแข็ง ซึ่งเป็นสภาวะที่คอนกรีตเริ่มสูญเสียความสามารถในการทำงานได้ (workability loss) และเป็นจุดเริ่มต้นของก่อนแข็งตัว โดยการก่อตัวจะเริ่มขึ้นเมื่อปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำแล้ว 2-3 ชั่วโมง ซึ่งระยะเวลาการก่อตัวสามารถแบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือการก่อตัวตั้งต้น(initial set) จะเริ่มนับตั้งแต่การผสมปูนซีเมนต์กับน้ำไปจนถึงการสิ้นสุดระยะสงบ และการก่อตัวสุดท้าย(final set) จะเริ่มนับตั้งแต่การผสมปูนซีเมนต์กับน้ำไปจนเข้าสู่การเริ่มแข็งตัวของคอนกรีต



รูปที่ 2.3 ช่วงการก่อตัวของซีเมนต์ (ปิติ สุคนธสุขกุล. 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ของเสียในอุตสาหกรรมก่อสร้าง

คอนกรีตเป็นวัสดุสำคัญในอุตสาหกรรมก่อสร้างและงานโครงสร้างต่างๆ โดยของเสียที่เกิดจากคอนกรีต มีปริมาณเป็น 50% ของปริมาณของเสียทั้งหมดในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ที่เกิดจากการสร้าง การรื้อถอนและ ทำลายสิ่งก่อสร้างต่างๆ เรียกว่า คอนกรีตเหลือใช้ และยังมีของเสียอื่นๆ เช่น เหล็กรูปพรรณ ไม้แบบ เป็นต้น (Aynur Kazaz. 2559) ปูนซีเมนต์เป็นส่วนประกอบหลักในส่วนผสมของคอนกรีต ซึ่งในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์จะต้องใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างมากได้แก่ วัตถุดิบ พลังงาน และเชื้อเพลิง จึงเป็นสาเหตุสำคัญต่อสิ่งแวดล้อมทั้งขยะ มลพิษและของเสีย ซึ่งการผลิตปูนซีเมนต์ 1 กิโลกรัมจะก่อให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ 0.83 กิโลกรัม โดยคิดเป็น 5-7% ของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั่วโลกและยังมีการปล่อยสารก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์(SO_2) ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์(NO_x) และสารมลพิษอื่นๆที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Martha Georgiopoulou. 2560)

2.4.1 ประเภทของคอนกรีตเหลือใช้

อุตสาหกรรมก่อสร้างก่อให้เกิดคอนกรีตเหลือใช้ในปริมาณมาก สามารถเกิดขึ้นในทุกกระบวนการต่างๆทั้งในกระบวนการผลิตและกระบวนการก่อสร้าง ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท (Aynur Kazaz. 2559)

1) คอนกรีตที่สั่งมากเกินไป (over-ordered concrete) ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ผู้ผลิตไม่สามารถที่จะควบคุมปริมาณ ส่วนผสมเฉพาะ เพื่อตอบสนองความต้องการเฉพาะให้ลูกค้าในแต่ละรายให้เหมาะสมในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งอาจก่อให้เกิดคอนกรีตที่เหลือจากการสั่งซื้อได้

2) คอนกรีตที่เกิดจากกระบวนการก่อสร้าง (leftover concrete) ในแต่ละกระบวนการก่อสร้าง อาจมีการรื้อถอนหรือคอนกรีตที่ตกหล่น และในกระบวนการก่อสร้างในแต่ละวัน จะมีการล้างทำความสะอาดถังผสมหรือปั๊มคอนกรีต ซึ่งก่อให้เกิดคอนกรีตเหลือใช้ ปริมาณคอนกรีตสดที่ใช้ในการก่อสร้างในแต่ละวันจะก่อให้เกิดขยะคอนกรีต 8-10 ตัน คิดเป็น 0.4-0.5% ของการก่อสร้าง

2.4.2 การจัดการคอนกรีตเหลือใช้

เนื่องจากปริมาณคอนกรีตเหลือใช้มีปริมาณมหาศาลและยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงมีวิธีการในการควบคุม จัดการคอนกรีตเหล่านี้ให้เหมาะสม ดังต่อไปนี้

1) จับคู่ระหว่างผู้ผลิตและผู้ซื้อให้เหมาะผสม

2) นำไปผสมกับคอนกรีตล็อตใหม่

3) ใส่สารเคมีผสมเพิ่ม

4) นำไปผลิตชิ้นสำเร็จรูป (Pre-cast concrete)

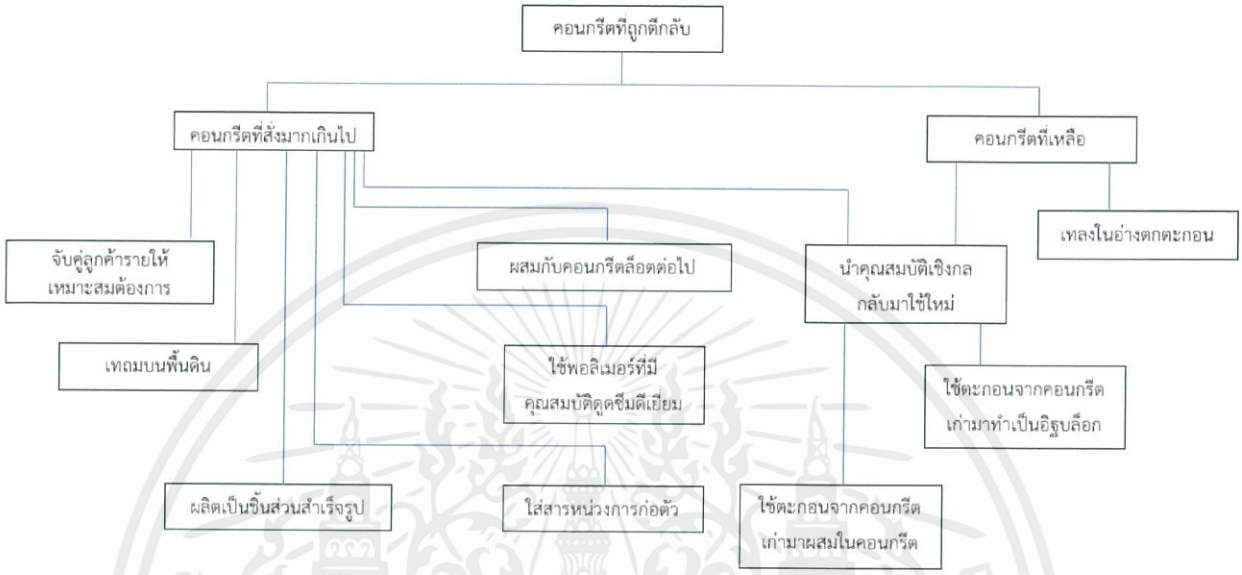
5) เทถมลงสู่พื้นดิน

6) เทลงในอ่างตกตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) ใช้ตะกอนจากคอนกรีตเก่ามาทำเป็นอิฐบล็อก

8) ใส่พอลิเมอร์ดูดซับ



รูปที่ 2.4 กระบวนการต่างๆในการนำขยะคอนกรีตกลับมาใช้ประโยชน์ (Aynur Kazaz. 2559)

จากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของคอนกรีตสดเหลือใช้จากอุตสาหกรรมการก่อสร้าง จึงมีการศึกษาการนำกลับมาใช้ใหม่ของคอนกรีตสด โดยมีกระบวนการแยกส่วนประกอบของคอนกรีตสดออก ให้ได้เป็นผงปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่ และทดสอบคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติทางเคมีของผงปูนซีเมนต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติต่างๆกับปูนซีเมนต์ปกติในบทที่ 3 ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

การศึกษาการนำกลับมาใช้ใหม่ของคอนกรีตสดในที่นี้ ใช้ซีเมนต์เพสต์ในการทดลอง เพราะต้องการศึกษาปฏิกิริยาไฮเดรชันในการผสมคอนกรีต แต่มวลรวมหยาบคือหินและมวลรวมละเอียดคือทราย เป็นวัสดุเฉื่อย ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีในการผสมคอนกรีต จึงใช้ซีเมนต์เพสต์ซึ่งประกอบด้วยปูนซีเมนต์ น้ำ และสารผสมเพิ่มในการทดลองแทน

3.1 การนำกลับมาใช้ใหม่ของปูนซีเมนต์

การทดลองการนำกลับมาใช้ใหม่ของปูนซีเมนต์ ประกอบด้วยขั้นตอน 3 ส่วน ดังนี้

1) การเตรียมตัวอย่าง เป็นการผสมปูนซีเมนต์เพื่อผลิตปูนซีเมนต์เหลือใช้หรือซีเมนต์เพสต์สำหรับใช้ในกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ โดยผสมปูนซีเมนต์ปกติกับน้ำ และอาจมีการใส่สารผสมเพิ่ม รอให้ซีเมนต์เพสต์หมดอายุหลังจากการผสม 2 และ 4 ชั่วโมง

2) กระบวนการนำปูนซีเมนต์กลับมาใช้ใหม่ เป็นกระบวนการนำปูนซีเมนต์ที่ได้จากการเตรียมตัวอย่าง มาหยุดปฏิกิริยาไฮเดรชันโดยการอบ เพราะในการก่อสร้างโดยทั่วไปคอนกรีตที่สั่งมาจากผู้ผลิตจะมีประสิทธิภาพในการใช้งานภายในเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นคอนกรีตจะสูญเสียการยุบตัว ทำให้ความสามารถในการเทเข้าแบบลดลง หลังจากการอบซีเมนต์เพสต์จนแห้งแล้ว นำซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวนั้นมาบดให้ละเอียด สามารถร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ได้ เพื่อให้ได้ผงปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่ที่มีขนาดใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปกติมากที่สุด

3) การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของผงปูนซีเมนต์ปกติและผงปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่ เป็นการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปกติ และปูนซีเมนต์ที่ได้จากการนำกลับมาใช้ใหม่หลายๆตัวอย่าง

3.2 การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างปูนซีเมนต์สำหรับใช้ในกระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ มีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 ตัวอย่างปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการทดลอง มีการแยกประเภทตามชนิดและเวลาที่รอให้ซีเมนต์เพสต์หมดอายุ ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ปูนซีเมนต์ปกติ

- ปูนซีเมนต์ปกติ คือปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้ผ่านการนำกลับมาใช้ใหม่ สำหรับใช้ในการก่อสร้างทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มที่ 2 ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่

- ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมง คือ ปูนซีเมนต์ที่ได้จากการหยุดปฏิกิริยาไฮเดรชันไว้ที่ 2 ชั่วโมงของปูนซีเมนต์ปกติหลังจากการผสม

- ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมง คือ ปูนซีเมนต์ที่ได้จากการหยุดปฏิกิริยาไฮเดรชันไว้ที่ 4 ชั่วโมงของปูนซีเมนต์ปกติหลังจากการผสม

กลุ่มที่ 3 ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่แบบใส่สารหน่วงการก่อตัว มีการใส่สารหน่วงการก่อตัวเพื่อหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชันในปูนซีเมนต์

- ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมงแบบใส่สารหน่วงการก่อตัว คือ ปูนซีเมนต์ที่ได้จากการหยุดปฏิกิริยาไฮเดรชันไว้ที่ 2 ชั่วโมงของปูนซีเมนต์ปกติใส่สารหน่วงการก่อตัวหลังจากการผสม

- ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมงแบบใส่สารหน่วงการก่อตัว คือ ปูนซีเมนต์ที่ได้จากการหยุดปฏิกิริยาไฮเดรชันไว้ที่ 4 ชั่วโมงของปูนซีเมนต์ปกติใส่สารหน่วงการก่อตัวหลังจากการผสม

ใช้สารผสมเพิ่มประเภท D ซึ่งเป็นสารลดน้ำและหน่วงปฏิกิริยา ปริมาณร้อยละ 2.5 ของปริมาณรวม

