การศึกษาผลกระทบของสารเคมีตัวเติมต่อกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์

EFFECT OF CHEMICAL ADDITIVE ON STRENGTH OF SOIL-CEMENT

นางสาวอรปรียา แสนเพื่อน

นางสาวอาทิตยา วันสุวรรณ์

นางสาวอินทิรา เพิ่มปัญญา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECT OF CHEMICAL ADDITIVE ON STRENGTH OF SOIL-CEMENT

Onpreeya Sanphean

Arthittaya Wansuwan

Inthira Preampanya

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

2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ การศึกษาผลกระทบของสารเคมีตัวเติมต่อกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์

EFFECT OF CHEMICAL ADDITIVE ON STRENGTH OF SOIL-CEMENT.

นักศึกษา นางสาวอรปรียา แสนเพื่อน รหัสนักศึกษา 62011034

นางสาวอาทิตยา วันสุวรรณ์ รหัสนักศึกษา 62011058

นางสาวอินทิรา เพิ่มปัญญา รหัสนักศึกษา 62011073

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ศลิษา ไชยพุทธ

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ธนาดล คงสมบูรณ์ รศ.ดร. ศลิษา ไชยพุทธ อาจารย์อุบะ ศิริแก้ว ดร.พิณิช ธนชัยโชคศิริกุล	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 12 พฤษภาคม พ.ศ.2566 **สถานที่สอบ** ณ ห้อง CV 202

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(รศ.ดร.ชลิดา อู่ตะเภา)

ประธานสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่____เดือน _____พ.ศ. 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาผลกระทบของสารเคมีตัวเติมต่อกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์

นางสาวอรปรียา แสนเพื่อน รหัสนักศึกษา 62011034
นางสาวอาทิตยา วันสุวรรณ รหัสนักศึกษา 62011058
นางสาวอินทิรา เพิ่มปัญญา รหัสนักศึกษา 62011073

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ศลิษา ไชยพุทธ

ปีการศึกษา 2565

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันได้มีการนำเทคนิคการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยการใช้สารตัวเติมเติมผสมลงไปในดิน เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีซึ่งสารตัวเติมดังกล่าวคือปูนซีเมนต์ ซึ่งเทคนิคนี้เรียกว่าดินซีเมนต์ โดยปูนซีเมนต์เป็นวัสดุก่อสร้างที่มีราคาแพงและกระบวนการผลิตก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันจึงมีการนำสารเคมีตัวเติมที่ก่อให้เกิดความแข็งแรงมากขึ้นควบคู่กับการใช้ปูนซีเมนต์ เพื่อเป็นการลดปริมาณปูนซีเมนต์ลง และยังเป็นการลดต้นทุนในการก่อสร้าง งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้สารเคมีตัวเติม (Additive A) ในดินซีเมนต์ เพื่อเพิ่มสมบัติกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ โดยดินที่นำมาศึกษา คือดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ ผสมอัตราส่วนของสารเคมีตัวเติมร้อยละ 0 และ 100 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และกำหนดอัตราส่วนปูนซีเมนต์ร้อยละ ตั้งแต่ 0-30 โดยน้ำหนักของดินแห้ง ศึกษาการผสม 2 วิธี ได้แก่ การผสมแบบแห้ง และการผสมแบบเปียก ภายใต้เงื่อนไขการบ่มตัวอย่าง 2 รูปแบบ คือ การบ่มในอากาศ และการบ่มพลาสติก ที่ระยะเวลา 7 และ 28 วัน ตามลำดับ จากนั้นจึงนำตัวอย่างข้างต้นมาทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัด จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่า สารเคมีตัวเติมส่งผลให้ชิ้นงานดินซีเมนต์มีความแข็งแรงมากขึ้นกว่าชิ้นงานดินซีเมนต์ที่ไม่มีการปรับปรุงด้วยสารเคมีตัวเติม โดยการผสมแบบเปียก และการบ่มในอากาศส่งผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ซึ่งมีความแข็งแรงมากกว่าการผสม และการบ่มรูปแบบอื่น ๆ

คำสำคัญ : ดินซีเมนต์; สารเคมีตัวเติม; กำลังรับแรงอัดแกนเดียว; ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECT OF CHEMICAL ADDITIVE ON STRENGTH OF SOIL-CEMENT

Miss.Onpreeya Sanphean Student ID. 62011034
Miss.Arthittaya Wansuwan Student ID. 62011058
Miss.Inthira Preampanya Student ID. 62011073

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Salisa Chaiyaput

Academic Year 2022

ABSTRACT

Nowadays, ground improvement techniques are used by using additives mixed into the soil to make a chemical reaction, which is a cement. This technique is called soil cement. Cement is expensive material and production process will pollute the environment. So, using chemical additives that produce higher strength in parallel with the use of cement for reduce the quantity of cement and reduce the cost of construction. This research is investigate using additives (Additive A) in soil cement for higher compressive strength of soil cement. The soil used in this research is Bangkok soft clay mixed the ratio of 0 and 100 percent of additives (by weight per volume) and determine the percentage of cement from 0-30 (by weight of dry soil). The mixing process is classified into 2 processes i.e. dry mixing process and wet mixing process and curing samples in 2 conditions i.e. curing in open ambient air and curing in plastic wrapping for the period of 7 and 28 days, then take the samples to test for compressive strength. From the preliminary study, it is also found that the compressive strength of soil cement with the addition of additives much higher than the soil cement without the addition of additives. The wet mixing process and curing in open ambient air affected the compressive strength of the soil cement, which was stronger than other mixing processes and curing methods.

Keywords: Soil Cement; Chemical Additives; Unconfined Compressive Strength; Soft Bangkok Clay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อ อาจารย์ศลิษา ไชยพุทธ และอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษทุกท่านที่กรุณาให้คำปรึกษา และเสนอแนะแนวทางในการศึกษา ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขกระทั่งโครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อคณะกรรมการตรวจสอบโครงงานทุกท่าน ที่ได้ตรวจสอบโครงงานฉบับนี้จนสำเร็จโดยสมบูรณ์

นอกจากนี้ผู้จัดทำ ขอขอบคุณ นางสาวน้ำทิพย์ กิ่งน้อย นักศึกษาระดับปริญญาเอก ที่คอยให้คำแนะนำในงานวิจัย การทดลองและการทดสอบตลอดมา ทำให้งานวิจัยนี้ถูกต้อง สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และผู้จัดทำมีความสำนึกในพระคุณของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พร้อมทั้งคณะอาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอน วิทยาการต่าง ๆให้กับผู้จัดทำ และขอสำนึกในพระคุณบิดา มารดา ที่ได้ให้การสนับสนุนแก่ผู้จัดทำจนสำเร็จการศึกษา และขอบคุณเพื่อนๆที่ให้ความช่วยเหลือ เป็นกำลังใจในการทำโครงงานครั้งนี้ให้สำเร็จลงด้วยดี

ท้ายที่สุดนี้ คุณความดีและคุณประโยชน์ของโครงงานพิเศษฉบับนี้ ขอมอบเป็นสิ่งตอบแทนต่อผู้ที่มีพระคุณต่อคณะผู้จัดทำทุกท่าน

นางสาวอรปรียา แสนเพื่อน

นางสาวอาทิตยา วันสุวรรณ์

นางสาวอินทิรา เพิ่มปัญญา

ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

ปกรองใน **ก**

ใบรับรองโครงงานพิเศษ **ข**

บทคัดย่อภาษาไทย **ค**

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ **ง**

กิตติกรรมประกาศ **จ**

สารบัญ **ฉ**

สารบัญ (ต่อ) **ฉ**

สารบัญตาราง **ซ**

สารบัญรูป **ฌ**

สารบัญรูป (ต่อ) **ญ**

บทนำ **1**

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย 1

1.2 วัตุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง **3**

2.1 ดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) 3

2.2 ธรณีวิทยาทั่วไปของพื้นที่ภาคกลาง 3

2.3 สภาพปัญหาทางวิศวกรรม 6

2.4 ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 7

2.5 ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในดินซีเมนต์ 13

2.6 วิธีและเทคนิคการทำเสาเข็มดินซีเมนต์ (Soil Cement Column) 14

2.7 องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อสมบัติของดินผสมซีเมนต์หรือปูนขาว 16

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

วิธีดำเนินงานวิจัย **23**

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน 23

3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ 25

3.3 การเตรียมตัวอย่างในการทดสอบ 27

3.4 เงื่อนไขการทดสอบ 28

3.5 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ 29

3.6 ขั้นตอนการผสมตัวอย่าง 33

3.7 การทดสอบสมบัติเชิงกลของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ผสมด้วยปูนซีเมนต์กับสารเคมีตัวเติม 37

ผลการทดลอง และการอภิปรายผล **38**

4.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ 38

4.2 ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด (Compressive strength test) 39

สรุปผลวิจัย และข้อเสนอแนะ **43**

5.1 สรุปผลการวิจัย 43

5.2 ข้อเสนอแนะ 43

อ้างอิง **44**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ค่าออกไซด์ต่าง ๆที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 10

ตารางที่ 2.2 สรุปคุณสมบัติของสารประกอบหลักในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 12

ตารางที่ 2.3 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของสารประกอบหลักของปูนเม็ด 12

ตารางที่ 2.4 ปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับดินแต่ละประเภทจำแนกตามระบบเอกภาพ (Unified Soil Classification System : USCS) 17

ตารางที่ 2.5 ปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับดินแต่ละประเภทจำแนกตามระบบเอกภาพ (American Association of State Highway and Transportation Officials : ASSHTO) 18

ตารางที่ 3.1 สัญลักษณ์ที่ใช้กำหนดอัตราส่วนผสมในวิจัย 28

ตารางที่ 3.2 ตารางส่วนผสม 34

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ในกรณีตัวอย่างดินเปลี่ยนสภาพ (Disturbed Sample) 23

รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ หลังการผสมด้วยปูนซีเมนต์กับสารเคมีตัวเติม 24

รูปที่ 3.2 บริเวณที่เก็บดินขึ้นมาทดสอบ 25

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างดินเหนียวอ่อนกรุงเทพมหานคร (Bangkok Soft Clay) ที่ใช้ในการทดสอบ 26

รูปที่ 3.4 ลักษณะการบ่ม 27

รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength) และอุปกรณ์สำหรับการเตรียมตัวอย่างดิน 28

รูปที่ 3.6 การบ่มตัวอย่างดินหลังจากการผสมด้วยปูนซีเมนต์กับสารเคมีตัวเติมแล้วสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength) 29

รูปที่ 3.7 อุปกรณ์และเครื่องมือการทดสอบขีดจำกัดของดิน Atterberg's limit 30

รูปที่ 3.8 การทดสอบหาค่าขีดจำกัดเหลว (LL) 30

รูปที่ 3.9 การทดสอบหาค่าขีดจำกัดพลาสติก (PL) 31

รูปที่ 3.10 การทดสอบหาค่าขีดจำกัดพลาสติก (PL) 32

รูปที่ 3.11 เครื่องทดสอบ Natural Moisture Content 33

รูปที่ 3.12 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการผสม 34

รูปที่ 3.13 ขั้นตอนการผสมแบบแห้ง (Dry Process) 35

รูปที่ 3.14 โรยผงซีเมนต์ลงไปในดินที่กำลังปั่นอยู่ 35

รูปที่ 3.15 ขั้นตอนการผสมแบบเปียก (Wet Process) 36

รูปที่ 3.16 ขั้นตอนการผสมแบบเปียก (Wet Process) 36

รูปที่ 3.17 การทดสอบหาค่ากำลังแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compression Test) 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดินกับจำนวนครั้งในการเคาะเพื่อหาขีดจำกัดเหลว 38

รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ อัตราส่วนซีเมนต์ต่อสารเคมีตัวเติมที่ใช้ของดินซีเมนต์ โดยรูปแบบการผสมแบบเปียก ที่ 2 สภาวะการบ่มคือ หุ้มพลาสติก (Plastic wrapping) และบ่มอากาศ (Open ambient air) เป็นระยะเวลา 7 วัน 40

รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ อัตราส่วนซีเมนต์ต่อสารเคมีตัวเติมที่ใช้ของดินซีเมนต์ โดยรูปแบบการผสมแบบแห้ง ที่ 2 สภาวะการบ่มคือ หุ้มพลาสติก (Plastic wrapping) และบ่มอากาศ (Open ambient air) เป็นระยะเวลา 7 วัน 40

รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ อัตราส่วนซีเมนต์ต่อสารเคมีตัวเติมที่ใช้ของดินซีเมนต์ โดยรูปแบบการผสมแบบเปียก ที่ 2 สภาวะการบ่มคือ หุ้มพลาสติก (Plastic wrapping) และบ่มอากาศ (Open ambient air) เป็นระยะเวลา 28 วัน 41

รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ อัตราส่วนซีเมนต์ต่อสารเคมีตัวเติมที่ใช้ของดินซีเมนต์ โดยรูปแบบการผสมแบบแห้ง ที่ 2 สภาวะการบ่มคือ หุ้มพลาสติก (Plastic wrapping) และบ่มอากาศ (Open ambient air) เป็นระยะเวลา 28 วัน 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ในงานก่อสร้างสิ่งต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นอาคาร บ้านเรือนหรือที่พักอาศัยประเภทอื่น ๆ ตลอดจนระบบสาธารณูปโภค และระบบขนส่งมวลชน เป็นต้น การก่อสร้างโครงสร้างต่าง ๆ บนชั้นดินเหนียวอ่อนนั้นก่อให้เกิดปัญหาที่เนื่องจากกำลังรับน้ำหนักของดินเหนียวอ่อนมีค่าน้อยมาก จนไม่สามารถรับน้ำหนักของสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ได้ ส่งผลให้เกิดการทรุดตัวของชั้นดินเหนียวอ่อนที่มีค่าสูงเกินกว่าที่ยอมรับได้ ทำให้เกิดปัญหากับโครงสร้าง สำหรับในประเทศไทยพื้นที่บริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตั้งอยู่ทางตอนกลางของประเทศไทย เป็นที่ราบที่มีขนาดกว้างใหญ่ที่สุดในประเทศ เกิดจากการตกตะกอนของแม่น้ำเจ้าพระยา และเกิดจากการยกตัวของพื้นที่ซึ่งเคยอยู่ในระดับน้ำทะเลมาก่อน ซึ่งพื้นที่ราบในบริเวณนี้ มีชื่อเรียกว่าดินเหนียวกรุงเทพฯ หรือดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ (Soft Bangkok Clay) ซึ่งกินพื้นที่บริเวณกว้างเริ่มต้นจากจังหวัดสมุทรปราการ จนถึงจังหวัดอ่างทอง ตามทิศทางตามแนวเหนือใต้ โดยดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ นี้ได้รับการยกย่องว่าเป็นชั้นดินที่มีคุณสมบัติที่ซับซ้อนมาก เนื่องจากเป็นชั้นดินที่เกิดจากตะกอนจากแม่น้ำและน้ำทะเลผสมกัน ดังนั้น ในการก่อสร้างที่ต้องก่อสร้างในพื้นที่ที่เป็นชั้นดินเหนียวอ่อน จำเป็นจะต้องออกแบบให้ดินสามารถรับน้ำหนักของโครงสร้างได้ ทำให้ต้องมีการใช้การปรับปรุงคุณภาพดิน ปัจจุบันได้มีการนำเทคนิคในการปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพของดินเหนียวอ่อนมาใช้กันหลายวิธี ได้แก่

1) การใช้น้ำหนักกดทับล่วงหน้า (Preloading)

2) การเพิ่มน้ำหนักทีละขั้น (Stage Loading)

3) การระบายน้ำตามแนวดิ่ง (Vertical Drainage)

4) การเติมสารเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี (Chemical Stabilization)

