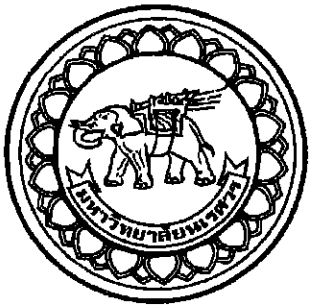


การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบ ด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Improvement in engineering properties of loess using the mixtures of marble dust waste and sugarcane baggash ash waste

นายพงศ์พันธุ์ ปวงนคร รหัส 54361329

นายกิตติธัช รอดพานิชย์ รหัส 54361220

นายวีระชัย โกวิทวรพงศ์ รหัส 54361381

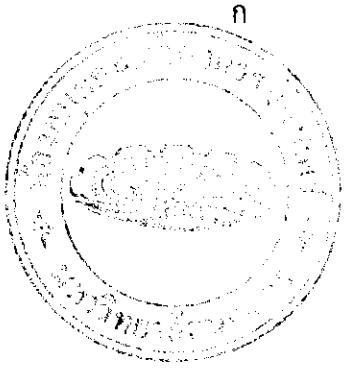
ห้องสมุดกลาง มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันที่รับ 30 ก.ย. 2558
เลขทะเบียน 1691924
เลขเรียกหนังสือ ปร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร W132 ว1 2557

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2557



ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

ผู้ดำเนินโครงงาน

นายพงศ์พันธุ์ ปวงนคร	รหัส	54361329
นายกิตติธัช รอดพานิชย์	รหัส	54361220
นายวีระชัย โกวิทวรพงศ์	รหัส	54361381

ที่ปรึกษาโครงงาน ดร.พงษ์ธร จุฬพันธ์ทอง

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ภาควิชา วิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2557

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(ดร.พงษ์ธร จุฬพันธ์ทอง)

.....กรรมการ

(ผศ.ดร.สสิกรณณ์ เหลืองวิชชเจริญ)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายพงศ์พันธุ์ ปวงนคร รหัส 54361329
	นายกิตติธัช รอดพานิชย์ รหัส 54361220
	นายวีระชัย โกวิทวรพงศ์ รหัส 54361381
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร.พงษ์ธร จุฬพันธ์ทอง
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา	2557

.....

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์หลักของการศึกษาครั้งนี้คือการตรวจสอบความเป็นไปได้ของการใช้ฝุ่นหินอ่อนเผาและเถ้าชานอ้อยที่บดละเอียดมาใช้เพื่อเป็นสารเชื่อมประสานสำหรับพัฒนาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบ ดินลมหอบมีการกระจายทั่วพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ดินชนิดนี้มีความสามารถในการรับแรงสูงในสภาพแห้ง แต่ความสามารถในการรับแรงของดินจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อปริมาณความชื้นในดินสูงขึ้น ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการนำดินชนิดนี้ไปใช้ในการก่อสร้าง การศึกษาได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเกี่ยวข้องกับการศึกษาการสังเคราะห์วัสดุประสานจากฝุ่นหินอ่อนเผาและเถ้าชานอ้อยบดละเอียด ในส่วนที่สองมุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณสมบัติของดินลมหอบ ซึ่งประกอบไปด้วยการศึกษาผลของวัสดุเชื่อมประสานต่อคุณสมบัติพื้นฐานของดินที่ปรับปรุงคุณสมบัติแล้วและการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกล อัตราส่วนของสารปรับปรุงคุณสมบัติที่มีการศึกษาอยู่ในช่วงระหว่าง 0-25 % โดยน้ำหนัก คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของดินลมหอบ ฝุ่นหินอ่อนเผา และเถ้าชานอ้อย ศึกษาโดยการใช้เทคนิค X-ray diffraction, X-ray fluorescence, Thermogravimetric Analysis และDifferential Thermal Analysis หลังจากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงคุณสมบัติของดินแล้ว นำเถ้าชานอ้อยและฝุ่นหินอ่อนซึ่งเผาที่ 1000 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงผสมกันด้วยอัตราส่วน 1: 1 เพื่อนำไปใช้ปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบ หลังจากทำการทดสอบพบว่าขีดจำกัดเหลว(LL)ของดินมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนสารปรับปรุงคุณสมบัติ ค่าความชื้นที่เหมาะสม(OMC)มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นในขณะที่ความหนาแน่นแห้งสูงสุดมีค่าลดลง เมื่อสารปรับปรุงคุณสมบัติเพิ่มขึ้น สารปรับปรุงคุณสมบัติที่ 25% ค่าแคลิฟอร์เนียแบริ่งเรโช(CBR) มีอัตราส่วนเพิ่มขึ้นประมาณ 874% ค่าความเค้นสูงสุด(UCS)ที่ปรับปรุงคุณสมบัติโดยการเพิ่มขึ้นของสารปรับปรุงคุณสมบัติที่ 25% ที่ระยะเวลาการบ่ม 50 วันพบว่าเพิ่มขึ้นประมาณ 4915%

Project title	Improvement in engineering properties of loess using the mixtures of marble dust waste and sugarcane baggash ash waste
Name	Mr. Phongphan Puangnakorn ID. 54361329
	Mr. Kittitach Rodpanit ID. 54361220
	Mr. Weerachai Kowitworraphong ID. 54361381
Project advisor	Dr. Phongthorn Julphunthong
Major	Civil Engineering
Department	Civil Engineering
Academic year	2014

.....

Abstract

The main objective of this study was to investigate the posibility of utilizing calcined marble dust waste and sugarcane bagasse ash waste as the chemical stabilizer for loses. Loess is widely distributed throughout the northeast area of Thailand. This soil type has a large loss of shear strength and a significant increase in compressibility upon wetting, which are obstructive behaviors for construction material. The study was divided into two sections. The first section dealt with the study of synthesizing cementitious materials from calcined marble dust waste and sugarcane bagasse ash waste. The second section focus on studying the stabilization for loess. This consisted of observing the effect of stabilizer on the basic properties of soil-stabilizer mixture and the improvement in its mechanical properties. The additive ratios of stabilizer which were studied were between 0-25percent by weight. The physical and chemical properties of loess, calcined marble dust waste and sugarcane bagasse ash waste were studied by X-ray diffraction, X-ray fruorescence, thermogravimetric analyzer, differential thermal analysis, laser diffraction particle size analyzer, Brunauer, Emmett, and Teller, transmission electron microscope and scanning electron microscope analytical techniques. After analyzing the physical and chemical properties of the stabilizing materails, the sugarcane bagasse ash waste and the marble dustwaste which was calcined at 1000 °C for 2 h, mixed with the ratio of 1:1, and then serected as the stabilizer for less improvement. It was found that the

liquid limit of the treated soils had been increased with the percentage increase of stabilizer. The optimum moisture content tended to increase while the maximum dry density was reduce. This corresponded to an increasing of the stabilizer fraction. By adding stabilizer at 25% the unsoaked California bearing-ratio were increased by about 874%, respectively. Unconfined compressive strength of specemens with 25% stabilizer were increased by about 4915%, at 50 day of curing time.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เพราะได้ความอนุเคราะห์จากหลายๆบริษัทและท่านอาจารย์ผู้เชี่ยวชาญ ทั้งนี้ผู้จัดทำขอบขอบคุณ บริษัทน้ำตาลพิษณุโลก ที่ให้ความอนุเคราะห์เถ้าชานอ้อย บริษัทศิลากำแพงเพชร ที่ให้ความอนุเคราะห์ฝุ่นหินอ่อนขอบคุณ ดร.ทนงค์ศักดิ์ โนไชยา ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้คำแนะนำในการวิเคราะห์สมบัติเชิงเคมี-ฟิสิกส์ ของวัสดุ และขอบคุณดร.พงษ์ธร จุฬพันธ์ทอง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่ให้ความรู้ คำปรึกษา ตรวจสอบแก้ไข และคำแนะนำในการแก้ไขปัญหา รวมไปถึงคำชี้แนะในขั้นตอนการทำงานจนโครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
นายพงศ์พันธุ์ ปวงนคร
นายกิตติธัช รอดพานิชย์
นายวีระชัย โกวิทวรพงศ์
พฤษภาคม 2558

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ก
บทคัดย่อภาษาไทย ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ค
กิตติกรรมประกาศ จ
สารบัญ ฉ
สารบัญตาราง ช
สารบัญรูป ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
1.4 ขอบเขตการทำโครงงาน 2
1.5 ขั้นตอนในการทำโครงการ 2
1.6 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ 3
1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน 4

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี 5
2.1 ดินลมหอบ 5
2.2 เถ้าชานอ้อย 8
2.3 ฝุ่นหินอ่อน 10
2.4 ทฤษฎีและหลักการที่ใช้ในการทดลอง 11
2.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุเชื่อมประสาน 24
2.6 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย 27

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการทดลอง 32
3.1 มาตรฐานที่ใช้อ้างอิง 32
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 33
3.3 วัสดุที่ใช้ในการทดลอบ 35
3.4 วิธีการทดลอง 36

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ 46
4.1 การวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพของวัตถุดิบ 46
4.2 ปฏิกิริยาเคมีของฝุ่นหินอ่อน (MDW) 50
4.3 ผลการทดลองสมบัติทางวิศวกรรมของ CMDW 1000 ร่วมกับ SBAW 52

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย 58

บรรณานุกรม 59
ภาคผนวก 61

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงคุณสมบัติของดินลมหอบสีแดง 7

2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อย 9

2.3 แสดงความถ่วงจำเพาะของดิน 12

2.4 แสดงค่าตัวแปรปรับแก้ 13

2.5 ลักษณะของดินที่มีขนาดคละกันดี 17

2.6 วิธีการบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test) 20

2.7 วิธีการบดอัดแบบมาตรฐาน (Modified Proctor Test) 21

2.8 แสดงค่าหน่วยน้ำหนักมาตรฐานของหินคลุกบดอัดแน่นที่ระยะจมตัวต่างๆ 22

3.1 ปริมาณของตัวอย่างดินที่จะนำมาทดสอบโดยขึ้นอยู่กับขนาดเม็ดดินใหญ่สุด 38

4.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมี (%โดยมวล) ของดินลมหอบ, ฝุ่นหินอ่อน (MDW) และเถ้าชานอ้อย (SBAW) 46

4.2 แสดงค่าคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ ของดินลมหอบ ฝุ่นหินอ่อน และเถ้าชานอ้อย 48

4.3 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดต่างๆที่ใช้ในการทดลอง 52

4.4 แสดงขีดจำกัดของอัตเตอร์เบอร์ก 53

4.5 Optimum Water Content (%), Maximum Dry Density (g/cm³) 54

4.6 แสดงค่ากำลัง Stress กับ% Stabilizer 55

4.7 แสดงค่าค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดที่ระยะเวลาการบ่มที่แตกต่างกัน 56

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ดินลมหอบสีแดงที่พบมากในภาคอีสานตอนบน 5
2.2 แผนที่แสดงการปกคลุมของดินลมหอบ 6
2.3 การกระจายตัวของเม็ดดินลมหอบสีแดง 7
2.4 การวิเคราะห์ขนาดการทรุดตัวจากการทดสอบการทรุดตัวซ้ำ 8
2.5 แสดงลักษณะทางกายภาพของฝุ่นหินอ่อน 10
2.6 แสดงเส้นกราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน 16
2.7 แสดงดินที่มีขนาดคละกันดี 17
2.8 แสดงดินที่มีขนาดเม็ดสม่ำเสมอ 17
2.9 แสดงดินที่มีขนาดเม็ดขาดช่วง 17
4.1 แสดงรูปแบบของผลึกที่ได้จากการยิงรังสี XRD ของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง 47
4.2 แสดงเส้นโค้งการกระจายของขนาดอนุภาคของวัสดุ 48
4.3 แสดงการใช้ TEM micrographs ของดินลมหอบ 49
4.4 แสดง SEM photographs ของ MDW ที่การเผาที่อุณหภูมิต่างๆ 49
4.5 TGA-DTA curves ของฝุ่นหินอ่อน 50
4.6 แสดงให้เห็นถึงรูปแบบ XRD ของผงหินอ่อนดิบและผงหินอ่อนที่เผาแล้ว 52
4.7 กราฟแสดงขนาดของดินลมหอบ เถ้าซานอ้อย และฝุ่นหินอ่อน 53
4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Water Content (%) กับ Dry Density (g/cm^3) 54
4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับPenetrationที่ % Stabilizerต่างๆ 55
4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % C.B.R ที่ % Stabilizerต่างๆ 56
4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า USC ที่ % Stabilizerต่างๆ 57

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ดินลอมหอบ (Loess) เป็นดินซึ่งเกิดจากการกัดเซาะโดยลม จากการตรวจสอบพบว่าดินลมหอบกระจายอยู่มากถึงหนึ่งในสามของพื้นที่ประเทศไทยโดยเฉพาะทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ การศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบพบว่าดินชนิดนี้มีความสามารถในการรับแรงสูงในสภาพแห้ง แต่ความสามารถในการรับแรงของดินจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อปริมาณความชื้นในดินสูงขึ้น ซึ่งการนำดินลมหอบมาเป็นวัสดุก่อสร้างโดยเฉพาะวัสดุพื้นทางจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติของดินลมหอบโดยใช้สารเชื่อมประสานซึ่งโดยทั่วไปนิยมใช้ซีเมนต์เป็นสารปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน อย่างไรก็ตามการใช้ซีเมนต์เป็นสารเชื่อมประสานส่งผลให้ต้นทุนการก่อสร้างเพิ่มขึ้นและส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาวัสดุปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบทดแทนซีเมนต์ โดยมุ่งเน้นการใช้วัสดุที่เป็นกากจากภาคอุตสาหกรรม ซึ่งจากการค้นคว้าพบว่าเถ้าชานอ้อยเป็นของเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตน้ำตาลที่ได้จากการเผาชานอ้อยเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ภายในโรงงานซึ่งจะได้เถ้าชานอ้อยหลังจากการเผาเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าประมาณ 427,700 ตันต่อปีโดยเถ้าชานอ้อยดังกล่าวนำมาใช้เพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณที่ได้ จึงต้องใช้พื้นที่ในการจัดทิ้งเป็นบริเวณกว้างและรอบๆบริเวณพื้นที่จัดทิ้งยังได้รับผลกระทบจากฝุ่นละอองของเถ้าชานอ้อยอีกด้วย[1] ผู้จัดทำจึงเลือกเถ้าชานอ้อยมาเป็นวัสดุเชื่อมประสาน ซึ่งการนำเถ้าชานอ้อยไปเป็นวัสดุเชื่อมประสานร่วมกับฝุ่นหินอ่อนที่เกิดจากอุตสาหกรรมการผลิตหินอ่อนที่มีปริมาณมากและไม่มีการนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ยังไม่เคยมีการค้นคว้าวิจัย ผู้จัดทำจึงสนใจที่จะทำการค้นคว้าโดยแบ่งหัวข้อในการศึกษาเป็น 2 หัวข้อดังนี้ 1.ศึกษาคุณสมบัติและปฏิกิริยาทางเคมีของฝุ่นหินอ่อนและเถ้าชานอ้อย โดยคาดว่าเมื่อนำฝุ่นหินอ่อนซึ่งมีสารประกอบทางเคมีคือ $CaCO_3$ ไปทำการเผาที่อุณหภูมิสูงได้ CaO และเถ้าชานอ้อยซึ่งมีสารประกอบทางเคมีคือ SiO_2 มาทำปฏิกิริยาร่วมกันผลที่ได้คือ CSHเจล ซึ่งเหมือนกับสารเชื่อมประสานที่เกิดในซีเมนต์ แสดงว่าวัสดุทั้งสองชนิดนี้เมื่อเกิดปฏิกิริยาร่วมกันจะมีคุณสมบัติการเชื่อมประสานเช่นเดียวกับซีเมนต์ 2.ศึกษาสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบเมื่อทำการปรับปรุงคุณสมบัติแล้ว ซึ่งจะทำการทดสอบทั้งหมด 6 การทดสอบได้แก่ การหาค่าความถ่วงจำเพาะ การหาขนาดของเม็ดดินโดยวิธีใช้ตะแกรงมาตรฐานและวิธีไฮโดรมิเตอร์ การหาขีดจำกัดของอัตเตอร์เบอร์ก การบดอัดดิน การหาค่า ซีบีอาร์ และการทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด โดยเลือกที่จะใช้ส่วนผสมฝุ่นหินอ่อน – เถ้าชานอ้อยในอัตราส่วน 1:1 และใช้ส่วนผสมที่ผสมเพิ่มในดินลมหอบในอัตราส่วนระหว่าง 0-25% โดยน้ำหนักโดยคาดว่าจะสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินได้ และเมื่อเราเลือกวัสดุที่เป็นกากจากภาคอุตสาหกรรมจึงทำให้เป็นการลดต้นทุนในการก่อสร้างและช่วยลดมลพิษที่เกิดกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาสมบัติเชิงเคมี-ฟิสิกส์ของดินลอมหอบ ฝุ่นหินอ่อน และเถ้าชานอ้อย

1.2.2 เพื่อศึกษาแนวทางการปรับปรุงคุณสมบัติ ฝุ่นหินอ่อนและเถ้าชานอ้อยเพื่อเป็นวัสดุเชื่อมประสาน

1.2.3 เพื่อศึกษาผลของวัสดุผสมฝุ่นหินอ่อน-เถ้าชานอ้อยต่อสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบที่ทำการปรับปรุง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้รับทราบถึงสมบัติเชิงเคมี-ฟิสิกส์ของดินลอมหอบ-ฝุ่นหินอ่อน-เถ้าชานอ้อย

1.3.2 ได้รับทราบถึงแนวทางการปรับปรุงคุณสมบัติฝุ่นหินอ่อนและเถ้าชานอ้อยเพื่อเป็นวัสดุเชื่อมประสาน

1.3.3 ได้รับทราบถึงผลของวัสดุผสมฝุ่นหินอ่อน-เถ้าชานอ้อยต่อสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบที่ทำการปรับปรุง

1.4 ขอบเขตการทำโครงงาน

ทำการศึกษาโดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1.เคมีฟิสิกส์ของวัสดุ ได้แก่

- XRD
- TGA-DTA
- XRF
- SEM
- PSA

2.สมบัติเชิงวิศวกรรม

- การทดสอบการหาค่าความถ่วงจำเพาะ
- การทดสอบหาขนาดของเม็ดดินโดยใช้ตะแกรงมาตรฐานและโดยไฮโดรมิเตอร์
- ทดสอบการหาขีดจำกัดของอัตเตอร์เบอร์ก
- ทดสอบการบดอัดดิน
- ทดสอบการหาค่า ซี.บี.อาร์
- ทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด

โดยเลือกที่จะใช้ส่วนผสมฝุ่นหินอ่อน – เถ้าชานอ้อยในอัตราส่วน 1:1 และใช้ส่วนผสมที่ผสมเพิ่มในดินลมหอบในอัตราส่วนระหว่าง 0-25% โดยน้ำหนัก

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 เตรียมวัสดุและอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการทดสอบ

1.5.2 ศึกษาคุณสมบัติเชิงเคมี-ฟิสิกส์ของดินลอมหอบ, ฝุ่นหินอ่อน และเถ้าชานอ้อยแล้วปรับปรุงคุณสมบัติด้วยความร้อน

1.5.3 ทำการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ของดินลมหอบ ฝุ่นหินอ่อน และเถ้าชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยความร้อน

1.5.4 ทำการทดสอบหาขนาดของเม็ดดิน (Grain Size) โดยการทดสอบหาขนาดของเม็ดดินโดยใช้ตะแกรงมาตรฐาน และการทดสอบหาขนาดของเม็ดดินโดยไฮโดรมิเตอร์

1.5.5 ทำการทดสอบหาขีดจำกัดของอัตเตอร์เบิก (Atterberg's Limits) ของดินลมหอบผสมฝุ่นหินอ่อนและเถ้าชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยความร้อนในอัตราส่วน 0-25%

1.5.6 ทำการทดสอบหาการบดอัดดิน (Compaction Test) ของดินลมหอบผสมฝุ่นหินอ่อนและเถ้าชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยความร้อนในอัตราส่วน 0-25%

1.5.7 ทำการทดสอบหาความต้านทานแรงเฉือนของดินโดยการทดสอบการหาค่า C.B.R. (California Bearing Ratio Test) แบบไม่แช่น้ำ ของดินลมหอบผสมฝุ่นหินอ่อนและเถ้าชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยความร้อนในอัตราส่วน 0-25%

1.5.8 ทำการทดสอบหาความต้านทานแรงเฉือนของดิน โดยการทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test) ของดินลมหอบผสมฝุ่นหินอ่อนและเถ้าชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยความร้อนในอัตราส่วน 0-25%

1.5.9 ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของดินที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วที่ระยะเวลาการบ่ม 7,14,28 และ50 วัน เทียบกับกำลังของดินที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพ

1.5.10 นำข้อมูลที่ได้การจากทดสอบทั้งหมดมาวิเคราะห์เพื่อสรุปผลการทดลอง

1.6 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

กิจกรรม	พ.ศ. 2557								พ.ศ. 2558			
	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1.ค้นคว้ารวบรวมข้อมูลและวางแผนการดำเนินงาน	←	→										
2.ตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์และห้องปฏิบัติการ	←	→										
3.จัดหาวัสดุที่ใช้ในการทดลอง												
4.ดำเนินการวิจัย	←	→							→			
5.ศึกษาผลจากการวิจัย									←	→		
6.สรุปและวิเคราะห์ผลจากการวิจัย										←	→	
7.จัดทำรายงานวิจัย									←			→

1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน

1. ค่าจ้างถ่ายเอกสารหรือจัดทำรูปเล่ม	1500	บาท
2. ค่าวัสดุสำนักงาน	200	บาท
3. ค่าวัสดุวิทยาศาสตร์	1000	บาท
4. ค่าวัสดุคอมพิวเตอร์	300	บาท
รวมเป็นเงิน	3000	บาท

(สามพันบาทถ้วน)

หมายเหตุ : ขออนุมัติถัวเฉลี่ยทุกรายการ

มหาวิทยาลัยนเรศวร

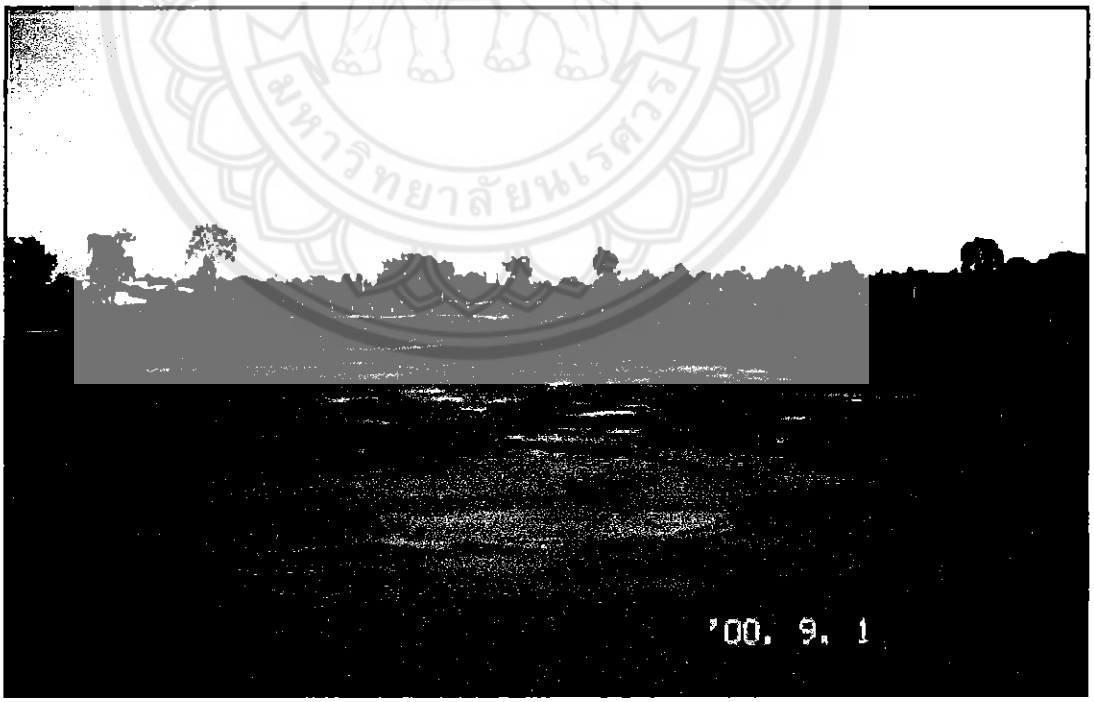
บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

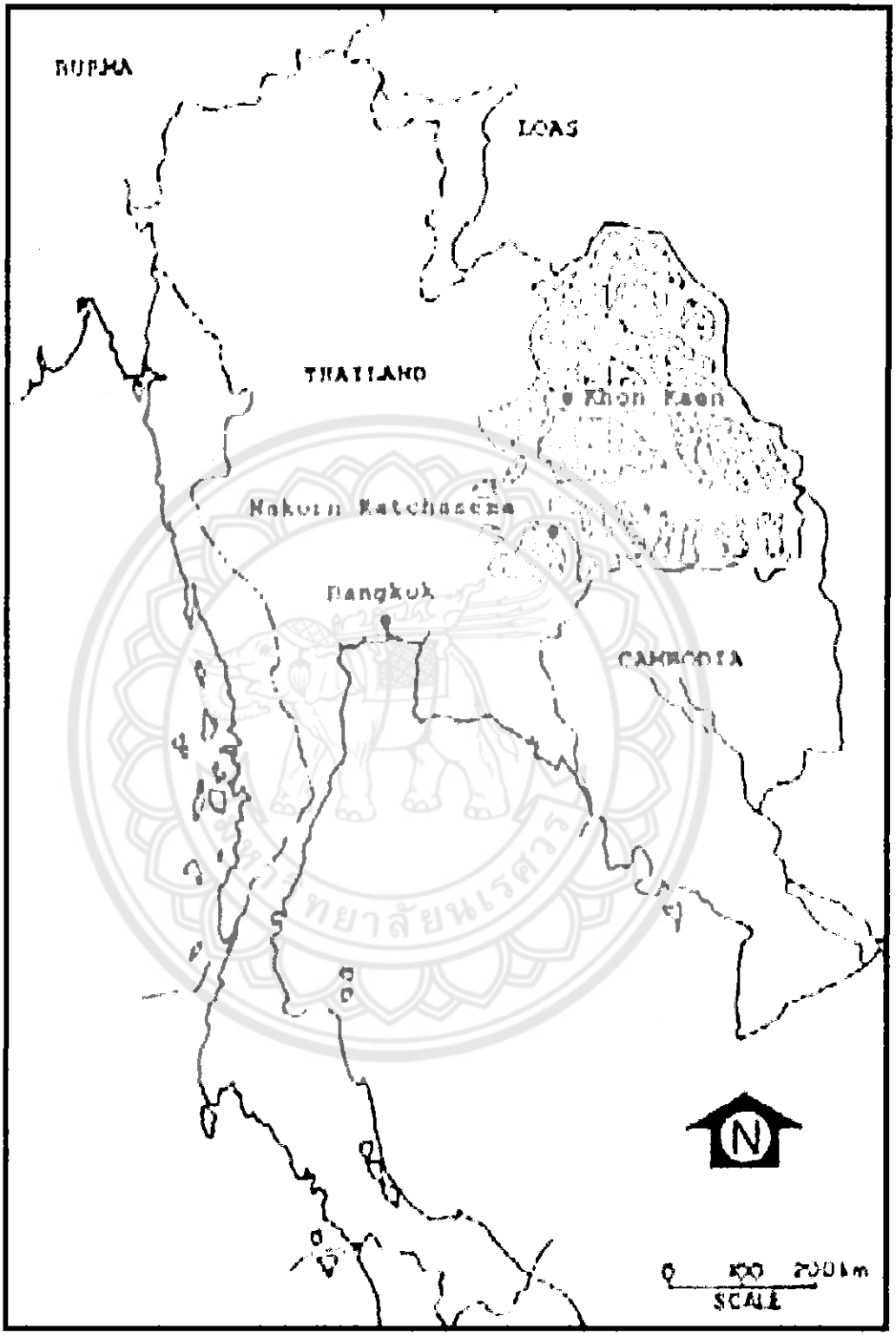
2.1 ดินลมหอบ (Loess)

2.1.1 ความหมายของดินลมหอบ (Loess Soil)

ดินในหลายพื้นที่ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย พบว่าเป็นดินซึ่งเกิดจากการพัดพาโดยลม นิยมเรียกว่าดินลมหอบ (Loess) ดินชนิดนี้จะปกคลุมเป็นบริเวณกว้างในเกือบทุกจังหวัด ความหนาเฉลี่ยประมาณ 5-6 m จากระดับผิวหน้าดิน ดินลมหอบส่วนใหญ่จะมีสีแดงซึ่งจะพบมากในตอนบนของภาค เช่นในจังหวัดขอนแก่นชื่อเรียกมอดินแดงสำหรับมหาวิทยาลัยขอนแก่นก็มาจากสีแดงของดินลมหอบ ส่วนในตอนล่างของภาคอีสานดินส่วนใหญ่จะมีสีเหลือง หากจำแนกลักษณะทางวิศวกรรมดินจะประกอบไปด้วยทรายละเอียดปนทรายแป้ง (Silty sand) จากผลทดสอบในห้องปฏิบัติการพบว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินจะมีค่าน้อยมาก ความแข็งแรงของดินจะสูงมากในสภาพแห้งแต่จะพังทลาย (Collapse) ได้ง่ายเมื่อมีปริมาณความชื้นสูงขึ้น อาคารส่วนใหญ่ซึ่งมีขนาดเล็กและมีฐานรากเป็นฐานรากตื้นตั้งอยู่บนดินลมหอบนี้มักจะเกิดปัญหาการทรุดตัวของฐานรากเมื่อมีการรั่วซึมของน้ำไปยังฐานราก เพราะทุกคนทราบดีว่าดินชนิดนี้มีปัญหาทำให้ดินไม่ได้ถูกนำไปใช้ในงานวิศวกรรม [2]



รูปที่ 2.1 ดินลมหอบสีแดงที่พบมากในภาคอีสานตอนบน



รูปที่ 2.2 แผนที่แสดงการปกคลุมของดินลมหอบ

2.1.2 คุณสมบัติพื้นฐานของดินลมหอบ

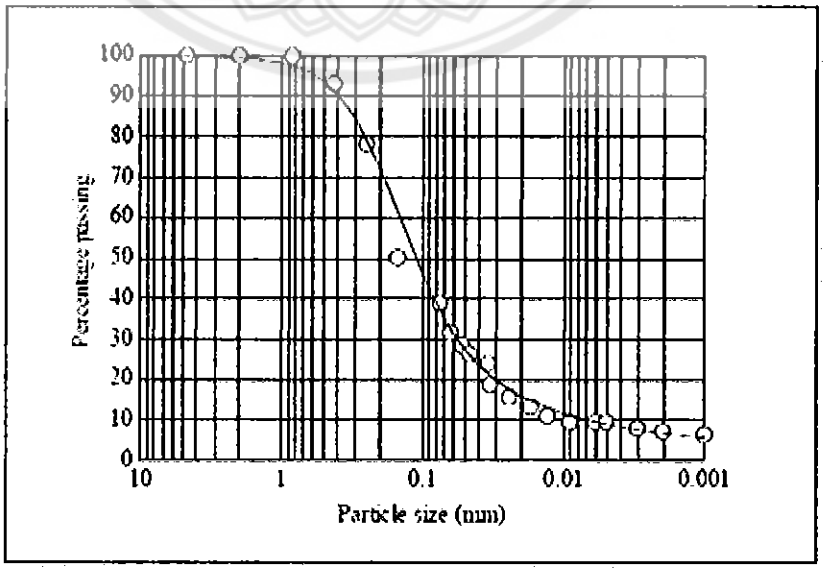
สำหรับดินลมหอบในขอนแก่น มีลักษณะเป็นดินตะกอนทราย (Silty sand) สีแดง มีลักษณะเป็นดินยุบตัว(Collapsible soil) จากการจำแนกดินโดยระบบ USCS (Unified soil classification system) พบว่าเป็นดินชนิด SM หรือ SC หรือ SM-SC หนาประมาณ 3 m มีพิกัดเหลวอยู่ในช่วงประมาณ 13 ถึง 19 % ค่าพิกัดพลาสติก อยู่ในช่วง 11 ถึง 14 % และค่าดัชนีสภาพพลาสติกอยู่ในช่วง 0 ถึง 5 % แต่ในบางครั้งพบว่าเป็นดินที่ไม่มีสภาพพลาสติก (Nonplastic soil) สำหรับค่าความถ่วงจำเพาะของดินลมหอบ ในมหาวิทยาลัยขอนแก่นอยู่ในช่วง 2.60 ถึง 2.70

ดินลมหอบสีแดงนี้จะประกอบไปด้วยดินทรายประมาณ 65%, ดินตะกอน 30% และดินเหนียว 5% แสดงขนาดและปริมาณการกระจายตัวของเม็ดดินจากการทดสอบด้วยตะแกรงและไฮโดรมิเตอร์ จากการศึกษาพบว่าคุณสมบัติของดินลมหอบสีเหลืองนั้นมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับดินลมหอบสีแดงมาก โดยรายละเอียดสามารถอ้างอิงได้จากงานวิจัยของ [Phien-wej et al. (1992)]

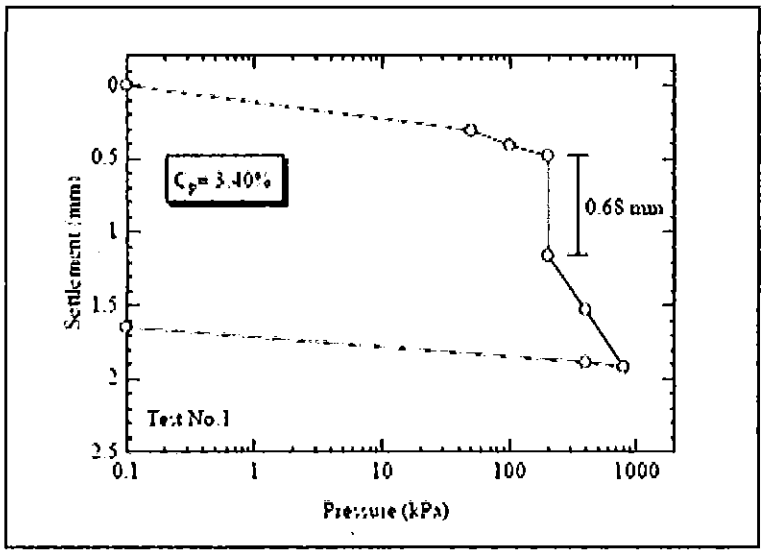
ส่วนการทรุดตัวของดินได้จากผลทดสอบการทรุดตัวซ้ำ (Double consolidation test) พบว่าผลการทรุดตัวอยู่ในระดับปานกลาง

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของดินลมหอบสีแดง [3]

Property	Red Loess
Specific gravity	2.60
Natural dry unit weight (kN/m^3)	15.3
Water content during rainy season (%)	8-12
Liquid limit (%)	16.0
Plasticity index	3
Soil classification (USCS)	SM
Optimum moisture content (%)	9.7
Maximum dry density (kN/m^3)	21.1
Coefficient of permeability (cm/s)	2.80x10^{-6}



รูปที่ 2.3 การกระจายตัวของเม็ดดินลมหอบสีแดง [4]



รูปที่ 2.4 การวิเคราะห์ขนาดการทรุดตัวจากการทดสอบการทรุดตัวซ้ำ [5]

2.2 เถ้าชานอ้อย

วัสดุปอซโซลานเป็นวัสดุที่นิยมใช้เป็นส่วนผสมในปูนซีเมนต์หรือคอนกรีต โดยมีวัตถุประสงค์ในการลดต้นทุนของคอนกรีตหรือเพื่อปรับปรุงคุณภาพบางประการของคอนกรีตให้ดีขึ้น เช่น เพิ่มความทนทานของคอนกรีตต่อสภาพการกัดกร่อน ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตสดเพื่อให้ทำงานได้ง่ายขึ้น

เมื่อผสมวัสดุปอซโซลานในคอนกรีตสารประกอบออกไซด์ในวัสดุปอซโซลาน เช่น SiO_2 , Al_2O_3 จะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์ และได้สารประกอบของวัสดุเชื่อมประสาน CSH และ CAH แม้ว่าปฏิกิริยาปอซโซลานิกจะคล้ายกับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์ แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาการเกิดช้ากว่า ดังนั้นจึงสามารถใช้วัสดุปอซโซลานเพื่อลดความร้อนของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นโดยเฉพาะอย่างยิ่งงานคอนกรีตขนาดใหญ่หรือคอนกรีตหลา วัสดุปอซโซลานที่มีอยู่ในเมืองไทยในปริมาณค่อนข้างมากและสามารถนำมาใช้งานได้เช่นเถ้าถ่านหินและเถ้าแกลบ นอกจากนี้ยังมีการใช้วัสดุปอซโซลานบางชนิดที่สั่งซื้อมาจากต่างประเทศ เช่น ซิลิกาฟูมที่มีความละเอียดสูงมากในการทำคอนกรีตกำลังสูง ตัวอย่างวัสดุปอซโซลานที่ใช้ในงานวิจัย

- กรรมวิธีการผลิต

เถ้าชานอ้อยหลังจากผ่านกระบวนการหีบอ้อยแล้วสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาไหม้ ความร้อนที่ได้นำไปใช้ในการผลิตพลังงานไอน้ำ โดยพลังงานไอน้ำที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตน้ำตาล ได้แก่ ใช้เป็นพลังงานไอน้ำในการขับกังหันเพื่อสร้างพลังงานกลในการหีบอ้อย และใช้การขับกังหันเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าภายในโรงงาน โรงงานผลิตน้ำตาลนอกจากจะเผาชานอ้อยเพื่อใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าภายในโรงงานแล้วยังสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อขายให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย อย่างไรก็ตามปัญหาที่ตามมาจากการใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงคือเถ้าชานอ้อย ซึ่งมีการพบว่ามีการนำเถ้าชานอ้อยไปใช้ประโยชน์น้อยมาก ดังนั้นจึงก่อให้เกิดปัญหาอย่างมากต่อโรงงานผลิตน้ำตาลในการกำจัดเถ้าชานอ้อย เถ้าชานอ้อยยังก่อให้เกิดปัญหาสภาวะแวดล้อมบริเวณโดยรอบ เนื่องจากเถ้าชานอ้อยมีลักษณะเป็นฝุ่นผงน้ำหนักเบาฟุ้งกระจายได้ง่าย

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเถ้าชานอ้อยมีส่วนประกอบหลักคือ ซิลิกอนออกไซด์ในปริมาณสูง ซึ่งส่วนใหญ่ไม่เป็นผลึกจึงสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุปอซโซลานได้

- **องค์ประกอบทางเคมี**

องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อยบดละเอียดที่นำมาจากแหล่งผลิต 3 จังหวัดในประเทศไทยมีดังนี้

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อย [6]

องค์ประกอบทางเคมี %	จากลพบุรี	จากราชบุรี	จากนครสวรรค์
SiO_2	59.3	67.1	54.5
Al_2O_3	4.5	4.5	6.0
Fe_2O_3	3.4	3.4	3.2
CaO	14.8	3.6	15.4
MgO	1.8	2.1	1.4
K_2O	2.7	4.3	0.1
SO_3	1.6	1.6	0.1
Loss On Ignition	9.1	13.7	19.4

- **ลักษณะทางกายภาพ**

ลักษณะและอนุภาคของเถ้าชานอ้อยก่อนและหลังบด พบว่าเถ้าชานอ้อยก่อนบดมีลักษณะรูปร่างเป็นผิวขรุขระมีเหลี่ยมมุมไม่แน่นอนและมีรูพรุนสูง โดยมีขนาดเฉลี่ยอนุภาคใหญ่กว่า 30 ไมครอน ส่วนเถ้าชานอ้อยหลังบดมีลักษณะอนุภาคเป็นเหลี่ยมมุมรูปร่างไม่แน่นอนขนาดอนุภาคและรูพรุนลดลง เมื่อเทียบกับเถ้าชานอ้อยก่อนบด เถ้าชานอ้อยก่อนทำการบดพบว่ามีความถ่วงจำเพาะระหว่าง 2.01-2.11 และหลังจากปรับปรุงคุณภาพในการบดแล้วพบว่ามีความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 2.10-2.32 การที่ค่าความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้นภายหลังจากการบด เนื่องจากอนุภาคที่เป็นรูพรุนลดลง ความถ่วงจำเพาะจึงเพิ่มขึ้น

- ลักษณะการทำงาน

จะคล้ายกับเถ้าแกลบคือ SiO_2จะไปทำปฏิกิริยากับ $Ca(OH)_2$ ดังสมการต่อไปนี้

$$Ca(OH)_2 + SiO_2 + H_2O \rightarrow CSH$$

- **คุณประโยชน์และการใช้งาน**

คอนกรีตที่ผสมเถ้าชานอ้อยบดละเอียดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 10, 20, 30 โดยน้ำหนักที่อายุการบ่ม 7 วันสามารถพัฒนากำลังอัดได้ถึง 378, 358, 341 kg/cm^2 ตามลำดับ ซึ่งเป็นกำลังอัดที่สูงกว่าคอนกรีตธรรมดาที่มีค่ากำลังอัดที่ 7 วันเท่ากับ 337 kg/cm^2และยังพบว่าที่อายุ 90 วันส่วนผสมของคอนกรีตที่ผสมเถ้าชานอ้อยร้อยละ 20 สามารถพัฒนากำลังอัดได้

ถึง577 kg/cm^2 ซึ่งเป็นกำลังอัดที่สูงกว่าคอนกรีตธรรมดาที่มีค่ากำลังอัดที่ 90 วันเท่ากับ 508 kg/cm^2

อย่างไรก็ตาม การใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดในการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 40 ขึ้นไปจะทำให้กำลังอัดคอนกรีตต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดา ประโยชน์ของเถ้าชานอ้อยหลักๆ ก็คือช่วยเพิ่มกำลังอัดให้คอนกรีต [7]

2.3 ฝุ่นหินอ่อน

หินปูน (อังกฤษ: limestone) เป็นหินในกลุ่มหินตะกอน มีชื่อวิทยาศาสตร์ที่รู้จักกันในหมู่นักธรณีว่า แร่แคลไซต์ (Calcite)(CaCO3) เป็นหินตะกอนคาร์บอเนต เกิดจากการทับถมของตะกอนคาร์บอเนตในท้องทะเล ทั้งจากสารอนินทรีย์ และซากสิ่งมีชีวิต เช่น ปะการัง และกระดองของสัตว์ทะเล ซึ่งถับถมกันภายใต้ความกดดันและตกผลึกใหม่เป็นแร่แคลไซต์จึงทำปฏิกิริยากับกรด เนื้อแน่นละเอียดทึบ มีสีออกขาว เทา ชมพู หรือสีดำ เพราะฉะนั้น อาจมีซากดึกดำบรรพ์ในหินได้ เช่น ซากหอย ปะการัง ภูเขาหินปูนมักมียอดยักแหลมเป็นหน้าผา และเป็นหินที่ละลายน้ำได้ดี

- กรรมวิธีการผลิต

  เป็นฝุ่นได้จากอุตสาหกรรมการผลิตหินอ่อน

- องค์ประกอบทางเคมี

  $CaCO_3$

- ลักษณะทางกายภาพ [8]

Table 1
Properties of WMD and cement used.