3.2.2 การผสมซีเมนต์เพสต์ เป็นการผสมซีเมนต์เพสต์เพื่อการผลิตปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 30 เปอร์เซนต์ เพราะซีเมนต์เพสต์ที่ได้จะสามารถเทใส่ถาดได้ดี ไม่เหลวหรือแห้งจนเกินไป

วัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการผสมซีเมนต์เพสต์ มีดังนี้

1) ปูนซีเมนต์ที่ได้จากการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ปริมาณ 3000 กรัม

2) น้ำ ปริมาตร 900 มิลลิลิตร

3) สารหน่วงการก่อตัวของปูนซีเมนต์ เป็นสารผสมเพิ่มประเภท D ซึ่งเป็นสารลดน้ำและหน่วงการก่อตัว (Water-Reducing and Retarding Admixture) ใส่ในตัวอย่างปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่แบบใส่สารหน่วงการก่อตัว โดยจะใส่ในน้ำที่ตวงไว้ก่อนการผสม ปริมาณร้อยละ 2.5 ของปริมาณรวม

4) เครื่องผสมปูนซีเมนต์

5) เครื่องชั่งที่มีความละเอียดถึง 0.1 กรัม

6) กระบอกตวงน้ำ

7) เกรียงเหล็ก ใช้ในการตกแต่งผิวหน้าปูนซีเมนต์

8) ถาดเหล็ก ใช้ใส่ปูนซีเมนต์หลังจากการผสม จำนวน 3 ถาด

9) เตาอบที่มีอุณหภูมิถึง 200 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการผสมซีเมนต์เพสต์ มีดังนี้

1) เตรียมปูนซีเมนต์ น้ำ และเครื่องผสม

2) ใส่ปูนซีเมนต์และน้ำ ในเครื่องผสมทีละน้อย โดยเปิดเครื่องผสมเบอร์ 1 โดยจับเวลาตั้งแต่เริ่มผสม แล้วปล่อยให้เครื่องผสมทำงานไปเรื่อยๆเป็นเวลา 20 นาที เพื่อให้ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำอย่างเต็มที่

3) หลังจากครบเวลา 20 นาที ให้ปิดเครื่องผสม แล้วเทซีเมนต์เพสต์ที่ได้ลงในถาดแล้วใช้เกรียงเกลี่ยให้บาง ไม่ให้หนามาก เพื่อให้ง่ายต่อการบด

4) ตั้งทิ้งไว้รอเวลาให้ซีเมนต์เพสต์มีอายุ 2 และ 4 ชั่วโมงหลังจากเริ่มผสม เป็นตัวอย่างสำหรับใช้ในกระบวนการนำปูนซีเมนต์กลับมาใช้ใหม่ต่อไป

3.3 กระบวนการนำปูนซีเมนต์กลับมาใช้ใหม่

กระบวนการนำปูนซีเมนต์กลับมาใช้ใหม่ มีขั้นตอนดังนี้

3.3.1 การอบซีเมนต์เพสต์ เป็นการเร่งการระเหยของน้ำออกจากซีเมนต์เพสต์ให้เร็วที่สุด เพื่อหยุดปฏิกิริยาไฮเดรชันหรือทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันน้อยที่สุด โดยการนำตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ที่ได้เตรียมไว้ มาใส่ในเตาอบที่ได้อุ่นเครื่องไว้ โดยตั้งอุณหภูมิที่ 200 องศาเซลเซียส อบทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ให้ซีเมนต์เพสต์แห้งอย่างเต็มที่ เมื่อครบเวลาแล้ว ให้นำซีเมนต์เพสต์ออกจากเตาอบ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นเพื่อรอการบดละเอียดต่อไป

3.3.2 การบดซีเมนต์เพสต์ การบดซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้วนั้น ต้องใช้พลังงานในการบดอัดค่อนข้างมากเพื่อให้ผงซีเมนต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่สามารถร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ได้

เครื่องมือที่ใช้ในการบดซีเมนต์เพสต์ มีดังนี้

- ที่บดและที่รองบดเซรามิก
- เครื่องทดสอบลอสแองเจลิส (Los angeles abrasion machine) เป็นเครื่องทดสอบความแกร่งของมวลรวมหยาบ ประกอบด้วยถังเหล็กรูปทรงกระบอกกลวงมีแกนหมุน สามารถบรรจุลูกเหล็กและมวลรวมหยาบเพื่อการทดสอบได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.1
- ตะแกรงเบอร์ 200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 เครื่องทดสอบลอสแองเจลิส

ขั้นตอนการบดซีเมนต์เพสต์ มีดังนี้

1) นำซีเมนต์เพสต์ที่ผ่านการอบแล้วใช้ที่บดเซรามิกทุบให้ซีเมนต์เพสต์มีขนาดเล็กลง จากนั้นนำไปใส่ในเครื่องทดสอบลอสแองเจลิส โดยทำการปิดฝาเครื่องให้แน่น แล้วเปิดเครื่องให้ทำงานไปเป็นเวลา 20 นาที

2) เมื่อครบเวลา 20 นาที ปิดเครื่อง นำผงซีเมนต์ที่ได้มาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200

3) หากมีผงซีเมนต์ส่วนที่ร่อนไม่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ให้ใช้ที่บดและที่รองบดเซรามิกในการบดจนกว่าจะร่อนผ่านตะแกรงได้หมด

3.4 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของผงปูนซีเมนต์ปกติและผงปูนซีเมนต์ที่ได้จากการนำกลับมาใช้ใหม่

ใช้การทดสอบปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี ตามมาตรฐาน ASTM ดังนี้ (คมสัน มาลีสี. 2557)

1) การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของผงปูนซีเมนต์

2) การทดสอบหาความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์เพสต์

3) การทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นของซีเมนต์เพสต์

4) การทดสอบหาความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์มอร์ตาร์

5) การทดสอบหากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์

<u>หมายเหตุ</u> ใช้ปูนซีเมนต์ที่ได้จากการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ทุกครั้งในการทดสอบ เพื่อควบคุมพื้นที่ผิวของปูนซีเมนต์ในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของผงปูนซีเมนต์ (Test for specific gravity of cement powder)

มาตรฐานการทดสอบ : ASTM: C150 - 84

วัตถุประสงค์ : เพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์

วัสดุและอุปกรณ์ :

1) ปูนซีเมนต์ ใช้ครั้งละ 50 กรัม

2) น้ำมันก๊าด ใช้ครั้งละประมาณ 250 มิลลิลิตร

3) ขวดแก้ว Le Chatelier มีลักษณะคอขวดเป็นก้านยาวมีกระเปาะกลมตรงก้นขวด ดังรูปที่ 3.2

4) เครื่องชั่ง ที่มีความละเอียด 0.1 กรัม

5) ถาดควบคุมอุณหภูมิ

6) กรวยก้านยาว

7) ผ้าแห้ง

8) เทอร์โมมิเตอร์

ขั้นตอนการทดสอบ :

1) เติมน้ำมันก๊าดลงในขวดแก้ว Le Chatelier ประมาณ 250 มิลลิลิตร

2) นำขวดแก้วแช่ในถาดใส่น้ำที่ทราบอุณหภูมิเป็นเวลา 30 นาที

3) เมื่อครบเวลา 30 นาทีแล้ว นำขวดแก้วไปชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าน้ำหนักเป็น w_1 และค่าปริมาตรของน้ำมันก๊าดในขวดเป็น n_1

4) เติมปูนซีเมนต์ลงในขวดแก้ว โดยใช้กรวยก้านยาววางตรงปากขวดแก้ว

5) ปิดฝาขวดแก้ว แล้วกลิ้งขวดแก้วไปมาบนผ้าแห้ง เพื่อให้ปูนซีเมนต์กระจายในน้ำมันก๊าดอย่างทั่วถึง

6) นำขวดแก้วไปแช่ในถาดใส่น้ำต่อเป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบแล้วให้นำขวดแก้วออกมาชั่ง บันทึกค่าน้ำหนักเป็น w_2 และปริมาตรน้ำมันก๊าดในขวดแก้วเป็นค่า n_2

การคำนวณ :

น้ำหนักของปูนซีเมนต์ในขวดแก้ว = น้ำหนัก w_2 – น้ำหนัก w_1

ปริมาตรของปูนซีเมนต์ในขวดแก้ว = ปริมาตร n_2 – ปริมาตร n_1

$$\text{ความหนาแน่นของปูนซีเมนต์} = \frac{\text{น้ำหนักของปูนซีเมนต์ในขวดแก้ว}}{\text{ปริมาตรของปูนซีเมนต์ในขวดแก้ว}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์} = \frac{\text{ความหนาแน่นของปูนซีเมนต์}}{\text{ความหนาแน่นของน้ำ}}$$

รูปที่ 3.2 ขวดแก้ว Le Chatelier

3.4.2 การทดสอบหาความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์เพสต์ (Test for consistency of cement paste)

มาตรฐานการทดสอบ : ASTM: C187 – 86 (91)

วัตถุประสงค์ : เพื่อหาอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้งาน

วัสดุและอุปกรณ์ :

1) ปูนซีเมนต์ ใช้ครั้งละ 300 กรัม
2) น้ำสะอาด
3) อุปกรณ์ไวแคท (Vicat Apparatus) ดังรูปที่ 3.3
4) เครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.1 กรัม
5) กระบอกตวง ขนาด 100 มิลลิลิตร
6) นาฬิกาจับเวลา
7) เกรียงเหล็ก
8) ถาดผสมปูน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 อุปกรณ์ไวแคทปลาย plunger

ขั้นตอนการเตรียมซีเมนต์เพสต์ :

1) สวมถุงมือยางและเตรียมอุปกรณ์ คำนวณปริมาณน้ำที่ใช้จากอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 25 เปอร์เซนต์ เพราะอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ปกติมีค่าระหว่าง 25 - 35 เปอร์เซนต์ต่อน้ำหนักซีเมนต์

2) เกลี่ยปูนซีเมนต์เป็นกองในถาดผสม ทำให้ด้านบนเป็นแอ่งตรงกลางไว้ใส่น้ำ

3) เทน้ำในแอ่งของปูนซีเมนต์ เกลี่ยปูนซีเมนต์รอบๆเข้ามาในแอ่ง โดยใช้เวลาไม่เกิน 30 วินาที ตั้งแต่เริ่มใส่น้ำ แล้วปล่อยให้น้ำซึมอีก 30 วินาที

4) ผสมปูนซีเมนต์โดยการใช้มือ เป็นเวลา 1.30 นาที แล้วปั้นให้เป็นลูกกลม โยนไปมาระหว่างสองมือ 5-6 ครั้ง

5) ใส่ซีเมนต์เพสต์ในแบบกรวยของอุปกรณ์ไวแคท ใช้แผ่นพลาสติกใสรองด้านล่าง แล้วใช้เกรียงเหล็กปาดแต่งผิวหน้าซีเมนเพสต์ให้เรียบ รวมเวลาที่ใช้ผสมทั้งหมดไม่เกิน 5 นาที

ขั้นตอนการทดสอบหาค่าความข้นเหลว :

1) นำกรวยใส่ซีเมนต์เพสต์ที่เตรียมไว้ วางไว้ตรงกลางแท่นของอุปกรณ์ไวแคท ให้ตรงกับแท่งเหล็ก

2) ปรับแท่งเหล็กด้าน plunger ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 มิลลิเมตร เลื่อนลงมาแตะผิวหน้าของซีเมนต์เพสต์ ล็อกไว้ด้วยสกรู ปรับให้เข็มบนหน้าปัดอยู่ตำแหน่ง 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) คลายสกรูให้แท่งเหล็กตกลงในซีเมนต์เพสต์ พร้อมกับจับเวลา 30 วินาที บันทึกค่าบนหน้าปัด โดยความข้นเหลวของซีเมนต์เพสต์ที่เหมาะสมจะอยู่ที่ระยะจมของปลาย plunger ในซีเมนต์เพสต์เท่ากับ 10±1 มิลลิเมตร