5) การใช้วัสดุที่มีเส้นใยช่วยในการรับแรง (Geosynthetics or Reinforcement)

จากที่กล่าวมาข้างต้นนั้น เป็นวิธีในการปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพของดินเหนียวอ่อน เพื่อให้มีคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมที่ดีขึ้นในด้านกำลังรับน้ำหนักและการลดการทรุดตัว อย่างไรก็ตามการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยการเติมสารเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งนั้นก็คือ ปูนซีเมนต์ ที่เป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้กันทั่วไปนั้นเป็น 1 วิธีที่เหมาะสำหรับการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อน

อย่างไรก็ดี ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุที่มีราคาแพง ทั้งยังในกระบวนการผลิตก็ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย และถ้าเราใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่มากเกินไปอาจจะส่งผลให้ดินซีเมนต์เกิดรอยแตกได้ ดังนั้น จึงได้นำเอาสารตัวเติมเข้ามาผสม เพื่อลดปริมาณปูนซีเมนต์ลง และยังเพิ่มประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักของดิน ช่วยลดการทรุดตัวของดิน และถือเป็นการลดต้นทุนในการก่อสร้างอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงอัดของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพเมื่อผสมด้วยปูนซีเมนต์และสารตัวเติม

2. เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมของสารตัวเติม อายุการบ่ม และลักษณะการบ่มของดินซีเมนต์ที่ต่างกันต่อค่ากำลังการรับแรงอัด

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพที่นำมาใช้ในการวิจัย เป็นดินบริเวณโรงพยาบาลลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร โดยทำการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 8-10 เมตรจากผิวดินเดิม

2. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่เรานำมาใช้ในการทดสอบคือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ที่กำหนดอัตราส่วนปูนซีเมนต์ร้อยละ ตั้งแต่ 0-30 โดยน้ำหนักของดินแห้ง

3. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (Water Cement Ratio) ที่อัตราส่วน 0.5 0.6 และ 0.7

4. การบ่มดินซีเมนต์ที่ระยะเวลา 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน

5. ศึกษารูปแบบการผสมแบบแห้ง และการผสมแบบเปียก และลักษณะวิธีการบ่มตัวของดินซีเมนต์ในอากาศ และพลาสติกที่ส่งผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์

6. ศึกษาคุณสมบัติของสารเคมีตัวเติมต่อค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์

7. ไม่ศึกษาความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ดินเหนียวอ่อน (Soft Clay)

ดินเหนียว (Clay) เป็นดินที่เกิดจากการทับถมของตะกอนที่ถูกพัดพามาอยู่บริเวณปากแม่น้ำที่ราบลุ่ม ส่วนดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) หมายถึง ดินที่มีขนาดดินเม็ดละเอียดอยู่ในปริมาณมาก มีปริมาณความชื้นสูงและมีปริมาณสารอินทรีย์สูงด้วย (สุภกิจ 2537) ตามธรรมชาติแร่ดินเหนียว (Clay Mineral) เป็นแร่ทุติยภูมิที่เกิดจากการผุพังของหิน โดยทั่วไปมีอนุภาคขนาดเล็กมากในระดับไมครอน ส่วนใหญ่มักจะประกอบด้วยแร่เคโอลิไนต์ (Kaolinite) แร่อิลไลต์ (Illite) และ แร่มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) ซึ่งเป็นหมู่แร่จำพวกไฮดรัสอะลูมินัมซิลิเกต (Hydrous Aluminum Silicate) โดยจะมีลักษณะเป็นแผ่นเกิดจากการเรียงซ้อนกันของชั้นอะลูมินา และซิลิกาและในระหว่างชั้นเหล่านี้จะมีไอออนบวกของแร่โลหะ เช่น โซเดียม (Sodium : Na) แคลเซียม (Calcium : Ca) โพแทสเซียม (Potassium : K) แมกนีเซียม (Magnesium : Mg) และเหล็ก (Iron : Fe) แทรกอยู่ โดยทั่วไปแล้วดินเหนียวแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไปตามชนิดของแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบภายในโครงสร้างของอนุภาคเม็ดดินที่รวมตัวกัน รวมถึงปริมาณน้ำในมวลดินด้วย ซึ่งลักษณะการเกิดของดินเหนียวอ่อนบริเวณนี้จะเป็นบริเวณภาคกลางตอนล่าง จะมีลักษณะเป็นดินตะกอนที่แม่น้ำเจ้าพระยาพัดพามา เมื่อแม่น้ำสายนี้ไหลผ่านบริเวณพื้นที่ราบ ความเร็วของกระแสน้ำที่ไหลผ่านบริเวณนี้จะลดลง วัตถุต่าง ๆ ที่ละลายปนมาในน้ำจะตกตะกอนทับถมกัน ซึ่งตะกอนเหล่านี้ส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยทรายละเอียด (Fine Sand) ดินเหนียว(Clay) และดินตะกอน (Silt) เกิดเป็นดินตะกอนบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาหรือเรียกว่าดินเหนียวอ่อน กรุงเทพฯ (Soft Bangkok Clay)

2.2 ธรณีวิทยาทั่วไปของพื้นที่ภาคกลาง

สภาพทางธรณีวิทยาและลำดับชั้นหินทั่วไปบริเวณภาคกลางมีลักษณะดังนี้ ภาคกลางมีลักษณะเป็นที่ราบลุ่ม เรียกว่า ที่ราบลุ่มภาคกลาง (The Central Plain) เป็นที่ราบลุ่มที่อยู่บริเวณตอนกลางของประเทศ ซึ่งอยู่กึ่งกลางระหว่างภาคเหนือ ภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันตก และภาคใต้ มีพื้นที่ประมาณ 92,795 ตารางกิโลเมตร บริเวณเหนือสุดของภาคเริ่มจากบริเวณอำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย ลงไปทางใต้สุดบริเวณอำเภออัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม ส่วนบริเวณตะวันออกสุดเริ่มจากอำเภอน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ ไปจนถึงบริเวณตะวันตกสุดที่อำเภอคลองลาน จังหวัดกำแพงเพชร ประกอบด้วย 22 จังหวัด โดยแบ่งเป็นภาคกลางตอนบน มี 7 จังหวัด ได้แก่ สุโขทัย กำแพงเพชร พิจิตร พิษณุโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพชรบูรณ์ นครสวรรค์ และอุทัยธานี ส่วนภาคกลางตอนล่าง มี 15 จังหวัด ได้แก่ ชัยนาท สิงห์บุรี สระบุรี ลพบุรี อ่างทอง สุพรรณบุรี พระนครศรีอยุธยา ปทุมธานี นนทบุรี นครปฐม นครนายก สมุทรปราการ สมุทรสาคร สมุทรสงคราม และกรุงเทพมหานคร โดยที่ราบลุ่มภาคกลางจะครอบคลุมพื้นที่ ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาทั้งหมดทั้งตอนบนและตอนล่าง เกิดจากการกระทำของแม่น้ำทุกสายที่ไหลลงสู่ทะเลบริเวณอ่าวไทย ซึ่งแม่น้ำสายสำคัญประกอบด้วย แม่น้ำปิง วัง ยม และน่าน แม่น้ำเหล่านี้เป็นแม่น้ำสาขาที่ไหลจากเทือกเขาสูงทางภาคเหนือของประเทศมาบรรจบกันเป็นแม่น้ำเจ้าพระยาบริเวณภาคกลางตอนบน โดยพัดพาตะกอนมาสะสมตัวกันในพื้นที่ตอนล่างซึ่งเคยเป็นพื้นที่อยู่ใต้ระดับน้ำทะเลมาก่อนจนกลายเป็นที่ราบกว้างใหญ่โผล่พ้นอยู่เหนือระดับน้ำทะเล การสะสมและทับถมกันของตะกอนเหล่านี้ยังเกิดจากการกระทำของแม่น้ำที่ไหลจากที่สูงทางด้านตะวันออกและตะวันตกที่อยู่ล้อมรอบบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางแห่งนี้ด้วย ซึ่งแม่น้ำสายสำคัญทางด้านตะวันออก ได้แก่ แม่น้ำป่าสัก แม่น้ำลพบุรี และแม่น้ำบางประกง ส่วนแม่น้ำสายสำคัญทางด้านตะวันตก ได้แก่ แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำแม่กลอง และแม่น้ำสะแกกรัง จนเกิดเป็นที่ราบผืนเดียวกันต่อเนื่องทั้งบริเวณตอนบนและตอนล่างในที่สุด โดยที่ราบลุ่มภาคกลางนี้เป็นที่ราบที่กว้างใหญ่ที่สุดในประเทศไทยและมีลักษณะคล้ายรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า โดยมีเทือกเขาและภูเขาโดด ๆ บริเวณจังหวัดนครสวรรค์ปรากฏอยู่เป็นหย่อมๆ ซึ่งเทือกเขาและภูเขาโดด ๆ เหล่านี้ ใช้เป็นแนวในการแบ่งพื้นที่ราบลุ่มภาคกลางออกเป็น 2 ส่วน คือที่ราบลุ่มภาคกลางตอนบนและที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่าง

1) ที่ราบลุ่มภาคกลางตอนบน (Upper Central Plain)

ที่ราบลุ่มภาคกลางตอนบน มีขอบเขตครอบคลุมจังหวัดสุโขทัย พิษณุโลก พิจิตร กำแพงเพชร และพื้นที่บางส่วนของจังหวัดอุตรดิตถ์ (ซึ่งเป็นจังหวัดที่อยู่ทางภาคเหนือของประเทศไทยและมีอาณาเขตติดต่อกับทิศเหนือของจังหวัดสุโขทัย) ต่อเนื่องลงมาจนถึงบริเวณอำเภอปากน้ำโพจังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งเป็นบริเวณที่แม่น้ำปิง วัง ยม และน่านไหลมาบรรจบกันเป็นแม่น้ำเจ้าพระยา โดยที่ราบลุ่มภาคกลางตอนบนนี้มีลักษณะเป็นพื้นที่ลอนราด (Undulating Terrain) มีความสูงเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 40-60 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง (Mean Sea Level : MSL) ซึ่งเป็นตะกอนที่เกิดจากการสึกกร่อน (Erosion) และการผุพัง (Weathering) ของหินเดิม จากนั้นถูกน้ำพัดพา (Transport) มาสะสมตัว (Deposition) เกิดเป็นที่ราบน้ำท่วมถึง (Flood Plain), ตะพักลุ่มน้ำหรือที่ราบขั้นบันได (Terrace) และที่ลุ่มน้ำขัง (Swamp) โดยทั่วไป

2) ที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่าง (Lower Central Plain)

ที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่าง มีขอบเขตครอบคลุมตั้งแต่ตอนล่างของจังหวัดนครสวรรค์ บริเวณอำเภอปากน้ำโพ ลงมาจนถึงปากแม่น้ำเจ้าพระยาที่จังหวัดสมุทรปราการ มีระดับความสูง ต่ำกว่าที่ราบลุ่มภาคกลางตอนบน ซึ่งระดับความสูงจะแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ เช่นบริเวณขอบตลิ่งแม่น้ำเจ้าพระยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในเขตจังหวัดนครสวรรค์ ชัยนาท และสิงห์บุรี มีความสูงอยู่ที่ประมาณ 20 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง (MSL) จากนั้นจะค่อยๆ ลดระดับความสูงลงจนถึงบริเวณจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ซึ่งความสูงเฉลี่ยอยู่ที่ 2.5 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง (MSL) ส่วนบริเวณที่อยู่ใกล้แม่น้ำเจ้าพระยาจะเห็นร่องรอยของการเคลื่อนที่ของแม่น้ำเจ้าพระยาจากลักษณะของทะเลสาบรูปแอก (Oxbow Lake) และรอยทางน้ำโค้งตวัด (Meander Scar) ตั้งแต่บริเวณจังหวัดพระนครศรีอยุธยาต่อเนื่องลงมาถึงกรุงเทพมหานคร ซึ่งห่างจากปากแม่น้ำเจ้าพระยาประมาณ 21 กิโลเมตร และมีความสูงเฉลี่ยประมาณ 1.5 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง (MSL) โดยทั่วไปที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่างบริเวณที่อยู่ใกล้แม่น้ำเจ้าพระยานี้มีลักษณะแบนราบแผ่กระจายเป็นบริเวณกว้าง ซึ่งเกิดจากการไหลบ่าเข้ามาของทะเลในสมัยโบราณ แล้วถอยร่นออกไปในเวลาต่อมา นอกจากนี้หลักฐานของชนิดตะกอนที่มาสะสมตัวและลักษณะภูมิประเทศในบริเวณนี้พบว่า ที่ราบลุ่มภาคกลางนี้ประกอบไปด้วยที่ลุ่มชื้นแฉะ (March) ที่ราบลุ่มน้ำท่วมถึง (Tidal Flat) ดินดอนสามเหลี่ยม (Delta) หาดทราย (Beach) และสันดอนทราย (Sand Bar)

จากสภาพทางธรณีวิทยาทั่วไปพบว่า ที่ราบลุ่มภาคกลางเกิดจากการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนขนาดใหญ่ ซึ่งประกอบไปด้วย รอยเลื่อนแม่ปิง (ต่อเลยไปเกือบเชื่อมกับรอยเลื่อนเมย) รอยเลื่อนอุตรดิตถ์ (น้ำปาด) และรอยเลื่อนเจดีสามองค์ ในยุคครีเทเชียสตอนปลายจนถึงยุคเทอร์เชียรี ต่อเนื่องจากการเปิดตัวของอ่าวไทยที่อยู่ทางใต้และการเกิดแองเทอร์เชียรีในบริเวณภาคเหนือและภาคตะวันออกตอนบน ตามด้วยการเกิดรอยเลื่อนในแนวเหนือ-ใต้ (Bunopas, 1981) โดยการสะสมตัวเกิดขึ้นบนบกแบบเนินตะกอนน้ำพารูปพัด ที่ราบตะกอนน้ำพา ทางน้ำ ทะเลสาบและกึ่งทางน้ำกึ่งทะเลสาบ

สภาพธรณีวิทยาของพื้นที่อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ที่ได้จากการศึกษาในเบื้องต้นโดยรวบรวมข้อมูลเก่าที่มีการศึกษาไว้แล้ว พบว่าธรณีวิทยาของพื้นที่บริเวณนี้ประกอบไปด้วยหมวดหินยุคซีโนโซอิก

หมวดหินมหายุคซีโนโซอิก ประกอบด้วยหินยุคเทอร์เชียรีในที่ราบลุ่มภาคกลาง ซึ่งพบว่าถูกปิดทับด้วยตะกอนควอเทอร์นารีทั้งแอ่ง ข้อมูลทางธรณีวิทยาจึงได้มาจากการเจาะสำรวจและข้อมูลทางธรณีฟิสิกส์ พบว่าเป็นแอ่งขนาดใหญ่ 3 แอ่ง ได้แก่ แอ่งพิษณุโลก, แอ่งสุพรรณบุรี และแอ่งธนบุรี โดยในแต่ละแอ่งได้แบ่งย่อยลงไปอีกหลายแอ่ง ประกอบด้วย

แอ่งพิษณุโลก มีศักยภาพของปิโตรเลียมสูง ตัวแอ่งทั้งด้านเหนือและด้านใต้ถูกขนาบด้วยรอยเลื่อนแม่ปิงในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และรอยเลื่อนอุตรดิตถ์ในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งล้วนเป็นรอยเลื่อนในแนวระดับทั้งสิ้น และชั้นหินในแอ่งนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 หมวดหิน โดยมีลำดับเรียงจากล่างขึ้นบน ดังนี้ หมวดหินหนองบัว หมวดหินลาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบือ หมวดหินประดู่เฒ่า หมวดหินยม และหมวดหินปิง ซึ่งมีหน่วยตะกอนยุคควอเทอร์นารีปิดทับอยู่ด้านบนสุด