Oxide (%)	PC	PCC	WMD
CaO	61.39	47.64	54.43
SiO_2	19.55	30.53	0.67
Al_2O_3	4.82	7.63	0.12
Fe_2O_3	3.52	3.63	0.08
MgO	1.83	1.86	0.59
SO_3	2.76	2.71	–
K_2O	0.74	1.03	–
Na_2O	0.14	0.80	0.14
Loss on ignition	2.18	4.52	43.4
Insoluble residue	0.38	–	–
Physical and mechanical properties			
Specific gravity, g/cm^3	3.10	2.91	2.60
Specific surface (Blaine), cm^2/g	3238	3456	3097
Initial setting time, min	140	155	–
Final setting time, min	240	250	–
Soundness, mm	2	3	–
Compressive strength, MPa			
7 days	41.1	27.0	–
28 days	48.8	38.0	–

รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะทางกายภาพของฝุ่นหินอ่อน (WMD)

- **ลักษณะการทำงาน** [9]

เมื่อนำฝุ่นหินอ่อนไปเผาที่อุณหภูมิ 1000 ℃ ที่เวลา 2 ชั่วโมง ได้สมการดังนี้

$$Ca\ CO_3 \rightarrow CaO_{(s)} + CO_{2(g)}$$

และนำไปทำปฏิกิริยากับ SiO_2 จะได้สมการดังนี้

$$Ca(OH)_2 + SiO_2 + H_2O \rightarrow CSH$$

- **คุณประโยชน์และการใช้งาน** [10]

1.ปรับปรุงสมบัติทางฟิสิกส์ของดินให้ดีขึ้น

- เนื้อดินที่เป็นดินเหนียว อนุภาคของดินจะไม่อัดกันอย่างแน่นทึบ แต่จะเกาะกันเป็นก้อนเล็ก (granule) ทำให้ดินโปร่งขึ้น การระบายน้ำ การถ่ายเทอากาศดีขึ้น

- เนื้อดินที่เป็นเนื้อหยาบ การใส่ปูนลงไปจะทำให้เกิดโครงสร้างแบบก้อนกลมพรุน (crumb structure) ทำให้การอุ้มน้ำของดินดีขึ้น

2.ปรับปรุงสมบัติทางเคมีของดินให้ดีขึ้น

- ความเข้มข้นของ H+ ของดินลดลง
- ระดับของ Fe, Al และ Mn ลดลง
- P และ Mo มีแนวโน้มสูงขึ้น
- Ca และ Mg มีแนวโน้มสูงขึ้น

3.ปรับปรุงสมบัติทางชีวภาพของดินให้ดีขึ้น การปรับปรุงสมบัติทางชีวภาพของดิน มีผลช่วยให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินที่เป็นประโยชน์ดีขึ้น กิจกรรมต่างๆ ดำเนินไปอย่างราบรื่น

2.4 ทฤษฎีและหลักการที่ใช้ในการทดลอง

2.4.1 การทดสอบการหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

- การทดลองหาความถ่วงจำเพาะของดิน

ดินตามธรรมชาติจะประกอบด้วย อากาศ น้ำ และเม็ดดินโดยเม็ดดินจะเกิดจากการรวมตัวกันของแร่ธาตุที่แตกต่างกันออกไปดังนั้นจึงเป็นผลให้ดินในแต่ละพื้นที่ มีความถ่วงจำเพาะต่างกันในขณะที่น้ำจะมีความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกัน แต่ก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ

ความถ่วงจำเพาะของดินคือ อัตราส่วนของน้ำหนักดินต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับดินใน อุณหภูมิหนึ่ง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่แสดงให้ทราบถึงลักษณะทั่วไปของดินได้ และยังจะสามารถที่จะนำคุณสมบัตินี้ไปใช้ ในการคำนวณค่าคุณสมบัติอื่นๆ เช่นความพรุน อัตราส่วนช่องว่างของดิน ระดับความอิ่มตัว ความหนาแน่นเป็นต้น ทั้งยังสามารถนำค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินไปใช้สำหรับวิเคราะห์หาขนาดของเม็ดดินด้วยวิธีไฮโดรมิเตอร์แบบ 151 H ได้ด้วยโดยทั่วไปค่าความถ่วงจำเพาะของดินจะมีค่าอยู่ในช่วง 2.60 - 2.80 ถ้าค่าต่ำกว่านี้ก็อาจจะมีพวกอินทรีย์สารหรือพวกธาตุเบาต่ำๆปะปนอยู่ และถ้าค่าสูงกว่านี้ก็อาจมีธาตุหนักปะปนอยู่ สำหรับค่าความถ่วงจำเพาะโดยทั่วไปของดินชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในตาราง ที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงความถ่วงจำเพาะของดิน [11]

ชนิดของดิน	ความถ่วงจำเพาะของดิน
ทราย Sand	2.65-2.67
ทรายปนดินตะกอน Silt	2.67-2.70
ดินเหนียว Inorganic Clay	2.70 - 2.80
ดินที่มีแร่ไมก้าหรือแร่เหล็ก Soil with Mica or Iron	2.75 - 3.00
ดินอินทรีย์ Organic Soil	1.00 - 2.60

ความถ่วงจำเพาะเป็นคุณสมบัติพื้นฐานที่สำคัญ ทำให้สามารถคำนวณหาปริมาณช่องว่าง ความอิ่มตัว ความพรุน และอื่นๆ ได้

ความถ่วงจำเพาะของดิน คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของดินกับน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาณเท่ากับดิน ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก Eq 2.1 ดังนี้

$$G_s = \frac{W}{V\gamma_w} \quad \text{..... [Eq 2.1]}$$

หรือความถ่วงจำเพาะของดิน คือ อัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของดินและความหนาแน่นของน้ำ ซึ่งคำนวณได้จาก Eq 2.2 ดังนี้

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad \text{..... [Eq 2.2]}$$

เมื่อ G_s คือ ความถ่วงจำเพาะของดิน

W คือ น้ำหนักของดิน

V คือ ปริมาตรของดิน

γ_w คือ ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิ 4 °C มีค่าเท่ากับ1,000 g/cm³

γ_s คือ ความแน่นของดิน

ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินมีความสำคัญในการคำนวณค่าคุณสมบัติของดินต่างๆ จากความสัมพันธ์องค์ประกอบดิน ความถ่วงจำเพาะเป็นค่าเฉพาะของเม็ดดินเท่านั้น ไม่รวมส่วนของน้ำและอากาศ สำหรับอุณหภูมิที่แตกต่างกันนั้น จะทำให้ความหนาแน่นของน้ำแปรเปลี่ยนไปด้วยดังตารางที่ 2.4

ตารางที่2.4 แสดงค่าตัวแปรปรับแก้ ,K [12]

อุณหภูมิ (°C)	ความหนาแน่นของน้ำ (g/cm^3)	ค่าตัวแปรปรับแก้ (K)
16	0.99897	1.0007
17	0.9988	1.0006
18	0.99862	1.0004
19	0.99843	1.0002
20	0.99823	1.0000
21	0.99802	0.9998
22	0.9978	0.9996
23	0.99757	0.9993
24	0.99732	0.9991
25	0.99707	0.9989
26	0.99681	0.9986
27	0.99654	0.9983
28	0.99626	0.9980
29	0.99597	0.9977
30	0.99567	0.9974

- การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ไฮดรอลิก [13]

ใช้กับการหาค่าความถ่วงจำเพาะของฝุ่นหินอ่อนและเถ้าชานอ้อยความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ คือค่าอัตราส่วนของน้ำหนักของซีเมนต์ในอากาศต่อน้ำหนักของน้ำหนักของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 4 °C ที่มีปริมาตรเท่ากับซีเมนต์ ค่าความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ โดยปกติมักใช้ประกอบในการคำนวณหาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific Surface) ของซีเมนต์ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งในการบอกถึงความละเอียด (Fineness) ของซีเมนต์ นอกจากนั้นความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ยังใช้เป็นข้อมูลที่สำคัญการคำนวณหาปฏิภาคส่วนผสม (Mix Proportion or Mix Design) ของคอนกรีตอีกด้วย ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ยังใช้เป็นข้อมูลที่สำคัญในการคำนวณหาปฏิภาคส่วนผสม (Mix Proportion or Mix Design) ของคอนกรีตอีกด้วย ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์จะมีค่าอยู่ระหว่าง 3.05 – 3.20 ซึ่งค่าจะมากหรือน้อยนั้นโดยทั่ว ๆ ไปขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของเนื้อซีเมนต์และความละเอียดของซีเมนต์ ซีเมนต์ผสมหรือซีเมนต์ซิลิกาจะมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าค่าดังกล่าวข้างต้น ซีเมนต์ที่มี

ความละเอียดมากก็จะมีค่าความถ่วงจำเพาะสูง ในกรณีที่ไม่ได้มีการทดสอบหาค่ามาก่อนมักจะสมมุติค่าความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 ปริมาณ 3.15

ในการทดลองหาค่าต่าง ๆ ถ้าหากว่าต้องทำการทดสอบมากกว่าหนึ่งครั้งขึ้นไปนั้นโดยทั่ว ๆ ไปจะมีการควบคุมขนาดของความผิดพลาด (Random Error) ที่เกิดขึ้น ในการควบคุมปกติจะถือว่าผลต่างของการทดลอง (สมมุติว่า) สองครั้ง จะต้องไม่เกินค่าที่กำหนดไว้จึงจะถือว่าค่าทั้งสองนั้นใช้ได้ ค่าที่กำหนดไว้เป็นการควบคุมมีอยู่ 2 ประเภทซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีทดลองดังนี้

1. ความผิดพลาดเกิดจากการทำซ้ำ (Repeatability) เป็นขนาดของความผิดพลาด ซึ่งเกิดจากการทำการทดลองของคน ๆ เดียวกัน ในห้องปฏิบัติการอันเดียวกันโดยใช้วัสดุ เครื่องมือและวิธีการทดลองแบบเดียวกัน

2. ความผิดพลาดเกิดจากการทำใหม่ (Reproducibility) เป็นขนาดของความผิดพลาดซึ่งเกิดขึ้นจากการทดลองของคนหลายคน ในห้องปฏิบัติการคนละแห่ง โดยใช้วัสดุ เครื่องมือ และวิธีการทดลองแบบเดียวกัน

สำหรับการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ไฮดรอลิคนี้ ค่า Repeatability และ Reproducibility ที่ยอมรับกันเป็น 0.03 และ 0.10 ตามลำดับ ดังนั้นผลของการทดสอบสองครั้งไม่ควรจะแตกต่างกันมากกว่าค่าที่กำหนดไว้ข้างบน

2.4.2 การทดสอบหาขนาดของเม็ดดินโดยใช้ตะแกรงมาตรฐานและโดยไฮโดรมิเตอร์

การหาขนาดของเม็ดดินโดยวิธีการร่อนผ่านตะแกรง จะใช้ตะแกรงที่มีขนาดช่องเปิด แตกต่างกันออกไป สำหรับเบอร์ตะแกรงที่นิยมใช้กันก็คือขนาด 3/8 in เบอร์ 4, 10, 20, 40, 100 และ 200 โดยเบอร์ตะเกรงที่จะขาดไม่ได้ก็คือ เบอร์ 4, 100 และ 200 ซึ่งตะแกรงที่มีช่องเปิดใหญ่ที่สุดจะอยู่ด้านบนและไล่ตามลาดับลงมา ดินหรือหินที่เล็กกว่าช่องเปิดของตะแกรงก็จะหล่นลงมาในชั้นต่อไป ดินที่ใหญ่กว่าช่องเปิดของตะแกรงก็จะค้างอยู่บนตะแกรง แต่ก็ไม่แน่เสมอไปเพราะว่าตะแกรงนั้นไม่สามารถแบ่งแยกความแบนความยาวได้ บางครั้งหินหรือดินเม็ดเล็ก แต่มีความยาวกว่าขนาดของตะแกรงก็สามารถค้างอยู่บนตะแกรงนั้นได้ การหาขนาดและการกระจายของเม็ดดินอาจทำได้ด้วยกันหลายวิธี แต่ที่นิยมปฏิบัติกันแพร่หลาย คือ วิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis) ที่มีช่องขนาดต่างๆ กัน มักใช้กับดินที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.075 mm ขึ้นไปวิธีตกตะกอนโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ หรือหลอดดูด (Pipette) วัดการตกตะกอนเหมาะสำหรับเม็ดดินขนาด 0.2 mm ถึง 0.0002 mm ทั้งสองวิธีดังกล่าวอาจใช้ร่วมกันในการวิเคราะห์ขนาดของตัวอย่างเดียวกันได้

มวลดินหนึ่งลูกบาศก์เมตร อาจประกอบด้วยเม็ดดินหลายขนาด เช่น 10 cm ลงมาจนกระทั่ง 0.0002 mm ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า สมบัติทางฟิสิกส์ของมวลดินจะขึ้นอยู่กับขนาดเม็ดดินอย่างมาก เช่น มวลดินที่มีเม็ดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 200 ส่วนมากจะไม่มีความเหนียวหรือแรงยึดเกาะระหว่างเม็ดดิน ซึ่งเรียกว่าดินทรายส่วนดินที่มีส่วนประกอบเป็นเม็ดเล็กมาก ก็จะเรียกว่าดินเหนียว นอกจากนั้นขนาดเม็ดดินยังมีอิทธิพลกับความซึมน้ำ การรับแรง อัตราการหรุดตัวและอื่นๆ อีกมาก การก่อสร้างทั่วไปดินมักจะเป็นส่วนประกอบทางวิศวกรรมอย่างหนึ่ง ไม่ว่าจะเป็นการสร้าง

เขื่อนสนามบิน ถนน แม้แต่ฐานรากอาคารขนาดใหญ่ แต่ดินที่ใช้ในงานก่อสร้างได้ดีนั้นจะต้องมีขนาดคละที่เหมาะสม ซึ่งในการหาว่าดินมีขนาดความคละกันอย่างไรนั้นจะต้องทำการหาขนาดของเม็ดดิน โดยดินเม็ดหยาบใช้วิธีการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน และนำขนาดคละของดินมาใช้ในการจำแนกประเภทของดินต่อไป

การหาขนาดมวลคละของดิน (Sieve Analysis)

สามารถทำได้ 3 วิธี ซึ่งแต่ละการทดลองจะขึ้นอยู่กับลักษณะของดิน คือ

1) Sieve Analysis วิธีนี้เหมาะกับดินเม็ดหยาบ เช่น กรวด ทราย การทดสอบโดยวิธีนี้ทำได้โดยการนำดินที่ต้องการหาขนาดใส่ลงไปร่อนตะแกรงมาตรฐาน ซึ่งตะแกรงที่ใช้ร่อนนั้นมีหลายขนาด โดยจัดให้ตะแกรงขนาดใหญ่ที่สุดอยู่ข้างบนและขนาดเล็กสุดอยู่ข้างล่าง ขนาดเล็กสุดเป็นตะแกรงเบอร์ 200 ซึ่งมีขนาดรูตะแกรงเท่ากับ 0.075 mm ดังรูปที่ 5.5 เมื่อทำการร่อนผ่านตะแกรงเสร็จแล้วจะนำ มาชั่งเพื่อคำนวณหาปริมาณดินส่วนที่ค้างหรือผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ เป็นเปอร์เซ็นต์กับน้ำหนักดินทั้งหมดดัง Eq 2.3

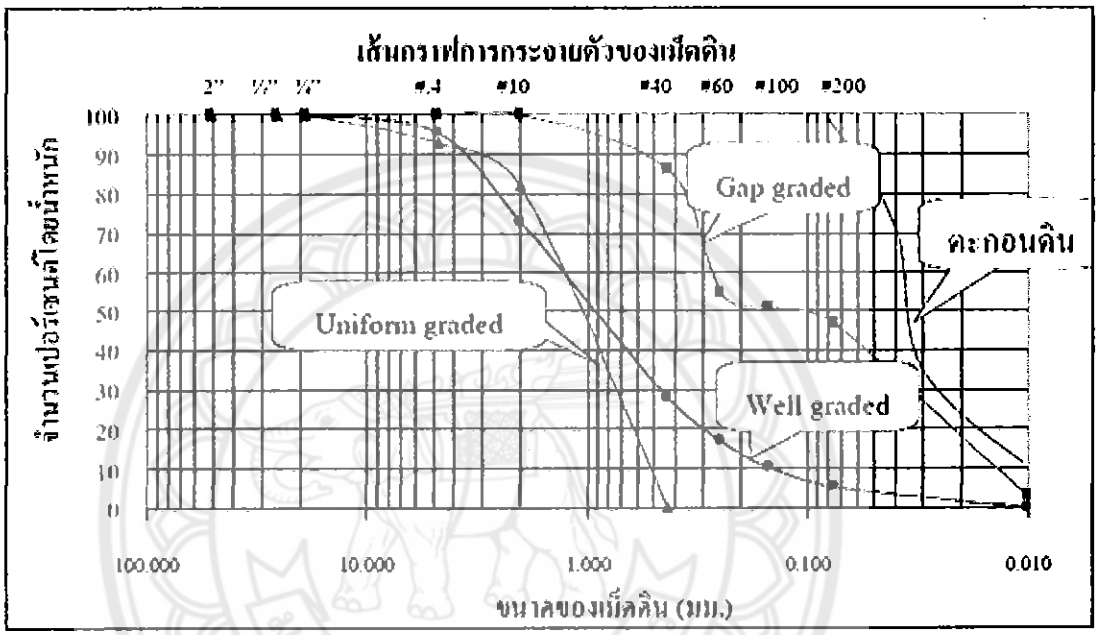
$$\%\text{ของดินที่ค้างบนตะแกรง} = \frac{\text{น้ำหนักของดินในแต่ละตะแกรง}}{\text{น้ำหนักของดินทั้งหมด}} \times 100 \quad \text{[Eq 2.3]}$$

เปอร์เซ็นต์ค้างสะสมหาจากผลบวกสะสมของเปอร์เซ็นต์ของดินที่ค้างบนตะแกรงที่ใหญ่กว่า เปอร์เซ็นต์ของดินที่ผ่านตะแกรง (%Passing หรือ %Finer หรือ %Smaller) = 100 – เปอร์เซ็นต์ค้างสะสม ส่วนเม็ดดินที่ผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 200 นำ มาวิเคราะห์วิธีไฮโดรมิเตอร์ จากนั้นนำ ผลที่ได้ไปเขียนกราฟก็จะได้ค่าประมาณร้อยละของดินเหนียว จากการทราบปริมาณร้อยละของขนาดเม็ดดินนั้น

2) Hydrometer Analysis วิธีนี้เหมาะสำหรับดินเม็ดละเอียดซึ่งมีขนาดกว่า 0.075 mm หรือตะแกรงเบอร์ 200 เช่น ตะกอนทรายหรือดินเหนียว การทดสอบทำได้โดยนำดินที่ต้องการหาขนาดมาละลายน้ำแล้วใส่ลงไปในหลอดแก้ว เพื่อให้เม็ดดินกระจายตัวและแขวนลอยอยู่ในน้ำ แล้วใช้ไฮโดรมิเตอร์วัดอัตราการตกตะกอน หรือวัดความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินที่ละลายแขวนลอยอยู่ในน้ำที่ความลึก h ในช่วงเวลาต่างๆกันซึ่งจะเป็นไปตามกฎของสโต๊ค (Storke's Law) คือ ความเร็วของการตกตะกอนของเม็ดดินจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเม็ดดิน ความหนาแน่นของของเหลว ความหนืดของของเหลวและขนาดของเม็ดดิน กล่าวคือดินเม็ดใหญ่จะตกตะกอนเร็วกว่าดินเม็ดเล็ก เมื่อทราบความเร็วของการตกตะกอนก็สามารถหาขนาดของเม็ดดินได้

3) Combined Analysis คือใช้กับดินเหนียวที่มีกรวด ทราย ทรายแป้ง ปนอยู่ ซึ่งเป็นการทดลองSieve Analysis บวกกับการทดลอง Hydrometer Analysisการหาการกระจายขนาดของเม็ดดินนั้นทำโดยการนำผลการทดสอบ

การหาขนาดของเม็ดดิน(ดินพวกเม็ดหยาบที่ได้จากวิธีร่อนผ่านตะแกรงและดินพวกเม็ดละเอียดที่ได้จากวิธีตกตะกอน)มาเขียนเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าโดยน้ำหนักในกระดาษ Semi-logจะได้กราฟกระจายตัวของเม็ดดิน ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.6 แสดงเส้นกราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน

1) ดินที่มีขนาดคละกันดี ได้แก่ดินที่มีขนาดต่างๆตั้งแต่ขนาดใหญ่ไปจน ถึงขนาดเล็กคละกันอย่างเหมาะสม เส้นกราฟที่เขียนได้จะเป็นเส้นโค้งสม่ำเสมอลากจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งหรือสามารถหาจากค่า Coefficient of uniformity (C_U) ซึ่งแสดงการกระจายตัวของเม็ดดินว่ามีความสม่ำเสมอ ได้จากสมการ Eq 2.4

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \text{..... [Eq 2.4]}$$

โดยที่ D_{60} = คือขนาดของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่า 60%

D_{10} = คือขนาดของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่า 10% เรียกว่า ขนาดประสิทธิผล (Effective Size)

นอกจากนี้สามารถหาจากความโค้งของเส้นกราฟที่เรียกว่า Coefficient of Curvature (C_C) ซึ่งจะแสดงถึงขนาดคละกันว่าขนาดคละกันดีจะต้องมีลักษณะตามตารางที่ 2.5 หรือขนาดคละกันไม่ดี ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$C_c = \frac{D^2_{30}}{D_{10} \times D_{60}} \quad \text{..... [Eq 2.5]}$$

D_{30} = คือขนาดของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่า 30%

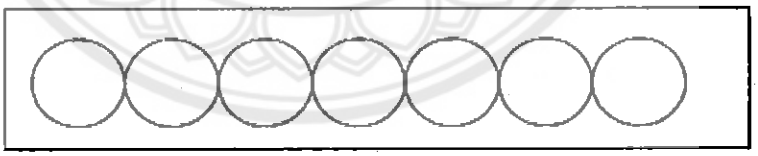
ตารางที่ 2.5 ลักษณะของดินที่มีขนาดคละกันดี

ชนิดของดิน	C_u	C_c
กรวด	มากกว่า 4	1 – 3
ทราย	มากกว่า 6	1 – 3

รูปที่ 2.7 แสดงดินที่มีขนาดคละกันดี [14]

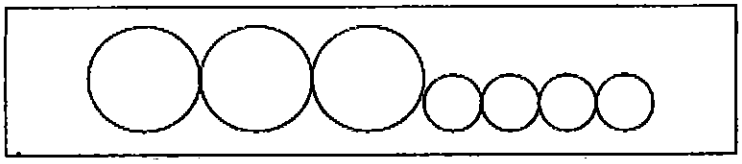
2) ดินที่มีขนาดคละกันไม่ดี (Poorly Graded Soil) แบ่งได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

ก. ดินที่มีขนาดเม็ดสม่ำเสมอ (Uniform Graded) คือดินมีขนาดเดียวกันเป็นส่วนใหญ่ เส้นกราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นในแนวดิ่งขนานแกน y



รูปที่ 2.8 แสดงดินที่มีขนาดเม็ดสม่ำเสมอ[15]

ข. ดินที่มีขนาดเม็ดขาดช่วง (Skip หรือ Gap Graded) คือดินที่มีแต่ขนาดใหญ่หรือขนาดเล็กขาดขนาดใดขนาดหนึ่งไปเส้นกราฟจะมีลักษณะเป็นเส้นราบในช่วงที่ขนาดเม็ดดินขาดหายไปสำหรับดินที่มีขนาดคละกันไม่ดี



รูปที่ 2.9 แสดงดินที่มีขนาดเม็ดขาดช่วง

ขอบข่ายในการทดลองหาขนาดมวลคละของดิน

เป็นการทดลองเพื่อหาขนาดเม็ดดินของมวลดินและการกระจายส่วนคละของเม็ดดินโดยใช้วิธีการร่อนผ่านตะแกรงสำหรับเบอร์ตะแกรงที่นิยมใช้กันก็คือขนาด 3/8 inเบอร์ 4, 10, 20, 40, 100 และ 200 โดยเบอร์ตะเกรงที่จะขาดไม่ได้ก็คือ เบอร์ 4, 100, 200 ซึ่งตะแกรงที่มีช่องเปิดใหญ่ที่สุดจะอยู่บนและไล่ตามลาดับลงมาดินหรือหินที่เล็กกว่าช่องเปิดของตะแกรงก็จะหล่นลงมาในชั้นต่อไปดินที่ใหญ่กว่าช่องเปิดของตะแกรงก็จะค้างอยู่บนตะแกรง

2.4.3 การทดสอบหาขีดจำกัดของอัตเตอร์เบอร์ก (Determination of Atterberg's Limits)

ขีดจำกัดอัตเตอร์เบอร์ก (Atterberg's Limits) หรือ ขีดจำกัดความข้นเหลว (Consistency's Limit) หมายถึงปริมาณน้ำในมวลดินที่ทำให้สภาพความเหนียวตัวของมวลดินเปลี่ยนแปลงไป สภาพของมวลดินแบ่งออกเป็น 3 สถานภาพ โดยมีจุดแบ่งแต่ละสภานะภาพเรียกว่า (Limits) ดังนี้

1. ขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit L.L.) หมายถึง ปริมาณความชื้นที่น้อยที่สุดที่ทำให้ดินสามารถไหลตัวได้ด้วยน้ำหนักของตัวเอง หรือถ้าพิจารณาจากกราฟแสดงสถานะภาพของดินก็เป็นขี้จำกัด ที่เปลี่ยนจากของเหลว เป็นพลาสติก สามารถสามารถหาค่าได้กับดินที่มีความเชื่อแน่น
2. ขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit,P.L.)หมายถึงปริมาณความชื้อที่น้อยที่สุดในดินที่ทำให้มีสภาพเหนียวหนืดมากขึ้น จะมีปริมาณความชื้อในดิน น้อยกว่าขีดจำกันเหลวหรือถ้าพิจารณาจากกราฟแสดงสถานภาพของดินก็คือขีดที่ดินเปลี่ยนจาก พลาสติก เป็นกึ่งของเหลว
3. ขีดจำกัดการหดตัว (Shrinkage Limits S.L.) หมายถึงปริมาณน้ำมากที่สุดในมวลดินที่ทำให้ปริมาตรทั้งหมดของมวลดินเปลี่ยนแปลง ในที่นี้ก็คือ ปริมาตรของดินแห้งซึ่งเม็ดดินจะอยู่ชิดกัน แม้จะลดปริมาณน้ำจากขีดจำกัดการหดตัวและสูญเสียความชื่นไปอีกก็ตามก็ไม่ทำให้ปริมาตรมวลดินเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ดินเริ่มมีความแข็งแรงขึ้น ซึ้งความชื้นในดินนี้จะน้อยกว่าขีดจำกัดพลาสติก หรือถ้าพิจารณาจากกราฟแสดงสถานภาพของดิน ก็จะเป็นขีดจำกัดที่ดินเปลี่ยนจาก สภาพกึ่งของแข็งเป็นของแข็ง ค่าขีดจำกัดหดตัว ทีนี้ก็เห็นค่าที่บอกถึงสภาพการหดหัวหลังจากดินสูญเสียความชื่นไปว่ามีการหดตัวมากน้อยเพียงใด

ต่อมามีการนำค่าขีดจำกัดมาประยุกต์ ซึ่งในปัจจุบันทางด้านวิศวกรรมโยธาจะใช้กันอยู่ 3 ขีดจำกัด คือ ขัดจำกัดการไหลตัว(Liquid Limit) ขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit) และขีดจำกัดการหดตัว (Shrinkage Limit) ซึ่งค่าขีดจำกัดเหลวและขีดจำกัดการอ่อนตัว จะใช้พิจารณาในการจำแนกดิน(Soli Classification)สภาพกำลังของดินประมาณการทรุดตัวของดินแบบอัดตัวคายน้ำ

(Consolidation) และประมาณความหนาแน่นสูงสุดจากการบดอัดดิน ประมาณความหนาแน่นสูงสุดจากการบดอัดดินได้ (compaction) ส่วนค่าขีดจำกัดการหนตัวจะใช้พิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดินจากปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดินที่มีการเปลี่ยนแปลงไป

2.4.4 การทดสอบการบดอัดดิน (Determination of Compaction Test)

การบดอัดดินคือ การปรับปรุงคุณภาพดินโดนการประยุกต์ใช้พลังงานเชิงกลซึ่งเป็นการปรับปรุงคุณภาพดินปริมาณความชื่นที่มีความเหมาะสมที่สุด สำหรับดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น (Cohesion loess Soil) จะปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการบดอัดโดยอาศัยการสั่นสะเทือนและสำหรับดินเม็ดละเอียด(Cohesive Soil)สามารถทดสอบการบดอัดดินได้ในห้องปฏิบัติการ โดยวิธีของ Proctor แต่ถ้าเป็นในสนามสามารถเลือกใช้เครื่องจักรบดอัดชนิดต่างๆกัน โดยพิจารณาความเหมาะสมตามชนิดของดิน

จุดประสงค์ของการบดอัดดินก็เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านของมวลดิน ซึ่งก่อให้เกิดประโยชน์หลายข้อดังนี้

1. ลดการทรุดตัวของดิน
2. เพิ่มกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินและปรับปรุงเสถียรภาพความลาดชัน (Slope Stability)
3. ปรับปรุงกำลังต้านทานน้ำหนัก (Bearing Capacity) ของพื้นทาง
4. ไม่ก่อนให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาตร เช่น สาเหตุจากการบวนตัว (Swelling) และการหดตัว (Shrinkage) ของดิน
5. ลดการซึมผ่านของน้ำในดิน

พื้นฐานการบดอัดดินที่มีความเชื่อมแน่น ได้ถูกสร้างความสัมพันธ์ขึ้นโดย R.R. Proctor ในปี 1930 โดยเริ่มต้นเมื่อมีการสร้างเขื่อนเพื่อกักเก็บน้ำใน Los Angeles และเขาได้พัฒนาหลักการบดอัดดินโดยตีพิมพ์ในหนังสือ Engineering New-Record (Proctor,1933) แล้วนำวิธีการทดสอบนี้ไปห้องปฏิบัติการโดยเรียกวิธีดังกล่าวว่า Proctor Test (Compaction Test) ซึ่งมีวิธีการทดสอบ 2 แบบคือ การบดอัดแบบมาตรฐาน(Standard Proctor Test) และการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Test)

Proctor ได้กล่าวไว้ว่าในการบดอัดดินมักจะมีตัวแปรควบคุมอยู่ 4 ตัว

1.ความหนาแน่นแห้ง (Dry Density)
2. ปริมาณความชื้น (Water Content)
3. พลังงานในการบดอัด (Compaction Energy)
4. ชนิดของดิน (Soil Type)

สำหรับพื้นที่จริงพลังงานที่ใช้ในการบดอัดเปรียบได้กับจำนวนครั้งที่เครื่องจักรบดอัดวิ่งผ่าน แต่สำหรับในห้องปฏิบัติการทดลองจะถูกเปลี่ยนมาเป็นการกระทุ้งตามวิธีการทดลองของ Proctor โดยค่าพลังงานในการบดอัดนั้นจะขึ้นอยู่กับ น้ำหนักของค้อนกระทุ้ง (Hammer) ความสูงของระยะปล่อยตก (Height) จำนวนชั้นของการบดอัด (Layers) จำนวนครั้งที่กระทุ้งต่อชั้น (Blows) และปริมาตรของโมล (Mold) หรือเขียนเป็นสมการได้ดัง Eq 2.6

$$\text{พลังงานในการบดอัด} = \frac{\text{น้ำหนักค้อน} \times \text{ระยะยก} \times \text{จำนวนครั้ง} \times \text{จำนวนชั้น}}{\text{ปริมาตรของโมล}} \quad \text{..... [Eq 2.6]}$$

ตารางที่ 2.6 วิธีการบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test)

ลำดับที่	วิธีการ		
	A	B	C
1.ขนาดของโมล	4 in (101.6 mm)	4 in (101.6 mm)	6 in (152.4 mm)
2.ความสูงของโมล	4.584in(116.43 mm)	4.584in(116.43 mm)	4.584in(116.43 mm)
3.ปริมาตรของโมล	0.0333 ft^3 (944 cm^3)	0.0333 ft^3 (944 cm^3)	0.075 ft^3 (2124 cm^3)
4.น้ำหนักค้อน	5.5 ib(2.5 kg)	5.5 ib(2.5 kg)	5.5 ib(2.5 kg)
5.ระยะยก	12.0 in(304.8 mm)	12.0 in(304.8 mm)	12.0 in(304.8 mm)
6.จำนวนชั้น	3	3	3
7.จำนวนครั้งที่กระทุ้งต่อชั้น	25	25	56
8.พลังงานในการบดอัด	12375 ft-ib/ ft^3 (600 kg-m/m^3)	12375 ft-ib/ ft^3 (600 kg-m /m^3)	12375 ft-ib/ ft^3 (600 kg-m /m^3)
9.วัสดุดิน	ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 mm) อาจจะใช้ดินที่ค้างตะแกรงเบอร์ 4 น้อยกว่าหรือเท่ากับ20 %	ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 mm) อาจจะใช้ดินที่ค้างตะแกรงเบอร์ 4 มากกว่าหรือเท่ากับ 20 %และดินที่ค้างตะแกรงขนาด 3/8 in (9.5 mm)	ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 mm) อาจจะใช้ดินที่ค้างตะแกรงขนาด 3/8in มากกว่าหรือเท่ากับ 20 % และดินที่ค้างตะแกรงเบอร์ ¾ in น้อยกว่า 30 %

ตารางที่ 2.7 วิธีการบดอัดแบบมาตรฐาน (Modified Proctor Test)

ลำดับที่	วิธีการ		
	A	B	C
1.ขนาดของโมล	4 in (101.6 mm)	4 in (101.6 mm)	6 in (152.4 mm)
2.ความสูงของโมล	4.584 in (116.43 mm)	4.584 in (116.43 mm)	4.584 in (116.43 mm)
3.ปริมาตรของโมล	0.0333 ft^3 (944 cm^3)	0.0333 ft^3 (944 cm^3)	0.075 ft^3 (2124 cm^3)
4.น้ำหนักค้อน	10 ib (4.54 kg)	10 ib (4.54 kg)	10 ib (4.54 kg)
5.ระยะยก	18.0 in (457.2 มม)	18.0 in (457.2 มม)	18.0 in (457.2 มม)
6.จำนวนชั้น	5	5	5
7.จำนวนครั้งที่กระทุ้งต่อชั้น	25	25	56
8.พลังงานในการบดอัด	56250 ft-ib/ ft^3 (2700 kg-m/m^3)	56250 ft-ib/ ft^3 (2700 kg-m/m^3)	56250 ft-ib/ ft^3 (2700 kg-m/m^3)
9.วัสดุดิน	ใช้ดินที่ค้างตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม) น้อยกว่าหรือเท่ากับ20 เปอร์เซ็นต์	อาจจะใช้ดินที่ค้างตะแกรงเบอร์ 4 มากกว่าหรือเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์และดินที่ค้างตะแกรงขนาด 1/8 in น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์	อาจจะใช้ดินที่ค้างตะแกรงขนาด 3/8in มากกว่าหรือเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ และดินที่ค้างตะแกรงเบอร์ ¾ in น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์

2.4.5 การทดสอบหาค่า ซี.บี.อาร์. (Determination of California Bearing Ratio Test)

การทดสอบ California Bearing Ratio หรือเรียกสั้นๆว่า C.B.R. เป็นการทดสอบเพื่อหากำลังรับน้ำหนักของดินที่บดอัดแล้ว สำหรับชั้นคันทาง(Sub grade) ชั้นรองพื้นทาง(Sub base) และชั้นพื้นทาง(Base) โดยในแบบก่อสร้างทั่วไปจะกำหนดความหนาแน่นของชั้นดินที่บดอัดในแต่ละชั้นเป็น % C.B.R. โดยถ้า % C.B.R. ที่ถูกกำหนดให้มีค่ามากเท่าใดก็แสดงว่าชั้นดินนั้นต้องบดอัดให้แน่นมากขึ้นตามไปด้วยการทดสอบจะอยู่ในรูปของหน่วยแรงต้านทานของตัวอย่างดินทดสอบที่บดอัด (Test Unit Load) ต่อหน่วยน้ำหนักมาตรฐานของหินคลุกบดอัด(Standard Unit Load) ในระดับความลึกหรือระยะจมของแท่งกด(Penetration Piston) ที่เท่ากัน แล้วเปรียบเทียบออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์

การทดสอบ C.B.R. เป็นวิธีหาค่ากำลังรับน้ำหนักของดินบดอัดแน่น ด้วยการใช้แท่งกด (Penetration Piston) ขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 in^2 กดลงบนตัวอย่างดินด้วยความเร็ว 0.05 in ต่อ min(1.25 mm/min) แล้วนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่ได้จากการทดสอบกับวัสดุหินคลุกบดอัดแน่นบนพื้นฐานการทดสอบที่เหมือนกัน โดยค่าหน่วยน้ำหนักมาตรฐาน(Standard Unit Load) ได้ถูกกำหนดเป็นค่ามาตรฐานโดย California Division of Highway ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 แสดงค่าหน่วยน้ำหนักมาตรฐานของหินคลุกบดอัดแน่นที่ระยะจมตัวต่างๆ

Penetration		Standard Unit Stress	
mm.	in	MPa	psi
2.50	0.10	6.90	1000
5.00	0.20	10.30	1500
7.50	0.30	13.00	1900
10.00	0.40	16.00	2300
12.70	0.50	18.00	2600

2.4.6 การทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test)

การทดสอบแท่งตัวอย่างดินชนิด Cohesive Soil โดยปราศจากแรงดันด้านข้างที่กระทำต่อแท่งตัวอย่างดิน โดยใช้เครื่องกดทดสอบแบบธรรมดา (Compression Machine) ได้ถูกมาทดสอบมานานแล้วและต่อมาก็เป็นที่ยอมรับกันว่า การที่นำแท่งตัวอย่างดินมาทดสอบแบบนี้สามารถที่จะหาความต้านทานต่อแรงเฉือนของดินได้

การทดสอบแรงเฉือนของดินแบบไม่มีแรงดันด้านข้าง (Unconfined Compression Test) เป็นการหากำลังต้านทานต่อแรงกดสูงสุดของเนื้อดิน ที่สามารถทดสอบได้ได้รวดเร็วและค่าใช้จ่ายไม่สูงนัก ซึ่งในการทดสอจะกระทำโดยให้แรงกดกับแท่งตัวอย่างดิน จนกระทั่งแท่งตัวอย่างดินวิบัติ แล้วนำค่าความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ไปเขียนกราฟเพื่อหาค่าความเค้นสูงสุด ซึ่งความเค้นที่ได้นี้จะเรียกว่า Unconfined Compression Strength (q_u) ซึ่งตัวอย่างดินที่ใช้ทดสอบ จะเป็นตัวอย่างดินที่มีความเชื่อมแน่นที่สามารถปั้นเป็นรูปได้ การรับแรงของดินแบบมีความเชื่อมแน่น จะเป็นไปในลักษณะใช้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดิน (Cohesion) ในการรับแรงเป็นส่วนใหญ่ ถ้าดินมีความเชื่อมแน่นน้อยถึงปานกลาง เช่นพวก Sandy Silt , Sandy Clay หรือ Silt เป็นต้น การรับแรงที่จะเป็นไปในลักษณะใช้ทั้งแรงยึดเหนี่ยวและแรงเสียดทาน (Friction) ระหว่างเม็ดช่วยกันรับแรงต่างๆ ที่เกิดขึ้น และถ้าดินมีความเชื่อมแน่นมาก เช่น Clay ก็จะได้แรงยึดเหนี่ยวในการรับแรงไว้ทั้งหมด ซึ่งแรงต่างๆ ที่กล่าวมาทั้งหมดนี้จะเรียกรวมกันว่า กำลังรับแรงเฉือนของดิน (Shear Strength) ตัวอย่างดินที่ใช้ทดสอบนี้ จะไม่มีการระบายน้ำออกจากตัวอย่างดินทดสอบเสร็จก่อนที่ตัวอย่างดินจะระบายน้ำออกได้ทันจึงเป็นการทดสอบดินแบบ Undrained และค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินที่ได้เป็นแบบแรงรวม

2.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุเชื่อมประสาน

2.5.1 X-ray Fluorescence (XRF)

XRF เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุที่อยู่ในตัวอย่างทดสอบ โดยสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ โดยสามารถใช้ได้กับงานวิจัยในหลายๆ ด้าน เช่น วัสดุศาสตร์, ธรณีวิทยา,สิ่งแวดล้อม,ทางการแพทย์ รวมถึงตัวอย่างจากอุตสาหกรรมด้านต่างๆ เป็นต้น การวิเคราะห์ของเครื่อง XRF จะอาศัยหลักการเรื่องรังสีเอกซ์ ของตัวอย่าง โดยจะยิงรังสีเอกซ์เข้าไปในตัวอย่าง ธาตุต่างๆ ที่อยู่ในตัวอย่างจะดูดกลืนรังสีเอกซ์ แล้วคายพลังงานออกมา โดยพลังงานที่คายหรือ Fluorescene ออกมานั้น จะมีค่าพลังงานขึ้นกับชนิดของธาตุที่อยู่ในตัวอย่างนั้นๆ ทำให้เราสามารถแยกได้ว่า ในตัวอย่างที่ทดสอบนั้น มีธาตุอะไรอยู่บ้าง โดยใช้ Detector วัดค่าพลังงานที่ออกมาจากตัวอย่าง

เมื่อรังสีเอ็กซ์ปฐมภูมิ (Primary X-ray Photon) จากหลอดรังสีเอ็กซ์พุ่งเข้าชนสารตัวอย่างจะเป็นผลให้อิเล็กตรอนวงในสุด (K-shell) ของอะตอมภายในสารตัวอย่างหลุดออกจากอะตอมในรูปของโฟโตอิเล็กตรอน (Photoelectron) ทำให้เกิดช่องว่างขึ้นในวงอิเล็กตรอนนั้น ซึ่งที่สภาวะนี้อะตอมจะไม่เสถียร อะตอมจะกลับสู่สภาวะที่เสถียรขึ้นโดยการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนวงนอกเข้ามาแทน ที่ช่องว่างดังกล่าว ซึ่งในการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจะมีการปลดปล่อยรังสีเอ็กซ์ทุติยภูมิ ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “ฟูออเรสเซนต์ ” พลังงานของรังสีเอ็กซ์ทุติยภูมิที่ปลดปล่อยออกมาจะมีค่ารังสีเอ็กซ์ฟูออเรสเซนต์ที่เกิดขึ้นจะถูกส่งผ่าน collimator ในรูปลำ รังสีขนานไปยัง Diffracting Crystal ซึ่งมีค่าระยะห่างระหว่างระนาบผลึกที่แน่นอนเช่น ควอทซ์ , ลิเทียม-ฟูออไรด์ , ไมกา ฯลฯ โดย Diffracing Crystal จะทำให้รังสีเอ็กซ์เกิดการเลี้ยวเบนเข้าสู่เครื่องตรวจวัดรังสีเอ็กซ์ (X-ray Detector) โดยปกติ Diffracting Crytal จะทำมุม Theta กับระนาบรังสีขนานจาก Colimator และทำมุม 2Theta กับเครื่องตรวจวัด

