



การศึกษาคุณสมบัติของสารซีเมนต์เบนโทไนท์สำหรับงานถอนซีทไฟล์  
Cement Bentonite grouting for sheet pile extraction



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# CEMENT BENTONITE GROUTING FOR SHEET PILE EXTRACTION



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 2016

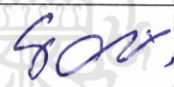

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาคุณสมบัติของสารซีเมนต์เบนโทไนท์สำหรับงานถนนซีทไฟล์

นักศึกษา นายธนภูมิ ล้วนอำนวยโชค รหัสประจำตัว 56010544  
นายศักดิ์สิทธิ์ ศรีมงคลลักษณ์ รหัสประจำตัว 56011202  
นายสิทธิพงศ์ โสภณอดิศัย รหัสประจำตัว 56011308

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ธนาตล คงสมบูรณ์

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ธนาตล คงสมบูรณ์	
ดร.ศลิษา ไชยพุทธ	
อ.อุษะ ศิริแก้ว	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 19 เมษายน 2560 เวลา 15.30-16.00 น.  
สถานที่สอบ ณ อาคารภาควิชาวิศวกรรมโยธาชั้น 1 (ห้องประชุมภาควิชา)

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(รศ.ดร.นันทวัฒน์ จรัสโรจน์รัตนเดช)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 31 เดือนพฤษภาคม พ.ศ.2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การศึกษาคุณสมบัติของสารซีเมนต์เบนโทไนท์สำหรับ

## งานถนนซีทไฟล์

นายธนภูมิ ล้วนอำนวยโชค รหัสประจำตัว 56010544

นายศักดิ์สิทธิ์ ศรีมงคลลักษณ์ รหัสประจำตัว 56011202

นายสิทธิพงษ์ โสภณอดิศัย รหัสประจำตัว 56011308

ผศ.ดร.ธนาตล คงสมบูรณ์

ปีการศึกษา 2559

### บทคัดย่อ

ระบบป้องกันดินพังถล่มถือเป็นงานที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่การก่อสร้างใต้ดินในดินอ่อนที่มีการใช้ระบบป้องกันดินพังโดยใช้ซีทไฟล์ ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากในประเทศไทยเนื่องจากมีราคาต่ำและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้แต่การที่ซีทไฟล์สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้นั้นต้องมีการถอนซีทไฟล์เกิดขึ้นเมื่อซีทไฟล์มีการถอนจะทำให้เกิดช่องว่างในดินซึ่งจะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของดินเพื่อแทนที่ช่องว่างจากการถอนซีทไฟล์ซึ่งจำเป็นต้องมีการป้องกันการเคลื่อนตัวของดินโดยใช้วิธีการเกร้าท์สารซีเมนต์เบนโทไนท์ เพื่อแทนที่ช่องว่างที่เกิดขึ้นในขบวนการถอนซีทไฟล์ ปัจจุบันสารซีเมนต์เบนโทไนท์ที่ใช้นั้น ยังไม่มีส่วนผสมที่แน่นอนในการใช้งานและยังคงไม่มีงานวิจัยที่ทำการศึกษาและพัฒนาวิธีการทดสอบสารละลายนี้อย่างจริงจังซึ่งในบทความนี้จะทำการศึกษาเกี่ยวกับการหาส่วนผสมและคุณสมบัติของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ พัฒนาการทดลองที่เหมาะสมขึ้นมาเอง ทำการทดลองโดยกำหนดอัตราส่วนระหว่าง ซีเมนต์ เบนโทไนท์และน้ำที่มีการนำไปใช้งาน โดยทำการศึกษาคูณสมบัติทั้งด้านความหนืด เวลาเซตตัว ความหนาแน่นและความสามารถในการรับแรงเฉือน เพื่อให้ข้อมูลในการเลือกใช้ส่วนผสมที่เหมาะสมต่อไป

คำสำคัญ – คำที่ 1; ซีเมนต์ เบนโทไนท์ คำที่ 2; ซีทไฟล์ คำที่ 3; การเกร้าท์ คำที่ 4; การถอนซีทไฟล์

# Cement bentonite grouting for sheet pile extraction

Tanapoom      Luanamnuychock      Student ID. 56010544  
Saksit          Srimongkolrak        Student ID. 56011202  
Sittipong        Soponadisai          Student ID. 56011308  
Asist. Prof. Dr.Thanadol Kongsomboon  
Academic Year 2016

## ABSTRACT

Sheet pile wall is very popular in deep braced excavation protection systems in soft soil in Thailand because it can be recycling and cost effective. Construction using sheet pile wall mainly involves driving and extracting. Because of extracting sheet pile causes the loss of soil volume sticking to the sheet pile. Thus this soil volume loss incurs a void that cause soil displacement. It ultimately causes nearby structural damage. Nowadays, there are not many studies focusing in the grouting material using in sheet pile extraction work. This paper studies a mix proportion and properties of Cement-Bentonite. It is to define ratio of cement bentonite and water. This study aims to find suitable properties such as viscosity, setting time, density and shear strength. This may provide information on how to choose the suitable grouting material in this extraction work.

**Keywords**— Cement Bentonite; Sheet Pile; Grouting; Sheet Pile Extraction

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผศ.ดร.ธนาตล คงสมบูรณ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องอีกทั้งยังจัดหาเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ตลอดจนให้ความรู้ เอาใจใส่ ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการแก้ปัญหา ให้ประสบการณ์ที่ดี อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งกับโครงงานนี้ พวกเราผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธาสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในทุกๆรายวิชาที่ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐาน อันเป็นประโยชน์ยิ่งในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วง ตลอดจนอาจารย์ประจำภาควิชาท่านต่างๆที่ให้คำแนะนำอย่างดียิ่ง

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในการให้คำแนะนำในการทำโครงการ รวมถึงการให้ความรู้ตลอดระยะเวลาที่ได้เรียนรู้ ศึกษาในภาควิชาโยธาตลอดมา

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดาอันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ให้ความรักและให้กำลังใจ ในการสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด ทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้ได้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

นายธนภูมิ ล้วนอำนาจโชค  
นายศักดิ์สิทธิ์ ศรีมงคลลักษณ์  
นายสิทธิพงษ์ โสภณอดิศัย  
คณะผู้จัดทำ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	1
1.4 ขั้นตอนของการศึกษา.....	2
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 บทนำ.....	3
2.2 การศึกษาผลกระทบของการถอนซีฟไพล์ในงานขุดดินลึกในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ.....	3
2.3 การดำเนินงานอัดฉีดน้ำปูนเพื่อลดช่องว่างในดินเนื่องจากการถอนซีฟไพล์.....	7
2.4 วัสดุที่ใช้ในงานอัดฉีด (Grouting Materials).....	11
2.5 เบนโทไนท์ (Bentonite).....	13
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	16
3.1 บทนำ.....	16
3.2 การศึกษาคุณสมบัติของซีเมนต์เบนโทไนท์และการพัฒนาเครื่องมือทดสอบ.....	16
3.3 การผสมซีเมนต์เบนโทไนท์และขั้นตอนทดสอบคุณสมบัติ.....	41
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	43
4.1 บทนำ.....	43
4.2 ผลการศึกษาการพัฒนาวิธีการทดลองการหาคุณสมบัติของสารซีเมนต์เบนโทไนท์.....	43
4.3 ผลการทดลองการหาคุณสมบัติของสารซีเมนต์เบนโทไนท์สำหรับงานถอนซีฟไพล์.....	44
4.4 ส่วนผสมที่กำหนดอัตราส่วนเบนโทไนท์ต่อน้ำโดยกำหนดให้เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์.....	57
4.5 เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างสารซีเมนต์เบนโทไนท์ที่กำหนดอัตราส่วนเบนโทไนท์ต่อน้ำ.....	66
4.6 เลือกส่วนผสมที่มีกำลังต้านทานแรงเฉือนที่เหมาะสม.....	70
4.7 Calibration of Proving ring.....	73
4.8 การทดสอบสารปูนขาวกับเบนโทไนท์.....	76

บทที่5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	78
5.1 บทนำ.....	78
5.2 สรุปผลการทดลอง.....	78
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	80
เอกสารอ้างอิง.....	81
ภาคผนวก ก ตารางบันทึกผล.....	82



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลความหนืดของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ที่ส่วนผสมต่างๆ.....	44
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงความหนาแน่นของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ที่สัดส่วนต่างๆ.....	46
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงผลเวลาและเปอร์เซ็นต์การยุบตัวของสารซีเมนต์เบนโทไนท์.....	48
ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงผลเวลาและเปอร์เซ็นต์การยุบตัวของสารซีเมนต์เบนโทไนท์.....	49
ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงผลเวลาและเปอร์เซ็นต์การยุบตัวของสารซีเมนต์เบนโทไนท์.....	51
ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงผลเวลาเซตตัวของสารซีเมนต์เบนโทไนท์.....	54
ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงผลกำลังต้านทานแรงเฉือนของซีเมนต์เบนโทไนท์ที่ส่วนผสมต่างๆ.....	56
ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงผลการทดลองหาคุณสมบัติของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ที่ส่วนผสมที่มีการกำหนดอัตราส่วนเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1 : 20 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์.....	57
ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงผลการทดลองหาคุณสมบัติของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ที่ส่วนผสมที่มีการกำหนดอัตราส่วนเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1 : 40 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์.....	62
ตารางที่ 4.10 แสดงส่วนผสมและคุณสมบัติของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ที่กำลังรับแรงเฉือนอยู่ระหว่าง 2-15 ตันต่อตารางเมตร.....	70
ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงผลการสอบเทียบ Proving ring No.15417.....	74
ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงผลการสอบเทียบ Proving ring No.15416.....	75
ตารางที่ 4.13 ตารางแสดงผลการทดลองหาคุณสมบัติของสารปูนขาวเบนโทไนท์ที่ส่วนผสมที่มีการกำหนดอัตราส่วนเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1 : 20 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนปูนขาว.....	76
ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงอัตราส่วนที่เหมาะสมที่กำลังต้านทานรับแรงเฉือนอยู่ในช่วง 2-15 ตันต่อตารางเมตร.....	79

# สารบัญรูป

หน้า

รูปภาพที่ 2.1 การเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นขณะทำการก่อสร้างและถอนซีทไฟลใน โครงการก่อสร้างหนึ่งในอดีต.....	3
รูปภาพที่ 2.2 แสดงชั้นดินของโครงการที่ใช้ศึกษา.....	4
รูปภาพที่ 2.3 แสดงพื้นที่ที่ใช้ในการศึกษาและภาพตัดของพื้นที่.....	5
รูปภาพที่ 2.4 แสดงการเคลื่อนตัวด้านข้างของดินจาก Inclinometer I4 และ I5.....	6
รูปภาพที่ 2.5 แสดงระบบและเครื่องมือในการทำงาน Cement bentonite grout.....	7
รูปภาพที่ 2.6 แสดง Plant mixing .....	7
รูปภาพที่ 2.7 แสดงการติดตั้งท่ออัดฉีดน้ำปูน (Tremie Pipe).....	8
รูปภาพที่ 2.8 แสดงเครื่องผสม Cement Bentonite.....	8
รูปภาพที่ 2.9 แสดงเครื่องถอนซีทไฟล.....	9
รูปภาพที่ 2.10 แสดงการอัดฉีด Cement bentonite ลงไปแทนที่ช่องว่างในดิน.....	9
รูปภาพที่ 2.11 แสดงการเกร้าที่จนกระทั่งน้ำปูนเต็มช่องว่างของซีทไฟล.....	10
รูปภาพที่ 2.12 แสดงเครื่องจักรที่ใช้ในการถอนซีทไฟล.....	10
รูปภาพที่ 2.13 รูปแสดงโครงสร้างแร่ดินเบนโทไนท์.....	14
รูปภาพที่ 3.1 รูปแสดงเครื่องมือ Marsh funnel viscometer.....	16
รูปภาพที่ 3.2 Marsh funnel viscometer และ นาฬิกาจับเวลา.....	16
รูปภาพที่ 3.3 การเตรียมเครื่องมือทดสอบและนาฬิกาจับเวลา.....	17
รูปภาพที่ 3.4 ถังกรวยตั้งตรงในแนวตั้งและใช้นิ้วอุดรูที่ด้านล่างของกรวย.....	17
รูปภาพที่ 3.5 เทสารตัวอย่างที่จะทดสอบความหนืดลงในกรวยให้ถึงขีดบอกระดับ.....	18
รูปภาพที่ 3.6 สารตัวอย่างมีปริมาตรอยู่ที่ขีดบอกระดับของกรวยทดสอบ.....	18
รูปภาพที่ 3.7 จับเวลาพร้อมกับปล่อยนิ้วที่อุดรูด้านล่างเพื่อให้สารที่ทดสอบ ไหลลงไปในถ้วยวัดปริมาตร.....	19
รูปภาพที่ 3.8 กดยุติเวลาเมื่อระดับของสารตัวอย่างถึงขีดบอกระดับของถ้วยวัดปริมาตร.....	19
รูปภาพที่ 3.9 นำกระบอกตวงปริมาตร 500 มิลลิลิตร ไปชั่งและบันทึกน้ำหนักที่ได้.....	21
รูปภาพที่ 3.10 เทซีเมนต์เบนโทไนท์ใส่กระบอกตวงให้ถึงขีดบอกระดับ 500 มิลลิลิตร.....	21
รูปภาพที่ 3.11 ซีเมนต์เบนโทไนท์ที่ขีดบอกระดับ 500 มิลลิลิตร.....	22
รูปภาพที่ 3.12 นำกระบอกตวงที่มีซีเมนต์เบนโทไนท์ไปชั่งน้ำหนัก.....	22
รูปภาพที่ 3.13 ชั่งน้ำหนักของภาดรองน้ำและบันทึกน้ำหนัก.....	23
รูปภาพที่ 3.14 นำบีกเกอร์วางลงในภาดรองน้ำ.....	24
รูปภาพที่ 3.15 เทน้ำใส่บีกเกอร์และใช้ขวดฉีดน้ำกลั่นปรับปริมาตรน้ำในบีกเกอร์ให้เต็มพอดี.....	24
รูปภาพที่ 3.16 แกะตัวอย่างซีเมนต์เบนโทไนท์ออกจากแบบหล่อ นำไปชั่งและบันทึกน้ำหนัก.....	25
รูปภาพที่ 3.17 การแกะตัวอย่างซีเมนต์เบนโทไนท์.....	25
รูปภาพที่ 3.18 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างซีเมนต์เบนโทไนท์.....	26
รูปภาพที่ 3.19 ค่อยๆหย่อนตัวอย่างลงในบีกเกอร์ให้น้ำล้นออกมา.....	26
รูปภาพที่ 3.20 ดูดน้ำออกจากบีกเกอร์เพื่อป้องกันน้ำหกออกมาเวลายกบีกเกอร์ขึ้น.....	27

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปภาพที่ 3.21 ชั่งน้ำหนักถาดรองและน้ำ.....	27
รูปภาพที่ 3.22 เครื่องมือ Vicat Apparatus.....	29
รูปภาพที่ 3.23 Cone penetration apparatus.....	30
รูปภาพที่ 3.24 กรวยโลหะ.....	31
รูปภาพที่ 3.25 รูปแสดงการยุบตัวของซีเมนต์เบนโทไนท์เทียบกับเวลาที่เวลา 1 ชั่วโมง 2 ชั่วโมงและ 3 ชั่วโมง.....	32
รูปภาพที่ 3.26 กรวยทดสอบเวลาเซตตัวของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ที่พัฒนาขึ้นมา.....	32
รูปภาพที่ 3.27 ขนาดของกรวยทดสอบเวลาเซตตัวของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ที่พัฒนาขึ้นมา.....	33
รูปภาพที่ 3.29 การเตรียมกรวยทดสอบ.....	34
รูปภาพที่ 3.30 เทสารซีเมนต์เบนโทไนท์ลงในกรวย.....	34
รูปภาพที่ 3.31 ปิดแผ่นพลาสติกเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ.....	35
รูปภาพที่ 3.32 แกะดินน้ำมันเพื่อยกรวยทดสอบ.....	35
รูปภาพที่ 3.33 ยกกรวยทดสอบเพื่อดูระยะยุบตัว.....	36
รูปภาพที่ 3.34 วัดระยะยุบตัวของสารซีเมนต์เบนโทไนท์.....	36
รูปภาพที่ 3.35 การวัดความสูงกรวยทดสอบพร้อมกับแท่งเหล็ก.....	37
รูปภาพที่ 3.36 การทดสอบ Unconfined Compressive Strength.....	40
รูปภาพที่ 3.37 การเก็บตัวอย่างเพื่อทดสอบ Unconfined Compressive Strength.....	40
รูปภาพที่ 4.1 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การยุบตัวของตัวอย่างที่ส่วนผสมซีเมนต์ต่อเบนโทไนท์ต่อน้ำ เท่ากับ 1 : 1 : 40.....	49
รูปภาพที่ 4.2 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การยุบตัวของตัวอย่างที่ส่วนผสม ซีเมนต์ต่อเบนโทไนท์ต่อน้ำ เท่ากับ 0.5:1:20.....	50
รูปภาพที่ 4.3 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การยุบตัวของตัวอย่างที่ส่วนผสมแบบ Semi-log สเกล อัตราส่วนซีเมนต์ต่อเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 0.5:1:20.....	51
รูปภาพที่ 4.4 กราฟแสดงการยุบตัวของตัวอย่างที่ส่วนผสมซีเมนต์ต่อเบนโทไนท์ต่อน้ำ เท่ากับ 4:1:40.....	52
รูปภาพที่ 4.5 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การยุบตัวของตัวอย่างที่ส่วนผสมแบบ Semi-log สเกล อัตราส่วนซีเมนต์ต่อเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 4:1:40.....	53
รูปภาพที่ 4.6 กราฟแสดงกำลังต้านทานแรงเฉือนของซีเมนต์เบนโทไนท์ที่การกำหนดค่าเบนโทไนท์ ต่อน้ำเท่ากับ 1:20 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์.....	59
รูปภาพที่ 4.7 กราฟแสดงเวลาเซตตัวของซีเมนต์เบนโทไนท์ที่การกำหนดค่าเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:20 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์.....	59
รูปภาพที่ 4.8 แสดงความความหนืดในขณะที่สารซีเมนต์เบนโทไนท์ยังไม่เซตตัว ที่กำหนดค่าเบนโท ไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:20 โดยมีการกำหนดให้เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์ซีเมนต์.....	60
รูปภาพที่ 4.9 แสดงความหนาแน่นในขณะที่สารซีเมนต์เบนโทไนท์เซตตัวแล้ว ที่กำหนดค่าเบนโทไนท์ ต่อน้ำเท่ากับ 1:20 โดยมีการกำหนดให้เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์ซีเมนต์.....	61

## สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปภาพที่ 4.10 กราฟแสดงความหนาแน่นของซีเมนต์เบนโทไนท์ที่การกำหนดค่าเบนโทไนท์ ต่อน้ำเท่ากับ 1:20 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์.....	61
รูปภาพที่ 4.11 กราฟแสดงกำลังต้านทานแรงเฉือนของซีเมนต์เบนโทไนท์ที่การกำหนดค่าเบนโทไนท์ ต่อน้ำเท่ากับ 1:40 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์.....	63
รูปภาพที่ 4.12 กราฟแสดงเวลาเซตตัวของซีเมนต์เบนโทไนท์ที่การกำหนดค่าเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:40 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์.....	64
รูปภาพที่ 4.13 กราฟแสดงความหนืดของซีเมนต์เบนโทไนท์ที่การกำหนดค่าเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:40 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์.....	64
รูปภาพที่ 4.14 กราฟแสดงความหนาแน่นในขณะที่ยังไม่เซตตัวของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ที่ยังไม่เซตตัวของสารซีเมนต์ เบนโทไนท์ที่กำหนดค่าเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:40 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลง อัตราส่วนซีเมนต์.....	65
รูปภาพที่ 4.15 กราฟแสดงความหนาแน่นในขณะที่ยังไม่เซตตัวของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ที่ยังไม่เซตตัวของสารซีเมนต์ เบนโทไนท์ที่กำหนดค่าเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:40 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลง อัตราส่วนซีเมนต์.....	65
รูปภาพที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบกำลังต้านทานแรงเฉือนระหว่างส่วนผสมเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:20 และ 1:40 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์.....	66
รูปภาพที่ 4.17 การเปรียบเทียบเวลาเซตตัวของส่วนผสมเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:20 และ 1:40 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์.....	67
รูปภาพที่ 4.18 กราฟเปรียบเทียบความหนืดระหว่างส่วนผสมที่กำหนดสัดส่วนเบนโทไนท์ต่อน้ำ เท่ากับ 1:20 และ 1:40 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์.....	68
รูปภาพที่ 4.19 กราฟเปรียบเทียบความหนาแน่นทั้งก่อนและหลังเซตตัวของส่วนผสมที่กำหนด สัดส่วนเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:20 และ 1:40 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลง อัตราส่วนซีเมนต์.....	69
รูปภาพที่ 4.20 แผนภูมิแท่งแสดงเวลาเซตตัวของส่วนผสมที่มีค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ 2-15 ต้นต่อ ตารางเมตร.....	71
รูปภาพที่ 4.21 แผนภูมิแท่งแสดงความหนาแน่นของส่วนผสมที่มีค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ 2-15 ต้นต่อตารางเมตร.....	71
รูปภาพที่ 4.22 แผนภูมิแท่งแสดงความหนืดของส่วนผสมที่มีค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ 2-15 ต้นต่อตารางเมตร.....	72
รูปภาพที่ 4.23 แผนภูมิแท่งแสดงกำลังรับแรงเฉือนของส่วนผสมที่มีกำลังรับแรงเฉือน อยู่ระหว่าง 2-15 ต้นต่อตารางเมตร.....	72
รูปภาพที่ 4.24 ใบรับรองมาตรฐานของ Proving ring No.15414.....	73
รูปภาพที่ 4.25 การทดสอบเทียบ Proving ring No.15416 กับ No.15417.....	74
รูปภาพที่ 4.26 รูปแสดงผลการสอบเทียบ Proving ring No 15417.....	75
รูปภาพที่ 4.27 รูปแสดงผลการสอบเทียบ Proving ring No 15416.....	76

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ซีทไพล์ (Sheet Pile) มีบทบาทสำคัญเป็นอย่างมากสำหรับการก่อสร้าง เช่น ป้องกันการเคลื่อนตัวของดิน ป้องกันแรงดันจากน้ำใต้ดิน ป้องกันดินพังขณะทำการก่อสร้างถือว่าเป็นงานที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่กรุงเทพมหานครที่กำลังมีการพัฒนาทางด้านอสังหาริมทรัพย์และความสะดวกสบายต่างๆ เช่น งานฐานรากลึกของตึกสูงหรือรถไฟฟ้าใต้ดินซึ่งระบบป้องกันดินพังโดยใช้ซีทไพล์ถือเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากในประเทศไทยเนื่องจากมีราคาต่ำและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่การที่ซีทไพล์สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่นั้นต้องมีการถอนซีทไพล์เกิดขึ้นเมื่อซีทไพล์มีการถอนจะเกิดช่องว่าง (Void) ในดินซึ่งทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของดินเข้ามาแทนที่ช่องว่างที่เกิดจากการถอนซีทไพล์ จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าการเคลื่อนตัวจากการถอนซีทไพล์นั้นมีผลกระทบมากพอที่จะทำให้เกิดความเสียหายได้หากไม่มีการป้องกันการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นจากการถอนซีทไพล์ปัจจุบันยังคงไม่มีงานวิจัยที่ทำการศึกษเกี่ยวกับเรื่องนี้อย่างจริงจัง ซึ่งในงานวิจัยนี้จะศึกษาการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นด้วยวิธี Cement Bentonite Grouting ซึ่งจะทำหน้าที่ในการแทนที่ช่องว่างของดินที่เกิดขึ้นขณะถอนซีทไพล์ในปัจจุบันทั้งส่วนผสมซึ่งประกอบด้วยซีเมนต์ เบนโทไนท์และน้ำ วิธีในการแทนที่ช่องว่างที่เกิดขึ้นจากการถอนซีทไพล์ยังไม่มีการค้นคว้าวิจัยอย่างจริงจังจึงยังไม่พบวิธีที่ดีที่สุดในการแก้ปัญหาดังกล่าว

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษานวนิยมของคุณสมบัติต่างๆของส่วนผสมระหว่าง ซีเมนต์ เบนโทไนท์ และน้ำ พัฒนารูปแบบทดสอบขึ้นมาเอง เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมและให้ข้อมูลเพื่อเลือกใช้ในงานสำหรับงานอัดฉีดซีเมนต์เบนโทไนท์จากการถอนซีทไพล์ โดยมีวัตถุประสงค์สำคัญ คือ

1.2.1 เพื่อพัฒนารูปแบบทดสอบคุณสมบัติของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ ได้แก่ การทดสอบความหนืด ความหนาแน่น เวลาเซตตัว และกำลังรับแรงอัด

1.2.2 ศึกษาคุณสมบัติต่างๆของส่วนผสมระหว่างซีเมนต์ เบนโทไนท์และน้ำ ได้แก่ ความหนืด ความหนาแน่น เวลาการเซตตัว และกำลังรับแรงอัด เท่านั้น

1.2.3 เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับงานอัดฉีดซีเมนต์เบนโทไนท์

1.2.4 เพื่อให้ข้อมูลส่วนผสมและคุณสมบัติต่างๆในการเลือกใช้ในงานสำหรับงานถอนซีทไพล์

### 1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 การทดลองทำในห้องปฏิบัติการปฐพี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้

(1) อุปกรณ์ทดสอบความหนืดใช้กรวยทดสอบความหนืด (Marsh Funnel)

(2) ใช้ชุดทดสอบหา Liquid Limit ด้วย Cone Penetrometer

(3) กรวยเปิดสองด้าน ใช้เพื่อเปรียบเทียบระยะเวลาที่เวลาต่างๆ

(4) ใช้กระบอกตวงปริมาตร 500 มิลลิลิตร ในการวัดปริมาตรของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (5) เครื่องชั่งดิจิตอล 2 ตำแหน่ง
  - (6) ท่อ PVC ขนาด 2 นิ้ว ใช้ในการเก็บตัวอย่างทดลองโดยมีแผ่นพลาสติกปิดหัวท้าย เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ
  - (7) ชุดทดสอบหาปริมาตรด้วยการแทนที่น้ำ
- 1.3.3 วัสดุอุปกรณ์และขั้นตอนการทดลองต่างๆ ทำที่ ณ อุณหภูมิห้อง
  - 1.3.4 ค่าความหนาแน่นของ ซีเมนต์ เบนโทไนท์ ในสถานะของเหลวและสถานะของแข็งมีค่าความหนาแน่นมากกว่าน้ำ
  - 1.3.5 อุปกรณ์ที่เก็บตัวอย่างทดลองเป็นระบบปิดเพื่อเป็นการจำลองให้เหมือนอยู่ในดิน
  - 1.3.6 การหาระยะเวลาการเซ็ตตัวของตัวอย่างจะใช้กรวยเปิดสองด้าน ซึ่งเป็นการประยุกต์จากการทดสอบการยุบตัวของคอนกรีตสด (Slump test) เป็นการเปรียบเทียบค่าการยุบตัวกับเวลา
  - 1.3.7 ชุดอุปกรณ์ Cone Penetrometer เป็นการเปรียบเทียบระยะจมของโคนกับเวลา ในการหาเวลาเซ็ตตัวของตัวอย่าง

#### 1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

- 1.4.1 ทบทวนและศึกษาความรู้ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
- 1.4.2 ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติต่างๆของซีเมนต์ เบนโทไนท์
- 1.4.3 ทดลองเก็บข้อมูลโดยเปลี่ยนสัดส่วนไปตามที่ได้กำหนด
- 1.4.4 นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์เพื่อหาแนวโน้มของคุณสมบัติต่างๆ
- 1.4.5 สรุปผลการทดลอง

## บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

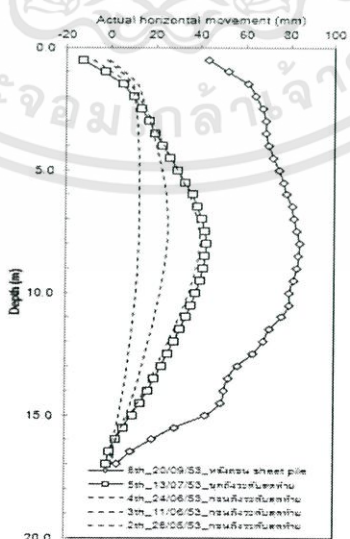
### 2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวสรุปการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการทำงาน Cement Bentonite Grouting ซึ่งรวบรวมข้อมูลจากวารสารต่างๆ วิทยานิพนธ์ และตำราต่างๆ ซึ่งมีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนตัวของดินจากการถอนซีโพล์, การอัดฉีดน้ำปูน, และเรื่องที่มีความเกี่ยวข้องกับงาน cement bentonite grouting โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

### 2.2 การศึกษาผลกระทบของการถอนซีโพล์ในงานขุดดินลึกในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ

[1] คุณธัมบูรณ์ สิริศรีสัมฤทธิ์ ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับเรื่อง ผลกระทบของการถอนซีโพล์ในงานขุดดินลึกในชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพซึ่งโครงการที่ศึกษานี้ตั้งอยู่บนถนนพระราม 4 กรุงเทพมหานคร บทความนี้ทำการศึกษาการเคลื่อนตัวที่เป็นผลกระทบขณะทำการถอนซีโพล์โดยมีผลของ Surcharge และรูปแบบ Cantilever ของซีโพล์เข้ามาเกี่ยวข้องทำการเก็บข้อมูลตรวจวัดในสนามโดยใช้ Inclinomater ในการตรวจวัดการเคลื่อนตัวด้านข้างขณะถอนซีโพล์

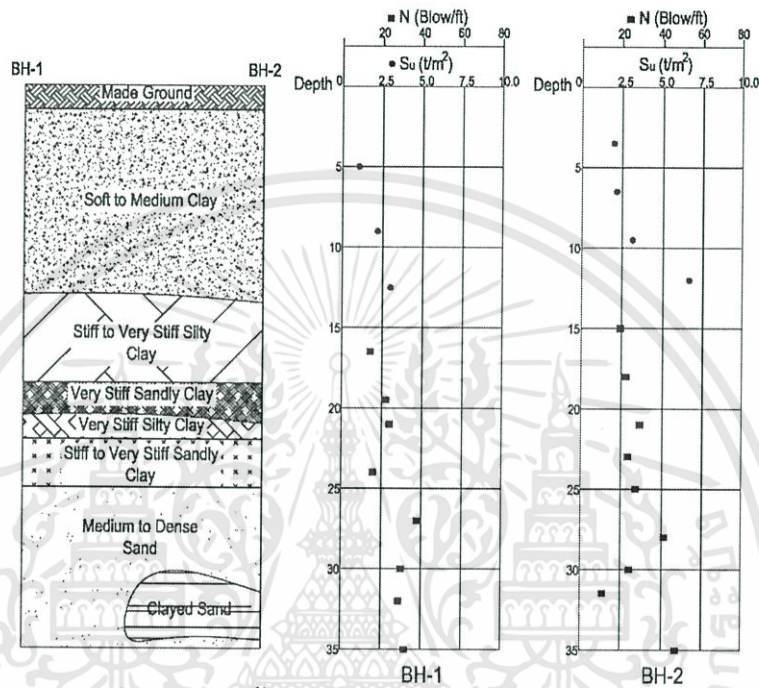
จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่ากรณีที่ซีโพล์จะสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่นั้นจำเป็นต้องมีการถอนซีโพล์เมื่อเสร็จสิ้นการก่อสร้างใต้ดิน ในการถอนซีโพล์นั้นมวลดินย่อมมีช่องว่างเกิดขึ้นจากการดึงออกของซีโพล์และจะมีดินจำนวนหนึ่งติดตามร่องของซีโพล์ด้วยซึ่งจะทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของดินเพื่อแทนที่ช่องว่างจากการถอนซีโพล์ การเคลื่อนตัวนี้อาจส่งผลกระทบต่อไปยังส่วนโครงสร้างต่างๆหรือบริเวณพื้นที่ข้างเคียงได้ การศึกษาเบื้องต้นจากข้อมูลที่เคยมีผู้บันทึกไว้พบว่า การเคลื่อนตัวจากการถอนซีโพล์นั้นมีค่ามากพอที่จะทำให้เกิดความเสียหายได้ (ดังรูปที่ 2.1) หากขาดการเอาใจใส่ในการป้องกันการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นจากการถอนซีโพล์