4) ทดสอบซ้ำอีก 2-3 ครั้ง เพื่อเก็บค่าระยะจม และเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะจมกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ อ่านค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสมที่ระยะจมเท่ากับ 10±1 มิลลิเมตร

3.4.3 การทดสอบหาเวลาการก่อตัวขั้นต้นของซีเมนต์เพสต์ (Test for setting time of cement paste)

มาตรฐานการทดสอบ : ASTM : C191 – 92

วัตถุประสงค์ : เพื่อหาเวลาการก่อตัวหลังจากเริ่มผสมซีเมนต์กับน้ำ

วัสดุและอุปกรณ์ :

1) ปูนซีเมนต์ ใช้ครั้งละ 300 กรัม
2) น้ำสะอาด
3) อุปกรณ์ไวแคท (Vicat Apparatus) ดังรูปที่ 3.4
4) เครื่องชั่งที่มีความละเอียด 0.1 กรัม
5) กระบอกตวง ขนาด 100 มิลลิลิตร
6) นาฬิกาจับเวลา
7) เกรียงเหล็ก
8) ถาดผสมปูน
9) ถุงมือยาง

รูปที่ 3.4 อุปกรณ์ไวแคทปลายเข็ม needle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมซีเมนต์เพสต์ :

เตรียมซีเมนต์เพสต์เช่นเดียวกับการทดสอบหาความข้นเหลวปกติของซีเมนต์เพสต์

ขั้นตอนการทดสอบหาระยะเวลาก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ :

1) วางแบบกรวยที่อัดซีเมนต์เพสต์ใส่เรียบร้อยแล้วบนแท่นของอุปกรณ์ไวแคท ให้กึ่งกลางกรวยตรงกับแนวแกนแท่งเหล็ก

2) ปรับให้แท่งเหล็กด้าน needle ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดประมาณ 1 ตารางมิลลิเมตร เลื่อนลงมาแตะผิวหน้าของซีเมนต์เพสต์ แล้วล็อกไว้ด้วยสกรู จากนั้นปรับให้เข็มบนหน้าปัดอยู่ตำแหน่ง 0 ตั้งไว้เป็นเวลา 30 นาที

3) เมื่อครบเวลา 30 นาที คลายสกรู ปล่อยเข็ม needle จมลงในซีเมนต์เพสต์เป็นเวลา 30 วินาที บันทึกค่าระยะจมของเข็ม

4) ดึงเข็มกลับขึ้นมาทดลองซ้ำข้อ 2 และ 3 โดยรักษาระยะห่างระหว่างรอยเข็มเดิมกับใหม่ ไม่น้อยกว่า 6 มิลลิเมตร จนกระทั่งระยะจมของเข็ม needle เท่ากับ 25±2 มิลลิเมตร เพราะระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นของซีเมนต์เพสต์ คือระยะเวลาที่เข็ม needle จมลงไปในซีเมนต์เพสต์ 25±2 มิลลิเมตร

3.4.4 การทดสอบหาความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์มอร์ตาร์ (Test for consistency of cement mortar)

มาตรฐานการทดสอบ : ASTM: C230-61T

วัตถุประสงค์ : เพื่อหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมกับความข้นเหลวของซีเมนต์มอร์ตาร์

วัสดุและอุปกรณ์ :

1) ปูนซีเมนต์ ใช้ครั้งละ 150 กรัม

2) ทราย ที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์16 แต่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 100

3) โต๊ะควบคุมการไหล (Flow table) และแบบหล่อทองเหลืองรูปกรวย ดังรูปที่ 3.5

4) เครื่องชั่งละเอียด 0.1 กรัม

5) เวอร์เนียคาลิปเปอร์

6) นาฬิกาจับเวลา

7) เกรียงเหล็ก

8) ถุงมือยาง

9) เหล็กกระทุ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.5 โต๊ะควบคุมการไหล

ขั้นตอนการทดสอบ :

1) เตรียมซีเมนต์มอร์ตาร์ จากปูนซีเมนต์ 1 ส่วน ต่อทราย 2.75 ส่วน ผสมให้เข้ากัน

2) ทำความสะอาดโต๊ะควบคุมการไหลและวางแบบทองเหลืองตรงกลางโต๊ะ

3) ผสมซีเมนต์มอร์ตาร์ด้วยวิธีการเช่นเดียวกับการผสมซีเมนต์เพสต์ โดยเริ่มใช้อัตราส่วนน้ำ 10 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักมอร์ตาร์ เมื่อผสมเสร็จแล้วนำมาใส่ในแบบทองเหลือง โดยแบ่งเป็น 2 ชั้น ใช้เหล็กกระทุ้งชั้นละ 20 ครั้ง

4) แต่งผิวด้านบนของมอร์ตาร์ให้เรียบ ถอดแบบทองเหลืองออกให้เหลือแต่ซีเมนต์มอร์ตาร์บนโต๊ะควบคุมการไหล

5) หมุนลูกเบี้ยวของโต๊ะควบคุมการไหล จำนวน 25 ครั้ง ภายในเวลา 15 วินาที

6) เมื่อครบแล้ว ใช้เวอร์เนียคาลิปเปอร์วัดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่กระจายออกเป็นค่า D_1 และวัดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ฐานของแบบกรวยทองเหลืองเป็นค่า D_0

7) ทดลองซ้ำโดยเพิ่มปริมาณน้ำ ให้ได้อย่างน้อย 3 ตัวอย่าง วาดกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของน้ำและอัตราการกระจายตัว

8) อัตราการกระจายตัวที่เหมาะสมของซีเมนต์มอร์ตาร์มีค่าระหว่าง 5-15 เปอร์เซ็นต์

การคำนวณ : อัตราการกระจายตัว (%) = $\frac{D1-D0}{D0} \times 100\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 การทดสอบหากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ (Test for compressive strength of cement mortar)

วัตถุประสงค์ : เพื่อหากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์

วัสดุและอุปกรณ์ :

1) ปูนซีเมนต์ ใช้ครั้งละ 200 กรัม

2) ทรายที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 50 แต่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 100

3) ตะแกรงเบอร์ 50 และ 100

4) แบบหล่อลูกบาศก์ขนาด 5×5×5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.7

5) เกรียงเหล็ก

6) เครื่องทดสอบกำลังอัด

รูปที่ 3.6 แบบหล่อลูกบาศก์ขนาด 5×5×5 เซนติเมตร

ขั้นตอนการทดสอบ :

1) เตรียมซีเมนต์มอร์ตาร์ จากปูนซีเมนต์ 1 ส่วน ต่อทราย 2.75 ส่วน โดยใช้ปริมาณน้ำที่ได้จากการทดสอบหาความข้นเหลวของซีเมนต์มอร์ตาร์

2) ผสมปูนซีเมนต์กับทราย กองเป็นแอ่งตรงกลาง เติมน้ำลงในแอ่ง ใช้มือที่สวมถุงมือยางผสมซีเมนต์มอร์ตาร์ให้เข้ากันภายในเวลา 90 วินาที เตรียมบรรจุลงในแบบทองเหลือง

3) ใช้น้ำมันพืชทาภายในแบบหล่อ ใส่ซีเมนต์มอร์ตาร์ลงในแบบ โดยแบ่งเป็นสองชั้น ใช้เหล็กกระทุ้งชั้นละ 32 ครั้ง ใช้เกรียงแต่งผิวหน้าให้เรียบ ใช้ผ้าชุบน้ำคลุมและตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นถอดแบบ บ่มซีเมนต์มอร์ตาร์ต่อในน้ำสะอาดเป็นอายุเวลาตามต้องการ

4) เมื่อบ่มครบอายุที่ต้องการแล้ว นำซีเมนต์มอร์ตาร์ขึ้นจากน้ำ เช็ดทำความสะอาดผิว นำไปเข้าเครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยเดินเครื่องทดสอบเพิ่มแรงอัดอย่างสม่ำเสมอจนกระทั่งซีเมนต์มอร์ตาร์แตก

$$\text{การคำนวณ : กำลังรับแรงอัด} = \frac{\text{แรงอัด}}{\text{พื้นที่หน้าตัดของซีเมนต์มอร์ตาร์}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการดำเนินโครงงาน

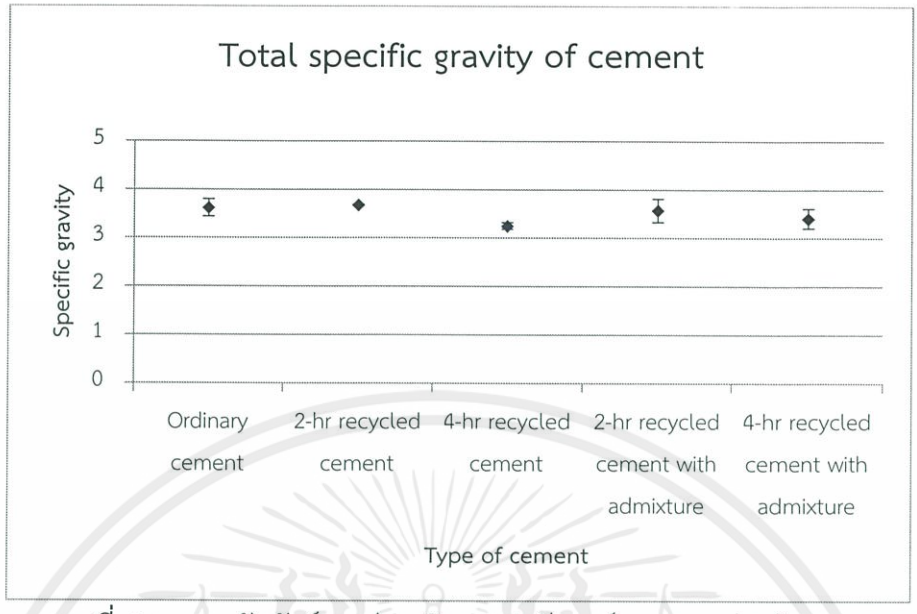
การศึกษากระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ของคอนกรีตสด ใช้ปูนซีเมนต์ซึ่งเป็นส่วนประกอบของคอนกรีตแทน โดยมีการทดสอบคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปกติและปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่ 4 ชนิดคือ ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมง(2-hour recycled cement) ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมง(4-hour recycled cement) ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมงแบบใส่สารหน่วงการก่อตัว(2-hour recycled cement with admixture) และปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมงแบบใส่สารหน่วงการก่อตัว(4-hour recycled cement with admixture) โดยใช้การทดสอบปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี ตามมาตรฐาน ASTM ประกอบด้วย ความถ่วงจำเพาะของผงปูนซีเมนต์(specific gravity of cement powder) ความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์เพสต์(consistency of cement paste) ระยะเวลาก่อตัวขั้นต้นของซีเมนต์เพสต์(setting time of cement paste) ความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์มอร์ตาร์(consistency of cement mortar) และกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์(compressive strength of cement mortar) มีผลการทดสอบดังแสดงในบทนี้

4.1 ความถ่วงจำเพาะของผงปูนซีเมนต์ (Specific gravity of cement)

ความถ่วงจำเพาะของผงปูนซีเมนต์ คือ คุณสมบัติที่บอกถึงความหนาแน่นของผงปูนซีเมนต์ โครงงานนี้ทดสอบเพื่อศึกษาว่าการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันในการผสมปูนซีเมนต์มีผลอย่างไรต่อความถ่วงจำเพาะของผงปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่

จากการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปกติและปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่ มีค่าความถ่วงจำเพาะดังแสดงในรูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของปูนซีเมนต์และความถ่วงจำเพาะ

ตารางที่ 4.1 ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์แต่ละชนิดที่ได้จากการทดลอง

ชนิดของปูนซีเมนต์	ความถ่วงจำเพาะ
ปูนซีเมนต์ปกติ	3.62 ±0.18
ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมง	3.68 ±0.01
ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมง	3.25 ±0.07
ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมง แบบใส่สารหน่วงการก่อตัว	3.57 ±0.24
ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมง แบบใส่สารหน่วงการก่อตัว	3.41 ±0.20

จากรูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.1 ปูนซีเมนต์แต่ละชนิดมีค่าความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกัน อยู่ที่ระหว่าง 3.25-3.68 โดยปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมงแบบใส่สารหน่วงการก่อตัว มีค่าความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปกติมากที่สุด และปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมงมีค่าแตกต่างที่สุด แสดงให้เห็นว่าการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันและอายุของปูนซีเมนต์ มีผลต่อความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่ โดยปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่ที่มีอายุน้อยจะมีการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันน้อยสามารถรักษาความถ่วงจำเพาะให้ใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปกติได้ดีกว่าปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่ที่มีอายุมากกว่า และการใส่สารหน่วงการก่อตัวสามารถรักษาความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่ให้ใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปกติได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์เพสต์ (Consistency of cement paste)

ความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์เพสต์ คือความเหลวของซีเมนต์เพสต์ที่ได้จากการผสมซีเมนต์เพสต์ด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสม มีลักษณะไม่แห้งและไม่เหลวมากเกินไป ทำให้ซีเมนต์เพสต์ที่ได้มีประสิทธิภาพดี โครงงานนี้ทดสอบเพื่อศึกษาว่าการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันมีผลอย่างไรต่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสมของปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่

จากการทดลองหาค่าความข้นเหลวที่เหมาะสมของปูนซีเมนต์ปกติและปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่ ในการผสมเป็นซีเมนต์เพสต์ มีค่าความข้นเหลวที่เหมาะสมดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์เพสต์แต่ละชนิดที่ได้จากการทดลอง

ชนิดของปูนซีเมนต์	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสม (%)
ปูนซีเมนต์ปกติ	30
ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมง	40
ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมง	40
ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมง แบบใส่สารหน่วงการก่อตัว	30
ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมง แบบใส่สารหน่วงการก่อตัว	35

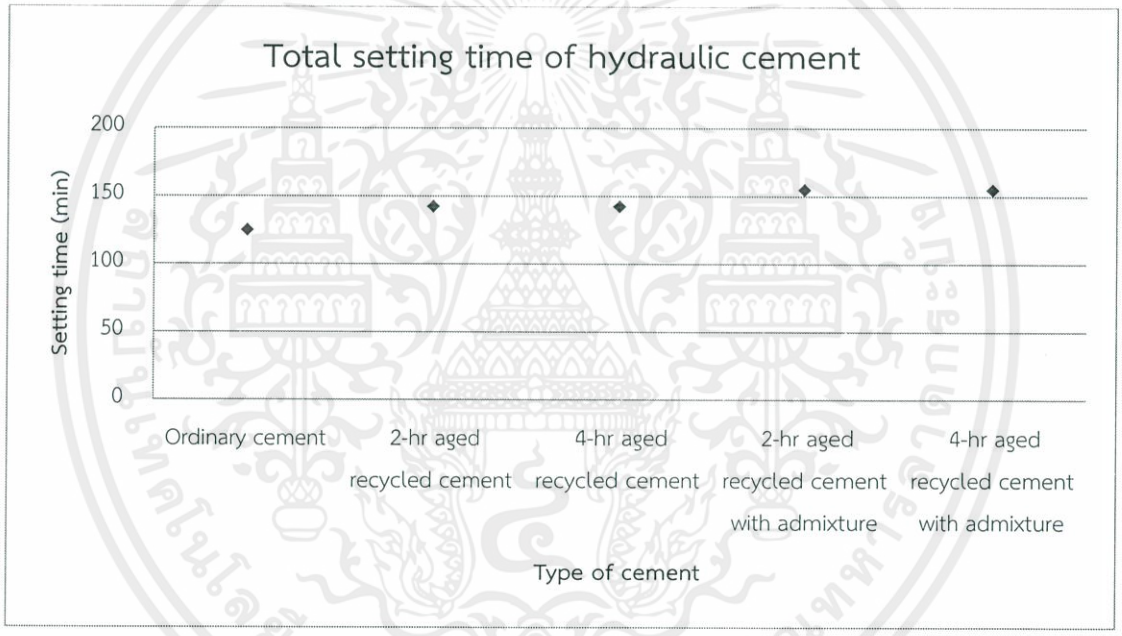
จากตารางที่ 4.2 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสมของปูนซีเมนต์แต่ละชนิดมีค่าระหว่าง 30 - 40 % โดยปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่แบบใส่สารหน่วงการก่อตัวอายุ 2 ชั่วโมงและ 4 ชั่วโมง มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปกติคือ 30 และ 35 % ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมงและ 4 ชั่วโมง มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์คือ 40 % ซึ่งแตกต่างกับปูนซีเมนต์ปกติค่อนข้างมาก แสดงให้เห็นว่า การใส่สารหน่วงการก่อตัวสามารถรักษาปริมาณน้ำที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันในปูนซีเมนต์ไว้ได้ และอายุของปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่มีผลต่ออัตราส่วนน้ำที่เหมาะสมในปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่แบบใส่สารหน่วงการก่อตัว เพราะปูนซีเมนต์ที่มีอายุมากกว่าจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันมากกว่าปูนซีเมนต์ที่มีอายุน้อย ทำให้ต้องใช้อัตราส่วนน้ำน้ำที่มากขึ้นในการนำกลับมาใช้ใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นของซีเมนต์เพสต์ (Setting time of cement paste)

ระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นของซีเมนต์เพสต์ คือระยะเวลาตั้งแต่เริ่มผสมซีเมนต์เพสต์จนกระทั่งซีเมนต์เพสต์เริ่มแข็งตัว หาได้จากระยะเวลาที่เข็ม needle จมลงไปในซีเมนต์เพสต์ 25±2 มิลลิเมตร ระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นนี้ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 45 นาที แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ที่ผสมแล้วในการใช้งานจริง ไม่แข็งตัวช้าหรือเร็วเกินไป โครงงานนี้ทดสอบเพื่อศึกษาว่าการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันมีผลอย่างไรต่อระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นของปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่

จากการทดลองหาระยะเวลาในการก่อตัวขั้นต้นของปูนซีเมนต์ปกติและปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่ มีระยะเวลาในการก่อตัวขั้นต้นดังแสดงในรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของปูนซีเมนต์และระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้น

ตารางที่ 4.3 ระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นของซีเมนต์เพสต์แต่ละชนิดที่ได้จากการทดลอง

ชนิดของปูนซีเมนต์	ระยะเวลาก่อตัวขั้นต้น (นาที)
ปูนซีเมนต์ปกติ	125
ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมง	142.5
ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมง	142.5
ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมง แบบใส่สารหน่วงการก่อตัว	155
ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมง แบบใส่สารหน่วงการก่อตัว	155

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 ปูนซีเมนต์แต่ละชนิดมีระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นอยู่ระหว่าง 125 - 155 นาที โดยปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมงและ 4 ชั่วโมง แบบใส่สารหน่วงการก่อตัวมีระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นมากกว่าปูนซีเมนต์ปกติค่อนข้างมาก แสดงให้เห็นว่าการใส่สารหน่วงการก่อตัวจะทำให้ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่ใช้เวลาในการก่อตัวมากขึ้น และปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่ทุกชนิดมีระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นมากกว่าปูนซีเมนต์ปกติ แสดงว่าการนำปูนซีเมนต์กลับมาใช้ใหม่จะมีสูญเสียความสามารถในการก่อตัวทำให้ใช้เวลามากกว่าปกติ และปูนซีเมนต์ที่มีอายุมากจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันไปแล้วมากกว่าปูนซีเมนต์ที่มีอายุน้อยทำให้ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่ที่มีอายุมากมีระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นมากกว่าปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่ที่มีอายุน้อย

4.4 ความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์มอร์ตาร์ (Consistency of cement mortar)

ความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์มอร์ตาร์คือ ความเหลวของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ได้จากการผสมด้วยอัตราส่วนน้ำที่เหมาะสม มีลักษณะไม่แห้งและไม่เหลวมากเกินไป ทำให้ซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ได้มีประสิทธิภาพดี เหมาะสำหรับนำไปใช้ในงานก่อสร้างได้ โครงงานนี้ทดสอบเพื่อศึกษาว่าการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันมีผลอย่างไรต่ออัตราส่วนน้ำที่เหมาะสมของปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่ในการผสมเป็นซีเมนต์มอร์ตาร์ และนำค่าอัตราส่วนน้ำที่ได้ไปใช้ในการผสมซีเมนต์มอร์ตาร์เพื่อทดสอบกำลังรับแรงอัดต่อไป ค่าความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์มอร์ตาร์คือ ค่าความข้นเหลวที่ทำให้อัตราการกระจายตัวของซีเมนต์มอร์ตาร์อยู่ระหว่าง 5 - 15 %

จากการทดลองหาค่าความข้นเหลวที่เหมาะสมของปูนซีเมนต์ปกติและปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่ ในการผสมเป็นซีเมนต์มอร์ตาร์ มีค่าความข้นเหลวดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์มอร์ตาร์แต่ละชนิดที่ได้จากการทดลอง

ชนิดของปูนซีเมนต์	อัตราส่วนน้ำที่เหมาะสม (%)
ปูนซีเมนต์ปกติ	14
ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมง	15
ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมง	15
ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมง แบบใส่สารหน่วงการก่อตัว	13
ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมง แบบใส่สารหน่วงการก่อตัว	15

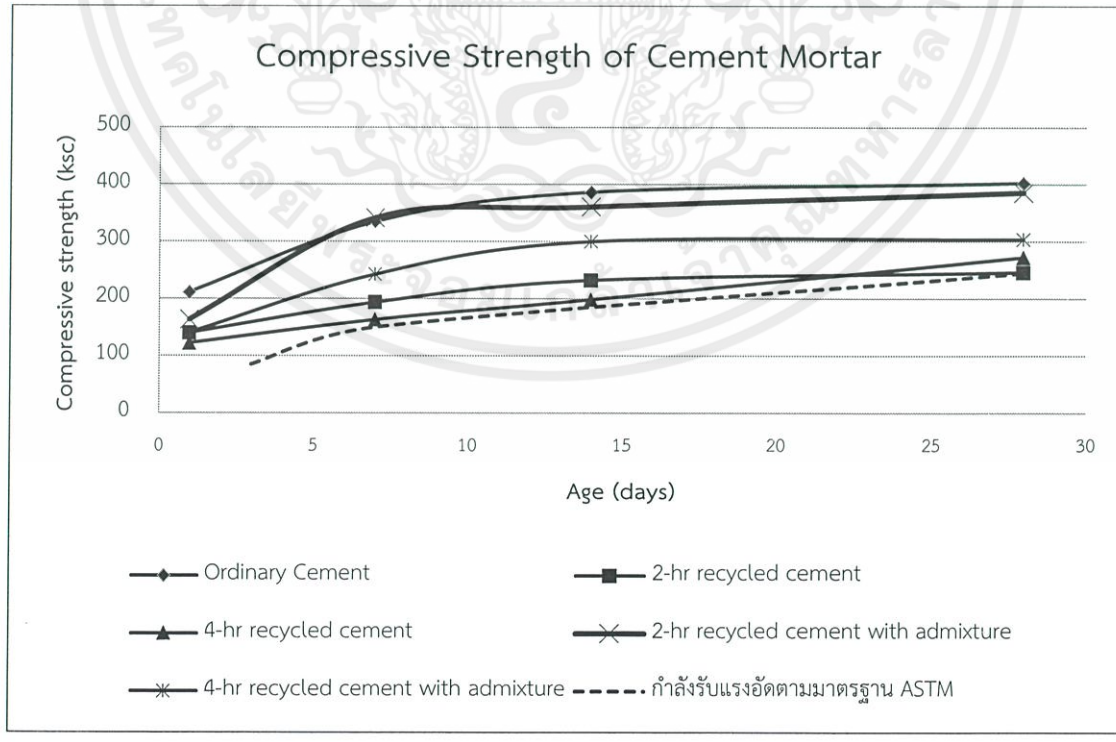
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.4 ความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์มอร์ตาร์ มีค่าอัตราส่วนน้ำอยู่ระหว่าง 13 – 15 % โดยปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมงแบบใส่สารหน่วงมีอัตราส่วนน้ำน้อยกว่าปูนซีเมนต์ปกติ แต่ปูนซีเมนต์ชนิดที่เหลือมีอัตราส่วนน้ำมากกว่าปูนซีเมนต์ปกติ แสดงว่าการใส่สารผสมเพิ่มประเภท D ซึ่งเป็นสารลดน้ำและหน่วงการก่อตัวแบบพิเศษ ทำให้ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมงแบบใส่สารหน่วงการก่อตัวมีอัตราส่วนน้ำน้อยกว่าปูนซีเมนต์ปกติ แต่ไม่ส่งผลในปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมงแบบใส่สารหน่วงการก่อตัว และปูนซีเมนต์ที่มีอายุมากจะทำปฏิกิริยาไฮเดรชันมากกว่าปูนซีเมนต์ที่มีอายุน้อย ทำให้ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่ที่มีอายุมากใช้อัตราส่วนน้ำที่เหมาะสมมีค่ามากกว่าปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่ที่มีอายุน้อย