โดยตะกอนยุคควอเทอร์นารีสมัยไพลสโตนส่วนใหญ่พบอยู่ตามบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา มีความหนาของชั้นตะกอนอยู่ที่ประมาณ 650-1830 เมตร ซึ่งสะสมตัวต่อเนื่องอยู่ในแอ่งของบล็อกรอยเลื่อนที่จมตัวลงอย่างช้า ๆ สามารถแบ่งลักษณะของตะกอนออกเป็น 2 หน่วยตะกอน ได้แก่

1) หน่วยชั้นตะกอนเจ้าพระยา ประกอบด้วย

1.1) ตะกอนชุดสมุทรปราการ เป็นชั้นหินโคลนที่อยู่ล่างสุดวางตัวอยู่บนชั้นหินดินดานสีแดงอายุเทอร์เชียรี

1.2) ตะกอนชุดพระนคร เป็นชั้นทรายสลับกับชั้นดินเหนียว วางตัวแบบรอยสัมผัสไม่ต่อเนื่องบนชั้นตะกอนชุดสมุทรปราการ

1.3) ตะกอนชุดพระประแดง เป็นชั้นตะกอนที่อยู่บนสุด มีลักษณะเป็นชั้นตะกอนทรายและกรวดที่มีเปลือกรากไม้หรือพีตปนอยู่ด้วย

2) หน่วยชั้นตะกอนดินเหนียวกรุงเทพฯ ประกอบด้วย

2.1) ตะกอนดินเหนียวกรุงเทพฯ ตอนล่าง มีลักษณะเป็นตะกอนทรายที่สะสมตัวอยู่ในบริเวณปากแม่น้ำไหลลงสู่ทะเล

2.2) ตะกอนดินเหนียวกรุงเทพฯ ตอนบน มีลักษณะเป็นตะกอนดินเหนียวที่สะสมตัวอยู่ในทะเล

นอกจากนี้ ช่วงบริเวณตะพักสูงระหว่างเขตจังหวัดลพบุรีและสระบุรี ยังมีหน่วยหินมาร์ลลพบุรี ซึ่งเกิดจากการผุกร่อนของกลุ่มหินปูนสระบุรีในช่วงสมัยไพลสโตนสะสมตัวเป็นชั้นหนาประมาณ 15-20 เมตร

2.3 สภาพปัญหาทางวิศวกรรม

จากข้อมูลสภาพทางธรณีวิทยา ลำดับชั้นหินและสภาพชั้นดินบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาพบว่าดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ (Soft Bangkok Clay) มีลักษณะเป็นชั้นดินเหนียวอ่อน หนาประมาณ 10-18 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ เป็นดินที่มีกำลังรับน้ำหนักต่ำ (Low Strength) และมีสภาพการยุบตัวได้สูง (High Compressibility) ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญทางด้านวิศวกรรมที่มักก่อให้เกิดปัญหา ดังนี้

1) ปัญหาด้านกำลังรับน้ำหนักของดินเหนียวอ่อน เนื่องจากกำลังรับน้ำหนักของดินเหนียวอ่อนมีค่าต่ำหรือน้อยมากจนไม่สามารถที่จะรับแรงแบกทานและน้ำหนักบรรทุกที่เกิดขึ้นได้

2) ปัญหาด้านการทรุดตัวของดินเหนียวอ่อน เกิดจากการทรุดตัวของดินเหนียวอ่อนมีค่าสูงมากและกินระยะเวลานาน เนื่องมาจากการรับแรงแบกทานของดินเหนียว ทำให้ดินเหนียวเกิดการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation) ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งก่อสร้าง

2.4 ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์ (Cement) มีลักษณะเป็นผงละเอียด สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำได้ เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration Reaction) เกิดการก่อตัว และการแข็งตัวได้ ทำให้มีคุณสมบัติในด้านการรับแรงได้ ส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) คือ ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกที่ได้จากการบดปูนเม็ด (Clinker) ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ ได้แก่ ไฮดรอลิกแคลเซียมซิลิเกต (Hydraulic Calcium Silicate) กับสารหน่วงการก่อตัว เช่น ยิปซัม (Gypsum) เป็นต้น

โดยมาตรฐานปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ของประเทศไทย คือ มาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ หรือ มอก. 15 เล่ม 1 ข้อกำหนดเกณฑ์คุณภาพ ได้แบ่ง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่

1. ประเภท 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Type I : Ordinary Portland Cement)

2. ประเภท 2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Type II : Modified Portland Cement)

3. ประเภท 3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทให้กำลังอัดสูงเร็ว (Type III : High Early Strength Portland Cement)

4. ประเภท 4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เกิดความร้อนต่ำ (Type IV : Low Heat Portland Cement)

5. ประเภท 5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภททนซัลเฟตสูง (Type V : Sulphate Resistance Portland Cement)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนมาตรฐานปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ของสหรัฐอเมริกา (United States of America : USA) คือ ASTM C 150 ได้แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ออกเป็น 8 ประเภท ซึ่งเพิ่มขึ้นมา 3 ประเภท จากการแบ่งประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในประเทศไทย โดยเป็นประเภทกระจายกักฟองอากาศ

1. ประเภท 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Type I : Ordinary Portland Cement)

2. ประเภท 1A ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา เติมสารกระจายกักฟองอากาศ (Type IA : Air-Entraining Portland Cement)

3. ประเภท 2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Type II : Modified Portland Cement)

4. ประเภท 2A ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง เติมสารกระจายกักฟองอากาศ (Type IIA : Air-Entraining Modified Portland Cement)

5. ประเภท 3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทให้กำลังอัดสูงเร็ว (Type III : High Early Strength Portland Cement)

6. ประเภท 3A ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทให้กำลังอัดสูงเร็ว เติมสารกระจายกักฟองอากาศ (Type IIIA : Air-Entraining High Early Strength Portland Cement)

7. ประเภท 4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เกิดความร้อนต่ำ (Type IV : Low Heat Portland Cement)

8. ประเภท 5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภททนซัลเฟตสูง (Type V : Sulphate Resistance Portland Cement)

และมาตรฐานปูนซีเมนต์ของกลุ่มสหภาพยุโรปโดยทั่วไป คือ EN 197-1 ได้แบ่งปูนซีเมนต์ออกเป็น 5 ประเภทหลักๆ ด้วยกัน ได้แก่

1. ประเภท CEM I ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement)

2. ประเภท CEM II Portland-Composite Cement

    1) ประเภท Portland Slag Cement

    2) ประเภท Portland Silica Fume Cement

    3) ประเภท Portland Pozzolana Cement

    4) ประเภท Portland Fly Ash Cement

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ประเภท Portland Burnt Shale Cement

6) ประเภท Portland Limestone Cement

7) ประเภท Portland Composite Cement

3. ประเภท CEM III : Blast furnace Cement

4. ประเภท CEM IV : Pozzolanic Cement

5. ประเภท CEM V : Composite Cement

องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์จะเกิดปฏิกิริยาเมื่อวัตถุดิบได้รับการเผาในหม้อเผา ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 น้ำจะระเหยออกจากส่วนผสมทั้งหมด

ขั้นตอนที่ 2 : กำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ออกจากหินปูนหรือดินสอพอง เหลือไว้เพียงแคลเซียมออกไซด์ (Calcium Oxide : CaO)

ขั้นตอนที่3 : เกิดการหลอมตัวกันของออกไซด์ระหว่างแคลเซียม (จากหินปูนหรือ ดินสอพอง) กับซิลิกา อะลูมินา และเหล็ก (จากดินดำ ดินเหนียวหรือดินดาน)

ขั้นตอนที่ 4 : ออกไซด์ต่าง ๆ รวมตัวกันทางเคมี และทำให้เย็นตัวลงด้วยกระบวนการ ตกผลึก

ผลจากปฏิกิริยาในหม้อเผาจะได้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ประกอบด้วยออกไซด์ 2 กลุ่ม ใหญ่ ๆ คือ

1. ออกไซด์หลัก ประกอบด้วย CaO, SiO_2, Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ซึ่งรวมตัวกันประมาณร้อยละ 90 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์

2. ออกไซด์รอง ประกอบด้วย MgO, Na_2O, K_2O, TiO_2, P_2O_3 และยิปซัม โดยปริมาณ ออกไซด์ต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ แสดงในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ค่าออกไซด์ต่าง ๆที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

	ออกไซด์	เปอร์เซ็นต์(%)โดยน้ำหนัก
ออกไซด์หลัก	CaO	60 – 67
	SiO_2	17 – 25
	Al_2O_3	3 – 8
	Fe_2O_3	0.5 – 0.6
ออกไซด์รอง	MgO	0.1 – 5.5
	$Na_2O + K_2O$	0.5 – 1.3
	TiO_2	0.1 – 0.4
	P_2O_5	0.1 – 0.2
	SO_3	1 - 3

2.4.1 คุณสมบัติของสารประกอบหลักในปูนซีเมนต์

สารประกอบหลักในปูนซีเมนต์ เกิดจากการรวมตัวของออกไซด์หลักในระหว่าง การเกิดปูนเม็ด (Clinker) เกิดเป็นสารประกอบที่สำคัญ 4 ชนิด ได้แก่ ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium Silicate : C3S) ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium Silicate : C_2S) ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต (Tricalcium Aluminate : C_3A) และเตตระแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์ (Tetracalcium Alumino Ferrite : C_4AF) โดยคุณสมบัติของสารประกอบหลักในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั้ง 4 ชนิดนี้ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.2 และสารประกอบหลักเหล่านี้มีผลต่อคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ ดังนี้

1) ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium Silicate : C_3S หรือ Alite) มีส่วนประกอบทางเคมี คือ $3CaO•SiO_2$ เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างเป็นผลึกหกเหลี่ยม มีสีอ่อนกว่า ไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) มีคุณสมบัติเหมือนกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เมื่อนำไปผสมกับน้ำจะเกิดการก่อตัวและแข็งตัวภายใน 2-3 ชั่วโมง และเกิดปฏิกิริยากับน้ำที่ก่อให้เกิดความร้อน 500 จูลต่อกรัม จากนั้นจะมีกำลังอัดเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงสัปดาห์แรก โดยทั่วไปเมื่อเปอร์เซ็นต์ของ C_3S เพิ่มขึ้น กำลังอัดในช่วงแรกของปูนซีเมนต์จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย โดยปริมาณยิปซัมจะมีผลต่อกำลังอัดของ C_3S ด้วย ซึ่งในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมี C_3S อยู่ประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 2.3

2) ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium Silicate : C_2S หรือ Belite) มีส่วนประกอบทางเคมี คือ $2CaO•SiO_2$ เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างกลม เมื่อนำไปผสมกับน้ำจะเกิดการแข็งตัวและก่อให้เกิดความร้อน 250 จูลต่อกรัมจากนั้นเมื่อแข็งตัวแล้วจะพัฒนากำลังอัดอย่างช้า ๆ และจะเพิ่มกำลังอัดมากขึ้นเมื่อมีอายุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากกว่า 7 วัน แต่ถ้าในระยะยาวจะได้กำลังอัดใกล้เคียงกับ C_3S ซึ่งในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมี C_2S อยู่ประมาณ 15-30 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 2.3

3) ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต (Tricalcium Aluminate : C_3A) มีส่วนประกอบทางเคมี คือ $3CaO•Al_2O_3$ เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุม เมื่อนำไปผสมกับน้ำ จะทำปฏิกิริยาก่อให้เกิดการก่อตัวทันที (Flash Set) และมีความร้อนเกิดขึ้นสูงในช่วงแรกประมาณ 850 จูล ต่อกรัม การป้องกันการก่อตัวทันที (Flash Set) ทำได้โดยการเติมยิปซัมลงไปในขั้นตอนการบด ปูนซีเมนต์ เพื่อให้ยิปซัมทำหน้าที่หน่วงการก่อตัวเนื่องจากปฏิกิริยาของ C_3A จากนั้นจะพัฒนากำลังอัดในช่วง 1-2 วัน แต่มีค่ากำลังอัดค่อนข้างต่ำ โดยทั่วไปปูนซีมนต์ปอร์ตแลนด์จะมี C_3A อยู่ประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 2.3 นอกจากนี้ยังพบว่าปูนซีเมนต์ที่มีปริมาณ C_3A ต่ำกว่า จะสามารถทนทานต่อซัลเฟตได้ดีกว่า

4) เตตระแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์ (Tetra calcium Aluminoferrite : C_4AF หรือ Celite) มีส่วนประกอบทางเคมี คือ $4CaO•Al_2O_3•Fe_2O_3$ เป็นสารประกอบที่ได้จากการใช้วัตถุดิบที่มีสารประกอบของแร่เหล็กและอะลูมิเนียม เพื่อลดอุณหภูมิของปูนเม็ดในระหว่าง กระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ ซึ่งจะมีผลต่อสีของปูนซีเมนต์ทำให้มีสีเทา นอกจากนี้ C_4AF ยังมีคุณสมบัติทำปฏิกิริยากับน้ำอย่างรวดเร็วและเกิดการก่อตัวภายในไม่กี่นาทีโดยความร้อนที่เกิดขึ้น จากปฏิกิริยานี้ประมาณ 420 จูลต่อกรัม และยังพบว่าค่ากำลังอัดของ C_4AF มีค่าต่ำและไม่แน่นอน โดยทั่วไปแล้วปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมี C_4AF อยู่ประมาณ 5-15 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 สรุปคุณสมบัติของสารประกอบหลักในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

คุณสมบัติ	C_3S (Alite)	C_2S (Belite)	C_3A	C_4AF (Celite)
1.อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Rate of Hydration)	เร็ว (ชั่วโมง)	ช้า (วัน)	ทันทีทันใด	เร็วมาก (นาที)
2. การพัฒนากำลังอัด (Strength Development)	เร็ว (วัน)	ช้า (สัปดาห์)	เร็วมาก (วันเดียว)	เร็วมาก (วันเดียว)
3. กำลังอัดประลัย (Ultimate Strength)	สูง	ค่อนข้างสูง	ต่ำ	ต่ำ
4.ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Heat of Hydration) (จูลต่อกรัม)	ปานกลาง (500)	น้อย (250)	สูงมาก (850)	ปานกลาง (420)
5. คุณสมบัติอื่น ๆ	คุณสมบัติเหมือนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	-	ไม่เสถียรในน้ำและถูกซัลเฟตทำลายได้ง่าย	ทำให้ปูนซีเมนต์มีสีเทา

ตารางที่ 2.3 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของสารประกอบหลักของปูนเม็ด

สารประกอบ	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์ของปูนเม็ด)
C_3S (Alite)	50 - 70
C_2S (Belite)	15 - 30
C_3A	5 - 10
C_4AF (Celite)	5 - 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในดินซีเมนต์

Lambe et al. (1959) และ Moh (1962) ได้กล่าวไว้ว่า เมื่อน้ำผสมกับปูนซีเมนต์ซึ่งมี สารประกอบหลักอยู่ 4 ชนิด ได้แก่ ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium Silicate : C_3S หรือ Alite) ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium Silicate : C_2S หรือ Belite) ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต (Tricalcium Aluminate : C_3A) และ เตตระแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์ (Tetra calcium Aluminoferrite C_4AF หรือ Celite) จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ (Hydration Reaction of Cement) เกิดเป็น สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate : CSH) แคลเซียมอะลูมิเนตไฮเดรต (Calcium Aluminate Hydrate : CAH) และปูนขาวไฮเดรตที่คายตัวออกมา (Released Hydrate Lime) กระบวนการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันดังกล่าวนี้จะส่งผลให้เกิดการแข็งตัวของ สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) และแคลเซียมอะลูมิเนตไฮเดรต (CAH) ซึ่งมีคุณสมบัติ เป็นวัสดุเชื่อมประสาน นอกจากนี้ปูนขาวไฮเดรตที่คายตัวออกมาจากการเกิดกระบวนการดังกล่าวยัง ทำให้ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของน้ำในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน (Pore Water) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ตะกอนแขวนลอย (Colloid Gel) หรือซีเมนต์เหลว (Cement Gel) ซึ่งประกอบไปด้วยสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) แคลเซียมอะลูมิเนตไฮเดรต (CAH) เกิดการรวมตัวกันแล้วยึดเกาะ เป็นมวลที่มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นตามอายุของการบ่ม