รูปที่ 2.1 การเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นขณะทำการก่อสร้างและถอนซีโพล์ใน

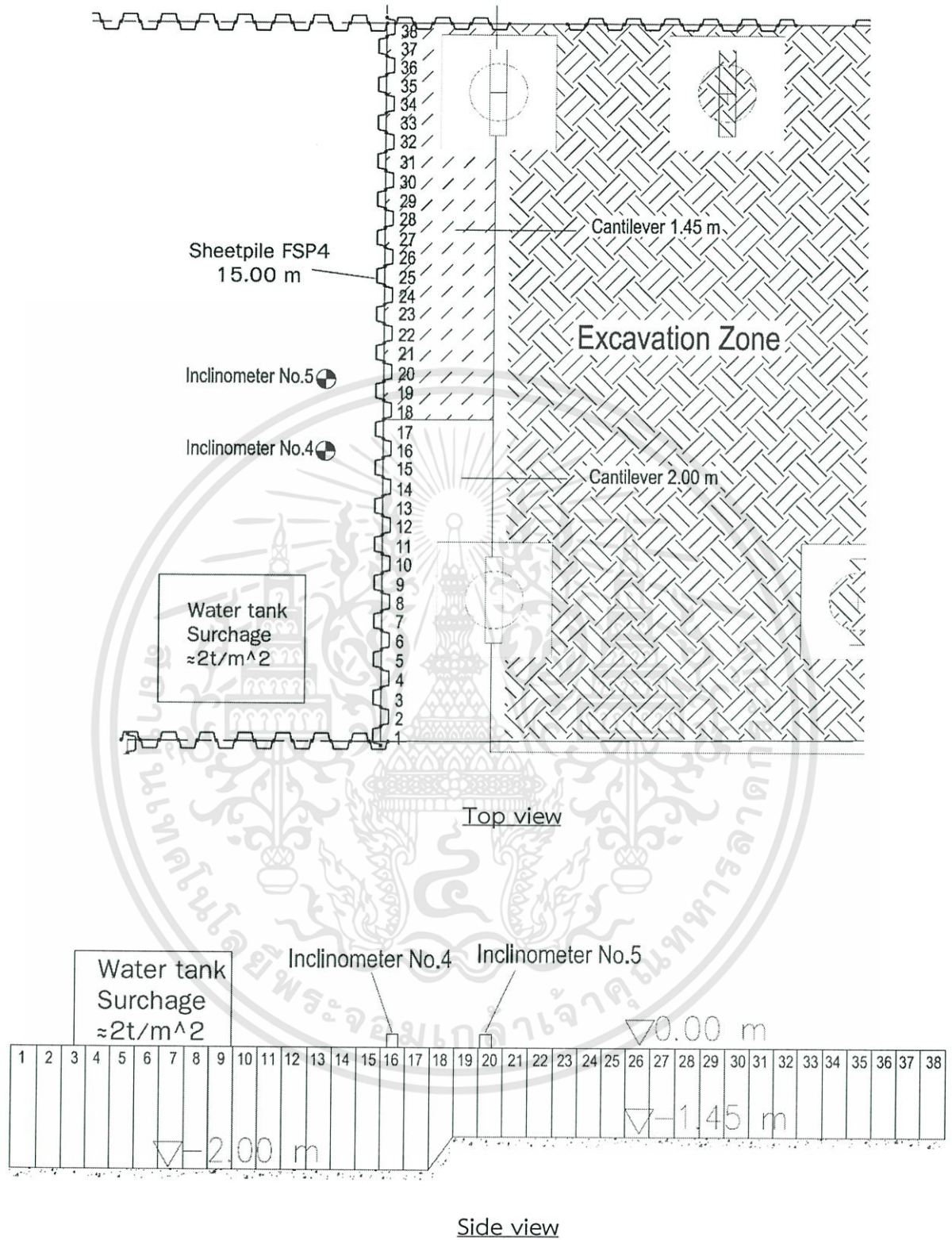
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในโครงการก่อสร้างหนึ่งในอดีต(พรพจน,2558)ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากลักษณะข้อมูลดินพบว่าชั้นดินที่โครงการเป็นไปดังรูปที่ 2.2 ซึ่ง โดยบริเวณความลึกในช่วง 0 ถึง 13 เมตรนั้นเป็น ชั้นดินเหนียวอ่อนจนถึงดินเหนียวอ่อนปานกลาง ชั้นดินลึกลงมาจะเป็น ดินเหนียวแข็งที่ระดับตั้งแต่ 13 เมตร จนถึง 25 เมตร และชั้นต่อมาที่พบก็จะเป็นชั้นทรายที่ระดับตั้งแต่ 25 เมตร จนถึง 35 เมตร



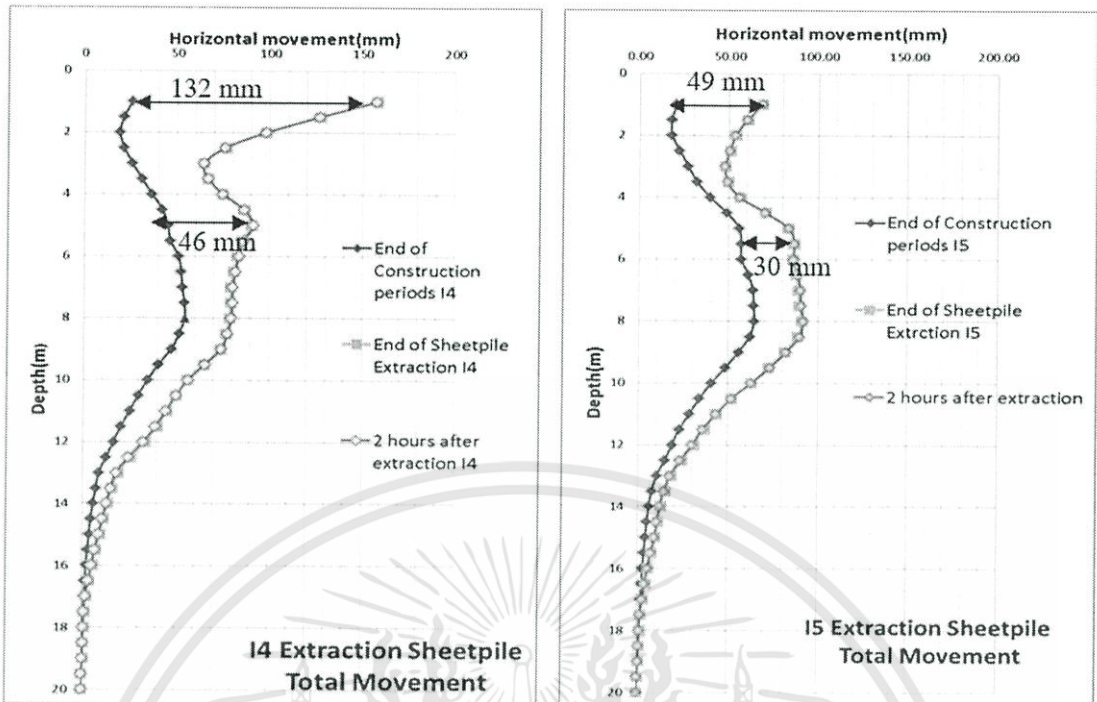
รูปที่ 2.2 แสดงชั้นดินของโครงการที่ใช้ศึกษา (ธัมบูรณ์, 2559)

การวัดค่าจะเป็นไปตามการทำงานจริง (ถอนซีฟไพล์แบบไม่หยุดรอกการอ่าน Inclinator หรือ ค่าระดับ) เพื่อให้ค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับสภาพการทำงานจริงในสนามมากที่สุด โดยการทดลอง จะทำการถอนซีฟไพล์ทั้งหมด 33 แผ่น จากทั้งหมด 38 แผ่น จะวัดค่าการเคลื่อนตัวด้านข้างของดินที่เกิดขึ้น จาก Inclinator หมายเลข 4, 5 ซึ่งจะอยู่หลังซีฟไพล์แผ่นที่ 16 และ 20 ตามลำดับ ดังแสดงในรูป 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงพื้นที่ที่ใช้ในการศึกษาและภาพตัดของพื้นที่ (ธัมบุรณ์,2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงการเคลื่อนตัวด้านข้างของดินจาก Inclinometer I4 และ I5 (ฉิมบุรี, 2559)

ผลจากการศึกษาเป็นไปตามรูปที่ 2.4 ซึ่งเป็นกราฟเปรียบเทียบการเคลื่อนตัวด้านข้างของดินที่เกิดขึ้นหลังจากเสร็จสิ้นงานก่อสร้างโครงการใต้ดินของโครงการก่อนทำการรื้อถอนซีทไพล์และการตรวจวัดการเคลื่อนตัวต่อเนื่องในช่วงการถอนซีทไพล์ โดยการถอนซีทไพล์ทั้งหมด 33 แผ่นนั้น การรื้อถอนเสร็จสิ้นภายในเวลา 2 ชั่วโมง และตรวจวัดการเคลื่อนตัวด้านข้างต่อเนื่องหลังจากที่ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง หลังจากรื้อถอนซีทไพล์เสร็จ จากรูปที่ 2.4 พบว่าค่าการเคลื่อนตัวที่เกิดขึ้นระหว่างการถอนซีทไพล์นั้นมีค่าสูงมาก โดยเฉพาะบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากน้ำหนักบรรทุก (surcharge) และช่วง cantilever ซึ่งสามารถบอกได้ว่า Surcharge และรูปแบบ Cantilever นั้นมีผลอย่างมากต่อพฤติกรรมของการเคลื่อนตัวด้านข้างของดินระหว่างทำการถอนซีทไพล์และแนวโน้มของกราฟทั้ง 2 มีความใกล้เคียงกันมาก กล่าวคือบริเวณผิวดินจะเกิดการเคลื่อนตัวสูงมากจากนั้นจะค่อยๆ ลดลงและสูงขึ้นอีกครั้งที่บริเวณกึ่งกลางของชั้นดินเหนียวอ่อนก่อนการเคลื่อนตัวจะค่อยๆ ลดลงที่ความลึกมากขึ้น

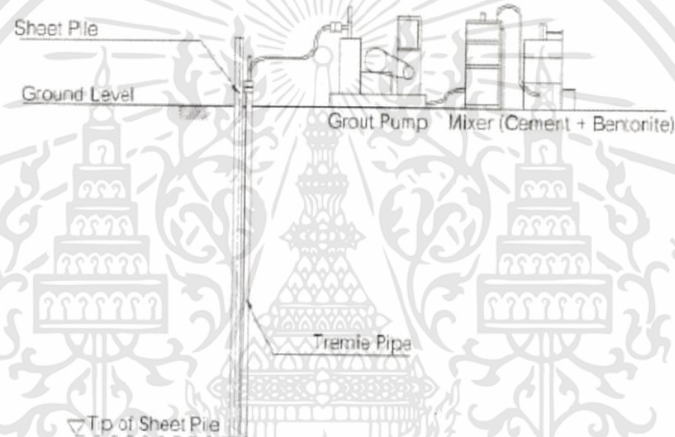
การลดผลกระทบที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการถอนซีทไพล์นั้นเป็นเรื่องที่สำคัญมากในงานขุดดินลึก การเคลื่อนตัวด้านข้างที่อันตรายนั้นมิได้เกิดขึ้นเฉพาะในขั้นตอนการขุดเท่านั้น ซึ่งการเคลื่อนตัวยังเกิดขึ้นในขั้นตอนการถอนซีทไพล์ด้วยเช่นกันและถ้าหากเราละเลยผลกระทบที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกเพิ่มและสภาพคานยันของซีทไพล์ การเคลื่อนตัวด้านข้างจากขั้นตอนการถอนซีทไพล์นั้นอาจมีค่าใกล้เคียงกับขั้นตอนการขุดดิน ดังนั้นควรมีระบบป้องกันการเคลื่อนตัวของดินจากการถอนซีทไพล์ด้วยการแทนที่ช่องว่างที่เกิดขึ้นจากการถอนซีทไพล์ไม่ว่าจะเป็นวิธีการแทนที่ด้วยทราย หรือ วิธี Cement bentonite grouting ควรทำการอัดฉีดลงไปแทนที่ซีทไพล์ ที่ระยะ 2.0-2.4 เมตร ล่วงหน้าก่อนถึงจุดวิกฤต และต้องอัดฉีดต่อเนื่องไปจากจุดวิกฤตอีกเป็นระยะ 4.8 เมตร นอกจากนี้การหยุดรอของเครื่องจักรขณะทำการถอนซีทไพล์ก็เป็นสาเหตุให้การเคลื่อนตัวมีค่ามากขึ้น ถึง 2-3 เท่า ของการเคลื่อนตัวปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 การดำเนินงานอัดฉีดน้ำปูนเพื่อลดช่องว่างในดินเนื่องจากการถอนซีพีไพล์

[2] จากการศึกษาบทความของบริษัท ฮีโรเซ่ จำกัด พบว่าในส่วนงานปรับปรุงช่องว่างในดินเนื่องจากการถอนซีพีไพล์ งานเจาะและงานอัดน้ำปูนจะดำเนินการในบริเวณแนวซีพีไพล์ตามแนวร่องการถอน เพื่อลดการเคลื่อนตัวของชั้นดินซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายต่ออาคารข้างเคียงได้ซึ่งวัสดุที่ใช้ในการอัดฉีดน้ำปูน (Grouting Materials) เพื่อปรับปรุงช่องว่างของชั้นดินเนื่องจากการถอนซีพีไพล์ ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 เบนโทไนท์ตามมาตรฐาน API มี Liquid Limit ไม่น้อยกว่า 350% และมี Plastic Limit ไม่น้อยกว่า 28% และน้ำสะอาด เครื่องจักรในงานอัดฉีดน้ำปูนประกอบด้วย ถังผสม (Grout Mixer) ถังกวน (Agitator Sump) และเครื่องจักรในงานอัดฉีดน้ำปูน (Grout Pump)

งานเจาะและอัดฉีดน้ำปูนจะดำเนินการในบริเวณกำแพงซีพีไพล์ตามแนวร่องแนวซีพีไพล์จากระดับดินเดิมหรือบริเวณอื่นตามคำสั่งของวิศวกรผู้ควบคุมงาน งานเจาะและอัดฉีดน้ำปูนจะดำเนินงานภายในเวลาที่ทำการเริ่มถอนซีพีไพล์จะทำการติดตั้งท่อต่างๆตามตำแหน่งและทิศทางตามที่กำหนด



รูปที่ 2.5 แสดงระบบและเครื่องมือในการทำงาน Cement bentonite grout (HIROSE,2559)



รูปที่ 2.6 แสดง Plant mixing (HIROSE,2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1 ขั้นตอนการอัดฉีดน้ำปูนเพื่อปรับปรุงช่องว่างของชั้นดินเนื่องจากการถอนซีทไพล์

ขั้นตอนที่ 1 เริ่มดำเนินการถอนซีทไพล์ออกก่อน 1 แผ่น เพื่อติดตั้งท่อ termie pipe ขนาด 2 นิ้ว ลงในช่องว่างของซีทไพล์ด้วยรถเครน โดยให้ปลายท่ออยู่ที่ระดับ -14.00 เมตร หรือ -15.00 เมตร ตามที่กำหนดจากระดับดินเดิม (ความยาวซีทไพล์เท่ากับ 16.00 เมตร)



รูปที่ 2.7 แสดงการติดตั้งท่ออัดฉีดน้ำปูน (Tremie Pipe) (HIROSE,2559)

ขั้นตอนที่ 2 ต่อท่อ Grout hose เข้ากับท่อ termie pipe และ Grout pump

ขั้นตอนที่ 3 ดำเนินการผสมซีเมนต์ เบนโทไนท์ และน้ำ ตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้เมื่อซีเมนต์และเบนโทไนท์ผสมกันเรียบร้อยแล้วจะถูกเก็บที่ถังเพื่อรอการใช้งาน



รูปที่ 2.8 แสดงเครื่องผสม Cement Bentonite (HIROSE,2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 4 เตรียมเครื่องจักรสำหรับการถอนซีทไฟลให้พร้อม



รูปที่ 2.9 แสดงเครื่องถอนซีทไฟล (HIROSE,2559)

ขั้นตอนที่ 5 หลังทำการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆเรียบร้อยแล้วเริ่มทำการถอนซีทไฟลโดยในระหว่างการถอนนั้นเริ่มทำการเกร้าท์ซีเมนต์เบนโทไนท์ไปตามท่อ Grout hose อย่างต่อเนื่องจนถึงระดับผิวดินเพื่อไปอุดช่องว่างของร่องซีทไฟล

ขั้นตอนที่ 6 ทำการถอนซีทไฟลตามขั้นตอนที่ 5-6 ไปเรื่อยๆจนแล้วเสร็จ

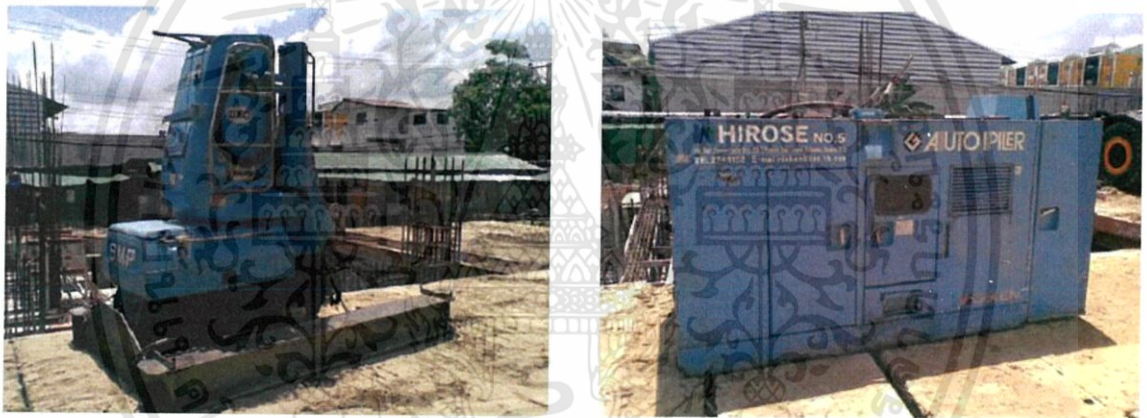


รูปที่ 2.10 แสดงการอัดฉีด Cement bentonite ลงไปแทนที่ช่องว่างในดิน (HIROSE,2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แสดงการเกร้าท์จนกระทั่งน้ำปูนซีเมนต์ทะลักขึ้นมาจนเต็มช่องว่างของซีทไพล์ (HIROSE,2559)



รูปที่ 2.12 แสดงเครื่องจักรที่ใช้ในการถอนซีทไพล์ (HIROSE,2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 วัสดุที่ใช้ในงานอัดฉีด (Grouting Materials)

[3] โดยทั่วไปคอนกรีตที่ใช้ในการอัดฉีดจะประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และน้ำ โดยอาจใส่หรือไมใส่มวลรวมละเอียดก็ได้ นอกจากนี้อาจมีส่วนผสมของสารผสมเพิ่ม (Adhesive) ที่มีคุณสมบัติพิเศษอื่นๆ เช่น สารป้องกันการหดตัวเป็นต้น นำมาผสมรวมกันเพื่อให้สามารถอัดฉีดเข้าไปในรอยร้าวได้โดยไม่มีการแยกตัว กระบวนการในการอัดฉีดโดยทั่วไปสามารถแยกได้เป็น 2 ประเภทได้แก่ การอัดฉีดจากทางผิวด้านนอกและการอัดฉีดจากภายใน

### 2.4.1 การอัดฉีดจากทางผิวด้านนอก (Grouting from Surface)

ทำโดยเจาะรูที่ผิวนอกเพื่อฝังท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อยประมาณ 25 มิลลิเมตรและลึกอย่างน้อย 50 มิลลิเมตร จำนวน 2 รูตามแนวของรอยร้าว โดยรูแรกใช้ในการอัดฉีดส่วนรูที่สองใช้เป็นรูควบคุมรอยร้าวที่อยู่ระหว่างท่อทั้งสองท่อจะถูกอุดด้วยน้ำปูนหรือปิดด้วยสารที่มีส่วนผสมของเรซินแรงดันหรือแรงอัดที่ใช้ในการอัดฉีดเป็นปัจจัยหลักข้อหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงสำหรับวิธีการนี้ในบางกรณีการใช้เครื่องมือแบบอัดฉีดขนาดเล็กที่หัวฉีดเป็นรูปโคนอาจเพียงพอสำหรับการอัดฉีดที่ต้องการแรงดันประมาณ 350 กิโลปาสกาล

### 2.4.2 การอัดฉีดภายใน (Interior Grouting)

เป็นการอัดฉีดรอยร้าวรอยต่อหรือโพรงที่มีอยู่ภายในเนื้อคอนกรีตโดยการเจาะรูขนาดเล็กในทิศทางที่วิ่งผ่านช่องว่างหรือโพรงโดยพยายามเจาะเข้าไปที่ส่วนลึกที่สุดของโพรงและเมื่อเสร็จสิ้นการเจาะแล้วให้ใช้ลมดูดเศษวัสดุที่ตกค้างจากการเจาะออกมาเพื่อมิให้ไปอุดรอยร้าว

### 2.4.3 วัสดุที่ใช้ในการซ่อมแซม

กรมโยธาธิการและผังเมืองได้กล่าวถึงวัสดุซ่อมแซมประเภทต่างที่ใช้ในการซ่อมแซมหรือเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีต ได้แก่ วัสดุประเภทที่มีส่วนประกอบของซีเมนต์ (Cementitious) สารเคมีและพอลิเมอร์ (Polymer)

#### 2.4.3.1 วัสดุประเภทที่มีส่วนประกอบของซีเมนต์ (Cementitious)

คอนกรีตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปูนทรายหรือวัสดุซีเมนต์ประสานอื่นๆที่มีส่วนประกอบคล้ายกับคอนกรีตดั้งเดิมที่จะซ่อมแซมเป็นทางเลือกของวัสดุซ่อมแซมที่ดีที่สุดเพราะมีคุณสมบัติเหมือนกับคอนกรีตดั้งเดิมและวัสดุซ่อมใหม่อื่นๆที่เลือกใช้ต้องเข้ากันได้กับคอนกรีตเดิมด้วย ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### - คอนกรีตธรรมดา (Conventional Concrete)

คอนกรีตธรรมดาทั่วไปที่ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มวลรวมและน้ำและสารผสมเพิ่มประเภทต่างๆ เช่น สารกระจายกักฟองอากาศ สารเร่งหรือหน่วงปฏิกิริยาไฮเดรชัน สารเพิ่มความสามารถในการเทได้ สารลดน้ำ เป็นต้น ซึ่งคอนกรีตธรรมดาสามารถนั้นหาได้ง่ายประหยัดและมีคุณสมบัติเหมือนคอนกรีตดั้งเดิมที่จะซ่อมแซมสามารถผลิตเท ตกแต่งและบ่มได้ง่าย

#### - ปูนทรายธรรมดา (Conventional Mortar)

ปูนทรายหรือมอร์ตาร์เป็นส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มวลรวมละเอียด น้ำและสารผสมเพิ่มอื่นๆ เพื่อลดน้ำ และลดการหดตัวประโยชน์ของปูนทรายเหมือนกับการใช้คอนกรีต นอกจากนี้ปูนทรายยังสามารถใช้กับหน้าตัดที่บางกว่าได้และมีการใช้ปูนทรายสำเร็จรูปกันอย่างกว้างขวางซึ่งเหมาะกับการซ่อมโครงสร้างที่มีความเสียหายเล็กน้อย

#### - คอนกรีตชดเชยการหดตัว (Shrinkage Compensating Concrete)

คอนกรีตชดเชยการหดตัวคือ คอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ที่มีการขยายตัวเพื่อช่วยชดเชยการหดตัวของคอนกรีตเมื่อแห้ง วัสดุและวิธีการพื้นฐานคล้ายคลึงกับที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สำหรับคอนกรีตคุณภาพสูง

#### - ซีเมนต์เกร้าท์ชนิดไม่หดตัว (Nonshrink Cement Grout)

ซีเมนต์เกร้าท์ชนิดไม่หดตัวเป็นส่วนผสมของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกส์ มวลรวมละเอียดและสารผสมเพิ่ม ซึ่งเมื่อผสมกับน้ำแล้วจะได้เป็นสารละลายที่มีความเป็นพลาสติก ไหลได้ดีหรือมีความข้นเหลวคงที่ซึ่งส่วนผสมจะไม่มีการหดตัว

#### - ซีเมนต์ก่อตัวเร็ว (Rapid-Setting Cement)

ซีเมนต์ก่อตัวเร็ว คือปูนซีเมนต์ที่มีระยะเวลาก่อตัวสั้นซีเมนต์ก่อตัวเร็วบางประเภทสามารถพัฒนากำลังอัดได้เร็วถึง 17 เมกะปาสกาล (170 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรภายใน 3 ชั่วโมง) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 เป็นตัวอย่างซีเมนต์ก่อตัวเร็วที่นิยมใช้ในการซ่อมแซมคอนกรีตที่เสียหายทั้งหน้าตัดมากกว่าวัสดุอื่น

#### 2.4.3.2 สารเคมีที่ใช้ในการอัดฉีด

สารเคมีที่ใช้ในการอัดฉีดเป็นส่วนผสมทางเคมีที่อยู่ในรูปของเจล โฟมหรือสารตกตะกอนซึ่งจะตรงกันข้ามกับซีเมนต์เกร้าท์ชนิดไม่หดตัวซึ่งมีการแขวนลอยของอนุภาคในสารอัดฉีด ปฏิกิริยาในสารอัดฉีดอาจจะเกิดขึ้นระหว่างส่วนผสมด้วยกันหรือกับสารอื่น เช่นน้ำที่ใช้ในกระบวนการอัดฉีด ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะทำให้การไหลตัวลดลงและก่อตัวเต็มเต็มช่องว่างในคอนกรีตที่ต้องการซ่อม สามารถใช้ได้ ในสภาวะแวดล้อมที่มีความชื้นสูงและมีความหลากหลายของเจล ความหนืดและระยะเวลาการก่อตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.3.3 พอลิเมอร์ซีเมนต์คอนกรีตและมอร์ตาร์ (Polymer Cement Concrete and Mortar)

เป็นคอนกรีตที่ได้รับการพัฒนาคุณภาพโดยการเติมสารพอลิเมอร์เหลวร่วมกับปูนซีเมนต์และมวลรวมในขณะที่ทำการผสมโดยสารพอลิเมอร์ส่วนใหญ่เป็นของเหลวชนิดสไตลีน-บิวทาไดอีน (Styrene Butadiene) หรือ อะคริลิกลาเทกซ์ (Acrylic Latex) สามารถเพิ่มกำลังรับแรงดัดและกำลังแรงดึงเพิ่มความเหนียวของคอนกรีตลดการซึมผ่านของน้ำและสารต่างๆที่มากับน้ำเพิ่มความคงทนของคอนกรีตทำงานได้ง่ายเมื่อมีพอลิเมอร์เป็นส่วนประกอบทำให้คอนกรีตประเภทนี้มีความ สิ้นเสียดกในการทำงาน

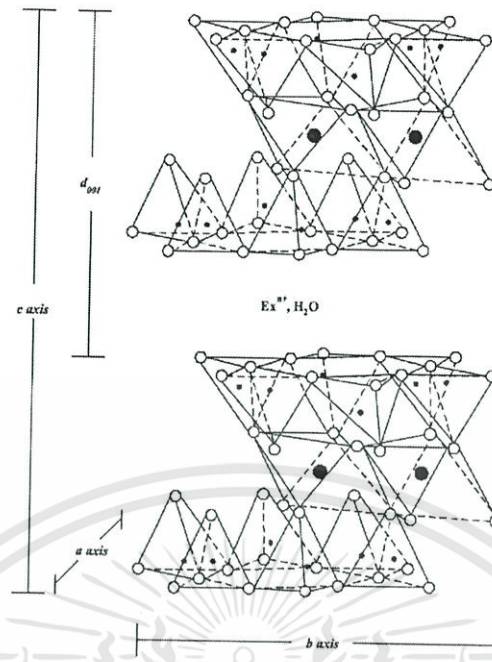
## 2.5 เบนโทไนท์ (Bentonite)

[4] เบนโทไนท์เป็นแร่ดิน (Clay mineral) ที่มีคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำได้มากและการพองตัวสูงถูกตั้งชื่อจากสถานที่ที่มีการขุดขึ้นมาใช้ในเชิงพาณิชย์เป็นครั้งแรก คือที่ฟอर्टเบนทอน มลรัฐไวโอมิ่ง สหรัฐอเมริกา (Fort Benton, Wyoming USA) ซึ่งในทางธรณีวิทยาแร่เบนโทไนต์อยู่ในตระกูลของแร่ดินมีสัดส่วนจำนวนธาตุองค์ประกอบที่แตกต่างกันไปตามแหล่งที่พบซึ่งทำให้เกิดลักษณะทางกายภาพและทางเคมีที่ไม่ซ้ำกันส่วนใหญ่กำเนิดมาจากภูเขาไฟ

แร่ดินเบนโทไนท์ประกอบด้วย แร่มอนต์มอริลโลไนท์ (Montmorillonite: ซิลิเกตที่มีลักษณะอ่อนและคล้ายดิน) เป็นหลักปะปนอยู่ร่วมกับแร่ธาตุต่างๆเช่น เฟลด์สปาร์ Feldspar, แคลไซต์ Calcite, ซิลิกา Silica, ยิปซัม Gypsum, ฯลฯ แร่มอนต์มอริลโลไนท์ Montmorillonite อยู่ในกลุ่มดินสมัคไตต์ Smectite ซึ่งรวมถึงแร่ที่มีคุณสมบัติการทำงานคล้ายคลึงกันเช่น ไบเดลไลต์ Beidellite, ซาโปไนต์ Saponite, เฮคโตไรต์ Hectorite ซึ่งลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของแร่มอนต์มอริลโลไนท์ คือมีลักษณะเป็นแผ่นหรือเกร็ดขนาดเล็กซ้อนกัน 3 ชั้น ดังรูปที่ 2.13 ซึ่งสามารถเขียนเป็นสูตรโมเลกุลได้ดังนี้



โดยที่ + M หมายถึงประจุบวกที่มาทำการแลกเปลี่ยนประจุกัน อาจเป็นได้ทั้ง แคลเซียม หรือ โซเดียม



รูปที่ 2.13 รูปแสดงโครงสร้างแร่ดินเบนโทไนท์ วงกลมสีดำเล็ก ๆ คือ  $\text{Si}^{4+}$  วงกลมสีดำใหญ่คือ  $\text{Al}^{3+}$  หรือ  $\text{Mg}^{2+}$  และวงกลมสีขาวคือออกซิเจน ( Wibulswas, 1999 )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วิธีการดำเนินการวิจัย