4.5 กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ (Compressive strength of cement mortar)

กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ คือความสามารถในการรับน้ำหนักในรูปแบบของแรงอัดประลัยของซีเมนต์มอร์ตาร์ ซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ดีควรมีกำลังรับแรงอัดสูง มีประสิทธิภาพในการนำไปใช้งาน โครงงานนี้ทดสอบเพื่อศึกษาว่าการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันมีผลอย่างไรต่อกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ได้จากการผสมของปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่

จากการทดลองหากำลังรับแรงอัดของปูนซีเมนต์ปกติและปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่ มีกำลังรับแรงอัดดังแสดงในรูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการบ่มและกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์แต่ละชนิดที่ได้จากการทดลอง

ชนิดของปูนซีเมนต์	อายุการบ่ม (วัน)			
	1	7	14	28
ปูนซีเมนต์ปกติ	211.32	334.34	386.37	402.72
ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมง	140.09	193.58	232.10	246.40
ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมง	122.03	163.28	198.52	272.67
ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมง แบบใส่สารหน่วงการก่อตัว	163.44	341.22	360.69	385.84
ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมง แบบใส่สารหน่วงการก่อตัว	140.41	242.53	300.01	304.00

*หน่วย กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc)

ตารางที่ 4.6 กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ของปูนปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐาน

อายุการบ่ม (วัน)	กำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร, ksc)
3	85
7	150
28	245

จากรูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.5 ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมงแบบใส่สารหน่วงการก่อตัวมีกำลังรับแรงอัดใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปกติมากที่สุด และปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่แบบใส่สารหน่วงการก่อตัว มีกำลังรับแรงอัดมากกว่าปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่แบบไม่ใส่สารหน่วงการก่อตัว แสดงว่าปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่ที่ใส่สารหน่วงการก่อตัวมีการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันน้อย ทำให้สามารถรักษาความสามารถในการรับกำลังรับแรงอัดได้ดีกว่าปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่ที่ไม่ใส่สารหน่วงการก่อตัว และอายุของปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดที่ได้ โดยปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่ที่มีอายุน้อยจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันน้อยกว่า ทำให้มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่ที่มีอายุมาก การนำปูนซีเมนต์กลับมาใช้ใหม่จะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ได้มีค่าน้อยลงดังแสดงในตารางที่ 4.5 แต่ไม่น้อยกว่าค่ากำลังรับแรงอัดมาตรฐานซึ่งแสดงในตารางที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เพื่อแสดงให้เห็นความแตกต่างของค่ากำลังรับแรงอัดในปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่แต่ละชนิดเทียบกับปูนซีเมนต์ปกติ จึงมีการแสดงค่าความแตกต่างของกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ได้จากการนำปูนซีเมนต์กลับมาใช้ใหม่เทียบกับกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์จากปูนซีเมนต์ปกติดังแสดงในตารางที่ 4.7 และเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ได้จากการนำปูนซีเมนต์กลับมาใช้ใหม่เทียบกับกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์จากปูนซีเมนต์ปกติดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.7 ค่าความแตกต่างของกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ได้จากการนำปูนซีเมนต์กลับมาใช้ใหม่เทียบกับกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์จากปูนซีเมนต์ปกติ

ชนิดของปูนซีเมนต์	อายุการบ่ม (วัน)			
	1	7	14	28
ปูนซีเมนต์ปกติ	0	0	0	0
ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมง	-71.25	-140.76	-154.27	-156.32
ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมง	-89.29	-171.06	-187.85	-130.05
ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมง แบบใส่สารหน่วงการก่อตัว	-47.88	+6.88	-25.68	-16.88
ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมง แบบใส่สารหน่วงการก่อตัว	-70.91	-91.81	-86.36	-98.72

*หน่วย กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ksc)

ตารางที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ได้จากการนำปูนซีเมนต์กลับมาใช้ใหม่เทียบกับกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์จากปูนซีเมนต์ปกติ

ชนิดของปูนซีเมนต์	อายุการบ่ม (วัน)			
	1	7	14	28
ปูนซีเมนต์ปกติ	0 %	0 %	0 %	0 %
ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมง	-33.71 %	-42.10 %	-39.93 %	-38.82 %
ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมง	-42.25 %	-51.16 %	-48.62 %	-32.29 %
ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมง แบบใส่สารหน่วงการก่อตัว	-22.66 %	+2.06 %	-6.65 %	-4.19 %
ปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมง แบบใส่สารหน่วงการก่อตัว	-33.56 %	-27.46 %	-22.35 %	-24.51 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของปูนซีเมนต์ที่ทำการทดสอบมีผลต่อกำลังรับแรงอัดที่ลดลงเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปกติ ทั้งนี้เป็นผลมาจากเวลาและการใส่สารหน่วงการก่อตัว ซึ่งพบว่าปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมงแบบใส่สารหน่วงการก่อตัว มีค่ากำลังรับแรงอัดใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปกติมากที่สุด และปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่แบบใส่สารหน่วงการก่อตัว มีค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่าปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่แบบไม่ใส่สารหน่วงการก่อตัว โดยพบว่าแนวโน้มของค่ากำลังรับแรงอัดที่ลดลงมีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดดังแสดงในตารางที่ 4.7 เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างที่สามารถนำมาเปรียบเทียบค่าที่ลดลงของปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่แต่ละชนิดได้อย่างชัดเจน โดยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ได้จากการนำปูนซีเมนต์กลับมาใช้ใหม่เทียบกับกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์จากปูนซีเมนต์ปกติพบว่าปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมงแบบใส่สารหน่วงการก่อตัวมีแนวโน้มของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างลดลงน้อยที่สุดจากทุกชนิดของปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่เมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปกติ ซึ่งเปอร์เซ็นต์ที่แตกต่างของปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมงแบบใส่สารหน่วงการก่อตัวมีค่าเฉลี่ยความแตกต่างทุกอายุการบ่มไม่เกิน 10% เมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปกติที่ทำการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาและทดลองหาคุณสมบัติต่างๆของปูนซีเมนต์ปกติและปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่พบว่า คุณสมบัติต่างๆของปูนซีเมนต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่นั้นมีคุณสมบัติในด้านของความถ่วงจำเพาะ ความข้นเหลวที่เหมาะสม ระยะเวลาการก่อตัวและกำลังรับแรงอัดซึ่งใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์แบบปกติซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สามารถบ่งบอกประสิทธิภาพของปูนได้ชัดเจนเมื่อนำไปใช้งานจริง เมื่อแยกพิจารณาปูนซีเมนต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ออกเป็น 2 ชนิดซึ่งก็คือปูนซีเมนต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่กับปูนซีเมนต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีการผสมกับสารหน่วงการก่อตัวพบว่าปูนซีเมนต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยมีการผสมกับสารหน่วงการก่อตัวนั้นมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์แบบปกติมากกว่าปูนซีเมนต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่แต่ไม่ได้ใส่สารหน่วงการก่อตัวโดยค่าคุณสมบัติที่เห็นได้ชัดเจนนั้นเป็นในส่วนของความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์เพสต์โดยมีการใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปกติ ในส่วนของกำลังรับแรงอัดซึ่งเป็นคุณสมบัติที่มีความสำคัญต่อการนำไปใช้งานจริงนั้นพบว่าค่าที่ได้จากการทดลองมีความสัมพันธ์กับการแบ่งประเภทของปูนซีเมนต์โดยในส่วนของปูนซีเมนต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่แบบใส่สารหน่วงการก่อตัวนั้นมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าปูนซีเมนต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ซึ่งไม่ได้ใส่สารหน่วงการก่อตัวและพบว่าการใส่สารหน่วงการก่อตัวในปูนซีเมนต์ที่นำมาใช้งานใหม่นั้นส่งผลให้มีค่ากำลังรับแรงอัดใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์แบบปกติ เมื่อแยกพิจารณาปูนซีเมนต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ในด้านอายุของปูนซีเมนต์นั้นพบว่าที่อายุ 2 ชั่วโมงนั้นให้ค่าคุณสมบัติใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปกติมากกว่าปูนซีเมนต์อายุ 4 ชั่วโมง โดยค่าคุณสมบัติที่เห็นได้ชัดเจนนั้นคือค่าของความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์เพสต์และกำลังรับแรงอัด สรุปได้ว่าจากตัวอย่างที่นำมาศึกษาพบว่าปูนซีเมนต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่โดยใส่สารหน่วงการก่อตัวและมีอายุ 2 ชั่วโมงจะให้กำลังรับแรงอัดใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปกติมากที่สุด

5.2 ปัญหาและอุปสรรคที่พบ

- วิธีการนำปูนซีเมนต์กลับมาใช้งานใหม่โดยการทำให้ซีเมนต์เพสต์ซึ่งอบแล้วบดกลับมาเป็นผงซีเมนต์โดยผงซีเมนต์ต้องผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เพื่อนำมาทดสอบในด้านของคุณสมบัติต่างๆพบว่าขั้นตอนนี้ใช้เวลานานและเป็นปัญหาสำคัญในการทดลองหาค่าคุณสมบัติ

- การชำรุดของอุปกรณ์และเครื่องมือที่จำเป็นในการทดสอบหาค่าคุณสมบัติต่างๆของซีเมนต์ เช่น ตะแกรงเบอร์ 200 เครื่องผสมปูนขนาดเล็ก เตาอบ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สภาพอากาศและเวลาในการนำตัวอย่างไปทดสอบเพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัดนั้นจำเป็นต้องนำตัวอย่างขึ้นจากน้ำก่อนทดสอบเป็นเวลา 4-6 ชม เพื่อให้ผิวแห้งพร้อมที่จะทดสอบซึ่งพบว่าหากฝนตกหรืออากาศมีความชื้นสูงจะส่งผลต่อตัวอย่างที่นำไปทดสอบ

- ความละเอียดของเครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงดึง เนื่องจากคอนกรีตมีคุณสมบัติรับแรงดึงที่ต่ำมากส่งผลให้ค่าที่ได้จากการทดลองมีความไม่แน่นอนสูงมากจึงไม่สามารถนำค่าแรงดึงที่ได้จากการทดสอบมาอภิปรายผลได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

- หากต้องการศึกษาคุณสมบัติการนำไปใช้งานจริงในแต่ละด้านควรมีการนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM ในส่วนของซีเมนต์เพสต์เพื่อการเลือกใช้งานแต่ละด้านได้อย่างเหมาะสม

- อาจมีการเพิ่มการทดสอบคุณสมบัติที่ใช้ในการเปรียบเทียบเพื่อให้ได้คุณสมบัติของซีเมนต์ที่เหมาะจะนำไปใช้งานในแต่ละด้านให้มากที่สุด