มวลดินที่มีขนาดเม็ดละเอียดจะมีแรงยึดเกาะภายในมวลดิน 2 กรณี คือ การยึดจับประสานกันทางกล (Mechanical Interlock) และการยึดจับประสานกันทางเคมี (Chemical Cementation) โดยเฉพาะการยึดจับประสานกันทางเคมีนั้นจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับ ซิลิกา และอะลูมินาที่อยู่บริเวณผิวของเม็ดดิน ซึ่งมีน้ำเป็นตัวกลางในการเกิดปฏิกิริยา ทำให้เกิดสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) และแคลเซียมอะลูมิเนตไฮเดรต (CAH) อยู่บริเวณรอบ ๆ เม็ดดิน จนส่งผลให้เกิดการประสานกันของเม็ดดิน

Herzog and Mitchell (1963) ได้กล่าวว่า การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ เป็นการทำให้เกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) และแคลเซียมอะลูมิเนตไฮเดรต (CAH) โดยเป็นกระบวนการช่วงแรก และปฏิกิริยาระหว่างซิลิกากับอะลูมินาที่มีอยู่ภายในเม็ดดินกับแคลเซียมไอออน (Calcium Ion) ซึ่งเกิดจากปูนขาวไฮเดรตที่คายตัวออกมา จะเป็นกระบวนการทุติยภูมิที่ก่อให้เกิด แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) และแคลเซียมอะลูมิเนตไฮเดรต (CAH) ซึ่งต้องใช้ระยะเวลานานกว่า จึงส่งผลให้กำลังอัด (Compressive Strength) ของดินซีเมนต์สูงขึ้นตามอายุการบ่มที่เพิ่มขึ้นด้วย โดยปฏิกิริยาดังกล่าวรู้จักกันโดยทั่วไปว่า ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic Reaction)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Moh (1965) ได้ศึกษาและเขียนปฏิกิริยาของดินซีเมนต์ (Soil Cement Reaction) เป็นสมการทางเคมี ดังสมการที่ 2.1-2.4

$$Cement + H_2O \rightarrow CSH + CAH + Ca\text{-}OH_2 \quad (2.1)$$

$$Ca(OH)_2 \rightarrow Ca^{++} + 2(OH)^- \quad (2.2)$$

$$Ca^{++} + 2(OH)^- + SiO_2(Soil\ Silica) \rightarrow CSH \quad (2.3)$$

$$Ca^{++} + 2(OH)^- + Al_2O_3(Soil\ Alumina) \rightarrow CAH \quad (2.4)$$

เมื่อ CSH = Calcium Silicate Hydrate (แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต)

CAH = Calcium Aluminate Hydrate (แคลเซียมอะลูมิเนตไฮเดรต)

$Ca(OH)_2$ = Calcium Hydroxide (แคลเซียมไฮดรอกไซด์)

Michell and Jack (1966) อธิบายว่า เมื่อผสมซีเมนต์ลงไปในเม็ดดินจะเกิดปฏิกิริยา และได้สารสุดท้ายเป็น (CSH) ปฏิกิริยาช่วงสั้นๆที่เกิดขึ้นเมื่อผสมซีเมนต์ลงไปในดิน ประกอบด้วยการแทนที่หรือการแลกเปลี่ยน Valency โดยการดูดซับ Cation ของแคลเซียม และเม็ดดินจะดูดซับเอา ($Ca(OH)_2$) เข้าไว้เกิดสารประกอบที่ทำให้มีการเชื่อมยึดติดกันของเม็ดดิน

เกษม และพินิจ (2536) ได้ศึกษาพบว่า ดินเหนียวปกติเป็นดินที่มีแร่ซิลิกาผสมอยู่สูง ซึ่งแร่เหล่านี้สามารถทำปฏิกิริยากับ ($Ca(OH)_2$) ได้ดี ปฏิกิริยานี้เรียกว่าปฏิกิริยาปอซโซลานิกซึ่งทำให้ดินเปลี่ยนคุณสมบัติไป สามารถรับน้ำหนักได้เพิ่ม และการยุบตัวน้อยลง

2.6 วิธีและเทคนิคการทำเสาเข็มดินซีเมนต์ (Soil Cement Column)

เสาเข็มดินซีเมนต์ (Soil Cement Column) คือ การที่เราทำการผสมปูนซีเมนต์กับดินเดิมซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การผสมระบบแห้ง (Dry Process) และการผสมระบบเปียก (Wet process) โดยทั้ง 2 วิธีนี้จะมีข้อแตกต่างกันเฉพาะสถานะของปูนซีเมนต์ที่ถูกลำเลียงลงไปผสมกับดิน โดยสำหรับการผสมด้วยระบบแห้งจะใช้ปูนซีเมนต์ผสมกับดินเดิมโดยตรง ส่วนการผสมด้วยระบบเปียกจะใช้ปูนซีเมนต์ผสมน้ำแล้วจึงค่อยฉีดเข้าไปผสมกับดินเดิม ด้วยเหตุนี้จึงทำให้แต่ละวิธีนั้นมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 วิธีการผสมแบบแห้ง (Dry Process)

ข้อดีของวิธีการผสมแบบแห้ง (Dry Process)

1) กรณีที่ใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณเท่ากัน กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มดินซีเมนต์ที่ใช้วิธีการผสมแบบแห้งจะสูงกว่า เพราะไม่มีการเติมน้ำลงไปในระหว่างผสม ทำให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c : Water – Cement Ratio) ต่ำ หรือในกรณีของกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มดินซีเมนต์เท่ากัน วิธีการผสมแบบแห้งจะใช้ปูนซีเมนต์ปริมาณไม่น้อยกว่า150 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งน้อยกว่าวิธีการผสมแบบเปียก (Wet Process) ที่ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ไม่น้อยกว่า 175 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2) ไม่จำเป็นต้องใช้น้ำในการผสม นอกจากนี้ยังเหมาะสำหรับชั้นดินที่มีเนื้อสม่ำเสมอและมีความชื้นในดินสูงกว่า 60-70 เปอร์เซ็นต์ตลอดทั้งชั้นดิน

3) เครื่องจักรจะสามารถทำงานได้ในอัตราที่เร็วกว่าวิธีการผสมแบบเปียกในสภาพหน้างานปกติ (สำหรับเสาเข็มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร ความยาว16 เมตร วิธีการผสมแบบแห้งจะก่อสร้างได้ที่ความเร็วประมาณ 6 ต้นต่อชั่วโมง ในขณะที่วิธีการผสมแบบเปียกจะก่อสร้างได้ที่ความเร็วประมาณ 3 ต้นต่อชั่วโมง)

4) บริเวณพื้นที่ก่อสร้างจะสะอาดกว่าวิธีการผสมแบบเปียก เนื่องจากไม่มีเศษน้ำปูนหลงเหลืออยู่บริเวณปากหลุมเจาะ

ข้อเสียของวิธีการผสมแบบแห้ง (Dry Process)

1) การกวนผสมปูนซีเมนต์ให้รวมเข้ากับเนื้อดินทำได้ยากกว่าวิธีการผสมแบบเปียก ซึ่งอาจจะส่งผลต่อความสม่ำเสมอของเสาเข็มดินซีเมนต์ได้

2) การควบคุมปริมาณอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) ให้คงที่ ทำได้ยากกว่าวิธีการผสมแบบเปียก ซึ่งอาจจะส่งผลต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม

3) มีความเหมาะสมกับการก่อสร้างเฉพาะพื้นที่ที่มีปริมาณความชื้นในดินสูง

2.6.2 วิธีการผสมแบบเปียก (Wet Process)

ข้อดีของวิธีการผสมแบบเปียก (Wet Process)

1) การกวนผสมดินให้เข้ากันกับสารผสมทำได้ง่ายกว่าวิธีการผสมแบบแห้ง ทำให้เนื้อดินผสมปูนซีเมนต์ที่ได้จากการผสมนี้มีความสม่ำเสมอมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) สามารถควบคุมคุณภาพได้ง่ายกว่าวิธีการผสมแบบแห้ง เนื่องจากสามารถกำหนดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) ได้คงที่

3) สามารถนำไปใช้ผสมได้กับดินทุกชนิด โดยต้องปรับสัดส่วนผสมและกระบวนการกวนผสมให้เหมาะสมกับดินแต่ละชนิด

ข้อเสียของวิธีการผสมแบบเปียก (Wet Process)

1) กรณีที่ใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณเท่ากัน กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มดินซีเมนต์ที่ใช้วิธีการผสมแบบเปียกจะต่ำกว่า เพราะมีการเติมน้ำลงไปในระหว่างผสม จึงเป็นการเพิ่มน้ำให้เนื้อดิน ทำให้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) สูง หรือในกรณีที่กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มดินซีเมนต์เท่ากัน วิธีการผสมแบบเปียกจะใช้ปริมาณปูนซีเมนต์มากกว่าวิธีการผสมแบบแห้ง

2) โดยทั่วไปแล้วจะมีอัตราการก่อสร้างช้ากว่าวิธีการผสมแบบแห้ง

3) บริเวณพื้นที่ก่อสร้างจะสกปรกกว่าวิธีการผสมแบบแห้งเนื่องจากจะมีเศษ น้ำปูนหลงเหลืออยู่บริเวณปากหลุมเจาะ

2.7 องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อสมบัติของดินผสมซีเมนต์หรือปูนขาว

สมบัติของดินซีเมนต์ (Soil Cement) จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

2.7.1 คุณสมบัติของดิน (Soil Properties)

ส่วนประกอบทางกายภาพและทางเคมีของดินที่มีในธรรมชาติจะส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเมื่อผสมเข้ากับปูนซีเมนต์และน้ำ จึงมีผลกระทบต่อการรับน้ำหนักและความคงทน (Durability) ของดินซีเมนต์ ส่วนประกอบทั้งทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ ปริมาณส่วนผสมของทราย (Sand) ทรายแป้ง (Silt) ดินเหนียว (Clay) และพวกสสารอินทรีย์หรือซัลเฟต (Sulphate) ที่อยู่ในดิน

การหาปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม สามารถนำข้อมูลจากปัจจัยต่าง ๆ มาใช้ได้ ดังนี้

1) การจำแนกชนิดของดิน (Soil Classification Groups) ตามสภาพธรรมชาติของดิน ซึ่งเป็นดัชนีชี้วัดที่บ่งบอกถึงปริมาณปูนซีเมนต์ที่จะใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดิน โดยปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับดินแต่ละประเภทจากการจำแนกตามแบบเอกภาพ (Unified Soil Classification System : USCS) และ AASHTO (American Association of Highway and Transportation Officials) ซึ่งปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมจะนำมาใช้นั้นมีค่าโดยประมาณดังแสดงในตารางที่ 2.4 และ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับดินแต่ละประเภทจำแนกตามระบบเอกภาพ (Unified Soil Classification System : USCS)

Unified Soil Classification System (UCSC)	Typical Range of Cement Requirement (% by wt.)	Typical Cement Content for Moisture Density Test (ASTM D558) (% by wt.)	Typical Cement Content for Durability Density Test (ASTM D559) (% by wt.)
GW, GP, GM, SW, SP, SM	3-5	5	3-5-7
GM, GP, SM, SC	5-8	6	4-5-6
GM, GC, SM, SC	5-9	7	5-7-9
SP	7-11	9	7-9-11
CL, ML	7-12	10	8-10-12
ML, MH, CH	8-13	10	8-10-12
CL, CH	9-15	12	10-12-14
MH, CH	10-16	13	11-13-15

ที่มา : Anon (1990)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับดินแต่ละประเภทจำแนกตามระบบเอกภาพ (American Association of State Highway and Transportation Officials : ASSHTO)

ASSHTO	Usual Range in Cement Requirement		Estimate Cement Content and That Used in The Moisture Density Test	Cement Content for Wet-Dry and Freeze-Thaw Tests
	(% by wt.)	(% by wt.)	(% by wt.)	(% by wt.)
A-1-a	5-7	3-5	5	3-5-7
A-1-b	7-9	5-8	6	4-5-6
A-2	7-10	5-9	7	5-7-9
A-3	8-12	7-11	9	7-9-11
A-4	8-12	7-11	10	8-10-12
A-5	8-12	8-13	10	8-10-12
A-6	10-14	9-15	12	10-12-14
A-7	10-14	10-16	13	11-13-15

ที่มา : Portland Cement Association (PCA), (1959)

2) ปริมาณมวลรวมที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 (4.750 mm.) Norling and Packard (1958) ได้ผลจากการศึกษา กล่าวว่า การเพิ่มปริมาณของมวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) ที่มีขนาดค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 เพิ่มมากขึ้น จะต้องเพิ่มปริมาณของปูนซีเมนต์ที่ใช้มากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจะส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงแบกทานของดินซีเมนต์ (Bearing Capacity of Soil Cement) เพิ่มสูงขึ้นด้วยเช่นกัน โดยได้ทำการทดลองกับดิน 3 ชนิด คือ ทรายหยาบ (Coarse Sand) ดินร่วนปนทรายละเอียด (Fine Sand Loam) และทรายปนดินร่วน (Loam Sand) ด้วยปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้เท่ากันทั้ง 3 ตัวอย่าง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณมวลรวมที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 ต่างกัน แล้วนำไปทดสอบหาค่ากำลังอัด (Compressive Strength) ที่อายุการบ่ม 7 วัน จะเห็นได้ว่าทรายปนดินร่วน (Loam Sand) และดินร่วนปนทรายละเอียด (Fine Sand Loam) มีกำลังอัด (Compressive Strength) สูงขึ้นเมื่อมีปริมาณมวลรวมที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 เพิ่มขึ้น ส่วนในกรณีของทรายหยาบ (Coarse Sand) นั้น กำลังอัดจะลดลง เมื่อมีปริมาณมวลรวมที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 เพิ่มขึ้นมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักมวลรวมทั้งหมด

3) ปริมาณดินเหนียว (Clay) ซึ่ง Reinhold (1955) ได้ทำการทดลองนำทรายมาผสมกับดินเหนียว โดยเปลี่ยนปริมาณของดินเหนียวที่นำมาทดลองตั้งแต่ร้อยละ 0-100 แล้วนำมาผสมกับปูนซีเมนต์ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณคงที่ จากนั้นจึงนำไปทดลองหาค่ากำลังอัด (Compressive Strength) และค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น พบว่าเมื่อปริมาณดินเหนียวเพิ่มขึ้น แต่ถ้าค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นลดลง แสดงว่ากำลังอัดจะลดลงตามไปด้วย เช่นเดียวกันกับการทดลองของ Road Research Laboratory (RRL), (1952) ได้นำดินหลายชนิดมาใช้ผสมกับปูนซีเมนต์ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ พบว่ากำลังอัดของดินซีเมนต์ (Compressive Strength of Soil Cement) จะลดลงในขณะที่ดินเหนียวมีปริมาณเพิ่มขึ้น