### 3.1. บทนำ

เมื่อทำการถอนซีทไฟลส์จะทำให้ดินเกิดช่องว่างขึ้นดินจะมีการเคลื่อนตัวอาจสร้างความเสียหายกับโครงสร้างได้จึงต้องทำการแทนที่ช่องว่างนั้นซีเมนต์เบนโทไนท์เข้าที่เข้าทางเป็นวิธีหนึ่งที่แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นซึ่งคุณสมบัติของซีเมนต์เบนโทไนท์ที่ดีนั้นจะต้องมีความสามารถในการไหลเข้าไปแทนที่ช่องว่างที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการถอนซีทไฟลส์ได้ระยะเวลาในการเซตตัวของซีเมนต์เบนโทไนท์จะต้องใช้เวลาไม่มากเกินไปเพื่อที่จะมีกำลังต้านทานแรงจากดินด้านข้างได้ค่าความหนาแน่นของซีเมนต์เบนโทไนท์ในขณะที่ทำการอัดฉีดนั้นจะต้องมีค่าความหนาแน่นมากกว่าหรือเท่ากับค่าความหนาแน่นของดินรอบข้างและน้ำ เพื่อต้านแรงดันในดินรอบข้างและแรงดันของน้ำใต้ดินขณะที่รอให้สารเกร้าท์เซตตัวเมื่อเซตตัวได้ระยะหนึ่งจะต้องมีกำลังต้านทานรับแรงเฉือนของดินรอบข้างได้ดังนั้นผู้ทำการทดลองจึงได้ทำการศึกษาคุณสมบัติด้านความหนืด ความหนาแน่น เวลาเซตตัว และกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เบนโทไนท์ เพื่อหาอัตราส่วนของ ซีเมนต์ เบนโทไนท์และน้ำ ให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับที่กล่าวข้างต้นมากที่สุดซึ่งการทดสอบคุณสมบัติต่างๆของซีเมนต์เบนโทไนท์นั้นยังไม่เคยมีใครทำการศึกษาอย่างจริงจังส่งผลให้ไม่มีเครื่องมือทดสอบที่เป็นมาตรฐาน ชื่อเรียกทั่วไปของเบนโทไนท์จะเรียกว่าสารละลายเบนโทไนท์แต่ตามหลักวิทยาศาสตร์เบนโทไนท์เป็นสารแขวนลอย เนื่องจากการทดสอบคุณสมบัติต่างๆที่มีอยู่ทั่วไปเป็นการทดสอบคุณสมบัติสารที่มีสถานะเป็นของเหลวหรือของแข็งซึ่งเครื่องมือที่ใช้ใช้นั้นไม่สามารถนำมาทดสอบคุณสมบัติของซีเมนต์เบนโทไนท์ได้ คณะผู้จัดทำจึงทำการปรับปรุงวิธีการทดสอบให้สามารถตรวจสอบคุณสมบัติของซีเมนต์เบนโทไนท์ได้ การศึกษาคุณสมบัติต่างๆของคณะผู้จัดทำ จะทำการศึกษาดูผลเชิงเปรียบเทียบของคุณสมบัติต่างๆกับส่วนผสมของซีเมนต์เบนโทไนท์โดยปรับปรุงเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

### 3.2. การศึกษาคุณสมบัติของซีเมนต์เบนโทไนท์และการพัฒนาเครื่องมือทดสอบ

คุณสมบัติของซีเมนต์เบนโทไนท์ที่ทำการศึกษาแบ่งออกเป็น 4 คุณสมบัติ ได้แก่ ความหนืด ความหนาแน่น เวลาเซตตัวและกำลังรับแรงอัด จากการศึกษาและทดลองคณะผู้จัดทำได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของซีเมนต์เบนโทไนท์โดยใช้อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อหาคุณสมบัติของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ดังนี้

#### 3.2.1 การศึกษาคุณสมบัติด้านความหนืด (Viscosity)

การทดสอบหาความหนืดของซีเมนต์เบนโทไนท์ด้วย Marsh funnel viscometer ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความหนืดโดยสังเกตจากเวลาที่ใช้ในการไหลของของเหลวจากกรวยลงสู่ถ้วยที่ทราบปริมาตรซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้ในงานวิศวกรรมสำหรับตรวจสอบคุณภาพของน้ำโคลนในงานวิศวกรรมขุดเจาะ Marsh funnel นั้นมีปริมาตร 1.5 ลิตร ความกว้างเท่ากับ 6 นิ้ว ความสูงเท่ากับ 12 นิ้ว ที่ปลายของกรวยมีท่อยาว 2 นิ้ว เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 3/16 นิ้ว และมีตะแกรงเบอร์ 10 ปิดอยู่ด้านปากกรวยอยู่ครึ่งหนึ่งเวลาที่ได้จากการบันทึกนั้นจะใช้ถูกเป็นค่าความหนืดของของเหลวนั้น สำหรับน้ำที่อุณหภูมิปกติเวลาที่ใช้ในการไหลจากกรวยลงถ้วยเป็นปริมาตร 1 ควอร์ต จะเท่ากับ  $26 \pm 0.5$  วินาที เวลาของ Marsh funnel จะหมายถึง Marsh funnel viscosity หน่วยวินาทีจะถูกตัดไปโดยปกติเวลาของน้ำโคลนที่ใช้ในการทำงานจะมีค่า 34 ถึง 50 วินาที น้ำโคลนบางชนิดอาจใช้เวลา 100 วินาที หรือมากกว่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 รูปแสดงเครื่องมือ Marsh funnel viscometer

### 3.2.1.1 ขั้นตอนการทดสอบหาความหนืด

การทดสอบหาความหนืดจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือการทดสอบหาความหนืดของเบนโทไนท์และการทดสอบหาความหนืดของเบนโทไนท์ที่ผสมกับซีเมนต์แล้ว

### 3.2.1.2 อุปกรณ์

- (1) Marsh funnel ประกอบด้วย กรวย และถ้วย
- (2) นาฬิกาจับเวลา

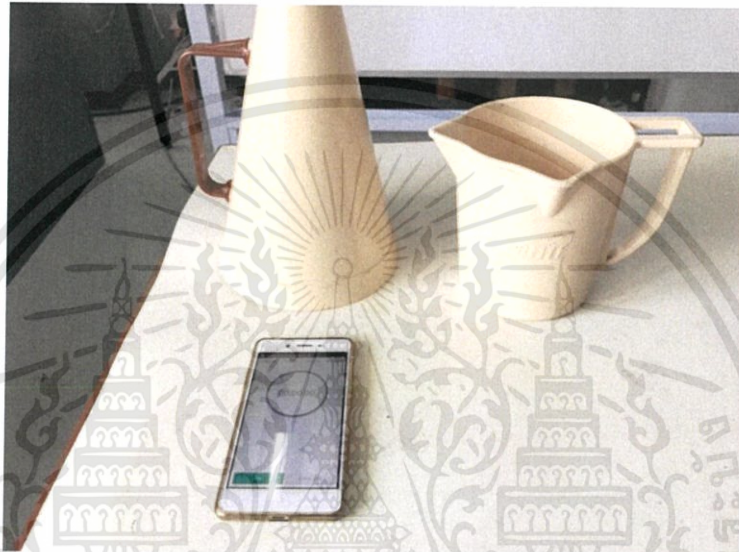


รูปที่ 3.2 Marsh funnel viscometer และ นาฬิกาจับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.1.3 วิธีการทดสอบ

- (1) เตรียมถ้วยและนาฬิกาจับเวลา
- (2) ถือกกรวยตั้งตรงในแนวตั้งและใช้นิ้วอุดรูที่ด้านล่างของกรวย
- (3) เทสารที่จะทดสอบความหนืดลงในกรวยให้ถึงขีดบอกระดับ
- (4) จับเวลาพร้อมกับปล่อยนิ้วที่อุดรูด้านล่างเพื่อให้สารที่ทดสอบไหลลงไปในถ้วยวัดปริมาตร
- (5) กตหยุดเวลาเมื่อระดับของสารตัวอย่างถึงขีดบอกระดับของถ้วยวัดปริมาตร
- (6) บันทึกผลซึ่งเวลาที่ได้นั้นจะเป็นค่าความหนืดมีหน่วยเป็นวินาที



รูปที่ 3.3 การเตรียมเครื่องมือทดสอบและนาฬิกาจับเวลา



รูปที่ 3.4 ถือกกรวยตั้งตรงในแนวตั้งและใช้นิ้วอุดรูที่ด้านล่างของกรวย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

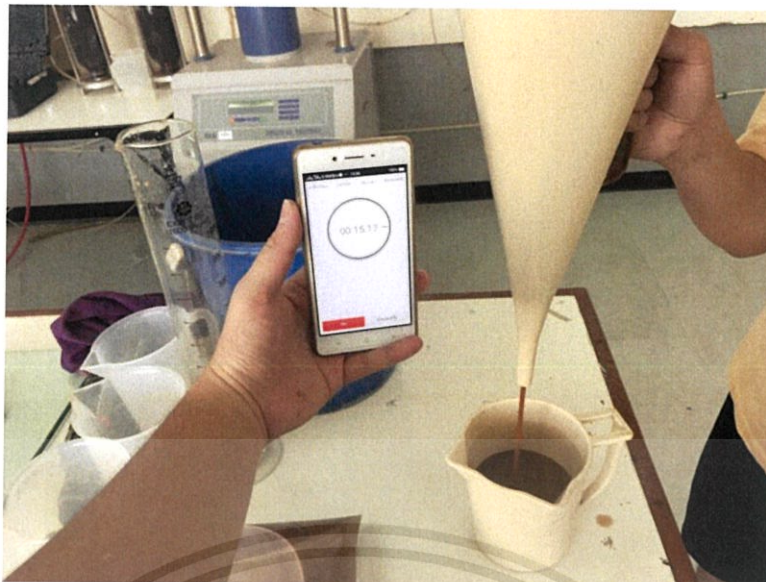


รูปที่ 3.5 เทสารตัวอย่างที่จะทดสอบความหนืดลงในกรวยให้ถึงขีดบอกระดับ

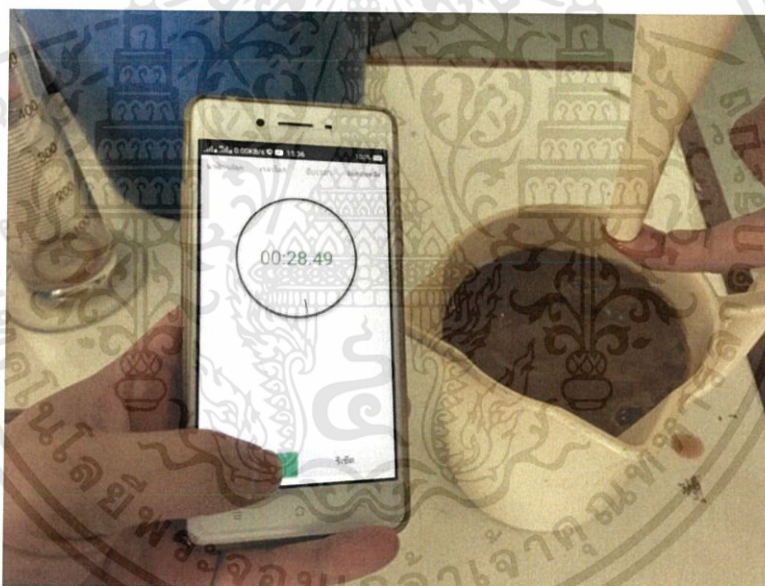


รูปที่ 3.6 สารตัวอย่างมีปริมาณอยู่ที่ขีดบอกระดับของกรวยทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 จับเวลาพร้อมกับปล่อยน้ำที่อุดรูด้านล่างเพื่อให้สารที่ทดสอบไหลลงไปในตัววัดปริมาตร



รูปที่ 3.8 กดยกเวลาเมื่อระดับของสารตัวอย่างถึงขีดบอกระดับของถ้วยวัดปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 การศึกษาคุณสมบัติด้านความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่น (density;  $d$ ) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างมวล (Mass;  $m$ ) ต่อปริมาตร (Volume;  $V$ ) ของสารนั้น มีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ( $\text{g/cm}^3$ ) หรือกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ( $\text{kg/m}^3$ )

$$d = m/V$$

การหาความหนาแน่นของสารใดๆได้นั้นต้องทราบมวลและปริมาตรของสารนั้นก่อน ในที่นี้มวลแทนด้วยสัญลักษณ์ ( $m$ ) เป็นปริมาณเนื้อสารที่มีอยู่จริงและมวลของวัตถุค่าคงที่เสมอมวลมีหน่วยหลายหน่วย เช่น กรัม ( $\text{g}$ ) หรือกิโลกรัม ( $\text{kg}$ ) ส่วนปริมาตรแทนสัญลักษณ์ด้วย ( $V$ ) และมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร หรือลูกบาศก์เมตร ปริมาตรของวัสดุใดๆสามารถหาได้หลายแบบ เช่นการใช้กระบอกตวงหรือหลอดฉีดยาที่มีขีดบอกปริมาตรมาใช้สำหรับตวงหาปริมาตรของเหลว สำหรับของแข็งสามารถแบ่งวิธีการหาปริมาตรได้เป็น 2 วิธี คือใช้สูตรหาปริมาตร วิธีนี้ใช้ได้สำหรับของแข็งที่มีรูปทรงเรขาคณิตและวิธีของ อาร์คิมิดีส เป็นวิธีที่อาศัยการแทนที่น้ำด้วยวัตถุของแข็ง แล้วตวงหาปริมาตรของน้ำที่ล้นออกมาหรืออาจกล่าวได้ว่าหลักการของ อาร์คิมิดีส (Archimedes' principle) คือปริมาตรของของเหลวที่ถูกแทนที่จะมีค่าเท่ากับปริมาตรของวัตถุที่แทนที่ของเหลวนั้นเสมอ

#### 3.2.2.1 ขั้นตอนการทดสอบหาความหนาแน่น

การทดสอบหาความหนาแน่นจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ การทดสอบหาความหนาแน่นของซีเมนต์เบนโทไนท์ในสถานะของเหลว และการทดสอบหาความหนาแน่นของซีเมนต์เบนโทไนท์ในสถานะของแข็ง

#### 3.2.2.2 อุปกรณ์

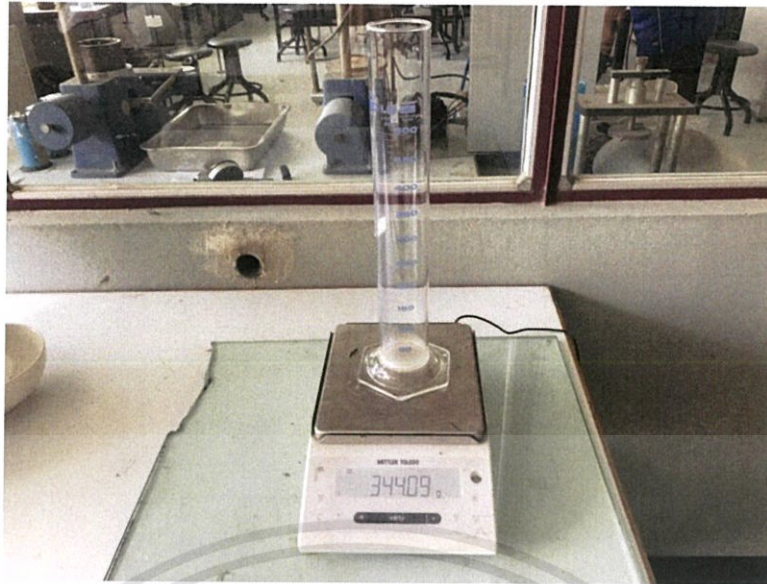
- (1) เครื่องชั่งอ่านได้ละเอียด 0.01 กรัม
- (2) กระบอกตวง ปริมาตร 500 มิลลิลิตร
- (3) บีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร
- (4) ถาดรองน้ำ
- (5) น้ำกลั่น
- (6) ขวดฉีदनํ้ากลั่น
- (7) ไซริงค์

#### 3.2.2.3 วิธีการทดสอบ

##### 2.2.3.1. การทดสอบหาความหนาแน่นของซีเมนต์เบนโทไนท์ในสถานะของเหลว

- (1) นำกระบอกตวงปริมาตร 500 มิลลิลิตร ไปชั่งและบันทึกน้ำหนักที่ได้
- (2) เทซีเมนต์เบนโทไนท์ที่ผสมแล้วใส่กระบอกตวงให้ถึงขีดบอกปริมาตร 500 มิลลิลิตร
- (3) นำกระบอกตวงที่มีซีเมนต์เบนโทไนท์ไปชั่งและบันทึกค่าน้ำหนัก
- (4) นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาความหนาแน่นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 นำกระบอกตวงปริมาตร 500 มิลลิลิตร ไปชั่งและบันทึกน้ำหนักที่ได้

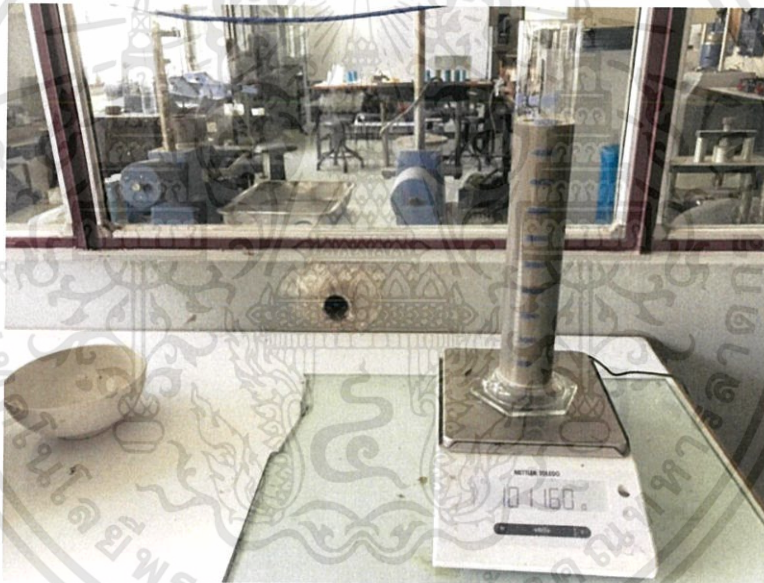


รูปที่ 3.10 เทซีเมนต์เบนโทไนท์ที่ผสมแล้วใส่กระบอกตวงให้ถึงขีดบอกปริมาตร 500 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ซีเมนต์เบนโทไนท์ที่ซีดบอกรปริมาณ 500 มิลลิลิตร



รูปที่ 3.12 นำกระบอกตวงที่มีซีเมนต์เบนโทไนท์ไปชั่งน้ำหนัก

- การคำนวณความหนาแน่นสำหรับซีเมนต์เบนโทไนท์ในสถานะของเหลว  
แทนค่าในสมการ

$$d = m/V$$

เมื่อ  $d$  = ความหนาแน่น

$m$  = น้ำหนักของกระบอกตวงที่มีซีเมนต์เบนโทไนท์ - น้ำหนักของกระบอกตวง

$V$  = ปริมาตรของซีเมนต์เบนโทไนท์ในกระบอกตวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การทดสอบหาความหนาแน่นของซีเมนต์เบนโทไนท์ที่เซ็ทตัวแล้วในสถานะของแข็ง

- (1) ชั่งน้ำหนักของภาตรองน้ำและบันทึกน้ำหนัก
- (2) นำปิกเกอร์วางลงในภาตรองน้ำ
- (3) เทน้ำใส่ปิกเกอร์และใช้ขวดฉีดยาล้างปรับปริมาณน้ำในปิกเกอร์ให้เต็มพอดี
- (4) แกะตัวอย่างซีเมนต์เบนโทไนท์ออกจากแบบหล่อ นำไปชั่งและบันทึกน้ำหนัก
- (5) นำซีเมนต์เบนโทไนท์ใส่ลงไปนในปิกเกอร์ที่มีน้ำเต็มอยู่อย่างช้าๆ
- (6) ใช้ไซริงค์ดูดน้ำออกจากปิกเกอร์เพื่อป้องกันน้ำล้นออกในขณะที่ยกปิกเกอร์
- (7) ยกปิกเกอร์ออกจากภาตรองน้ำโดยระวังไม่ให้น้ำล้นออกมาจากปิกเกอร์
- (8) ชั่งน้ำหนักของภาตรองที่มีน้ำที่ล้นออกมาจากการถูกแทนที่ด้วยซีเมนต์เบนโทไนท์ และบันทึกผล

- การคำนวณความหนาแน่น

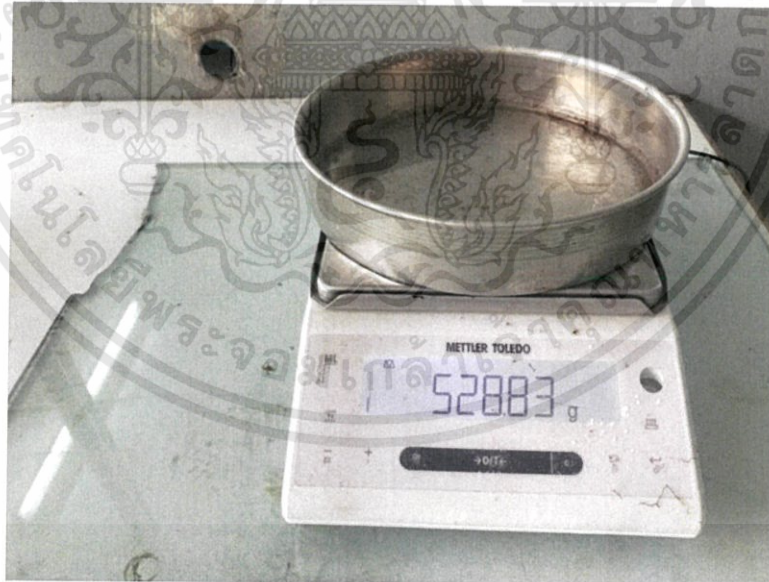
แทนค่าในสมการ

$$d = m/V$$

เมื่อ  $d$  = ความหนาแน่น

$m$  = น้ำหนักของซีเมนต์เบนโทไนท์

$V$  = น้ำหนักของภาตรองที่มีน้ำ - น้ำหนักของภาตรอง



รูปที่ 3.13 ชั่งน้ำหนักของภาตรองน้ำและบันทึกน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 นำปีกเกอร์วางลงในถาดรองน้ำ



รูปที่ 3.15 เทน้ำใส่ปีกเกอร์และใช้ขวดฉีดย้ำกลับปรับปริมาณน้ำในปีกเกอร์ให้เต็มพอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 แกะตัวอย่างซีเมนต์เบนโทไนท์ออกจากแบบหล่อ นำไปซังและบันทึกน้ำหนัก



รูปที่ 3.17 การแกะตัวอย่างซีเมนต์เบนโทไนท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

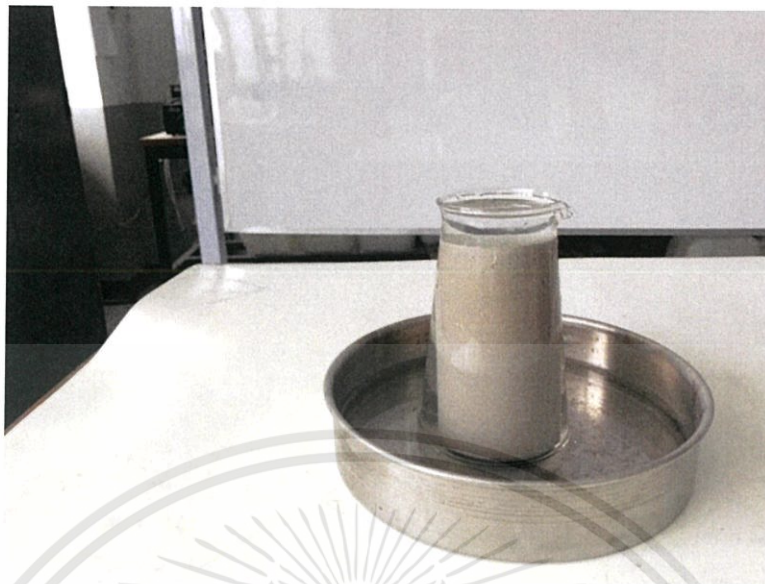


รูปที่ 3.18 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างซีเมนต์เบนโทไนท์



รูปที่ 3.19 ค่อยๆหย่อนตัวอย่างลงในบีกเกอร์ให้น้ำล้นออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 ดูดน้ำออกจากบีกเกอร์เพื่อป้องกันน้ำหกออกมาเวลายกบีกเกอร์ขึ้น



รูปที่ 3.21 ชั่งน้ำหนักถาดรองและน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 การศึกษาคุณสมบัติด้านเวลาการเซตตัว (Setting Time)

คุณสมบัติด้านการเซตตัวนั้นจะเป็นการศึกษาระยะเวลาที่ซีเมนต์เบนโทไนท์เซตตัว เพื่อหาระยะเวลาในการเซตตัวหลังจากทำการอัดฉีดซีเมนต์เบนโทไนท์ในงานถนนซีทโพล์ ในปัจจุบันยังไม่มีเครื่องมือทดสอบที่เป็นมาตรฐาน เนื่องจากการทดสอบหาเวลาเซตตัวที่มีอยู่ทั่วไปเป็นการทดสอบหาเวลาในการเซตตัวของซีเมนต์ ซึ่งมีสถานะเป็นของแข็งหรือการทดสอบค่า Liquid limit ซึ่งเป็นการทดสอบของดินเหนียวแต่ซีเมนต์เบนโทไนท์เป็นสารแขวนลอยที่จะแข็งตัวขึ้นเรื่อยๆเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งเครื่องมือที่ใช้นั้นไม่สามารถนำมาทดสอบคุณสมบัติของซีเมนต์เบนโทไนท์ได้ คณะผู้จัดทำจึงทำการปรับปรุงและพัฒนาวิธีการทดสอบให้สามารถตรวจสอบคุณสมบัติของซีเมนต์เบนโทไนท์ได้

#### 3.2.3.1 ศึกษาและพัฒนาวิธีการทดสอบเวลาเซตตัวของสารซีเมนต์เบนโทไนท์

คณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษาค้นคว้าและพัฒนาวิธีการทดสอบเวลาเซตตัวของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ โดยวิธีลองผิดลองถูก โดยใช้หลักการของวิธีการทดสอบที่มีมาตรฐานอยู่แล้วมาทดสอบและพัฒนาวิธีการ โดยเลือกใช้การทดสอบของสารที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับสารซีเมนต์เบนโทไนท์และได้นำหลักการต่างๆมาประยุกต์และพัฒนาจนได้เป็นวิธีการทดสอบหาเวลาเซตตัวของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ดังนี้

- การทดสอบหาค่าความชื้นเหลวปกติและระยะเวลาก่อตัวของซีเมนต์โดยใช้เข็มแบบไวแคต

(Test for Normal Consistency and Time of Setting of Cement by Vicat Apparatus)

อ้างอิง มาตรฐาน ASTM C 187, C 191

[5] ในการทดสอบหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของซีเมนต์ที่ได้มาตรฐานนั้นปริมาณน้ำที่นำไปผสมกับซีเมนต์จะต้องเป็นปริมาณที่เหมาะสมและตรงตามมาตรฐาน มิเช่นนั้นแล้วผลของการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ได้ย่อมไม่สามารถนำไปเปรียบเทียบกันได้ปริมาณน้ำที่พอเหมาะหรือเหมาะสมนั้นหมายถึงปริมาณน้ำ (คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักของซีเมนต์) ที่เมื่อผสมกับซีเมนต์แล้วทำให้ซีเมนต์เพสต์มีความชื้นเหลวปกติ (Normal Consistency) สภาพความชื้นเหลวปกติของซีเมนต์หมายถึงสภาพที่เมื่อปล่อยเข็มมาตรฐานไวแคต (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มม.) แล้วเข็มนั้นจะจมลงไปนซีเมนต์เพสต์ 10 มม. ในระยะเวลา 30 วินาที กล่าวโดยสรุปการทดสอบเรื่องนี้เป็นกรทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในการทดสอบหาคุณสมบัติอื่น ๆ ของซีเมนต์ต่อไป

ระยะเวลาก่อตัว (Time of Setting) ของซีเมนต์ เป็นคุณสมบัติที่สำคัญอันหนึ่งของซีเมนต์ หากซีเมนต์ที่ใช้งานก่อตัวเร็วเกินไปแล้ว เมื่อนำไปใช้ในงานคอนกรีตทั่ว ๆ ไป ผู้ดำเนินงานก็อาจจะไม่มีเวลาเพียงพอในการนำคอนกรีตไปเทลงแบบได้อย่างสมบูรณ์ ซีเมนต์อาจก่อตัวก่อน ซึ่งหมายความว่าหลังจากเวลานั้นแล้วเราไม่ควรจะเคลื่อนย้ายคอนกรีตสดอีกต่อไป เพราะอาจทำให้คอนกรีตเสื่อมคุณภาพได้ อย่างไรก็ตามหากระยะเวลาก่อตัวของคอนกรีตนานมากเกินไป ก็อาจมีอุปสรรคต่อการก่อสร้างได้ อาทิเช่น ทำให้ถอดแบบได้ช้า การถอดแบบได้ช้าทำให้เสียเวลาก่อสร้าง เป็นต้น โดยทั่ว ๆ ไปเกณฑ์กำหนดระยะเวลาก่อตัวของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทุกประเภท โดยวิธีนี้จะต้องไม่ต่ำกว่า 45 นาที

การหาระยะเวลาก่อตัวของซีเมนต์โดยใช้เข็มแบบไวแคตนั้น หมายถึงระยะเวลา (นับตั้งแต่เมื่อเตรียมตัวอย่างเสร็จ) ที่เมื่อนำเข็มไวแคตมาตรฐานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มม. ปล่อยลงไปในซีเมนต์เพสต์ที่ผสมน้ำและมีความชื้นเหลวปกติแล้ว เข็มนั้นจะจมลงไป 25 มม. หลังจากเมื่อปล่อยเข็มได้ 30 วินาที ไม่ว่าจะวิธีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 เครื่องมือ Vicat Apparatus

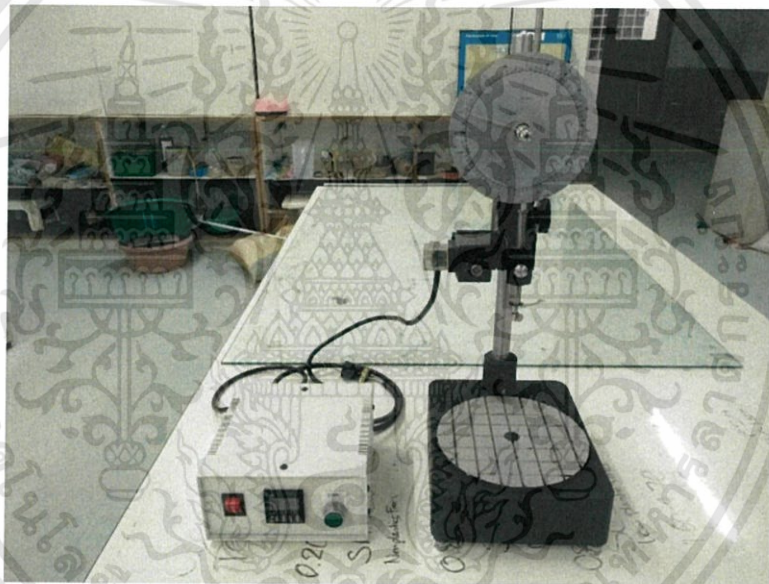
ผลการศึกษาวិธีการทดสอบเวลาเซตตัวของสารซีเมนต์เบนโทไนท์โดยใช้ Vicat Apparatus พบว่าตัวอย่างของซีเมนต์เบนโทไนท์อ่อนเกินไป ไม่สามารถทดสอบโดยใช้อุปกรณ์นี้ได้ เนื่องจาก Vicat Apparatus เป็นการหาระยะเวลาก่อตัว (Time of Setting) ของซีเมนต์ ซึ่งมีสถานะเป็นของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ➤ การทดสอบหา Liquid limit โดยใช้ Cone penetrometer method