- สามารถเพิ่มการทดสอบคุณสมบัติแต่ละด้านให้ละเอียดขึ้น เช่น ความถี่ของอายุที่นำปูนซีเมนต์กลับมาใช้ใหม่ที่ 1,2,3 และ 4 ชั่วโมงและการใสสารผสมเพิ่มในตัวอย่าง

- อาจมีการค้นคว้าวิธีการนำเสนอใหม่ๆเพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถมองเห็นภาพรวมของโครงงานได้ชัดเจนมากขึ้น

- ในปัจจุบันมีเครื่องจักรที่สามารถคัดแยกหินและทรายออกจากคอนกรีตสด เพื่อนำหินและทรายกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง แต่น้ำปูนที่เหลือจากกระบวนการคัดแยกดังกล่าว ยังคงเป็นของเสียในอุตสาหกรรมที่ต้องทิ้ง ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการนำน้ำปูนที่เป็นของเสียเหล่านั้นกลับมาใช้ใหม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ปริญญา จินดาประเสริฐ. 2548 ของเสียจากอุตสาหกรรมการก่อสร้าง กรุงเทพ : สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย" 2548

[2] Angel Salesa "Mechanical properties of multi – recycled concrete from construction industry" 2560

[3] Viviana Letelier "Mechanical Properties of Concretes with Recycled Aggregates"2560

[4] Aynur Kazaz. "Current Metrod for the Utilization of Fresh Concrete Waste Returned to Batching Plants" 2559

[5] Martha Georgiopoulou "Life cycle assessment of the use of alternative fuels in cement kilns: A case study" 2560

[6] วินิต ช่อวิเชียร. 2539 คอนกรีตเทคโนโลยี กรุงเทพ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[7] ปิติ สุคนธสุขกุล. 2556 คอนกรีต พิมพ์ครั้งที่2 กรุงเทพ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[8] ปริญญา จินดาประเสริญ . 2556 ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต พิมพ์ครั้งที่7 กรุงเทพ : สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

[9] ชัชวาล เศรษฐบุตร. 2548 Cement and Applications. พิมพ์ครั้งที่2 กรุงเทพ : บริษัทปูนซีเมนต์ไทยอุตสาหกรรม จำกัด

[10] คมสัน มาลีสี. 2557 Concrete Testing Laboratory. พิมพ์ครั้งที่4 กรุงเทพ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ผลการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ.1 การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของผงปูนซีเมนต์

ตารางที่ ผ.1.1 ผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของผงปูนซีเมนต์ปกติ

Sample No.	Weight of cement (g)	Volume of Kerosene (ccm)		Volume of cement (ccm)	Specific gravity of cement
		n1	n2		
1	8	18.1	20.3	2.2	3.64
2	12	18.3	21.8	3.5	3.43
3	14	18.4	22.1	3.7	3.78
				Average	3.62
			Standard deviation, SD		0.18

ตารางที่ ผ.1.2 ผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของผงปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมง

Sample No.	Weight of cement (g)	Volume of Kerosene (ccm)		Volume of cement (ccm)	Specific gravity of cement
		n1	n2		
1	22	19.2	22.2	3	3.67
2	7	18.3	20.2	1.9	3.68
				Average	3.68
			Standard deviation, SD		0.01

ตารางที่ ผ.1.3 ผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของผงปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมง

Sample No.	Weight of cement (g)	Volume of Kerosene (ccm)		Volume of cement (ccm)	Specific gravity of cement
		n1	n2		
1	8	18	20.5	2.5	3.20
2	10	18	21.1	3.1	3.23
3	11	18	21.3	3.3	3.33
				Average	3.25
			Standard deviation, SD		0.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.1.4 ผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของผงปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมง แบบใส่สารหน่วงการก่อตัว

Sample No.	Weight of cement (g)	Volume of Kerosene (ccm)		Volume of cement (ccm)	Specific gravity of cement
		n1	n2		
1	8	18	20.1	2.1	3.81
2	10	18	20.8	2.8	3.57
3	8	18	20.4	2.4	3.33
				Average	3.57
			Standard deviation, SD		0.24

ตารางที่ ผ.1.5 ผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของผงปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมง แบบใส่สารหน่วงการก่อตัว

Sample No.	Weight of cement (g)	Volume of Kerosene (ccm)		Volume of cement (ccm)	Specific gravity of cement
		n1	n2		
1	12	18.5	21.9	3.4	3.53
2	14	18.4	22.8	4.4	3.18
3	12	19	22.4	3.4	3.53
				Average	3.41
			Standard deviation, SD		0.20

ตารางที่ ผ.1.6 ผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของผงปูนซีเมนต์ทุกประเภท

Type of sample	Specific gravity	SD
Ordinary cement	3.62	0.18
2-hr recycled cement	3.82	0.26
4-hr recycled cement	3.25	0.07
2-hr recycled cement with admixture	3.57	0.24
4-hr recycled cement with admixture	3.41	0.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ.2 การทดสอบหาความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์เพสต์

ตารางที่ ผ.2.1 ผลการทดสอบหาความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์เพสต์จากปูนซีเมนต์ปกติ

Trial No.	Weight of cement (g)	Water		Penetration in 30 s (min)
		%	cc	
1	300	25	75	1
2	300	30	90	10
3	300	35	105	25

ตารางที่ ผ.2.2 ผลการทดสอบหาความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์เพสต์จากปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมง

Trial No.	Weight of cement (g)	Water		Penetration in 30 s (min)
		%	cc	
1	300	35	105	1
2	300	40	120	11
3	300	45	135	30

ตารางที่ ผ.2.3 ผลการทดสอบหาความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์เพสต์จากปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมง

Trial No.	Weight of cement (g)	Water		Penetration in 30 s (min)
		%	cc	
1	300	30	90	0
2	300	40	120	9
3	300	50	150	40

ตารางที่ ผ.2.4 ผลการทดสอบหาความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์เพสต์จากปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมงแบบใส่สารหน่วงการก่อตัว

Trial No.	Weight of cement (g)	Water		Penetration in 30 s (min)
		%	cc	
1	300	30	90	11
2	300	35	105	33
3	300	40	120	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.2.5 ผลการทดสอบหาความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์เพสต์จากปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมงแบบใส่สารหน่วงการก่อตัว

Trial No.	Weight of cement (g)	Water		Penetration in 30 s (min)
		%	cc	
1	300	30	90	2
2	300	35	105	10
3	300	40	120	40

ตารางที่ ผ.2.6 ผลการทดสอบหาความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์เพสต์ทุกประเภท

Type of sample	Water content (%)	Penetration (mm)
Ordinary cement	30	10
2-hr recycled cement	40	11
4-hr recycled cement	40	9
2-hr recycled cement with admixture	30	11
4-hr recycled cement with admixture	35	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ.3 การทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นของซีเมนต์เพสต์

ตารางที่ ผ.3.1 ผลการทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นของซีเมนต์เพสต์จากปูนซีเมนต์ปกติ

Mixing time	Time at testing	Total time after mixing (min)	Penetration in 30 s (mm)		
			Sample 1	Sample 2	Sample 3
17.15	17.45	30	42	38	40
	18.00	45	41	39	40
	18.15	60	41	39	40
	18.30	75	39	39	39
	18.45	90	40	38	39
	19.00	105	38	30	34
	19.15	120	30	21	25
	19.30	135	21	11	16
	19.45	150	11	5	8
		Setting time =	135	120	120
		Average	125		

ตารางที่ ผ.3.2 ผลการทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นของซีเมนต์เพสต์จากปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมง

Mixing time	Time at testing	Total time after mixing (min)	Penetration in 30 s (mm)	
			Sample 1	Sample 2
19.05	19.35	30	40	41
	19.50	45	40	41
	20.05	60	40	41
	20.20	75	40	41
	20.35	90	40	41
	20.50	105	40	41
	21.05	120	33	38
	21.20	135	23	35
	21.35	150	15	23
		Setting time =	135	150
		Average	142.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.3.3 ผลการทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นของซีเมนต์เพสต์จากปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมง

Mixing time	Time at testing	Total time after mixing (min)	Penetration in 30 s (mm)	
			Sample 1	Sample 2
12.10	12.40	30	40	40
	12.55	45	40	40
	13.10	60	40	40
	13.25	75	40	40
	13.40	90	40	40
	13.55	105	37	40
	14.10	120	33	40
	14.25	135	24	31
	14.40	150	11	3
	14.55	165	7	
		Setting time =	135	150
		Average	142.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.3.4 ผลการทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นของซีเมนต์เพสต์จากปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมงแบบใส่สารหน่วงการก่อตัว

Mixing time	Time at testing	Total time after mixing (min)	Penetration in 30 s (mm)		
			Sample 1	Sample 2	Sample 3
14.55	15.25	30	40	41	41
	15.40	45	40	41	41
	15.55	60	40	41	41
	16.10	75	40	41	41
	16.25	90	40	41	41
	16.40	105	39	38	41
	16.55	120	38	36	39
	17.10	135	35	36	39
	17.25	150	25	20	35
	17.40	165	15	12	13
		Setting time =	150	150	165
		Average	155		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.3.5 ผลการทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นของซีเมนต์เพสต์จากปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมงแบบใส่สารหน่วงการก่อตัว

Mixing time	Time at testing	Total time after mixing (min)	Penetration in 30 s (mm)		
			Sample 1	Sample 2	Sample 3
14.15	14.45	30	41	40	40
	15.00	45	41	40	40
	15.15	60	41	40	40
	15.30	75	41	40	40
	15.45	90	41	40	40
	16.00	105	41	40	40
	16.15	120	41	40	40
	16.30	135	37	38	35
	16.45	150	32	26	26
	17.00	165	16	19	16
	17.15	180	8	6	5
		Setting time =	165	150	150
		Average	155		

ตารางที่ ผ.3.6 ผลการทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวขั้นต้นของซีเมนต์เพสต์ทุกประเภท

Type of sample	Setting time (min)
Ordinary cement	125
2-hr recycled cement	142.5
4-hr recycled cement	142.5
2-hr recycled cement with admixture	155
4-hr recycled cement with admixture	155

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ.4 การทดสอบหาความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์มอร์ตาร์

ตารางที่ ผ.4.1 ผลการทดสอบหาความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์มอร์ตาร์จากปูนซีเมนต์ปกติ

Sample No.	Weight of cement (g)	Weight of sand (g)	Water content (%)	Volume of water (cc)	D_0 (cm)	D_1 (cm)	Flow percentage (%)
1	150	412.5	15	84	10.0	13.9	39
2	150	412.5	13	73	10.0	10.0	0
3	150	412.5	14	79	10.0	11.2	12

ตารางที่ ผ.4.2 ผลการทดสอบหาความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์มอร์ตาร์จากปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมง

Sample No.	Weight of cement (g)	Weight of sand (g)	Water content (%)	Volume of water (cc)	D_0 (cm)	D_1 (cm)	Flow percentage (%)
1	150	412.5	13	73	10.0	10.0	0
2	150	412.5	15	84	10.0	11.7	17
3	150	412.5	17	96	10.0	12.9	29

ตารางที่ ผ.4.3 ผลการทดสอบหาความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์มอร์ตาร์จากปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมง

Sample No.	Weight of cement (g)	Weight of sand (g)	Water content (%)	Volume of water (cc)	D_0 (cm)	D_1 (cm)	Flow percentage (%)
1	150	412.5	15	85	10.0	10.7	7
2	150	412.5	16	90.5	10.0	12.5	25
3	150	412.5	17	96	10.0	14.5	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.4.4 ผลการทดสอบหาความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์มอร์ตาร์จากปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมงแบบใส่สารหน่วงการก่อตัว

Sample No.	Weight of cement (g)	Weight of sand (g)	Water content (%)	Volume of water (cc)	D_0 (cm)	D_1 (cm)	Flow percentage (%)
1	150	412.5	13	75	10.0	11.0	10
2	150	412.5	14	80	10.0	12.0	20
3	150	412.5	15	85	10.0	13.0	30

ตารางที่ ผ.4.5 ผลการทดสอบหาความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์มอร์ตาร์จากปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมงแบบใส่สารหน่วงการก่อตัว