4) พื้นที่ผิวของเม็ดดิน (Surface Area of Soil Particles) จากการศึกษาของ Diamond and Kinter (1958) ได้ทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างปูนซีเมนต์กับพื้นที่ผิวของเม็ดดิน โดยวิธีการหาพื้นที่ผิวใช้วิธีที่เรียกว่า Glycerol Retention และนำตัวอย่างมาทดสอบ Freeze-Thaw Test ซึ่งใช้ตัวอย่างทั้งหมด 18 ตัวอย่าง ส่วนดินที่นำมาทดลองนั้นมีดินตะกอน (Silt) ผสมอยู่ไม่เกินร้อยละ 40 และค่าความหลุดร่อนของดินซีเมนต์ (Losses of Weight) ที่ทดลองได้ต้องไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ จะพบว่า เม็ดดินที่มีพื้นที่ผิวมากจะต้องใช้ปริมาณปูนซีเมนต์มากขึ้นตามไปด้วย โดยพื้นที่ผิวของเม็ดดินมีค่าอยู่ระหว่าง 6-90 ตารางเมตร/กรัม

5) ค่าขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit : LL) และค่าดัชนีพลาสติก (Plastic Index : PI) ซึ่งการหาปริมาณปูนซีเมนต์ที่พอเหมาะในการใช้ทำดินซีเมนต์อาจจะใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพพลาสติกกับปริมาณปูนซีเมนต์เป็นตัวกำหนดได้ดีพอสมควร

6) สมบัติทางเคมีของดิน (Chemical Properties of Soil) จากการศึกษาของ Davidson (1961) ได้กล่าวว่า ส่วนประกอบทางเคมีของดินจะส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ ในลักษณะที่แตกต่างกันออกไป โดยขึ้นอยู่กับไฟฟ้าประจุบวก (Cation) ที่มีอยู่ภายในเม็ดดิน โดยเฉพาะดินที่มีสสารอินทรีย์อยู่ภายในเม็ดดินจะทำให้ปฏิกิริยาเปลี่ยนไป ตัวอย่างเช่น เกิดการแข็งตัว (Hardening) ช้าลง หรืออาจมีการบวมตัว (Swelling) เมื่อมีสารพวกซัลเฟตผสมอยู่ ซึ่งส่งผลให้กำลังรับแรงลดลง

7) ระดับของความละเอียด (Degree of Pulverization) ของดิน จากการศึกษาของ Ruenkrairergsa (1982) ได้กล่าวว่า ระดับของความละเอียด (Degree of Pulverization) ของดินซีเมนต์ที่ต้องการในระดับปกติ คือ ควรมีค่าผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 ประมาณร้อยละ 80 โดยการบดอัดปูนซีเมนต์ผสมกับดินที่มีความชื้นอยู่ในส่วนผสมจะไม่มีผลกระทบต่อกำลังของดินซีเมนต์ แต่ในกรณีของดินเหนียวแห้งที่ยังสะสมน้ำไม่เพียงพอก่อนการบดอัด เมื่อเวลาผ่านไปจะเกิดการบวมตัวขึ้นเมื่อได้สัมผัสกับความชื้น ส่งผลให้กำลังของดินซีเมนต์ลดลง

Ruenkrairergsa (1982) ได้กล่าวอีกว่าการนำความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความหนาแน่นของดินที่บดอัดตามวิธีการของ Proctor มาใช้ในงานดินซีเมนต์ พบว่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Optimum Moisture Content : OMC) นั้น นอกจากจะให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density : γ_d) แล้วยังทำให้ปูนซีเมนต์เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันได้อย่างสมบูรณ์ดีด้วย ผลที่ได้จากการก่อสร้างจริงพบว่า การบดอัดที่ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (γ_d) ไม่ได้แสดงว่าความแข็งแรง (Strength) และความคงทน (Durability) ของซีเมนต์จะมีค่าสูงสุดตามไปด้วย จากการทดลองหาความคงทนด้วยวิธี Freeze-Thaw ของดินตะกอน (Silt) และดินเหนียว (Clay) พบว่า ความคงทนจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อบดอัดดินชนิดดังกล่าวที่ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (OMC) หรือมากกว่าเล็กน้อย แต่ถ้าค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (OMC) มีค่าต่ำกว่า ความคงทนจะมีค่าลดลง ส่วนในกรณีของดินทราย (Sandy Soil) ผสมปูนซีเมนต์ การบดอัดที่ปริมาณความชื้นต่ำกว่าค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (OMC) เล็กน้อย จะทำให้ค่าความคงทนสูงขึ้น ส่วนความแข็งแรงของดินทราย (Sandy Soil) จะเกิดที่ปริมาณความชื้นต่ำกว่าค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (OMC) ประมาณ 3-6 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าเป็นดินเหนียว (Clay) ความแข็งแรงจะเกิดขึ้นที่ปริมาณความชื้นสูงกว่าค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (OMC) ไปเล็กน้อย โดยหลักทั่วไปแล้วดินเกือบทุกชนิดจะสามารถทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ ซึ่งปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้นั้นขึ้นอยู่กับประเภทของดินซีเมนต์ และสัดส่วนของปูนซีเมนต์ที่ใช้จะเปลี่ยนแปลงตามค่าดัชนีพลาสติก (Plastic Index : PI) การเปลี่ยนแปลงปริมาตร สมบัติความยืดหยุ่น (Elasticity) ความคงทน (Durability) และชนิดของดินที่นำมาปรับปรุงคุณภาพ

Ruenkrairergsa (1982) ได้อธิบายถึงปริมาณปูนซีเมนต์ว่า เป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการปรับปรุงคุณภาพของดิน โดยปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้คุณสมบัติ องดินซีเมนต์ดีขึ้นด้วย ส่วนอัตราการเพิ่มขึ้นของคุณสมบัติด้านกำลังอัด (Compressive Strength) ของดินผสมปูนซีเมนต์ก็จะขึ้นกับชนิดของดินที่นำมาปรับปรุงคุณภาพด้วยเช่นกัน ในการเกาะยึดของดินผสมปูนซีเมนต์ที่มีขนาดเม็ดหยาบจะเพิ่มสูงขึ้นและเร็วกว่าดินผสมปูนซีเมนต์ที่มีขนาดเม็ดละเอียดและปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดินนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของดินและปริมาณดินเหนียวที่อยู่ในดินเดิมด้วย ดังนั้นควรใช้ผลการทดลองจากห้องปฏิบัติการในการหาปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม

2.7.2 การบ่มดินผสมปูนซีเมนต์หรือปูนขาว

1) อุณหภูมิ (Temperature) การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอุณหภูมิในช่วงเวลาขณะบ่มตัวอย่างดินซีเมนต์ จะส่งผลให้กำลังอัดของดินซีเมนต์เพิ่มขึ้น

Herzog and Mitchell (1963) ได้ทำการทดลองและพบว่าดินเหนียวที่ผสมกับปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 จากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะมีค่ากำลังอัด (Compressive Strength) ใกล้เคียงกับดินเหนียวที่ผสมกับปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราเร่งของกำลังที่เพิ่มขึ้นนั้นมีผลกระทบโดยตรงมาจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Minnick et al. (1970) ได้กล่าวถึงอายุการบ่มจากการน้ำปูนขาว (Lime) และเถ้าลอย (Fly Ash) มาใช้ในการปรับปรุงดินอ่อน (Soft Clay) พบว่าการเพิ่มปูนขาวและเถ้าลอยจนถึงปริมาณที่เหมาะสม ตลอดจนการเพิ่มอายุการบ่มและอุณหภูมิที่เหมาะสม จะส่งผลให้ดินมีการพัฒนากำลังอัดอย่างต่อเนื่อง

2) อายุการบ่ม (Curing Age) Leadabrand (1956) ได้ทำการทดลอง โดยนำดิน 2 ชนิด คือ ดินเหนียวปนทรายละเอียด (Clayey Sandy Soil) และดินทรายแป้ง (Silty Soil) มาผสมกับปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 ของน้ำหนักดินแห้ง จากนั้นนำมาทดสอบหากำลังอัด ที่มีอายุการบ่ม ตั้งแต่ 2 วันจนถึง 5 ปี โดยทำการทดสอบภายในห้องปฏิบัติการ ผลปรากฏว่า พฤติกรรมของดินซีเมนต์จะคล้ายกับคอนกรีต กล่าวคือ กำลังอัดจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุของดินซีเมนต์

Ingle and Metcalf (1972) ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินโดยใช้ปูนขาว (Lime) พบว่ากำลังของดินที่ผสมปูนขาวจะเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่ม ซึ่งการพัฒนากำลังของดินแต่ละชนิดเมื่อผสมปูนขาวจะมีความแตกต่างกันออกไปตามชนิดของดิน

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 Bulbul Ahmed et al., 2556, Improvement of soil strength using cement and lime admixtures (การปรับปรุงความแข็งแรงของดินด้วยการใช้สารผสมเพิ่มซีเมนต์และสารผสมเพิ่มปูนขาว)

โครงสร้างจำนวนมากถูกสร้างขึ้นบนชั้นดินที่ไม่แข็งแรงและเป็นตะกอนดินหลวม ดังนั้นเพื่อการออกแบบที่ปลอดภัยต้องมีการปรับปรุงดินก่อนที่จะเริ่มการก่อสร้าง เทคนิคที่นิยมใช้ในการปรับปรุงสภาพดินดังกล่าวคือการใช้ปูนซีเมนต์และปูนขาว ปัจจุบันมีการใช้เทคนิคนี้ทั่วโลกในการใช้งานในด้านต่าง ๆ เช่น เขื่อน ฐานราก ถนน เป็นต้น ด้วยคุณสมบัติของดินที่มีความแข็งแรงไม่มากพอจึงจำเป็นต้องปรับปรุงโดยใช้ซีเมนต์และปูนขาวเป็นสารผสมเพิ่ม ด้วยเหตุนี้การศึกษาพฤติกรรมของดินซีเมนต์ (soil-cement) และดินปูนขาว (soil-lime) อย่างละเอียดจึงมีความจำเป็น โดยการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา 3 ด้าน ได้แก่ ผลกระทบของสารผสมเพิ่ม ผลกระทบของเปอร์เซ็นต์ของสารผสมเพิ่ม และผลกระทบของระยะเวลาการบ่มหลังจากผสมสารผสมเพิ่ม จากการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้ความแข็งแรง และความเสถียรเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารผสมที่เพิ่มขึ้น และตามระยะเวลาการบ่มที่เพิ่มขึ้น และการปรับปรุงด้วยซีเมนต์จะทำให้ดินมีความเสถียรมากกว่าการปรับปรุงด้วยปูนขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2 S. Chaiyaput et al., 2563, Effect of curing conditions on the strength of soil cement (เงื่อนไขการบ่มต่างต่อความแข็งแรงของดินซีเมนต์)

โดยงานวิจัยนี้ศึกษาเพื่อประเมินความแข็งแรงของตัวอย่างดินบอลเคลย์-ซีเมนต์ และตัวอย่างดินเหนียวอ่อน-ซีเมนต์ที่มีเงื่อนไขการบ่มต่างกัน ได้แก่ การบ่มในน้ำประปา การบ่มในน้ำปูนขาว การบ่มในห่อพลาสติก การบ่มในที่โล่งแจ้งหรือบ่มอากาศเป็นเวลา 28 วัน แนวโน้มการพัฒนากำลังรับแรงอัดในตัวอย่าง soil-cement ค่อนข้างใกล้เคียงกับตัวอย่างซีเมนต์ โดยกำลังรับแรงอัดของตัวอย่าง soil-cement จะมีค่าประมาณ 50% ของตัวอย่างซีเมนต์ธรรมดา ซึ่งกำลังรับแรงอัดสูงสุดจะปรากฏในตัวอย่างที่บ่มด้วยน้ำที่อิ่มตัวด้วยปูนขาวเพราะในน้ำปูนจะมีกระบวนการไฮเดรชันในอัตราที่สูงซึ่งจะมีการป้องกัน $CaCO_3$ จากซีเมนต์ไปในน้ำปูนขาว กำลังรับแรงอัดในดินซีเมนต์จึงมากกว่าการบ่มแบบอื่น

2.8.3 L.S. Ho et al., 2560, Strength development of cement-treated soils : Effects of water content, and pozzolanic reaction under drying curing condition (การพัฒนาความแข็งแรงของ Soil cement โดยมีอิทธิพลของปริมาณน้ำ, ปฏิกิริยาปอซโซลานิกภายใต้เงื่อนไขการบ่มอบแห้ง)

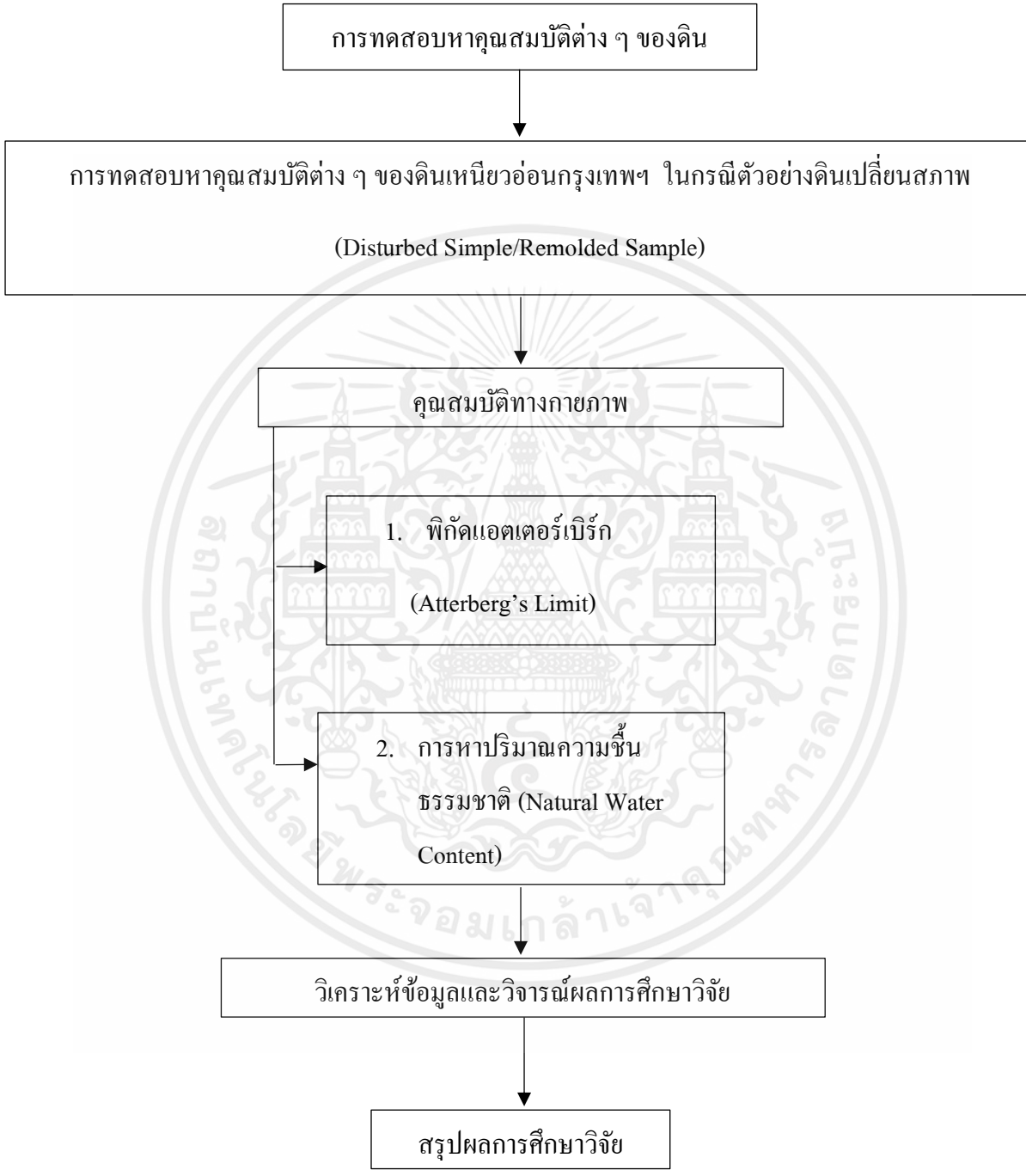
งานวิจัยนี้จะศึกษาการพัฒนาความแข็งแรงของ Soil cement โดยการใช้ตัวอย่างทรายและตัวอย่างดินร่วนปนทรายที่บ่มภายใต้เงื่อนไขปิดผนึก, เงื่อนไขการอบแห้ง และการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำ ซึ่งปฏิกิริยา pozzolanic ระหว่าง cement hydrates และแร่ธาตุดินเหนียวทำให้ส่งผลต่อ compressive strength ภายใต้เงื่อนไขปิดผนึก ดังนี้ ส่วนผสมของทรายเกือบจะคงที่หลังจากผ่านไป 28 วัน ส่วนผสมของดินร่วนปนทรายค่อยๆ เพิ่มขึ้นหลังจาก 28 วัน ซึ่งอธิบายได้จากปฏิกิริยา pozzolanic และกล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่าง compressive strength และปริมาณน้ำ ซึ่งปริมาณน้ำที่เหมาะสมจะส่งผลต่อความแข็งแรงของ Soil cement

