การนำเถ้าลอยที่เกิดจากการผลิตแอสฟัลท์มาใช้ในการเสริมกำลังในดินลูกรัง

The use of fly ash that generated from asphalt production to strengthen lateritic soils

พงศกร อนุรักษ์มนตรี

พรจิรา บุญอยู่

วรัญญู ศรีพิเชียรกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

THE USE OF FLY ASH THAT GENERATED FROM ASPHALT PRODUCTION TO STRENGTHEN LATERITIC SOILS

PONGSAKORN ANURUKMONTREE

PORNJIRA BOONYOO

WARANYU SRIPICHEANKUL

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ACADEMIC YEAR 2020

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ การนำเถ้าลอยที่เกิดจากการผลิตแอสฟัลท์มาใช้ในการเสริมกำลังในดินลูกรัง
THE USE OF FLY ASHES THAT GENERATED FROM ASPHALT PRODUCTION TO STRENGTHEN LATERITIC SOILS

นักศึกษา	นายพงศกร	อนุรักษ์มนตรี	รหัสนักศึกษา 60010638
	นายนางสาวพรจิรา	บุญอยู่	รหัสนักศึกษา 60010656
	นายวรัญญู	ศรีพิเชียรกุล	รหัสนักศึกษา 60010902

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ศลิษา ไชยพุทธ

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	**ลายมือชื่อ**
รศ.ดร.ศลิษา ไชยพุทธ	
รศ.ดร.ธนาดล คงสมบรูณ์	
อ.อุบะ ศิริแก้ว	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

.....

(ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร)
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา
วันที่.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การนำฝุ่นที่เกิดจากการผลิตแอสฟัลท์มาใช้ในการเสริมกำลังในดินลูกรัง

นายพงศกร อนุรักษ์มนตรี รหัสประจำตัว 60010638

นางสาวพรจิรา บุญอยู่ รหัสประจำตัว 60010656

นายวรัญญู ศรีพิเชียรกุล รหัสประจำตัว 60010902

รศ.ดร.ศลิษา ไชยพุทธ

ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาการนำเถ้าลอยซึ่งเป็นของเหลือทิ้งที่ได้จากการผลิตแอสฟัลท์มาใช้ในการเสริมกำลังในดินลูกรัง โดยคัดขนาดดินลูกรังตามมาตรฐานวัสดุชั้นรองพื้นทาง (อ้างอิงจากมาตรฐานงานทางของกรมโยธาธิการและผังเมือง พ.ศ. 2554) Type E และเถ้าลอยจากโรงงานผลิตแอสฟัลท์เอส.พี.อินเตอร์ จังหวัดนครราชสีมา สัดส่วนการแทนที่ของเถ้าลอยที่ ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 100 โดยน้ำหนักของดินลูกรัง ศึกษาคุณสมบัติด้านกายภาพ การบดอัด และกำลังรับน้ำหนักด้วยการทดสอบ California Bearing Ratio มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานชั้นรองพื้นทางและชั้นพื้นทาง จากการศึกษาพบว่าเมื่อผสมเถ้าลอยที่สัดส่วนการแทนที่ร้อยละ 30 ของดิน type E ผ่านมาตรฐานวัสดุรองพื้นทางมากที่สุดนั้นคือ ค่า Liquid Limit และ ค่า CBR แต่ค่า Plastic Index ไม่ผ่านเกณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

THE USE OF FLYING ASHES THAT GENERATED FROM ASPHALT PRODUCTION TO STRENGTHEN LATERITIC SOILS

PONGSAKORN ANURUKMONTREE Student ID. 60010638

PORNJIRA BOONYOO Student ID. 60010656

WARANYU SRIPICHEANKUL Student ID. 60010902

Assoc.Prof.Dr.Salisa Chaiyaphut

Academic Year 2020

ABSTRACT

This research aims to study the use of fly ash which is a by-product form asphalt production, to strengthen lateral soils. The grain size distributions of lateritic soil were selected as Type E base on The standard of department of public works and town & country planning, 2011. The fly ash from S.P.Inter Asphalt Plant, Nakhon Ratchasima. The fly ash replacement ratio is 0, 10, 20, 30 and 100 percent by weight of laterite soil. The physical properties, compaction properties and load properties were studied by the California Bearing Ratio test, it was found that when lateritic soil replaced by fly ash at 30 showed Liquid Limit and CBR values which passed the subbase condition but the Plastic Index didn't pass.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผศ.ดร.ศลิษา ไชยพุทธ และ ผศ.ดร.ธนาดล คงสมบูรณ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำเพื่อปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องอีกทั้งสละเวลาเพื่อให้ คำปรึกษากับคณะผู้จัดทำตลอดจนให้ความรู้ เอาใจใส่ ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการแก้ปัญหา ให้ประสบการณ์ที่ดี อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งกับงานวิจัยนี้ พวกเราผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความสะดวกในการใช้สถานที่ประกอบการศึกษาทดลอง อันเป็นประโยชน์ยิ่งในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วง ตลอดจนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองที่เพียบพร้อมต่อการใช้งาน