2.5.2 Brunauer Paul Hugh Emmett and Edward Teller (BET)

บรูนัวร์ เอ็มเมทท์และเทลเลอร์ (Brunauer,Paul Hugh Emmett and Edward Teller) ได้ศึกษาการดูดซับก๊าซไนโตรเจนทั้งบนผิวหน้าและภายในรูพรุนของวัสดุ พบว่าก๊าซไนโตรเจนที่ถูกดูดซับนั้นจะมีส่วนหนึ่งที่เคลือบบนผิวของวัสดุในลักษณะที่เป็นโมเลกุลชั้นเดียวจนเต็มพื้นที่ผิวก่อน จากนั้นก๊าซไนโตรเจนที่เหลือแพร่กระจายไปเคลือบบนผิวของวัสดุในลักษณะที่เป็นโมเลกุลหลายชั้น ซึ่งจากผลการศึกษานี้สามารถเขียนแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของก๊าซที่ถูกดูดซับ กับความดันสัมพัทธ์ ของวัสดุที่เพิ่มขึ้น

เป็นเครื่องที่ออกแบบมาเพื่องานวัดพื้นที่ผิวโดยเฉพาะ เครื่องนี้เป็นเครื่องที่ทำการวัดโดยอัตโนมัติ การไล่ก๊าซออกจากพื้นผิวตัวอย่างกระทำโดยการให้ความร้อนและ "ทำสุญญากาศ" ตัวเครื่องเองมีระบบตรวจสอบว่าการไล่ก๊าซออกจากพื้นผิวเสร็จสมบูรณ์หรือยังด้วยการ "วัดความดัน"

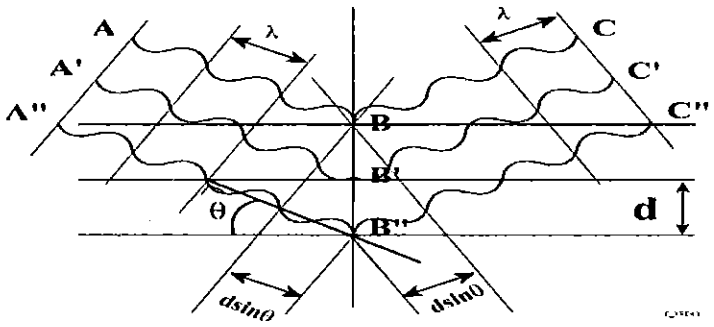
ซึ่งถ้าหากพื้นผิวยังมีก๊าซใด ๆ ดูดซับเอาไว้อยู่ ก๊าซที่คายออกมาจะทำให้ความดันของระบบสูงกว่าสุญญากาศ ถ้าหากยังทำสุญญากาศไม่ได้ระดับที่เหมาะสม เครื่องก็จะยังไม่เริ่มการวิเคราะห์ จะเริ่มวิเคราะห์ก็ต่อเมื่อทำสุญญากาศได้ระดับแล้วเท่านั้น ส่วนต้องใช้เวลาทำสุญญากาศนั้นนานเท่าใดก็ขึ้นอยู่กับตัวอย่าง ตัวอย่างที่มีพื้นที่ผิวสูง อาจต้องใช้เวลาทำสุญญากาศอย่างน้อย 8-12 ชั่วโมง ในขณะที่ตัวอย่างที่มีพื้นที่ผิวต่ำ อาจใช้เวลาทำสุญญากาศเพียงแค่ 2 ชั่วโมง

เมื่อทำสุญญากาศได้ที่แล้วก็จะเปลี่ยนจากการให้ความร้อนมาเป็นการหล่อเย็นด้วยไนโตรเจนเหลว (ตรงนี้ต้องทำการเปลี่ยนอุปกรณ์กันเองจากถุงให้ความร้อนมาเป็นถังไนโตรเจนเหลว) เครื่องก็จะเริ่มฉีดก๊าซไนโตรเจนไปยังตัวอย่างตามปริมาตรที่กำหนดไว้ ซึ่งจะพบว่าตัวอย่างจะดูดซับก๊าซไนโตรเจนเอาไว้และจะบันทึกปริมาณก๊าซตัวอย่างดูดซับเอาไว้ พอดูดซับเอาไว้จนอิ่มตัวก็จะทำการไล่ก๊าซออก ดังนั้นในการวิเคราะห์จะมีข้อมูลในระหว่างการดูดซับ (adsorption) และการคายซับ (desorption) ปริมาตรก๊าซที่ถูกดูดซับหรือคายซับสามารถนำมาใช้คำนวณพื้นที่ผิว และพฤติกรรมการดูดซับและการคายซับที่ความดันต่าง ๆ กันจะถูกใช้คำนวณขนาดรูพรุน ข้อมูลที่เครื่องวัดได้นั้นจะนำไปคำนวณพื้นที่ผิว

2.5.3 X-ray Diffractometer (XRD)

XRD เป็นเครื่องมือ ที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ โดยสามารถทำการวิเคราะห์ได้ทั้งสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง และนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่างได้อีกด้วย ในผลึกของตัวอย่างแต่ละชนิด จะมีขนาดของ Unit Cell ที่ไม่เท่ากัน ทำให้ Pattern ของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ที่ออกมาไม่เท่ากัน ทำให้เราสามารถหาความสัมพันธ์ของสารประกอบต่างๆ กับ Pattern การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ได้ ซึ่งจะทำให้เราทราบว่า ในตัวอย่างนั้นๆ มีสารประกอบอะไรอยู่บ้าง

เครื่อง XRD เป็นเครื่องมือวิเคราะห์เลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ในผลึกของตัวอย่าง โดยอาศัยหลักการของ Bragg's law หรือ $2d\ \sin\theta = n\lambda$ ในการคำนวณค่าการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ที่ยิงผ่านชั้นผลึก ที่อยู่ในตัวอย่าง โดยจะใช้ Detector รับความเข้มของรังสีเอกซ์ ที่เกิดจากการเลี้ยวเบนในมุมต่างๆ ของการทดสอบ โดยเครื่อง XRD เป็นเครื่องที่ติดตั้ง Detector ที่สามารถทำการทดสอบตัวอย่างได้รวดเร็ว และให้ความแม่นยำในการวิเคราะห์ที่สูง



รูปที่ 2.10 หลักการทำงานของเครื่อง XRD

ข้อจำกัดของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD **ก็คือ ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง เพื่อหาปริมาณ หรือ** หาองค์ประกอบตัวอย่าง ที่เป็น Amorphous ได้ เนื่องสาร**ตัวอย่างกลุ่มนี้ จะไม่เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ แต่เราอาจสามารถให้** XRD คำนวณหา ปริมา**ณของส่วนที่เป็น** Amorphous ในตัวอย่าง ว่ามีสัดส่วนกี่ % ได้ โดยใช้การเปรียบเทียบกับปริมาณ**ของสารมาตรฐานที่ทราบค่าแน่นอน**

2.5.4 Thermogravimetric Analysis (TGA)

TGA เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ความเสถียรของวัสดุโดยเฉพาะพอลิ**เมอร์เมื่อได้รับความร้อนโดย**การวัดน้ำหนักของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงอุณหภูมิด้วยเครื่อง**ชั่งที่มีความไวสูง เทคนิคนี้**เหมาะสำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพของวัสดุที่เกี่ยวข้องกับ**การดูดซับก๊าซหรือระเหย**ของน้ำ การตกผลึก (Crystallization) อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนเฟส **การแตกตัวของวัสดุ** (Decomposition) ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นและรีดักชั่น หรือ ปริ**มาณสารสัมพันธ์** (Stoichiometry)

ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง ตัวอย่างจะถูกวางบนจานขนาดเล็ก ซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องชั่งละเอียดที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสูง โดยที่ทั้งหมดจะอยู่ในเตาที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและบรรยากาศได้ บรรยากาศภายในอาจจะเป็นก๊าซเฉื่อย เช่น ไนโตรเจน หรือก๊าซที่มีความว่องไว เช่น อากาศ หรือ ออกซิเจน โดยน้ำหนักของตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิเฉพาะของสารแต่ละชนิด โดยน้ำหนักที่หายไปนั้นเกิดมาจากการระเหย การย่อยสลาย หรือการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ

2.5.5 Differential Thermal Analysis (DTA)

DTA เป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนของวัสดุตัวอย่างเปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่มีการเพิ่มขึ้น เมื่อได้รับความร้อน โดยวิธีนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนระหว่างการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งสามารถ แบ่งปฏิกิริยา ได้เป็น 2 ประเภท คือ ปฏิกิริยาคายพลังงานความร้อนออกมาสู่ภายนอก (Exothermic reaction) และ ปฏิกิริยาดูดพลังงานความร้อนจากภายนอก (Endothermic reaction)

การทำงานของเครื่องมือนี้ คือ เครื่องวัดความแตกต่าง ของอุณหภูมิของสารตัวอย่างและสารเปรียบเทียบ โดยจะได้รับความร้อนเท่าๆกัน ถ้าอุณหภูมิของสารตัวอย่าง เริ่มต่างไป จากอุณหภูมิของสารเปรียบเทียบ เครื่องก็จะจับการเปลี่ยนแปลงนี้ได้ และสามารถเพิ่ม หรือ ลดปริมาณความร้อน ที่ป้อนให้กับสารเปรียบเทียบ เพื่อควบคุมสารตัวอย่างและสารเปรียบเทียบ ให้มีความแตกต่างของอุณหภูมิเป็นศูนย์ (Null balance) ค่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยเวลาที่เครื่องต้องจ่ายไฟฟ้าไปให้กับ Heating Element เพื่อรักษาสภาพ ให้ความแตกต่างของอุณหภูมิเป็นศูนย์นั้น เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณความร้อนที่ตัวอย่างปล่อยออกต่อหน่วยเวลา ถ้าเครื่องต้องจ่ายไฟฟ้าให้กับสารตัวอย่าง เป็นปฏิกิริยาดูดพลังงานความร้อนจากภายนอก ส่วนถ้าเครื่องต้องจ่ายไฟฟ้า ให้กับสารเปรียบเทียบนั้น เป็นปฏิกิริยาคายพลังงานความร้อนออกมาสู่ภายนอก

2.6 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

พงศกร (2550) ดินลมหอบสีแดงเป็นดินที่มีอยู่มากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ประกอบไปด้วยดินทรายประมาณ 65%, ดินตะกอน 30% และดินเหนียว 5% สามารถจัดกลุ่มดินอยู่ในกลุ่ม SM ตามมาตรฐาน USCS และจากผลทดสอบดินในห้องปฏิบัติการสามารถสรุปคุณสมบัติต่างๆของดินลมหอบไว้ดังนี้ ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.6 ความหนาแน่นแห้งในสนามเท่ากับ 15.3 kN/m^3 ปริมาณความชื้นในดินเท่ากับ 8 – 12 % พิกัดเหลวเท่ากับ 16 % ดัชนีสภาพพลาสติกเท่ากับ 3 % ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำเท่ากับ 2.8 x 10^{-4} cm/s

ผศ.ดร. พงศกร พรรณรัตนศิลป์ (พ.ศ.2546) งานวิจัยนี้นำเสนอแนวคิดการนำเอาดินลมหอบที่พบมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมาใช้เป็น วัสดุในงานวิศวกรรมการทาง ผลการศึกษาจะนำเสนอคาคุณสมบัติพื้นฐาน, คุณสมบัติทางดานวิศวกรรม, คากำลังรับ น้ำหนักและพฤติกรรมตางๆของดินลมหอบในสภาพธรรมชาติ และดินลมหอบที่ไดรับการปรับปรุงคุณภาพแล้วจากผลการทดสอบในหองปฏิบัติการและจากในสนาม สำหรับการทดสอบในหองปฏิบัติการได้สร้างชุดเครื่องมือทดสอบแบบโปรงใส เพื่อใชศึกษาและจำลองดินใหอยูในสภาพตางๆ ผลที่ไดสามารถนำมาใชวิเคราะหรูปแบบการวิบัติของมวลดินไดจากการศึกษาเบื้องตนพบวา ดินลมหอบในสภาพแห้งจะมีการสูญเสียคากำลังรับน้ำหนักเกือบทั้งหมดและมีการทรุดตัวมากเมื่อปริมาณความชื้นในดินเพิ่มขึ้น จากนั้นผูวิจัยไดทำการปรับปรุงคุณภาพดินชนิดนี้ในหลายวิธีเพื่อจะไดนำมาใชประโยชนบางในงานวิศวกรรมโยธา วิธีแรกไดเลือกใชการบดอัดดิน การบดอัดไดทำใหดินลมหอบมีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น ผลการทดสอบแสดงใหเห็นวาการเพิ่มพลังงานในการบดอัดไดเพิ่มคากำลังรับน้ำหนักและลดระดับการทรุดตัวของดินลง และวิธีฐีสองไดทำการปรับปรุงคุณภาพดินดวยการผสมซีเมนตใน

ปริมาณที่เหมาะสม ผลทดสอบไดแสดงใหเห็นอยางชัดเจนวา ซีเมนตที่ใสเขาไปไดชวยเพิ่มคากำลังน้ำหนักของดินเปนอยางมาก ซึ่งสอดคลองกับผลทดสอบคากำลังรับแรงเฉือนในหองปฏิบัติการโดยคากำลังของดินที่ไดรับการปรับปรุงคณุภาพแลวจะมีกำลังเพิ่มสูงขึ้นตามอายุการบม ตัวอยางดินที่อายุการบม 28 วันจะมีกำลังสูงขึ้นถึง 5 เทาตัว จากนั้นไดมีการสรางคันดินจำลองขึ้นในสนามดวยการบดอัดดินลมหอบเปนชั้นๆ ผลการทดสอบไดแสดงใหเห็นถึงเสถียรภาพที่มากขึ้นของคันดินบดอัด

จรูญ มีสมบูรณ และวสันต มกิารภานนท. (2530) ไดทำการศึกษาการรับกำลังของดินลมหอบที่ไดปรับปรุงคุณภาพโดยผสมปูนซีเมนตปอรตแลนดประเภทที่ 1 กับเถาลอย โดยใชซีเมนตปอรตแลนดกับเถ้าลอย เปนปริมาณ 6, 8 และ 10 เปอรเซ็นตตอน้ำหนักดินแหง พบวาการรับกำลังอัดแบบแรงอัดสามแกน (Triaxial Compression Test) ของดินเมื่อปรับปรุงคุณภาพแลว กำลังรับแรงอัดของดินจะเพิ่มขึ้นตามสัดสวนของวัสดุปรับปรุงเมื่อเทียบกับดิน ปริมาณเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้นในส่วนผสมวัสดุปรับปรุงจะทำใหกำลังรับแรงอัดของดินลดลง เพราะปฏิกิริยาปอซโซลานที่เกิดขึ้นไมมากพอที่จะชดเชยปฏิกิริยาของปูนซีเมนตปอรตแลนดที่ถูกแทนที่ในชวงระยะเวลาการบมไมเกิน 28 วัน กำลังรับแรงอัดของดินที่ผสมวัสดุปรับปรุงจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการบม ถาพิจารณาเฉพาะกำลังรับแรงอัดที่จะนำมาใชในงานพื้นทางสามารถใชดินตอวัสดุปรับปรุงที่อัตราสวน 40:60 ของเถ้าลอยตอซีเมนตรวม 6% ที่อายุการบม 7 วัน จะใหกำลังรับแรงอัดประมาณ 19 กิโลกรัมตอตารางเซนติเมตร (ksc) แตถาตองการระยะเวลาการบมที่นอยกวานี้ควรใชดินตอวัสดุปรับปรุงที่อัตราสวน 40:60 เหมือนเดิมแตใหมีปริมาณเถาลอยตอซีเมนตรวม 8% ที่ระยะการบม 3 วัน จะใหกำลังรับแรงอัดเชนเดียวกันคือ 19 กิโลกรัมตอตารางเซนติเมตร (ksc) และผูทำการศึกษาไดใหเสนอแนะวาเพื่อใหปฏิกิริยาปอซโซลานของเถาลอยเกิดขึ้นอยางสมบูรณจึงควรบมที่อายุนานและควรศึกษาผลของกำลังรับแรงอัดของดินในอายุการบมนานขึ้น โดยดินที่ใชในการทดสอบมีเพียงดินชนิดตะกอนทราย (SM) เพื่อใหการเปรียบเทียบสมบูรณควรทำการทดสอบกับดินชนิดนี้ดวย

ธำรงค สมพฤกษ (2528) ไดทำการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องการนำเอาปูนซีเมนตผสมกับขี้เถาแกลบมา ใชในการปรับปรุงคุณสมบัติของดินดานกำลังรับแรงอัด และความซึมผานไดของดินซึ่งพบวาคุณสมบัติดานกำลังรับแรงอัดและความซึมผานไดของดินผสมปูนซีเมนตและขี้เถาแกลบจะดีขึ้นตามความละเอียดของขี้เถาแกลบและปริมาณปูนซีเมนตผสมขี้เถาแกลบที่เพิ่มขึ้นจากการบดอัดดินผสมปูนซีเมนตและขี้เถาแกลบตองใช ปริมาณน้ำสูงกวาความชื้นพอเหมาะ ปูนซีเมนตผสมขี้เถาแกลบที่ใชควรมีอัตราสวนขี้เถาแกลบตอปูนซีเมนต (RHA:OPC) เทากับ 40 : 60 ของปริมาณปูนซีเมนตและขี้เถาแกลบรวม 10 % ขี้เถาแกลบบดเปนระยะเวลา 30 นาที ที่อายุการบม 7 วัน ซึ่งมีความละเอียด 14,000 ตารางเซนติเมตร/กรัม จะใหคากำลังรับแรงอัด ประมาณ 15 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร คุณสมบัติของดินตัวอยาง ปูนซีเมนตและขี้เถาแกลบดังแสดงในตาราง ที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของตัวอย่างดิน (ธำรง สมพฤกษ. 2528)

คุณสมบัติ	
สวนประกอบของดิน	
ดินตัวอย่าง (Soil Sample), %	100
ประกอบด้วย - ดินทราย (Sand)	55
ขนาดของเม็ดดิน 2.000-0.060 มม. %	
- ดินตะกอน (Silt)	26
ขนาดของเม็ดดิน 0.060-0.002 มม. %	
- ดินเหนียว (Clay)	19
ขนาดของเม็ดดิน < 0.002 มม. %	
คุณสมบัติทางกายภาพ	
ค่าพิกัดเหลว(Liquid Limit), %	18.7
ค่าพิกัดพลาสติก(plastic Limit), %	14.6
ค่าดัชนีพลาสติก(Plastic Index), %	4.1
ค่าพิกัดหดตัว(Shinkage Limit), %	12.8
ค่าความถ่วงจำเพาะ	2.65
ลักษณะทั่วไปของดิน	ดินตะกอนทราย สีแดงน้ำตาล
คุณสมบัติทางวิศวกรรม ทดสอบโดยวิธีมาตรฐาน(Standard Procter Test)	
ค่าความชื้นสูงสุด (Optimum Moisture Content), %	9.7
ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density), T/m^3	2.01

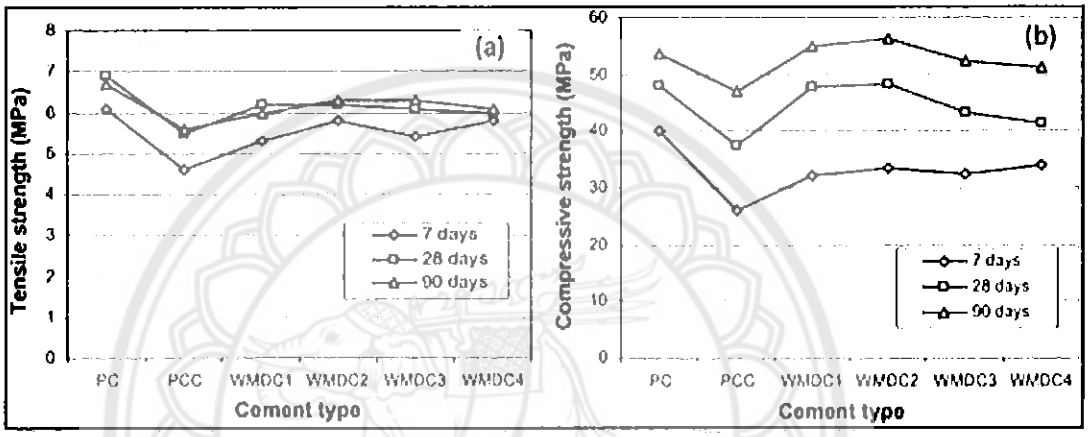
จรุณ มีสมบูรณ และวสันต มิตรภานนท (2530) ได้ทำการศึกษาการรับกำลังของดินและปูนซีเมนต์ผสมขี้เถ้าลอยที่ได้ปรับปรุงคุณภาพ โดยนำดินไปผสมกับวัสดุปรับปรุง (เถ้าลอยตอซีเมนต์ปอรตแลนด์ประเภทที่ 1) โดยใช้วัสดุปรับปรุงที่ 6,8 และ 10 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักดินแห้ง พบว่าการรับกำลังอัดของดินเมื่อปรับปรุงคุณภาพแล้วกำลังรับแรงอัดของดินจะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของวัสดุปรับปรุงเมื่อเทียบกับดินปริมาณขี้เถ้าลอยที่เพิ่มขึ้นในส่วนผสมวัสดุปรับปรุงจะทำให้กำลังรับแรงอัดของดินลดลงเพราะปฏิกิริยาปอซโซลานที่เกิดขึ้นไม่มากพอที่จะชดเชยปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ปอรตแลนด์ที่ถูกแทนที่ ในช่วงระยะเวลาการบ่มไม่เกิน 28 วัน กำลังรับแรงอัดของดินที่ผสมวัสดุปรับปรุงจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการบ่ม ถ้าพิจารณาเฉพาะ กำลังรับแรงอัดที่จะนำมาใช้ในงานพื้นทางสามารถใช้ดินต่อวัสดุปรับปรุงที่อัตราส่วน 40 : 60 ของเถ้าลอยต่อ ซีเมนต์รวม 6 % ที่อายุการบ่ม 7 วัน จะให้กำลังรับแรงอัดประมาณ 19 กก./ซม2 แต่ถ้าต้องการระยะเวลาการ บ่มที่นอยกว่านี้ควรใช้ดินต่อวัสดุปรับปรุงที่อัตราส่วน 40 : 60 เหมือนเดิมแต่ใหมีปริมาณเถ้าลอยต่อซีเมนต์ รวม 8 % ที่ระยะการบ่ม 3 วัน จะได้กำลังรับแรงอัดประมาณ 19 กก./ซม2 เช่นเดียวกัน และได้เสนอแนะว่า เพื่อให้ปฏิกิริยาปอซโซลานของเถ้าลอยเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ จึงควรบ่มที่อายุนาน เพื่อศึกษาผลของกำลังรับแรงอัดของดินในระยะเวลานาน ดินที่ใช้ในโครงการนี้เป็นดิน SM ชนิดเดียวดังนั้นจึงควรทำการศึกษากับดินชนิดอื่นด้วย

วันชัย ทิพนัส. องอาจ แทนนิกร. อธิป นุชเปยม และอนุรักษ แกวระหัน (2546) ไดศึกษาการใชงานจริงของดินลมหอบที่ปรับปรุงคุณภาพโดยการนำวัสดุปรับปรุงที่ประกอบดวยปูนซีเมนต 60 % และเถาลอยหรือเถาแกลบ 40 % ไปใชในการทำพื้นทางในงานถนนโดยใชวัสดุปรับปรุงผสมลงในดินหอบขอนแกน 2 % โดยน้ำหนักดินแหงนำมาผสมใหเขากันและทำการบดอัดโดยใชรถบด ใหไดความหนาแนนที่สุดโดยการทดสอบหาคาความหนาแนนของดินในสนามใชวิธีการแทนที่ดวยทรายตามมาตรฐาน ASTM D1566-82 และ การทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test) และนำมาหาเปอรเซ็นตการบดอัดไดคาเปอรเซ็นตการบดอัดชั้นที่ 1 อยูในชวง 84.1 ถึง 99.1 % ของสแตนดารดพลอคเตอรและเปอรเซ็นตการบดอัดชั้นที่ 2 อยูในชวง 75.8 ถึง 82.9 % ของสแตนดารดพลอคเตอรและจากการเปดใหบริการตั้งแตวันที่ 11 ธ.ค. 2545 ถึง วันที่ 5 ก.พ. 2546 มีการทรุดตัวเฉลี่ยถึง2 - 3 ซม. ในบริเวณรองลอที่วิ่งผานและเกิดการแตกราวลายงาที่ไมลึกมีการหลุดรอนของผิวหนาทำใหมีฝุนเกิดขึ้น อยางไรก็ตามนักศึกษาที่ทำการทดลองไดเสนอแนะใหศึกษาในระยะยาวเพื่อที่ดูสภาพของถนนหลังการใชงานเนื่องจากในการศึกษาโครงการดังกลาวทำการเก็บขอมูลเพียง 56 วันเทานั้น ซึ่งยังไมครอบคลุมถึงระยะเวลาที่ถนนจะไดรับผลกระทบจากสภาพภูมิอากาศตาง ๆจากการศึกษาขอมูลโครงการที่ผานมาเปนการทดสอบดินที่ปรับปรุงคุณภาพที่นำไปใชในการทำพื้นทางในงานถนนซึ่งเปนการศึกษาและทดสอบการใชงานจริงของถนนแตยังไมมีการทดสอบกำลังตานทานแรงเฉือนและคุณสมบัติของดินที่ปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีแรงอัด 3 แกน (Triaxial Compression Test) นักศึกษา ผูจัดทำโครงการจึงมีความสนใจในการทำการทดลองหาคุณสมบัติของดินที่ปรับปรุงคุณภาพดังกลาว

V. Corinaldesi et al. ศึกษาคุณสมบัติของฝุนหินอ่อนเพื่อประยุกต์ใช้เป็นวัสดุผสมเพิ่มในคอนกรีต รูปที่ 3 แสดงการกระจายขนาดอนุภาค (Particle size distribution) ของฝุนจากอุตสาหกรรมหินอ่อน สังเกตได้ว่าฝุนหินอ่อนมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 7 ไมโครเมตร (d50 = 7 μm) และร้อยละ 90 ของฝุนหินอ่อนมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 50 ไมโครเมตร (d90 = 50 μm) ตารางที่ 5 แสดงสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของซีเมนต์ (PC) และฝุนหินอ่อน (MDW) เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีพบว่าฝุนหินอ่อนประกอบด้วย CaO เป็นองค์ประกอบหลักและมีพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area) ใกล้เคียงกับซีเมนต์เมื่อนำฝุนหินอ่อนมาผสมกับซีเมนต์ในอัตราส่วนต่างๆ ของมอร์ตา (ตารางที่ 2.9) พบว่า tensile strength ของตัวอย่างที่มีการผสมฝุนหินอ่อนและทำการบ่มที่ระยะเวลา 7 วันมีค่าต่ำว่า tensile strength ของตัวอย่างที่ใช้ PC เป็นวัสดุเชื่อมประสาน โดย tensile strength ของ WMDC1, WMDC2, WMDC3 และ WMDC4 มีค่าต่ำกว่าตัวอย่าง PC 13%, 5%, 11% and 5% ตามลำดับ เมื่อพิจารณา compressive strength พบว่าตัวอย่างที่มีการผสมฝุนหินอ่อนและทำการบ่มที่ระยะเวลา 7 วันมีค่าต่ำว่า compressive strength ของตัวอย่างที่ใช้ PC เช่นกัน อย่างไรก็ตาม เมื่อระยะเวลาในการบ่มตัวอย่างเพิ่มขึ้นเป็น 90 วัน พบว่า compressive strength ของตัวอย่าง WMDC1 and WMDC2 สูงกว่าตัวอย่าง PC 2% และ 5% ตามลำดับ ในขณะที่ compressive strength ของตัวอย่าง WMDC3 and WMDC4 มีค่าต่ำกว่าตัวอย่าง PC 3% และ 4%

ตารางที่ 2.9 อัตราส่วนผสมซีเมนต์-ฝุ่นหินอ่อน-ยิปซัม เพื่อศึกษาคุณสมบัติคอนกรีต

Cement type	PC clinker (%)	WMD (%)	Gypsum (%)	Total (%)
WMDC1	92.5	2.5	5	100
WMDC2	90.0	5.0	5	100
WMDC3	87.5	7.5	5	100
WMDC4	85.0	10	5	100
PC	EN 197-1 CEM I [29]			



รูปที่ 2.11 รูปแสดงการเปรียบเทียบความสามารถในการรับแรงของตัวอย่างมอร์ตาที่ผสมฝุ่นหินอ่อนในสัดส่วนต่างๆ (a) tensile strength และ (b) compressive strength

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง วัสดุที่ใช้ในการทดลอง ขั้นตอนการเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลอง วิธีการและขั้นตอนการทดลองซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่สุดในโครงงานวิจัยนี้ โดยก่อนที่จะทำการทดลองจะต้องมีการเตรียมการเกี่ยวกับวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง เพื่อความรวดเร็วและยังช่วยให้การดำเนินงานในการทำโครงงานวิจัยเป็นไปตามแผนที่วางไว้ อีกทั้งการเตรียมวัสดุอุปกรณ์ที่ดีและการทำการทดลองที่เป็นขั้นตอนย่อมจะทำให้ผลการทดลองที่ได้มีประสิทธิภาพตามจุดประสงค์ที่วางไว้

3.1 มาตรฐานที่ใช้อ้างอิง

3.1.1 ASTM D 854-00 Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer

3.1.2 ASTM C 188-95 Standard Test Methods for Density of Hydraulic Cement

3.1.3 ASTM D - 422 Standard Test Method of Particle Size Analysis of Soils

3.1.4 ASTM D4221-99 Standard Test Methods for Dispersive Characteristics of Clay Soil by Double Hydrometer

3.1.5 ASTM D 4318-93 Test Methods for Liquid Limit , Plastic Limit , and Plasticity Index of Soils

3.1.6 ASTM D 427-98 Test Methods for Shrinkage Factors of Soils by the Mercury Method

3.1.7 ASTM D 1140-54 Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort

3.1.8 ASTM D 1883-99 Test Methods for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory Compacted Soils

3.1.9 ASTM D 2166-00 Standard Test Methods for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้เฉพาะในแต่ละการทดลอง

- ขวดแก้วฟลาส (Volumetric Flask) ขนาดความจุ500mlที่สามารถทนความร้อนได้สูง
- เทอร์โมมิเตอร์ 0-100°C อ่านได้ละเอียด 0.1-0.5 °C
- แท่งแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 mm ยาว30 cm แท่งแก้วคน
- หลอดใช้ดูดน้ำออกหรือเพิ่มน้ำ
- ขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์ (La Chatelier flask) ความละเอียด 0.1 ml
- อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)
- น้ำมันก๊าด (Kerosene)
- ตะแกรงที่ใช้ร่อนตัวอย่างพร้อมถาดรองและเครื่องเขย่าตะแกรง
- Hydrometerชนิดอ่านค่าความถ่วงจำเพาะ (ASTM 151H) ได้ประมาณ 0.995-1.030
- ผงช่วยให้เม็ดกระจายตัว (Dispering Agent)
- กระบอกไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Jar)
- เครื่องทดสอบหาขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit Device) ตามมาตรฐานASTM D4318
- เครื่องมือปาดร่องดิน (Grooving Tool)
- มีดปาดดิน (Spatula) ขนาดกว้างประมาณ ¾ in และยาวประมาณ 3 in
- ชามกระเบื้องเคลือบ (Coat Dish)
- แผ่นกระจกทดสอบ Plastic Limit (Glass Plate) ขนาดไม่น้อยกว่า 10 × 10 cm
- แบบหล่อทดสอบการบดอัดดิน (Compaction Mold) มีสองขนาดให้เลือกใช้ คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ภายใน 4 in (105 mm) ความสูง 4.584 in (116.43 mm) และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 6 in (152.4 mm) ความสูง 4.584 in (116.43 mm) พร้อมด้วยปลอกที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเดียวกัน (Collar) และแผ่นฐาน (Base Plat) สูง 50 mm (มีปริมาตร 1000 cm^3)

- ค้อนบดอัดแบบมาตรฐาน (Compaction Hammer) หนัก 5.5 ib (2.5 kg) ระยะยก 12 in และแบบสูงกว่ามาตรฐาน หนัก 10 ib (4.54 kg) ระยะยก 18 in

- แม่แรงสำหรับดันตัวอย่างดินออกจาก Mold

- เหล็กปาดดินสันตรง (Straight Edge) ขนาด 30 cm

- ตะแกรงร่อนดินขนาด เบอร์ 4

- โมล ซีบีอาร์ (C.B.R. Mold) เป็นโลหะทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 6 in ±0.018 in (152.4±0.46 mm) สูง 7 in ± 0.018 in (177.8±0.46 mm) ยึดติดกับ Base plat ที่หนา 3/8 in และมีรูพรุน ขนาดของรูไม่เกิน 1 /16 inและมีCollar ที่สูง 2 in เพื่อใช้ครอบปาก Mold ได้

- ตุ้มบดอัด (Hammer) ใช้บดอัดตัวอย่างทดสอบใน C.B.R. Mold ตามมาตราฐาน ASTM D 698 หรือ D 1557 แบบ Standard Proctor หรือแบบ Modified Proctor

- กระบอกตวงน้ำ (Graduated Cylinder) ขนาดความจุประมณ 250 – 500 m^3

- ไม้บรรทัดเหล็กปาดดิน (Straight Edge)

- กระดาษกรอง (Filter Paper)

- แผ่นเหล็กรอง (Spacer Disc) เป็นแท่งโลหะทรงกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 5 15/16 in (150.8 mm) สูง2.416±0.005 in (61.37±0.127 mm)

- เครื่องทดสอบแรงกด (Loading Machine) สามารถให้แรงกดไม่น้อยกว่า 10000 ib (4540 kg) และให้มีส่วนเคลื่อนที่ได้สม่ำเสมอที่ส่วนบน หรือส่วนล่าง เพื่อให้อัตราการกดของแท่งกดอยู่ในอัตรา 0.05 in (1.27 mm) ต่อmin และความละเอียดของแรงให้อ่านค่าได้เกิน 10 ib (4.5 kg)

- แท่งกด (Penetration) เป็นแท่งโลหะทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.954 in±0.005in (49.63±0.13 mm) มีพื้นที่หน้าตัด 3 in^2 (19.355 cm^2) ยาวไม่น้อยกว่า 4 in

- เครื่องทดสอบ Unconfined Compression Test Machine พร้อมด้วย Dial Gauge ที่อ่านค่าได้ละเอียด 0.01 mm

- Deformation Indicator

- Vernier Caliper ใช้วัดขนาดแท่งตัวอย่างโดยวัดละเอียดถึง 0.01 mm

- กระบอกเก็บตัวอย่างดิน

- เครื่องมือตัดแต่งดิน

- เครื่องมือเบ็ดเตล็ด เช่น กระป๋องใส่ดิน

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ทั่วไปในทุกการทดลอง

- ตู้อบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้คงที่ 105 ± 5 °C

- เครื่องชั่ง ที่มีความละเอียด 0.001 g

- เตาและภาชนะต้มน้ำหรือเครื่องปั้มสุญญากาศ

- เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)

- ถาดใส่ตัวอย่าง

- ค้อนยาง

- แปรงทำความสะอาด

- นาฬิกาจับเวลา

- น้ำกลั่น

- อุปกรณ์ผสมดิน

- ขวดฉีดน้ำ (Wash Bottle)

- ที่ตักดิน (Scoop)

- ถาดผสมดิน

3.3 วัสดุที่ใช้ในการทดลอบ

3.3.1 ดินลมหอบ สัดส่วนปริมาณตามการใช้งานในแต่ละการทดสอบ

3.3.2 ฝุ่นหินอ่อน สัดส่วนปริมาณตามการใช้งานในแต่ละการทดสอบ

3.3.3 เถ้าชานอ้อย สัดส่วนปริมาณตามการใช้งานในแต่ละการทดสอบ

3.3.4 น้ำสะอาด

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ

- การเตรียมตัวอย่าง

การสอบเทียบ(Calibrate) ขวดฟลาส ก่อนหรือหลังการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักในขวดฟลาสและน้ำหนักขวดที่อุณหภูมิต่างๆกัน

วิธีการหาด้วยวิธีการทดลอง(Experimental Procedure)

1.ทำความสะอาดขวดแก้วฟลาสที่จะใช้ทำการทดลอง

2.เติมน้ำกลั่นในขวดประมาณ3/4ของคอขวด (เพื่อไม่ให้น้ำเดือดขวดแก้วจะแตก)

3.ไล่อากาศในน้ำด้วยการต้มน้ำให้เดือดในเตาบุนเส็นหรือเตาแผ่นร้อนประมาณ 10min นำขวดแก้วลงจากเตาเติมน้ำกลั่นที่ต้มไล่ฟองอากาศทิ้งไว้แล้วลงในขวดแก้วฟลาสให้เต็มด้วยวิธีการลักน้ำจุ่มปลายสายยางลงใต้ผิวน้ำเพื่อไม่ให้อากาศเข้าไปผสมในน้ำอีก ปล่อยให้เย็น ถ้าต้องการให้เย็นเร็วอาจแช่ในอ่างแช่น้ำจนกระทั่งอุณหภูมิลดลงถึงประมาณ40องศา ตรวจสอบว่าอุณหภูมิของน้ำในขวดแก้วเท่ากันทุกระดับถ้าไม่เท่ากันคลึงขวดเอียงไปมาหรือใช้หลอดแก้วคน

4.แต่งขอบน้ำให้อยู่ที่ขีดบอกปริมาตร 500 cm^3 สังเกตขอบล่างของโค้งผิวน้ำ เช็ดขวดภายนอกและภายในเหนือผิวน้ำให้แห้ง

5.นำขวดแก้วและน้ำขึ้นชั่งและวัดอุณหภูมิน้ำ ตรวจสอบอีกครั้งว่าอุณหภูมิของน้ำในขวดเท่ากันทุกระดับหรือไม่

6.ทำการทดลองในข้อ4-5อีก3-4ครั้ง ในช่วงอุณหภูมิจากประมาณ 40องศา จนถึงอุณหภูมิห้องถ้าต้องการให้อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง ใช้น้ำแข็งผสมในอ่างแช่น้ำแต่ต้องระวังขณะอ่านค่า อุณหภูมิทดลองจะต้องกวนน้ำให้มีอุณหภูมิเท่ากันทั่วขวด

- เม็ดดิน

- นำดินใส่ในขวดแก้วฟลาสและใส่น้ำลงไปประมาณ3ใน4ส่วนของปริมาตรขวดโดยให้ดินจมอยู่ใต้น้ำทั้งหมดและอย่าให้ดินติดอยู่ข้างๆขวด

- ทำการไล่ฟองอากาศโดยใช้ปั๊มสุญญากาศ แรงดูด10-20inปรอทประมาณ4-5ชั่วโมงหรือนำไปกวนในน้ำร้อนอย่างน้อย10minหรือจะทำทั้งสองอย่างพร้อมกันก็ได้โดยใช้ปั๊มสุญญากาศไม่น้อยกว่า10minแล้วจึงกวนน้ำให้ร้อนอีกประมาณ 10minพร้อมกับกลิ้งขวดไปมาหลายรอบทำเช่นนี้

สลับกันไปเรื่อยๆและคอยสังเกตว่ามีฟองอากาศเกิดขึ้นอีกหรือไม่ ทำจนกระทั่งฟองอากาศหมดไปซึ่งต้องใช้เวลาและความละเอียดในการสังเกต

- หลังจากไล่ฟองอากาศหมดแล้วทำการเติมน้ำกลั่นให้ระดับท้องน้ำอยู่ที่ขีด500มิลลิลิตรพอดี ในการเติมน้ำกลั่นนี้ควรใช้หลอดและปล่อยน้ำกลั่นจากหลอดโดยจุ่มปากหลอดให้อยู่ใต้ระดับน้ำในขวดฟลาสเพื่อป้องกันอากาศลงไปอีก แล้วตั้งทิ้งไว้ในอุณหภูมิห้องทดสอบ จนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำในFlask เท่ากับอุณหภูมิห้องที่ต้องการ และคอยสังเกตว่าถ้าระดับในขวดฟลาสต่ำกว่าขีด 500 มิลลิลิตรก็ให้เติมน้ำกลั่นให้ท้องน้ำพอดีกับขีดอยู่เสมอ

- นำขวดฟลาสไปชั่งจะได้เป็นน้ำหนักของขวดฟลาส+น้ำ+ดิน แล้วจึงทำการวัดอุณหภูมิโดยจุ่มเทอร์โมมิเตอร์ให้อยู่ประมาณกึ่งกลางกระเปาะของขวดFlask คอยจนกระทั่งอุณหภูมิคงที่แล้วจึงบันทึกค่าอุณหภูมินี้ไว้หลังจากนั้นนำไปเทใส่ภาชนะโดยต้องเทดินออกให้หมดจนกระทั่งขวดFlask สะอาดเสร็จแล้วจึงนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ105±5° C โดยทิ้งไว้ประมาณ1คืน

- นำดินที่อบแห้งแล้วไปชั่งแล้วบันทึกค่าเมื่อลบน้ำหนักภาชนะออกจะได้เป็นน้ำหนักของดินแห้ง

- เถ้าชานอ้อยและฝุ่นหินอ่อน

- เลือกใช้วิธีการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของฝุ่นหินอ่อนหรือเถ้าชานอ้อยเช่นเดียวกับวิธีการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์เนื่องจากฝุ่นหินอ่อนและเถ้าชานอ้อยทำปฏิกิริยากับน้ำจึงทำให้ไม่สามารถหาความถ่วงจำเพาะด้วยวิธีแบบเดียวกับดินได้จึงเลือกใช้วิธีเดียวกับการหาค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์แทนเนื่องจากฝุ่นหินอ่อนและเถ้าชานอ้อยไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำมันก๊าด

- เติมน้ำมันก๊าดลงในขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์จนถึงระดับระหว่าง0ถึง1มล.จากนั้นเช็ดน้ำมันที่อยู่เหนือระดับน้ำมันก๊าดให้แห้ง นำขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์ที่ใส่น้ำมันก๊าดไปแช่ในอ่างน้ำประมาณ 20-30min เพื่อควบคุมอุณหภูมิของขวดแก้วและน้ำมันก๊าดให้เท่ากันกับอุณหภูมิห้อง บันทึกระดับของน้ำมันก๊าดไว้

- ชั่งฝุ่นหินอ่อนหรือเถ้าชานอ้อยที่จะใช้ทดสอบ โดยชั่งให้อ่านได้ละเอียดถึง0.05ก.