Sample No.	Weight of cement (g)	Weight of sand (g)	Water content (%)	Volume of water (cc)	D_0 (cm)	D_1 (cm)	Flow percentage (%)
1	150	412.5	13	75	10.0	10.2	2
2	150	412.5	14	80	10.0	10.6	6
3	150	412.5	15	85	10.0	11.0	10

ตารางที่ ผ.4.6 ผลการทดสอบหาความข้นเหลวที่เหมาะสมของซีเมนต์มอร์ตาร์จากปูนซีเมนต์ทุกประเภท

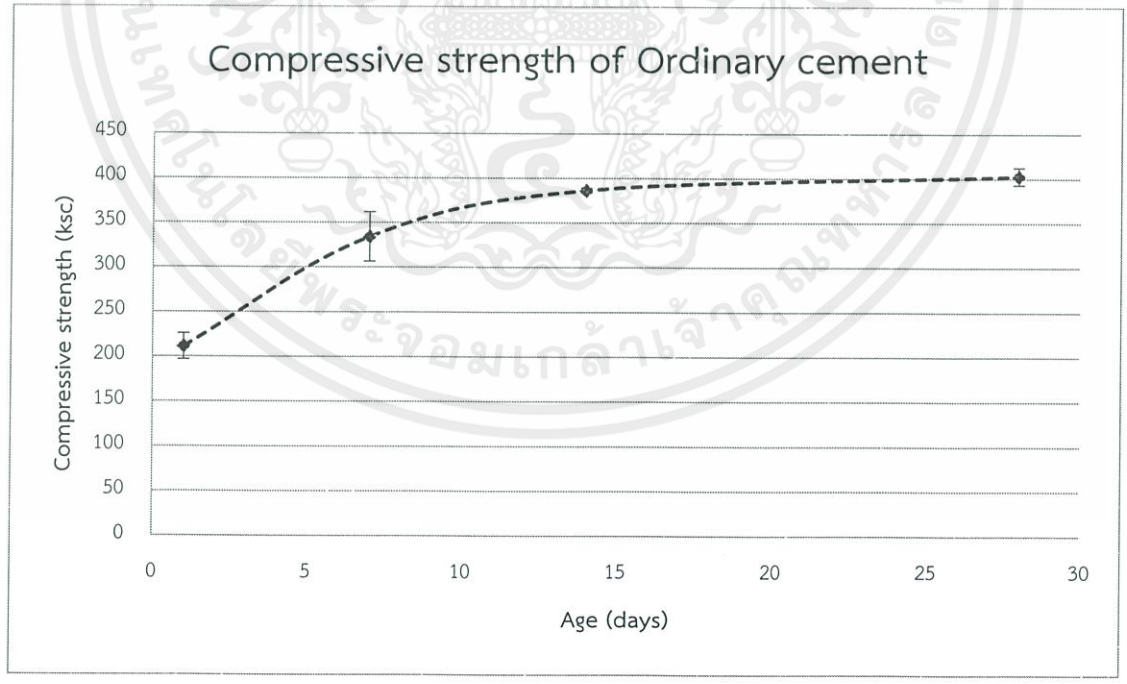
Type of sample	Water content (%)	Flow percentage (%)
Ordinary cement	14	12
2-hr aged recycled cement	15	17
4-hr aged recycled cement	15	7
2-hr aged recycled cement with admixture	13	10
4-hr aged recycled cement with admixture	15	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ.5 การทดสอบหากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์

ตารางที่ ผ.5.1 ผลการทดสอบหากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์จากปูนซีเมนต์ปกติ

Sample No.	Section area (cm^2)	Weight (kg)	Age (days)	Ultimate load (kN)	Ultimate load (kg)	Compressive strength (ksc)	Average	SD
1	25	0.264	1	51.16	5215.09	208.60	211.32	14.50
2	25	0.264	1	48.65	4959.23	198.37		
3	25	0.267	1	55.67	5674.82	226.99		
4	25	0.272	7	87.05	8873.60	354.94	334.34	27.65
5	25	0.266	7	74.29	7572.88	302.92		
6	25	0.267	7	84.65	8628.95	345.16		
7	25	0.263	14	93.97	9579.00	383.16	386.37	2.97
8	25	0.261	14	95.41	9725.79	389.03		
9	25	0.262	14	94.89	9672.78	386.91		
10	25	0.261	28	96.45	9831.80	393.27	402.72	9.76
11	25	0.261	28	98.62	10053.01	402.12		
12	25	0.265	28	101.23	10319.06	412.76		

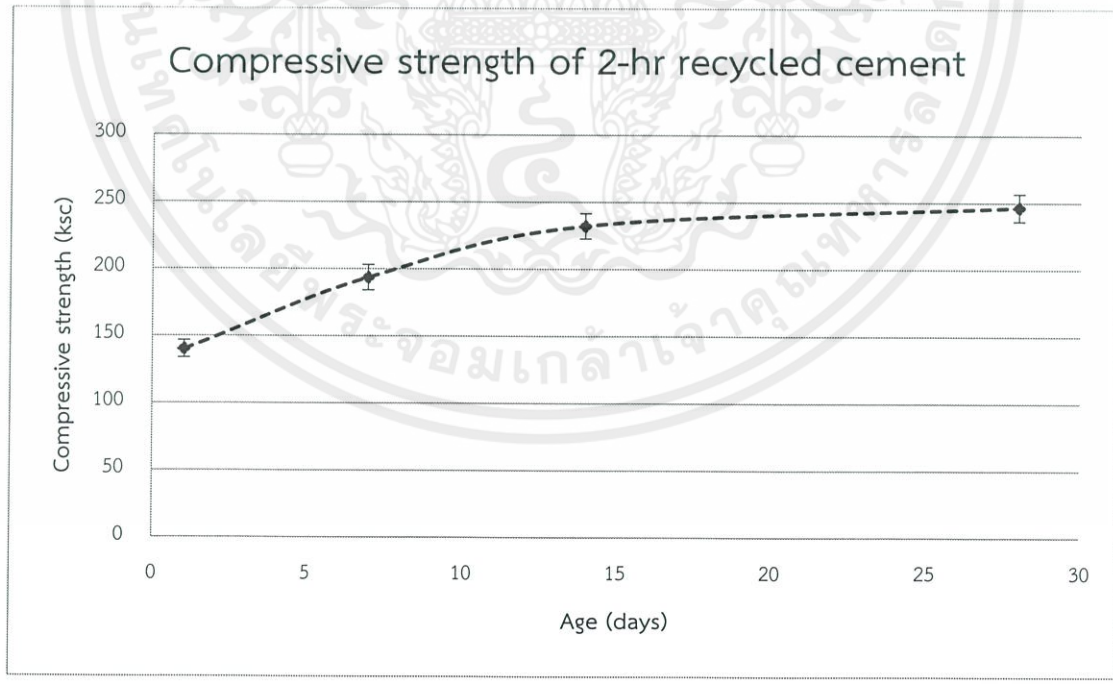


รูปที่ ผ.5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์จากปูนซีเมนต์ปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.5.2 ผลการทดสอบหากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์จากปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมง

Sample No.	Section area (cm^2)	Weight (kg)	Age (days)	Ultimate load (kN)	Ultimate load (kg)	Compressive strength (ksc)	Average	SD
1	25	0.257	1	33.67	3432.21	137.29	140.09	6.54
2	25	0.254	1	33.21	3385.32	135.41		
3	25	0.260	1	36.19	3689.09	147.56		
4	25	0.260	7	49.02	4996.94	199.88	193.58	9.42
5	25	0.258	7	44.82	4568.81	182.75		
6	25	0.259	7	48.59	4953.11	198.12		
7	25	0.260	14	54.37	5542.30	221.69	232.10	9.49
8	25	0.259	14	58.93	6007.14	240.29		
9	25	0.261	14	57.47	5858.31	234.33		
10	25	0.259	28	57.56	5867.48	234.70	246.40	10.3
11	25	0.261	28	61.42	6260.96	250.44		
12	25	0.262	28	62.31	6351.68	254.07		

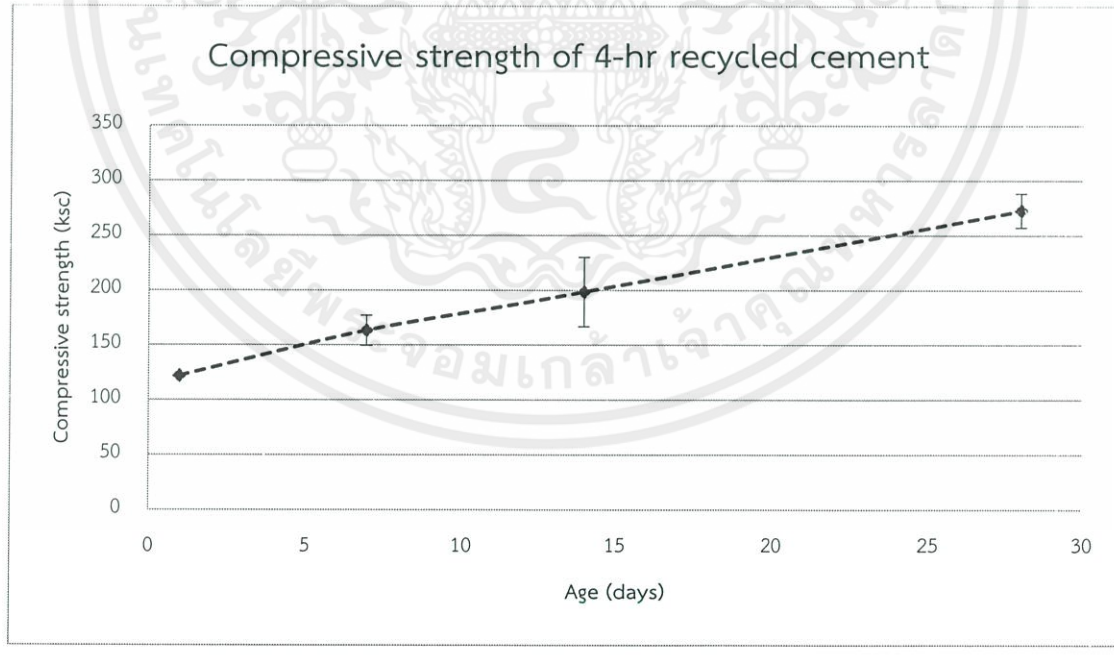


รูปที่ ผ.5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์จากปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.5.3 ผลการทดสอบหากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์จากปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมง

Sample No.	Section area (cm^2)	Weight (kg)	Age (days)	Ultimate load (kN)	Ultimate load (kg)	Compressive strength (ksc)	Average	SD
1	25	0.250	1	30.14	3072.38	122.90	122.03	0.75
2	25	0.249	1	29.83	3040.77	121.63		
3	25	0.279	1	29.81	3038.74	121.55		
4	25	0.263	7	38.94	3969.42	158.78	163.28	13.75
5	25	0.257	7	37.36	3808.36	152.33		
6	25	0.259	7	43.83	4467.89	178.72		
7	25	0.260	14	56.77	5786.95	231.48	198.52	31.58
8	25	0.260	14	47.96	4888.89	195.56		
9	25	0.255	14	41.33	4213.05	168.52		
10	25	0.263	28	67.14	6844.04	273.76	272.67	15.44
11	25	0.266	28	62.96	6417.94	256.72		
12	25	0.264	28	70.52	7188.58	287.54		