ขอขอบพระคุณพี่ๆปริญญาโท ที่ให้แนวคิดและ คำปรึกษาในการปฏิบัติงานเพื่อให้เข้าใจรายละเอียดขั้นตอนต่างๆมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการศึกษาเรื่องนี้

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ให้ความรักและให้กำลังใจในการสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด ทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้ได้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

พงศกร อนุรักษ์มนตรี
วรัญญู ศรีพิเชียรกุล
พรจิรา บุญอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VIII
สารบัญรูป XII
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ 2
1.3 ขอบเขตการศึกษา 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
บทที่ 2 เอกสารที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 เถ้าลอย (Fly Ash) 3
2.2 โครงสร้างทาง 3
2.2.1 วัสดุพื้นทาง (Base Material) 4
2.2.2 วัสดุรองพื้นทาง (Subbase Material) 5
2.2.3 วัสดุคัดเลือก (Selective Material) 5
2.3 ดินลูกรัง 6
2.3.1 คำจำกัดความของดินลูกรัง 6
2.3.2 คุณสมบัติทางกายภาพของดินลูกรัง 7
2.3.3 คุณสมบัติทางกายภาพของดินลูกรัง 7
2.3.4 ดินลูกรังในประเทศไทย 8
2.3.5 มาตรฐานการทดสอบวัสดุก่อสร้างทางประเภทดินลูกรังซึ่งกำหนดคุณสมบัติดังนี้ 9
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 11
3.1 บทนำ 11
3.2 เงื่อนไขการทดลอง 11
3.3 คุณสมบัติของดินในตัวอย่างการทดลอง 11
3.3.1 การทดสอบหาขนาดคละ ของดินตัวอย่าง (มาตรฐานอ้างอิง: ASTM D 422) 12
3.3.2 การทดสอบหาขีดจำกัดของอัตเตอร์เบอร์ก 14
3.3.3 การทดสอบการบดอัดดิน (มาตรฐานอ้างอิง: D 1557 – 00) 18
3.3.4 การทดสอบ ซี.บี.อาร์ (มาตรฐานอ้างอิง: ASTM D 1883-99) 22
บทที่ 4 ผลการศึกษา 28
4.1. บทนำ 28
4.2 ผลการทดสอบค่า Atterberg Limits 28
4.2.1 ผลการทดสอบค่า Atterberg Limit ของดินลูกรัง 28
4.2.1.1 ผลการทดสอบค่า Liquid Limit ของดินลูกรัง 28
4.2.1.2 ผลการทดสอบค่า Plastic Limit ของดินลูกรัง 30
4.2.2 ผลการทดสอบค่า Atterberg Limit ของเถ้าลอย 31
4.2.2.1 ผลการทดสอบค่า Liquid Limit ของเถ้าลอย 31
4.2.2.2 ผลการทดสอบค่า Plastic Limit ของเถ้าลอย 31
4.2.3 ผลการทดสอบค่า Atterberg Limit ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% 31
4.2.3.1 ผลการทดสอบค่า Liquid Limit ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% 31
4.2.3.2 ผลการทดสอบค่า Plastic Limit ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.4 ผลการทดสอบค่า Atterberg Limit ของเถ้าลอย 20% ผสมดินลูกรัง 80% 34
4.2.4.1 ผลการทดสอบค่า Liquid Limit ของเถ้าลอย 20% ผสมดินลูกรัง 80% 34
4.2.4.2 ผลการทดสอบค่า Plastic Limit ของเถ้าลอย 20% ผสมดินลูกรัง 80%..... 36
4.2.5 ผลการทดสอบค่า Atterberg Limit ของเถ้าลอย 30% ผสมดินลูกรัง 70% 36
4.2.5.1 ผลการทดสอบค่า Liquid Limit ของเถ้าลอย 30% ผสมดินลูกรัง 70% 36
4.2.5.2 ผลการทดสอบค่า Plastic Limit ของเถ้าลอย 30% ผสมกับดินลูกรัง 70%..... 38
4.3 ผลการทดสอบค่า Compaction 39
4.3.1 ผลการทดสอบค่า Compaction ของดินลูกรัง..... 39
4.3.2 ผลการทดสอบค่า Compaction ของเถ้าลอย 41
4.3.3 ผลการทดสอบค่า Compaction ของเถ้าลอย 10% ผสมกับดินลูกรัง 90%..... 45