- ค่อยๆใส่ฝุ่นหินอ่อนหรือเถ้าชานอ้อยลงในขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์จนหมด โดยไม่ให้มีเศษผงฝุ่นหินอ่อนหรือเถ้าชานอ้อยติดอยู่ภายในขวดที่อยู่เหนือระดับของน้ำมันก๊าดผู้ทดสอบอาจใช้อุปกรณ์ช่วยในการใส่ฝุ่นหินอ่อนหรือเถ้าชานอ้อยหรือเขย่าขวดทดสอบระหว่างใส่ฝุ่นหินอ่อนหรือเถ้าชานอ้อยก็ได้ แต่ต้องระวังอย่าให้ฝุ่นหินอ่อนหรือเถ้าชานอ้อยติดข้างขวดหรือตกออกมานอกขวด

- กลิ้งขวดไป-มาหรือเขย่าเบาๆเพื่อไล่ฟองอากาศที่ติดอยู่ในฝุ่นหินอ่อนหรือเถ้าชานอ้อยออกมา จนกระทั่งไม่มีฟองอากาศลอยขึ้นมายังด้านบนของขวด จึงนำขวดเลอชาเตอลิเอร์พร้อมน้ำมันก๊าดและฝุ่นหินอ่อนหรือเถ้าชานอ้อยแช่ลงในอ่างน้ำเพื่อปรับอุณหภูมิอีกครั้ง โดยแช่ในนานพอสมควรเพื่อให้ความแตกต่างระหว่างค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ในตอนเริ่มต้นและตอนสุดท้ายไม่เกิน 0.2 องศาเซลเซียส

- อ่านค่าระดับของน้ำมันก๊าดภายหลังจากแช่น้ำเพื่อปรับอุณหภูมิประมาณ30min

3.5.2 การทดสอบหาขนาดของเม็ดดิน

- การเตรียมตัวอย่างการทดลอง

วิธีตะแกรงมาตรฐาน

เอาดินตัวอย่างที่เตรียมไว้อบหรือตากแดดให้แห้งถ้ายังจับตัวกันเป็นก้อนให้ใช้ค้อนยางทุบให้แตกเสียก่อน นำตัวอย่างมาคลุกเคล้าให้เข้ากันบนผืนผ้าใบหรือบนพื้นเรียบแล้วเกลี่ยดินให้กระจายและแยกตัวด้วยวิธีแบ่งสีหรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่างดินโดยเอา 2 ใน 4 ส่วน สำหรับปริมาณของตัวอย่างดินที่จะนำมาทดสอบจะขึ้นอยู่กับขนาดเม็ดดินใหญ่ที่สุดในตารางที่3.1

ตารางที่ 3.1 ปริมาณของตัวอย่างดินที่จะนำมาทดสอบโดยขึ้นอยู่กับขนาดเม็ดดินใหญ่สุด

ขนาดเม็ดดินใหญ่สุด	น้ำหนักตัวอย่างดินอย่างน้อย(g)
3/8 in	500
¾ in	1000
1 in	2000
1 ½ in	3000
2 in	4000
3 in	5000

วิธีไฮโดรมิเตอร์

ตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดสอบได้จากการเก็บตัวอย่างดินตามธรรมชาติที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์200หรือดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์200จากการทดสอบการร่อนผ่านะแกรงมาตรฐานประมาณ100g

- การทดสอบโดยวิธีตะแกรงมาตรฐาน: ใช้วิธีการทดสอบแบบไม่ล้างตะแกรง

- ทำความสะอาดตะแกรงทั้งหมดด้วยแปรงทำความสะอาด แล้วทำการชั่งน้ำหนักของตะแกรงแต่เบอร์บันทึกค่า (ชั่งน้ำหนักของPanด้วย)

- นำตะแกรงมาเรียงซ้อนกันโดยให้ตะแกรงที่มีขนาดช่องใหญ่อยู่บน แล้วเรียงขนาดเล็กลงมาตามลำดับจนถึงตะแกรงขนาดเล็กสุด ดังนี้ No.3/8, 4, 10, 20, 40,100,200และPan

- นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้เทใส่ลงบนตะแกรงชั้นบนสุด ปิดฝาแล้วนำเข้าเครื่องเขย่า ใช้เวลาในการเขย่าอย่างน้อย10min เสร็จแล้วนำตะแกรงไปชั่งน้ำหนัก จะได้น้ำหนักตะแกรงรวมกับดินที่ค้างบนตะแกรง นำดินที่ค้างอยู่บนตะแกรงออกทิ้งแล้วทำความสะอาดตะแกรงให้เรียบร้อย

- การทดสอบโดยวิธีไฮโดรมิเตอร์

- เตรียมสารช่วยเม็ดดินกระจายตัว (Dispersing Agent) ความเข้มข้น4% โดยนำผงSodium Hexa – Metaphosphate มาละลายในน้ำโดยใช้อัตราส่วน4g ละลายน้ำ100ลบ.ซมแล้วตั้งทิ้งไว้ โดยASTMแนะนำว่าควรทิ้งไว้ไม่น้อยกว่า16ชั่วโมง

- นำตัวอย่างดินแห้งที่เตรียมไว้ประมาณ50gผสมเข้ากับสารช่วยเม็ดดินกระจายตัว (4% Sodium Hexa - Metaphosphate) โดยใช้เครื่องกวนดินไฟฟ้าปั่นส่วนผสมดินประมาณ10minแล้วเทลงในกระบอกตกตะกอนใช้น้ำกลั่นฉีดดินออกจากเครื่องผสมให้หมดแล้วเติมน้ำจนถึงขีดบอกปริมาตร 1000 cm^3

- ใส่น้ำกลั่นในกระบอกตกตะกอนอีกอันหนึ่ง เพื่อใช้ล้างน้ำโคลนที่อาจติดไฮโดรมิเตอร์มาหลังจากการวัด (โดยจับที่ก้านไฮโดรมิเตอร์จุ่มลงไปในน้ำแล้วหมุนไปมา) และแช่ไฮโดรมิเตอร์ในระหว่างที่ไม่ใช้วัด

- ใช้จุกยางปิดปากกระบอกตกตะกอนที่มีส่วนผสมดินแล้วเขย่าส่วนผสมให้เข้ากันประมาณ1minจากนั้นวางลงแล้วเริ่มจับเวลาทันที

- หย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงในน้ำโคลนเพื่ออ่านค่าRที่เวลา ¼,1/2,1และ2min ตามลำดับ(15s,30s,60s,120s)โดยไม่ต้องยกไฮโดรมิเตอร์ออกขณะที่อ่านค่าตามเวลาดังกล่าว เมื่ออ่านค่าเวลาครบแล้วจึงยกไฮโดรมิเตอร์ออกแล้วทำการวัดอุณหภูมิของน้ำโคลนด้วย

- เขย่ากระบอกอีกครั้งตามขั้นตอนที่4แล้ววัดค่าRที่2,5,10,20, ... min (เพิ่มระยะเวลาอ่านครั้งต่อไปประมาณ2เท่า)จนกระทั่งค่าที่อ่านได้คงที่โดยประมาณจึงหยุดการทดลองโดยทุกครั้งที่อ่านค่าRให้วัดอุณหภูมิของส่วนผสมน้ำโคลนหลังจากเสร็จการอ่านค่าแต่ละครั้งให้ยกไฮโดรมิเตอร์ออกไปจุ่มไว้ในกระบอกน้ำเปล่าที่เตรียมไว้และปิดปากกระบอกน้ำโคลนด้วยจุกยาง

- หลังจากการทดสอบเสร็จสิ้นแล้วให้เขย่ากระบอกเทน้ำโคลนออกจากกระบอกใส่ภาชนะ โดยต้องล้างดินที่ก้นกระบอกออกให้หมดแล้วนำไปอบเพื่อหาน้ำหนักของดินแห้ง

3.5.3 การทดสอบหาขีดจำกัดของอัตเตอร์เบอร์ก

- การเตรียมตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างดินที่ได้จากการเจาะสำรวจหรือตามแหล่งที่ต้องการ แล้วนำดินมาทำการตากแห้งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำดินมาทุบให้แตกด้วยค้อนยาง ทุบให้ดินแยกตัวออกจากกันเท่านั้นไม่ใช้ทุบจนกระทั่งเม็ดดินแตกออกตามมาด้วยแล้งนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 โดยให้ใช้จำนวนตัวอย่างดินตามการทดสอบ ดังนี้

การทดสอบ Liquid Limit	ประมาณ 100 g
การทดสอบ Plastic Limit	ประมาณ 20 g
การทดสอบ Shrinkage Limit	ประมาณ 30 g

- ขั้นตอนการทดสอบ Liquid Limit

- นำดินที่เตรียมไว้ใส่ในถ้วยเคลือบแล้ว ใส่น้ำประมาณ 15-20 มิลลิลิตร หรือในปริมาณที่ไม่เหนียวจนเกินไป แล้วผสมให้เข้ากัน

- เตรียมอุปกรณ์ชุดทดสอบ ให้ความสูงของก้นจานอยู่สูงกว่าพื้นรอง 1 ± 0.2 เซนติเมตร โดยใช้ด้ามของ Grooving Tool วัด ทำการปรับปรุงปุ่มเลื่อนต่างๆ ให้แน่น แล้วใช้มีดปาดดิน (Spatula) ตักดินใส่ลงใจจาน แล้วปาดให้เรียบ โดยให้มีความหนาของดินตรงกลางประมาณ 1 เซนติเมตร

- ทำการบากดินในจาน ด้วย Grooving Tool ให้เป็นร่องในครั้งเดียวจนเห็นพื้นรองจานและรอยร่องนี้จะแบ่งดินออกเป็น 2 ข้างเท่ากัน (ในการบากดินเป็นร่องควรทำครั้งเดียว ไม่ควรทำหลายๆครั้ง เพราะแนวร่องที่ตัดซ้ำจะไม่อยู่ในรอยเดิม ทำให้ยากแก่การสังเกตแนวร่องที่ดินจะไหลมาชนกันจากการตกกระทบของจาน)

- ทำการหมุนให้จานตกกระทบกับพื้นรองในทันที ซึ่งใช้ความเร็วในการหมุน 1.9-2.1ครั้งต่อ1s (ประมาณ 2 ครั้งต่อ 1 s) โดยนับจำนวนครั้งไว้ด้วย ทำการหมุนจนกระทั่งดินที่บากไว้ไหลเข้ามาชนกันเป็นระยะทาง ½ in (12.7mm)

- ในการหาค่า Liquid Limit จะนับจำนวนการเคาะที่ 25 ครั้งแล้วดินไหลมาชนกันเป็นระยะทาง ½ in พอดีนั้นทำได้ยาก จึงได้มีการกำหนดจำนวน การเคาะครั้งแรกและครั้งต่อๆไป เพื่อนความสะดวก ดังนี้ (ตามมาตรฐาน ASTM D4318)

จำนวนการเคาะ ครั้งที่ 1 ประมาณ 25-35 ครั้ง

จำนวนการเคาะ ครั้งที่ 2 ประมาณ 20-30 ครั้ง

จำนวนการเคาะ ครั้งที่ 3 ประมาณ 15-25 ครั้ง

- เมื่อได้จำนวนการเคาะตามที่กำหนด และดินไหลมาชนกันเป็นระยะทาง ½ in แล้วทำการตักดินเฉพาะตรงที่ดินไหลมาชนกัน โดนใช้ Spatula ปาดขนานกันให้ระยะห่างพอดีกับระยะที่ดินไหลมาชนกันนี้แล้วจึงตัดหัวท้ายของรอยตัดขาดนี้ในแนวตั้งฉากกัน นำดินที่ถูกตักใส่ในกระป๋อง แล้วนำไปอบเพื่อหาค่าปริมาณความชื้น

- นำดินที่เหลือในจานออกแล้วนำกลับไปผสมกับดินที่เหลืออยู่ในถ้วยเคลือบ โดนเติมน้ำ ทีละน้อย ผสมเข้ากันให้ทั่ว ทำความสะอาดจานของชุดทดสอบ, Grooving Tool, Spatula ให้เรียบร้อย อย่าให้มีเศษดินติดอยู่ พร้อมที่จะทำการทดสอบครั้งต่อไป

- ทำการทดสอบซ้ำเหมือนขั้นตอนที่ 4-7 จนกระทั้งครบตามจำนวนตัวอย่างดินที่ต้องการทดสอบ

- นำข้อมูลที่จำนวนการเคาะ (N) และปริมาณความชื้น (Water Content) ไปเขียนเป็นกราฟในกระดาษกราฟ Semi-Log โดยให้จำนวนการเคาะ (N) อยู่ในแนวแกน X (Scale Log) และปริมาณความชื้น (Water Content) อยู่ในแนวแกนYแล้วลากเส้นตรงผ่านจุดเหล่านั้น

- จากจำนวนการเคาะ 25 ครั้งให้ลากเส้นตรงในแนวดิ่งผ่านเส้นกราฟที่ได้เขียนไว้แล้วลากเส้นขนานแนวราบไปตัดแกนYค่าปริมาณความชื้นที่ได้นี้คือค่า Liquid Limit, L.L.

- ขั้นตอนการทดสอบ Plastic Limit

- นำดินที่เตรียมไว้สำหรับการหาค่า Liquid Limit นำมาประมาณ 20 g ผสมกับน้ำให้เข้ากัน พยายามให้มากที่สุด แล้วปั้นเป็นก้อนกลม เส้นผ่านศูนย์กลางประมาร 10 mm

- นำไปคลึงบนแผ่นกระจกในอัตรา 80-90 ครั้ง/min จนกระทั้งเป็นเส้นกลมยาวเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/8 in แล้วให้เกิดรอยแตกเล็กๆ ทั่วไปจึงจะนำตัวอย่างที่ได้ไปใส่กระป๋องเพื่อหาค่าปริมาณความชื้น

- ทำการทดลองซ้ำอย่างน้อย 3-5 ตัวอย่าง แล้วนำค่าเฉลี่ยกัน (ค่าที่จะนำมาเฉลี่ยได้ต้องมีค่าใกล้เคียงกัน คือต่างกันไม่เกิน 2 %)

3.5.4 การทดสอบการบดอัดดิน

- การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างดินแปลงสภาพร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 หนักประมาณ 3 – 5 kgแล้วผึ่งให้แห้งโดยอากาศ หรือดินที่ได้จากการเก็บตัวอย่างในสนาม

1.นำตัวอย่างดินที่ได้จัดเตรียมไว้มาเทลงในถาดผสมดิน ใช้ค้อนทุบดินที่เกาะอยู่ออกจากกัน ถ้าตัวอย่างเป็นดินเหนียวผึ่งให้แห้งแล้วทุบให้ละเอียดหรืออาจใช้เครื่องบด

2.พิจารณาตัวอย่างของเม็ดดิน เพื่อเลือกใช้ Mold ให้เหมาะสมกับขนาดของเม็ดดิน ถ้าตัวอย่างเป็นเม็ดเล็ก ให้ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ใช้กับMold ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 105 mm ถ้าเม็ดดินมีขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 4 ให้ร่อนผ่านตะแกรงขนาด ¾ in ใช้กับ Mold ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 mm โดยส่วนที่ค้างตะแกรงขนาด ¾ in ให้แทนด้วยดินที่ผ่านตะแกรงขนาด ¾ inและค้างตะแกรงเบอร์ 4 ในปริมาณที่เท่ากัน

3.ประมาณปริมาณความชื้นที่เหมาะสม ตามขั้นตอนการทดสอบ

- การบดอัดดิน

- วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ความสูงของmold เพื่อหาปริมาตรของดินใน Mold จากนั้นประกอบ Mold และ Base Plate พร้อมชั่งน้ำหนัก (ไม่ต้องชั่ง Collar)

- นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้อย่างน้อย 3 kgสำหรับทดสอบแบบมาตรฐานและ 5 kgสำหรับการทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐาน โดยเริ่มผสมน้ำให้มีความชื้น ตามค่าที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างแล้วคลุกเคล้าให้เข้ากัน

- ตักดินใส่ Mold ที่ประกอบไว้แล้ว โดยกะให้ความสูงในแต่ละชั้นเท่าๆ กันโดยมีจำนวน 3 ชั้นกัน สำหรับ Standard และ 5 ชั้นสำหรับ Modified เมื่อบดอัดครบจำนวนชั้นแล้วให้ดินพ้นขอบ Mold ขึ้นไปประมาณ 1-2 cm

- ใช้ค้อนหนัก 5.5 ibสำหรับบดอัดแบบมาตรฐานและ 10 ibสำหรับบดอัดสูงกว่ามาตรฐาน บดอัดดินใน mold แต่ละชั้นให้ทั่วทั้ง Mold บดอัดชั้นละ 25 ครั้งสำหรับmoldขนาด 105 mm และ 56 ครั้งสำหรับ mold ขนาด 152.4 mm โดยให้ mold วางอยู่บนพื้นคอนกรีตเรียบ หรือที่ทดสอบ

- ถอดปลอก (collar) ออกใช้เหล็กปาดดิน ปาดดินที่เกินขอบmoldออกและแต่งผิวให้เรียบ ใช้แปรงขนอ่อนปัดเศษดินที่ค้างอยู่ออกให้หมดแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

- ดันแท่งตัวอย่างดินออกจาด mold แล้วผ่ากลางแนวตั้งเพื่อเก็บตัวอย่างตามแนวผ่าประมาณ 100 g ไปอบเพื่อ หาค่าปริมาณความชื้น (Water Content)

- ใช้ค้อนยางทุบก้อนดินที่เหลือให้แตกออกจนร่วน แล้วผสมน้ำเพิ่ม 2-3% คลุกเคล้าให้เข้ากันทั่ว แล้วทดสอบซ้ำตามข้อ 4-6 จนกระทั่งน้ำหนักดินเริ่มลดลง แล้วทดลองเพิ่มอีกครั้ง เพื่อให้ได้กราฟทางด้านเปียก จำนวนครั้งมนการทดสอบไม่ควรเกิน 5-6 ครั้ง

- ทำการทดสอบที่อัตราส่วนการผสมสารStabilizerที่ 0, 5, 10, 15, 20, 25%และมีระยะเวลาการบ่มที่ 7, 14, 28,50วัน จากนั้นบันทึกผลการทดลอง

3.5.5 การทดสอบหาค่า ซี.บี.อาร์

- การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมตัวอย่างที่ต้องการทดสอบเช่นเดียวกับการทำการทดสอบ Compaction ตามมาตรฐาน ASTM : D698หรือ D1557 ถ้าเป็นตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (ดินเม็ดละเอียด) ควรใช้ประมาน 5.5 kg และถ้าผ่านตะแกรงเบอร์ ¾ in (ดินเม็ดหยาบ) ควรใช้ประมาน 6 kg โดยนำมาผสมกับน้ำในปริมาณ O.M.C ที่ได้มาจากการทดสอบ Compaction ให้เข้ากันทั่วถึง

- การทดสอบกับตัวอย่างที่ไม่แช่น้ำ

- ทำการชั่งน้ำหนักของ C.B.R. Mold แล้วยึด C.B.R. Mold กับ Base Plate ให้แน่นพอสมควร และนำ Spacer Disc มาใส่ลงใน C.B.R. Mold หมุนเอาหูหิ้ว ออกนำเอากระดาษกรองมารองบน Spacer Disc เพื่อป้องกันตัวอย่างทดสอบติดกับ Spacer Disc พร้อมกับประกอ Collar ให้เรียบร้อย

- ทำการบดอัดตมมาตรฐาน ASTM D1140-54 ใช้ค้อนขนาด 5.5 lb ระยะตก 12 in ทำการบดอัดจำนวน 3 ชั้นๆละ56 ครั้ง หรือ D1577-00 ใช้ค้อนขนาด 10 lb ระยะตก 18 in ทำการบดอันจำนวน 3 ชั้นๆละ56 ครั้ง (Standard Proctor หรือ Modified Proctor)

- ถอด Collar ออก ปาดตัวอย่างทดสอบให้เรียบเสมอขอบ C.B.R. Mold แล้วยกออกจาก Base Plate นำไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักเฉพาะของตัวอย่างทดสอบใน C.B.R. Mold แล้วพลิกด้านที่มีตัวอย่างทดสอบเสมอขอบของ C.B.R. Mold มาวางลงบน Base Plate ซึ่งรองด้วยกระดาษกรองไว้ก่อแล้ว ทำการยึด C.B.R. Mold กับ Base Plate ให้แน่น

- หลังจากเตรียมตัวอย่างทดสอบเสร็จแล้วให้นำตัวอย่างทดสอบที่เหลือจากการบดอัดดินไปหาค่าปริมาณความชื้น (Water Content) ทันที

- นำตัวอย่างทดสอบที่เตรียมไว้ตามขั้นตอนที่ 3 มาทดสอบโดยการวาง แผ่นน้ำหนัก (Surcharge Weight) ที่มีน้ำหนักใกล้เคียงหรือเท่ากับน้ำหนักของวัสดุ ที่กดลงบนชั้นพื้นดินจริง แต่จะต้องไม่น้อยกว่า 10 ib ให้กดทับลงบนผิวหน้าของตัวอย่างทดสอบเสร็จเรียบร้อยแล้วให้นำไปวางบนเครื่องทดสอบแรงกด (Loading Machine)

- ทำการปรับแท่งกด โดยให้ผ่านรูตรงกลางของแผ่นน้ำหนัก และให้แท่งกดสัมผัสกับผิวหน้าตัวอย่างทดสอบพอดี โดยค่อยๆปรับและคอยสังเกตเข็มของ Load Dial Gauge เริ่มขยับขึ้นจึงหยุดปรับ เสร็จแล้วทำการติดตั้ง Penetration Dial Gauge เพื่ออ่านค่าระยะจมของแท่งกด แล้วทำการปรับ Dial Gauge ทั้งสองให้เข็มอยู่ในตำแหน่งเลขศูนย์

- เริ่มกด ลงบนตัวอย่างทดสอบด้วยอัตราการกด 0.05 in (1.27 mm) ต่อmin ต่อเนื่องกันอย่างสม่ำเสมอ ให้อ่านค่าน้ำหนักกดจาก Load Dial Gauge ที่ระยะจม ดังนี้ 0.025 (0.64 มม.), 0.05 (0.81 มม.), 0.075 (1.91 มม.), 0.1 (2.54 มม.), 0.125 (3.18 มม.), 0.150 (3.81 มม.), 0.175 (4.45 มม.), 0.200 (5.08 มม.), 0.250 (6.35 มม.), 0.300 (7.62 มม.)

0.350 (8.98 มม.), 0.400 (10.16 มม.), 0.450 (11.43 มม.), 0.500 in (12.7 มม.) ตามลำดับ

- ทำการถอดแรงกด กลับดังเดิม โดยหมุนให้เข็มของ Penetration Dial Gauge กลับคืนจนสุด แล้วจึงนำ C.B.R. Mold ออกจากเครื่องทดสอบ นำตัวอย่างส่วนหนึ่งไปหาค่าปริมาณความชื้น การเก็บตัวอย่างทดสอบเพื่อไปหาค่าปริมาณความชื้นนั้นควรเก็บบริเวรตรงกลาง ของตัวอย่างทดสอบ

- ทำการทดสอบที่อัตราส่วนการผสมสาร Stabilizerที่ 0, 5, 10, 15, 20, 25%และมีระยะเวลาการบ่มที่ 7, 14, 28,50วัน จากนั้นบันทึกผลการทดลอง

3.5.6 การทดสอบแรงเฉือนแบบไม่ถูกจำกัด

- การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างดินเปลี่ยนสภาพหรือตัวอย่างดินที่เตรียมขึ้นเอง

1. ในกรณีที่ต้องการทดสอบดินเปลี่ยนสภาพ ก็ต้องนำตัวอย่างดินคงสภาพที่ได้ทดสอบไปแล้วหรือตัวอย่างคงสภาพมาขยำหรือบดเข้ากันให้ทั่วในกระบอกผ่า(ควรทาขี้ผึ้งหล่อลื่นบนผิวภายในของกระบอกแบบเพื่อสะดวกในการดันตัวอย่างออก) พยายามให้มีโพรงอากาศอยู่ในตัวอย่างน้อยที่สุด แล้วดำเนินการตาม

2.และ3.เหมือนกับตัวอย่างดินคงสภาพ แต่ถ้าเป็นกรณีดินเหนียวอ่อนมากอาจจะต้องดันตัวอย่างออกเสียก่อนแล้วจึงค่อยวัดขนาดเพราะขนาดจะเปลี่ยนไปในขณะที่ดัน

ในกรณีทดสอบดินที่เตรียมขึ้นเอง ซึ่งเป็นตัวอย่างดินที่เตรียมใหม่จากการบดอัด ให้มีความหนาแน่นและความชื้นตามต้องการ ซึ่งวิธีเตรียมก็คล้ายกับการบดอัดแบบ Standard Proctor, Modified AASHO หรือ Harvard Miniature ต่างกันที่รูปร่างของแบบ Mold จะเปลี่ยนไปให้เหมาะสมกับขนาดมาตรฐานสำหรับ Unconfined Test ดังที่กล่าวแล้วมาข้างต้น เมื่อดันตัวอย่างออกจากแบบสำหรับบดอัดแล้วอาจจะต้องแต่งด้านบนและด้านล่างให้เรียบได้ระดับ แล้วจึงดำเนินการเช่นเดียวกันกับขั้นตอน2 และ 3 ของตัวอย่างดินคงสภาพ

- การทดสอบ

- แป้นกดของเครื่องจะต้องสัมผัสอย่างพอดี

- Dial gauge สำหรับวัดการหดและวัดแรง (ในProving ring) ให้ปรับค่าเริ่มต้นอยู่ที่ศูนย์

- ในกรณีที่เครื่องทดสอบแบบมือหมุน ผู้ทดสอบจะต้องซ้อมหมุนให้ได้อัตรากดตามต้องการ (ในกรณีที่ยังไม่มีตัวอย่างดิน)

- เริ่มการกดตัวอย่างโดยให้อัตราการกดคงที่ (การเคลื่อนที่แนวดิ่งของเครื่องให้อยู่ในช่วง 0.02 ถึง 0.01 inต่อmin ปรกติใช้ 0.05 inต่อmin) ตามความเหมาะสมในช่วงการอ่านต่างๆกัน

- บันทึกข้อมูลจากวงแหวนวัดแรงทุกๆการหดตัว 0.005 inของตัวอย่าง (อาจใช้ 0.02 inในกรณีตัวอย่างเป็นดินเปราะ)

- เมื่อแรงในวงแหวนวัดแรงเพิ่มขึ้นไปสูงสุดแล้วจึงเริ่มลดลง ซึ่งแสดงว่าถึงจุดสูงสุดของกำลังขอดิน ให้ยังอ่านผลต่อไปจนเห็นแนวเฉือน (Failure plane) บนตัวอย่างได้ชัดเจน ในบางกรณีที่ไม่มีรอยเฉือนปรากฏชัด เช่น ตัวอย่างดินเปลี่ยนสภาพ ในทดสอบจนการหดตัวถึงประมาณ 20% ของความสูงตัวอย่าง

- วาดรูปลักษณะการเกิดรอยเฉือน และวัดมุมที่รอยเฉือนทำกับแนวราบ

- ตัวอย่างดินที่ทำการทดสอบเสร็จแล้วต้องนำไปชั่งและเข้าเตาอบเพื่อหาปริมาณความชื้น (Moisture Content)

- ทำการทดสอบที่อัตราส่วนการผสมสารStabilizerที่ 0-25%และมีระยะเวลาการบ่มที่ 7, 14, 28,50วัน จากนั้นบันทึกผลการทดลอง

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์

4.1 การวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพของวัตถุดิบ

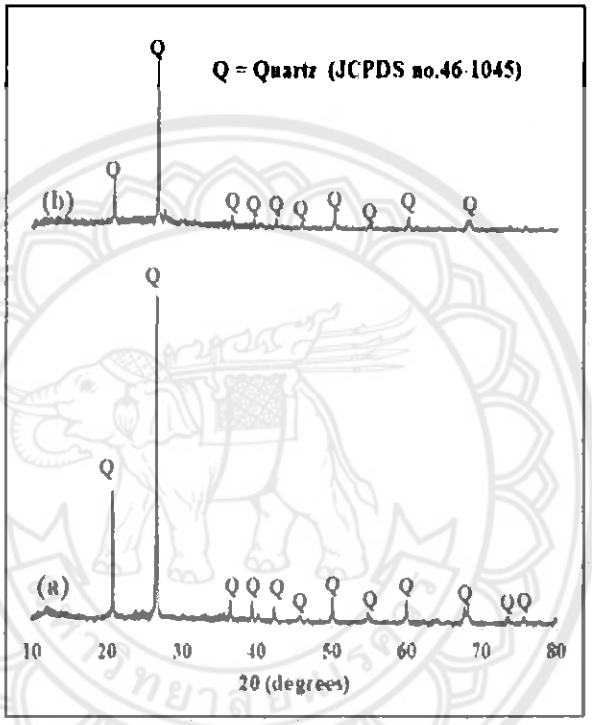
องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุซึ่งประกอบด้วยดินลมหอบ , ฝุ่นหินอ่อน (MDW) และ เถ้าชานอ้อย(SBAW) จะแสดงในตารางที่ 4.1

ส่วนประกอบทางเคมีของดินลมหอบส่วนใหญ่ประกอบด้วยซิลิคอนออกไซด์ อลูมิเนียมออกไซด์ และเฟอริกออกไซด์ องค์ประกอบหลักของซิลิกอนไดออกไซด์ที่พบในดินลมหอบแสดงให้เห็นถึงจำนวนของควอทซ์ที่มีจำนวนมากอย่างมีนัยสำคัญ ในกรณีของฝุ่นหินอ่อน (MDW)วัสดุนี้ประกอบด้วยแคลเซียมออกไซด์บริสุทธิ์ซึ่งชี้ให้เห็นว่าผงนี้มาจากหินอ่อนชนิดแคลไซต์ และผลการยิงรังสี XRF ยังแสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบทางเคมีของปอซโซลานิคที่สำคัญอันได้แก่ $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ พบในเถ้าชานอ้อย(SBAW)ถึง 90.70% ดังนั้นจึงไปตามข้อกำหนดของการกำหนดมาตรฐานสำหรับการเถ้าลอยถ่านหินและปอซโซลานธรรมชาติดิบหรือเผาเพื่อใช้ในคอนกรีต (ASTM: C618-12a)

ตารางที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมี(%โดยมวล)ของดินลมหอบ , ฝุ่นหินอ่อน (MDW) และ เถ้าชานอ้อย(SBAW)

องค์ประกอบทางเคมี	ดินลมหอบ (Loess)	ฝุ่นหินอ่อน (MDW)	เถ้าชานอ้อย (SBAW)
SiO_2	56.24	-	79.26
Al_2O_3	24.99	-	9.21
Fe_2O_3	12.38	-	2.23
CaO	0.95	100	1.97
SO_3	0.41	-	0.50
MnO_2	0.29	-	0.16
Na_2O	-	-	-
K_2O	3.27	-	5.06
P_2O_5	-	-	1.09
TiO_2	1.32	-	0.51

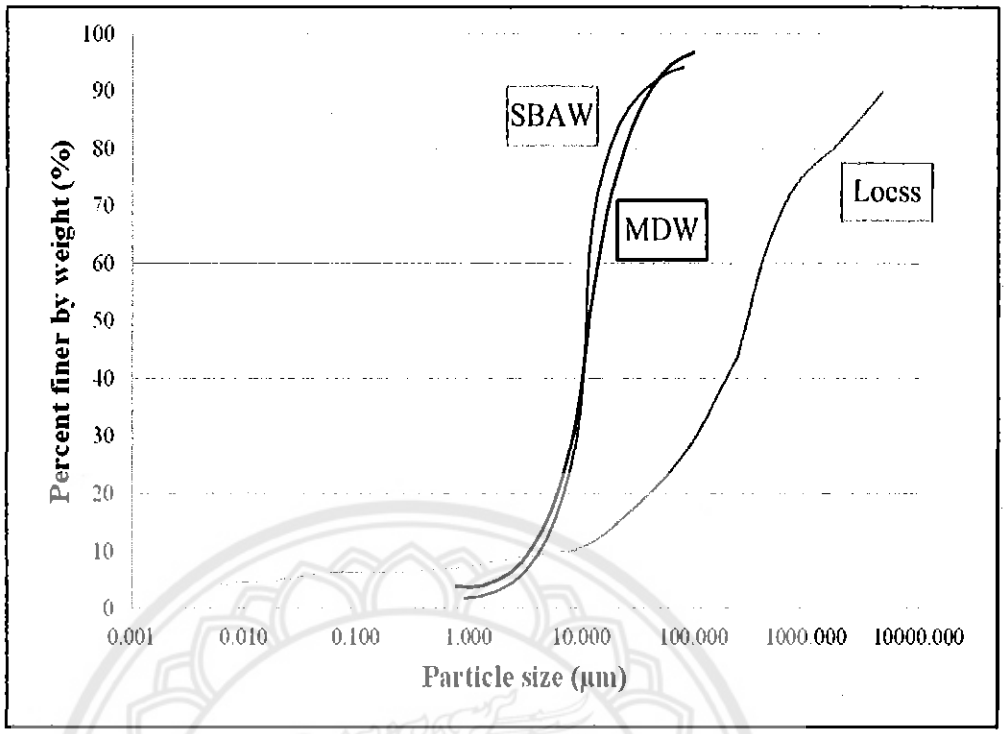
ข้อมูลของผลึกควอทซ์ที่มีจำนวนมากในดินลมหอบจะมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้นเมื่อดูผลจากการวิเคราะห์การยิงรังสี XRD (รูปที่ 4.1(a)) รูปแบบการเลี้ยวเบนแสดงให้เห็นถึงดินลมหอบประกอบด้วยผลึกควอทซ์หลัก (อ้างอิง JCPDS file no. 46-1045) ตำแหน่งการจับคู่กันของรูปแบบการเลี้ยวเบนสังเกตในรูปที่ 4.1 (b) แสดงให้เห็นถึงลักษณะผลึกควอทซ์ของ SBAW เป็นผลึกคล้ายกับดินลมหอบ ที่ระดับต่ำกว่าในความเข้มข้นสูงสุดของ SBAW เมื่อเปรียบเทียบกับดินลมหอบบ่งชี้ว่า Si-O ในโครงสร้างพันธะของ SiO_2 ใน SBAW ไม่เป็นระเบียบ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ผลึกซิลิก้าเปลี่ยนรูปเป็นรูปร่างที่ไม่แน่นอน



รูปที่ 4.1 แสดงรูปแบบของผลึกที่ได้จากการยิงรังสี XRD ของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

(a) ดินลมหอบ (b) เถ้าชานอ้อย

การกระจายขนาดอนุภาคของวัสดุที่ทำการศึกษาดังปรากฏในรูปที่ 4.2 ในกรณีของดินลมหอบ วิเคราะห์ขนาดของอนุภาคโดยใช้วิธีตะแกรงมาตรฐานและวิธีไฮโดรมิเตอร์ ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่ามากกว่า 70% ของตัวอย่างดินที่นำมาทดสอบเป็นขนาดอนุภาคชนิดทรายและ 27% เป็นขนาดอนุภาคชนิดตะกอน ในขณะที่เส้นโค้งแสดงการกระจายตัวของขนาด SBAW และ MDW ที่ได้จากทดสอบ PSA พบว่าเส้นโค้งแสดงการกระจายตัวของขนาด SBAW และ MDW มีความคลายคลึงกัน โดยที่ D_{50} ของ SBAW มีค่าเท่ากับ10.47 μm ซึ่งเกือบจะเท่ากับขนาดของ MDW (ตารางที่ 4.2) คุณสมบัติทางกายภาพเช่นค่าความถ่วงจำเพาะ , ค่าAtterberg Limits และค่าอื่นๆ สามารถดูได้ดังตารางที่ 4.2



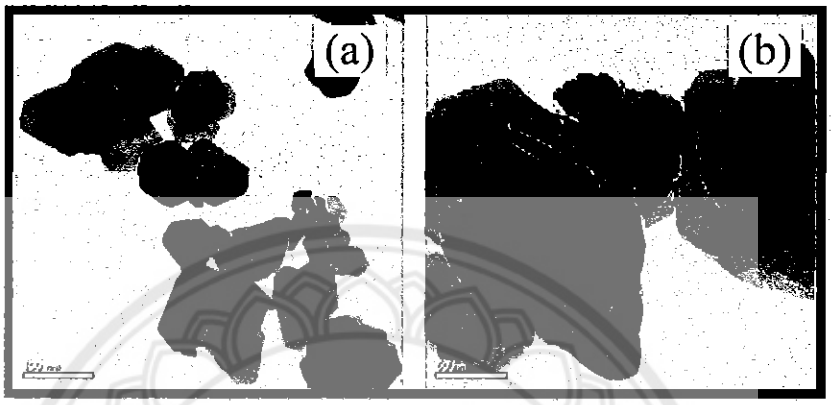
รูปที่ 4.2 แสดงเส้นโค้งการกระจายของขนาดอนุภาคของวัสดุ

ได้แก่ Loess(ดินลมหอบ) MDW(ฝุ่นหินอ่อน) SBAW(เถ้าชานอ้อย)

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ ของดินลมหอบ ฝุ่นหินอ่อน และเถ้าชานอ้อย

สมบัติทางกายภาพ	ดินลมหอบ	ฝุ่นหินอ่อน	เถ้าชานอ้อย
Specific gravity	2.70	2.86	2.02
D_{90} (µm)	4,750	32.68	29.93
D_{50} (µm)	290	10.81	10.47
D_{10} (µm)	8.7	3.28	3.80
Uniformity coefficient (C_u)	44	4.10	3.16
Coefficient of gradation (C_c)	1.8	1.54	1.35
Liquid limit (%)	18.98	-	-
Plastic limit (%)	NP	-	-
Soil classification (USCS)	SM	-	-
BET specific surface area (m^2/g)	-	7.93	38.85

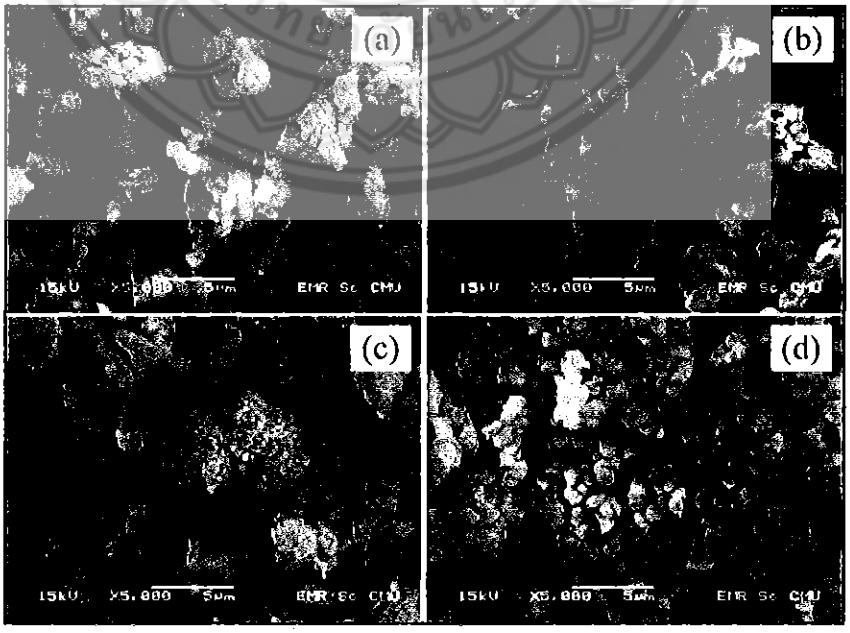
รูปที่ 4.3 แสดง TEM micrographs ของดินลมหอบ พบว่าดินลมหอบที่มีลักษณะเป็นก้อนกลมที่เกาะกลุ่มกันอยู่นั้น สังเกตุว่ามีอนุภาคของดินเหนียวลักษณะเป็นแท่งที่มีขนาดเล็กซึ่งสามารถมองเห็นได้จากกล้องที่มีกำลังขยายที่สูงมาก(รูปที่ 4.3b) ซ้อนตัวอยู่ในระหว่างก้อนดิน(วงกลมสีแดง) ซึ่งแสดงผลได้ว่าดินชนิดนี้มีการยึดเหนียวหรือเกาะตัวกันน้อยมากๆ



รูปที่ 4.3 แสดงการใช้ TEM micrographs ของดินลมหอบ

(a) กำลังขยาย x9,700 (b) กำลังขยาย x197,000

ในรูปที่ 4.4 แสดง SEM micrograph พิสูจน์ว่า MDW แสดงให้เห็นถึงการกระจายขนาดอนุภาคที่แคบเมื่อเทียบกับ SBWA แม้ว่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยของ SBAW และ MDW จะคล้ายกัน แสดงให้เห็นถึง SBAW มีความพรุนสูงกว่า MDW



รูปที่ 4.4 แสดง SEM photographs ของ MDW ที่การเผาที่อุณหภูมิต่างๆ

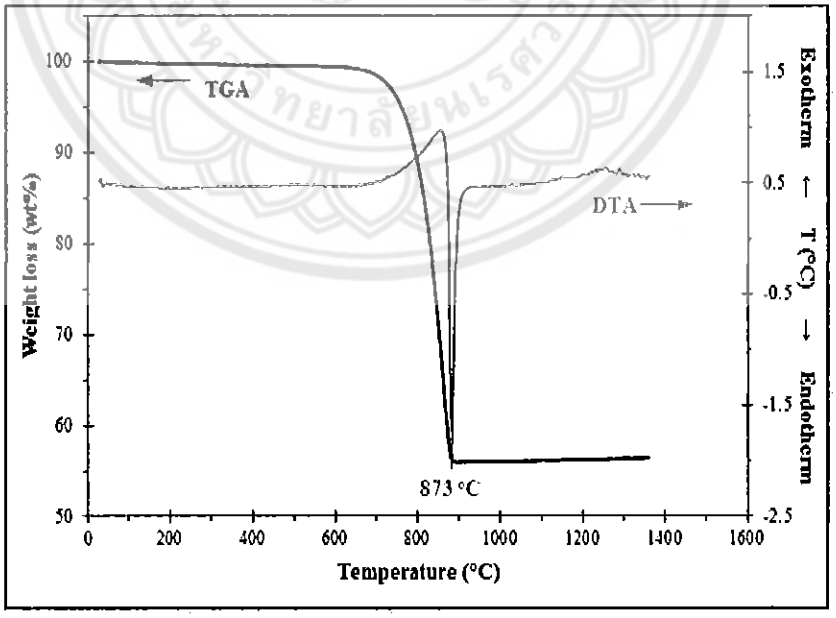
a) ยังไม่ได้เผา b) เผาที่ 600 ̊C ที่ 2 h c) เผาที่800 ̊C ที่ 2 h d) เผาที่ 1000 ̊C ที่ 2 h