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

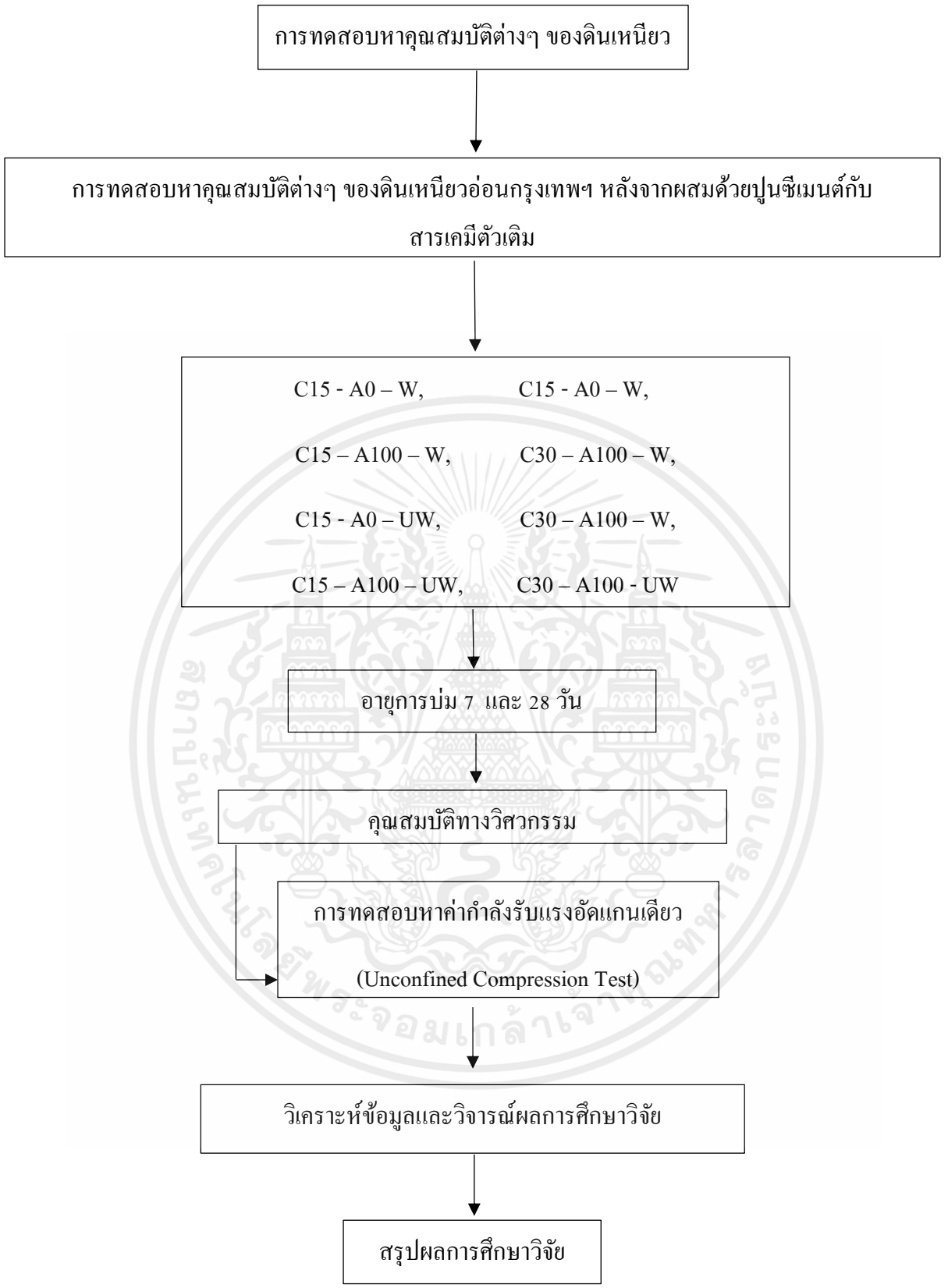
วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ในกรณีตัวอย่างดินเปลี่ยนสภาพ (Disturbed Sample)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ หลังการผสมด้วยปูนซีเมนต์กับสารเคมีตัวเติม

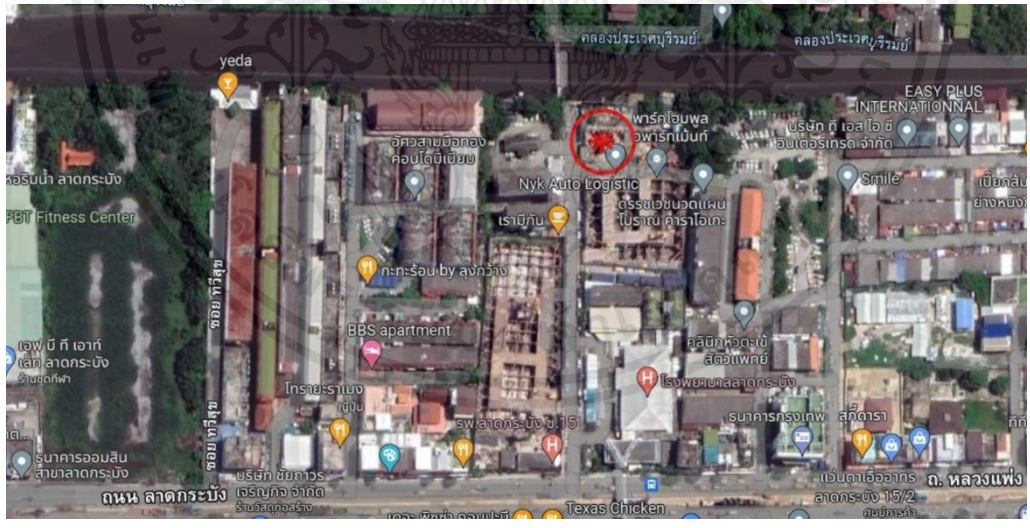
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

3.2.1 ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพมหานคร (Soft Bangkok Clay)

ชั้นตะกอนดินเหนียวกรุงเทพ (Bangkok clay) ครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างตลอดที่ราบลุ่มภาคกลางของประเทศไทย ซึ่งชั้นตะกอนดังกล่าวนี้พบตั้งแต่พื้นผิวไปจนถึงระดับความลึกมากถึง 30 เมตร (ในบริเวณกรุงเทพมหานคร) โดยมีสมบัติทางเคมีเป็นตะกอนที่สะสมตัวจากน้ำทะเลและน้ำกร่อยปะปนกัน คือ เกิดจากการสะสมตัวในบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากกระบวนการทำงานของทะเลมาก่อน

มีลักษณะเป็นดินเม็ดละเอียด โดยพฤติกรรมทางด้านวิศวกรรมขึ้นอยู่กับของเหลวที่อยู่ระหว่างช่องว่างระหว่างเม็ดดิน (Pore Fluid) และพื้นผิวของอนุภาค ดินชนิดนี้ขึ้นอยู่กับแร่ดินเหนียว ดังนั้นการนำดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ หรือใช้เป็นวัสดุฐานราก ต้องเข้าใจคุณสมบัติพื้นฐานของดินชนิดนี้ที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมทางวิศวกรรม เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบได้อย่างปลอดภัย ซึ่งตัวอย่างดินที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้เป็นดิน ที่ระดับความลึกประมาณ 8-10 เมตรจากผิวดิน บริเวณใกล้กับโครงการก่อสร้างโรงพยาบาลลาดกระบัง เขตลาดกระบัง อำเภอลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร เก็บดินขึ้นมาในสภาพที่ดินถูกรบกวน จากนั้นนำตัวอย่างดินมาเก็บในถังพลาสติกที่มีฝาปิดมิดชิด เพื่อรักษาความชื้นของดินให้คงเดิมมากที่สุด



รูปที่ 3.2 บริเวณที่เก็บดินขึ้นมาทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างดินเหนียวอ่อนกรุงเทพมหานคร (Bangkok Soft Clay) ที่ใช้ในการทดสอบ

3.2.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 (Portland Cement Type I)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 (Portland Cement Type I) หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่นิยมใช้มากที่สุดในประเทศไทย ซึ่งใช้ในงานก่อสร้าง ทำคอนกรีต และทำผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษมากนัก โดยปูนซีเมนต์ชนิดนี้เหมาะสำหรับงานคอนกรีตทั่วไป เช่น อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก พื้นอาคาร ถนน สะพาน ถังกักเก็บน้ำ อ่างเก็บน้ำ ท่อน้ำ และผลิตภัณฑ์คอนกรีตสำเร็จรูป เป็นต้น นอกจากนี้ ปูนซีเมนต์ปอร์ดแลนด์ ประเภท 1 ยังเหมาะสำหรับงานโครงสร้างคอนกรีตที่ต้องการความแข็งแรงสูง (High Strength) เช่น สะพานขนาดใหญ่ สนามกีฬา และอาคารสูง เป็นต้น

3.1.3 สารเคมีตัวเติมหรือสารผสมเพิ่ม Additive or Admixtures

สารเคมีตัวเติม (Additive A) เป็นการประยุกต์ใช้สารเคมีที่สามารถก่อให้เกิดการตกตะกอนของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) โดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมี โดยผลึกของสารแคลเซียมคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นมีคุณสมบัติเป็นสารเชื่อมประสาน (Cementitious) ระหว่างมวลดินกับซีเมนต์ ส่งผลต่อการเพิ่มคุณสมบัติเชิงกล เช่น ค่ากำลังรับแรงอัด เป็นต้น และข้อดีของวิธีการนี้ คือผลึกแคลเซียมคาร์บอเนตสามารถเกิดได้รวดเร็ว และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเตรียมตัวอย่างในการทดสอบ

การเตรียมตัวอย่างดินในการทดสอบนั้น เป็นการน้ำตัวอย่างดินแบบเปลี่ยนสภาพ (Disturbed Sample) ผสมด้วยปูนซีเมนต์กับสารเคมีตัวเติม (Additive A) จากนั้นนำตัวอย่างดินที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์กับสารเคมีตัวเติมดังกล่าวแล้วมาทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compression Test) ทรงลูกบาศก์ขนาดความกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร ปริมาตรเท่ากับ 125 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามมาตรฐาน ASTM : C 109 โดยใช้ เครื่องทดสอบ (Compressive Strength Machine) น้ำหนักในการกดอยู่ที่ 50 kN อัตราการกดของเครื่องทดสอบโดยประมาณ 1 มิลลิเมตร/นาที

การเตรียมตัวอย่างดินหลังจากการผสมด้วยปูนซีเมนต์กับสารเคมีตัวเติม (Additive A) ทุกตัวอย่างนั้น ได้กำหนดอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน เพื่อจะได้แสดงถึงแนวโน้มค่ากำลังการรับแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength : q_u) ในหลายอัตราส่วนผสม โดยการผสมตัวอย่างต่อน้ำหนักดินแห้ง จึงได้กำหนดสัญลักษณ์ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างดินเพื่อความชัดเจน และง่ายต่อการทำความเข้าใจ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งการเตรียมตัวอย่างดินในงานวิจัยนี้ ใช้ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ (w_n) เท่ากับ 2LL (LL = Liquid limit = 70 %) ใช้ปริมาณความชื้นต่อปริมาณปูนซีเมนต์ผสมกับสารเคมีตัวเติม (w/c : water – cement ratio) เท่ากับ 0.5 จากนั้นนำตัวอย่างดินที่ ผสมปูนซีเมนต์และสารเคมีตัวเติมบรรจุลงในแบบหล่อทรงลูกบาศก์แบ่งเป็น 2 ส่วน เพื่อศึกษาพฤติกรรมของดินซีเมนต์ภายใต้ 2 เงื่อนไขการบ่ม โดยนำแบบหล่อที่ทำการบรรจุตัวอย่างดินซีเมนต์ที่ผสมเสร็จ บ่มดินซีเมนต์ที่ผสมเสร็จส่วนที่ 1 โดยหุ้มด้วยพลาสติกถนอมอาหาร (Wrap) เพื่อป้องกันความชื้นไม่ให้ระเหย เรียกว่าเงื่อนไขการบ่มในพลาสติก บ่มดินซีเมนต์ที่ผสมเสร็จส่วนที่ 2 โดยวางไว้ในที่โล่งแจ้ง เพื่อให้ความชื้นระเหยออก เรียกว่าการบ่มในอากาศ บ่มตัวอย่างเป็นระยะเวลา 7 และ 28 วันตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และ 3.4

(ก) (ข)

รูปที่ 3.4 ลักษณะการบ่ม (ก) การบ่มในอากาศ และ (ข) การบ่มในพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 เงื่อนไขการทดสอบ

ตารางที่ 3.1 สัญลักษณ์ที่ใช้กำหนดอัตราส่วนผสมในวิจัย

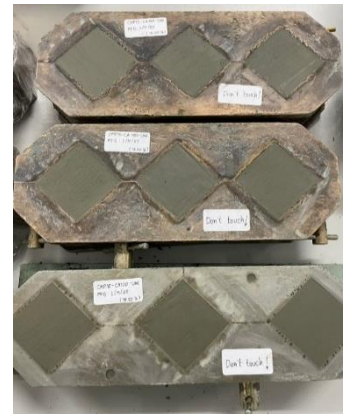
สูตร	Cement (%)	Water	Additive A (%)	Curing Condition	สัญลักษณ์
1	15	2LL	0	Plastic wrapping	C15 - A0 - W
2	30	2LL	0	Plastic wrapping	C30 - A0 - W
3	15	2LL	100	Plastic wrapping	C15 – A100 - W
4	30	2LL	100	Plastic wrapping	C30 – A100 - W
5	15	2LL	0	Open ambient air	C15 - A0 - UW
6	30	2LL	0	Open ambient air	C30 - A0 - UW
7	15	2LL	100	Open ambient air	C15 – A100 - UW
8	30	2LL	100	Open ambient air	C30 – A100 - UW

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength) และอุปกรณ์สำหรับการเตรียมตัวอย่างดิน (ก) เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว (ข) แบบหล่อตัวอย่างทรงลูกบาศก์ขนาดความกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร และ (ค) ตัวอย่างดินซีเมนต์ทรงลูกบาศก์สำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)



(ข)