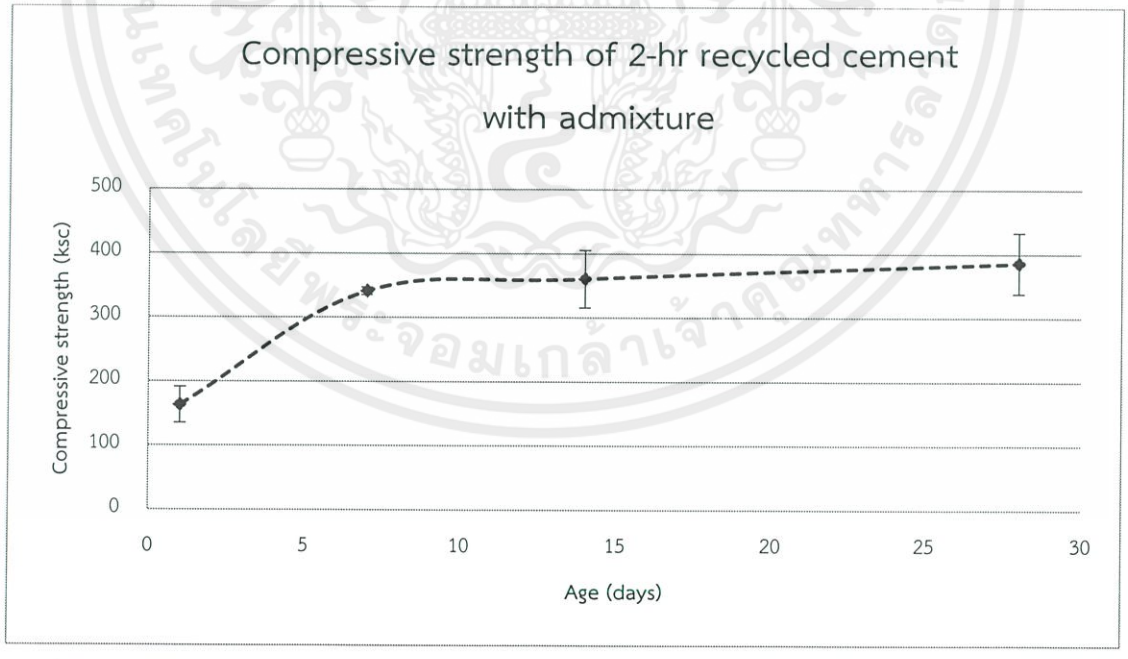


รูปที่ ผ.5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์จากปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.5.4 ผลการทดสอบหากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์จากปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมงแบบใส่สารหน่วงการก่อตัว

Sample No.	Section area (cm^2)	Weight (kg)	Age (days)	Ultimate load (kN)	Ultimate load (kg)	Compressive strength (ksc)	Average	SD
1	25	0.266	1	42.74	4356.78	174.27	163.44	27.98
2	25	0.268	1	45.22	4609.58	184.38		
3	25	0.268	1	32.29	3291.54	131.66		
4	25	0.271	7	82.46	8405.71	336.23	341.22	6.13
5	25	0.269	7	85.36	8701.33	348.05		
6	25	0.272	7	83.23	8484.20	339.37		
7	25	0.279	14	84.01	8563.71	342.55	360.69	44.90
8	25	0.276	14	80.37	8192.66	327.71		
9	25	0.274	14	101.00	10295.62	411.82		
10	25	0.277	28	107.95	11004.08	440.16	385.84	47.47
11	25	0.270	28	89.51	9124.36	364.97		
12	25	0.274	28	86.42	8809.38	352.38		

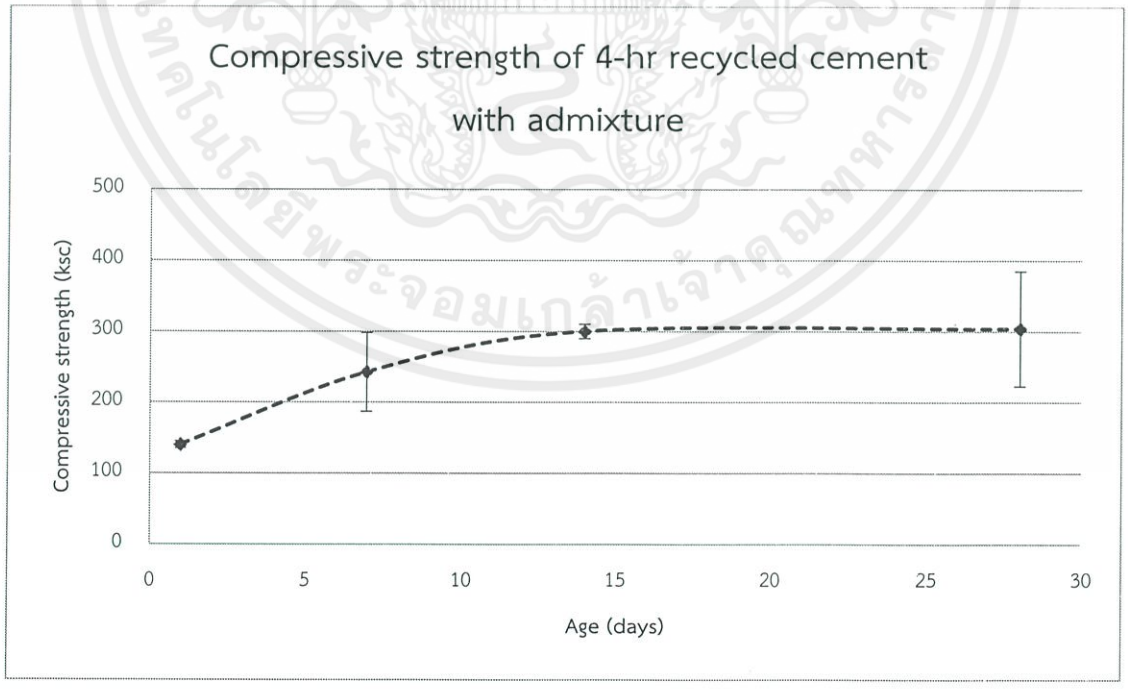


รูปที่ ผ.5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์จากปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 2 ชั่วโมงแบบใส่สารหน่วงการก่อตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.5.5 ผลการทดสอบหากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์จากปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมงแบบใส่สารหน่วงการก่อตัว

Sample No.	Section area (cm^2)	Weight (kg)	Age (days)	Ultimate load (kN)	Ultimate load (kg)	Compressive strength (ksc)	Average	SD
1	25	0.255	1	35.83	3652.40	146.10	140.41	4.95
2	25	0.257	1	33.61	3426.10	137.04		
3	25	0.256	1	33.87	3452.60	138.10		
4	25	0.268	7	73.69	7511.72	300.47	242.53	55.43
5	25	0.267	7	58.15	5927.62	237.10		
6	25	0.267	7	46.60	4750.25	190.01		
7	25	0.272	14	70.97	7234.45	289.38	300.01	10.15
8	25	0.270	14	75.93	7740.06	309.60		
9	25	0.268	14	73.83	7525.99	301.04		
10	25	0.271	28	51.57	5256.88	210.28	304.00	81.17
11	25	0.273	28	86.19	8785.93	351.44		
12	25	0.270	28	85.91	8757.39	350.30		

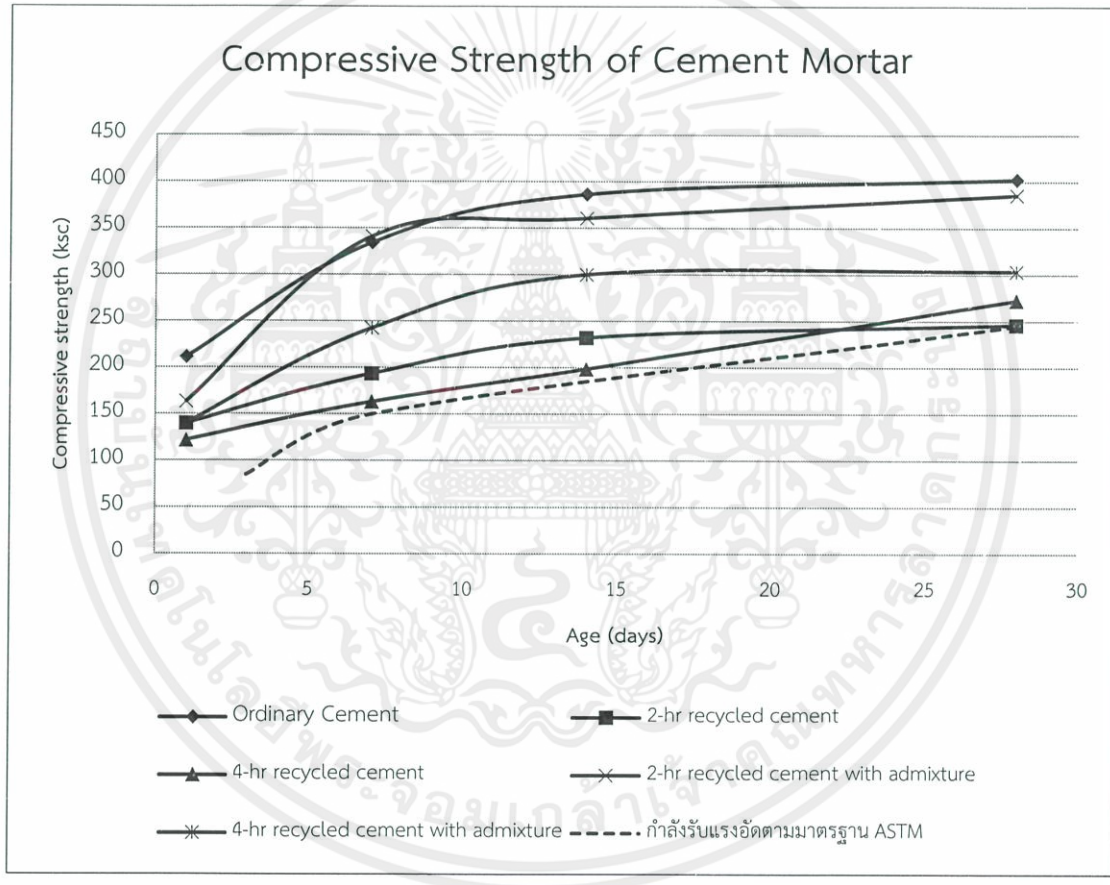


รูปที่ ผ.5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์จากปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมงแบบใส่สารหน่วงการก่อตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.5.6 ผลการทดสอบหากำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์จากปูนซีเมนต์ทุกประเภท

Type of sample	Age			
	1	7	14	28
Ordinary cement	211.32	334.34	386.37	402.72
2-hr aged recycled cement	140.09	193.58	232.10	246.40
4-hr aged recycled cement	122.03	163.28	198.52	272.67
2-hr aged recycled cement with admixture	163.44	341.22	360.69	385.84
4-hr aged recycled cement with admixture	140.41	242.53	300.01	304.00



รูปที่ ผ.5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์จากปูนซีเมนต์นำกลับมาใช้ใหม่อายุ 4 ชั่วโมงแบบใส่สารหน่วงการก่อตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-นามสกุล	นายกษิดิศ ณ สงขลา
วัน เดือน ปีเกิด	19 เมษายน 2539
ที่อยู่	1/63 ซ.41 ถ.สุขาภิบาล5 แขวงออเงิน เขตสายไหม กรุงเทพมหานคร 10220
โทร	097-215-8379
Email	kasidis995@gmail.com
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2557 จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสิริรัตนาธร เขตบางนา กรุงเทพมหานคร
ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ที่	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา ชั้นปีที่ 4

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-นามสกุล	นายกิตติภพ อภิโรจน์
วัน เดือน ปีเกิด	17 พฤษภาคม 2539
ที่อยู่	83/2 หมู่2 ต.ตาคลี อ.ตาคลี จ.นครสวรรค์ 60140
โทร	086-382840
Email	st.kittiphop@gmail.com
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2557 จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนตาคลีประชาสรรค์ อ.ตาคลี จ.นครสรรค์
ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ที	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา ชั้นปีที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-นามสกุล	นายคมกฤช สิทธิการ
วัน เดือน ปีเกิด	15 กันยายน 2538
ที่อยู่	47/1 หมู่1 ต.ช่องสะเดา อ.เมือง จ.กาญจนบุรี 71190
โทร	098-2620060
Email	fctr559@msn.com
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2557 จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนวิสุทธรังษี จ.กาญจนบุรี
ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ที่	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา ชั้นปีที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้