Liquid limit จะถูกกำหนดจากค่า Water content ของดินตัวอย่างที่นำมาทดสอบ วิธีหาค่า Liquid limit นั้นจะใช้ Cone penetrometer method ซึ่งเป็นการทดสอบตามมาตรฐานของประเทศอังกฤษ โดยใช้หลักการการทะลุทะลวงของ Fall cone ที่จมลงไปดินตัวอย่างโดยที่ Fall cone นั้นเป็นวัสดุที่ทำจากสแตนเลสสตีล (Stainless Steel) มีน้ำหนัก 80 กรัม ที่ด้านปลายแหลมมีมุมเท่ากับ 30 องศา เมื่อทำการปล่อยโคนสแตนเลสสตีลให้จมลงในดินอย่างอิสระเป็นเวลาเท่ากับ 5 วินาที ระยะที่โคนจมลงไปเท่ากับ 20 มิลลิเมตร ณ จุดนี้ค่า Water content ของดินตัวอย่างจะเป็น Liquid limit ของดินตัวอย่างนี้

คณะผู้จัดทำจึงนำ Cone penetrometer มาประยุกต์ใช้ในการหาเวลาในการเซ็ดตัวของดิน โดยหลังจากทำการผสมสารซีเมนต์เบนโทไนท์เสร็จแล้วจะนำมาทดสอบกับ Cone penetrometer โดยดูผลการทดลองจากระยะที่ Fall cone จมลงในสารตัวอย่างเปรียบเทียบกับเวลา หากสารซีเมนต์เบนโทไนท์เริ่มมีการเซ็ดตัวระยะจมของ Fall cone จะน้อยลงเมื่อเวลาผ่านไปและนำผลการทดลองมาเขียนกราฟระยะจมเทียบกับเวลาเพิ่มดูการเปลี่ยนแปลงของเส้นกราฟ



รูปที่ 3.23 Cone penetration apparatus

ผลการศึกษาวิธีการทดสอบเวลาเซ็ดตัวของสารซีเมนต์เบนโทไนท์โดยใช้ Cone penetration apparatus พบว่าเมื่อเวลาผ่านไประยะจมของ Fall cone ไม่มีการเปลี่ยนแปลงซึ่งเกิดจากสารซีเมนต์เบนโทไนท์ไม่สามารถรับน้ำหนักของ Fall cone ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ➤ การทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีตสด (Slump Test)

[6] การทดสอบค่ายุบตัว (Slump Test) ค่ายุบตัวไม่ได้เป็นค่าที่วัดความสามารถเทได้ของคอนกรีต โดยตรงแต่เป็นการวัดความชื้นเหลวของคอนกรีต (Consistency) หรือลักษณะการไหลตัวของคอนกรีต (Flow Characteristic) แม้วิธีนี้จะไม่เหมาะสมสำหรับทดสอบคอนกรีตที่เหลวหรือแห้งมากแต่ก็มีประโยชน์อย่างมากและสะดวกสำหรับการควบคุมความสม่ำเสมอของการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ เช่น ในกรณีที่ค่ายุบตัวของคอนกรีตมีค่ามากกว่าปกติที่ออกแบบไว้ แสดงให้เห็นว่าจะต้องมีความผิดปกติเกิดขึ้นในสัดส่วนผสมขนาดคละหรือความชื้นในมวลรวมซึ่งจะช่วยให้ผู้ผลิตคอนกรีตสามารถตรวจสอบและแก้ไขได้ การทดสอบทำโดยตักคอนกรีตใส่ลงในโคนที่มีลักษณะเป็นกรวยยอดตัด กระทั่งด้วยเหล็กกระทุ้งแล้วจึงค่อยๆ ยกโคนขึ้นอย่างช้าๆ คอนกรีตจะยุบตัวลงด้วยน้ำหนักของตัวเอง ความสูงที่ยุบตัวลงของคอนกรีตที่วัดได้ถือว่าเป็น ค่ายุบตัวของคอนกรีต

คณะผู้จัดทำจึงนำหลักการนี้มาใช้ในการหาเวลาที่ซีเมนต์เบนโทไนท์เซตตัว ใช้การเปรียบเทียบระยะเวลายุบตัวเทียบกับเวลาเมื่อเวลาผ่านไปสารซีเมนต์เบนโทไนท์จะคงรูปได้มากขึ้นจนสามารถขึ้นรูปได้ซึ่งนำข้อมูลที่ได้นี้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะยุบตัวกับเวลาซึ่งเวลาเริ่มเซตตัวหมายถึงเวลาที่กราฟมีการเปลี่ยนแปลงซึ่งอาจเห็นได้ชัดจากกราฟ semi logarithmic graph

แต่กรวยสำหรับการทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีตมีขนาดใหญ่เกินความจำเป็น จึงใช้กรวยโลหะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.75 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลางส่วนล่าง 8.9 ซม. ความสูง 7.4 ซม. ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวม (Test of Specific Gravity and Absorption of Aggregate)



รูปที่ 3.24 กรวยโลหะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.75 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลางส่วนล่าง 8.9 ซม.

ความสูง 7.4 ซม. ทำด้วยแผ่นโลหะหนาประมาณ 0.9 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเวลาผ่านไประยะเวลายู่ตัวของสารซีเมนต์เบนโทไนท์จะน้อยลงและเมื่อเวลาผ่านไปมากๆสารซีเมนต์เบนโทไนท์สามารถขึ้นรูปได้ ซึ่งทางคณะผู้จัดทำจึงเลือกวิธีการนี้ใช้ในการทดสอบหาเวลาเริ่มเซตตัวของสารซีเมนต์เบนโทไนท์โดยการหล่อเข้าแบบและหาค่าระยะเวลายู่ตัวทุกๆ 15 นาที หลังจากผสมสารซีเมนต์เบนโทไนท์เสร็จ ซึ่งทำการทดลองทั้ง 3 ชั่วโมงต่อ 1 ส่วนผสม ซึ่งได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 3.25 แสดงการยู่ตัวเทียบกับเวลา



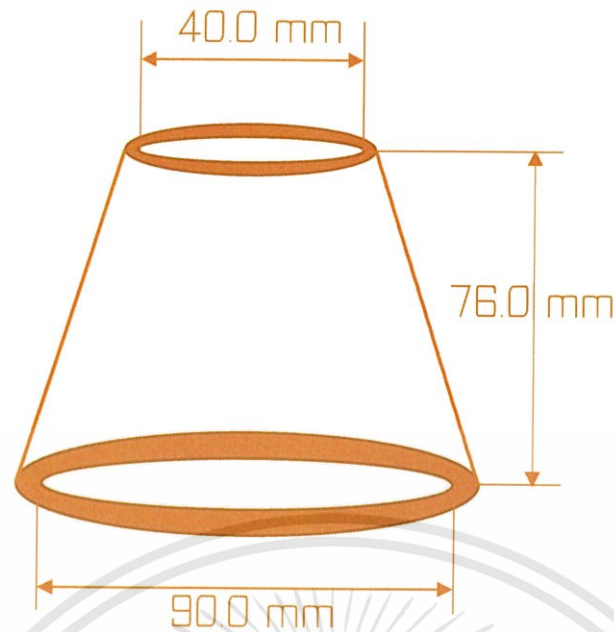
รูปที่ 3.25 รูปแสดงการยู่ตัวของซีเมนต์เบนโทไนท์ที่เวลา 1 ชั่วโมง 2 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง

จากการศึกษาพบว่าสามารถใช้กรวยโลหะเป็นเครื่องมือทดสอบเวลาเซตตัวของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ได้และเนื่องจากจำนวนของอุปกรณ์ทดสอบไม่เพียงพอต่อความต้องการงานทางคณะผู้จัดทำจึงพัฒนาแบบหล่อกรวยทดสอบขึ้นมาเองโดยใช้เรซินหล่อขึ้นรูปดังแสดงในรูปที่ 3.26 ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางบนเท่ากับ 40.0 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางล่างเท่ากับ 90.0 มิลลิเมตร ความสูง 76.0 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.27 และในการทดสอบคณะผู้จัดทำทดสอบบนแผ่นกระจกและทำการป้องกันการสูญเสียน้ำโดยใช้ดินน้ำมันอุดรอยต่อระหว่างกรวยทดสอบและกระจกส่วนด้านบนปิดด้วยแผ่นพลาสติกผิวเรียบและใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ในการวัดระยะเวลายู่ตัว



รูปที่ 3.26 กรวยทดสอบเวลาเซตตัวของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ที่พัฒนาขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของคณะผู้จัดทำเพื่อใช้ในการเรียนการสอนและเผยแพร่ข้อมูลวิชาการเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.27 ขนาดของกรวยทดสอบเวลาเซตตัวของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ที่พัฒนาขึ้นมา

- ขั้นตอนการทดสอบหาเวลาการเซตตัวของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ที่ใช้การเปรียบเทียบค่าการยุบตัวกับเวลา

- อุปกรณ์

- (1) กรวยทดสอบหาค่าระยะการยุบตัวกับเวลา
- (2) นาฬิกาจับเวลา
- (3) เวอร์เนียคาลิเปอร์
- (4) แท่งเหล็ก (วัดขนาดและจดบันทึกไว้)
- (5) ดินน้ำมัน
- (6) แผ่นพลาสติก

- วิธีการทดสอบ

- (1) เตรียมกรวยทดสอบโดยการติดดินน้ำมันรอบกรวยเพื่อป้องกันไม่ให้สารไหลออกทางด้านล่าง
- (2) เมื่อผสมซีเมนต์เบนโทไนท์เสร็จแล้ว นำมาเทลงในกรวยทั้งหมด 10 กรวย และปิดด้วยแผ่นพลาสติก
- (3) เริ่มจับเวลาทันทีเมื่อเทซีเมนต์เบนโทไนท์ลงในกรวยเสร็จแล้ว
- (4) ทำการยกกรวยทุกๆ 15 นาที
- (5) วัดค่าการยุบตัวโดยนำแท่งเหล็กมาวางพาดด้านบนกรวยแล้วใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์วัดค่าการยุบตัว
- (6) วัดความสูงของกรวยที่มีแท่งเหล็กวางพาดอยู่ด้านบน
- (7) บันทึกผล
- (8) ทำการยกทุกๆ 15 นาที จนครบทั้ง 10 กรวย
- (9) นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าเวลาการเซตตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

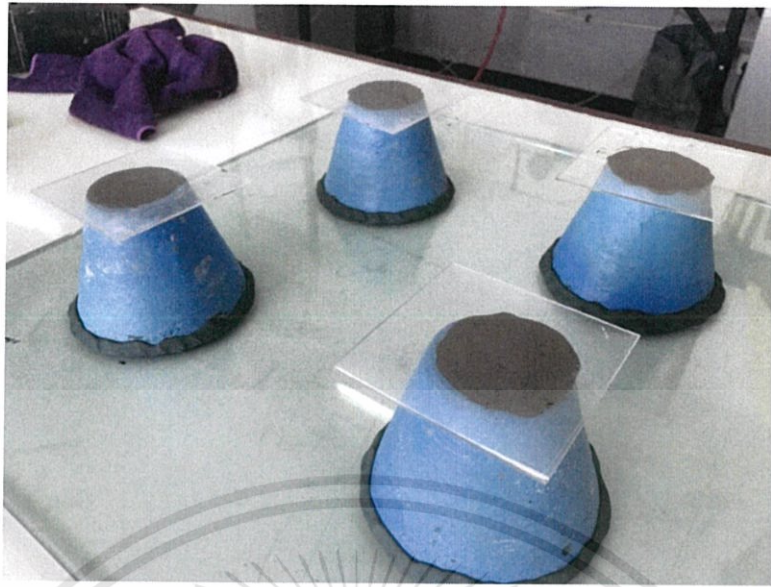


รูปที่ 3.29 การเตรียมกรวยทดสอบ



รูปที่ 3.30 เทสารซีเมนต์เบนโทไนท์ลงในกรวย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

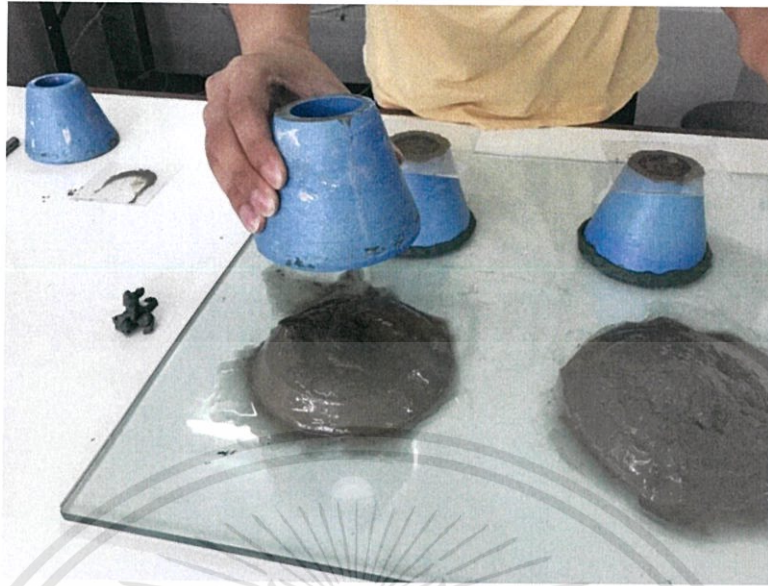


รูปที่ 3.31 ปิดแผ่นพลาสติกเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ

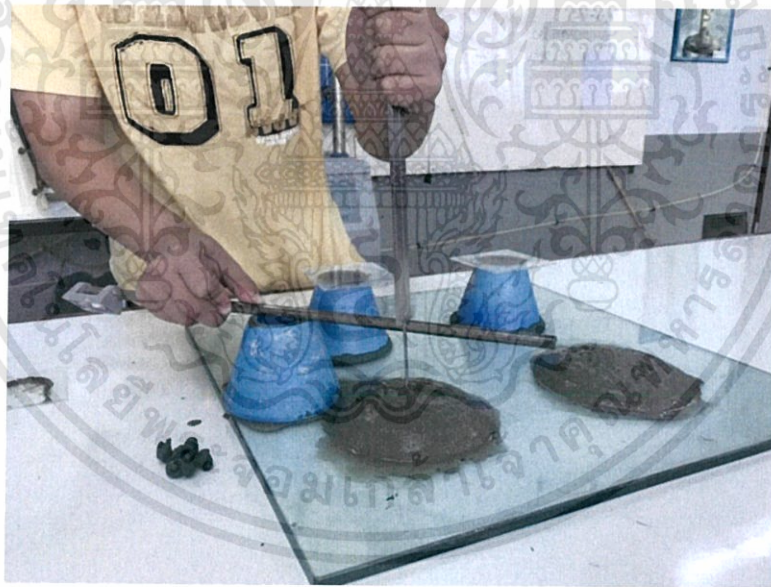


รูปที่ 3.32 แกะดินน้ำมันเพื่อยกกรวยทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

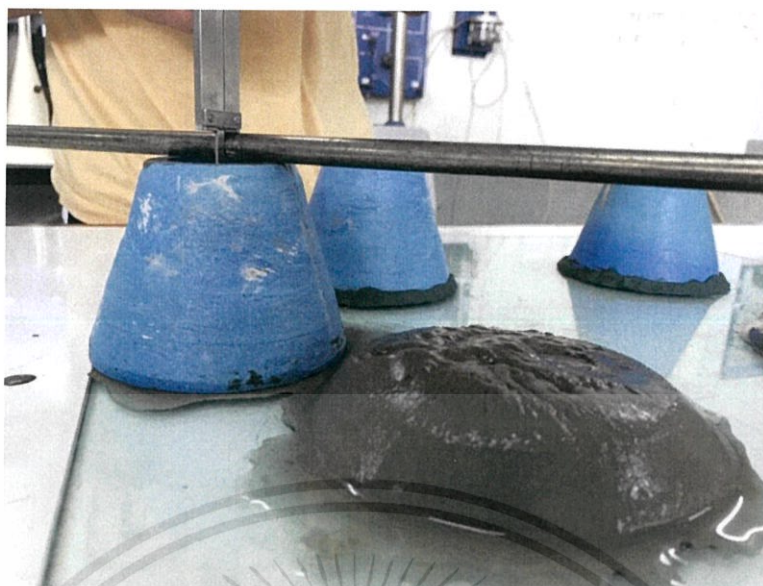


รูปที่ 3.33 ยกกรวยทดสอบเพื่อดูระยะยุบตัว



รูปที่ 3.34 วัดระยะยุบตัวของสารซีเมนต์เบนโทไนท์โดยใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ และแท่งเหล็กกลมตรงเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.0 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.35 การวัดความสูงกรวยทดสอบพร้อมทั้งแท่งเหล็ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.4 ศึกษาด้านคุณสมบัติของกำลังรับแรงเฉือน (Shear strength)

[7] การหาลำรับแรงเฉือนของดินโดยวิธี Unconfined Compression Test : ASTM D2166 เป็นการเฉือนตัวอย่างดินโดยไม่มีแรงดันกระทำด้านข้างต่อผิวมวลดินตัวอย่าง (Confining Pressure) ทำให้สภาพของดินตัวอย่างที่ทดสอบไม่เหมือนกับสภาพดินในสภาพธรรมชาติ ผลการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินด้วยวิธีนี้จึงเป็นค่าประมาณเท่านั้น แต่วิธีทดสอบ Unconfined Compression Test สามารถปฏิบัติได้รวดเร็วและประหยัดจึงเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย หากเราต้องการตัวอย่างดินให้มีสภาพแวดล้อมเดียวกับธรรมชาติจะต้องทดสอบด้วยวิธี Triaxial Test ซึ่งคณะผู้จัดทำเลือกใช้วิธี Unconfined Compression Test ในการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของซีเมนต์เบนโทไนท์ เพื่อหาค่ากำลังรับแรงเฉือนโดยประมาณ สามารถนำไปเปรียบเทียบกับกำลังรับแรงเฉือนของดินเดิมได้

#### 3.2.4.1 การทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test)

อ้างอิง : ASTM D2166

##### ➤ อุปกรณ์

- (1) เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (Vernier Caliper)
- (2) Proving Ring
- (3) Dial gauge
- (4) เครื่องทดสอบแรงอัด 3 แกน (Triaxial Test)
- (5) ท่อ PVC เก็บตัวอย่าง

##### ➤ วิธีการทดสอบ

- (1) ถอดแบบหล่อออกจากตัวอย่างทดลองอย่างช้าๆเพื่อไม่ให้ตัวอย่างทดลองถูกกระทบกระเทือนมากเกินไป
- (2) หาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างทดลองโดยทำการวัดค่า 3 ครั้งแล้วทำการเฉลี่ย และหาขนาดความสูงของตัวอย่างทดลองโดยใช้เวอร์เนียคาลิปเปอร์
- (3) ติดตั้ง Dial gauge กับ Proving ring ที่เครื่องทดสอบแรงอัด 3 แกน (Triaxial Test)
- (4) นำตัวอย่างทดลองวางบนแท่นวางวัสดุทดสอบของเครื่องทดสอบ นำหัวCapeมาวางบนตัวอย่างทดสอบเพื่อให้แรงกระจายบนทั่วพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างทดลอง จากนั้นเปิดเครื่องให้Proving ring แนบสนิทกับหัวCapeจนค่าProving ring ชยับเล็กน้อย จากนั้นก็ปรับค่าเป็นศูนย์ของ Proving ring กับ Dial gauge
- (5) ตั้งค่าความเร็วของเครื่องเป็น 0.5 มิลลิเมตรต่อนาที และทำการจดบันทึกที่ Proving ring เมื่อค่าของ Dial gauge ผ่านไป 10 Division ทำการจดบันทึกไปเรื่อยๆจนกว่าตัวอย่างทดลองจะเสียรูป
- (6) นำผลที่ได้ไปคำนวณเพื่อหาค่า Shear Strength ตัวอย่างทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2.4.4 การคำนวณผล

(1) พื้นที่หน้าตัดก่อนการทดสอบ

$$A_0 = \frac{A_1 + 2A_m + A_b}{4} \quad , cm^2$$

เมื่อ  $A_0$  = พื้นที่หน้าตัดตัวอย่างเริ่มต้น(เฉลี่ย) ,  $cm^2$  $A_1$  = พื้นที่หน้าตัดด้านบนของตัวอย่างดิน ,  $cm^2$  $A_m$  = พื้นที่หน้าตัดตรงกลางของตัวอย่างดิน ,  $cm^2$  $A_b$  = พื้นที่หน้าตัดด้านล่างของตัวอย่างดิน ,  $cm^2$ 

(2) ความเครียดตามแนวแกน (Axial Strain)

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{H} \times 100 \quad ,\%$$

เมื่อ  $\Delta H$  = ค่ายุบตัวของตัวอย่างดินตามแนวแกนจาก dial gauge , mm $H$  = ความสูงตัวอย่างดินก่อนการทดสอบ , mm $\varepsilon$  = ความเครียดตามแนวแกน

(3) ปรับแก้พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างระหว่างการทดสอบ

$$A = \frac{A_0}{1 - \varepsilon}$$

 $\varepsilon$  = ความเครียดตามแนวแกน , เปอร์เซ็นต์ / 100

(4) หน่วยแรงกดบนตัวอย่างดิน (Axial Stress)

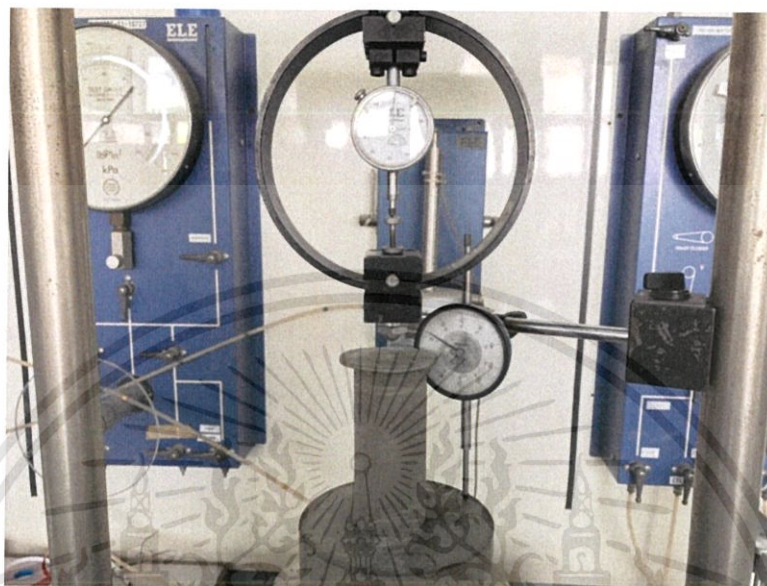
$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{R \cdot K}{A} \quad , kg/cm^2$$

$$= \frac{R \cdot K}{A} \times 98.07 \quad , kN/m^2$$

เมื่อ  $P$  = แรงกด =  $R \cdot K$  $R$  = ค่าอ่านบน dial gauge ของ Proving Ring , ชีด $K$  = ค่าคงที่ของ Proving Ring , lb ต่อชีด หรือ kg ต่อชีด

(5) ค่าแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength,  $S_u$ ) หรือค่า Cohesion,  $C$

$$S_u = \frac{1}{2} q_u = c$$



รูปที่ 3.36 การทดสอบ Unconfined Compressive Strength



รูปที่ 3.37 การเก็บตัวอย่างเพื่อทดสอบ Unconfined Compressive Strength

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.5 การเลือกใช้วิธีการทดสอบคุณสมบัติของสารซีเมนต์เบนโทไนท์

จากการศึกษาและพัฒนาวิธีการหาคุณสมบัติของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ที่ทำการศึกษแบ่งออกเป็น 4 คุณสมบัติ ได้แก่ ความหนืด ความหนาแน่น เวลาเซตตัว และกำลังรับแรงอัด คณะผู้จัดทำวิธีการทดสอบคุณสมบัติของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ดังนี้

- (1) ความหนืด ใช้ Marsh funnel viscometer
- (2) ความหนาแน่น ใช้ สมการ  $d = m/V$
- (3) เวลาเซตตัวใช้กรวยทดสอบหาค่าระยะการยุบตัวเทียบเวลาซึ่งเป็นวิธีการที่พัฒนาขึ้นมาเอง
- (4) กำลังรับแรงอัดใช้ Unconfined Compression Test

### 3.3. การผสมซีเมนต์เบนโทไนท์และขั้นตอนทดสอบคุณสมบัติ

ส่วนผสมของสารซีเมนต์เบนโทไนท์นั้นมี 3 ชนิด ได้แก่ ซีเมนต์ เบนโทไนท์และน้ำ ซึ่งทำการทดลองโดยการกำหนดอัตราส่วนของ ซีเมนต์ : เบนโทไนท์ : น้ำ ซึ่งทางคณะผู้จัดทำทำการกำหนดอัตราส่วนเริ่มแรกจากข้อมูลของบริษัท อิโรเซ่ จำกัด แล้วเปลี่ยนอัตราส่วนไปเรื่อยๆโดยใช้วิธีลองผิดลองถูกและดูแนวโน้มของคุณสมบัติที่ได้

#### 3.1 ขั้นตอนการทดลอง

- (1) กำหนดอัตราส่วนของ ซีเมนต์ เบนโทไนท์และน้ำ
- (2) ตวงเบนโทไนท์และน้ำตามอัตราส่วนที่กำหนดเข้าด้วยกัน จากนั้นหมักไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- (3) เทส่วนผสมลงในถังแล้วใช้สว่านปั่นให้เข้ากัน จากนั้นเทส่วนผสมลงในถาดและหมักไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- (4) หลังจากหมักเบนโทไนท์เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้ว นำมาเทใส่ถังและปั่นด้วยสว่าน
- (5) ทดสอบความหนืดของเบนโทไนท์ก่อนที่จะผสมกับซีเมนต์
- (6) ตวงซีเมนต์ตามอัตราส่วนที่กำหนด
- (7) นำซีเมนต์มาเทลงในถัง และใช้สว่านมาปั่นให้ส่วนผสมทั้งหมดเข้ากันดี เป็นเวลา 10 นาที
- (8) ทดสอบความหนืดของซีเมนต์เบนโทไนท์ที่ผสมกันดีแล้ว
- (9) นำซีเมนต์เบนโทไนท์เทใส่กระบอกลงเพื่อหาค่าความหนาแน่นก่อนเซตตัว
- (10) เตรียมกรวยสำหรับการทดสอบหาเวลาการเซตตัว (สามารถเตรียมไว้ก่อนที่จะผสมได้)
- (11) นำซีเมนต์เบนโทไนท์เทใส่ในกรวยให้เต็ม จำนวน 10 กรวย และปิดด้านบนด้วยแผ่นพลาสติก
- (12) เริ่มจับเวลาทันทีที่เทเสร็จ
- (13) เทซีเมนต์เบนโทไนท์ที่เหลือใส่กระบอกลงเก็บตัวอย่าง 3 กระบอก เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (14) เมื่อครบทุกๆ 15 นาที ให้ทำการวัดค่าการยุบตัวของซีเมนต์เบนโทไนท์จนครบทั้ง 10 กรวย และบันทึกผล
- (15) เมื่อครบ 24 ชั่วโมง แกะตัวอย่างออกจากกระบอกเก็บ แล้วนำมาหาค่าความหนาแน่นหลังการเซ็ตตัว
- (16) แกะตัวอย่างออกจากอีก 2 กระบอกที่เหลือ แล้ววัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของตัวอย่าง อย่างละ 3 ค่า แล้วนำมาเฉลี่ย
- (17) นำตัวอย่างมาทดสอบหาค่ากำลังรับแรงเฉือน และบันทึกผล
- (18) ทำข้อ (1) – (17) ซ้ำ โดยเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่าง ซีเมนต์ เบนโทไนท์และน้ำ
- (19) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

# ผลการศึกษา

### 4.1 บทนำ

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาส่วนผสมและคุณสมบัติของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ สำหรับงานถนนซีทไฟล์โดยพัฒนาวิธีการทดลองที่เหมาะสมขึ้นมาเอง ทำการทดลองโดยการกำหนด อัตราส่วนระหว่าง ซีเมนต์ เบนโทไนท์และน้ำ แล้วทำการศึกษาคูณสมบัติของสารนี้ ได้แก่ ความหนืด เวลาเซตตัว ความหนาแน่นและความสามารถในการรับแรงเฉือน เพื่อให้ข้อมูลในการเลือกใช้ส่วนผสมที่เหมาะสมต่อไป

### 4.2 ผลการศึกษาการพัฒนาวิธีการทดลองการหาคุณสมบัติของสารซีเมนต์เบนโทไนท์

#### 4.2.1 การทดลองหาความหนืดของสารซีเมนต์เบนโทไนท์

การหาความหนืดของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ทำการทดสอบโดยใช้อุปกรณ์ทดสอบ marsh funnel viscometer ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาความหนืดของสารละลายเบนโทไนท์ที่ใช้ในงานเจาะเสาเข็มผลการทดลองที่ได้จะเป็นเวลาที่สารซีเมนต์เบนโทไนท์ไหลผ่านกรวยทดสอบเป็น ปริมาตร 1 คิวตซ์ ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีหน่วยเป็นวินาที

#### 4.2.2 การทดลองหาความหนาแน่นของสารซีเมนต์เบนโทไนท์

การหาความหนาแน่นของสารซีเมนต์เบนโทไนท์จะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลองคือการทดลองหาความหนาแน่นของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ที่ยังไม่เซตตัว และการหาความหนาแน่นของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ที่มีการเซตตัวแล้ว ซึ่งการหาความหนาแน่นของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ที่ยังไม่เซตตัวทำการทดลองโดยการใช้สมการความหนาแน่นเท่ากับน้ำหนักของตัวอย่างหารด้วย ปริมาตรของตัวอย่างซึ่งใช้กระบอกตวงขนาด 500 มิลลิลิตรในการหาปริมาตร และการทดลองหาความหนาแน่นของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ที่เซตตัวแล้ว หาน้ำหนักโดยการชั่งตัวอย่างโดยตรงและใช้การแทนที่น้ำในการหาปริมาตร

#### 4.2.3 การทดลองหาเวลาเซตตัวของสารซีเมนต์เบนโทไนท์

การหาเวลาเซตตัวของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ทำการทดลองโดยใช้การประยุกต์จากการทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต (Slump Test) ซึ่งพัฒนาอุปกรณ์ทดสอบขึ้นมาเองโดยใช้กรวยทดสอบที่พัฒนาขึ้นมาเป็นแบบหล่อตัวอย่างให้ขึ้นรูปและยกกรวยทดสอบตามเวลาที่กำหนดเพื่อหาค่าการยุบตัวของสารซีเมนต์เบนโทไนท์และทำการวิเคราะห์หาเวลาเซตตัวโดยการเปลี่ยนแปลงของกราฟเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเทียบกับเวลา

#### 4.2.4 การทดลองหาความสามารถในการรับแรงเฉือนของสารซีเมนต์เบนโทไนท์

การทดสอบการหาหากล้างรับแรงเฉือนของสารซีเมนต์เบนโทไนท์โดยวิธี Unconfined Compression Test