รูปที่ 3.6 การบ่มตัวอย่างดินหลังจากการผสมด้วยปูนซีเมนต์กับสารเคมีตัวเติมแล้วสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength) (ก) ตัวอย่างดินหลังจากการผสมด้วยปูนซีเมนต์กับสารเคมีตัวเติมแล้วหล่อลงในแบบหล่อ และห่อหุ้มด้วยพลาสติกถนอมอาหาร (ข) ตัวอย่างดินหลังจากการผสมด้วยปูนซีเมนต์กับสารเคมีตัวเติมแล้วหล่อลงในแบบหล่อ และวางไว้ในที่โล่งแจ้ง

3.5 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ

3.5.1 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ

3.5.1.1. การทดสอบขีดจำกัดของดิน Atterberg's limit

วัตถุประสงค์

เพื่อหาค่าขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit : LL) ค่าพิกัดพลาสติก(Plastic Limit : PL) และค่าดัชนีพลาสติก (Plastic Index : PI) ตามมาตรฐาน ASTM D 4318

อุปกรณ์และเครื่องมือ

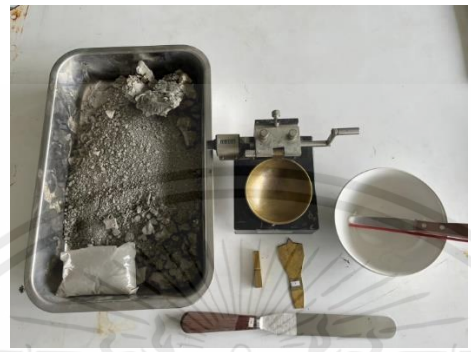
การทดสอบหาค่าขีดจำกัดเหลว (LL)

1) เครื่องเคาะดิน และถ้วยทองเหลือง (Cup Method)
2) เครื่องมือบากร่องดิน (Grooving Tool)
3) มีดปาดดิน (Spatula)
4) ชามกระเบื้องเคลือบ
5) ขวดฉีดน้ำ
6) ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบหาค่าขีดจำกัดพลาสติก (PL)

1) แผ่นกระจกกรองสำหรับปั้นดิน
2) เพลาโลหะขนาด 3.2 มิลลิเมตร (1/8 นิ้ว) ไว้เปรียบเทียบขนาดเส้นดินที่ปั้น
3) ขวดฉีดน้ำ
4) ดิน



รูปที่ 3.7 อุปกรณ์และเครื่องมือการทดสอบขีดจำกัดของดิน Atterberg's limit

การเตรียมตัวอย่างในการทดสอบ

นำตัวอย่างดินที่แห้งมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ประมาณ 200 กรัม หากเป็นตัวอย่างดินและทำการแบ่งดินไว้ 2 ส่วน อีกส่วนเหลือไว้ทำการทดสอบขีดจำกัดพลาสติก

ขั้นตอนการทดสอบหาค่าขีดจำกัดเหลว (LL)

1) นำตัวอย่างดินผสมน้ำให้เข้ากันในถ้วยกระเบื้อง เติมน้ำจากกระบอกฉีดน้ำลงไปเพียงเล็กน้อย ผสมให้เข้ากัน และใช้มีดปาดดินลงบนถ้วยทองเหลืองให้ดินตรงกลางมีความหนาประมาณ 1 เซนติเมตร แล้วทำการบากด้วยเครื่องมือบากร่องตรงกลาง เริ่มเคาะเพื่อทดสอบทันที ไม่ควรทิ้งไว้นาน เพราะจะทำให้ปริมาณความชื้นของดินเปลี่ยนแปลง

รูปที่ 3.8 การทดสอบหาค่าขีดจำกัดเหลว (LL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เคาะถ้วยทองเหลืองด้วยความเร็วสม่ำเสมอประมาณ 2 ครั้งต่อวินาที จนดินที่บากตรงกลางเคลื่อนที่เข้าหากันที่ระยะ 1.3 เซนติเมตร แล้วจดบันทึกจำนวนครั้งในการเคาะไว้ (จำนวนครั้งในการเคาะจะอยู่ที่ประมาณ 40-50 ครั้ง)
3) ปาดแต่งดินเดิมแล้วบากด้วยเครื่องมือบากร่องอีกครั้ง เพื่อเคาะซ้ำและใช้ค่าเฉลี่ยจากการเคาะทั้งหมด จากนั้นนำดินบริเวณที่รอยบากบรรจบกันประมาณ 15 กรัม ไปหาค่าปริมาณความชื้น (% w)
4) เติมน้ำในตัวอย่างเล็กน้อย ทำตามข้อ 1-3 จำนวนการเคาะควรน้อยลงประมาณ 10 ครั้ง ทำเช่นนี้จนได้จำนวนครั้งที่ต้องการ อย่างน้อย 5 ค่า
5) นำค่าที่จดบันทึกไปพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการเคาะ และปริมาณความชื้น

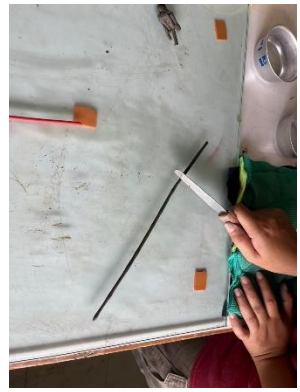
ขั้นตอนการทดสอบหาค่าขีดจำกัดพลาสติก (PL)

1) ปั้นตัวอย่างดินที่จะทดสอบบนแผ่นกระจกด้วยฝ่ามือ เริ่มจากปั้นเป็นก้อนกลมให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร
2) ค่อยๆคลึงดินบนฝ่ามือไปมาประมาณ 80-90 ครั้งต่อนาที
3) คลึงดินให้เป็นเส้น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3.2 มิมลลิเมตร (1/8 นิ้ว) ภายในระยะเวลาไม่เกิน 2 นาที ถ้ายังสามารถคลึงเส้นดินให้เล็กลงไปกว่า 3.2 มิลลิเมตร (เปรียบเทียบกับเพลาโลหะขนาด 3.2 มิลลิเมตร (1/8 นิ้ว) โดยที่ดินยังไม่มีรอยแตก แสดงว่าดินมีความชื้นสูงกว่าขีดจำกัดพลาสติก
4) ปั้นดินให้เป็นก้อนอีกครั้ง แล้วคลึงเป็นเส้นจนมีขนาดประมาณ 3.2 มิลลิเมตร ตรวจสอบว่าดินเริ่มมีรอยแตก หรือไม่สามารถปั้นให้เล็กลงไปกว่า 3.2 มิลลิเมตร เรียกสถานะความชื้นของดินนี้ว่าขีดจำกัดพลาสติก

รูปที่ 3.9 การทดสอบหาค่าขีดจำกัดพลาสติก (PL)

5) นำดินบางส่วนที่ได้จากการปั้นในข้อ 4. ใส่กระป๋องเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาปริมาณความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 การทดสอบหาค่าขีดจำกัดพลาสติก (PL)

6) ทดสอบข้อ 2-5 อีกครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย

3.5.1.2 การทดสอบหาค่า Natural Moisture Content

วัตถุประสงค์

เพื่อหาค่าความชื้นในดินที่นำมาทำการทดสอบ

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1) เครื่องทดสอบ Natural Moisture Content
2) จานชั่งดิน (Pan)
3) ตัวอย่างดินที่นำมาใช้ในการทดสอบ

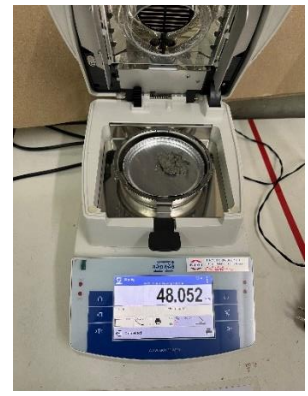
การเตรียมตัวอย่างในการทดสอบ

ทำการตักดินจากถังที่ทำการเก็บดินไว้ใส่ถาดทดลองที่ทำการเตรียมไว้ จากนั้นทำการหุ้มด้วยพลาสติกถนอมอาหาร (Wrap) เพื่อป้องกันความชื้นไม่ให้ระเหย

ขั้นตอนการทดสอบ

1) ทำการเปิดเครื่องแล้วนำจานชั่งดิน (Pan) วางลงบนเครื่อง จากนั้นนำดินที่เราทำการตักไว้มาทำการทดสอบหาความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 เครื่องทดสอบ Natural Moisture Content

2) รอประมาณ 45-60 นาที ให้เครื่องทำงาน จะได้ค่าความชื้นออกมา
3) ทำซ้ำข้อ 1-2 จนได้ค่าความชื้นทั้งหมด 3 ค่าจากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ย
4) นำค่าความชื้นที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณน้ำที่จะใช้ในการผสม

3.6 ขั้นตอนการผสมตัวอย่าง

ในขั้นตอนการผสมแบ่งออกเป็น 2 วิธี ได้แก่ การผสมแบบแห้ง (Dry Process) และการผสมแบบเปียก (Wet Process)

วัตถุประสงค์

เพื่อขึ้นรูปตัวอย่างดินเพื่อนำไปทดสอบหาค่ากำลังการรับแรงอัด

วัสดุ

1) ดินเหนียว
2) ปูนซีเมนต์
3) น้ำ
4) สารตัวเติม

อุปกรณ์และเครื่องมือ

1) ถาดสำหรับใส่ดิน
2) ตาชั่ง
3) ถุงมือยาง, กรรไกร, สติ๊กเกอร์ และปากกา
4) เครื่องผสม
5) ขี้ผึ้งสำหรับทาแบบหล่อ แปลงทาขี้ผึ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) แบบหล่อทรงลูกบาศก์ขนาด 5x5x5 เซนติเมตร
7) เหล็กกระทุ้งทรงลูกบาศก์ ค้อน
8) ที่ตักปูน เกรียง ผ้าสำหรับรองการกระทุ้ง
9) กระบอกตวงน้ำ
10) พลาสติกถนอมอาหารสำหรับแรปตัวอย่าง

รูปที่ 3.12 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการผสม

ตารางที่ 3.2 ตารางส่วนผสม

Sample	Clay (g)	Cement (%)	Additive A (µL)	Process	Curing condition
C15 - A0 - wet - wrap	x	15	0	wet	wrap
C30 - A0 - wet - wrap		30			
C15 - A100 - dry - wrap	x	15	100	dry	
C30 - A100 - dry - wrap		30			
C15 - A0 - wet - air	x	15	0	wet	air
C30 - A0 - wet - air		30			
C15 - A100 - dry - air	x	15	100	dry	
C30 - A100 - dry - air		30			

หมายเหตุ : C : Cement A : Additive A W : Wrap or plastic wrapping UW : Air or open ambient air LL : Liquid Limit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.1 ขั้นตอนการผสม

3.6.1.1 ขั้นตอนการผสมแบบแห้ง (Dry Process)

1) ทำการชั่งส่วนผสมทั้งหมด ได้แก่ ดินเหนียว ปูนซีเมนต์ และน้ำ

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 3.13 ขั้นตอนการผสมแบบแห้ง (Dry Process) (ก) การชั่งดินเหนียว (ข) การชั่งปูนซีเมนต์ และ (ค) การชั่งน้ำในการผสม

2) ทำการผสมน้ำที่ทำการตวงไว้แล้วเทลงผสมกับดินในถังผสม จากนั้นใช้ไม้พายคนส่วนผสมให้เข้ากันเล็กน้อย เพื่อง่ายในการใช้เครื่องผสม

3) นำเข้าเครื่องผสม ปรับการปั่นเป็นแบบช้า (Slow) 2 นาที จากนั้นทำการใส่สารตัวเติมลงไป และโรยผงปูนซีเมนต์ที่เตรียมไว้ลงไป ปั่นให้เข้ากันเป็นเวลา 30 วินาที

รูปที่ 3.14 โรยผงซีเมนต์ลงไปในดินที่กำลังปั่นอยู่

4) ปรับการปั่นเป็นแบบเร็ว (Speed) อีก 2 นาที เป็นเวลา 30 วินาที

5) นำปูนที่ปั่นเสร็จไปบรรจุใส่แบบหล่อที่ทำการทาขี้ผึ้งไว้แล้ว แบ่งการใส่เป็น 2 ครั้ง แต่ละครั้งกระการกระทุ้งครั้งละ 32 ครั้ง

6) จากนั้นทำการกระทุ้งด้วยเหล็กทรงลูกบาศก์อีกตัวอย่างละ 12 ครั้ง

7) ทำการใช้เกรียงปาดตกแต่งด้านหน้าให้เรียบร้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) ทำการห่อหุ้มแบบหล่อด้วยพลาสติกถนอมอาหาร

3.6.1.2 ขั้นตอนการผสมแบบเปียก (Wet Process)

1) ทำการชั่งส่วนผสมทั้งหมด ได้แก่ ดินเหนียว ปูนซีเมนต์ น้ำ (ชั่งไว้ 2 ส่วน ส่วนสำหรับผสมกับดิน และส่วนผสมกับปูนซีเมนต์) และสารตัวเติม

(ก) (ข) (ค) (ง)

รูปที่ 3.15 ขั้นตอนการผสมแบบเปียก (Wet Process) (ก) การชั่งดินเหนียว (ข) การชั่งปูนซีเมนต์ และ (ค) การชั่งน้ำในการผสม (ง) การชั่งปูนซีเมนต์และน้ำสำหรับการผสมแยก

2) ทำการผสมน้ำที่ทำการตวงไว้แล้วเทลงผสมกับดินในถังผสม จากนั้นใช้ไม้พายคนส่วนผสมให้เข้ากันเล่นน้อย เพื่อง่ายในการใช้เครื่องผสม

3) นำเข้าเครื่องผสม ปรับการปั่นเป็นแบบช้า (Slow) 1 นาที 30 วินาที จากนั้นทำการผสมน้ำกับปูนซีเมนต์และสารตัวเติมที่เตรียมไว้อีกภาชนะหนึ่งในขณะที่เครื่องผสมยังทำงานอยู่ เมื่อถึง 2 นาที ปิดเครื่องผสม ทำการเทปูนที่ผสมไว้อีกภาชนะหนึ่งเทลงไป แล้วปั่นแบบเร็ว (Speed) อีก 3 นาที

(ก) (ข)

รูปที่ 3.16 ขั้นตอนการผสมแบบเปียก (Wet Process) (ก) ผสมปูนซีเมนต์ น้ำ และสารตัวเติมเข้าด้วยกัน (ข) เทผสมเข้าไปในเครื่องผสม

4) ทำเหมือนขั้นตอนที่ 5-8 ของการผสมแบบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การทดสอบสมบัติเชิงกลของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ผสมด้วยปูนซีเมนต์กับสารเคมีตัวเติม

3.7.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compression Test)

การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวตามมาตรฐาน ASTM C 109 โดยการเตรียมตัวอย่างในการทดสอบเป็นการนำตัวอย่างดินเปลี่ยนสภาพ (Disturbed Sample) ผสมด้วยปูนซีเมนต์กับสารเคมีตัวเติม ซึ่งใช้ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ (W_n) เท่ากับ 2LL ใช้ปริมาณความชื้นต่อปริมาณปูนซีเมนต์ผสมกับสารเคมีตัวเติม (w/c : water - cement ratio) เท่ากับ 0.5 จากนั้นทำการบ่มด้วย 2 วิธีที่แตกต่างกันคือ การบ่มในอากาศและการบ่มในพลาสติก บ่มตัวอย่างเป็นเวลา 7 และ 28วัน ในทุกอัตราส่วนผสมและอัตราการกดของเครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียวโดยประมาณ 1 มิลลิเมตร/นาที การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compression Test) ดังแสดงในภาพที่ 3.16

รูปที่ 3.17 การทดสอบหาค่ากำลังแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compression Test)