รูปพื้นผิวโครงสร้างจุลภาคของ MDW ที่เผาแล้วด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกัน แสดงใน รูปที่ 4.4 (a) แสดงโครงสร้างจุลภาคของ MDW พบว่าเป็นรูปทรงเหลี่ยมและเกิดการกระจายอนุภาคค่อนข้างสูง รูปที่ 4.4 (b) แสดงให้เห็นว่าเมื่อ MDW ได้รับความร้อนในการเผาที่ 600 องศาเซลเซียส อนุภาคขนาดใหญ่ของเถ้าเริ่มมีการแตกตัวจากกันเป็นอนุภาคขนาดเล็ก เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 800 องศาเซลเซียส พบว่าอนุภาคขนาดเล็กเริ่มหลอมและจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนแสดงในรูปที่ 4.4 (c) รูปที่ 4.4 (d) เมื่ออุณหภูมิเผาเพิ่มขึ้นเป็น 1000 องศาเซลเซียส มีการเพิ่มขึ้นของขนาดอนุภาคและจับเป็นก้อนใหญ่สามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน ดังนั้นจึงถูกเลือก ในการวิจัยศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติทางวิศวกรรมเพื่อนำไปใช้เป็นวัสดุทดแทนซีเมนต์ เปรียบเทียบ กับ MDW

4.2 ปฏิกิริยาเคมีของฝุ่นหินอ่อน (MDW)

เส้นโค้ง TGA-DTA ในการตรวจสอบปฏิกิริยาทางเคมีของผงหินอ่อนที่แสดงในรูปที่ 4.5 การสูญเสียน้ำหนักที่เกิดขึ้นจากประมาณ 600 °C - 900 °C ซึ่งสอดคล้องกับจุดดูดความร้อนสูงสุดที่ 873 °C ในโค้ง DTA ข้อมูลเหล่านี้เกี่ยวข้องกับการสังเกตปฏิกิริยาเมื่อแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCo_3$) สลายตัวเกิดเป็น Lime (CaO) และคาร์บอนไดออกไซด์ตามที่แสดงใน Eq. 4.1 [16]

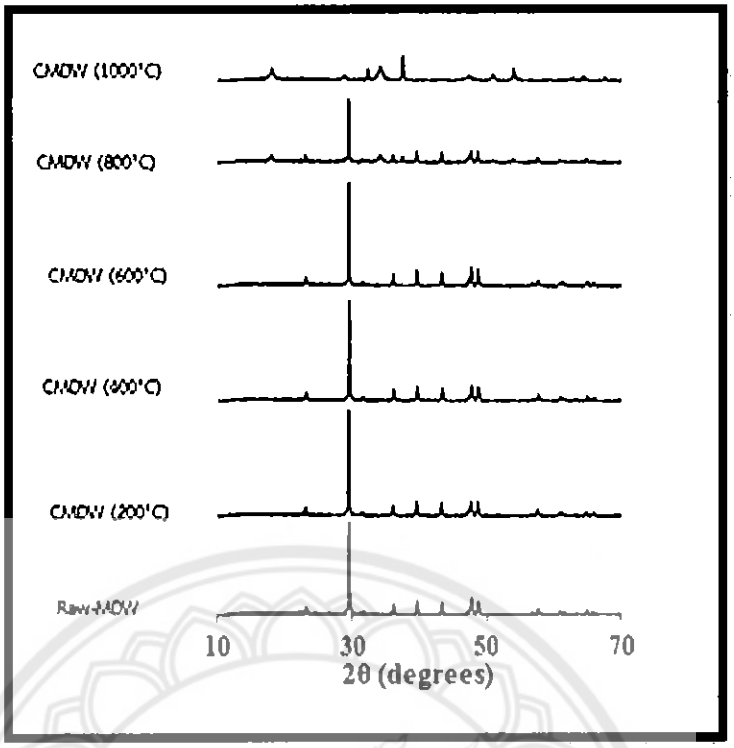
$$CaCO_{3(s)} \rightarrow CaO_{(s)} + CO_{2(g)} \quad \text{..... [Eq. 4.1]}$$



รูปที่ 4.5 TGA-DTA curves ของฝุ่นหินอ่อน

รูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นถึงรูปแบบ XRD ของฝุ่นหินอ่อนและฝุ่นหินอ่อนที่เผาแล้ว ที่อุณหภูมิการเผาต่างๆระหว่าง 200 °C -1,000 °C ระยะเวลา 2 ชั่วโมง XRD patterns ของฝุ่นหินอ่อนแสดงว่าวัสดุประกอบด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตบริสุทธิ์ ($CaCO_3$) ซึ่งสอดคล้องกับองค์ประกอบทางเคมีที่วิเคราะห์โดยใช้ XRF analyzer, XRD patterns ยังคงรักษาสภาพเดิมถึงแม้ว่าตัวอย่างจะถูกเผาที่อุณหภูมิ 600 °C ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของ quick lime (CaO, indexed as portlandite) พบครั้งแรกเมื่อตัวอย่างที่ถูกเผาที่อุณหภูมิ 800 °C เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเผาถึง 1000 °C รูปแบบการเปลี่ยนแปลงกราฟชี้ให้เห็นว่า CaO, $CaCO_3$ ที่เหลืออยู่ในระบบมีน้อยมาก สังเกตจากจุดเลี้ยวเบนสูงสุดที่ 2θ ของ 29 °Cซึ่งรูปแบบของ $CaCO_3$ และ CaO สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความร้อน

SEM photographs ของผงหินอ่อนที่เผาระหว่าง 600 °C -1000 °C จะแสดงในรูปที่ 4.4 สามารถสังเกตเห็นการเผาของผงหินอ่อนที่ 600 °C ทำให้เกิด อนุภาค $CaCO_3$ ครั้งแรกที่จะละลายและผสานเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ (รูปที่ 4.4b) ในรูปที่ 4.6 $CaCO_3$ ถูกย่อยสลายและผลึกเล็กๆของ CaO กำลังก่อตัวขึ้น โดยการเพิ่มอุณหภูมิการเผาที่ 1000 °C การโตขึ้นของเม็ด CaO กลายเป็นมีความพร้อมสำหรับใช้งานมากยิ่งขึ้น (รูปที่ 4.4d) แนวโน้มนี้จะสอดคล้องกับรายงานโดยFischer [17] และDash et al. [18] นอกจากนี้ผลจากการตรวจสอบ TGA-DTA, การวิเคราะห์ XRD และการศึกษา SEM มีความสอดคล้องกันอย่างอื่นๆ จากผลของการมีศึกษานี้ MDW ซึ่งเผาที่ 1000 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (CMDW 1000) แสดงให้เห็นถึงลักษณะที่มีศักยภาพสำหรับใช้เป็นสารปรับปรุงคุณสมบัติของดินลมหอบได้เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตถูกเปลี่ยนอย่างสมบูรณ์ไปเป็น CaO หรือปูนขาว เมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (OPC) CMDW 1000 จึงเป็นกระบวนการสังเคราะห์ที่สะดวกมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพิจารณาจากการเผาผลาญพลังงานและการปล่อยก๊าซ CO_2 ซึ่งจำเป็นสำหรับการผลิต OPC เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมี, ทางกายภาพ, กระบวนการกำจัดสิ่งที่ไม่ปราถนาที่ใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์น้อยกว่าเมื่อเทียบกับ OPC CMDW 1000 จึงกลายเป็นวัสดุทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับการนำไปใช้ปรับปรุงคุณสมบัติของดินร่วมกับวัสดุปอซโซลานิคชนิดอื่นๆ



รูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นถึงรูปแบบ XRD ของฝุ่นหินอ่อนและฝุ่นหินอ่อนที่เผาแล้ว ที่อุณหภูมิการเผาต่างๆระหว่าง 200 °C -1,000 °C ที่ระยะเวลา 2 ชั่วโมง

4.3 ผลการทดลองสมบัติทางวิศวกรรมของ CMDW 1000 ร่วมกับ SBAW

4.3.1 ผลการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ

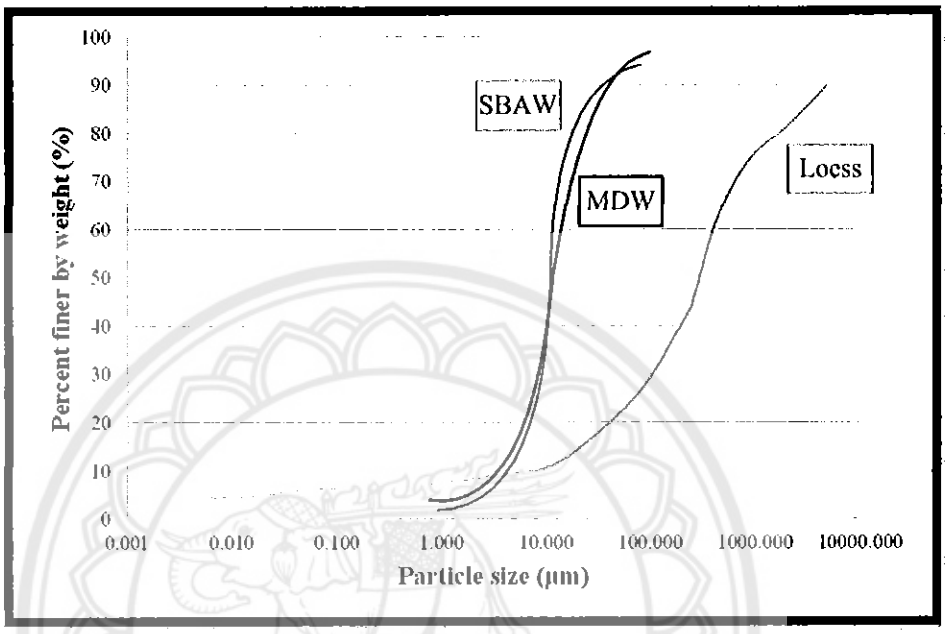
ผลที่ได้จากการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุที่ใช้ในการทดลองต่างๆมีค่าตามตารางที่4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

ชนิดของค่าความถ่วงจำเพาะ	ค่าความถ่วงจำเพาะ
ดินลมหอบ	2.698
เถ้าชานอ้อย	2.022
ฝุ่นหินอ่อน	2.864

4.3.2 ผลการทดสอบหาขนาดของเม็ดดินและสารStabilizer

กราฟแสดงขนาดอนุภาคของดินลอมหอบ เถ้าชานอ้อย และฝุ่นหินอ่อนที่ได้จากการทดลองการหาขนาดของเม็ดดินและสารStabilizerโดยวิธีการใช้ตะแกรงมาตรฐานและวิธีไฮโดรมิเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงขนาดของดินลมหอบ เถ้าชานอ้อย และฝุ่นหินอ่อน

4.3.3 ผลการทดสอบหาขีดจำกัดของอัตเตอร์เบอร์ก

ผลการทดลองหาขีดจำกัดของอัตเตอร์เบอร์กโดยได้ค่า Liquid Limit , Plastic Limit ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงขีดจำกัดของอัตเตอร์เบอร์ก

% Stabilizer (%)	ค่า LL (%)	ค่า PL (%)
0	18.98	*NA
5	19.08	*NA
10	19.22	*NA
15	*NA	*NA
20	21.13	*NA
25	21.9	*NA

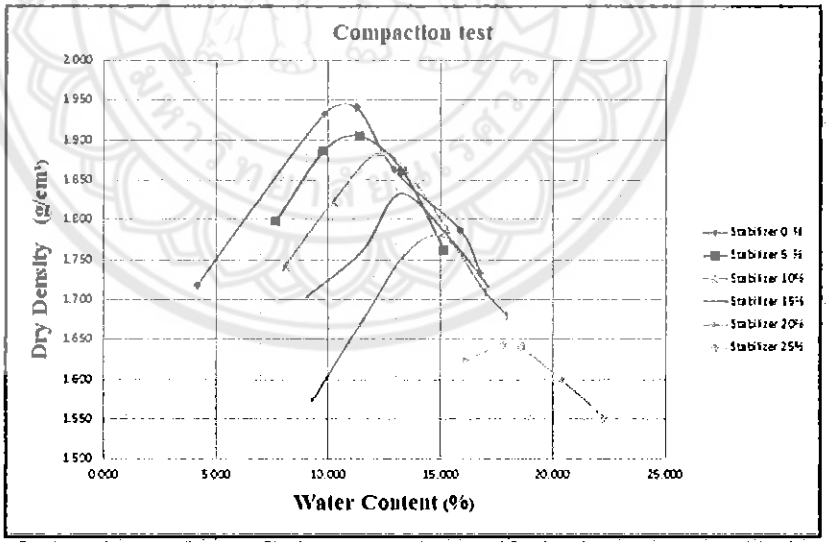
Remark: *NA = ไม่สามารถหาค่าได้

4.3.4 ผลการทดสอบการบดอัดดิน

จากการทดลองการบดอัดดินได้ค่าOptimum Water Content(%) , Maximum Dry Density (g/cm³)ตามตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 Optimum Water Content(%),Maximum Dry Density (g/cm³)

% Stabilizer (%)	ค่า Optimum Water Content (%)	ค่า Maximum Dry Density (g/cm³)
0	11.232	1.942
5	11.439	1.905
10	12.312	1.886
15	13.215	1.833
20	15.079	1.779
25	17.739	1.644



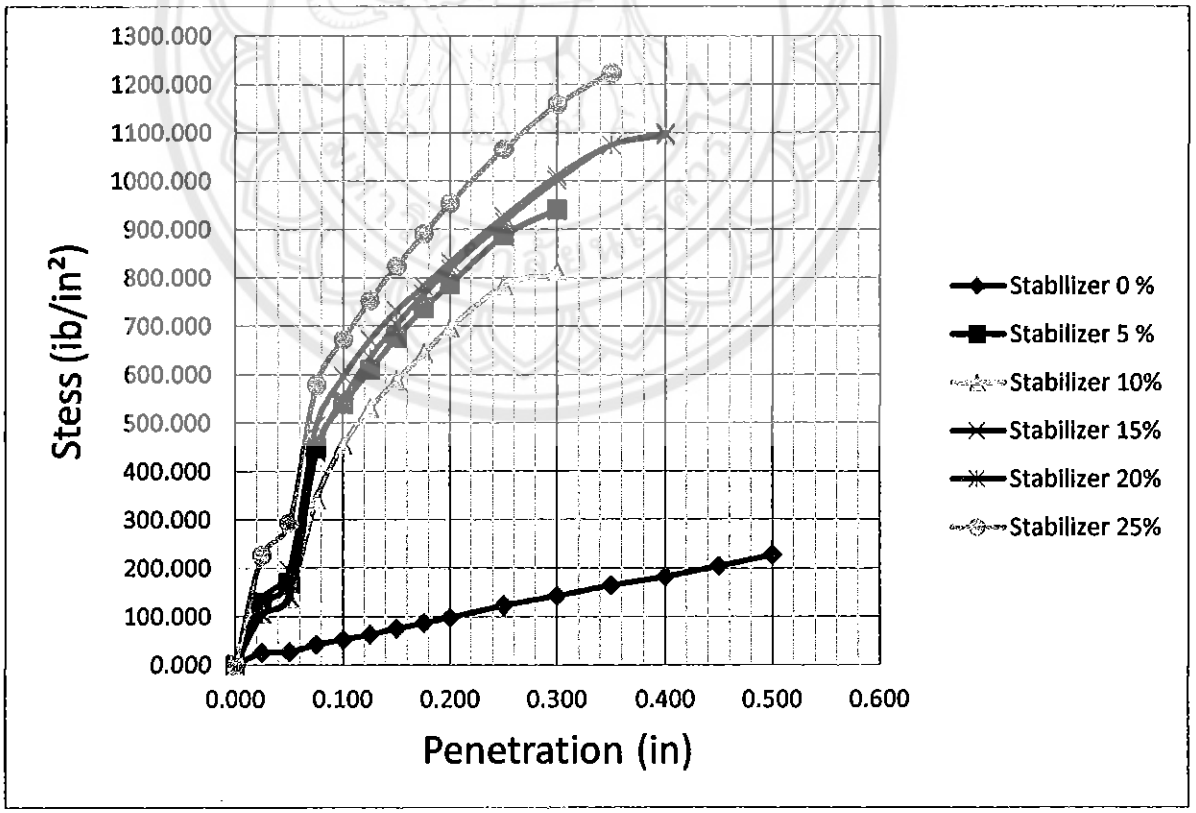
รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Water Content (%) กับ Dry Density (g/cm³)

4.3.5 ผลการทดสอบหาค่า ซี.บี.อาร์

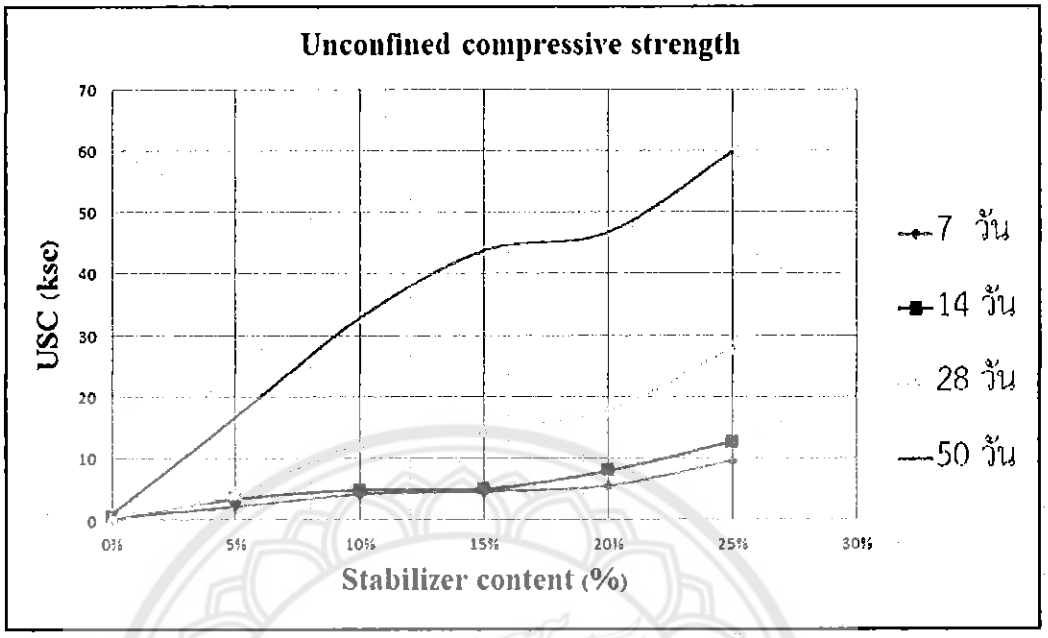
ผลการทดลองหาค่ากำลังStress ที่การอ่าน 0.1 in ของแต่ละ%Stabilizer ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงค่ากำลัง Stress กับ% Stabilizer

% Stabilizer (%)	ค่ากำลัง Stress (lb/in²) 0.1 in
0	6.526
5	52.467
10	46.510
15	55.509
20	54.622
25	63.620



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับPenetrationที่ % Stabilizerต่างๆ



รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า USC ที่ % Stabilizerต่างๆ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดสอบต่างๆที่ได้ดำเนินการมาสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1 การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนการใช้สาร Stabilizer ทำให้ค่า Optimum water content ของดินลมหอบเพิ่มขึ้นด้วยและปริมาณของstabilizerที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลให้ความหนาแน่นแห้งสูงสุดของการบดอัดลดลง

5.2 เมื่อเปรียบเทียบค่า %C.B.R ของดินที่ผสมสารStabilizer ที่ 0% กับ 25% ที่เวลาการบ่ม 50วัน พบว่าค่า %C.B.R มีค่าเพิ่มขึ้น 874%

5.3 เมื่อเปรียบเทียบค่า Unconfined Compressive Strength (UCS) ของดินที่ผสมสาร Stabilizer ที่ 0% กับ 25% ที่เวลาการบ่ม 50วัน พบว่าค่า Unconfined Compressive Strength (UCS) มีค่าเพิ่มขึ้น 4915%

บรรณานุกรม

[1] รัฐพล สมนา , ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, การใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดเพื่อปรับปรุงกำลังอัด การซึมผ่านน้ำ และความต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตเก่า, หน้า 371

[2] ผศ.ดร. พงศกร พรรณรัตนศิลป์, การปรับปรุงคุณภาพดินลมหอบในพื้นที่ภาตะวันออกเฉียงเหนือเพื่อนำมาใช้ในงานวิศวกรรมการทาง, หน้า 2

[3] ผศ.ดร. พงศกร พรรณรัตนศิลป์, การปรับปรุงคุณภาพดินลมหอบในพื้นที่ภาตะวันออกเฉียงเหนือเพื่อนำมาใช้ในงานวิศวกรรมการทาง, หน้า 2

[4] ผศ.ดร. พงศกร พรรณรัตนศิลป์, การปรับปรุงคุณภาพดินลมหอบในพื้นที่ภาตะวันออกเฉียงเหนือเพื่อนำมาใช้ในงานวิศวกรรมการทาง, หน้า 3

[5] ผศ.ดร. พงศกร พรรณรัตนศิลป์, การปรับปรุงคุณภาพดินลมหอบในพื้นที่ภาตะวันออกเฉียงเหนือเพื่อนำมาใช้ในงานวิศวกรรมการทาง, หน้า 3

[6] นายจักรกฤษณ์ คงทนแท้, นายเตชิต ธนภพฐากุล, นายสมชาย ชัยปลื้ม, การศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติกากเถ้าซังข้าวโพดด้วยความร้อนสำหรับเป็นวัสดุทดแทนซีเมนต์, หน้า 27

[7] นายจักรกฤษณ์ คงทนแท้, นายเตชิต ธนภพฐากุล, นายสมชาย ชัยปลื้ม, การศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติกากเถ้าซังข้าวโพดด้วยความร้อนสำหรับเป็นวัสดุทดแทนซีเมนต์, หน้า 28

[8] Hüseyin Yılmaz Aruntasβa, Metin Gürüb, Mustafa Dayıa, Ilker Tekin "Utilization of waste marble dust as an additive in cement production". Department of Construction, Faculty of Technical Education, Gazi University, Ankara 06500, Turkey

[9] Phongthorn Julphunthong. (2015) "Chemical Stabilization of Loess in Norteast Thailand Using thee Mixture of Calcined Marble Dust Waste and Sugarcane Bagasse Ash Waste". Department of Civil Engineering, Naresuan University, Thailand

[10] http://thaipolychemicals.weebly.com/limestone-powder.html

[11] สำนักงานกองทุนการวิจัยแห่งชาติ. คู่มือการทดสอบทางปฐพีกลศาสตร์. 2549. หน้า 17

[12] สำนักงานกองทุนการวิจัยแห่งชาติ , คู่มือการทดสอบทางปฐพีกลศาสตร์. 2549. หน้า 17

[13] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[14] มานิต ช่วยงาน มิ.ย. 2552

[15] มานิต ช่วยงาน มิ.ย. 2552

[16] Murat Oigun. (2013) " The effects and optimization of additives for expansive clays under freeze-thaw conditions". Cold Reg.Sci. Technology, 93,pp 36-46 .

[17] Nouaouria,M.S,Guenfoud, M , and Lafifi, B (2008) "Engineering properties of loess in Algeria" Engineering Geology,99,pp85-90.

[18] Osinubi, KJ. (1999) " Evaluation of admixture stabilizatIon of Nigeria black cotton soil". Nigeria Soc. Engine. Tech. Trans, 34(3),pp88-96

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ภาคผนวก

การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอมด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

Compaction Test

Standard Test	Blows per layer : 56	Number of Layer : 3
Weight of Hammer : 2.5 kg	Height of Mold : 15.24 cm	Diameter of Mold : 11.64 cm

Stabilizer 20 %

Water Content Determinatior

Sample NO.		1	2	3	4	5	6
Wt. of can + Wet Soil	(g)	89.249	143.533	156.711	201.292	187.322	151.769
Wt. of can + Dry Soil	(g)	83.729	131.19	141.153	178.216	163.656	132.471
Wt. of Can	(g)	24.32	24.424	24.324	25.182	24.147	24.693
Wt. of Weter	(g)	5.52	12.343	15.558	23.076	23.666	19.298
Wt. of Dry Soil	(g)	59.409	106.766	116.829	153.034	139.509	107.778
Water Content	(%)	9.292	11.561	13.317	15.079	16.964	17.905

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

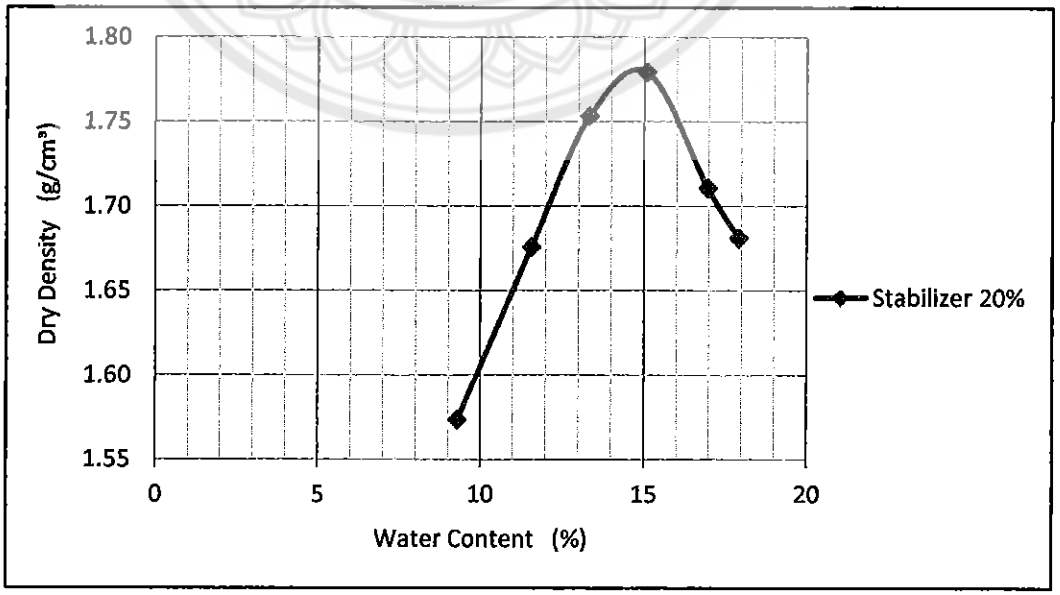
Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

Density Determination

Assume Water Content (%)	9.292	11.561	13.317	15.079	16.964	17.905
Wt. of soil + Mold (g)	7450	7770	8020	8150	8050	8010
Wt. of Mold (g)	3780	3780	3780	3780	3780	3780
Water Content (%)	9.292	11.561	13.317	15.079	16.964	17.905
Wt. of soil in Mold (g)	3670	3990	4240	4370	4270	4230
Wet Density (g/cm^3)	1.720	1.870	1.987	2.048	2.001	1.982
Dry Density (g/cm^3)	1.573	1.676	1.753	1.779	1.711	1.681



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

Compaction Test

Standard Test	Blows per layer : 56	Number of Layer : 3
Weight of Hammer : 2.5 kg	Height of Mold : 15.24 cm	Diameter of Mold : 11.64 cm

Stabilizer 25 %

Water Content Determination

Sample NO.		1	2	3	4	5
Wt. of can + Wet Soil	(g)	108.013	144.841	109.149	90.419	97.819
Wt. of can + Dry Soil	(g)	95.039	126.193	94.354	77.597	82.742
Wt. of Can	(g)	14.991	21.068	14.772	14.785	15.19
Wt. of Weter	(g)	12.974	18.648	14.795	12.822	15.077
Wt. of Dry Soil	(g)	80.048	105.125	79.582	62.812	67.552
Water Content	(%)	16.208	17.739	18.591	20.413	22.319

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

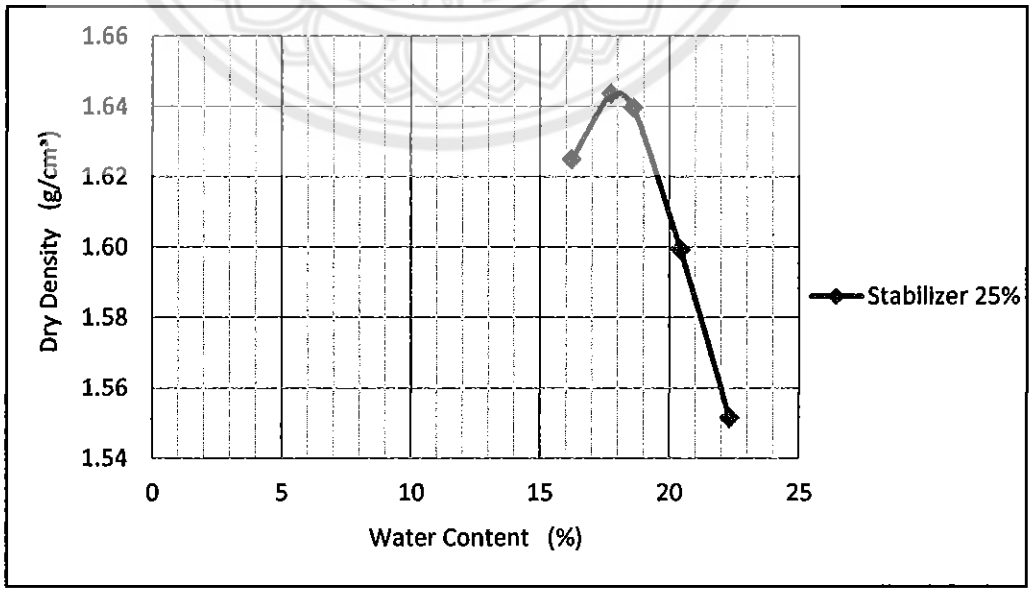
Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

Density Determination

Assume Water Content (%)	16.208	17.739	18.591	20.413	22.319
Wt. of soil + Mold (g)	7810	7910	7930	7890	7830
Wt. of Mold (g)	3780	3780	3780	3780	3780
Water Content (%)	16.208	17.739	18.591	20.413	22.319
Wt. of soil in Mold (g)	4030	4130	4150	4110	4050
Wet Density (g/cm^3)	1.888	1.935	1.944	1.926	1.898
Dry Density (g/cm^3)	1.625	1.644	1.640	1.599	1.551



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

California Bearing Ratio Test

Standard Test	Blows per layer : 56	Number of Layer : 3
Weight of Hammer : 2.5 kg	Height of Mold : 15.24 cm	Diameter of Mold : 11.64 cm

Water Content Data

Condition							
Condition No.		100%	95%	90%	85%	80%	75%
Weight of Wet Soil + Container	(g)	63.265	62.413	47.642	62.475	54.935	48.411
Weight of Dry Soil + Container	(g)	58.405	58.596	44.205	57.145	49.792	43.485
Weight of Condition	(g)	14.741	24.158	15.062	14.913	14.952	14.886
Weight of Water	(g)	4.86	3.817	3.437	5.33	5.143	4.926
Weight of Dry Soil	(g)	43.664	34.438	29.143	42.232	34.84	28.599
Water Content	(%)	11.130	11.084	11.794	12.621	14.762	17.224

Condition		Before Soaking					
Mold No.		100%	95%	90%	85%	80%	75%
Number of Blows per Layer	(g)	56/3	56/3	56/3	56/3	56/3	56/3
Weight of Mold + Compacted Soil	(g)	4995	4920	4775	4665	4675	4670
Weight of Mold	(g)	2790	2790	2790	2790	2880	2880

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

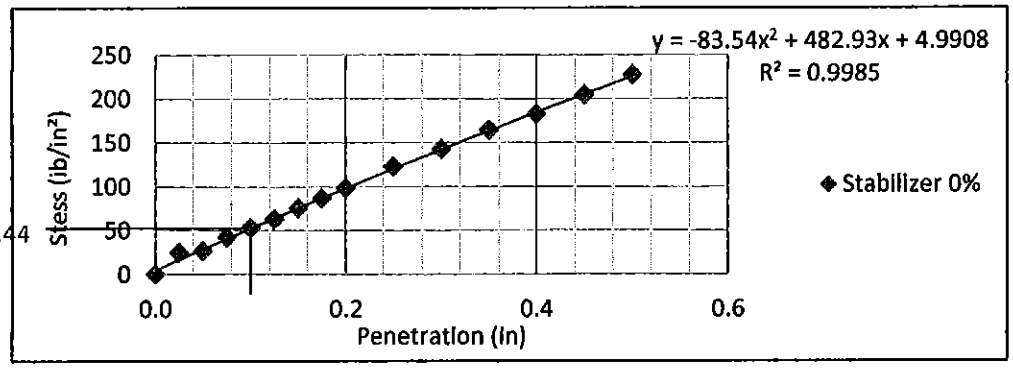
Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

CBR. Stabilizer 0 %

Penetration (in)	Load Diat Reading (div)	Load P (ib)	Stess P/A (ib/in^2)
0.000	0.0	0.000	0.000
0.025	13.0	74.139	24.713
0.050	14.0	79.842	26.614
0.075	22.0	125.466	41.822
0.100	27.5	156.833	52.278
0.125	33.0	188.199	62.733
0.150	39.5	225.269	75.090
0.175	45.5	259.487	86.496
0.200	51.5	293.705	97.902
0.250	64.5	367.844	122.615
0.300	75.0	427.725	142.575
0.350	86.5	493.310	164.437
0.400	96.0	547.488	182.496
0.450	107.5	613.073	204.358
0.500	119.5	681.509	227.170



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

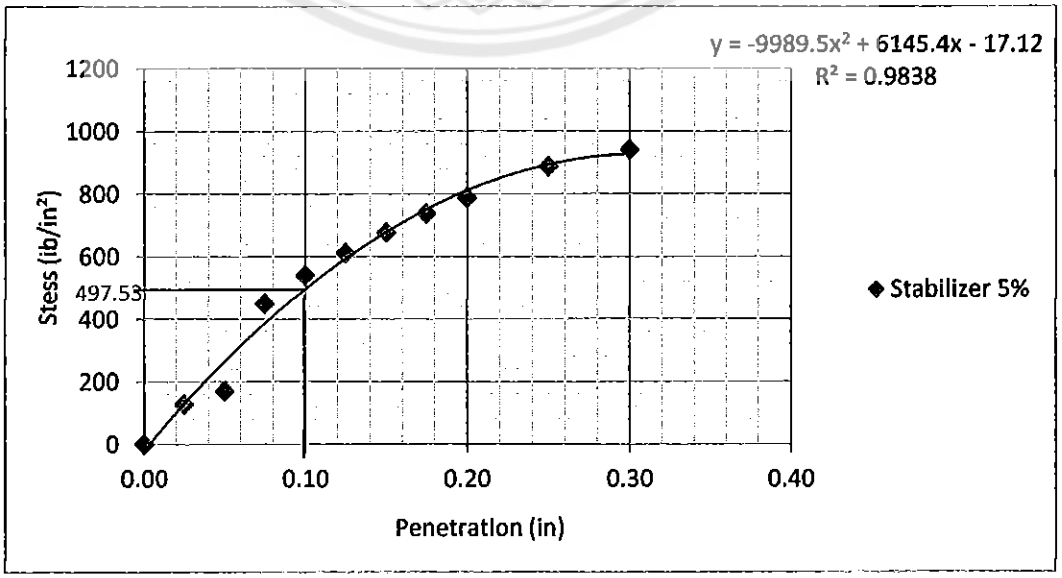
Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

CBR. Stabilizer 5 %

Penetration (in)	Load Diat Reading (div)	Load P (ib)	Stess P/A (ib/in^2)
0.000	0.0	0.000	0.000
0.025	67.0	382.101	127.367
0.050	89.0	507.567	169.189
0.075	236.0	1345.908	448.636
0.100	284.0	1619.652	539.884
0.125	321.0	1830.663	610.221
0.150	356.0	2030.268	676.756
0.175	388.0	2212.764	737.588
0.200	414.0	2361.042	787.014
0.250	467.0	2663.301	887.767
0.300	495.0	2822.985	940.995



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

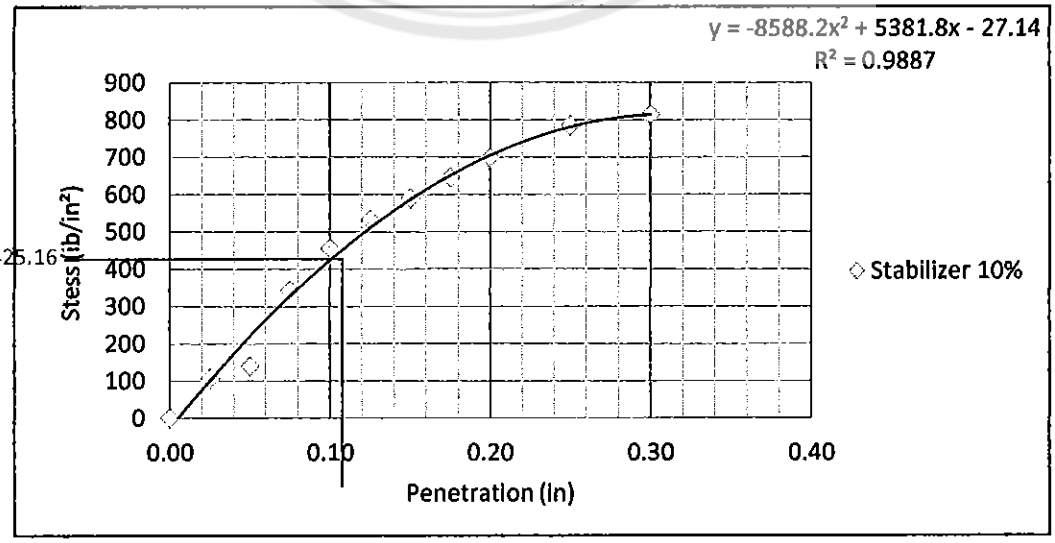
Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

CBR. Stabilizer 10 %

Penetration (in)	Load Diat Reading (div)	Load P (ib)	Stess P/A (ib/in^2)
0.000	0.0	0.000	0.000
0.025	56.0	319.368	106.456
0.050	73.0	416.319	138.773
0.075	180.0	1026.540	342.180
0.100	239.0	1363.017	454.339
0.125	279.5	1593.989	531.330
0.150	309.5	1765.079	588.360
0.175	339.0	1933.317	644.439
0.200	367.0	2093.001	697.667
0.250	412.0	2349.636	783.212
0.300	428.0	2440.884	813.628



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

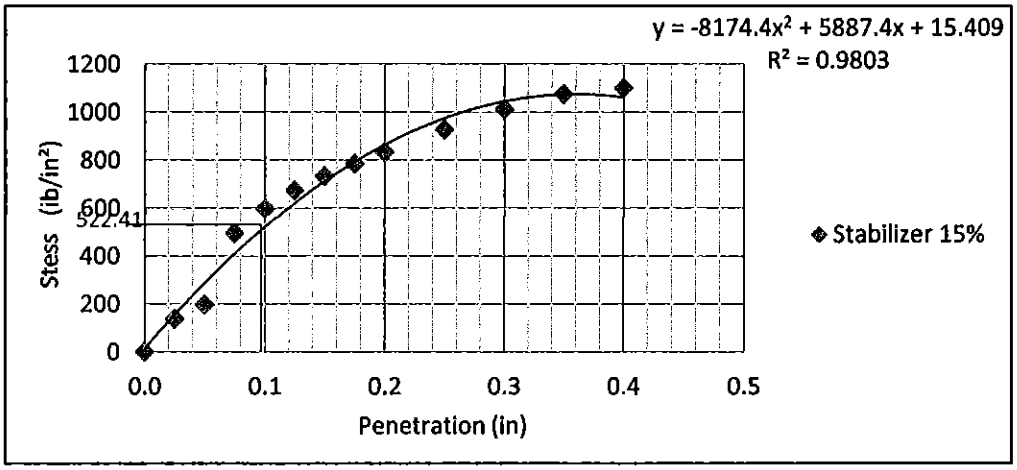
Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

CBR. Stabilizer 15 %

Penetration (in)	Load Diat Reading (div)	Load P (ib)	Stess P/A (ib/in^2)
0.000	0.0	0.000	0.000
0.025	72.0	410.616	136.872
0.050	103.0	587.409	195.803
0.075	260.0	1482.780	494.260
0.100	314.0	1790.742	596.914
0.125	353.5	2016.011	672.004
0.150	385.0	2195.655	731.885
0.175	412.0	2349.636	783.212
0.200	438.0	2497.914	832.638
0.250	487.5	2780.213	926.738
0.300	531.5	3031.145	1010.382
0.350	565.0	3222.195	1074.065
0.400	578.5	3299.186	1099.729



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

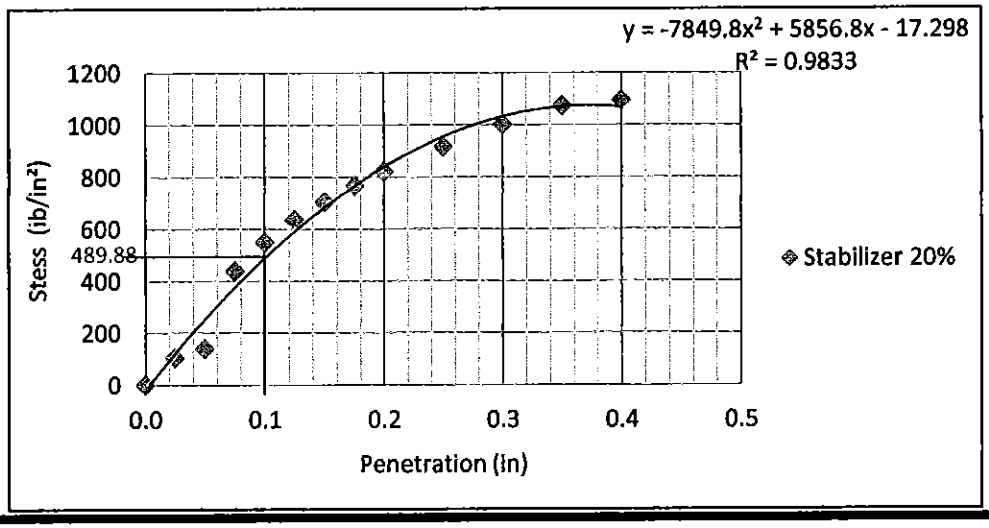
Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

CBR. Stabilizer 20 %

Penetration (in)	Load Diat Reading (div)	Load P (ib)	Stess P/A (ib/in^2)
0.000	0.0	0.000	0.000
0.025	55.0	313.665	104.555
0.050	73.5	419.171	139.724
0.075	231.0	1317.393	439.131
0.100	289.5	1651.019	550.340
0.125	334.0	1904.802	634.934
0.150	370.0	2110.110	703.370
0.175	403.0	2298.309	766.103
0.200	431.0	2457.993	819.331
0.250	482.0	2748.846	916.282
0.300	527.0	3005.481	1001.827
0.350	565.0	3222.195	1074.065
0.400	576.0	3284.928	1094.976



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

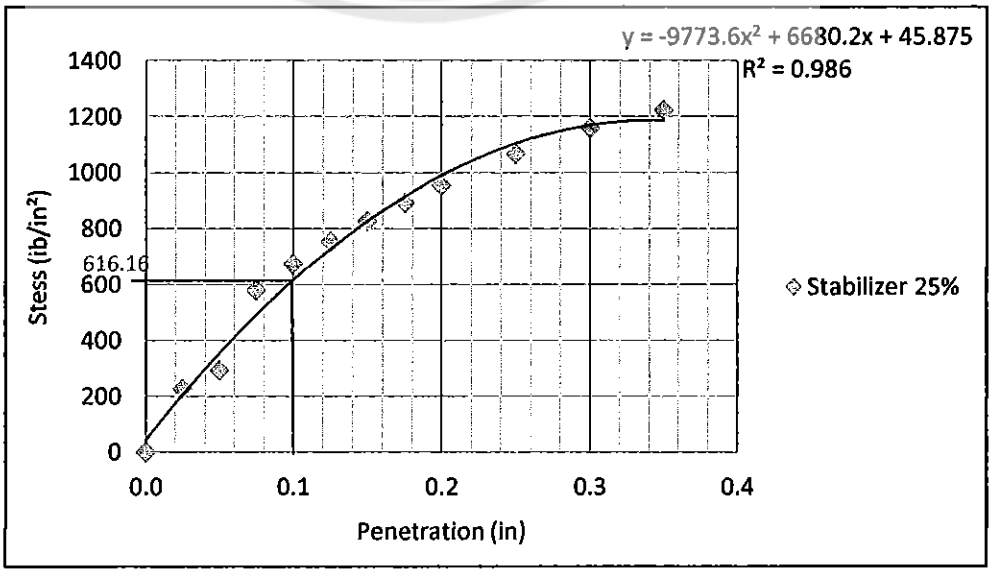
Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