### 4.3 ผลการทดลองการหาคูณสมบัติของสารซีเมนต์เบนโทไนท์สำหรับงานถนนซีทีโพล์

#### 4.3.1 ผลการทดลองหาความหนืดของสารซีเมนต์เบนโทไนท์

การทดลองหาความหนืดทำโดยใช้อุปกรณ์ทดสอบ Marsh funnel viscometer ในการทดสอบได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลความหนืดของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ที่ส่วนผสมต่างๆ

ส่วนผสม (กรัม)			อัตราส่วน ซีเมนต์ : เบนโทไนท์ : น้ำ	ความหนืด (วินาที)
ซีเมนต์	เบนโทไนท์	น้ำ		
0	100	4000	0 : 1 : 40	28
0	200	4000	0 : 1 : 20	32
25	100	4000	0.25 : 1 : 40	42.05
50	100	4000	0.5 : 1 : 40	41.66
100	100	4000	1 : 1 : 40	38.40
150	100	4000	1.5 : 1 : 40	30.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

200	100	4000	2 : 1 : 40	30.24
250	100	4000	2.5 : 1 : 40	30.74
400	100	4000	4 : 1 : 40	30.72
500	100	4000	5 : 1 : 40	29.96
800	100	4000	8 : 1 : 40	30.95
1000	100	4000	10 : 1 : 40	31.42
1250	100	4000	12.5 : 1 : 40	31.57
1500	100	4000	15 : 1 : 40	33.90
1750	100	4000	17.5 : 1 : 40	30.95
2000	100	4000	20 : 1 : 40	32.91
2500	100	4000	25 : 1 : 40	33.17
3000	100	4000	30 : 1 : 40	34.20
3500	100	4000	35 : 1 : 40	37.06
4000	100	4000	40 : 1 : 40	37.88
50	200	4000	0.25 : 1 : 20	44.38
100	200	4000	0.5 : 1 : 20	44.92
150	200	4000	0.75 : 1 : 20	38.51
200	200	4000	1 : 1 : 20	41.09
300	200	4000	1.5 : 1 : 20	39.86
400	200	4000	2 : 1 : 20	38.40
500	200	4000	2.5 : 1 : 20	41.05
1000	200	4000	5 : 1 : 20	43.05
1500	200	4000	7.5 : 1 : 20	39.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2000	200	4000	10 : 1 : 20	41.36
2500	200	4000	12.5 : 1 : 20	67.41
3000	200	4000	15 : 1 : 20	99.92
3500	200	4000	17.5 : 1 : 20	ความหนืดสูงกว่าการทดสอบนี้
4000	200	4000	20 : 1 : 20	ความหนืดสูงกว่าการทดสอบนี้

#### 4.3.2 ผลการทดลองการหาความหนาแน่นของสารซีเมนต์เบนโทไนท์

การทดลองการหาความหนาแน่นของสารซีเมนต์เบนโทไนท์แบ่งได้เป็น 2 การทดลองคือการหาความหนาแน่นของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ก่อนเซตตัวและการหาความหนาแน่นของสารซีเมนต์เบนโทไนท์หลังเซตตัวได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าความหนาแน่นของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ที่สัดส่วนต่างๆ

ส่วนผสม (กรัม)			อัตราส่วน ซีเมนต์ : เบนโทไนท์ : น้ำ	ความหนาแน่น ก่อนเซตตัว (g/cm <sup>3</sup> )	ความ หนาแน่น หลังเซตตัว (g/cm <sup>3</sup> )
ซีเมนต์	เบนโทไนท์	น้ำ			
25	100	4000	0.25 : 1 : 40	1.00	ไม่เซตตัว
50	100	4000	0.5 : 1 : 40	1.00	ไม่เซตตัว
100	100	4000	1 : 1 : 40	1.00	ไม่เซตตัว
150	100	4000	1.5 : 1 : 40	1.03	ไม่เซตตัว
200	100	4000	2 : 1 : 40	1.05	ไม่เซตตัว
250	100	4000	2.5 : 1 : 40	1.06	ไม่เซตตัว
400	100	4000	4 : 1 : 40	1.05	1.04
500	100	4000	5 : 1 : 40	1.08	1.05
800	100	4000	8 : 1 : 40	1.10	1.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1000	100	4000	10 : 1 : 40	1.13	115
1250	100	4000	12.5 : 1 : 40	1.17	1.08
1500	100	4000	15 : 1 : 40	1.20	1.14
1750	100	4000	17.5 : 1 : 40	1.20	1.10
2000	100	4000	20 : 1 : 40	1.25	1.24
2500	100	4000	25 : 1 : 40	1.31	1.25
3000	100	4000	30 : 1 : 40	1.35	1.33
3500	100	4000	35 : 1 : 40	1.41	1.33
4000	100	4000	40 : 1 : 40	1.47	1.44
50	200	4000	0.25 : 1 : 20	1.02	ไม่เซ็ดตัว
100	200	4000	0.5 : 1 : 20	1.02	1.08
150	200	4000	0.75 : 1 : 20	1.02	1.05
200	200	4000	1 : 1 : 20	1.05	1.05
300	200	4000	1.5 : 1 : 20	1.05	1.07
400	200	4000	2 : 1 : 20	1.06	1.08
500	200	4000	2.5 : 1 : 20	1.09	1.11
1000	200	4000	5 : 1 : 20	1.16	1.18
1500	200	4000	7.5 : 1 : 20	1.22	1.24
2000	200	4000	10 : 1 : 20	1.28	1.32
2500	200	4000	12.5 : 1 : 20	1.34	1.36
3000	200	4000	15 : 1 : 20	1.38	1.41
3500	200	4000	17.5 : 1 : 20	1.44	1.46
4000	200	4000	20 : 1 : 20	1.51	1.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.3 ผลการทดลองการหาเวลาเซตตัวของสารซีเมนต์เบนโทไนท์

#### 4.3.3.1 ตัวอย่างการวิเคราะห์เวลาการเซตตัว

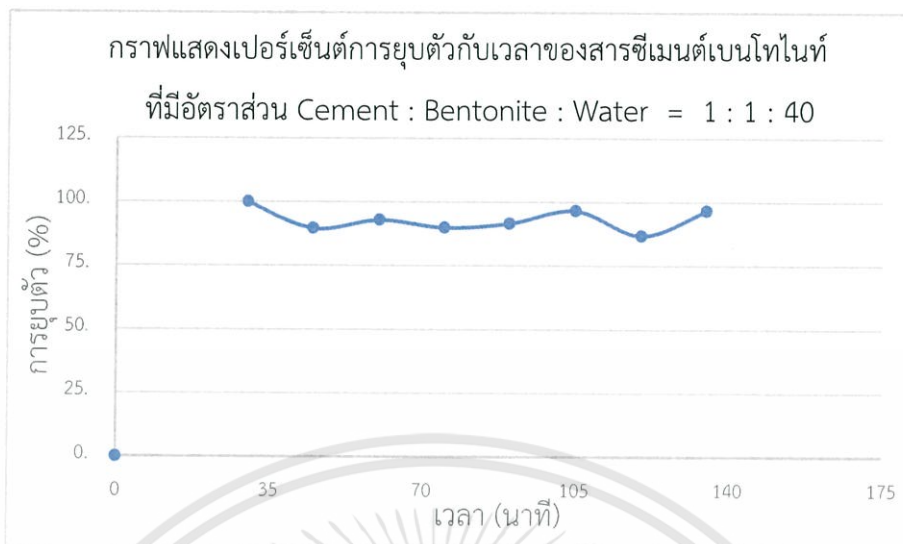
(1) ตัวอย่างการวิเคราะห์ค่าเวลาการเซตตัวของตัวอย่างที่ไม่มีการเซตตัวเกิดขึ้น ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงผลเวลาและเปอร์เซ็นต์การยุบตัวของสารซีเมนต์เบนโทไนท์

อัตราส่วน Cement : Bentonite : Water = 1 : 1 : 40	
เวลา (นาทีก)	การยุบตัว (%)
0	100
15	89.66
30	92.99
45	89.99
60	91.64
75	96.64
90	86.83
105	96.64
120	97.60
135	87.53
150	81.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.3 สามารถนำข้อมูลมาเขียนกราฟการยุบตัวเทียบกับเวลาได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การยุบตัวของตัวอย่างที่ส่วนผสม ซีเมนต์ต่อเบนโทไนท์ต่อ น้ำเท่ากับ 1 : 1 : 40

จากกราฟจะพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวของตัวอย่างมีค่าการยุบตัวที่มากและมีค่าใกล้เคียงกัน จากการทดสอบหาเวลาการเซ็ดตัวในห้องปฏิบัติการพบว่าตัวอย่างที่ทดสอบยังไม่มีแนวโน้มที่จะเซ็ดตัวจนสิ้นสุดการทดลอง

(2) ตัวอย่างการวิเคราะห์ค่าเวลาการเซ็ดตัวของตัวอย่างที่มีการเซ็ดตัวเกิดขึ้น ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงผลเวลาและเปอร์เซ็นต์การยุบตัวของสารซีเมนต์เบนโทไนท์

อัตราส่วน Cement : Bentonite : Water = 0.5 : 1 : 20	
เวลา (นาที)	การยุบตัว (%)
0	100
15	79.11
30	69.04
45	56.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

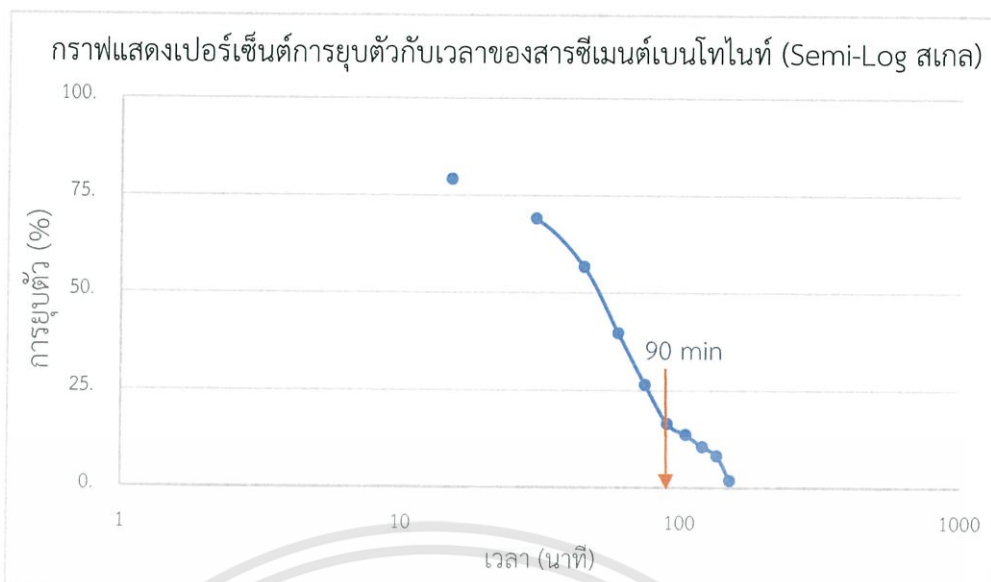
60	39.66
75	26.44
90	16.47
105	13.61
120	10.49
135	8.19
150	1.80

จากตารางที่ 4.4 สามารถนำข้อมูลมาเขียนกราฟเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเทียบกับเวลาได้ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การยุบตัวของตัวอย่างที่ส่วนผสม ซีเมนต์ต่อเบนโทไนท์ต่อน้ำ เท่ากับ 0.5:1:20

จากตาราง นำข้อมูลมาเขียนกราฟเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเทียบกับเวลา โดยกำหนดให้พล็อต เวลาเป็น Semi-Log สเกล ได้ดังรูป 4.3



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การยุบตัวของตัวอย่างที่ส่วนผสมแบบ Semi-log สเกล อัตราส่วนซีเมนต์ต่อเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 0.5:1:20

จากรูปการวิเคราะห์เวลาการเซตตัวของตัวอย่างในส่วนผสมนี้จะสามารถวิเคราะห์ได้จากกราฟเปอร์เซ็นต์การยุบตัวกับเวลาในแกนปกติและกราฟเปอร์เซ็นต์การยุบตัวกับเวลาแบบ semi-log สเกล ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกัน จากกราฟด้านบนจะพบว่าเส้นกราฟเริ่มมีการเปลี่ยนโค้งอย่างชัดเจนในช่วงเวลาที่ 90 นาทีทั้งสองกราฟจึงสรุปค่าเวลาการเซตตัวของตัวอย่างนี้ที่เวลา 90 นาที

(3) ตัวอย่างการวิเคราะห์ค่าเวลาการเซตตัวของตัวอย่างที่มีการเซตตัวเกิดขึ้น ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.5

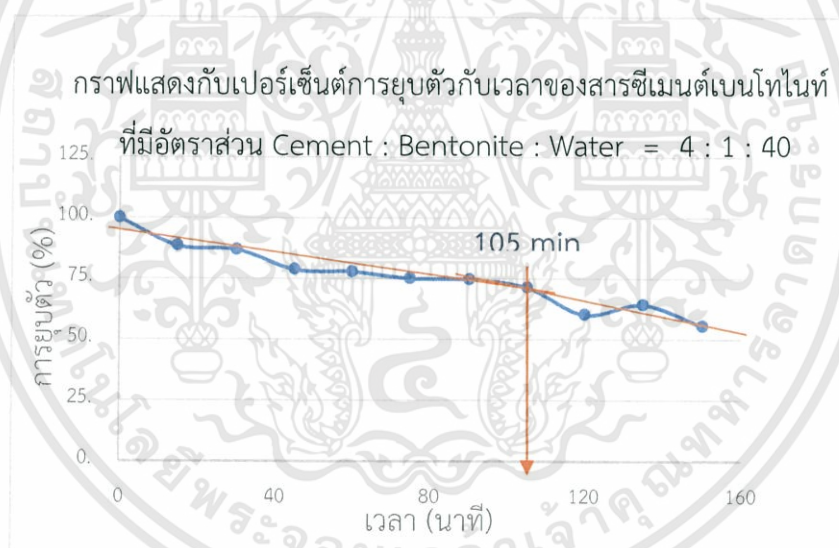
ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงผลเวลาและเปอร์เซ็นต์การยุบตัวของสารซีเมนต์เบนโทไนท์

อัตราส่วน Cement : Bentonite : Water = 4 : 1 : 40	
เวลา (นาที)	การยุบตัว (%)
0	100
15	88.68
30	87.00
45	78.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

60	78.00
75	75.23
90	74.82
105	71.45
120	60.40
135	64.38
150	55.71

จากตารางที่ 4.5 สามารถนำข้อมูลมาเขียนกราฟเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเทียบกับเวลาได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการยุบตัวของตัวอย่างที่ส่วนผสมซีเมนต์ต่อเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 4:1:40

จากตารางนำข้อมูลมาเขียนกราฟเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเทียบกับเวลาโดยกำหนดให้พล็อตเวลาเป็น Semi-Log สเกลได้ดังรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การยุบตัวของตัวอย่างที่ส่วนผสมแบบ Semi-log สเกล อัตราส่วนซีเมนต์ต่อเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 4:1:40

การวิเคราะห์ค่าเวลาการเซตตัวในส่วนผสมนี้เมื่อวิเคราะห์จากกราฟเปอร์เซ็นต์การยุบตัวกับเวลาในแกนปกติพบว่ายังไม่สามารถสรุปค่าเวลาการเซตตัวได้อย่างชัดเจนจึงทำการวิเคราะห์จากกราฟเปอร์เซ็นต์การยุบตัวในแกนแบบ semi-log สเกล พบว่ากราฟมีการเปลี่ยนโค้งที่เวลาเท่ากับ 105 นาที เมื่อกลับไปเปรียบเทียบกับกราฟที่มีแกนปกติก็ให้แนวโน้มเวลาเซตตัวที่ 105 นาทีเช่นกัน ดังนั้นจึงสรุปค่าเวลาการเซตตัวเท่ากับ 105 นาที

#### 4.3.3.2 ผลการวิเคราะห์เวลาการเซตตัว

การวิเคราะห์หาค่าเวลาการเซตตัวของซีเมนต์เบนโทไนท์จะสามารถวิเคราะห์ได้จากกราฟเปอร์เซ็นต์ยุบตัวกับเวลาทั้งในแกนปกติ และแกนแบบ semi-log สเกล ซึ่งต้องทำการวิเคราะห์ไปที่ละตัวอย่างเนื่องจากมีบางตัวอย่างที่ไม่ได้ให้ผลในทางที่สอดคล้องกันบางตัวอย่างดูจากการเปลี่ยนโค้งของเส้นกราฟในแกนปกติ บางตัวอย่างก็วิเคราะห์จากแกนแบบ semi-log สเกล หรือใช้กราฟทั้งแบบในการหาค่าเวลาการเซตตัว

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงผลเวลาเซ็ตตัวของสารซีเมนต์เบนโทไนท์

ส่วนผสม (กรัม)			อัตราส่วน ซีเมนต์ : เบนโทไนท์ : น้ำ	เวลาเซ็ตตัว (นาที)
ซีเมนต์	เบนโทไนท์	น้ำ		
25	100	4000	0.25 : 1 : 40	ไม่เซ็ตตัว
50	100	4000	0.5 : 1 : 40	ไม่เซ็ตตัว
100	100	4000	1 : 1 : 40	ไม่เซ็ตตัว
150	100	4000	1.5 : 1 : 40	ไม่เซ็ตตัว
200	100	4000	2 : 1 : 40	ไม่เซ็ตตัว
250	100	4000	2.5 : 1 : 40	ไม่เซ็ตตัว
400	100	4000	4 : 1 : 40	105
500	100	4000	5 : 1 : 40	105
800	100	4000	8 : 1 : 40	105
1000	100	4000	10 : 1 : 40	90
1250	100	4000	12.5 : 1 : 40	90
1500	100	4000	15 : 1 : 40	75
1750	100	4000	17.5 : 1 : 40	75
2000	100	4000	20 : 1 : 40	75
2500	100	4000	25 : 1 : 40	60
3000	100	4000	30 : 1 : 40	60
3500	100	4000	35 : 1 : 40	60
4000	100	4000	40 : 1 : 40	60
50	200	4000	0.25 : 1 : 20	ไม่เซ็ตตัว
100	200	4000	0.5 : 1 : 20	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

150	200	4000	0.75 : 1 : 20	90
200	200	4000	1 : 1 : 20	90
300	200	4000	1.5 : 1 : 20	90
400	200	4000	2 : 1 : 20	60
500	200	4000	2.5 : 1 : 20	60
1000	200	4000	5 : 1 : 20	60
1500	200	4000	7.5 : 1 : 20	60
2000	200	4000	10 : 1 : 20	60
2500	200	4000	12.5 : 1 : 20	30
3000	200	4000	15 : 1 : 20	30
3500	200	4000	17.5 : 1 : 20	30
4000	200	4000	20 : 1 : 20	30

#### 4.3.4 ผลการทดลองการกำลังรับแรงเฉือนของซีเมนต์เบนโทไนท์

การทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนของซีเมนต์เบนโทไนท์โดยวิธี Unconfined compression test ตามมาตรฐาน ASTM D 2166-00 ตัวอย่างทดลองมีรูปร่างเป็นทรงกระบอกถูกกดด้วยแรงตามแกนในแนวตั้งโดยไม่มีแรงดันด้านข้างได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงผลกำลังต้านทานแรงเฉือนของซีเมนต์เบนโทไนท์ที่ส่วนผสมต่างๆ

ส่วนผสม (กรัม)			อัตราส่วน ซีเมนต์ : เบนโทไนท์ : น้ำ	กำลังต้านทานแรงเฉือน (t/m <sup>2</sup> )
ซีเมนต์	เบนโทไนท์	น้ำ		
25	100	4000	0.25 : 1 : 40	ไม่เซ็ดตัว
50	100	4000	0.5 : 1 : 40	ไม่เซ็ดตัว
100	100	4000	1 : 1 : 40	ไม่เซ็ดตัว
150	100	4000	1.5 : 1 : 40	ไม่เซ็ดตัว
200	100	4000	2 : 1 : 40	ไม่เซ็ดตัว
250	100	4000	2.5 : 1 : 40	ไม่เซ็ดตัว
400	100	4000	4 : 1 : 40	0.13
500	100	4000	5 : 1 : 40	0.08
800	100	4000	8 : 1 : 40	0.45
1000	100	4000	10 : 1 : 40	0.66
1250	100	4000	12.5 : 1 : 40	2.75
1500	100	4000	15 : 1 : 40	3.63
1750	100	4000	17.5 : 1 : 40	7.92
2000	100	4000	20 : 1 : 40	12.79
2500	100	4000	25 : 1 : 40	25.67
3000	100	4000	30 : 1 : 40	33.25
3500	100	4000	35 : 1 : 40	36.29
4000	100	4000	40 : 1 : 40	39.56
50	200	4000	0.25 : 1 : 20	ไม่เซ็ดตัว
100	200	4000	0.5 : 1 : 20	ไม่เซ็ดตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

150	200	4000	0.75 : 1 : 20	ไม่เซ็ตตัว
200	200	4000	1 : 1 : 20	ไม่เซ็ตตัว
300	200	4000	1.5 : 1 : 20	0.06
400	200	4000	2 : 1 : 20	0.09
500	200	4000	2.5 : 1 : 20	0.19
1000	200	4000	5 : 1 : 20	2.53
1500	200	4000	7.5 : 1 : 20	2.21
2000	200	4000	10 : 1 : 20	6.65
2500	200	4000	12.5 : 1 : 20	11.12
3000	200	4000	15 : 1 : 20	10.91
3500	200	4000	17.5 : 1 : 20	28.81
4000	200	4000	20 : 1 : 20	69.73

#### 4.4 ส่วนผสมที่กำหนดอัตราส่วนเบนโทไนท์ต่อน้ำโดยกำหนดให้เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์

กำหนดอัตราส่วนเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:20 และ 1:40 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์เพื่อหาแนวโน้มของคุณสมบัติต่างๆในอัตราส่วนซีเมนต์ที่ไม่เท่ากัน

##### 4.4.1 ส่วนผสมที่กำหนดอัตราส่วนเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:20 โดยกำหนดให้เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์

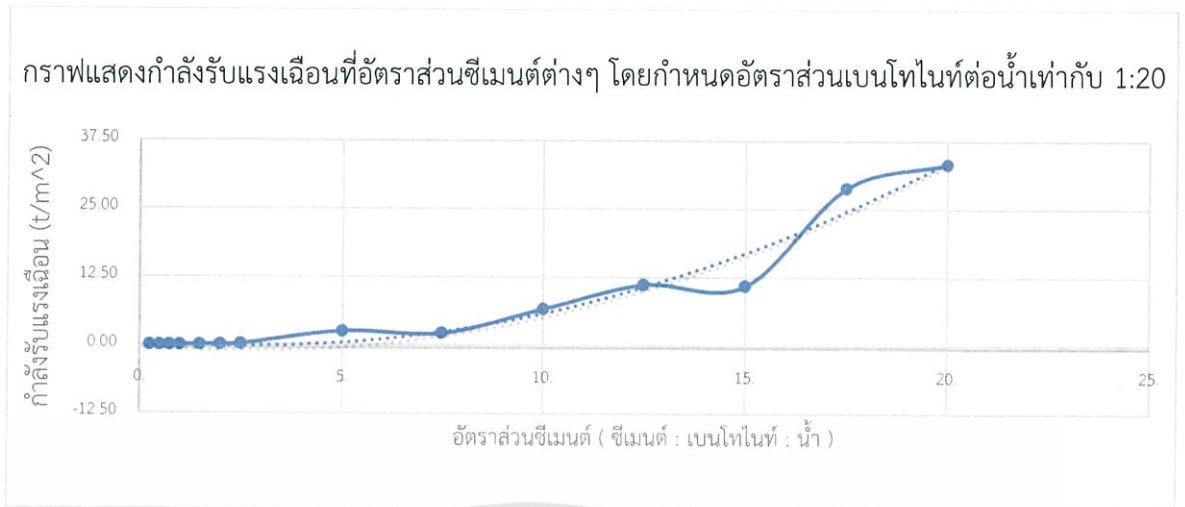
กำหนดอัตราส่วนเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:20 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงผลการทดลองหาคุณสมบัติของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ที่ส่วนผสมที่มีการกำหนดอัตราส่วนเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1 : 20 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์

ส่วนผสม ซีเมนต์ : 1 เบนโทไนท์ : 20 น้ำ	ความหนาแน่น ก่อนเซตตัว (g/cm <sup>3</sup> )	ความหนาแน่น หลังเซตตัว (g/cm <sup>3</sup> )	เวลาเซตตัว (min)	ความหนืด (s)	Shear Strength (t/m <sup>2</sup> )
0.25	1.02	0	0	44.38	0
0.5	1.02	1.08	90	44.92	0
0.75	1.02	1.05	90	38.51	0
1	1.05	1.05	90	41.09	0
1.5	1.05	1.07	90	39.86	0.06
2	1.06	1.08	60	38.40	0.09
2.5	1.09	1.11	60	41.05	0.19
5	1.16	1.18	60	43.05	2.53
7.5	1.22	1.24	60	39.62	2.21
10	1.28	1.32	60	41.36	6.65
12.5	1.34	1.36	30	67.41	11.12
15	1.38	1.41	30	99.92	10.91
17.5	1.44	1.46	30	-	28.81
20	1.51	1.54	30	-	33.24

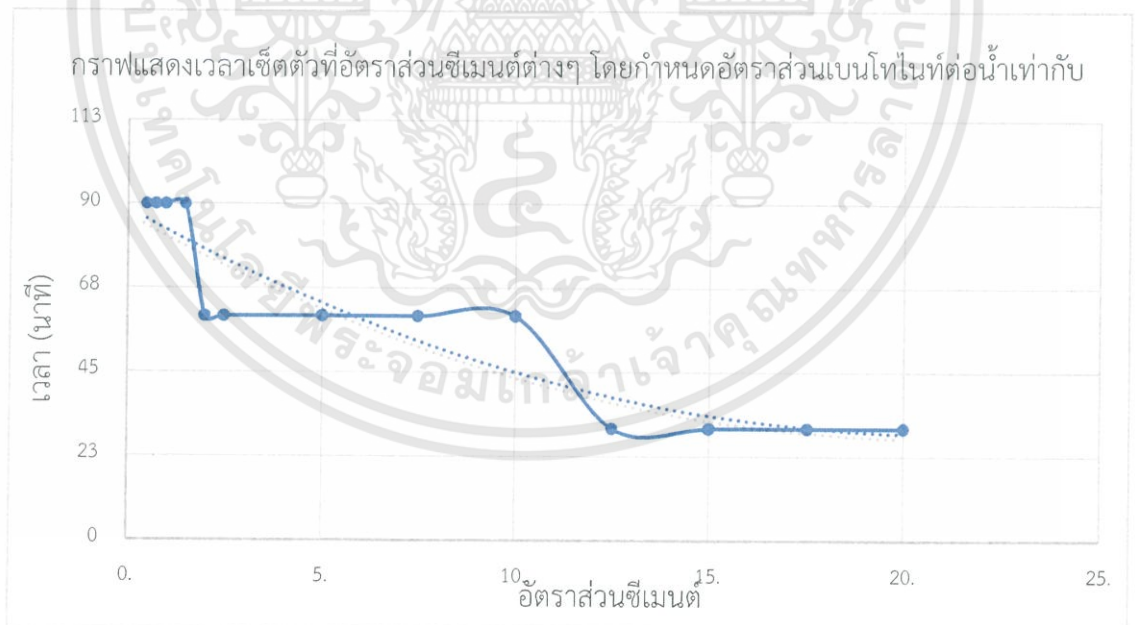
จากตารางที่ 4.8 สามารถนำข้อมูลมาเขียนกราฟเพื่อดูแนวโน้มของคุณสมบัติได้แก่ ความหนืด ความหนาแน่น เวลาเซตตัวและกำลังรับแรงเฉือนของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ที่เปลี่ยนไปเมื่อทำการเปลี่ยนอัตราส่วนซีเมนต์ โดยกำหนดอัตราส่วนเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1: 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงกำลังต้านทานแรงเฉือนของซีเมนต์เบนโทไนท์ที่การกำหนดค่าเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:20 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์

เมื่อกำหนดอัตราส่วนเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:20 โดยกำหนดให้เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์จากรูปที่ 4.6 พบว่าเมื่ออัตราส่วนซีเมนต์มากขึ้นส่งผลให้กำลังต้านทานแรงเฉือนมีค่าเพิ่มขึ้น และที่อัตราส่วนซีเมนต์ต่ำกว่า 1 จะไม่สามารถหาค่ากำลังรับแรงเฉือนได้ เนื่องจากสารซีเมนต์เบนโทไนท์ไม่แข็งตัว



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงเวลาเซตตัวของซีเมนต์เบนโทไนท์ที่การกำหนดค่าเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:20 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์

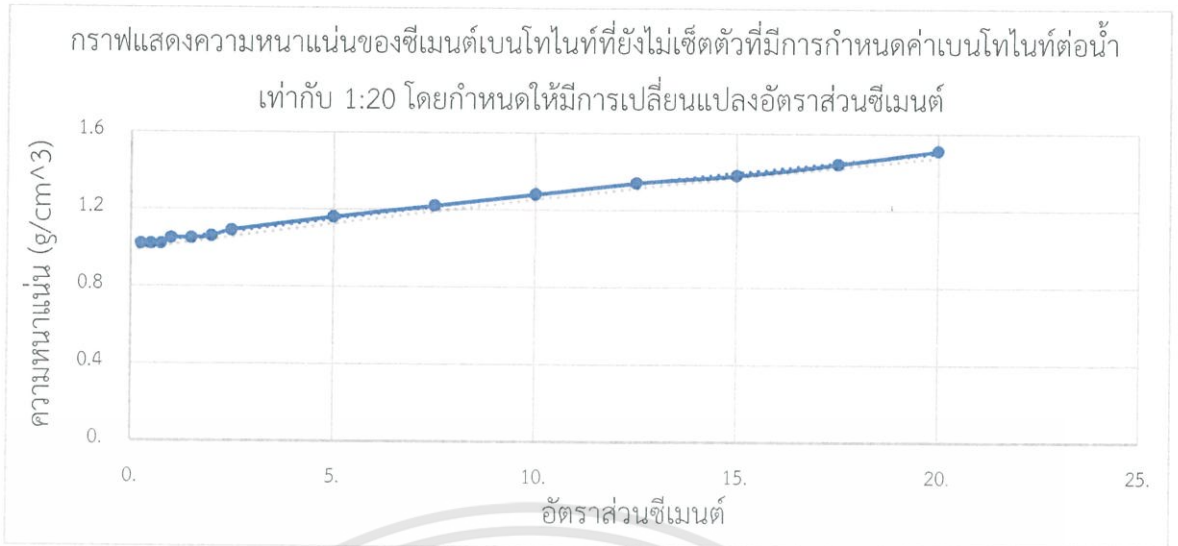
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.7 เวลาเซตตัวของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ที่มีการกำหนดอัตราส่วนเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:20 แล้วเปลี่ยนอัตราส่วนซีเมนต์สามารถแบ่งได้ 3 ช่วงเวลา ได้แก่ 90, 60 และ 30 นาที และเมื่ออัตราส่วนซีเมนต์เพิ่มขึ้นเวลาเซตตัวจะเร็วขึ้น