สามารถสรุปการทดสอบคุณสมบัติของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ แบบเปลี่ยนสภาพ (Disturbed Sample) เป็นขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.17 และขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ หลังการผสมด้วยปูนซีเมนต์กับสารเคมีตัวเติม สามารถสรุปดังแสดงในรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง และการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงอัดของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพเมื่อผสมด้วยปูนซีเมนต์ และสารตัวเติม และศึกษาอัตราส่วนผสมของสารตัวเติม อายุการบ่ม และลักษณะการบ่มของดินซีเมนต์ที่ต่างกันต่อกำลังการรับแรงอัด

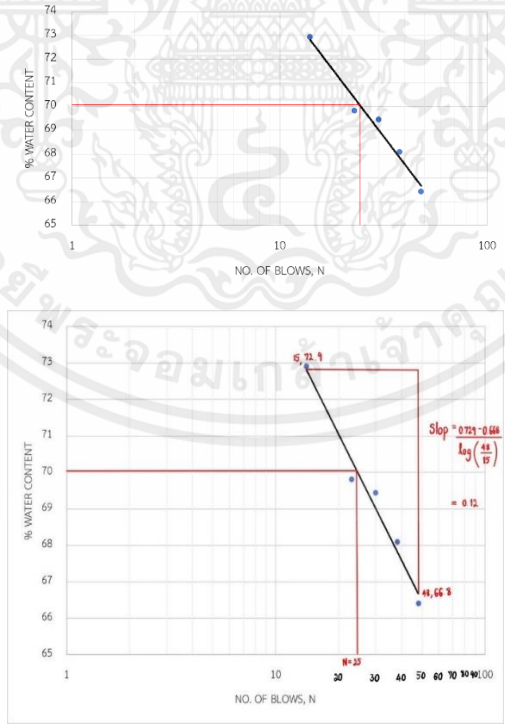
4.1 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ

4.1.1. การทดสอบขีดจำกัดของดิน Atterberg's limit

ในการทดสอบขีดจำกัดของดิน Atterberg's limit ทำให้ทราบค่าขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit : LL) และค่าพิกัดพลาสติก(Plastic Limit : PL) ของดิน ดังนี้

4.1.1.1 การทดสอบหาค่าขีดจำกัดเหลว (LL)

ในการทดสอบหาค่าขีดจำกัดเหลว (LL) เป็นการทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการเคาะและปริมาณความชื้น ทำให้ทราบค่าขีดจำกัดเหลว (LL) แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดินกับจำนวนครั้งในการเคาะเพื่อหาขีดจำกัดเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 หาค่าขีดจำกัดเหลว โดยการลากเส้นตรงจากตำแหน่งจำนวนครั้ง (NO. OF BLOWS, N) การเคาะที่ 25 ครั้งลากไปตัดกับเส้นโค้งการไหล และเส้นโค้งการไหลไปตัดกับแกน y จะได้ค่าขีดจำกัดเหลวเท่ากับ 70

4.1.1.2 การทดสอบหาค่าขีดจำกัดพลาสติก (PL)

ในการทดสอบหาค่าขีดจำกัดพลาสติก (PL) เป็นการทดสอบเพื่อหาปริมาณความชื้นในมวลดินที่เริ่มเปลี่ยนสภาพจากพลาสติกเป็นกึ่งของแข็ง โดยการคลึง (Rolling method) ค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบที่ได้แสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ

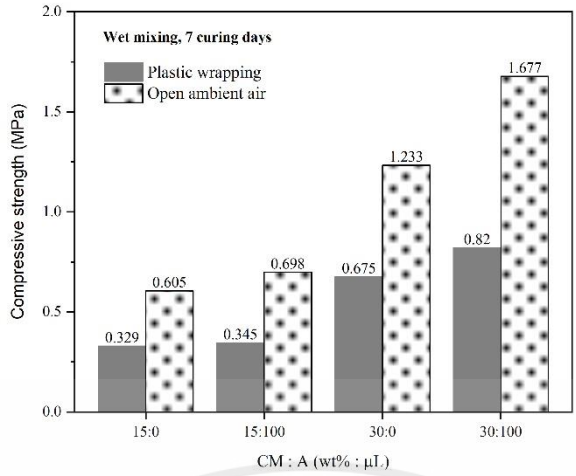
Property	**Value**
Liquid limit, LL (%)	70.00
Plastic limit, PL (%)	37.73
Plasticity index, PI	32.27
Natural water content, Wo (%)	99.81
Soil classification	High-plasticity clay (CH)

จากตารางที่ 3.3 พบว่าดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ มีค่าขีดจำกัดเหลว (Liquid limit, LL) เท่ากับ ร้อยละ 70 ค่าขีดจำกัดความเป็นพลาสติก (Plastic limit, PL) เท่ากับ ร้อยละ 37.73 และค่าดัชนีพลาสติก (Plasticity index, PI) เท่ากับ ร้อยละ 32.27 และค่าความชื้นของดินตามธรรมชาติ (Natural water content, Wo) มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 99.81 ซึ่งดินดังกล่าวจัดเป็นประเภทดินที่มีความเหนียวสูง

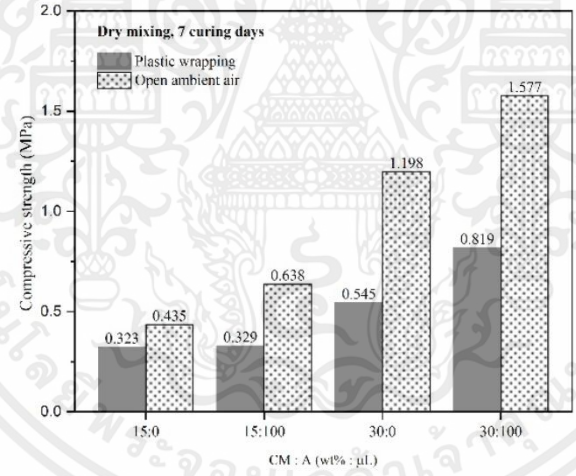
4.2 ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด (Compressive strength test)

การทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด (Compressive strength test) เป็นการทดสอบเพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ เป็นระยะเวลาการบ่ม 7 และ 28 วัน แสดงดังรูปที่ 4.2 – 4.5 หมายเหตุ CM : Cement ร้อยละซีเมนต์ที่ใช้ A : Additive A สารเคมีตัวเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ อัตราส่วนซีเมนต์ต่อสารเคมีตัวเติมที่ใช้ของดินซีเมนต์ โดยรูปแบบการผสมแบบเปียก ที่ 2 สภาวะการบ่มคือ หุ้มพลาสติก (Plastic wrapping) และบ่มอากาศ (Open ambient air) เป็นระยะเวลา **7** วัน

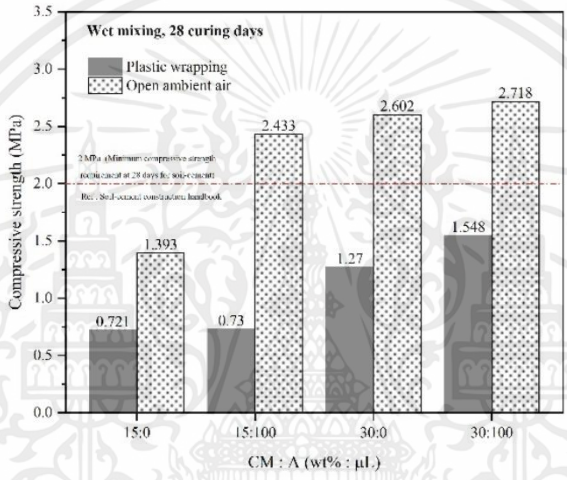


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ อัตราส่วนซีเมนต์ต่อสารเคมีตัวเติมที่ใช้ของดินซีเมนต์ โดยรูปแบบการผสมแบบแห้ง ที่ 2 สภาวะการบ่มคือ หุ้มพลาสติก (Plastic wrapping) และบ่มอากาศ (Open ambient air) เป็นระยะเวลา **7** วัน

จากรูปที่ 4.2 และ 4.3 พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ ผสมด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 มีค่ามากกว่า ปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 ที่ปริมาณความชื้นเดียวกัน เนื่องมาจากปริมาณซีเมนต์ที่มากสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Hydration reaction) และ ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic reaction) และเสริมสร้างความแข็งแรงของดินซีเมนต์ได้ดี กล่าวคือ ค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์จะเพิ่มขึ้นสูงขึ้น

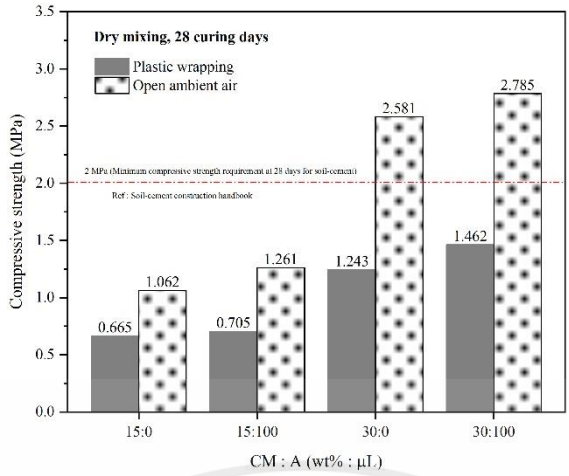
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น และพบว่าในสูตรที่มีการผสมสารตัวเติม (Additive) คือ (ซีเมนต์ : สารตัวเติม คือ 15 : 100 และ 30 : 100) มีค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์มากกว่าสูตรที่ไม่ผสมสารตัวเติม คือ (ซีเมนต์ : สารตัวเติม คือ 15 : 0 และ 30 : 0) ทั้งนี้เนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างสารตัวเติมกับดินซีเมนต์ที่อาจก่อให้เกิดการตกตะกอนของผลึกแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ที่สามารถเพิ่มความแข็งแข็งของดินซีเมนต์ได้ ซึ่งลักษณะการบ่มที่แตกต่างกันของดินซีเมนต์ ส่งผลต่อค่ากำลังการรับแรงอัดที่แตกต่างกัน โดยการบ่มดินซีเมนต์ เป็นระยะเวลา 7 วัน ทั้งในตัวอย่างดินซีเมนต์ที่มีการผสมสารตัวเติม และไม่ผสมสารตัวเติม พบว่า การบ่มในอากาศมีค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์มากกว่าการบ่มแบบห่อหุ้มด้วยพลาสติก และการผสมแบบเปียก (Wet Process) ให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าการผสมแบบแห้ง (Dry Process)



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ อัตราส่วนซีเมนต์ต่อสารเคมีตัวเติมที่ใช้ของดินซีเมนต์ โดยรูปแบบการผสมแบบเปียก ที่ 2 สภาวะการบ่มคือ หุ้มพลาสติก (Plastic wrapping) และบ่มอากาศ (Open ambient air) เป็นระยะเวลา 28 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ อัตราส่วนซีเมนต์ต่อสารเคมีตัวเติมที่ใช้ของดินซีเมนต์ โดยรูปแบบการผสมแบบแห้ง ที่ 2 สภาวะการบ่มคือ หุ้มพลาสติก (Plastic wrapping) และบ่มอากาศ (Open ambient air) เป็นระยะเวลา 28 วัน

จากรูปที่ 4.4 และ 4.5 พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ (Compressive strength) สูงขึ้นตามระยะเวลาบ่ม 7 และ 28 วัน ตามลำดับ โดยการทดลองมีผลการทดลองในลักษณะเดียวกันกับระยะเวลาการบ่มที่ 7 วัน กล่าวคือ ค่ากำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นสูงขึ้นตามปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น และสูตรที่มีการผสมสารตัวเติม (Additive) จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าสูตรที่ไม่ผสมสารตัวเติม และการบ่มดินซีเมนต์เป็นระยะเวลา 28 วัน พบว่าการบ่มในอากาศและการผสมแบบเปียกมีค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์สูงมากกว่า การบ่มแบบห่อหุ้มด้วยพลาสติก และการผสมแบบแห้ง ซึ่งจะเห็นว่าผลการศึกษามีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่ได้นำมาใช้ศึกษา ที่ว่าความแข็งแรงและความเสถียรภาพเพิ่มขึ้นตามปริมาณปูนซีเมนต์ ปริมาณสารตัวเติมที่เพิ่มขึ้น และตามระยะเวลาการบ่มที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลกระทบของสารเคมีตัวเติมต่อกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

5.1.1 ค่ากำลังการรับแรงอัดของดินซีเมนต์แปรผันตรงกับปริมาณซีเมนต์ ในกรณี เช่น ดินซีเมนต์ (Soil Cement) การผสมสารเคมีตัวเติม และระยะเวลาการบ่ม

5.1.2 ค่ากำลังการรับแรงอัดของดินซีเมนต์ในรูปแบบการผสมแบบเปียก (Wet Mixing) มีค่ามากกว่ากำลังการรับแรงอัดของดินซีเมนต์ในรูปแบบการผสมแบบแห้ง (Dry Mixing) เนื่องจากในรูปการณ์ผสมแบบแห้ง (Dry Mixing) ในขั้นตอนการผสม น้ำจะถูกดินดูดซับไปก่อนแล้ว ทำให้เหลือน้ำในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Hydration reaction) และปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic reaction) กับปูนซีเมนต์น้อย เพราะในการที่จะเกิดปฏิกิริยาได้ จะต้องอาศัยน้ำเป็นตัวทำปฏิกิริยา

5.1.3 ค่ากำลังการรับแรงอัดของดินซีเมนต์ในสภาวะการบ่มในอากาศ (Open ambient Air) มีค่ามากกว่าในสภาวะการบ่มพลาสติก (Plastic Wrapping) เพราะว่าสารตัวเติมที่นำมาใช้ในการทดลอง เป็นชนิดที่ทำปฏิกิริยาได้ดีเมื่อมีอากาศ

5.2 ข้อเสนอแนะ

หากมีการนำงานวิจัยนี้ไปศึกษาต่อในอนาคต มีข้อเสนอแนะ ดังนี้

1. ควรใช้ดินจากแหล่งที่มาอื่น ๆ มาทำการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อจะได้นำผลมาเปรียบเทียบกันและสามารถแสดงผลได้อย่างชัดเจน

2. ควรศึกษาเงื่อนไขการบ่มเพิ่มเติมในแง่ของการบ่มที่มีลักษณะคล้ายกับการบ่มชิ้นงานเมื่อมีการทำชิ้นงานจริง เพื่อผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น

3. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับเงื่อนไขทางเศรษฐศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ้างอิง

General Engineering Public GEL, (2022). SOIL CEMENT COLUMN WITH DEEP CEMENT MIXING METHOD (DCM). [Online.] https://www.gel.co.th/gel-products/soil-cement-column.

รศ. ดร.ศลิษา ไชยพุทธ, (2022). “เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพชั้นดิน”, การปรับปรุงคุณภาพชั้นดินด้วยสารผสมเพิ่ม บทที่ 8.

Bulbul Ahmed, Md. Abdul Alim, Md. A Sayeed. (2013). Improvement of Soil Strength Using Cement and Lime Admixtures. Science Publishing Group. Rajshahi University of Engineering & Technology (RUET). Bangladesh. [Online.] https://www.sciencepublishinggroup.com/articles.

Salisa Chaiyaput , et al. (2022). Effect of curing conditions on the strength of soil cement. [Online.] https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509522002145.

Lanh Si Ho, et al. (2017). Strength development of cement-treated soils : Effects of water content, carbonation, and pozzolanic reaction under drying curing condition. Construction and Building Materials. [Online.] https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061816319845.

Daniel Ribeiro, Raquel Néri, Rafaela Cardoso. (2016). Influence of Water Content in the UCS of Soil-Cement Mixtures for Different Cement Dosages. Procedia Engineering. [Online.] https://www.researchgate.net/publication/305339147_Influence_of_Water_Content_in_the_UCS_of_Soil-Cement_Mixtures_for_Different_Cement_Dosages.

Portland Cement Association. ISBN 0-89312-114-2. (1995). Soil-Cement Construction Handbook Engineering bulletin.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้