CBR. Stabilizer 25 %

Penetration (in)	Load Diat Reading (div)	Load P (ib)	Stess P/A (ib/in^2)
0.000	0.0	0.000	0.000
0.025	119.0	678.657	226.219
0.050	154.0	878.262	292.754
0.075	304.5	1736.564	578.855
0.100	354.0	2018.862	672.954
0.125	396.0	2258.388	752.796
0.150	433.5	2472.251	824.084
0.175	468.5	2671.856	890.619
0.200	502.0	2862.906	954.302
0.250	561.0	3199.383	1066.461
0.300	609.5	3475.979	1158.660
0.350	643.5	3669.881	1223.294



NARESUAN UNIVERSITY

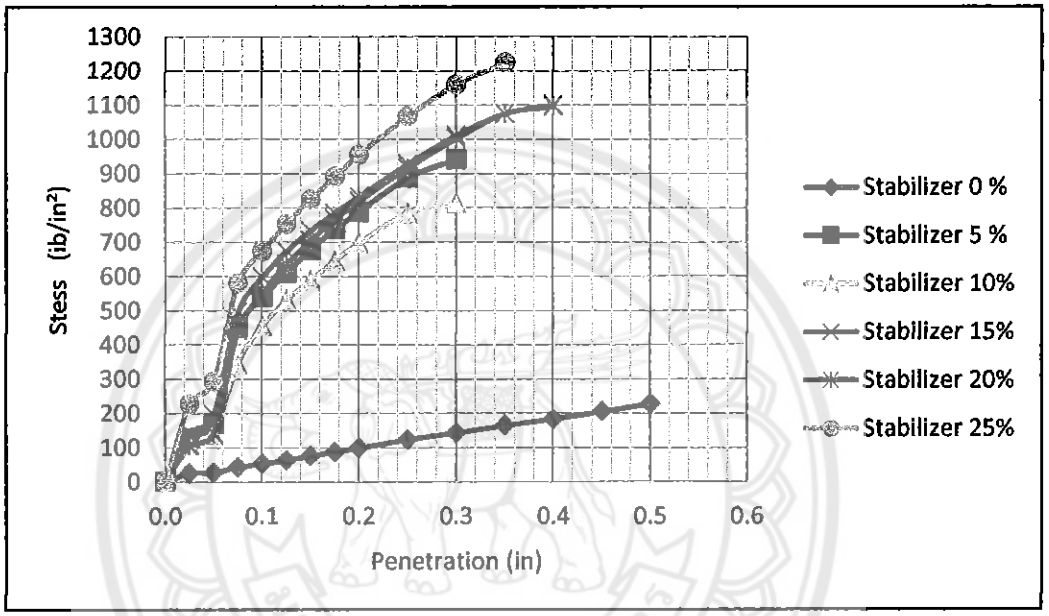
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

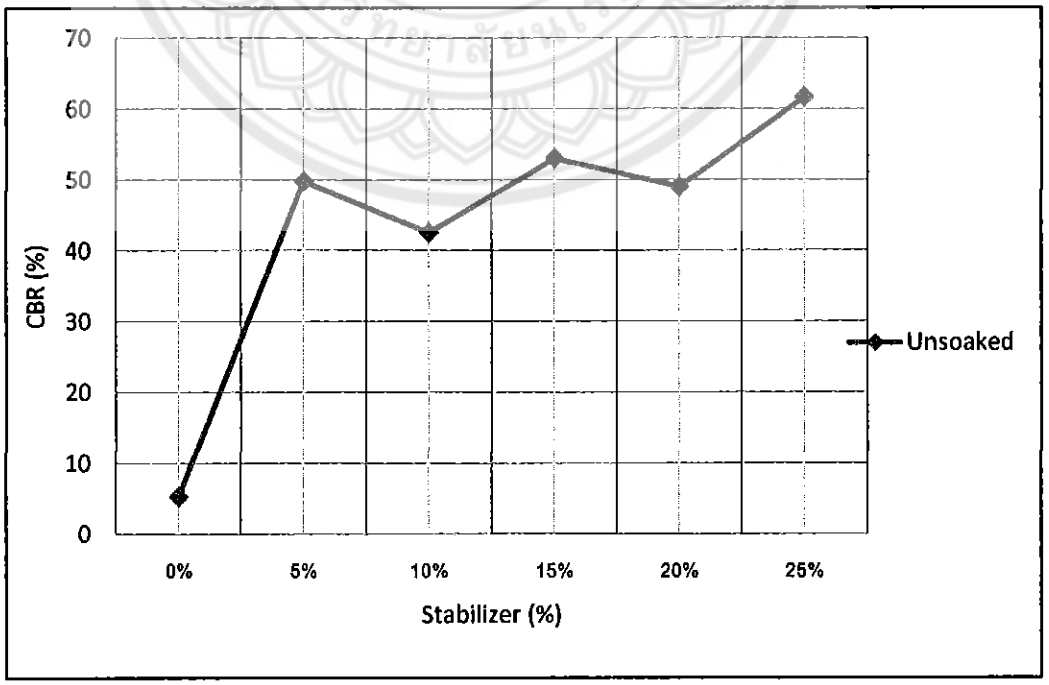
Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ





NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

Unconfined Compression Test

Proving Ring No : 570206	Proving Ring Constant :0.376 kg/div	Loading Rate : 0.05 in/min

Stabilizer 5 % ที่7วัน

Sample Diameter (cm)	6.53	Weight of Sample (kg)	1.016
Sample Height (cm)	13.5	Water Content (%)	11.439
Sample Area (cm^2)	33.4731	Wet Unit Weight (kg/cm^3)	0.00225
Sample Volume (cm^3)	451.887	Dry Unit Weight (kg/cm^3)	0.001905

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
20	45	0.2	0.148	33.523	16.920	0.505
40	66	0.4	0.296	33.573	24.816	0.739
60	82	0.6	0.444	33.623	30.832	0.917
80	97	0.8	0.593	33.573	36.472	1.086
100	114	1	0.741	33.623	42.864	1.275
120	130	1.2	0.889	33.773	48.880	1.447
140	147	1.4	1.037	33.824	55.272	1.634
160	165	1.6	1.185	33.875	62.040	1.831
180	180	1.8	1.333	33.925	67.680	1.995
200	192	2	1.481	33.976	72.192	2.125
220	188	2.2	1.630	34.028	70.688	2.077
240	182	2.4	1.778	34.079	68.432	2.008
260	189	2.6	1.926	34.130	71.064	2.082
280	192	2.8	2.074	34.182	72.192	2.112
300	197	3	2.222	34.234	74.072	2.164
320	200	3.2	2.370	34.286	75.200	2.193
340	198	3.4	2.519	34.338	74.448	2.168
360	180	3.6	2.667	34.390	67.680	1.968
380	170	3.8	2.815	34.390	63.920	1.859
400	162	4	2.963	34.495	60.912	1.766
420	152	4.2	3.111	34.548	57.152	1.654

NARESUAN UNIVERSITY

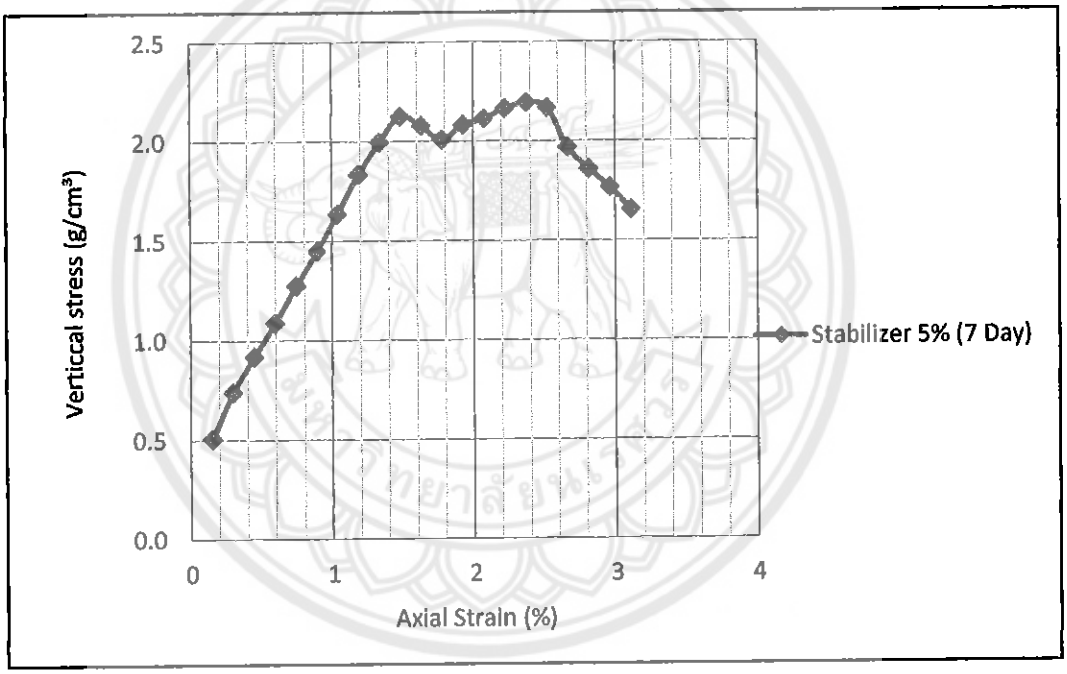
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

Unconfined Compression Test

Proving Ring No : 570206	Proving Ring Constant :0.376 kg/div	Loading Rate : 0.05 in/min

Stabilizer 10 % ที่7วัน

Sample Diameter (cm)	6.84	Weight of Sample (kg)	1.0741
Sample Height (cm)	14.2	Water Content (%)	12.312
Sample Area (cm^2)	36.7267	Wet Unit Weight (kg/cm^3)	0.00206
Sample Volume (cm^3)	521.519	Dry Unit Weight (kg/cm^3)	0.001886

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
20	175	0.2	0.141	36.778	65.800	1.789
40	251	0.4	0.282	36.830	94.376	2.562
60	295	0.6	0.423	36.883	110.920	3.007
80	339	0.8	0.563	36.830	127.464	3.461
100	368	1	0.704	36.883	138.368	3.752
120	385	1.2	0.845	37.040	144.760	3.908
140	393	1.4	0.986	37.092	147.768	3.984
160	407	1.6	1.127	37.145	153.032	4.120
180	411	1.8	1.268	37.198	154.536	4.154
200	416	2	1.408	37.251	156.416	4.199
220	210	2.2	1.549	37.305	78.960	2.117
240	154	2.4	1.690	37.358	57.904	1.550
260	145	2.6	1.831	37.412	54.520	1.457
280	143	2.8	1.972	37.465	53.768	1.435
300	142	3	2.113	37.519	53.392	1.423
320	146	3.2	2.254	37.573	54.896	1.461
340	130	3.4	2.394	37.628	48.880	1.299
360	110	3.6	2.535	37.682	41.360	1.098
380	106	3.8	2.676	37.682	39.856	1.058
400	103	4	2.817	37.791	38.728	1.025

NARESUAN UNIVERSITY

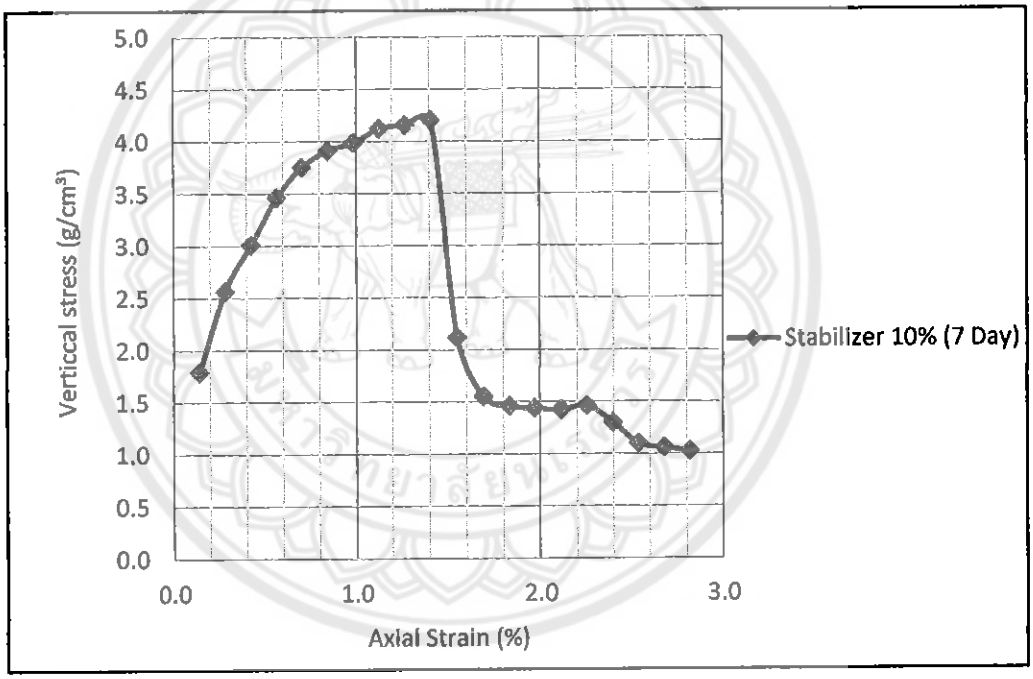
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

Unconfined Compression Test

Proving Ring No : 570206	Proving Ring Constant :0.376 kg/div	Loading Rate : 0.05 in/min

Stabilizer 15 % ที่7วัน

Sample Diameter (cm)	6.72	Weight of Sample (kg)	0.9735
Sample Height (cm)	14.1	Water Content (%)	13.215
Sample Area (cm^2)	35.4493	Wet Unit Weight (kg/cm^3)	0.001947
Sample Volume (cm^3)	499.836	Dry Unit Weight (kg/cm^3)	0.001833

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
20	56	0.2	0.142	35.500	21.056	0.593
40	96	0.4	0.284	35.550	36.096	1.015
60	150	0.6	0.426	35.601	56.400	1.584
80	193	0.8	0.567	35.550	72.568	2.041
100	253	1	0.709	35.601	95.128	2.672
120	286	1.2	0.851	35.754	107.536	3.008
140	287	1.4	0.993	35.805	107.912	3.014
160	325	1.6	1.135	35.856	122.200	3.408
180	350	1.8	1.277	35.908	131.600	3.665
200	380	2	1.418	35.959	142.880	3.973
220	425	2.2	1.560	36.011	159.800	4.438
240	446	2.4	1.702	36.063	167.696	4.650

NARESUAN UNIVERSITY

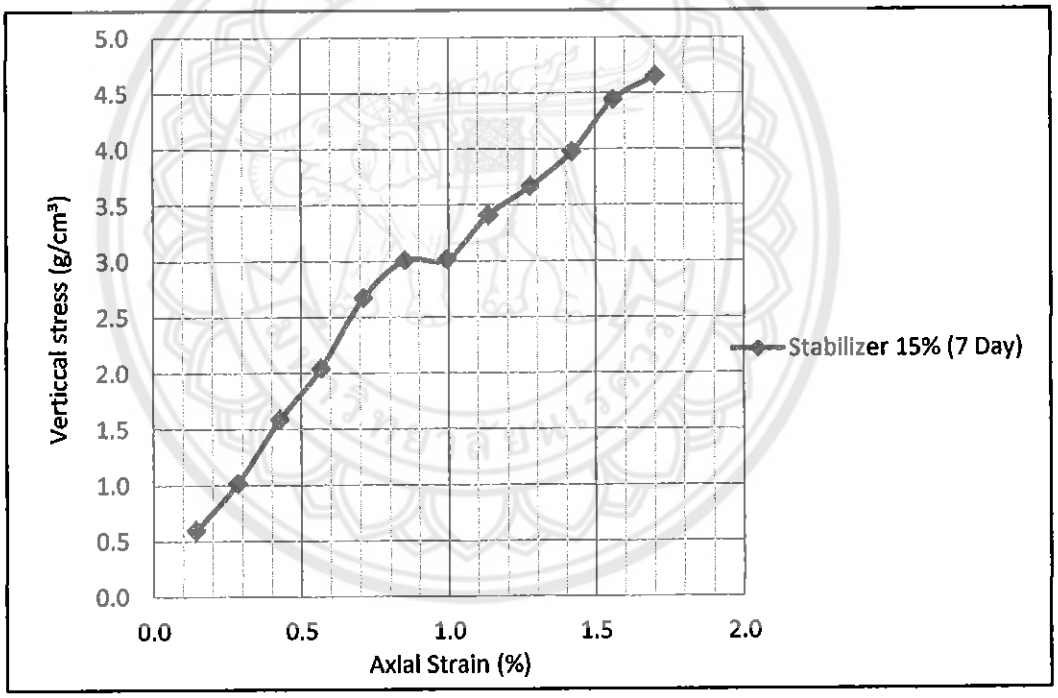
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

Unconfined Compression Test

Proving Ring No : 570206	Proving Ring Constant :0.376 kg/div	Loading Rate : 0.05 in/min

Stabilizer 20 % ที่7วัน

Sample Diameter (cm)	6.91	Weight of Sample (kg)	0.979
Sample Height (cm)	14.2	Water Content (%)	15.079
Sample Area (cm^2)	37.4823	Wet Unit Weight (kg/cm^3)	0.001839
Sample Volume (cm^3)	532.248	Dry Unit Weight (kg/cm^3)	0.001779

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
20	85	0.2	0.142	37.535	31.960	0.851
40	145	0.4	0.284	37.588	54.520	1.450
60	200	0.6	0.426	37.641	75.200	1.998
80	221	0.8	0.567	37.588	83.096	2.211
100	250	1	0.709	37.641	94.000	2.497
120	300	1.2	0.851	37.802	112.800	2.984
140	357	1.4	0.993	37.855	134.232	3.546
160	394	1.6	1.135	37.909	148.144	3.908
180	415	1.8	1.277	37.963	156.040	4.110
200	439	2	1.418	38.018	165.064	4.342
220	460	2.2	1.560	38.072	172.960	4.543
240	470	2.4	1.702	38.127	176.720	4.635
260	495	2.6	1.844	38.181	186.120	4.875
280	530	2.8	1.986	38.236	199.280	5.212
300	567	3	2.128	38.291	213.192	5.568

NARESUAN UNIVERSITY

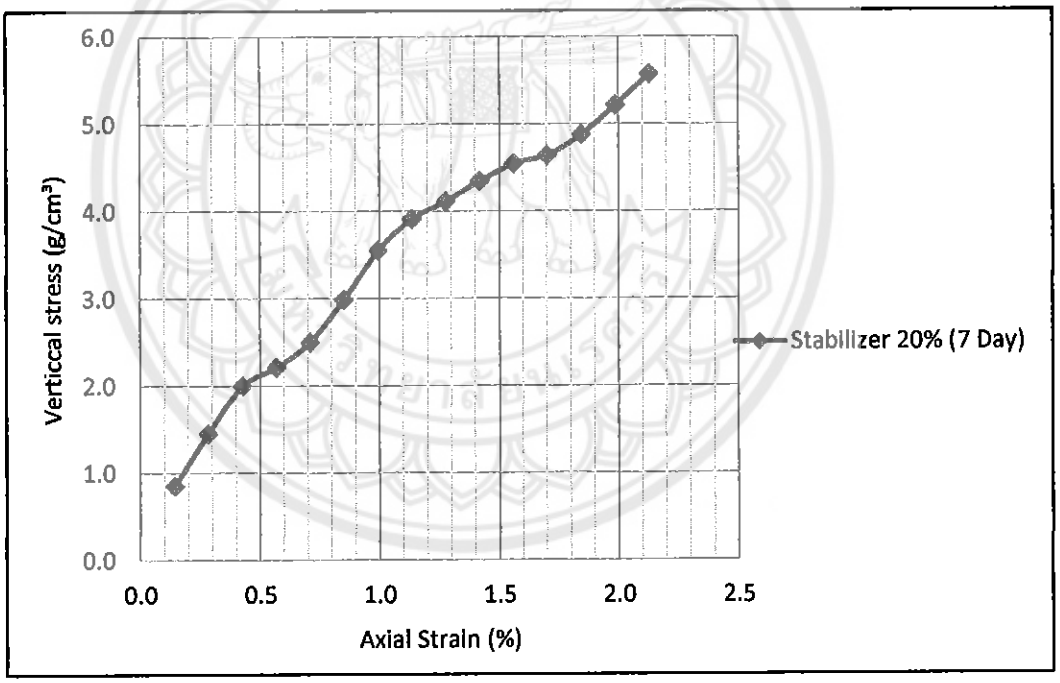
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

Unconfined Compression Test

Proving Ring No : 570206	Proving Ring Constant :0.376 kg/div	Loading Rate : 0.05 in/min

Stabilizer 25 % ที่7วัน

Sample Diameter (cm)	6.64	Weight of Sample (kg)	0.9335
Sample Height (cm)	13.8	Water Content (%)	17.739
Sample Area (cm^2)	34.6103	Wet Unit Weight (kg/cm^3)	0.001954
Sample Volume (cm^3)	477.623	Dry Unit Weight (kg/cm^3)	0.00164

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
20	119	0.2	0.145	34.661	44.744	1.291
40	165	0.4	0.290	34.711	62.040	1.787
60	259	0.6	0.435	34.761	97.384	2.801
80	340	0.8	0.580	34.711	127.840	3.683
100	400	1	0.725	34.761	150.400	4.327
120	506	1.2	0.870	34.914	190.256	5.449
140	600	1.4	1.014	34.965	225.600	6.452
160	696	1.6	1.159	35.016	261.696	7.474
180	775	1.8	1.304	35.068	291.400	8.310
200	839	2	1.449	35.119	315.464	8.983
220	880	2.2	1.594	35.171	330.880	9.408
240	896	2.4	1.739	35.223	336.896	9.565
260	905	2.6	1.884	35.275	340.280	9.647
280	907	2.8	2.029	35.327	341.032	9.654

NARESUAN UNIVERSITY

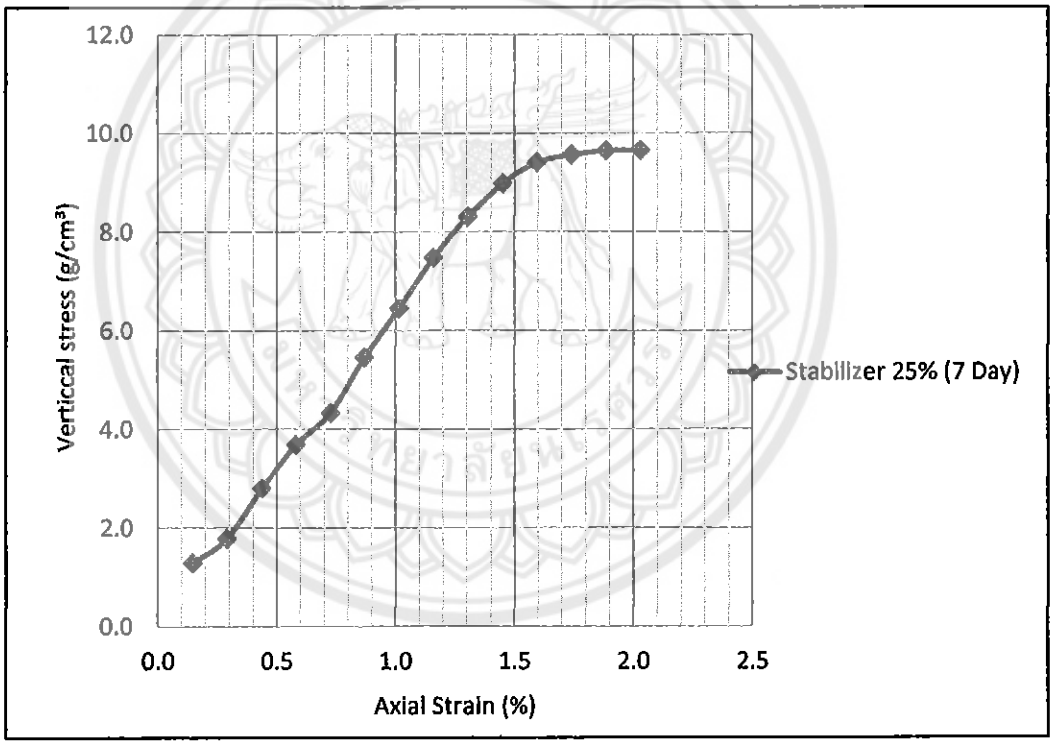
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

Unconfined Compression Test

Proving Ring No	Proving Ring Constant	Loading Rate
: 1155-12-19099	:2.5868 kg/div	: 0.05 in/min

Stabilizer 5 % ที่14วัน

Sample Diameter (cm)	6.58	Weight of Sample (kg)	1.015
Sample Height (cm)	13.2	Water Content (%)	11.143
Sample Area (cm^2)	33.9877	Wet Unit Weight (kg/cm^3)	0.002262
Sample Volume (cm^3)	448.637	Dry Unit Weight (kg/cm^3)	0.001905

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

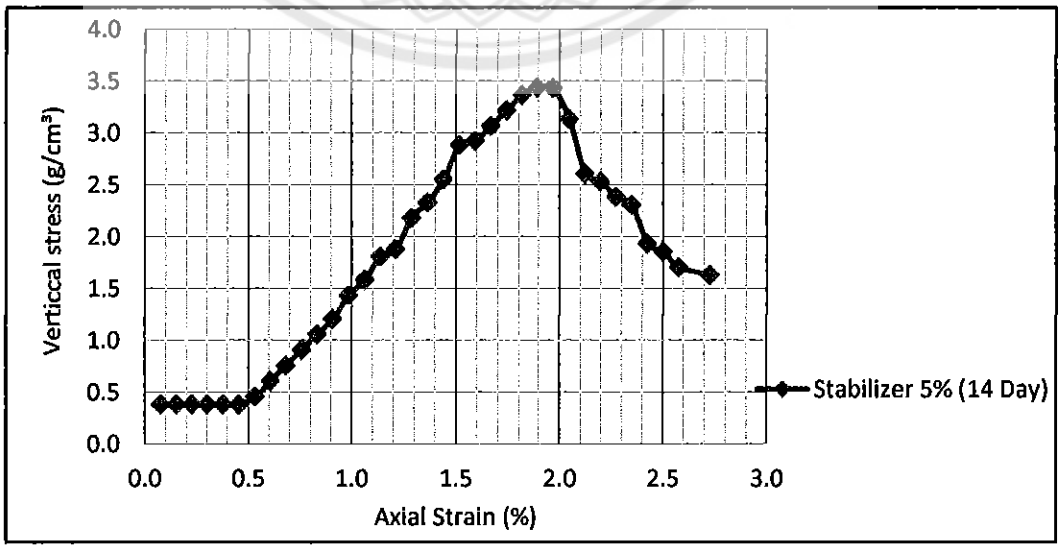
Soil Description: ดินลมหอบ

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
10	5	0.1	0.076	34.013	12.934	0.380
20	5	0.2	0.152	34.039	12.934	0.380
30	5	0.3	0.227	34.065	12.934	0.380
40	5	0.4	0.303	34.039	12.934	0.380
50	5	0.5	0.379	34.065	12.934	0.380
60	5	0.6	0.455	34.143	12.934	0.379
70	6	0.7	0.530	34.169	15.521	0.454
80	8	0.8	0.606	34.195	20.694	0.605
90	10	0.9	0.682	34.221	25.868	0.756
100	12	1	0.758	34.247	31.042	0.906
110	14	1.1	0.833	34.273	36.215	1.057
120	16	1.2	0.909	34.299	41.389	1.207
130	19	1.3	0.985	34.326	49.149	1.432
140	21	1.4	1.061	34.352	54.323	1.581
150	24	1.5	1.136	34.378	62.083	1.806
160	25	1.6	1.212	34.405	64.670	1.880
170	29	1.7	1.288	34.431	75.017	2.179
180	31	1.8	1.364	34.458	80.191	2.327
190	34	1.9	1.439	34.458	87.951	2.552
200	38.5	2	1.515	34.511	99.592	2.886
210	39	2.1	1.591	34.537	100.885	2.921
220	41	2.2	1.667	34.564	106.059	3.068

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
240	45	2.4	1.818	34.617	116.406	3.363
250	46	2.5	1.894	34.644	118.993	3.435
260	46	2.6	1.970	34.671	118.993	3.432
270	42	2.7	2.045	34.697	108.646	3.131
280	35	2.8	2.121	34.724	90.538	2.607
290	34	2.9	2.197	34.751	87.951	2.531
300	32	3	2.273	34.778	82.778	2.380
310	31	3.1	2.348	34.805	80.191	2.304
320	26	3.2	2.424	34.832	67.257	1.931
330	25	3.3	2.500	34.859	64.670	1.855
340	23	3.4	2.576	34.886	59.496	1.705
360	22	3.6	2.727	34.941	56.910	1.629



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

Unconfined Compression Test

Proving Ring No	Proving Ring Constant	Loading Rate
: 1155-12-19099	:2.5868 kg/div	: 0.05 in/min

Stabilizer 10 % ที่14วัน

Sample Diameter (cm)	6.3	Weight of Sample (kg)	1.041
Sample Height (cm)	13	Water Content (%)	12.312
Sample Area (cm^2)	31.1567	Wet Unit Weight (kg/cm^3)	0.00257
Sample Volume (cm^3)	405.036	Dry Unit Weight (kg/cm^3)	0.001886

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

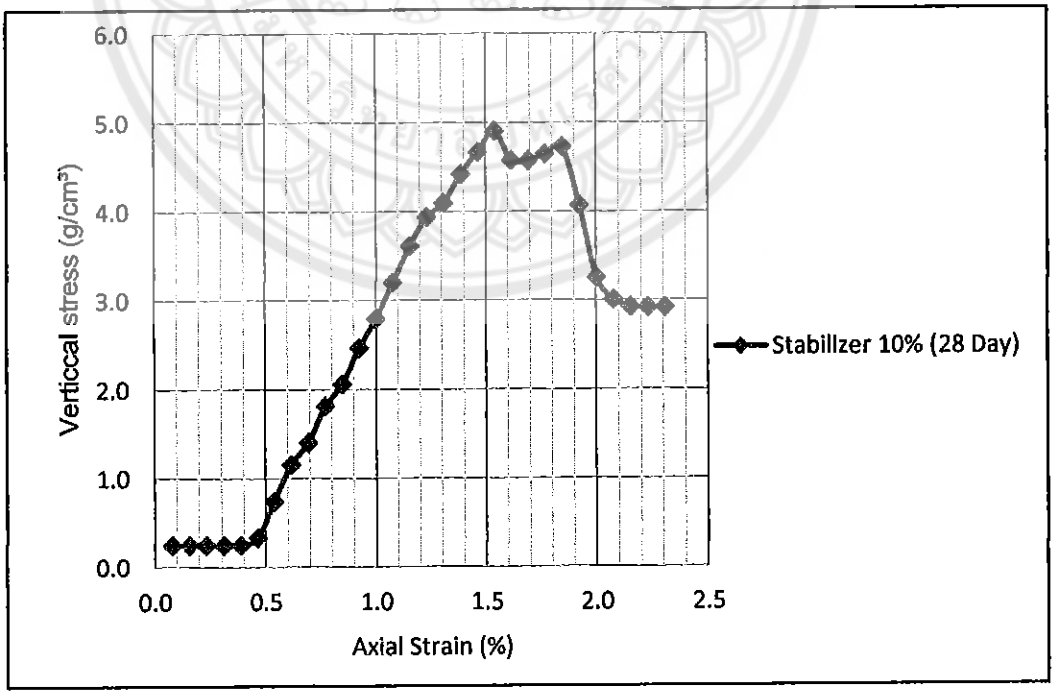
Soil Description: ดินลมหอบ

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
10	3	0.1	0.077	31.181	7.760	0.249
20	3	0.2	0.154	31.205	7.760	0.249
30	3	0.3	0.231	31.229	7.760	0.249
40	3	0.4	0.308	31.205	7.760	0.249
50	3	0.5	0.385	31.229	7.760	0.249
60	4	0.6	0.462	31.301	10.347	0.331
70	9	0.7	0.538	31.325	23.281	0.743
80	14	0.8	0.615	31.350	36.215	1.155
90	17	0.9	0.692	31.374	43.976	1.402
100	22	1	0.769	31.398	56.910	1.813
110	25	1.1	0.846	31.423	64.670	2.058
120	30	1.2	0.923	31.447	77.604	2.468
130	34	1.3	1.000	31.471	87.951	2.795
140	39	1.4	1.077	31.496	100.885	3.203
150	44	1.5	1.154	31.520	113.819	3.611
160	48	1.6	1.231	31.545	124.166	3.936
170	50	1.7	1.308	31.569	129.340	4.097
180	54	1.8	1.385	31.594	139.687	4.421
190	57	1.9	1.462	31.594	147.448	4.667
200	60	2	1.538	31.643	155.208	4.905

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
220	56	2.2	1.692	31.693	144.861	4.571
230	57	2.3	1.769	31.718	147.448	4.649
240	58	2.4	1.846	31.743	150.034	4.727
250	50	2.5	1.923	31.768	129.340	4.071
260	40	2.6	2.000	31.793	103.472	3.255
270	37	2.7	2.077	31.817	95.712	3.008
280	36	2.8	2.154	31.842	93.125	2.925
290	36	2.9	2.231	31.868	93.125	2.922
300	36	3	2.308	31.893	93.125	2.920



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

Unconfined Compression Test

Proving Ring No	Proving Ring Constant	Loading Rate
: 1155-12-19099	:2.5868 kg/div	: 0.05 in/min

Stabilizer 15 % ที่14วัน

Sample Diameter (cm)	6.55	Weight of Sample (kg)	0.951
Sample Height (cm)	14	Water Content (%)	13.215
Sample Area (cm^2)	33.6785	Wet Unit Weight (kg/cm^3)	0.002017
Sample Volume (cm^3)	471.498	Dry Unit Weight (kg/cm^3)	0.001833

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
10	15	0.1	0.071	33.703	38.802	1.151
20	25	0.2	0.143	33.727	64.670	1.917
30	33	0.3	0.214	33.751	85.364	2.529
40	46	0.4	0.286	33.727	118.993	3.528
50	58	0.5	0.357	33.751	150.034	4.445
60	68	0.6	0.429	33.823	175.902	5.201
70	58	0.7	0.500	33.848	150.034	4.433
80	66	0.8	0.571	33.872	170.729	5.040
90	59	0.9	0.643	33.896	152.621	4.503
100	64	1	0.714	33.921	165.555	4.881
110	62	1.1	0.786	33.945	160.382	4.725
120	58	1.2	0.857	33.970	150.034	4.417
130	55	1.3	0.929	33.994	142.274	4.185
140	55	1.4	1.000	34.019	142.274	4.182

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

Unconfined Compression Test

Proving Ring No	Proving Ring Constant	Loading Rate
: 1155-12-19099	:2.5868 kg/div	: 0.05 in/min

stabilizer 20% ที่14วัน

Sample Diameter (cm)	6.65	Weight of Sample (kg)	0.9285
Sample Height (cm)	13.5	Water Content (%)	15.079
Sample Area (cm^2)	34.7147	Wet Unit Weight (kg/cm^3)	0.001981
Sample Volume (cm^3)	468.648	Dry Unit Weight (kg/cm^3)	0.001779

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
10	15	0.1	0.074	34.740	38.802	1.117
20	25	0.2	0.148	34.766	64.670	1.860
30	30	0.3	0.222	34.792	77.604	2.231
40	40	0.4	0.296	34.766	103.472	2.976
50	48	0.5	0.370	34.792	124.166	3.569
60	54	0.6	0.444	34.870	139.687	4.006
70	62	0.7	0.519	34.896	160.382	4.596
80	71	0.8	0.593	34.922	183.663	5.259
90	80	0.9	0.667	34.948	206.944	5.922
100	85	1	0.741	34.974	219.878	6.287
110	95	1.1	0.815	35.000	245.746	7.021
120	108	1.2	0.889	35.026	279.374	7.976
130	105	1.3	0.963	35.052	271.614	7.749
140	75	1.4	1.037	35.078	194.010	5.531
150	63	1.5	1.111	35.105	162.968	4.642
160	60	1.6	1.185	35.131	155.208	4.418

NARESUAN UNIVERSITY

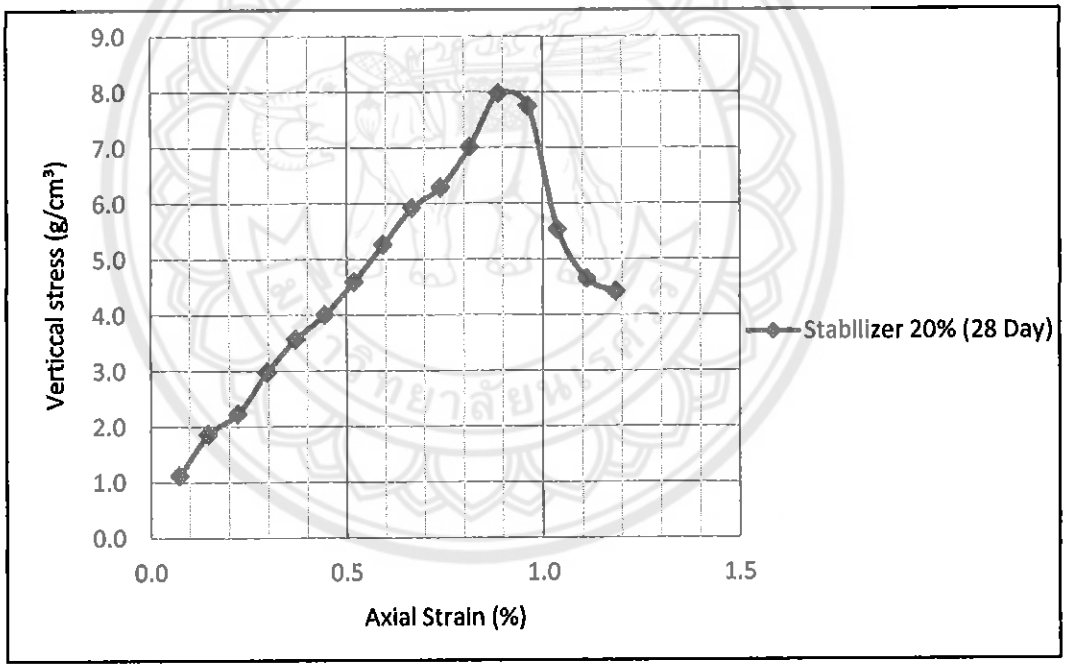
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

Unconfined Compression Test

Proving Ring No	Proving Ring Constant	Loading Rate
: 1155-12-19099	:2.5868 kg/div	: 0.05 in/min

stabilizer 25% ที่14วัน

Sample Diameter (cm)	6.6	Weight of Sample (kg)	0.9435
Sample Height (cm)	13.2	Water Content (%)	17.739
Sample Area (cm^2)	34.1946	Wet Unit Weight (kg/cm^3)	0.00209
Sample Volume (cm^3)	451.369	Dry Unit Weight (kg/cm^3)	0.001644

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
10	15	0.1	0.076	34.221	38.802	1.134
20	28	0.2	0.152	34.246	72.430	2.115
30	35	0.3	0.227	34.272	90.538	2.642
40	50	0.4	0.303	34.246	129.340	3.777
50	63	0.5	0.379	34.272	162.968	4.755
60	78	0.6	0.455	34.351	201.770	5.874
70	90	0.7	0.530	34.377	232.812	6.772
80	104	0.8	0.606	34.403	269.027	7.820
90	120	0.9	0.682	34.429	310.416	9.016
100	132	1	0.758	34.456	341.458	9.910
110	142	1.1	0.833	34.482	367.326	10.653
120	150	1.2	0.909	34.508	388.020	11.244
130	160	1.3	0.985	34.535	413.888	11.985
140	168	1.4	1.061	34.561	434.582	12.574
150	170	1.5	1.136	34.588	439.756	12.714

NARESUAN UNIVERSITY

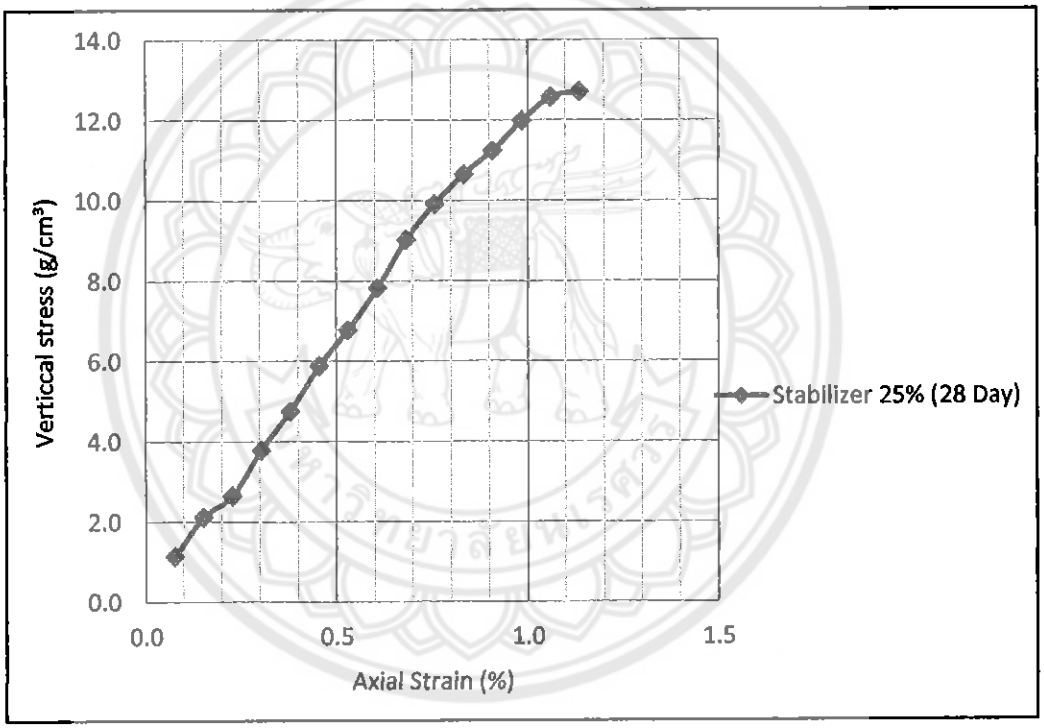
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