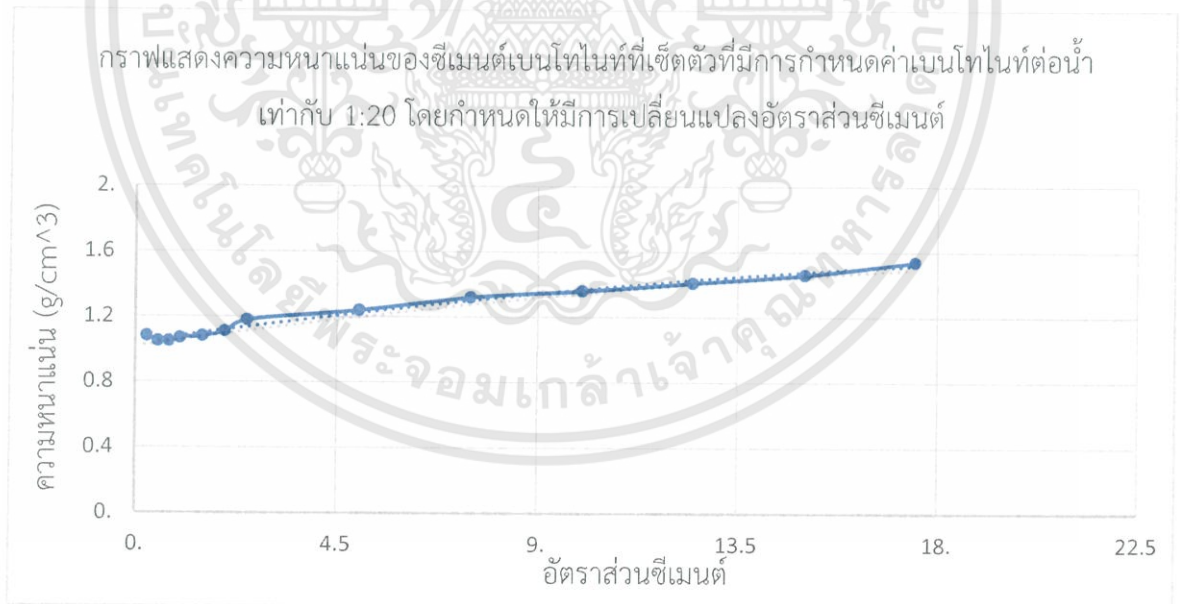
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความหนืดของซีเมนต์เบนโทไนท์ที่การกำหนดค่าเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:20 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์

จากรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซีเมนต์มากขึ้นจะทำให้ความหนืดมีค่ามากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.8 และพบว่าที่ส่วนผสมซีเมนต์ต่อเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 17.5 : 1 : 20 และ 20 : 1 : 20 ความหนืดของซีเมนต์เบนโทไนท์มีค่ามากกว่าที่เครื่องมือ marsh funnel viscometer จะสามารถวัดได้



รูปที่ 4.9 แสดงความหนาแน่นในขณะที่สารซีเมนต์เบนโทไนท์ที่ยังไม่เซ็ดตัว ที่กำหนดค่าเบนโทไนท์ต่อ น้ำเท่ากับ 1:20 โดยมีการกำหนดให้เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์ซีเมนต์

จากรูป 4.9 เมื่อปริมาณซีเมนต์เพิ่มขึ้นความหนาแน่นของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ก็จะเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.10 แสดงความหนาแน่นในขณะที่สารซีเมนต์เบนโทไนท์เซ็ดตัวแล้ว ที่กำหนดค่าเบนโทไนท์ต่อ น้ำเท่ากับ 1:20 โดยมีการกำหนดให้เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์ซีเมนต์

จากรูป 4.10 เมื่อปริมาณซีเมนต์เพิ่มขึ้นความหนาแน่นของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ก็จะเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4.2 ส่วนผสมที่กำหนดอัตราส่วนเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:40 โดยกำหนดให้เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์

กำหนดอัตราส่วนเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:40 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.9

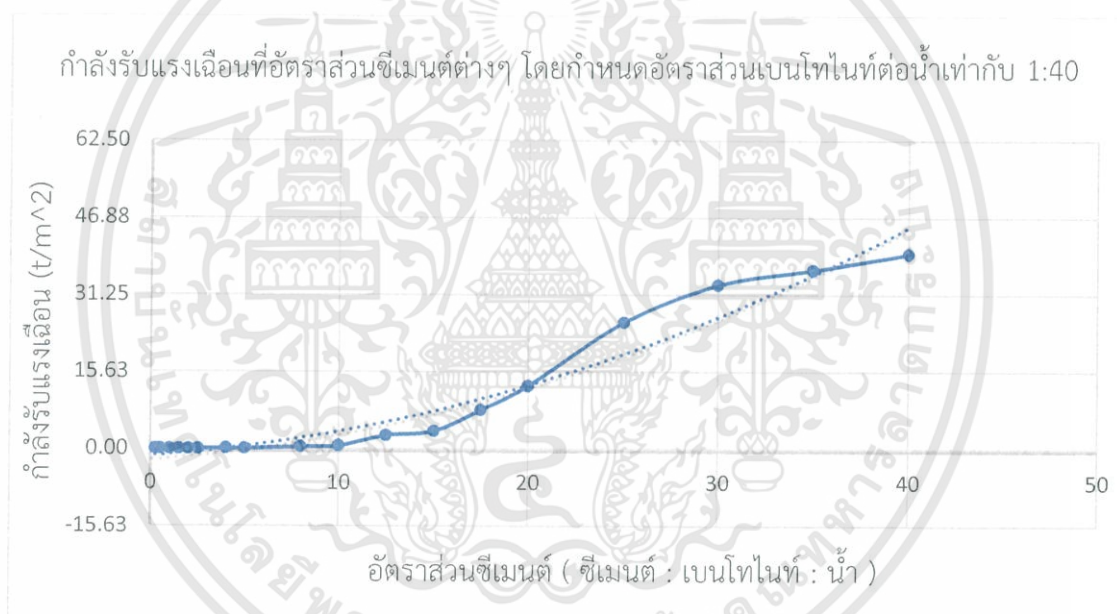
ตาราง 4.9 ตารางแสดงผลการทดลองหาคุณสมบัติของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ที่ส่วนผสมที่มีการกำหนดอัตราส่วนเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1 : 40 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์

ส่วนผสม ซีเมนต์ : 1 เบนโทไนท์ : 40 น้ำ	ความหนาแน่น ก่อนเซตตัว (g/cm <sup>3</sup> )	ความหนาแน่น หลังเซตตัว (g/cm <sup>3</sup> )	เวลาเซตตัว (min)	ความหนืด (s)	Shear Strength (t/m <sup>2</sup> )
0.25	1.00	-	-	42.05	0
0.5	1.00	-	-	41.66	0
1	1.00	-	-	38.40	0
1.5	1.03	-	-	30.15	0
2	1.05	-	-	30.24	0
2.5	1.06	-	-	30.74	0
4	1.05	1.04	105	30.72	0.13
5	1.08	1.05	105	29.96	0.08
8	1.10	1.06	105	30.95	0.45
10	1.13	1.15	90	31.42	0.66
12.5	1.17	1.08	90	31.57	2.75
15	1.20	1.14	75	33.90	3.63
17.5	1.20	1.10	75	30.95	7.92
20	1.25	1.24	75	32.91	12.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

25	1.31	1.25	60	33.17	25.67
30	1.35	1.33	60	34.20	33.25
35	1.41	1.33	60	37.06	36.29
40	1.47	1.44	60	37.88	39.56

จากตารางที่ 4.9 สามารถนำข้อมูลมาเขียนกราฟเพื่อดูแนวโน้มของคุณสมบัติได้แก่ ความหนืด ความหนาแน่น เวลาเซตตัวและกำลังรับแรงเฉือนของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ที่เปลี่ยนไป เมื่อทำการเปลี่ยนอัตราส่วนซีเมนต์ โดยกำหนดอัตราส่วนเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1: 40



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงกำลังต้านทานแรงเฉือนของซีเมนต์เบนโทไนท์ที่การกำหนดค่าเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:40 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์

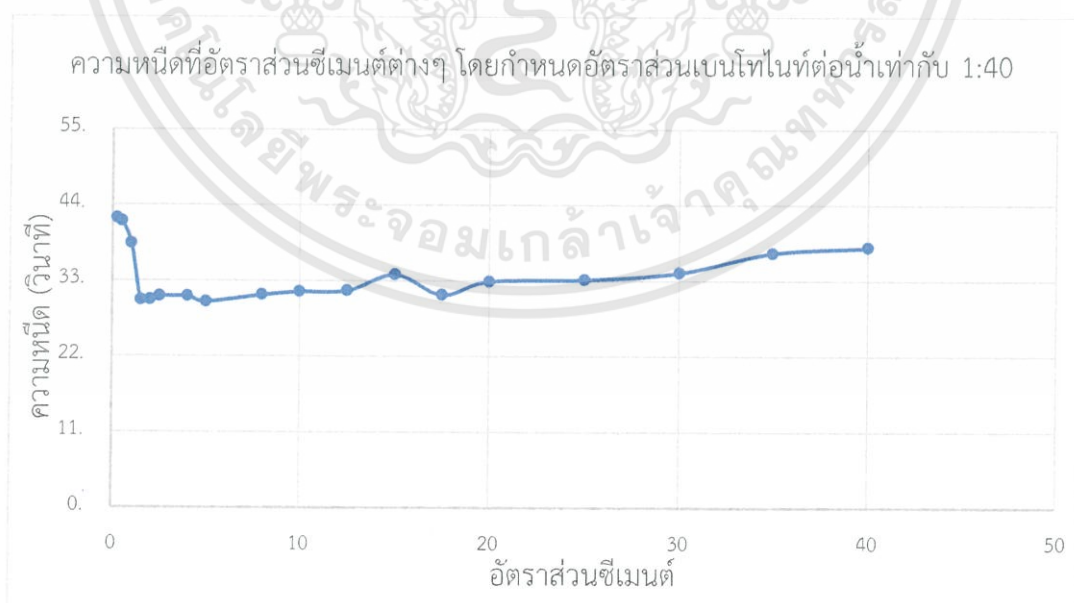
เมื่อกำหนดอัตราส่วนเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:40 โดยกำหนดให้เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์จากรูปที่ 4.11 พบว่าเมื่ออัตราส่วนซีเมนต์มากขึ้นส่งผลให้กำลังต้านทานแรงเฉือนมีค่าเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงเวลาเซตตัวของซีเมนต์เบนโทไนท์ที่การกำหนดค่าเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:40 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์

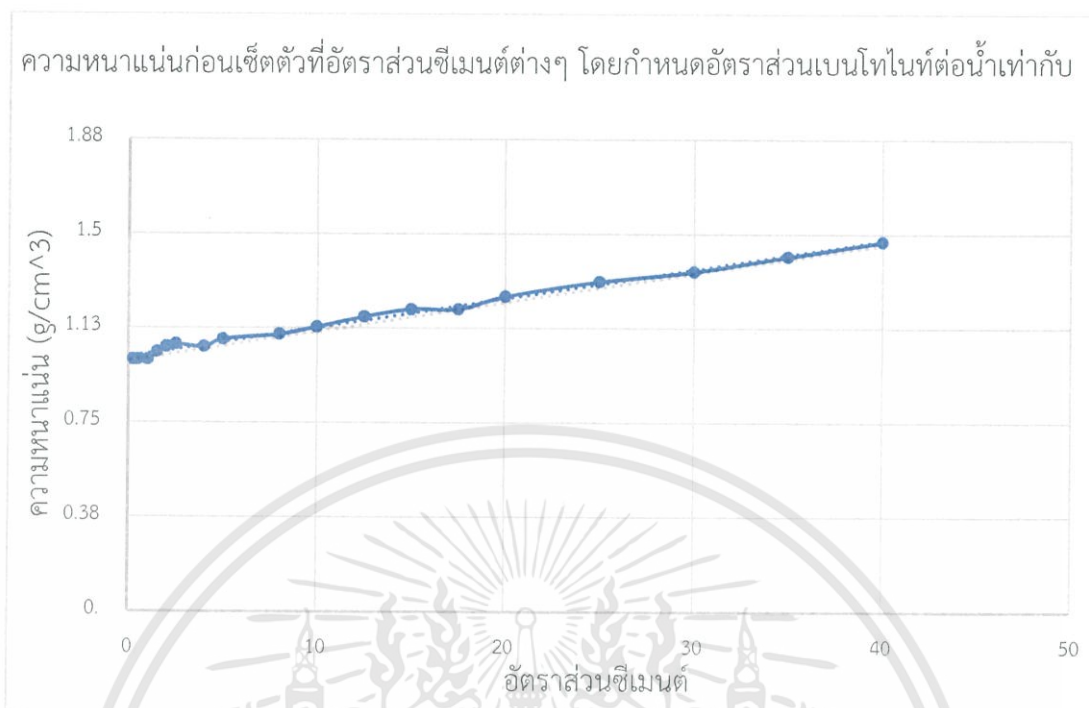
จากรูปที่ 4.12 เมื่อเพิ่มปริมาณซีเมนต์มากขึ้นจะทำให้เวลาในการเซตตัวน้อยลงและสามารถจัดกลุ่มเวลาเซตตัวของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ที่มีการกำหนดส่วนผสมเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:40 แล้วเปลี่ยนส่วนผสมซีเมนต์ได้ 4 ช่วงเวลา ได้แก่ 105, 90, 75 และ 60 นาที



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความหนืดของซีเมนต์เบนโทไนท์ที่การกำหนดค่าเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:40 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์

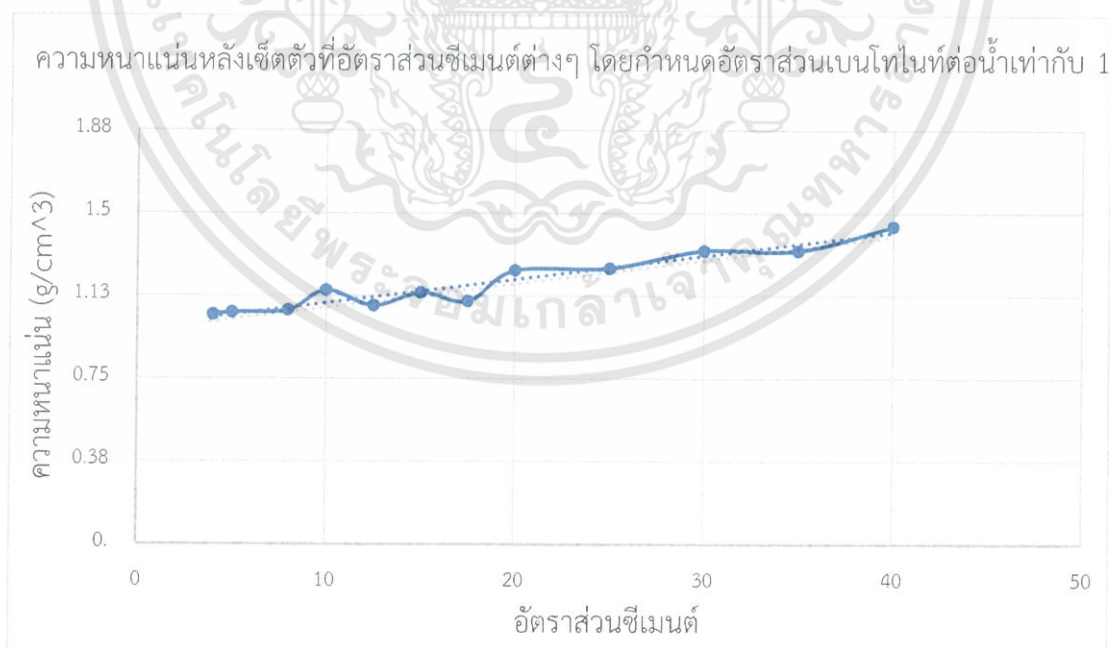
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.13 พบว่าเมื่ออัตราส่วนของซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นจะมีแนวโน้มของความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.14 แสดงความหนาแน่นในขณะที่สารซีเมนต์เบนโทไนท์ยังไม่เซตตัวของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ที่กำหนดค่าเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:40 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์

จากรูปที่ 4.14 พบว่าเมื่ออัตราส่วนของซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นจะมีแนวโน้มของความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น



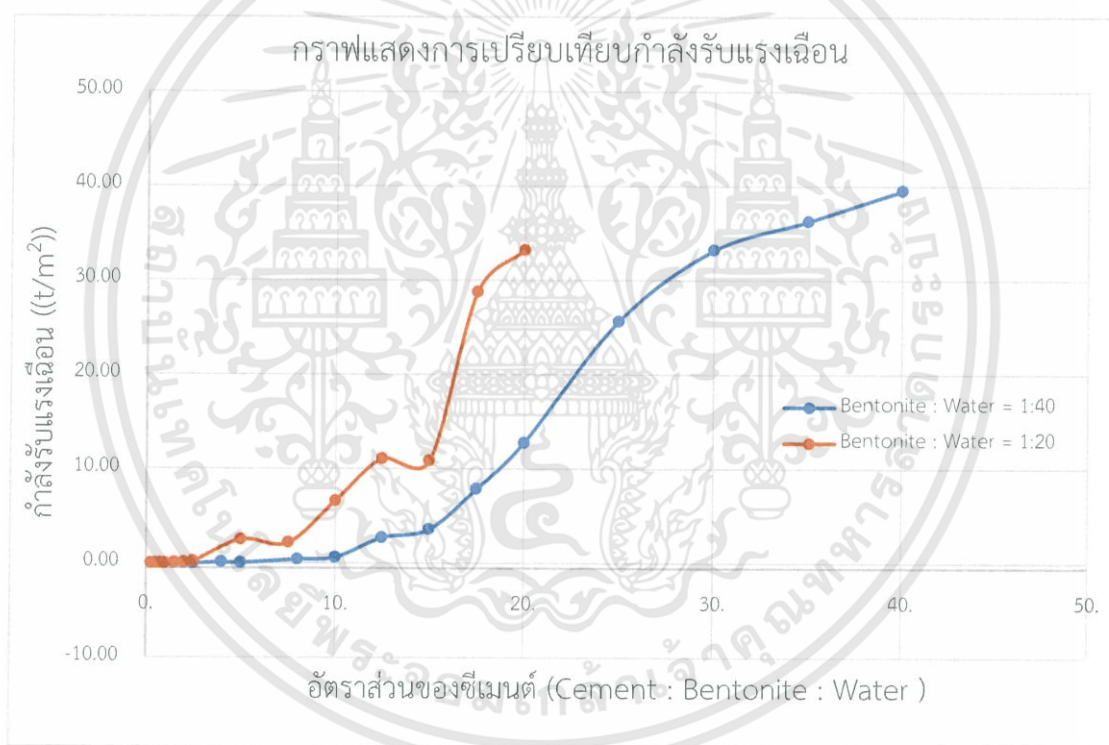
รูปที่ 4.15 แสดงความหนาแน่นในขณะที่สารซีเมนต์เบนโทไนท์เซตตัวแล้ว ของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ที่กำหนดค่า เบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:40 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.14 และรูปที่ 4.15 เมื่อกำหนดอัตราส่วนเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:14 โดยกำหนดให้เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์พบว่าเมื่ออัตราส่วนซีเมนต์เพิ่มขึ้นทำให้ความหนาแน่นทั้งก่อนและหลังเซ้นตัวมีค่าเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูป

#### 4.5 เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างสารซีเมนต์เบนโทไนท์ที่กำหนดอัตราส่วนเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:20 และ 1:40 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนอัตราส่วนซีเมนต์

4.5.1 เปรียบเทียบกำลังต้านทานแรงเฉือนระหว่างส่วนผสมที่กำหนดสัดส่วนเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:20 และ 1:40 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราซีเมนต์

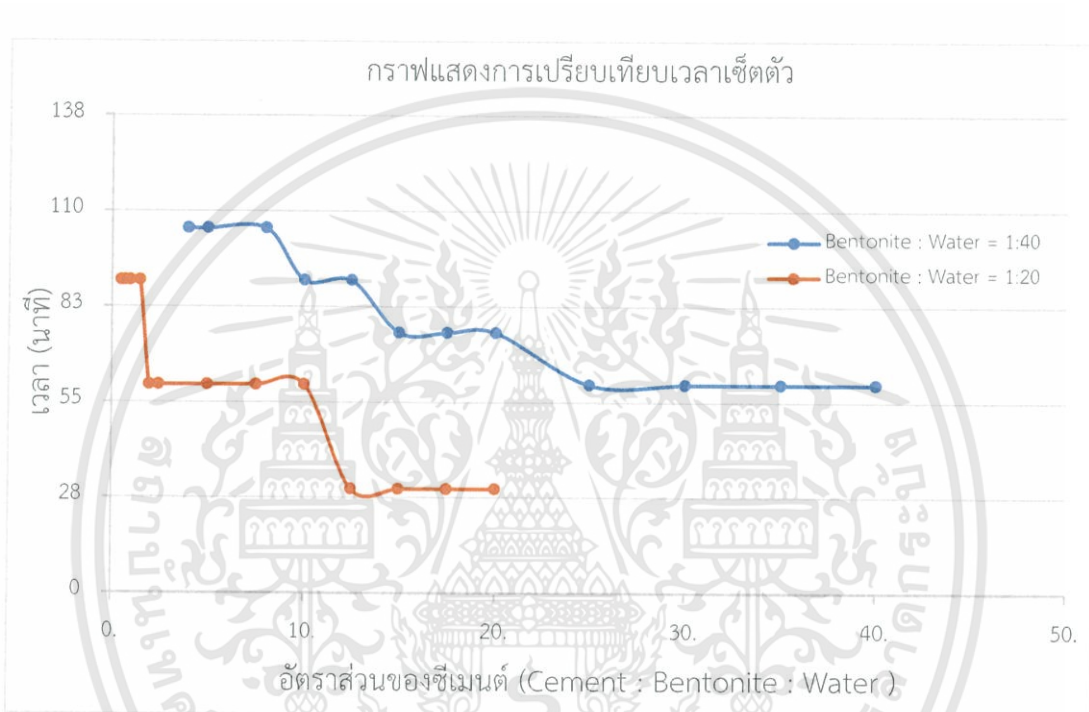


รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบกำลังต้านทานแรงเฉือนระหว่างส่วนผสมเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:20 และ 1:40 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์

จากรูปที่ 4.16 แสดงให้เห็นว่าในอัตราซีเมนต์ที่เท่ากันตัวอย่างที่มีส่วนผสมของน้ำที่น้อยกว่าพบว่าจะได้กำลังรับแรงเฉือนสูงกว่า เมื่อเพิ่มอัตราซีเมนต์ก็จะส่งผลให้กำลังรับแรงเฉือนสูงขึ้น โดยในตัวอย่างที่มีอัตราส่วนผสมที่น้ำน้อยกำลังรับแรงเฉือนจะสูงขึ้นที่อัตราซีเมนต์มากกว่าหรือเท่ากับ 7 และจะไม่มีกำลังรับแรงเฉือนเมื่ออัตราส่วนซีเมนต์น้อยกว่า 2.5 ส่วนในกรณีที่มีอัตราส่วนผสมของน้ำ

มากกำลังรับแรงเฉือนจะสูงขึ้นที่อัตราส่วนซีเมนต์มากกว่าหรือเท่ากับ 10 และจะไม่มีกำลังรับแรงอัดเลยเมื่ออัตราส่วนซีเมนต์น้อยกว่า 10

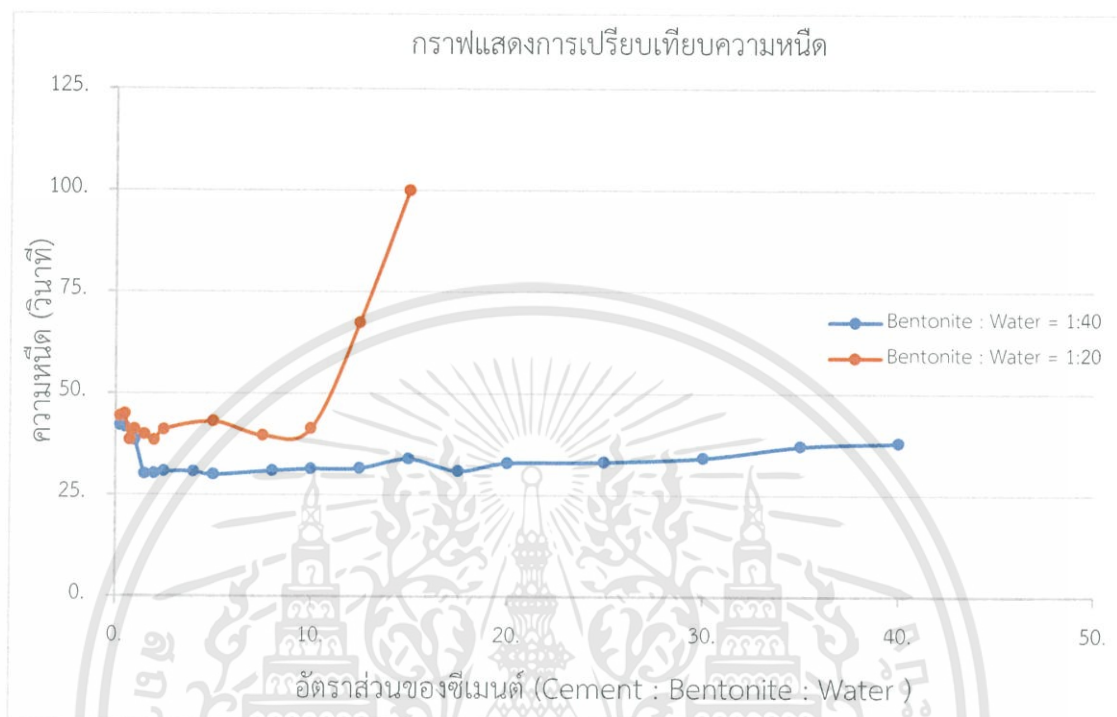
#### 4.5.2 เปรียบเทียบเวลาเซตตัวของส่วนผสมที่กำหนดสัดส่วนเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:20 และ 1:40 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์



รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบเวลาเซตตัวของส่วนผสมเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:20 และ 1:40 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์

จากรูปที่ 4.17 ที่อัตราส่วนของเบนโทไนท์ต่อน้ำ 1:40 และกำหนดอัตราส่วนซีเมนต์เพิ่มขึ้น จะมีแนวโน้มของเวลาเซตตัวลดลงแบ่งเป็น 4 ช่วงเวลาที่ 105 นาทีโดยมีอัตราส่วนซีเมนต์อยู่ที่ 5 -10, 90 นาทีโดยมีอัตราส่วนซีเมนต์อยู่ที่ 10-15, 75 นาทีโดยมีอัตราส่วนซีเมนต์อยู่ที่ 15 -20 และ 60 นาทีโดยมีอัตราส่วนซีเมนต์อยู่ที่ 25-40 ส่วนที่อัตราส่วนของเบนโทไนท์ต่อน้ำ 1:20 โดยกำหนดอัตราส่วนซีเมนต์เพิ่มขึ้นจะมีแนวโน้มของเวลาเซตตัวลดลงแบ่งเป็น 3 ช่วงเวลาที่ 90 นาทีโดยมีอัตราส่วนซีเมนต์อยู่ที่ 0 -2.5, 60 นาทีโดยมีอัตราส่วนซีเมนต์อยู่ที่ 2.5-10, และ 30 นาทีโดยมีอัตราส่วนซีเมนต์อยู่ที่ 12.5-20 ซึ่งอัตราส่วนที่เบนโทไนท์ต่อน้ำ 1:20 มีระยะเวลาการเซตตัวน้อยกว่าที่อัตราส่วนที่เบนโทไนท์ต่อน้ำ 1:40 และมีแนวโน้มของระยะเวลาการเซตตัวลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณซีเมนต์มากขึ้น

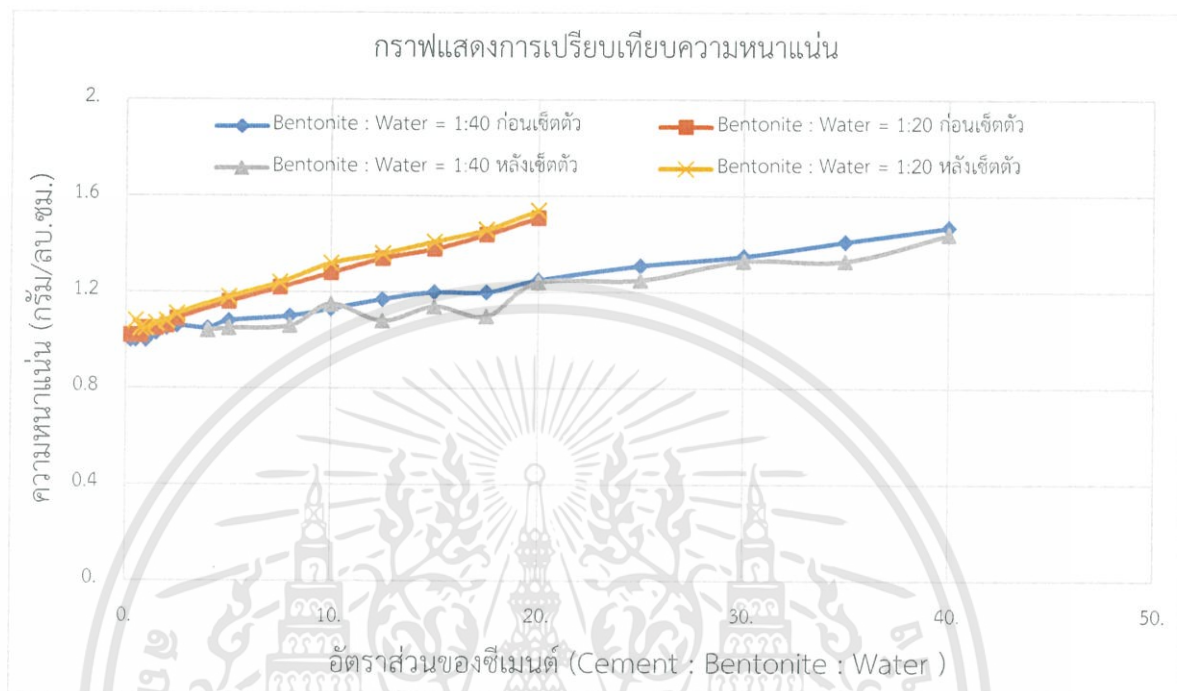
4.5.3 เปรียบเทียบความหนืดระหว่างส่วนผสมที่กำหนดสัดส่วนเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:20 และ 1:40 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราซีเมนต์



รูปที่ 4.18 กราฟเปรียบเทียบความหนืดระหว่างส่วนผสมที่กำหนดสัดส่วนเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:20 และ 1:40 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราซีเมนต์

จากรูปที่ 4.18 พบว่าที่อัตราส่วนซีเมนต์เท่ากับส่วนผสมที่มีน้ำน้อยกว่าจะมีความหนืดมากกว่าส่วนผสมที่มีน้ำมากและที่อัตราส่วนผสมที่มีน้ำมากเมื่อเพิ่มส่วนผสมซีเมนต์มากขึ้นเท่าไร แนวโน้มของความหนืดค่อนข้างจะคงที่และที่ส่วนผสมที่มีน้ำน้อยที่อัตราส่วนซีเมนต์มากกว่า 15 ขึ้นไป มีค่าความหนืดมากกว่าที่เครื่องมือ Marsh funnel viscometer จะสามารถวัดได้แสดงในรูปที่ 4.18

4.5.4 เปรียบเทียบความหนาแน่นของส่วนผสมที่กำหนดสัดส่วนเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:20 และ 1:40 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราซีเมนต์



รูปที่ 4.19 กราฟเปรียบเทียบความหนาแน่นทั้งก่อนและหลังเช็ดตัวระหว่างส่วนผสมที่กำหนดสัดส่วนเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:20 และ 1:40 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนซีเมนต์

จากรูปที่ 4.19 พบว่าที่อัตราส่วนซีเมนต์เท่ากันส่วนผสมที่มีน้ำน้อยกว่าจะค่าความหนาแน่นทั้งก่อนและหลังของการเช็ดตัวมากกว่าค่าที่มีน้ำมากและเมื่ออัตราส่วนซีเมนต์มากขึ้นแนวโน้มของค่าความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.19

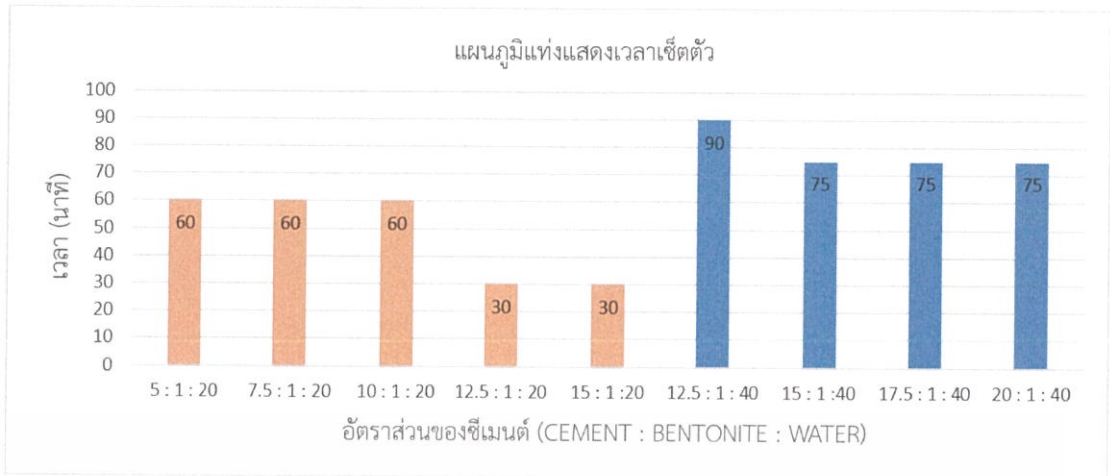
#### 4.6 เลือกส่วนผสมที่มีกำลังต้านทานแรงเฉือนที่เหมาะสม

กำลังต้านทานแรงเฉือนที่เหมาะสมมีค่าระหว่าง 2-15 ตันต่อตารางเมตร ซึ่งเป็นกำลังต้านทานแรงเฉือนที่มีค่ามากกว่าดินเหนียวอ่อนซึ่งดินเหนียวอ่อนมีกำลังต้านทานแรงเฉือนประมาณ 2 ตันต่อตารางเมตร และกำหนดให้กำลังรับแรงเฉือนไม่เกิน 15 ตันต่อตารางเมตร ถ้าหากเกิน 15 ตันต่อตารางเมตรจะใช้ซีเมนต์ในปริมาณมากซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายที่สูงมากจึงได้ส่วนผสมที่เหมาะสมและคุณสมบัติต่างๆ ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดงส่วนผสมและคุณสมบัติของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ที่มีกำลังรับแรงเฉือนอยู่ระหว่าง 2-15 ตันต่อตารางเมตร

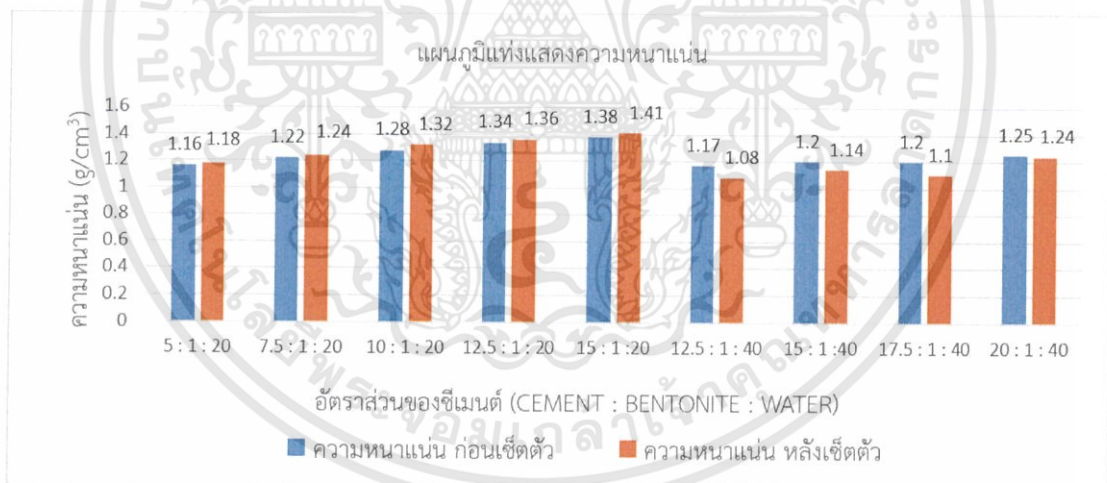
ส่วนผสม ซีเมนต์ : เบนโทไนท์ : น้ำ	ความหนาแน่น ก่อนเซตตัว (g/cm <sup>3</sup> )	ความหนาแน่น หลังเซตตัว (g/cm <sup>3</sup> )	เวลาเซตตัว (min)	ความหนืด (s)	กำลังรับ แรงเฉือน (t/m <sup>2</sup> )
5 : 1 : 20	1.16	1.18	60	43.05	2.53
7.5 : 1 : 20	1.22	1.24	60	39.62	2.21
10 : 1 : 20	1.28	1.32	60	41.36	6.65
12.5 : 1 : 20	1.34	1.36	30	67.41	11.12
15 : 1 : 20	1.38	1.41	30	99.92	10.91
12.5 : 1 : 40	1.17	1.08	90	31.57	2.75
15 : 1 : 40	1.2	1.14	75	33.9	3.63
17.5 : 1 : 40	1.2	1.1	75	30.95	7.92
20 : 1 : 40	1.25	1.24	75	32.91	12.79

จากข้อมูลตารางที่ 4.10 สามารถนำมาเขียนแผนภูมิเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆกับส่วนผสม ซีเมนต์ต่อเบนโทไนท์ต่อน้ำ



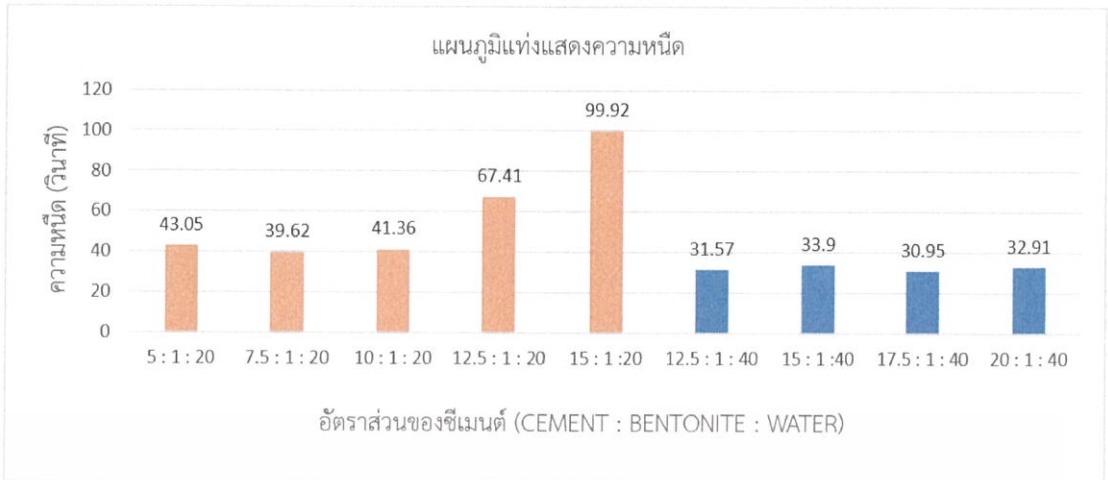
รูปที่ 4.20 แผนภูมิแท่งแสดงเวลาเซตตัวของส่วนผสมที่มีค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ 2-15 ตันต่อตารางเมตร

จากรูปที่ 4.20 พบว่าที่อัตราส่วนเบนโทไนท์ต่อซีเมนต์เท่ากับ 1:20 และที่อัตราส่วนของซีเมนต์เท่ากับ 5,7.5,10 มีช่วงเวลาเซตตัวอยู่ 60 นาที และที่อัตราส่วนของซีเมนต์เป็น 12.5-15 มีเวลาเซตตัวอยู่ที่ 30 นาที และที่อัตราส่วนผสมที่มีน้ำมากจะมีแนวโน้มของระยะเวลาเซตตัวมากกว่าอัตราส่วนที่มีน้ำน้อย



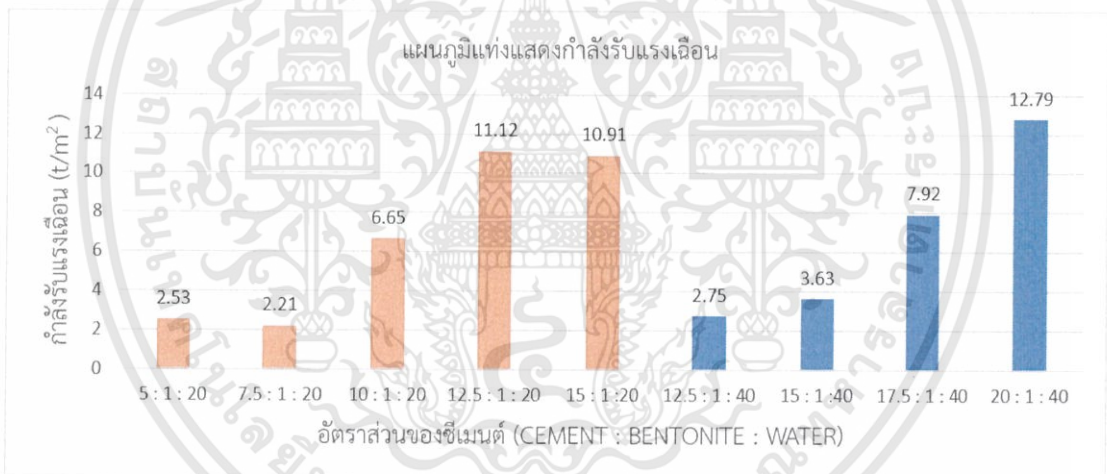
รูปที่ 4.21 แผนภูมิแท่งแสดงความหนาแน่นของส่วนผสมที่มีค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ 2-15 ตันต่อตารางเมตร

จากรูปที่ 4.21 พบว่าที่อัตราส่วนผสมน้ำมากจะมีค่าความหนาแน่นก่อนการเซตตัวมากกว่าหลังการเซตตัว เพราะว่ามี การสูญเสีย น้ำจากการเยิ้ม น้ำเป็นจำนวนมาก และที่อัตราส่วนผสมน้ำน้อยพบว่าจะมีค่าความหนาแน่นก่อนการเซตตัวมากกว่าหลังการเซตตัว



รูปที่ 4.22 แผนภูมิแท่งแสดงความหนืดของส่วนผสมที่มีค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ 2-15 ตันต่อตารางเมตร

จากรูปที่ 4.22 พบว่าอัตราส่วนผสมที่น้ำน้อยจะมีแนวโน้มของความหนืดที่มากกว่าของอัตราส่วนผสมที่มีน้ำมาก



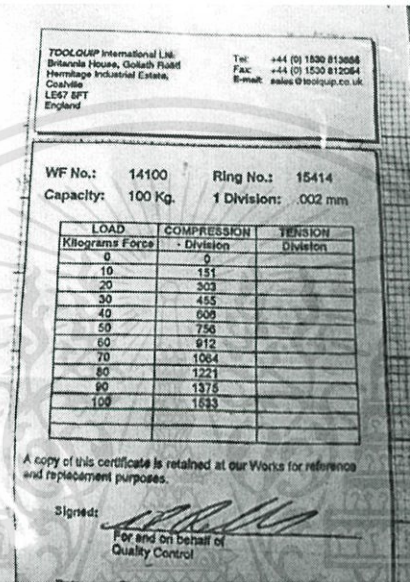
รูปที่ 4.23 แผนภูมิแท่งแสดงกำลังรับแรงอัดของส่วนผสมที่มีกำลังรับแรงเฉือนอยู่ระหว่าง 2-15 ตันต่อตารางเมตร

จากรูปที่ 4.23 พบว่าที่อัตราส่วนผสมต่างกันมีค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนที่ต่างกัน โดยจำแนกเป็นกลุ่มตามค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนที่ 4.5-5 ตัน/ตารางเมตร , 21-22.5 ตัน/ตารางเมตร , 13-16 ตัน/ตารางเมตร และ 5.5-12 ตัน/ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.7 Calibration of Proving ring

เป็นการทดสอบเทียบอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบวัสดุ เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องทดสอบมีความแม่นยำ และมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเนื่องจาก Proving Ring ที่ผู้ทำการทดลองได้นำมาทดสอบวัสดุนั้น เป็นอุปกรณ์ที่ถูกนำมาใช้งานมาหลายครั้ง ดังนั้นผู้ทำการทดลองจึงจำเป็นต้องทำการทดสอบเทียบ อุปกรณ์ก่อนที่จะนำไปใช้งานในการทดสอบวัสดุ



รูปที่ 4.24 ใบรับรองมาตรฐานของ Proving ring No.15414

### 4.7.1 อุปกรณ์

1. Proving Ring No.15414 เป็นตัวหลักที่ใช้ในการทดสอบเทียบค่า
2. Proving Ring No.15416 เป็นตัวที่ถูกทดสอบเทียบค่า
3. Proving Ring No.15417 เป็นตัวที่ถูกทดสอบเทียบค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



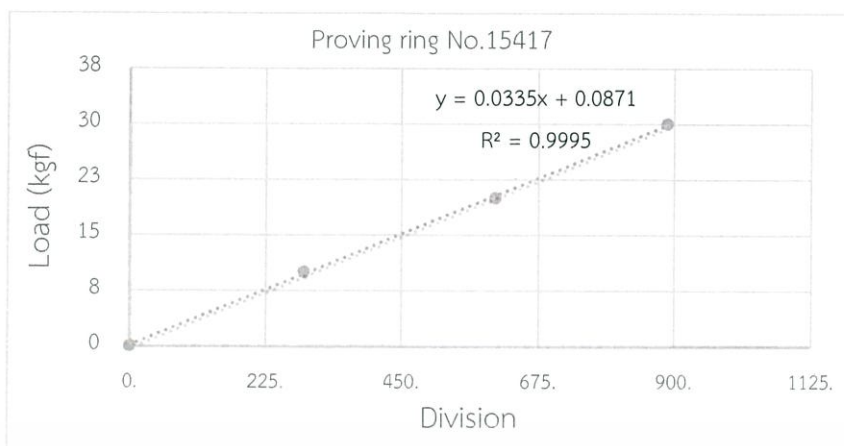
รูปที่ 4.25 การทดสอบเทียบ Proving ring No.15416 กับ No.15417

#### 4.7.2 ผลการคำนวณ

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงผลการสอบเทียบ Proving ring No.15417

Calibration of the Proving Ring No.15417					
Load (kgf)	Division			Average Division	
	0	0	0		
10	294	278	290	287.33	
20	608	597	609	604.67	
30	885	893	889	889.00	K= 0.0336

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



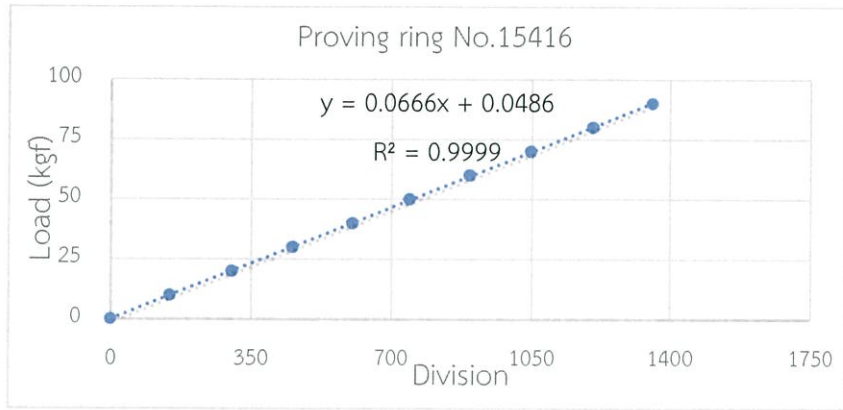
รูปที่ 4.26 รูปแสดงผลการสอบเทียบ Proving ring No 15417

ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงผลการสอบเทียบ Proving ring No.15416

Calibration of the Proving Ring No.15416				
Load	Division			Average Division
0	0	0	0	0.00
10	150	149	148	149.00
20	304	302	302	302.67
30	452	451	450	451.00
40	602	601	602	601.67
50	744	744	745	744.33
60	898	894	893	895.00
70	1047	1046	1045	1046.00
80	1204	1204	1203	1203.67
90	1354	1356	1355	1355.00

K=0.0667

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 รูปแสดงผลการสอบเทียบ Proving ring No 15416

#### 4.8 การทดสอบสารปูนขาวกับเบนโทไนท์

โดยมีการทำการแบ่งอัตราส่วนเป็น เบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1 : 20 แล้วทำการเปลี่ยนอัตราส่วนของปูนขาวไปตามที่กำหนด และทำการทดสอบตามขั้นตอนของการทดสอบสารซีเมนต์เบนโทไนท์ มีผลที่ได้ดังนี้

ตาราง 4.13 ตารางแสดงผลการทดลองหาคุณสมบัติของสารปูนขาวเบนโทไนท์ที่ส่วนผสมที่มีการกำหนดอัตราส่วนเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1 : 20 โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนปูนขาว

ส่วนผสม ปูนขาว : 1 เบนโทไนท์ : 20 น้ำ	ความหนาแน่น ก่อนเซตตัว (g/cm <sup>3</sup> )	ความหนาแน่น หลังเซตตัว (g/cm <sup>3</sup> )	เวลาเซตตัว (min)	ความหนืด (s)	กำลังรับ แรงเฉือน (t/m <sup>2</sup> )
1	1.03	0	ไม่เซตตัว	37.33	0
2	1.06	0	ไม่เซตตัว	38.13	0
2.5	1.07	0	ไม่เซตตัว	39.71	0
4	1.10	0	ไม่เซตตัว	38.07	0
5	1.13	0	ไม่เซตตัว	37.41	0
15	1.17	0	ไม่เซตตัว	หาค่าไม่ได้	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.14 พบว่าสารปูนขาวเบนโทไนท์มีค่าความหนืดเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของปูนขาวมากขึ้น ค่าความหนาแน่นก่อนการเซตตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของปูนขาวที่เพิ่มขึ้น แต่สารปูนขาวเบนโทไนท์ไม่มีการเซตตัวและส่งผลทำให้หาค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนไม่ได้ ดังนั้นผู้ทำการทดลองจึงสรุปได้ว่าปูนขาวไม่มีคุณสมบัติที่ดีที่ทำให้วัสดุเกร้าที่มีการเซตตัวและไม่สามารถต้านทานกำลังรับแรงเฉือนได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการศึกษา

### 5.1 บทนำ

จากผลการทดลองของการทดสอบคุณสมบัติของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ โดยทำการกำหนดอัตราส่วนของเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:40 และ 1:20 แล้วทำการเปลี่ยนอัตราส่วนของซีเมนต์ และนำค่าที่ได้จากการทดลองของแต่ละอัตราส่วนมาเปรียบเทียบแล้วทำการวิเคราะห์ จะทำให้เห็นแนวโน้มของคุณสมบัติในเรื่อง ความหนืด,ความหนาแน่นก่อนและหลังการเซ็ตตัว,ระยะเวลาในการเซ็ตตัวและกำลังรับแรงเฉือนของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ของแต่ละอัตราส่วนได้อย่างชัดเจนและเลือกอัตราส่วนผสมที่มีค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนที่เหมาะสมซึ่งค่ากำลังรับต้านทานแรงเฉือนที่เหมาะสมต้องมีค่าใกล้เคียงกับค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อนในกรุงเทพฯ

### 5.2 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองของการทดสอบคุณสมบัติของสารซีเมนต์เบนโทไนท์โดยกำหนดอัตราส่วนของเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:40 ให้คงที่ แล้วทำการเพิ่มปริมาณซีเมนต์ตามอัตราส่วนที่กำหนด และนำค่าที่ได้มาหากราฟแนวโน้มความสัมพันธ์ พบว่าค่าความหนืดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นต่อปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น ระยะเวลาการเซ็ตตัวมีแนวโน้มเร็วขึ้นต่อปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นต่อปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น และค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นต่อปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งผลแนวโน้มที่ได้ของอัตราส่วนที่เบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:20 ก็มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันกับอัตราส่วนที่เบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:40

จากการที่นำผลไปวิเคราะห์แนวโน้มโดยการกำหนดอัตราส่วนของเบนโทไนท์ต่อซีเมนต์คงที่ จากนั้นจึงกำหนดปริมาณซีเมนต์ให้คงที่ และทำการเปรียบเทียบที่อัตราส่วนเบนโทไนท์ต่อน้ำที่ 1:20 กับ 1:40 พบว่าอัตราส่วนที่มีน้ำน้อยกว่าจะมีความหนืดมากกว่าอัตราส่วนที่มีน้ำมาก ค่าความหนาแน่นของอัตราส่วนที่มีน้ำน้อยกว่ามีค่ามากกว่าอัตราส่วนที่มีน้ำมาก ระยะเวลาการเซ็ตตัวของอัตราส่วนที่มีน้ำน้อยกว่าจะมีระยะเวลาในการเซ็ตตัวเร็วกว่าอัตราส่วนที่มีน้ำมาก และอัตราส่วนที่มีน้ำน้อยกว่าจะมีค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนมากกว่าอัตราส่วนที่มีน้ำมาก

จากการทดสอบหาคุณสมบัติของสารซีเมนต์เบนโทไนท์และนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์กันระหว่างอัตราส่วนผสมเบนโทไนท์ต่อน้ำเท่ากับ 1:40 และ 1:20 โดยมีการเปลี่ยนอัตราส่วนซีเมนต์ และทำการเลือกค่าอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยคำนึงถึงค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนที่มีค่าระหว่าง 2-15 ตันต่อตารางเมตร ซึ่งเป็นกำลังต้านทานแรงเฉือนที่มีค่ามากกว่าดิน

เหนียวอ่อนซึ่งดินเหนียวอ่อนมีกำลังต้านทานแรงเฉือนประมาณ 2 ตันต่อตารางเมตร และกำหนดให้กำลังรับแรงเฉือนไม่เกิน 15 ตันต่อตารางเมตร ซึ่งการที่มีค่าไม่มากจนเกินไปทั้งนี้อาจส่งผลต่อการถอนซีทไฟลด์ได้ตั้งนั้นจึงได้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ค่ากำลังต้านทานรับแรงเฉือนอยู่ในช่วง 2-15 ตันต่อตารางเมตร

ส่วนผสม ซีเมนต์ : เบนโทไนท์ : น้ำ	ความ หนาแน่น ก่อนเซตตัว (g/cm <sup>3</sup> )	ความ หนาแน่น หลังเซตตัว (g/cm <sup>3</sup> )	เวลาเซต ตัว (min)	ความหนืด (s)	Shear Strength (t/m <sup>2</sup> )
5 : 1 : 20	1.16	1.18	60	43.05	2.53
7.5 : 1 : 20	1.22	1.24	60	39.62	2.21
10 : 1 : 20	1.28	1.32	60	41.36	6.65
12.5 : 1 : 20	1.34	1.36	30	67.41	11.12
15 : 1 : 20	1.38	1.41	30	99.92	10.91
12.5 : 1 : 40	1.17	1.08	90	31.57	2.75
15 : 1 : 40	1.2	1.14	75	33.9	3.63
17.5 : 1 : 40	1.2	1.1	75	30.95	7.92
20 : 1 : 40	1.25	1.24	75	32.91	12.79

จากตารางที่ 5.1 จะบอกถึงคุณสมบัติต่างๆในด้าน ความหนืด ความหนาแน่น ระยะเวลาในการเซตตัว และกำลังต้านทานแรงเฉือน ในแต่ละอัตราส่วนผสมที่กำหนดขอบเขตของค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนที่อยู่ในช่วง 2- 15 ตันต่อตารางเมตร ซึ่งมีคุณสมบัติแต่ละคุณสมบัติที่ไม่มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน ดังนั้นผู้ทำการทดลองจึงขอเป็นการเสนอชุดข้อมูลดังกล่าวไปในทางการให้ข้อมูลแบบเลือกใช้ตามช่วงคุณสมบัติที่ต้องการในแต่ละอัตราส่วนผสมให้เหมาะสมกับสภาพหน้างานจริงตามที่ต้องการ

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

- 1) เนื่องจากสารเบนโทไนท์มีราคาที่สูง ดังนั้นอาจจะนำสารอื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติคล้ายกับสารเบนโทไนท์และราคาถูก นำมาสารผสมกับซีเมนต์เบนโทไนท์เพื่อลดค่าใช้จ่าย
- 2) การศึกษาคุณสมบัติของสารซีเมนต์เบนโทไนท์ในงานวิจัยนี้ควรจะมีการทดสอบเพิ่มเติมและเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนให้หลายหลาย เพื่อให้ค่าที่ได้มีการผิดพลาดเคลื่อนน้อยที่สุด
- 3) ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทให้กำลังอัดสูงเร็ว (High Early Strength Portland Cement) มาผสมรวมกับเบนโทไนท์อาจทำให้สารซีเมนต์เบนโทไนท์มีระยะเวลาในการเซ็ตตัวที่เร็วขึ้นและมีกำลังต้านทานแรงเฉือนที่สูงขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ธรรมบุรณ์ สิริศรีสัมฤทธิ์. 2559. “การศึกษาผลกระทบของการถอนซีทไฟลในงานขุดดินลึกในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ” , มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- [2] บริษัท ฮีโรเซ่ จำกัด. 2559. “ขั้นตอนการลดช่องว่างของดินเนื่องจากการถอนแผ่นเหล็กพืด (Sheet Pile) โดยวิธีแทนที่ด้วยซีเมนต์ (Cement Bentonite Grouting)”.
- [3] กรมโยธาและผังเมือง. 2551. มาตรฐานปฏิบัติในงานซ่อมแซมคอนกรีต (มยผ.1901-51).พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักวิศวกรรมโครงสร้างและงานระบบ.
- [4] AMCOL International Corp. 2559. แร่เบนโทไนท์.
- [5] มาตรฐาน ASTM C 187, C 191 มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 15 เล่ม 8, เล่ม 9.
- [6] รศ.ดร.คมสัน มาลีสี และ รศ.สิริวัฒน์ ไชยชนะ .2555. ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [7] รศ.สุพจน์ ศรีนิล และ รศ.ดร.แหลมทอง เหล่าคงถาวร.2548. ปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์. กรุงเทพฯ :คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Cement Bentonite Mixed Design

No.	Material			Bentonite+Water		Mixed					
1	Cement	Bentonite	Water	Date	Time	Date	Time start	Time finish			
Weight (g)	500	200	4000	24/01/2560	16:00	25/01/2560	14:20	14:50			
Ratio	2.5	1	20								
Record Results											
Viscosity	Before Mixing				After Mixing						
	1	2	3	Average	1	2	3	Average			
	38.09	37.73	38.32	38.05	41.08	41.58	40.5	41.05			
Density	Before Setting				After Setting						
	Sample	Weight	Volume	Density	Sample	Weight	Volume	Density			
	1	543.31	500	1.09	1	333.82	301.88	1.11			
Setting Time											
Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Time Start	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45	18:00	18:15	18:30	18:45
Time (min)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Mole (mm)	76.02	75.40	76.10	75.80	76.10	75.70	76.68	76.60	75.30	76.30	
Top to Sample (mm)	60.28	52.10	43.04	30.12	20.10	12.60	10.40	8.00	6.28	1.38	
percent (%)	100	79.29	69.10	56.56	39.74	26.41	16.64	13.56	10.44	8.34	1.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Cement Bentonite Mixed Design

No.	Material			Bentonite+Water		Mixed					
2	Cement	Bentonite	Water	Date	Time	Date	Time start	Time finish			
Weight (g)	1500	200	4000	21/12/2559	14:00	16/01/2560	17:30	17:45			
Ratio	7.5	1	20								
Record Results											
Viscosity	Before Mixing				After Mixing						
	1	2	3	Average	1	2	3	Average			
	41.3	40.84	40.54	40.89	40.34	39.79	38.73	39.62			
Density	Before Setting				After Setting						
	Sample	Weight	Volume	Density	Sample	Weight	Volume	Density			
	1	608.59	500	1.22	1	370.61	298.82	1.24			
Setting Time											
Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Time Start	17:50	18:05	18:20	18:35	18:50	19:05	19:20	19:35	20:00	20:30	21:00
Time (min)	0	15	30	45	60	75	90	105	130	160	190
Mole (mm)	75.10	75.20	74.22	75.28	77.30	75.60	75.46	76.60	74.22	74.12	
Top to Sample (mm)	64.82	65.10	54.40	51.30	46.04	41.30	35.20	30.60	30.00	24.12	
percent (%)	100	86.31	86.57	73.30	68.15	59.56	54.63	46.65	39.95	40.42	32.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Cement Bentonite Mixed Design

No.	Material			Bentonite+Water		Mixed					
3	Cement	Bentonite	Water	Date	Time	Date	Time start	Time finish			
Weight (g)	2000	200	4000	17/01/2560	17:15	23/01/2560	14:00	14:30			
Ratio	10	1	20								
Record Results											
Viscosity	Before Mixing				After Mixing						
	1	2	3	Average	1	2	3	Average			
	38.97	39.04	39.05	39.02	42.05	41.37	40.65	41.36			
Density	Before Setting				After Setting						
	Sample	Weight	Volume	Density	Sample	Weight	Volume	Density			
	1	638.67	500	1.28	1	393.56	298.12	1.32			
Setting Time											
Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Time Start	14:30	14:45	15:00	15:15	15:35	15:50	16:05	16:35	17:05	17:35	18:05
Time (min)	0	15	30	45	65	80	95	125	155	185	215
Mole (mm)	76.18	75.52	76.32	76.20	76.10	75.96	76.72	76.42	76.42	75.10	
Top to Sample (mm)	63.12	51.32	55.58	47.46	47.48	45.42	48.10	37.96	29.60	11.60	
percent (%)	100	82.86	67.96	72.82	62.28	62.39	59.79	62.70	49.67	38.73	15.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Cement Bentonite Mixed Design

No.	Material			Bentonite+Water		Mixed					
4	Cement	Bentonite	Water	Date	Time	Date	Time start	Time finish			
Weight (g)	2500	200	4000	30/01/2560	16:00	9/2/2560	14:50	15:30			
Ratio	12.5	1	20								
Record Results											
Viscosity	Before Mixing				After Mixing						
	1	2	3	Average	1	2	3	Average			
	39.3	38.52	38.88	38.9	67.56	67.43	67.24	67.41			
Density	Before Setting				After Setting						
	Sample	Weight	Volume	Density	Sample	Weight	Volume	Density			
	1	668.78	500	1.34	1	406.82	299.98	1.36			
Setting Time											
Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Time Start	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45	18:00
Time (min)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Mole (mm)	76.44	75.22	76.48	75.90	76.28	77.18	75.50	76.20	76.08	76.76	
Top to Sample (mm)	55.18	51.40	48.06	46.58	37.02	22.46	14.52	4.10	4.38	2.20	
percent (%)	100	72.19	68.33	62.84	61.37	48.53	29.10	19.23	5.38	2.87	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Cement Bentonite Mixed Design