Unconfined Compression Test

Proving Ring No : 570206	Proving Ring Constant : 0.376 kg/div	Loading Rate : 0.05 in/min

stabilizer 0% ที่ 28 วัน

Sample Diameter (cm)	6.70	Weight of Sample (kg)	1.0415
Sample Height (cm)	13.6	Water Content (%)	11.232
Sample Area (cm^2)	35.2387	Wet Unit Weight (kg/cm^3)	0.002173
Sample Volume (cm^3)	479.246	Dry Unit Weight (kg/cm^3)	0.001942

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNINING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

Unconfined Compression Test

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
20	5	0.2	0.147	35.291	1.880	0.053
40	6	0.4	0.294	35.343	2.256	0.064
60	7	0.6	0.441	35.395	2.632	0.074
80	8	0.8	0.588	35.343	3.008	0.085
100	9	1	0.735	35.395	3.384	0.096
120	11	1.2	0.882	35.552	4.136	0.116
140	12	1.4	1.029	35.605	4.512	0.127
160	13	1.6	1.176	35.658	4.888	0.137
180	14	1.8	1.324	35.711	5.264	0.147
200	15.5	2	1.471	35.765	5.828	0.163
220	16.5	2.2	1.618	35.818	6.204	0.173
240	18	2.4	1.765	35.872	6.768	0.189
260	19	2.6	1.912	35.925	7.144	0.199
280	20	2.8	2.059	35.979	7.520	0.209
300	22	3	2.206	36.034	8.272	0.230
320	24	3.2	2.353	36.088	9.024	0.250
340	25	3.4	2.500	36.142	9.400	0.260
360	26	3.6	2.647	36.197	9.776	0.270

NARESUAN UNIVERSITY

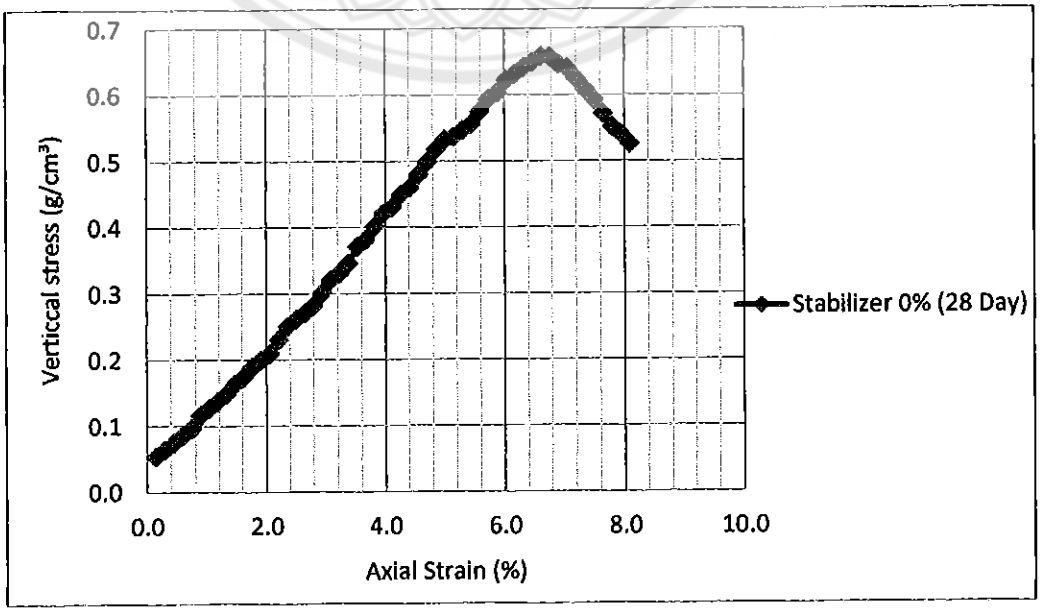
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
400	29	4	2.941	36.306	10.904	0.300
420	31	4.2	3.088	36.362	11.656	0.321
440	32	4.4	3.235	36.417	12.032	0.330
460	33.5	4.6	3.382	36.472	12.596	0.345
480	36	4.8	3.529	36.528	13.536	0.371
500	37	5	3.676	36.584	13.912	0.380
520	39	5.2	3.824	36.640	14.664	0.400
540	41	5.4	3.971	36.696	15.416	0.420
560	42	5.6	4.118	36.752	15.792	0.430
580	44	5.8	4.265	36.808	16.544	0.449
600	45	6	4.412	36.865	16.920	0.459
620	47	6.2	4.559	36.865	17.672	0.479
640	49	6.4	4.706	36.979	18.424	0.498
660	51	6.6	4.853	37.036	19.176	0.518
680	52.5	6.8	5.000	37.093	19.740	0.532
700	53	7	5.147	37.151	19.928	0.536
720	54	7.2	5.294	37.209	20.304	0.546
740	55	7.4	5.441	37.266	20.680	0.555
760	57	7.6	5.588	37.324	21.432	0.574
780	59	7.8	5.735	37.383	22.184	0.593
800	60	8	5.882	37.441	22.560	0.603
820	62	8.2	6.029	37.500	23.312	0.622
840	63	8.4	6.176	37.558	23.688	0.631
860	64	8.6	6.324	37.558	24.064	0.641

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
900	66	9	6.618	37.736	24.816	0.658
920	66	9.2	6.765	37.795	24.816	0.657
940	65	9.4	6.912	37.855	24.440	0.646
960	64.5	9.6	7.059	37.915	24.252	0.640
980	63	9.8	7.206	37.975	23.688	0.624
1000	61.5	10	7.353	38.035	23.124	0.608
1020	60	10.2	7.500	38.096	22.560	0.592
1040	58	10.4	7.647	38.157	21.808	0.572
1060	56	10.6	7.794	38.217	21.056	0.551
1080	55	10.8	7.941	38.278	20.680	0.540
1100	53.5	11	8.088	38.278	20.116	0.526



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

Unconfined Compression Test

Proving Ring No	Proving Ring Constant	Loading Rate
: 1155-12-19099	:2.5868 kg/div	: 0.05 in/min

stabilizer 5% ที่ 28 วัน

Sample Diameter (cm)	6.55	Weight of Sample (kg)	1.0065
Sample Height (cm)	13.6	Water Content (%)	11.439
Sample Area (cm^2)	33.6785	Wet Unit Weight (kg/cm^3)	0.002197
Sample Volume (cm^3)	458.027	Dry Unit Weight (kg/cm^3)	0.001905

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

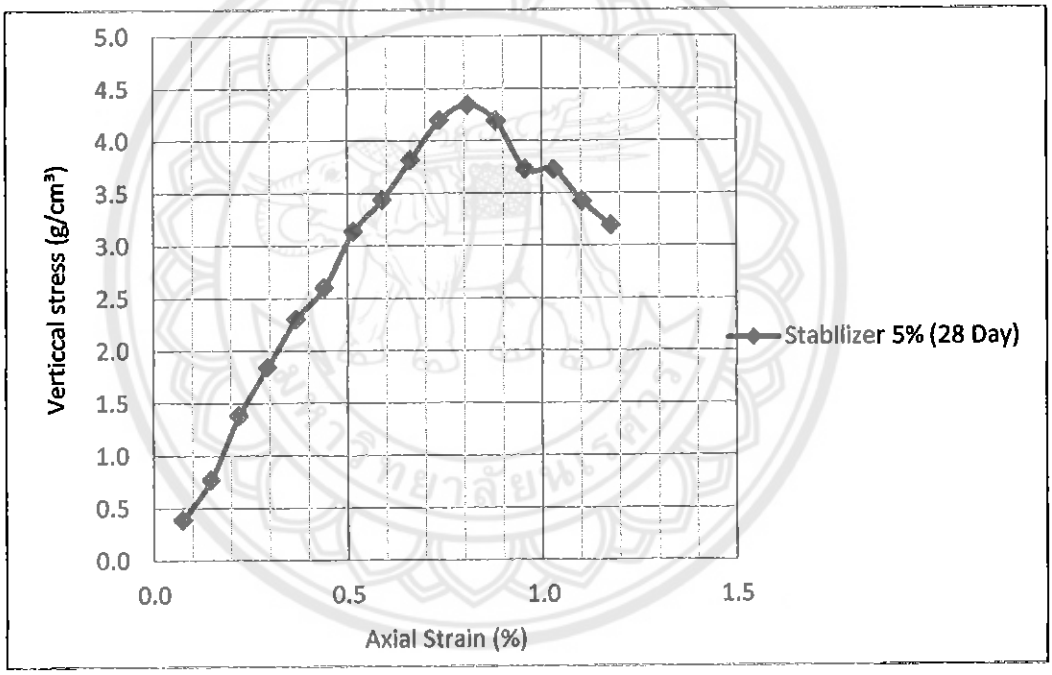
ตารางแสดงผลข้อมูล

Unconfined Compression Test

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
10	5	0.1	0.074	33.703	12.934	0.384
20	10	0.2	0.147	33.728	25.868	0.767
30	18	0.3	0.221	33.753	46.562	1.380
40	24	0.4	0.294	33.728	62.083	1.841
50	30	0.5	0.368	33.753	77.604	2.299
60	34	0.6	0.441	33.828	87.951	2.600
70	41	0.7	0.515	33.853	106.059	3.133
80	45	0.8	0.588	33.878	116.406	3.436
90	50	0.9	0.662	33.903	129.340	3.815
100	55	1	0.735	33.928	142.274	4.193
110	57	1.1	0.809	33.953	147.448	4.343
120	55	1.2	0.882	33.978	142.274	4.187
130	49	1.3	0.956	34.003	126.753	3.728
140	49	1.4	1.029	34.029	126.753	3.725
150	45	1.5	1.103	34.054	116.406	3.418
160	42	1.6	1.176	34.079	108.646	3.188

ตารางแสดงผลข้อมูล

Unconfined Compression Test



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

Unconfined Compression Test

Proving Ring No	Proving Ring Constant	Loading Rate
: 1155-12-19099	: 2.5868 kg/div	: 0.05 in/min

stabilizer 10% ที่ 28 วัน

Sample Diameter (cm)	6.45	Weight of Sample (kg)	1.0285
Sample Height (cm)	14	Water Content (%)	12.312
Sample Area (cm^2)	32.6580	Wet Unit Weight (kg/cm^3)	0.002249
Sample Volume (cm^3)	457.211	Dry Unit Weight (kg/cm^3)	0.001886

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

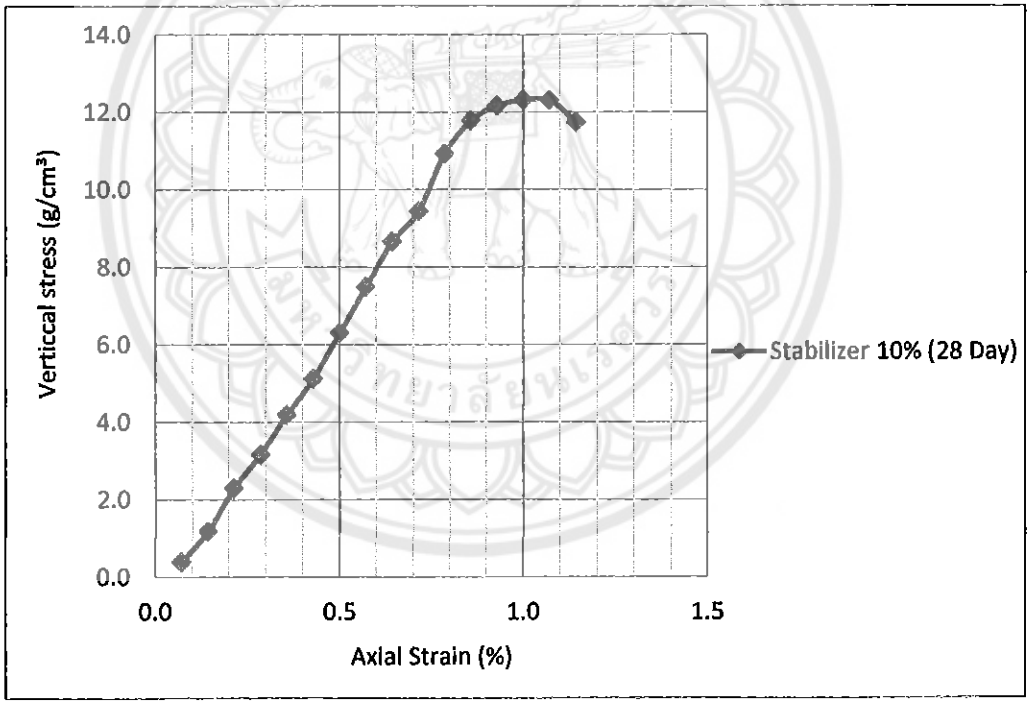
ตารางแสดงผลข้อมูล

Unconfined Compression Test

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
10	5	0.1	0.071	32.681	12.934	0.396
20	15	0.2	0.143	32.705	38.802	1.186
30	29	0.3	0.214	32.728	75.017	2.292
40	40	0.4	0.286	32.705	103.472	3.164
50	53	0.5	0.357	32.728	137.100	4.189
60	65	0.6	0.429	32.799	168.142	5.127
70	80	0.7	0.500	32.822	206.944	6.305
80	95	0.8	0.571	32.846	245.746	7.482
90	110	0.9	0.643	32.869	284.548	8.657
100	120	1	0.714	32.893	310.416	9.437
110	139	1.1	0.786	32.917	359.565	10.924
120	150	1.2	0.857	32.940	388.020	11.779
130	155	1.3	0.929	32.964	400.954	12.163
140	157	1.4	1.000	32.988	406.128	12.311
150	157	1.5	1.071	33.012	406.128	12.303
160	150	1.6	1.143	33.036	388.020	11.746

ตารางแสดงผลข้อมูล

Unconfined Compression Test



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

Unconfined Compression Test

Proving Ring No	Proving Ring Constant	Loading Rate
: 1155-12-19099	: 2.5868 kg/div	: 0.05 in/min

stabilizer 15% ที่ 28 วัน

Sample Diameter (cm)	6.85	Weight of Sample (kg)	1.045
Sample Height (cm)	13.9	Water Content (%)	13.215
Sample Area (cm^2)	36.8342	Wet Unit Weight (kg/cm^3)	0.002041
Sample Volume (cm^3)	511.995	Dry Unit Weight (kg/cm^3)	0.001833

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

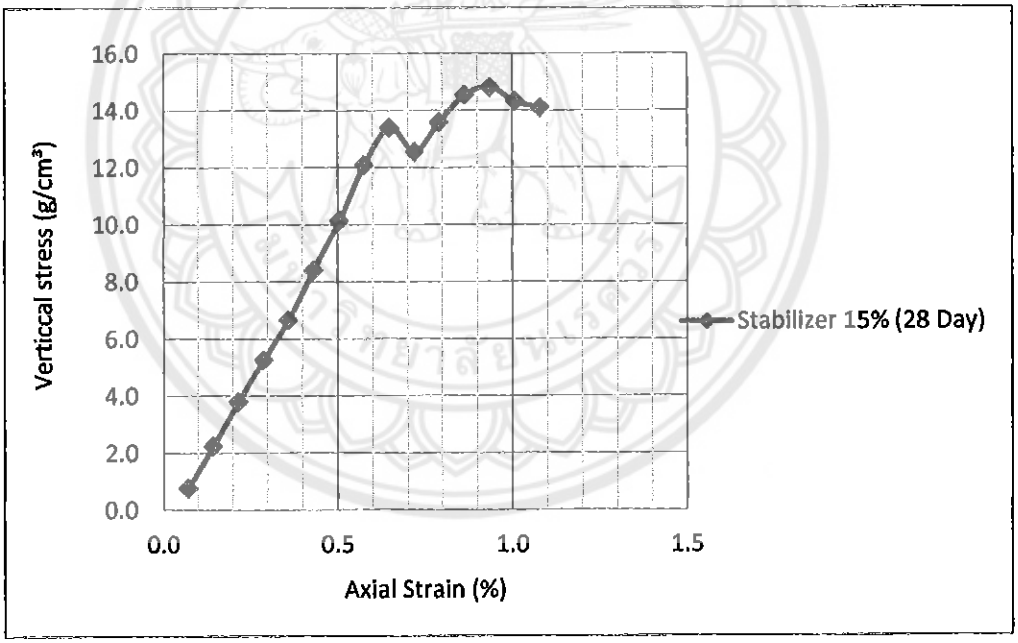
ตารางแสดงผลข้อมูล

Unconfined Compression Test

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
10	11	0.1	0.072	36.861	28.455	0.772
20	32	0.2	0.144	36.887	82.778	2.244
30	54	0.3	0.216	36.914	139.687	3.784
40	75	0.4	0.288	36.887	194.010	5.260
50	95	0.5	0.360	36.914	245.746	6.657
60	120	0.6	0.432	36.994	310.416	8.391
70	145	0.7	0.504	37.021	375.086	10.132
80	173	0.8	0.576	37.047	447.516	12.080
90	192	0.9	0.647	37.074	496.666	13.397
100	180	1	0.719	37.101	465.624	12.550
110	195	1.1	0.791	37.128	504.426	13.586
120	209	1.2	0.863	37.155	540.641	14.551
130	213	1.3	0.935	37.182	550.988	14.819
140	206	1.4	1.007	37.209	532.881	14.321
150	203	1.5	1.079	37.236	525.120	14.102

ตารางแสดงผลข้อมูล

Unconfined Compression Test



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

Unconfined Compression Test

Proving Ring No	Proving Ring Constant	Loading Rate
: 1155-12-19099	: 2.5868 kg/div	: 0.05 in/min

stabilizer 20% ที่ 28 วัน

Sample Diameter (cm)	6.75	Weight of Sample (kg)	1.063
Sample Height (cm)	14.2	Water Content (%)	15.079
Sample Area (cm^2)	35.7666	Wet Unit Weight (kg/cm^3)	0.002092
Sample Volume (cm^3)	507.885	Dry Unit Weight (kg/cm^3)	0.001779

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description

ตารางแสดงผลข้อมูล

Unconfined Compression Test

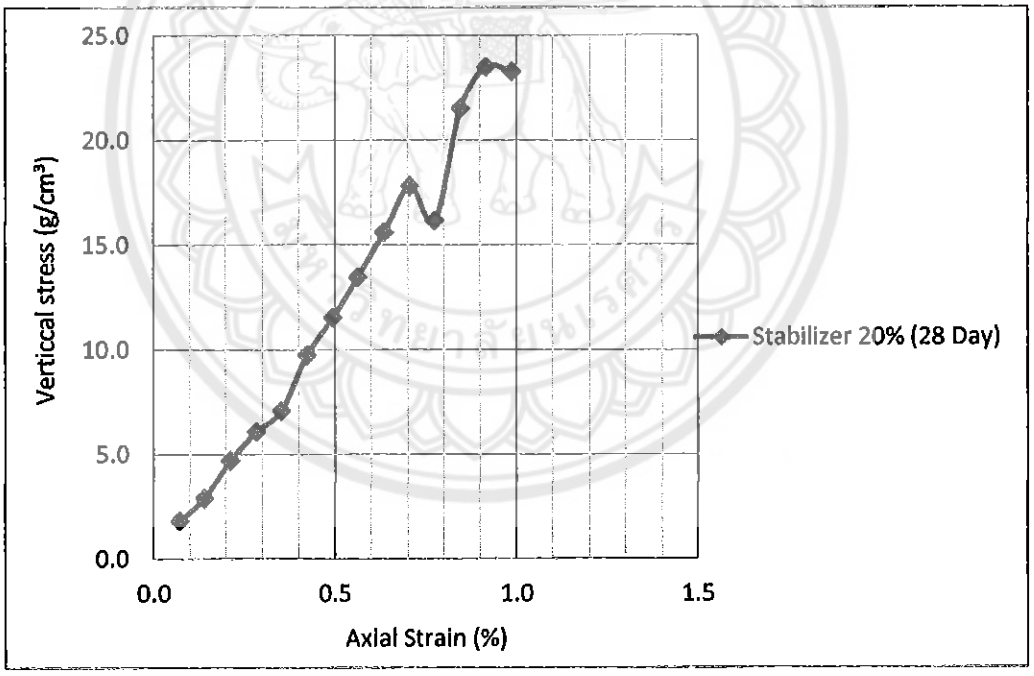
Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
10	25	0.1	0.070	35.792	64.670	1.807
20	40	0.2	0.141	35.817	103.472	2.889
30	65	0.3	0.211	35.842	168.142	4.691
40	84	0.4	0.282	35.817	217.291	6.067
50	98	0.5	0.352	35.842	253.506	7.073
60	135	0.6	0.423	35.918	349.218	9.723
70	160	0.7	0.493	35.944	413.888	11.515
80	187	0.8	0.563	35.969	483.732	13.448
90	217	0.9	0.634	35.995	561.336	15.595
100	248	1	0.704	36.020	641.526	17.810
110	225	1.1	0.775	36.046	582.030	16.147
120	300	1.2	0.845	36.071	776.040	21.514
130	328	1.3	0.915	36.097	848.470	23.505
140	325	1.4	0.986	36.123	840.710	23.274

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

ตารางแสดงผลข้อมูล

Unconfined Compression Test



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

Unconfined Compression Test

Proving Ring No	Proving Ring Constant	Loading Rate
: 1155-12-19099	: 2.5868 kg/div	: 0.05 in/min

stabilizer 25% ที่ 28 วัน

Sample Diameter (cm)	7.00	Weight of Sample (kg)	1.0755
Sample Height (cm)	14.5	Water Content (%)	17.739
Sample Area (cm^2)	38.4650	Wet Unit Weight (kg/cm^3)	0.001928
Sample Volume (cm^3)	557.743	Dry Unit Weight (kg/cm^3)	0.001644

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

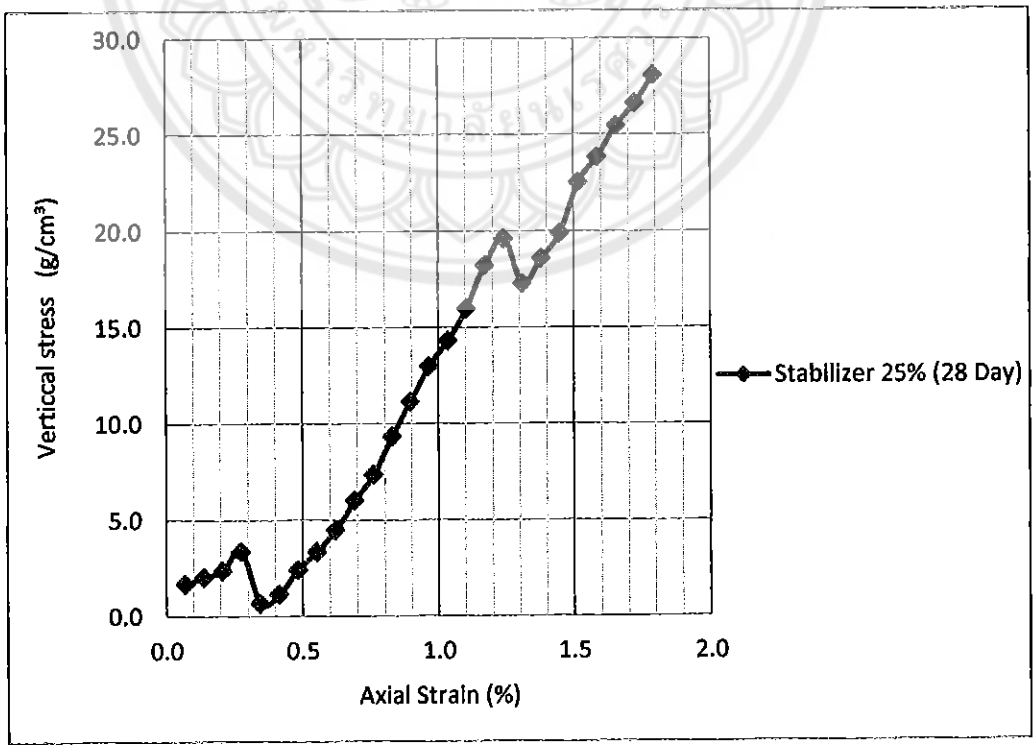
Unconfined Compression Test

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
10	25	0.1	0.069	38.492	64.670	1.680
20	30	0.2	0.138	38.518	77.604	2.015
30	35	0.3	0.207	38.545	90.538	2.349
40	50	0.4	0.276	38.518	129.340	3.358
50	10	0.5	0.345	38.545	25.868	0.671
60	17	0.6	0.414	38.625	43.976	1.139
70	36	0.7	0.483	38.652	93.125	2.409
80	50	0.8	0.552	38.678	129.340	3.344
90	67	0.9	0.621	38.705	173.316	4.478
100	90	1	0.690	38.732	232.812	6.011
110	110	1.1	0.759	38.759	284.548	7.341
120	140	1.2	0.828	38.786	362.152	9.337
130	167	1.3	0.897	38.813	431.996	11.130
140	195	1.4	0.966	38.840	504.426	12.987
150	215	1.5	1.034	38.867	556.162	14.309
160	240	1.6	1.103	38.894	620.832	15.962
170	274	1.7	1.172	38.921	708.783	18.211
180	295	1.8	1.241	38.948	763.106	19.593

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
190	260	1.9	1.310	38.948	672.568	17.268
200	280	2	1.379	39.003	724.304	18.570
210	300	2.1	1.448	39.030	776.040	19.883
220	340	2.2	1.517	39.058	879.512	22.518
230	360	2.3	1.586	39.085	931.248	23.826
240	385	2.4	1.655	39.112	995.918	25.463
250	403	2.5	1.724	39.140	1042.480	26.635
260	425	2.6	1.793	39.167	1099.390	28.069



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

Unconfined Compression Test

Proving Ring No	Proving Ring Constant	Loading Rate
: 1155-12-19099	: 2.5868 kg/div	: 0.05 in/min

Stabilizer 0 % ที่ 50 วัน

Sample Diameter (cm)	6.90	Weight of Sample (kg)	1.2165
Sample Height (cm)	14.3	Water Content (%)	11.232
Sample Area (cm^2)	37.3739	Wet Unit Weight (kg/cm^3)	0.002276
Sample Volume (cm^3)	534.446	Dry Unit Weight (kg/cm^3)	0.001942

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

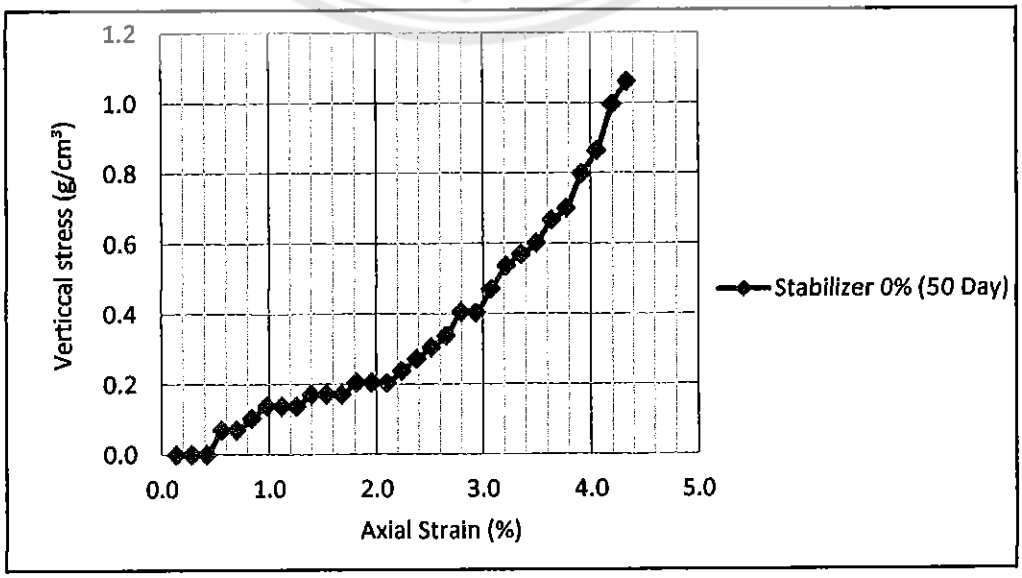
Unconfined Compression Test

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
20	0	0.2	0.140	37.426	0.000	0.000
40	0	0.4	0.280	37.479	0.000	0.000
60	0	0.6	0.420	37.531	0.000	0.000
80	1	0.8	0.559	37.479	2.587	0.069
100	1	1	0.699	37.531	2.587	0.069
120	1.5	1.2	0.839	37.690	3.880	0.103
140	2	1.4	0.979	37.743	5.174	0.137
160	2	1.6	1.119	37.797	5.174	0.137
180	2	1.8	1.259	37.850	5.174	0.137
200	2.5	2	1.399	37.904	6.467	0.171
220	2.5	2.2	1.538	37.958	6.467	0.170
240	2.5	2.4	1.678	38.012	6.467	0.170
260	3	2.6	1.818	38.066	7.760	0.204
280	3	2.8	1.958	38.120	7.760	0.204
300	3	3	2.098	38.175	7.760	0.203
320	3.5	3.2	2.238	38.229	9.054	0.237
340	4	3.4	2.378	38.284	10.347	0.270
360	4.5	3.6	2.517	38.339	11.641	0.304

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
380	5	3.8	2.657	38.339	12.934	0.337
400	6	4	2.797	38.449	15.521	0.404
420	6	4.2	2.937	38.505	15.521	0.403
440	7	4.4	3.077	38.560	18.108	0.470
460	8	4.6	3.217	38.616	20.694	0.536
480	8.5	4.8	3.357	38.672	21.988	0.569
500	9	5	3.497	38.728	23.281	0.601
520	10	5.2	3.636	38.784	25.868	0.667
540	10.5	5.4	3.776	38.841	27.161	0.699
560	12	5.6	3.916	38.897	31.042	0.798
580	13	5.8	4.056	38.954	33.628	0.863
600	15	6	4.196	39.011	38.802	0.995
620	16	6.2	4.336	39.011	41.389	1.061



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

Unconfined Compression Test

Proving Ring No	Proving Ring Constant	Loading Rate
: 1155-12-19099	: 2.5868 kg/div	: 0.05 in/min

Stabilizer 5 % ที่ 50 วัน

Sample Diameter (cm)	6.65	Weight of Sample (kg)	1.0885
Sample Height (cm)	14	Water Content (%)	11.439
Sample Area (cm^2)	34.7147	Wet Unit Weight (kg/cm^3)	0.002239
Sample Volume (cm^3)	486.005	Dry Unit Weight (kg/cm^3)	0.001905

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

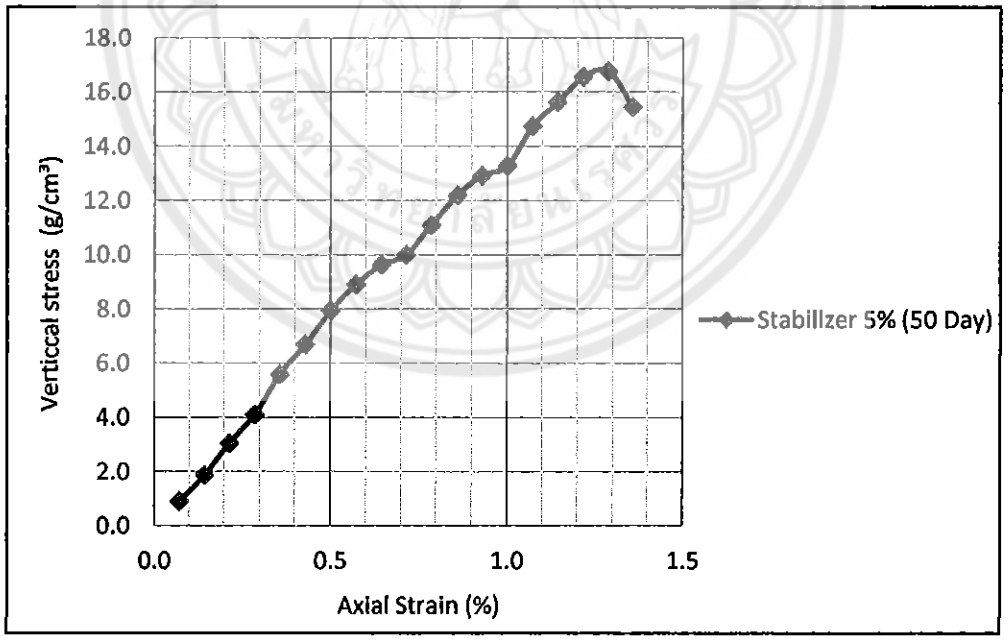
Unconfined Compression Test

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
10	12	0.1	0.071	34.739	31.042	0.894
20	25	0.2	0.143	34.764	64.670	1.860
30	41	0.3	0.214	34.789	106.059	3.049
40	55	0.4	0.286	34.764	142.274	4.093
50	75	0.5	0.357	34.789	194.010	5.577
60	90	0.6	0.429	34.864	232.812	6.678
70	107	0.7	0.500	34.889	276.788	7.933
80	120	0.8	0.571	34.914	310.416	8.891
90	130	0.9	0.643	34.939	336.284	9.625
100	135	1	0.714	34.964	349.218	9.988
110	150	1.1	0.786	34.990	388.020	11.090
120	165	1.2	0.857	35.015	426.822	12.190
130	175	1.3	0.929	35.040	452.690	12.919
140	180	1.4	1.000	35.065	465.624	13.279
150	200	1.5	1.071	35.091	517.360	14.744
160	212	1.6	1.143	35.116	548.402	15.617
170	225	1.7	1.214	35.141	582.030	16.563

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
180	228	1.8	1.286	35.167	589.790	16.771
190	210	1.9	1.357	35.167	543.228	15.447



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

Unconfined Compression Test

Proving Ring No	Proving Ring Constant	Loading Rate
: 1155-12-19099	: 2.5868 kg/div	: 0.05 in/min

Stabilizer 10 % ที่ 50 วัน

Sample Diameter (cm)	6.90	Weight of Sample (kg)	1.158
Sample Height (cm)	14	Water Content (%)	12.312
Sample Area (cm^2)	37.3739	Wet Unit Weight (kg/cm^3)	0.002213
Sample Volume (cm^3)	523.234	Dry Unit Weight (kg/cm^3)	0.001886

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

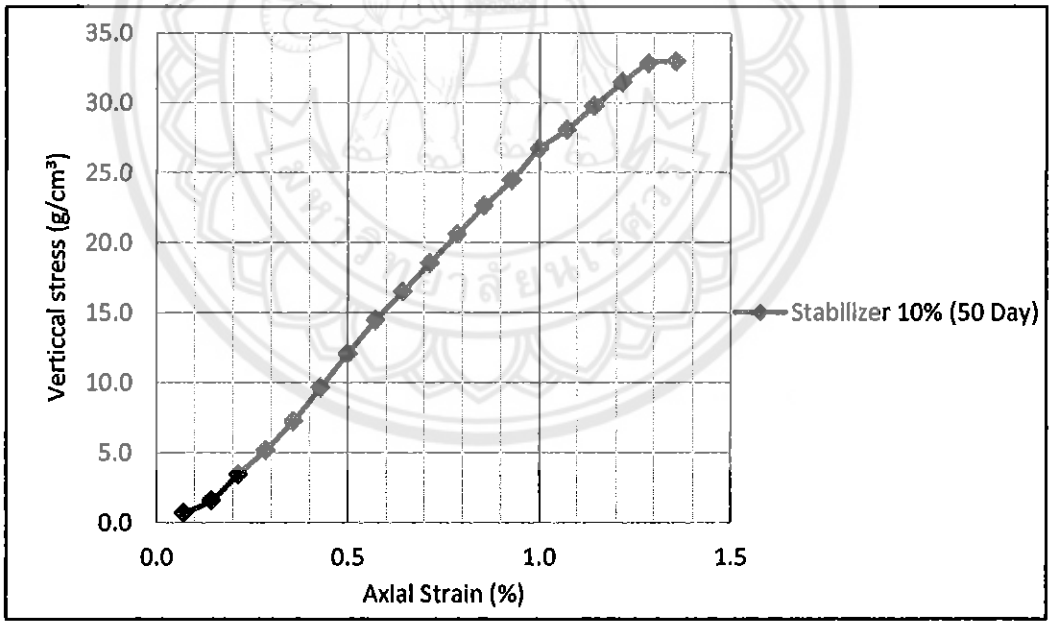
Unconfined Compression Test

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
10	10	0.1	0.071	37.401	25.868	0.692
20	23	0.2	0.143	37.427	59.496	1.590
30	50	0.3	0.214	37.454	129.340	3.453
40	75	0.4	0.286	37.427	194.010	5.184
50	105	0.5	0.357	37.454	271.614	7.252
60	140	0.6	0.429	37.535	362.152	9.648
70	175	0.7	0.500	37.562	452.690	12.052
80	210	0.8	0.571	37.589	543.228	14.452
90	240	0.9	0.643	37.616	620.832	16.505
100	270	1	0.714	37.643	698.436	18.554
110	300	1.1	0.786	37.670	776.040	20.601
120	330	1.2	0.857	37.697	853.644	22.645
130	357	1.3	0.929	37.724	923.488	24.480
140	390	1.4	1.000	37.751	1008.852	26.724
150	410	1.5	1.071	37.779	1060.588	28.074
160	435	1.6	1.143	37.806	1125.258	29.764
170	460	1.7	1.214	37.833	1189.928	31.452

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
180	480	1.8	1.286	37.861	1241.664	32.796
190	482	1.9	1.357	37.861	1246.838	32.932



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

Unconfined Compression Test

Proving Ring No	Proving Ring Constant	Loading Rate
: 1155-12-19099	: 2.5868 kg/div	: 0.05 in/min

Stabilizer 15 % ที่ 50 วัน

Sample Diameter (cm)	6.75	Weight of Sample (kg)	1.1425
Sample Height (cm)	13.9	Water Content (%)	13.215
Sample Area (cm^2)	35.7666	Wet Unit Weight (kg/cm^3)	0.002318
Sample Volume (cm^3)	497.155	Dry Unit Weight (kg/cm^3)	0.001833

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

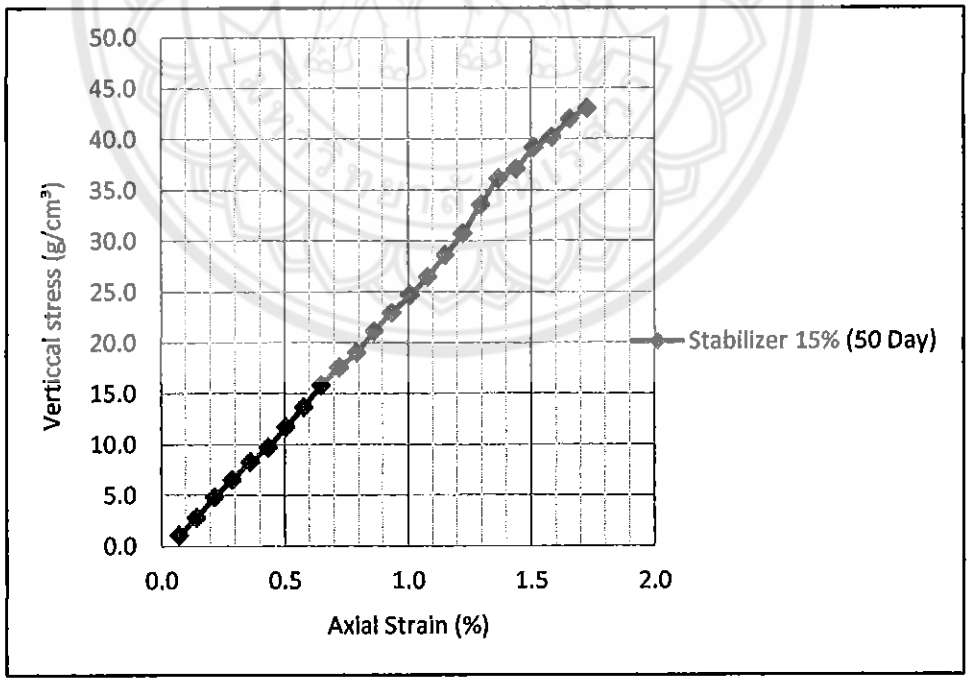
Unconfined Compression Test

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
10	15	0.1	0.072	35.792	38.802	1.084
20	39	0.2	0.144	35.818	100.885	2.817
30	67	0.3	0.216	35.844	173.316	4.835
40	90	0.4	0.288	35.818	232.812	6.500
50	115	0.5	0.360	35.844	297.482	8.299
60	135	0.6	0.432	35.922	349.218	9.722
70	163	0.7	0.504	35.948	421.648	11.730
80	190	0.8	0.576	35.974	491.492	13.663
90	220	0.9	0.647	36.000	569.096	15.808
100	245	1	0.719	36.026	633.766	17.592
110	265	1.1	0.791	36.052	685.502	19.014
120	295	1.2	0.863	36.078	763.106	21.152
130	320	1.3	0.935	36.104	827.776	22.927
140	345	1.4	1.007	36.130	892.446	24.701
150	370	1.5	1.079	36.157	957.116	26.471
160	400	1.6	1.151	36.183	1034.720	28.597
170	430	1.7	1.223	36.209	1112.324	30.719
180	470	1.8	1.295	36.236	1215.796	33.552
190	506	1.9	1.367	36.236	1308.921	36.122

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
200	520	2	1.439	36.289	1345.136	37.068
210	550	2.1	1.511	36.315	1422.740	39.178
220	565	2.2	1.583	36.342	1461.542	40.217
230	590	2.3	1.655	36.368	1526.212	41.965
240	605	2.4	1.727	36.395	1565.014	43.001



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

Unconfined Compression Test

Proving Ring No	Proving Ring Constant	Loading Rate
: 1155-12-19099	: 2.5868 kg/div	: 0.05 in/min

Stabilizer 20 % ที่ 50 วัน

Sample Diameter (cm)	7.00	Weight of Sample (kg)	1.108
Sample Height (cm)	14.2	Water Content (%)	15.079
Sample Area (cm^2)	38.4650	Wet Unit Weight (kg/cm^3)	0.002028
Sample Volume (cm^3)	546.203	Dry Unit Weight (kg/cm^3)	0.001779

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

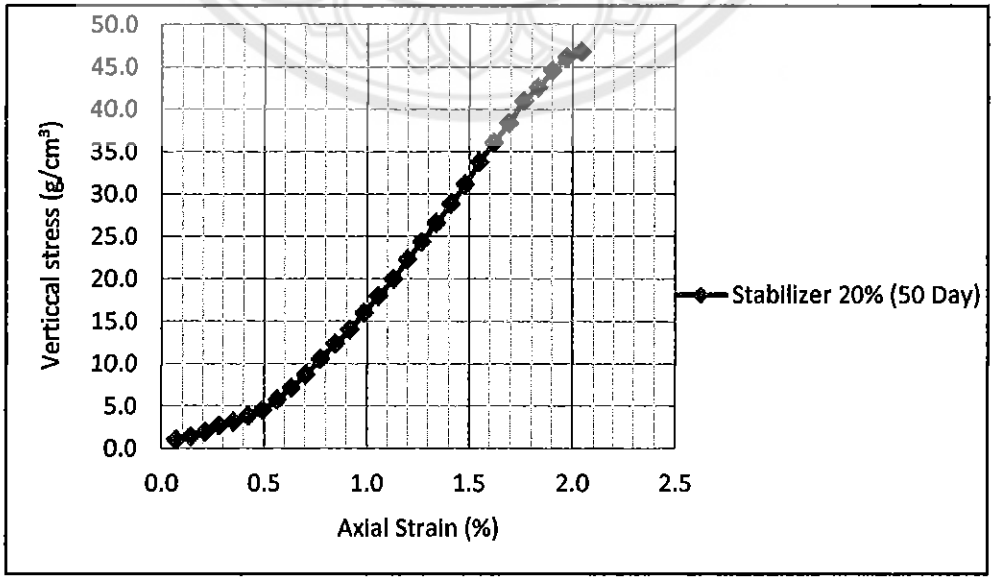
Unconfined Compression Test

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
10	15	0.1	0.070	38.492	38.802	1.008
20	21	0.2	0.141	38.519	54.323	1.410
30	29	0.3	0.211	38.546	75.017	1.946
40	40	0.4	0.282	38.519	103.472	2.686
50	47	0.5	0.352	38.546	121.580	3.154
60	57	0.6	0.423	38.628	147.448	3.817
70	67	0.7	0.493	38.656	173.316	4.484
80	86	0.8	0.563	38.683	222.465	5.751
90	107	0.9	0.634	38.710	276.788	7.150
100	130	1	0.704	38.738	336.284	8.681
110	158	1.1	0.775	38.765	408.714	10.543
120	185	1.2	0.845	38.793	478.558	12.336
130	210	1.3	0.915	38.820	543.228	13.993
140	240	1.4	0.986	38.848	620.832	15.981
150	270	1.5	1.056	38.876	698.436	17.966
160	300	1.6	1.127	38.903	776.040	19.948
170	335	1.7	1.197	38.931	866.578	22.259
180	367	1.8	1.268	38.959	949.356	24.368

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
190	400	1.9	1.338	38.959	1034.720	26.559
200	435	2	1.408	39.015	1125.258	28.842
210	470	2.1	1.479	39.042	1215.796	31.140
220	510	2.2	1.549	39.070	1319.268	33.767
230	545	2.3	1.620	39.098	1409.806	36.058
240	580	2.4	1.690	39.126	1500.344	38.346
250	620	2.5	1.761	39.154	1603.816	40.961
260	645	2.6	1.831	39.182	1668.486	42.583
270	675	2.7	1.901	39.211	1746.090	44.531
280	700	2.8	1.972	39.239	1810.760	46.147
290	710	2.9	2.042	39.267	1836.628	46.773



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

Unconfined Compression Test

Proving Ring No	Proving Ring Constant	Loading Rate
: 1155-12-19099	: 2.5868 kg/div	: 0.05 in/min

Stabilizer 25 % ที่ 50 วัน

Sample Diameter (cm)	6.65	Weight of Sample (kg)	0.955
Sample Height (cm)	13.4	Water Content (%)	17.739
Sample Area (cm^2)	34.7147	Wet Unit Weight (kg/cm^3)	0.002053
Sample Volume (cm^3)	465.176	Dry Unit Weight (kg/cm^3)	0.001644

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

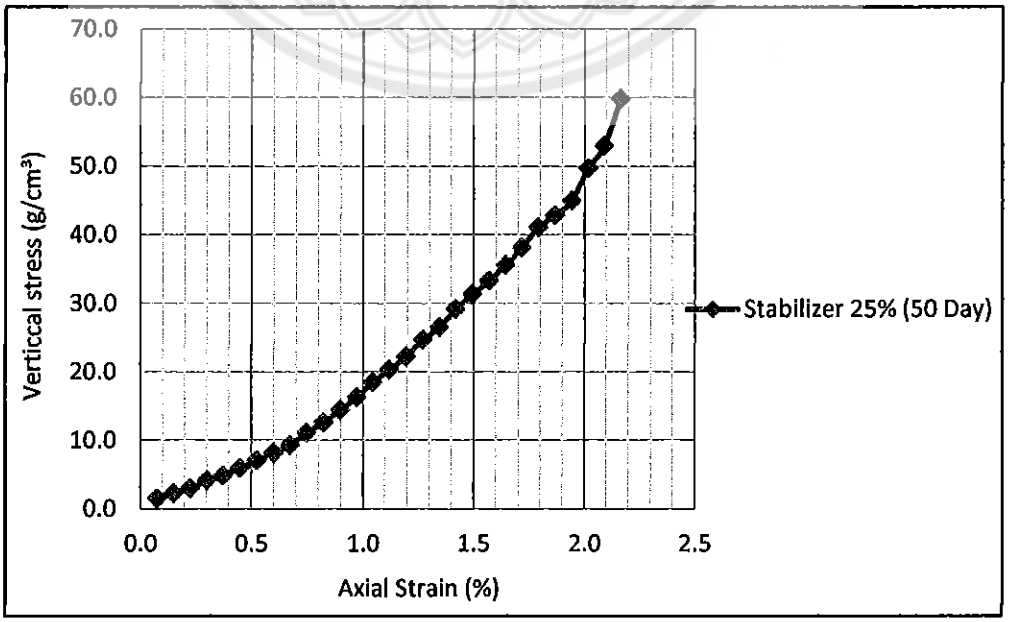
Unconfined Compression Test

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
10	20	0.1	0.075	34.741	51.736	1.489
20	30	0.2	0.149	34.767	77.604	2.232
30	40	0.3	0.224	34.793	103.472	2.974
40	55	0.4	0.299	34.767	142.274	4.092
50	65	0.5	0.373	34.793	168.142	4.833
60	80	0.6	0.448	34.871	206.944	5.935
70	95	0.7	0.522	34.897	245.746	7.042
80	110	0.8	0.597	34.923	284.548	8.148
90	125	0.9	0.672	34.949	323.350	9.252
100	150	1	0.746	34.976	388.020	11.094
110	170	1.1	0.821	35.002	439.756	12.564
120	195	1.2	0.896	35.028	504.426	14.401
130	220	1.3	0.970	35.055	569.096	16.234
140	250	1.4	1.045	35.081	646.700	18.434
150	275	1.5	1.119	35.108	711.370	20.263
160	301	1.6	1.194	35.134	778.627	22.162
170	335	1.7	1.269	35.161	866.578	24.646

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Deformation Dial Reading (div)	Load Proving Dial Reading (div)	Vertical Deformation (mm)	Axial Strain (%)	Corrected Area (cm^2)	Axial Load (kg)	Vertical Stress (ksc)
180	360	1.8	1.343	35.187	931.248	26.465
190	396	1.9	1.418	35.187	1024.373	29.112
200	426	2	1.493	35.241	1101.977	31.270
210	453	2.1	1.567	35.267	1171.820	33.227
220	485	2.2	1.642	35.294	1254.598	35.547
230	520	2.3	1.716	35.321	1345.136	38.083
240	560	2.4	1.791	35.348	1448.608	40.982
250	585	2.5	1.866	35.375	1513.278	42.779
260	615	2.6	1.940	35.402	1590.882	44.938
270	680	2.7	2.015	35.429	1759.024	49.650
280	725	2.8	2.090	35.456	1875.430	52.895
290	820	2.9	2.164	35.483	2121.176	59.781



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

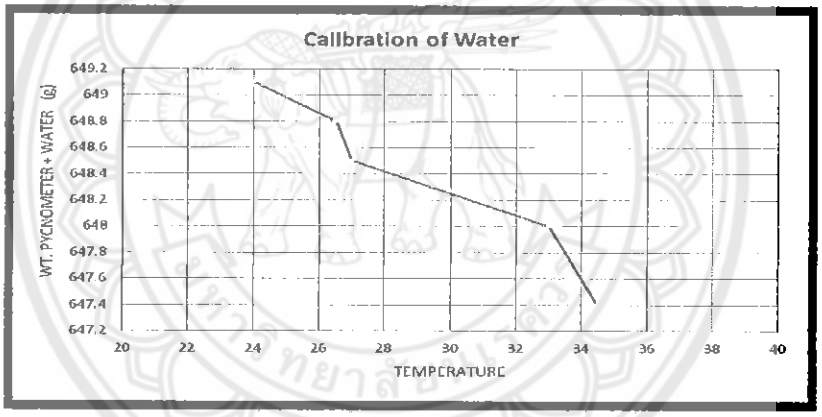
Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของดิน Specific Gravity test

PYNOMETER CALIBRATION						
DETERMINATION NO.		1	2	3	4	5
WT. PYCNOMETER + WATER	(g)	647.4	648	648.5	648.8	649.1
TEMPERATURE	(C)	34.5	33	27	26.5	24



SPECIFIC GRAVITY DETERMINATION				
DETERMINATION NO.		1	2	3
WT. PYCNOMETER + WATER + SOIL (Wbt)	(g)	679	679.5	680
TEMPERATURE (T)	(C)	26	25.5	25
WT. PYCNOMETER +WATER (Wat)	(g)	648.794	648.867	648.939
DRYING CONTAINER NO.		A-26	B-25.5	C-25
WT. CONTAINER + DRY SOIL	(g)	162.7	156.2	152.3
WT. CONTAINER	(g)	114.7	107.3	103.3
α		0.99859	0.99869	0.99879
WT. DRY SOIL USE IN TEST (Ws)	(g)	48	48.9	49
SPECIFIC GRAVITY OF WATER AT T C	(Gwt)			
SPECIFIC GRAVITY OF SOIL SAMPLE	(Gs)	2.693735	2.673452	2.728174
		AVERRAGE Gs OF SOIL SAMPLE = 2698		

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description

การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของดิน Specific Gravity test

SPECIFIC GRAVITY OF SA				
NO.	WEIGHT	DEGREE	DEGREE OF W+MD	Gs
1	46	0.5	23.2	2.026432
2	45	0.45	22.5	2.040816
3	45	0.5	23	2
	AVERRAGE Gs OF SA =			2.022

SPECIFIC GRAVITY OF MARBLE DUST				
NO.	WEIGHT	DEGREE	DEGREE OF W+MBA	Gs
1	63.5	0.5	22.7	2.86036
2	63	0.5	22.5	2.863636
3	63.5	0.45	22.6	2.866817
	AVERRAGE Gs OF MARBLE DUST =			2.864

$$Gs = \frac{\propto \times Ws}{Wat + Ws - Wbt}$$

$$\alpha = \frac{\rho T}{\rho 20°C}$$

TEMPURATURE	α	Wat
26°	0.99859	648.794
25.5°	0.99869	648.867
25°	0.99879	648.939

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

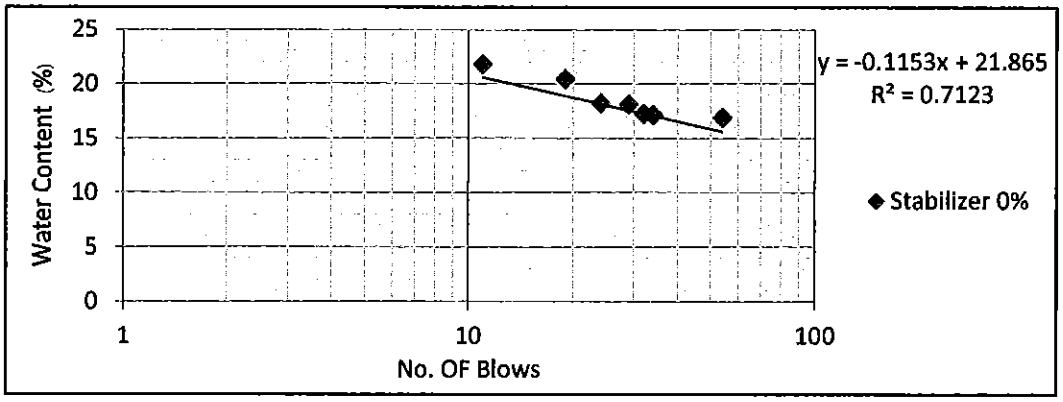
Soil Description

ตารางแสดงผลของข้อมูล

การทดสอบหาขีดจำกัดความข้นเหลวของดิน Consistency Limit Test

Stabilizer 0 %

NO.	1	2	3	4	5	6	7
No. OF Blows	54	34	32	29	24	19	11
WT.WET Soil + Cont;	30.963	29.836	28.889	37.614	38.978	33.316	29.889
WT.DRY Soil + Cont;	28.627	27.76	26.875	35.07	36.219	30.22	27.192
WT.Container	14.777	15.625	15.185	21	21.07	15.046	14.793
WT.Water	2.336	2.076	2.014	2.544	2.759	3.096	2.697
WT.DRY Soil	13.85	12.135	11.69	14.07	15.149	15.174	12.399
Water Content	16.86	17.10	17.22	18.08	18.21	20.40	21.75



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

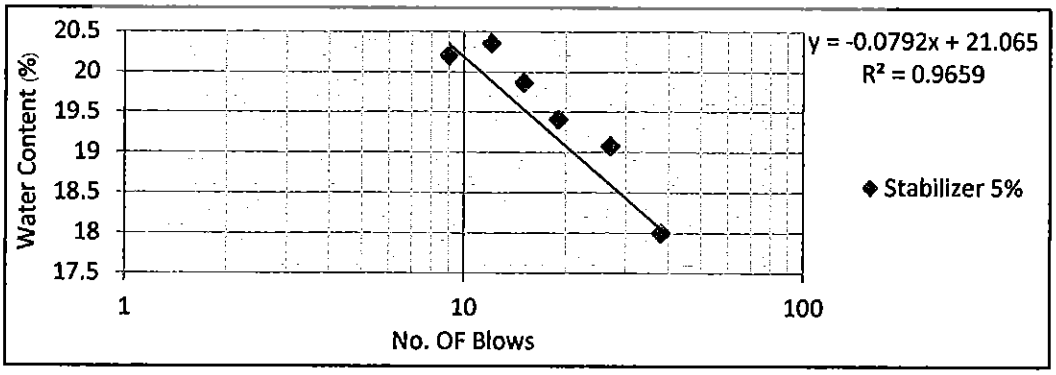
Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลของข้อมูล

การทดสอบหาขีดจำกัดความข้นเหลวของดิน Consistency Limit Test

Stabilizer 5 %

NO.	1	2	3	4	5	6
No. OF Blows	38	27	19	15	12	9
WT.WET Soil + Cont;	35.084	31.345	32.153	40.922	32.314	29.143
WT.DRY Soil + Cont;	31.988	28.718	29.351	36.709	29.374	26.997
WT.Container	14.782	14.946	14.912	15.497	14.927	16.372
WT.Water	3.096	2.627	2.802	4.213	2.94	2.146
WT.DRY Soil	17.206	13.772	14.439	21.212	14.447	10.625
Water Content	17.99372	19.07493	19.40578	19.8614	20.35025	20.19765



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

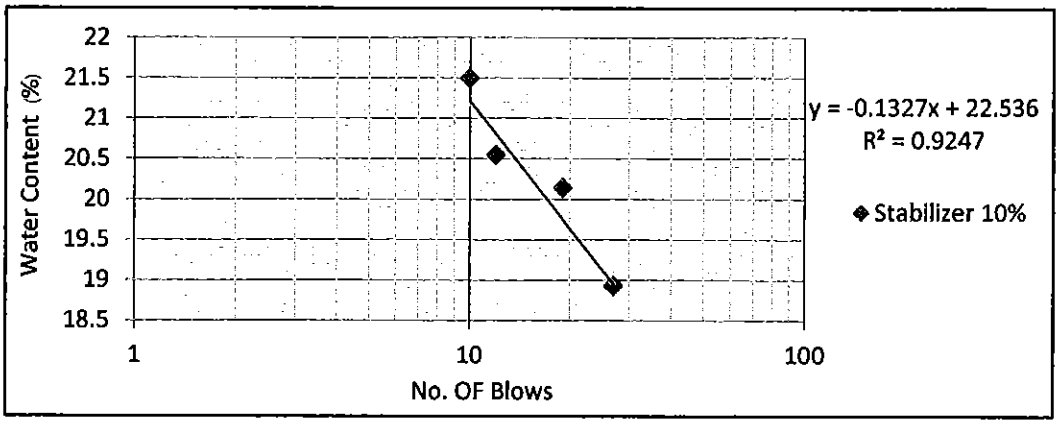
Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลของข้อมูล

การทดสอบหาขีดจำกัดความข้นเหลวของดิน Consistency Limit Test

Stabilizer 10 %

NO.	1	2	3	4	5	6
No. OF Blows	29	27	19	12	11	10
WT.WET Soil + Cont;	28.168	29.095	42.793	35.538	37.468	45.348
WT.DRY Soil + Cont;	25.96	26.817	39.151	32.069	33.7	41.039
WT.Container	14.775	14.784	21.069	15.187	14.993	20.994
WT.Water	2.208	2.278	3.642	3.469	3.768	4.309
WT.DRY Soil	11.185	12.033	18.082	16.882	18.707	20.045
Water Content	19.74072	18.93127	20.14158	20.54851	20.14219	21.49663



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลของข้อมูล

การทดสอบหาขีดจำกัดความข้นเหลวของดิน Consistency Limit Test

Stabilizer 15 %

NO.	1	2	3	4	5
No. OF Blows	19	15	13	9	6
WT.WET Soil + Cont;	37.18	29.917	34.872	34.059	40.692
WT.DRY Soil + Cont;	33.277	27.294	31.537	30.665	35.887
WT.Container	14.952	14.934	16.374	14.918	15.502
WT.Water	3.903	2.623	3.335	3.394	4.805
WT.DRY Soil	18.325	12.36	15.163	15.747	20.385
Water Content	21.29877	21.22168	21.99433	21.55331	23.57125

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

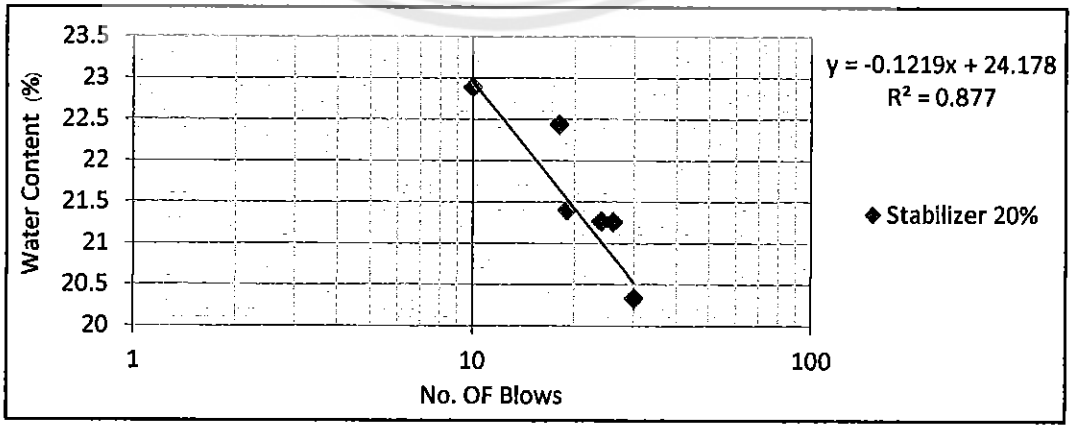
Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลของข้อมูล

การทดสอบหาขีดจำกัดความข้นเหลวของดิน Consistency Limit Test

Stabilizer 20 %

NO.	1	2	3	4	5	6	7	8
No. OF Blows	30	26	24	19	18	13	10	9
WT.WET Soil + Cont;	37.572	40.47	36.153	39.335	45.311	46.666	33.499	48.142
WT.DRY Soil + Cont;	35.303	37.705	34.049	36.841	41.467	42.608	30.172	43.472
WT.Container	24.144	24.699	24.156	25.188	24.333	24.436	15.634	24.333
WT.Water	2.269	2.765	2.104	2.494	3.844	4.058	3.327	4.67
WT.DRY Soil	11.159	13.006	9.893	11.653	17.134	18.172	14.538	19.139
Water Content	20.33	21.25	21.26	21.40	22.43	22.33	22.88	24.40



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

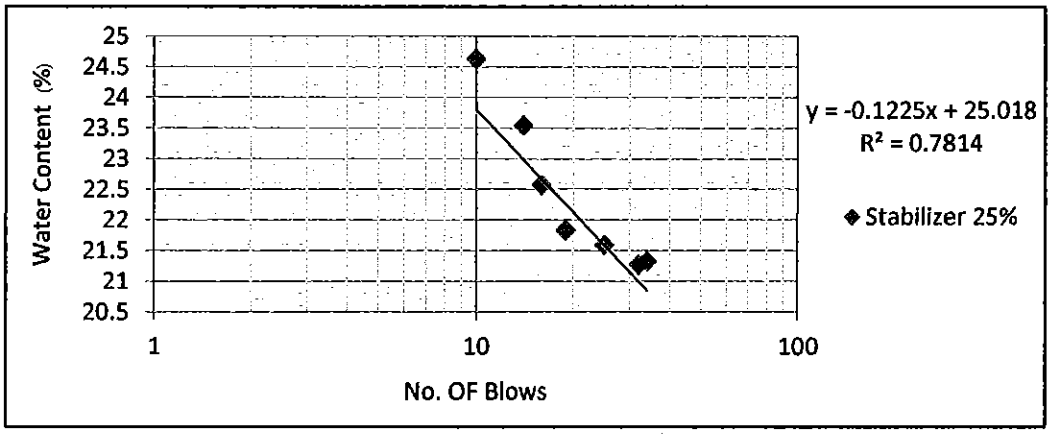
Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลของข้อมูล

การทดสอบหาขีดจำกัดความข้นเหลวของดิน Consistency Limit Test

Stabilizer 25 %

NO.	1	2	3	4	5	6	7
No. OF Blows	34	32	25	19	16	14	10
WT.WET Soil + Cont;	28.162	27.558	31.288	27.179	28.795	47.41	43.8
WT.DRY Soil + Cont;	25.804	25.597	28.396	24.958	26.233	43.028	39.828
WT.Container	14.747	16.379	15.001	14.783	14.882	24.412	23.697
WT.Water	2.358	1.961	2.892	2.221	2.562	4.382	3.972
WT.DRY Soil	11.057	9.218	13.395	10.175	11.351	18.616	16.131
Water Content	21.326	21.273	21.5905	21.831	22.570	23.540	24.620



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

การหาขนาดของดินด้วยวิธีร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน

Sieve Analysis Test

Sample Prewashed	Dry Weight of Original Sample :	702.05	grams
	Dry Weight after Prewashing :	-	grams
	Weight of Washing Loss :	-	grams

SIEVE NO.	SIEVE OPENING	WT. SIEVE	WT. SIEVE AND DRY SOIL	WT. DRY SOIL RETAINED	PERCENT RETAINED	CUMULATIVE PERCENT RETAINED	PERCENT FINER
	D (mm)	(g)	(g)	(g)	(%)	(%)	(%)
4	4.75	777.67	848.7	71.03	10.1175	10.1175	89.882
10	2	691.9	751.83	59.93	8.5364	18.6539	81.346
20	0.85	640.93	691.13	50.2	7.1505	25.8044	74.196
40	0.425	553.77	642.1	88.33	12.5817	38.3862	61.614
60	0.25	531.17	650.73	119.56	17.0301	55.4163	44.584
100	0.15	527.03	595.5	68.47	9.7529	65.1691	34.831
200	0.075	509.47	543.43	33.96	4.8373	70.0064	29.994
PAN		284.33	494.9	210.57	29.9936	100.0000	0.000
		4516.27	5218.32	702.05	100.0000		

Remake : Criteria of Well Grade as follow

1.For Sand Cu > 6 and Cc = 1-3

2.For Gravel Cu > 4 and Cc = 1-3

D_{60} = 2.45 mm

D_{30} = 0.7 mm

D_{10} = 0.175 mm

Conclusion :

%Error of this Test is 0.01%

Coefficient of Uniformity, Cu = 14

Coefficient of Curvature, Cc = 1.143

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

การทดสอบหาขนาดของดินโดยวิธีไฮโดรมิเตอร์

Hydrometer Analysis Test

Specific Gravity of Soil	2.698	Meniscus Correction	0.5
Percent Finer than No. 200	29.994	Temperature Correction	0
Dry Weight of Sample (g)	49.8	Dispersion Correction	0

Date	Time	Elapse Time (min)	151H (r)	Temp (C)	R	Rc	% Finer	H (Cm)	K	D (mm)	% F'
5/12/56	15.22	0	0								
		0.15	1.015	31	15	15.5	49.455	13.8	0.01186	0.113757	14.833
		0.3	1.014	31	14	14.5	46.264	14	0.01186	0.081019	13.876
		1	1.012	31	12	12.5	39.883	14.3	0.01186	0.044849	11.962
		2	1.011	31	11	11.5	36.692	14.5	0.01186	0.031934	11.005
	15.24	2	1.01	31	10	10.5	33.501	14.7	0.01186	0.032154	10.048
		5	1.009	31	9	9.5	30.311	14.8	0.01186	0.020405	9.091
		10	1.008	31	8	8.5	27.120	15	0.01186	0.014525	8.134
		20	1.007	31	7	7.5	23.930	15.2	0.01186	0.010339	7.177
		40	1.0065	31	6.5	7	22.334	15.35	0.01186	0.007347	6.699
		80	1.006	31	6	6.5	20.739	15.3	0.01186	0.005187	6.220
		125	1.006	31	6	6.5	20.739	15.3	0.01186	0.004149	6.220
		320	1.006	31	6	6.5	20.739	15.3	0.01186	0.002593	6.220
13/05/57	16.23	1095	1.0045	31	4.5	5	15.953	15.65	0.01186	0.001418	4.785
14/05/57	23.11	2947.8	1.004	31	4	4.5	14.358	15.6	0.01186	0.000863	4.306

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

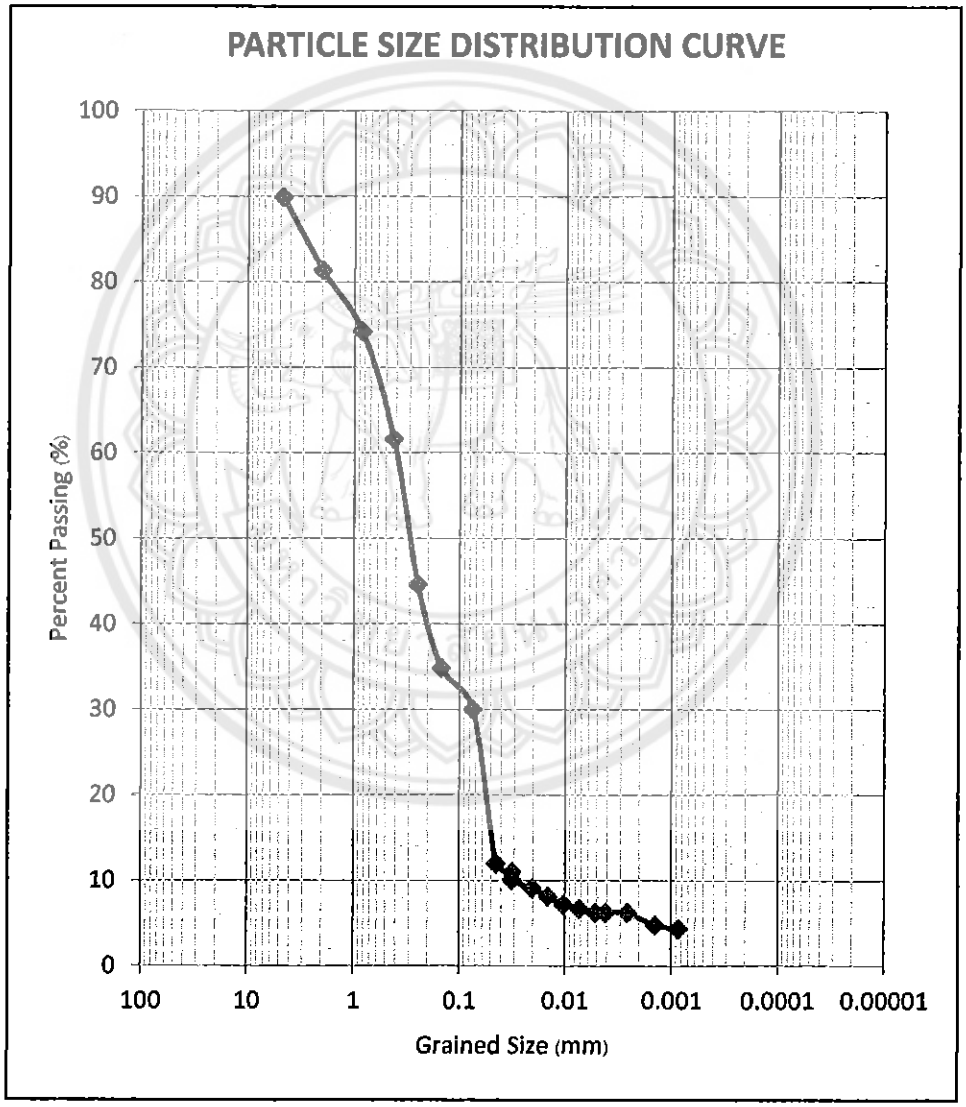
Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

กราฟแสดงขนาดคละของดินลมหอบ



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

Compaction Test

Standard Test	Blows per layer : 56	Number of Layer : 3
Weight of Hammer : 2.5 kg	Height of Mold : 15.24 cm	Diameter of Mold : 11.64 cm

Stabilizer 0 %

Water Content

Determination

Sample NO.		1	2	3	4	5	6
Wt. of can + Wet Soil	(g)	85.681	131.331	121.122	116.727	114.67	114.67
Wt. of can + Dry Soil	(g)	82.887	121.717	111.356	105.093	101.406	100.362
Wt. of Can	(g)	15.627	23.69	24.411	14.884	17.749	15.005
Wt. of Weter	(g)	2.794	9.614	9.766	11.634	13.264	14.308
Wt. of Dry Soil	(g)	67.26	98.027	86.945	90.209	83.657	85.357
Water Content	(%)	4.154	9.808	11.232	12.897	15.855	16.763

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

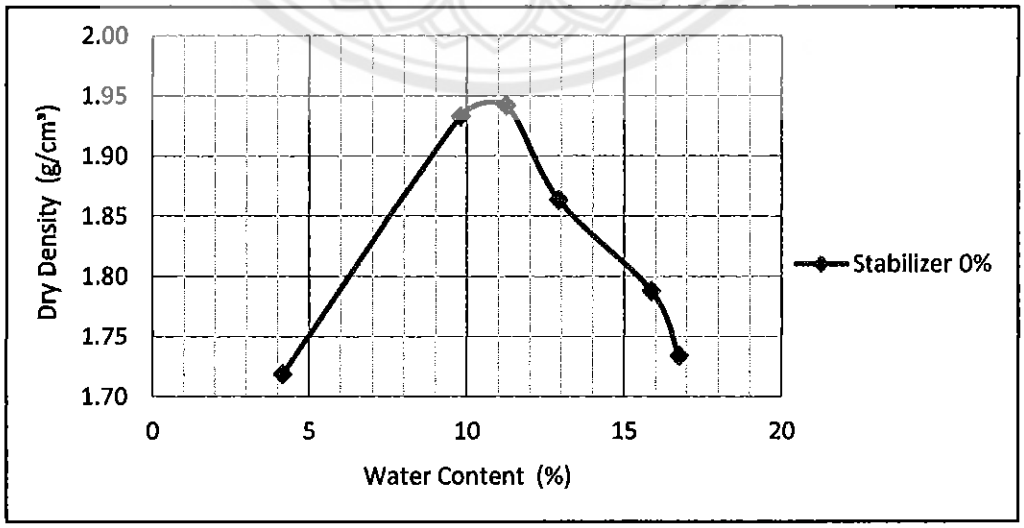
Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

Density Determination

Assume Water Content (%)	4.154	9.808	11.232	12.897	15.855	16.763
Wt. of soil + Mold (g)	7600	8310	8390	8270	8200	8100
Wt. of Mold (g)	3780	3780	3780	3780	3780	3780
Water Content (%)	4.154	9.808	11.232	12.897	15.855	16.763
Wt. of soil in Mold (g)	3820	4530	4610	4490	4420	4320
Wet Density (g/cm^3)	1.790	2.123	2.160	2.104	2.071	2.024
Dry Density (g/cm^3)	1.718	1.933	1.942	1.863	1.788	1.734

ตารางแสดงผลข้อมูล Compaction Test



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

Compaction Test

Standard Test	Blows per layer : 56	Number of Layer : 3
Weight of Hammer : 2.5 kg	Height of Mold : 15.24 cm	Diameter of Mold : 11.64 cm

Stabilizer 5 %

Water Content Determination

Sample NO.		1	2	3	4	5
Wt. of can + Wet Soil	(g)	99.797	178.332	130.002	188.119	179.165
Wt. of can + Dry Soil	(g)	94.426	164.614	119.155	168.938	158.771
Wt. of Can	(g)	24.323	24.434	24.329	25.19	24.164
Wt. of Weter	(g)	5.371	13.718	10.847	19.181	20.394
Wt. of Dry Soil	(g)	70.103	140.18	94.826	143.748	134.607
Water Content	(%)	7.662	9.786	11.439	13.343	15.151

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

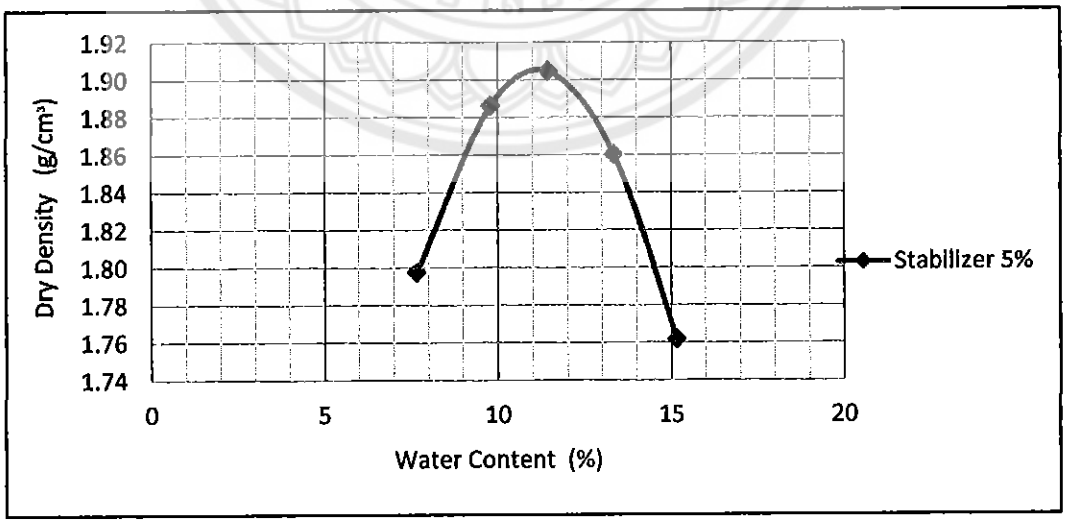
Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

Density Determination

Assume Water Content	(%)	9.082	11.493	13.215	15.535	17.144
Wt. of soil + Mold	(g)	7750	7970	8210	8150	8070
Wt. of Mold	(g)	3780	3780	3780	3780	3780
Water Content	(%)	9.082	11.493	13.215	15.535	17.144
Wt. of soil in Mold	(g)	3970	4190	4430	4370	4290
Wet Density	(g/cm^3)	1.860	1.963	2.076	2.048	2.010
Dry Density	(g/cm^3)	1.705	1.761	1.833	1.772	1.716



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

Compaction Test

Standard Test	Blows per layer : 56	Number of Layer : 3
Weight of Hammer : 2.5 kg	Height of Mold : 15.24 cm	Diameter of Mold : 11.64 cm

Stabilizer 10 %

Water Content Determination

Sample NO.		1	2	3	4	5
Wt. of can + Wet Soil	(g)	93.814	138.043	168.95	135.227	110.409
Wt. of can + Dry Soil	(g)	88.569	127.512	153.136	121.19	97.751
Wt. of Can	(g)	23.696	24.407	24.694	21.073	14.771
Wt. of Weter	(g)	5.245	10.531	15.814	14.037	12.658
Wt. of Dry Soil	(g)	64.873	103.105	128.442	100.117	82.98
Water Content	(%)	8.085	10.214	12.312	14.021	15.254

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

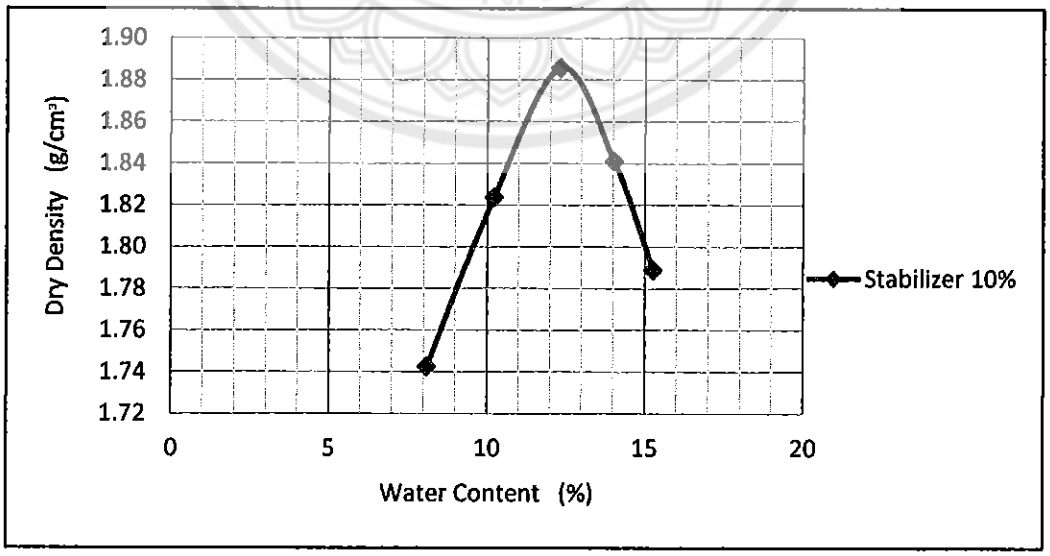
Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

Density Determination

Assume Water Content	(%)	8.085	10.214	12.312	14.021	15.254
Wt. of soil + Mold	(g)	7800	8070	8300	8260	8180
Wt. of Mold	(g)	3780	3780	3780	3780	3780
Water Content	(%)	8.085	10.214	12.312	14.021	15.254
Wt. of soil in Mold	(g)	4020	4290	4520	4480	4400
Wet Density	(g/cm^3)	1.884	2.010	2.118	2.099	2.062
Dry Density	(g/cm^3)	1.743	1.824	1.886	1.841	1.789



NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

ตารางแสดงผลข้อมูล

Compaction Test

Standard Test	Blows per layer : 56	Number of Layer : 3
Weight of Hammer : 2.5 kg	Height of Mold : 15.24 cm	Diameter of Mold : 11.64 cm

Stabilizer 15 %

Water Content Determination

Sample NO.		1	2	3	4	5
Wt. of can + Wet Soil	(g)	139.688	179.423	194.159	168.292	142.166
Wt. of can + Dry Soil	(g)	130.082	163.446	174.335	149.049	124.894
Wt. of Can	(g)	24.316	24.428	24.324	25.179	24.15
Wt. of Weter	(g)	9.606	15.977	19.824	19.243	17.272
Wt. of Dry Soil	(g)	105.766	139.018	150.011	123.87	100.744
Water Content	(%)	9.082	11.493	13.215	15.535	17.144

NARESUAN UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, GEOTECHNING ENGINEERING LABORATORY

Client: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

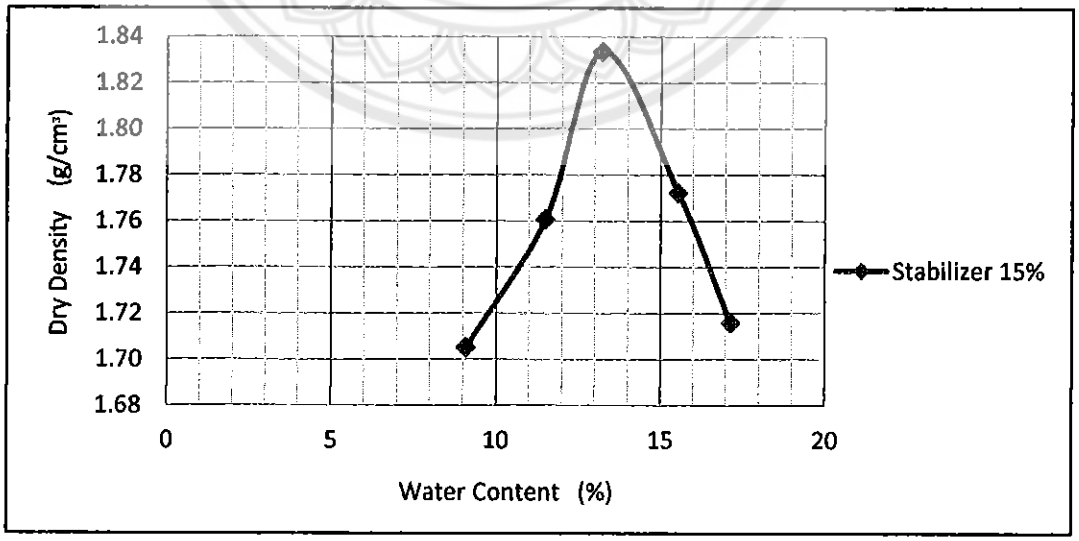
Project: การปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลมหอบด้วยฝุ่นหินอ่อนร่วมกับเถ้าชานอ้อย

Location: 99 หมู่ 9 ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก รหัสไปรษณีย์ 65000

Soil Description: ดินลมหอบ

Density Determination

Assume Water Content (%)	9.082	11.493	13.215	15.535	17.144
Wt. of soil + Mold (g)	7750	7970	8210	8150	8070
Wt. of Mold (g)	3780	3780	3780	3780	3780
Water Content (%)	9.082	11.493	13.215	15.535	17.144
Wt. of soil in Mold (g)	3970	4190	4430	4370	4290
Wet Density (g/cm^3)	1.860	1.963	2.076	2.048	2.010
Dry Density (g/cm^3)	1.705	1.761	1.833	1.772	1.716



ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นายพงศ์พันธุ์ ปวงนคร

เกิด 7 ตุลาคม 2535

ภูมิลำเนา บ้านเลขที่ 110 หมู่ที่ 5 ตำบลพระธาตุ อำเภอแม่ระมาด จังหวัดตาก 63140

ประวัติการศึกษา

- จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนแม่จะเราวิทยาคม
- กำลังศึกษาอยู่ที่มหาวิทยาลัยนเรศวร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรม โยธาชั้นปีที่ 4

ชื่อ นายกิตติธัช รอดพานิชย์

เกิด 27 พฤศจิกายน 2535

ภูมิลำเนา บ้านเลขที่ 76 หมู่ที่ 3 ต.ระหาน อำเภอบึงสามัคคี จังหวัดกำแพงเพชร 62210

ประวัติการศึกษา

- จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนขาณุวิทยา
- กำลังศึกษาอยู่ที่มหาวิทยาลัยนเรศวร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรม โยธาชั้นปีที่ 4

ชื่อ นายวีระชัย โกวิทวรพงศ์

เกิด 8 สิงหาคม 2535

ภูมิลำเนา บ้านเลขที่ 418 หมู่ 1 ตำบลสลกบาตร
อำเภอขาณุวรลักษบุรี
จังหวัดกำแพงเพชร 62210

ประวัติการศึกษา

- จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจาก
โรงเรียนขาณุวิทยา
- กำลังศึกษาอยู่ที่มหาวิทยาลัยนเรศวร
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรม
โยธาชั้นปีที่ 4