No.	Material			Bentonite+Water		Mixed					
5	Cement	Bentonite	Water	Date	Time	Date	Time start	Time finish			
Weight (g)	1000	200	4000	24/01/2560	16:00	30/01/2560	15:30	16:15			
Ratio	5	1	20								
Record Results											
Viscosity	Before Mixing				After Mixing						
	1	2	3	Average	1	2	3	Average			
	38.76	38.55	39.04	38.78	43.11	42.71	43.33	43.05			
Density	Before Setting				After Setting						
	Sample	Weight	Volume	Density	Sample	Weight	Volume	Density			
	1	578.79	500	1.16	1	360.86	304.6	1.18			
Setting Time											
Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Time Start	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45	18:00	18:15	18:30	18:45
Time (min)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Mole (mm)	75.92	76.80	75.30	75.90	76.30	75.46	76.50	75.90	75.68	76.28	
Top to Sample (mm)	64.10	51.18	52.40	49.70	40.60	30.02	21.28	19.44	14.00	9.02	
percent (%)	100	84.43	66.64	69.59	65.48	53.21	39.78	27.82	25.61	18.50	11.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Cement Bentonite Mixed Design

No.	Material			Bentonite+Water		Mixed					
6	Cement	Bentonite	Water	Date	Time	Date	Time start	Time finish			
Weight (g)	3000	200	4000	17/01/2560	16:30	23/01/2560	14:30	14:50			
Ratio	15	1	20								
Record Results											
Viscosity	Before Mixing				After Mixing						
	1	2	3	Average	1	2	3	Average			
	38.97	39.04	39.05	39.02	99.63	99.78	100.35	99.92			
Density	Before Setting				After Setting						
	Sample	Weight	Volume	Density	Sample	Weight	Volume	Density			
	1	691.78	500	1.38	1	405.78	287.89	1.41			
Setting Time											
Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Time Start	14:50	15:05	15:25	15:35	15:50	16:05	16:20	16:50	17:20	17:50	18:20
Time (min)	0	15	30	45	60	75	90	120	150	180	210
Mole (mm)	75.44	76.28	76.38	75.68	76.02	76.30	76.90	75.70	76.18	76.18	
Top to Sample (mm)	56.88	51.92	50.20	45.72	44.48	39.90	35.30	33.24	6.02	4.02	
percent (%)	100	75.40	68.07	65.72	60.41	58.51	52.29	45.90	43.91	7.90	5.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Cement Bentonite Mixed Design

No.	Material			Bentonite+Water		Mixed					
7	Cement	Bentonite	Water	Date	Time	Date	Time start	Time finish			
Weight (g)	3500	200	4000	24/01/2560	16:00	25/01/2560	15:30	16:05			
Ratio	17.5	1	20								
Record Results											
Viscosity	Before Mixing				After Mixing						
	1	2	3	Average	1	2	3	Average			
	38.97	39.06	38.92	38.98	ไม่สามารถหาได้						
Density	Before Setting				After Setting						
	Sample	Weight	Volume	Density	Sample	Weight	Volume	Density			
	1	720.43	500	1.44	1	444.73	304.65	1.46			
Setting Time											
Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Time Start	16:05	16:20	16:35	16:50	17:05	17:20	17:35	18:05	18:35	19:05	19:35
Time (min)	0	15	30	45	60	75	90	120	150	180	210
Mole (mm)	76.04	75.62	76.00	76.00	75.90	76.08	76.00	76.48	76.48	75.95	
Top to Sample (mm)	58.36	51.18	48.16	45.70	44.68	38.44	30.50	13.56	8.10	6.10	
percent (%)	100	76.75	67.68	63.37	60.13	58.87	50.53	40.13	17.73	10.59	8.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Cement Bentonite Mixed Design

No.	Material			Bentonite+Water		Mixed					
8	Cement	Bentonite	Water	Date	Time	Date	Time start	Time finish			
Weight (g)	4000	200	4000	21/15/2559	7:12	17/01/2560	16:15	16:45			
Ratio	20	1	20								
Record Results											
Viscosity	Before Mixing				After Mixing						
	1	2	3	Average	1	2	3	Average			
	41.57	41.49	43.34	42.13	ไม่สามารถหาได้						
Density	Before Setting				After Setting						
	Sample	Weight	Volume	Density	Sample	Weight	Volume	Density			
	1	756.94	500	1.51	1	471.9	306.5	1.54			
Setting Time											
Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Time Start	16:05	16:20	16:35	16:50	17:05	17:20	17:35	18:05	18:35	19:05	19:35
Time (min)	0	15	30	45	60	75	90	120	150	180	210
Mole (mm)	75.50	75.90	76.60	76.30	76.78	76.58	74.92	76.28	75.78	76.30	
Top to Sample (mm)	54.70	49.92	51.32	45.10	30.02	24.70	9.62	2.60	2.56	3.26	
percent (%)	100	72.45	65.77	67.00	59.11	39.10	32.25	12.84	3.41	3.38	4.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Cement Bentonite Mixed Design

No.	Material			Bentonite+Water		Mixed				
9	Cement	Bentonite	Water	Date	Time	Date	Time start	Time finish		
Weight (g)	50	200	4000	8/3/2560	16:30	9/3/2560	14:20	14:50		
Ratio	0.25	1	20							
Record Results										
Viscosity	Before Mixing				After Mixing					
	1	2	3	Average	1	2	3	Average		
	34.59	34.41	34.68	34.56	44.32	43.75	45.08	44.38		
Density	Before Setting				After Setting					
	Sample	Weight	Volume	Density	Sample	Weight	Volume	Density		
	1	509.52	500	1.02	1	-	-	-		
Setting Time										
Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Time Start	14:50	15:20	15:35	15:50	16:05	16:20	16:35	16:50	17:05	17:20
Time (min)	0	15	30	45	60	75	90	120	150	180
Mole (mm)	76.96	75.40	76.10	76.20	75.60	76.28	76.18	75.70	76.02	
Top to Sample (mm)	53.74	55.60	45.70	41.10	40.30	41.32	38.94	39.42	37.26	
percent (%)	100	69.83	73.74	60.05	53.94	53.31	54.17	51.12	52.07	49.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Cement Bentonite Mixed Design

No.	Material			Bentonite+Water		Mixed					
10	Cement	Bentonite	Water	Date	Time	Date	Time start	Time finish			
Weight (g)	100	200	4000	8/3/2560	16:00	25/01/2560	14:20	14:50			
Ratio	0.5	1	20								
Record Results											
Viscosity	Before Mixing				After Mixing						
	1	2	3	Average	1	2	3	Average			
	34.51	35.68	36.92	35.70	46.95	43.25	44.56	44.92			
Density	Before Setting				After Setting						
	Sample	Weight	Volume	Density	Sample	Weight	Volume	Density			
	1	511.98	500	1.02	1	306.15	282.42	1.08			
Setting Time											
Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Time Start	15;25	15;40	15;55	16;10	16;25	16;40	16;55	17;10	17;25	17;40	17;55
Time (min)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Mole (mm)	76.20	75.46	76.00	75.94	76.02	76.50	76.40	76.24	76.70	76.78	
Top to Sample (mm)	60.28	52.10	43.04	30.12	20.10	12.60	10.40	8.00	6.28	1.38	
percent (%)	100	79.11	69.04	56.63	39.66	26.44	16.47	13.61	10.49	8.19	1.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Cement Bentonite Mixed Design

No.	Material			Bentonite+Water		Mixed					
11	Cement	Bentonite	Water	Date	Time	Date	Time start	Time finish			
Weight (g)	150	200	4000	8/3/2560	16:00	25/01/2560	15;20	15;45			
Ratio	0.75	1	20								
Record Results											
Viscosity	Before Mixing				After Mixing						
	1	2	3	Average	1	2	3	Average			
	34	34.3	34.96	34.42	39.91	37.44	38.19	38.51			
Density	Before Setting				After Setting						
	Sample	Weight	Volume	Density	Sample	Weight	Volume	Density			
	1	512.05	500	1.02	1	317.67	302.68	1.05			
Setting Time											
Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Time Start	15;45	16;00	16;15	16;30	16;45	17;00	17;15	17;30	17;45	18;00	18;15
Time (min)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Mole (mm)	75.90	76.28	76.78	75.62	76.70	76.00	76.40	76.24	76.70	76.78	
Top to Sample (mm)	60.40	53.44	39.96	41.85	35.72	32.38	24.34	19.10	16.02	15.62	
percent (%)	100	79.58	70.06	52.04	55.34	46.57	42.61	31.86	25.05	20.89	20.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Cement Bentonite Mixed Design

No.	Material			Bentonite+Water		Mixed					
12	Cement	Bentonite	Water	Date	Time	Date	Time start	Time finish			
Weight (g)	200	200	4000	8/3/2560	16:50	9/3/2560	16:50	17:05			
Ratio	1	1	20								
Record Results											
Viscosity	Before Mixing				After Mixing						
	1	2	3	Average	1	2	3	Average			
	40.57	39.2	3.61	27.79	41.28	41.12	40.88	41.09			
Density	Before Setting				After Setting						
	Sample	Weight	Volume	Density	Sample	Weight	Volume	Density			
	1	526.95	500	1.05	1	327.86	312.41	1.05			
Setting Time											
Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Time Start	17:05	17:20	17:35	17:50	18:05	18:20	18:35	18:50	19:05	19:20	19:35
Time (min)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Mole (mm)	75.70	76.30	75.42	76.40	76.30	77.10	76.06	76.28	75.96	76.64	
Top to Sample (mm)	59.14	47.66	43.50	36.24	27.60	22.06	20.72	15.60	11.50	14.92	
percent (%)	100	78.12	62.46	57.68	47.43	36.17	28.61	27.24	20.45	15.14	19.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Cement Bentonite Mixed Design

No.	Material			Bentonite+Water		Mixed					
13	Cement	Bentonite	Water	Date	Time	Date	Time start	Time finish			
Weight (g)	300	200	4000	8/3/2560	16:30	9/3/2560	17:20	17:37			
Ratio	1.5	1	20								
Record Results											
Viscosity	Before Mixing				After Mixing						
	1	2	3	Average	1	2	3	Average			
	36.93	37.39	37.28	37.20	40.52	39.52	39.54	39.86			
Density	Before Setting				After Setting						
	Sample	Weight	Volume	Density	Sample	Weight	Volume	Density			
	1	526.52	500	1.05	1	329.68	309.19	1.07			
Setting Time											
Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Time Start	17:37	17:52	18:07	18:22	18:37	18:52	19:07	19:22	19:37	19:52	20:07
Time (min)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Mole (mm)	76.10	75.40	76.70	75.20	75.96	75.50	76.00	75.50	75.56	76.28	
Top to Sample (mm)	62.76	49.10	44.98	35.12	32.88	30.62	16.28	18.22	10.72	11.68	
percent (%)	100	82.47	65.12	58.64	46.70	43.29	40.56	21.42	24.13	14.19	15.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Cement Bentonite Mixed Design

No.	Material			Bentonite+Water		Mixed					
14	Cement	Bentonite	Water	Date	Time	Date	Time start	Time finish			
Weight (g)	400	200	4000	8/3/2560	16:40	9/3/2560	17:40	17:55			
Ratio	2	1	20								
Record Results											
Viscosity	Before Mixing				After Mixing						
	1	2	3	Average	1	2	3	Average			
	36.78	36.34	36	36.37	38.65	38.02	38.53	38.40			
Density	Before Setting				After Setting						
	Sample	Weight	Volume	Density	Sample	Weight	Volume	Density			
	1	531.61	500	1.06	1	334.13	310.56	1.08			
Setting Time											
Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Time Start	17:55	18:10	18:25	18:40	18:55	19:10	19:25	19:04	19:55	20:10	20:25
Time (min)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Mole (mm)	75.80	76.42	75.80	76.02	76.22	75.48	75.68	76.28	76.42	76.65	
Top to Sample (mm)	60.90	58.30	50.50	43.24	31.80	23.82	25.62	14.70	15.38	11.84	
percent (%)	100	80.34	76.29	66.62	56.88	41.72	31.56	33.85	19.27	20.13	15.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Cement Bentonite Mixed Design

No.	Material			Bentonite+Water		Mixed				
15	Cement	Bentonite	Water	Date	Time	Date	Time start	Time finish		
Weight (g)	25	100	4000	8/3/2560	17:00	9/3/2560	15:20	15:45		
Ratio	0.25	1	40							
Record Results										
Viscosity	Before Mixing				After Mixing					
	1	2	3	Average	1	2	3	Average		
	29.03	28.29	29.01	28.78	42.17	42.61	41.38	42.05		
Density	Before Setting				After Setting					
	Sample	Weight	Volume	Density	Sample	Weight	Volume	Density		
	1	499.81	500	1.00	1	0	0	0.00		
Setting Time										
Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Time Start	0:00									
Time (min)	0									
Mole (mm)										
Top to Sample (mm)										
percent (%)	0									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Cement Bentonite Mixed Design

No.	Material			Bentonite+Water		Mixed				
16	Cement	Bentonite	Water	Date	Time	Date	Time start	Time finish		
Weight (g)	50	100	4000	8/3/2560	16:40	9/3/2560	17:40	17:55		
Ratio	0.5	1	40							
Record Results										
Viscosity	Before Mixing				After Mixing					
	1	2	3	Average	1	2	3	Average		
	28.44	28.94	29.02	28.80	43.89	41.12	39.97	41.66		
Density	Before Setting				After Setting					
	Sample	Weight	Volume	Density	Sample	Weight	Volume	Density		
	1	500.37	500	1.00	1	0	0	0.00		
Setting Time										
Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Time Start										
Time (min)										
Mole (mm)										
Top to Sample (mm)										
percent (%)										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Cement Bentonite Mixed Design

No.	Material			Bentonite+Water		Mixed					
17	Cement	Bentonite	Water	Date	Time	Date	Time start	Time finish			
Weight (g)	100	100	4000	20/03/2560	16:40	22/03/2560	16:20	16:40			
Ratio	1	1	40								
Record Results											
Viscosity	Before Mixing				After Mixing						
	1	2	3	Average	1	2	3	Average			
	36.78	36.34	36	36.37	38.65	38.02	38.53	38.40			
Density	Before Setting				After Setting						
	Sample	Weight	Volume	Density	Sample	Weight	Volume	Density			
	1	501.62	500	1.00	1	0	0	0.00			
Setting Time											
Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Time Start	16:40	16:55	17:10	17:25	17:40	17:55	18:10	18:25	18:40	18:55	19:10
Time (min)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Mole (mm)	75.84	76.35	76.40	76.00	76.76	76.30	75.90	75.05	75.80	75.75	
Top to Sample (mm)	68.00	71.00	68.75	69.65	69.35	66.25	73.35	73.25	66.35	62.00	
percent (%)	100	89.66	92.99	89.99	91.64	90.35	86.83	96.64	97.60	87.53	81.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Cement Bentonite Mixed Design

No.	Material			Bentonite+Water		Mixed				
18	Cement	Bentonite	Water	Date	Time	Date	Time start	Time finish		
Weight (g)	150	100	4000	1/4/2560	16:40	3/4/2560	14:20	14:45		
Ratio	1.5	1	40							
Record Results										
Viscosity	Before Mixing				After Mixing					
	1	2	3	Average	1	2	3	Average		
	28.37	28.84	29	28.74	30.1	30.39	29.97	30.15		
Density	Before Setting				After Setting					
	Sample	Weight	Volume	Density	Sample	Weight	Volume	Density		
	1	513.49	500	1.03	1	0	1	0.00		
Setting Time										
Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Time Start	14:45	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	
Time (min)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	
Mole (mm)	75.95	75.45	76.35	76.10	76.50	75.90	75.40	75.75		
Top to Sample (mm)	73.10	67.15	67.90	64.25	63.00	63.25	67.35	61.20		
percent (%)	100	96.25	89.00	88.93	84.43	82.35	83.33	89.32	80.79	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Cement Bentonite Mixed Design

No.	Material			Bentonite+Water		Mixed				
19	Cement	Bentonite	Water	Date	Time	Date	Time start	Time finish		
Weight (g)	200	100	4000	1/4/2560	16:50	3/4/2560	14:45	15:00		
Ratio	2	1	40							
Record Results										
Viscosity	Before Mixing				After Mixing					
	1	2	3	Average	1	2	3	Average		
	28.5	28.92	28.54	28.65	30.07	30.24	30.42	30.24		
Density	Before Setting				After Setting					
	Sample	Weight	Volume	Density	Sample	Weight	Volume	Density		
	1	527.34	500	1.05	1	0	0	0.00		
Setting Time										
Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Time Start	15:00	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45		
Time (min)	0	15	30	45	60	75	90	105		
Mole (mm)	75.40	75.90	75.90	75.35	76.10	75.75	75.00			
Top to Sample (mm)	70.55	70.85	70.35	67.95	67.40	58.85	60.50			
percent (%)	100	93.57	93.35	92.69	90.18	88.57	77.69	80.67		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cement Bentonite Mixed Design											
No.	Material			Bentonite+Water		Mixed					
20	Cement	Bentonite	Water	Date	Time	Date	Time start	Time finish			
Weight (g)	400	100	4000	3/5/2560	0:00	5/4/2560	15:20	15:40			
Ratio	4	1	40								
Record Results											
Viscosity	Before Mixing				After Mixing						
	1	2	3	Average	1	2	3	Average			
	28.81	28.1	28.64	28.52	30.92	30.95	30.28	30.72			
Density	Before Setting				After Setting						
	Sample	Weight	Volume	Density	Sample	Weight	Volume	Density			
	1	527.13	500	1.05	1	310.19	298.26	1.04			
Setting Time											
Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Time Start	15:40	15:55	16:10	16:25	16:40	16:55	17:10	17:25	17:40	17:55	18:10
Time (min)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Mole (mm)	75.95	76.15	76.70	76.60	75.90	76.45	75.30	75.75	75.26	76.20	
Top to Sample (mm)	67.35	66.25	60.50	59.75	57.10	57.20	53.80	45.75	48.45	42.45	
percent (%)	100	88.68	87.00	78.88	78.00	75.23	74.82	71.45	60.40	64.38	55.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Cement Bentonite Mixed Design

No.	Material			Bentonite+Water		Mixed					
21	Cement	Bentonite	Water	Date	Time	Date	Time start	Time finish			
Weight (g)	500	100	4000	8/3/2560	16:50	22/3/2560	16:50	17:05			
Ratio	5	1	40								
Record Results											
Viscosity	Before Mixing				After Mixing						
	1	2	3	Average	1	2	3	Average			
	27.83	28.74	27.97	28.18	29.98	30.33	29.57	29.96			
Density	Before Setting				After Setting						
	Sample	Weight	Volume	Density	Sample	Weight	Volume	Density			
	1	539.07	500	1.08	1	317.39	302.27	1.05			
Setting Time											
Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Time Start	17:05	17:20	17:35	17:50	18:05	18:20	18:35	18:50	19:05	19:20	19:35
Time (min)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Mole (mm)	76.35	76.35	76.20	76.95	76.20	75.80	75.50	75.50	74.95	76.00	
Top to Sample (mm)	70.30	68.95	65.25	60.90	61.10	57.55	53.45	52.30	45.10	49.90	
percent (%)	100	92.08	90.31	85.63	79.14	80.18	75.92	70.79	69.27	60.17	65.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Cement Bentonite Mixed Design

No.	Material			Bentonite+Water		Mixed					
22	Cement	Bentonite	Water	Date	Time	Date	Time start	Time finish			
Weight (g)	800	100	4000	2/4/2560	18:35	4/4/2560	15:40	15:45			
Ratio	8	1	40								
Record Results											
Viscosity	Before Mixing				After Mixing						
	1	2	3	Average	1	2	3	Average			
	28.72	28.41	29.02	28.72	31.41	31.18	30.25	30.95			
Density	Before Setting				After Setting						
	Sample	Weight	Volume	Density	Sample	Weight	Volume	Density			
	1	548.85	500	1.10	1	318.39	300.37	1.06			
Setting Time											
Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Time Start	15;45	16;00	16;15	16;30	16;45	17;00	17;15	17;30	17;45	18;00	18;15
Time (min)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Mole (mm)	75.55	76.60	75.60	76.00	76.50	75.75	76.00	76.30	76.30	75.90	
Top to Sample (mm)	69.50	63.90	63.30	60.60	59.43	57.35	54.70	53.45	48.30	40.25	
percent (%)	100	91.99	83.42	83.73	79.74	77.69	75.71	71.97	70.05	63.30	53.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Cement Bentonite Mixed Design

No.	Material			Bentonite+Water		Mixed					
23	Cement	Bentonite	Water	Date	Time	Date	Time start	Time finish			
Weight (g)	1000	100	4000	5/4/2560	19:20	6/4/2560	17:20	17:35			
Ratio	10	1	40								
Record Results											
Viscosity	Before Mixing				After Mixing						
	1	2	3	Average	1	2	3	Average			
	27.45	27.64	28.1	27.73	31.24	31.14	31.87	31.42			
Density	Before Setting				After Setting						
	Sample	Weight	Volume	Density	Sample	Weight	Volume	Density			
	1	566.82	500	1.13	1	338.1	294.92	1.15			
Setting Time											
Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Time Start	17:35	17:50	18:05	18:20	18:35	18:50	19:05	19:20	19:35	19:50	20:05
Time (min)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Mole (mm)	76.00	75.75	76.60	75.95	76.45	76.60	75.60	76.00	76.10	76.00	
Top to Sample (mm)	72.05	62.80	62.20	53.55	52.50	53.85	45.50	43.50	44.90	42.00	
percent (%)	100	94.80	82.90	81.20	70.51	68.67	70.30	60.19	57.24	59.00	55.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Cement Bentonite Mixed Design

No.	Material			Bentonite+Water		Mixed					
24	Cement	Bentonite	Water	Date	Time	Date	Time start	Time finish			
Weight (g)	1250	100	4000	5/4/2560	19:15	6/4/2560	16:00	16:15			
Ratio	12.5	1	40								
Record Results											
Viscosity	Before Mixing				After Mixing						
	1	2	3	Average	1	2	3	Average			
	28.34	27.63	27.96	27.98	32.25	31.12	31.35	31.57			
Density	Before Setting				After Setting						
	Sample	Weight	Volume	Density	Sample	Weight	Volume	Density			
	1	586.98	500	1.17	1	324.19	298.91	1.08			
Setting Time											
Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Time Start	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45	18:00	18:15	18:30	18:45
Time (min)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Mole (mm)	76.35	76.40	75.75	76.90	76.35	76.25	75.55	75.25	76.30	75.40	
Top to Sample (mm)	68.72	60.25	62.35	54.40	56.54	51.45	50.75	45.70	46.60	39.55	
percent (%)	100	90.01	78.86	82.31	70.74	74.05	67.48	67.17	60.73	61.07	52.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cement Bentonite Mixed Design											
No.	Material			Bentonite+Water		Mixed					
25	Cement	Bentonite	Water	Date	Time	Date	Time start	Time finish			
Weight (g)	1500	100	4000	5/4/2560	18:55	6/4/2560	17:45	18:00			
Ratio	15	1	40								
Record Results											
Viscosity	Before Mixing				After Mixing						
	1	2	3	Average	1	2	3	Average			
	27.75	27.65	27.7	27.70	33.59	34.31	33.79	33.90			
Density	Before Setting				After Setting						
	Sample	Weight	Volume	Density	Sample	Weight	Volume	Density			
	1	601.88	500	1.20	1	354.74	310.16	1.14			
Setting Time											
Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Time Start	18:00	18:15	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00	20:15	20:30
Time (min)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Mole (mm)	76.70	75.30	75.50	76.40	76.10	76.85	75.75	75.80	76.15	75.50	
Top to Sample (mm)	70.05	64.55	57.45	56.10	52.00	49.40	45.40	41.60	40.65	44.55	
percent (%)	100	91.33	85.72	76.09	73.43	68.33	64.28	59.93	54.88	53.38	59.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Cement Bentonite Mixed Design

No.	Material			Bentonite+Water		Mixed					
26	Cement	Bentonite	Water	Date	Time	Date	Time start	Time finish			
Weight (g)	1750	100	4000	5/4/2560	18:45	6/4/2560	15:45	16:00			
Ratio	17.5	1	40								
Record Results											
Viscosity	Before Mixing				After Mixing						
	1	2	3	Average	1	2	3	Average			
	28.35	27.96	28.24	28.18	31.28	30.98	30.59	30.95			
Density	Before Setting				After Setting						
	Sample	Weight	Volume	Density	Sample	Weight	Volume	Density			
	1	600.33	500	1.20	1	366.7	334.3	1.10			
Setting Time											
Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Time Start	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45	18:00	18:15	18:30
Time (min)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Mole (mm)	75.25	76.35	76.15	75.55	76.35	76.35	75.60	76.60	76.00	75.00	
Top to Sample (mm)	67.10	69.15	66.10	64.00	58.05	56.80	53.50	54.80	45.70	44.50	
percent (%)	100	89.17	90.57	86.80	84.71	76.03	74.39	70.77	71.54	60.13	59.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cement Bentonite Mixed Design											
No.	Material			Bentonite+Water		Mixed					
27	Cement	Bentonite	Water	Date	Time	Date	Time start	Time finish			
Weight (g)	2000	100	4000	7/4/2560	15:45	8/4/2560	18:00	18:30			
Ratio	20	1	40								
Record Results											
Viscosity	Before Mixing				After Mixing						
	1	2	3	Average	1	2	3	Average			
	27.53	28.19	27.89	27.87	32.65	33.07	33.02	32.91			
Density	Before Setting				After Setting						
	Sample	Weight	Volume	Density	Sample	Weight	Volume	Density			
	1	623.01	500	1.25	1	370.88	299.27	1.24			
Setting Time											
Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Time Start	18:30	18:45	19:00	19:15	19:30	19:45	20:00	20:15	20:30	20:45	21:00
Time (min)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Mole (mm)	76.50	75.55	75.60	76.00	75.70	76.60	76.40	75.75	75.75	75.05	
Top to Sample (mm)	73.45	67.75	57.00	53.35	52.10	49.00	51.10	45.35	47.20	46.45	
percent (%)	100	96.01	89.68	75.40	70.20	68.82	63.97	66.88	59.87	62.31	61.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cement Bentonite Mixed Design											
No.	Material			Bentonite+Water		Mixed					
28	Cement	Bentonite	Water	Date	Time	Date	Time start	Time finish			
Weight (g)	2500	100	4000	7/4/2560	14:50	8/4/2560	15:00	15:15			
Ratio	25	1	40								
Record Results											
Viscosity	Before Mixing				After Mixing						
	1	2	3	Average	1	2	3	Average			
	28.45	28.14	27.89	28.16	33.43	33.29	32.79	33.17			
Density	Before Setting				After Setting						
	Sample	Weight	Volume	Density	Sample	Weight	Volume	Density			
	1	655.72	500	1.31	1	386.4	309.89	1.25			
Setting Time											
Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Time Start	15:15	15:30	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45
Time (min)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Mole (mm)	75.90	76.60	75.95	76.65	76.00	76.10	76.35	75.95	75.55	76.35	
Top to Sample (mm)	64.50	63.45	59.40	55.05	59.45	53.05	51.30	48.90	40.70	42.40	
percent (%)	100	84.98	82.83	78.21	71.82	78.22	69.71	67.19	64.38	53.87	55.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cement Bentonite Mixed Design											
No.	Material			Bentonite+Water		Mixed					
29	Cement	Bentonite	Water	Date	Time	Date	Time start	Time finish			
Weight (g)	3000	100	4000	7/4/2560	16:30	8/4/2560	15:20	15:45			
Ratio	30	1	40								
Record Results											
Viscosity	Before Mixing				After Mixing						
	1	2	3	Average	1	2	3	Average			
	28.31	28.26	27.95	28.17	34.55	34.13	33.92	34.20			
Density	Before Setting				After Setting						
	Sample	Weight	Volume	Density	Sample	Weight	Volume	Density			
	1	673.26	500	1.35	1	416.63	312.96	1.33			
Setting Time											
Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Time Start	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45	18:00	18:15
Time (min)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Mole (mm)	75.75	76.15	75.60	75.80	75.70	75.90	75.95	75.50	76.65	76.80	
Top to Sample (mm)	58.65	59.70	54.10	58.55	56.40	55.25	50.75	45.45	43.00	26.60	
percent (%)	100	77.43	78.40	71.56	77.24	74.50	72.79	66.82	60.20	56.10	34.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Cement Bentonite Mixed Design

No.	Material			Bentonite+Water		Mixed				
30	Cement	Bentonite	Water	Date	Time	Date	Time start	Time finish		
Weight (g)	250	100	4000	2/4/2560	15:40	3/4/2560	15:20	15:45		
Ratio	2.5	1	40							
Record Results										
Viscosity	Before Mixing				After Mixing					
	1	2	3	Average	1	2	3	Average		
	28.85	28.73	28.56	28.71	30.45	30.87	30.9	30.74		
Density	Before Setting				After Setting					
	Sample	Weight	Volume	Density	Sample	Weight	Volume	Density		
	1	532.16	500	1.06	1	0	1	0.00		
Setting Time										
Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Time Start	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30		
Time (min)	0	15	30	45	60	75	90	105		
Mole (mm)	75.35	76.25	75.70	76.20	76.45	75.55	75.95			
Top to Sample (mm)	70.05	68.35	62.00	64.00	64.65	59.10	60.85			
percent (%)	100	92.97	89.64	81.90	83.99	84.57	78.23	80.12		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Cement Bentonite Mixed Design

No.	Material			Bentonite+Water		Mixed					
31	Cement	Bentonite	Water	Date	Time	Date	Time start	Time finish			
Weight (g)	3500	100	4000	8/4/2560	15:45	9/4/2560	15:20	15:45			
Ratio	35	1	40								
Record Results											
Viscosity	Before Mixing				After Mixing						
	1	2	3	Average	1	2	3	Average			
	28.52	28.46	29.12	28.70	36.96	37.03	37.2	37.06			
Density	Before Setting				After Setting						
	Sample	Weight	Volume	Density	Sample	Weight	Volume	Density			
	1	702.8	500	1.41	1	416	313	1.33			
Setting Time											
Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Time Start	15:45	16:00	16:15	16:30	16:45	17:00	17:15	17:30	17:45	18:00	18:15
Time (min)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Mole (mm)	76.30	76.65	75.25	76.30	76.45	75.30	76.10	75.80	75.35	76.80	
Top to Sample (mm)	64.65	60.50	60.05	53.70	54.10	45.10	41.15	37.30	34.89	23.45	
percent (%)	100	84.73	78.93	79.80	70.38	70.77	59.89	54.07	49.21	46.30	30.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Cement Bentonite Mixed Design

No.	Material			Bentonite+Water		Mixed					
32	Cement	Bentonite	Water	Date	Time	Date	Time start	Time finish			
Weight (g)	4000	100	4000	8/4/2560	16:00	9/4/2560	17:20	17:35			
Ratio	40	1	40								
Record Results											
Viscosity	Before Mixing				After Mixing						
	1	2	3	Average	1	2	3	Average			
	28.34	28.58	28.49	28.47	37.86	37.78	38.01	37.88			
Density	Before Setting				After Setting						
	Sample	Weight	Volume	Density	Sample	Weight	Volume	Density			
	1	733.42	500	1.47	1	436.31	302.76	1.44			
Setting Time											
Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Time Start	17:35	17:50	18:05	18:20	18:35	18:50	19:05	19:20	19:35	19:50	20:05
Time (min)	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
Mole (mm)	76.10	76.00	75.40	75.90	75.40	76.20	75.80	75.80	76.00	75.55	
Top to Sample (mm)	58.35	58.50	54.40	57.95	51.15	42.40	39.95	35.25	12.30	10.30	
percent (%)	100	76.68	76.97	72.15	76.35	67.84	55.64	52.70	46.50	16.18	13.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้