4.3.4 ผลการทดสอบค่า Compaction ของเถ้าลอย 20% ผสมดินลูกรัง 80%..... 47
4.3.5 ผลการทดสอบค่า Compaction ของเถ้าลอย 30% ผสมดินลูกรัง 70%..... 50
4.4 ผลการทดสอบค่า California Bearing Ratio(CBR)..... 53
4.4.1 ผลการทดสอบค่า CBR ของดินลูกรัง..... 53
4.4.2 ผลการทดสอบค่า CBR ของเถ้าลอย..... 56
4.4.2.1 ผลการทดสอบค่า CBR ของเถ้าลอย (กระทุ้งชั้นละ 56 ครั้ง)..... 56
4.4.2.2 ผลการทดสอบค่า CBR ของเถ้าลอย (กระทุ้งชั้นละ 12,25 ครั้ง)..... 60
4.4.3 ผลการทดสอบค่า CBR ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% 64
4.4.3.1 ผลการทดสอบค่า CBR ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% (กระทุ้งชั้นละ 56 ครั้ง 64
4.4.3.2 ผลการทดสอบค่า CBR ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% (กระทุ้งชั้นละ 12,25 ครั้ง)..... 67
4.4.4 ผลการทดสอบค่า CBR ของเถ้าลอย 20% ผสมดินลูกรัง 80% 71
4.4.5 ผลการทดสอบค่า CBR ของเถ้าลอย 30% ผสมดินลูกรัง 70%..... 75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.5. สรุปผลการทดลอง 79
4.5.1 Atterberg's Limit 79
4.5.2 Compaction 79
4.5.3 CBR 80
4.5.4 เทียบผลการทดลองกับมาตรฐานงานทางของกรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย พ.ศ.2557 81
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา 82
5.1 บทนำ 82
5.2 สรุปผลการทดลอง 82
5.3 ข้อเสนอแนะ 82
เอกสารอ้างอิง 83
ภาคผนวก ก 84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงขนาดคละต่าง ๆ ของดินลูกรังตามมาตรฐานกรมทางหลวง....9
ตารางที่ 3.1 วิธีการบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test)....18
ตารางที่ 3.2 วิธีการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Test)....19
ตารางที่ 3.3 แสดงค่าหน่วยน้ำหนักมาตรฐานของหินคลุกบดอัดแน่นทีระยะจมต่าง ๆ....23
ตารางที่ 4.1 ข้อมูล Liquid Limit ของดินลูกรังครั้งที่ 1....28
ตารางที่ 4.2 ข้อมูล Liquid Limit ของดินลูกรังครั้งที่ 2....29
ตารางที่ 4.3 ข้อมูล Plastic Limit ของดินลูกรัง....30
ตารางที่ 4.4 ข้อมูล Plastic Limit ของเถ้าลอย....31
ตารางที่ 4.5 ข้อมูล Liquid Limit ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% ครั้งที่ 1....31
ตารางที่ 4.6 ข้อมูล Liquid Limit ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% ครั้งที่ 2....32
ตารางที่ 4.7 ข้อมูล Plastic Limit ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90%....33
ตารางที่ 4.8 ข้อมูล Liquid Limit ของเถ้าลอย 20% ผสมดินลูกรัง 80% ครั้งที่ 1....34
ตารางที่ 4.9 ข้อมูล Liquid Limit ของเถ้าลอย 20% ผสมดินลูกรัง 80% ครั้งที่ 2....35
ตารางที่ 4.10 ข้อมูล Plastic Limit ของเถ้าลอย 20% ผสมดินลูกรัง 80%....36
ตารางที่ 4.11 ข้อมูล Liquid Limit ของเถ้าลอย 30% ผสมดินลูกรัง 70% ครั้งที่ 1....36
ตารางที่ 4.12 ข้อมูล Liquid Limit ของเถ้าลอย 30% ผสมดินลูกรัง 70% ครั้งที่ 2....37
ตารางที่ 4.13 ข้อมูล Plastic Limit ของเถ้าลอย 30% ผสมดินลูกรัง 70%....38
ตารางที่ 4.14 ข้อมูลความชื้นของดินลูกรังครั้งที่ 1....39
ตารางที่ 4.15 ข้อมูล Compaction ของดินลูกรังครั้งที่ 1....39
ตารางที่ 4.16 ข้อมูลความชื้นของดินลูกรังครั้งที่ 2....40
ตารางที่ 4.17 ข้อมูล Compaction ของดินลูกรังครั้งที่ 2....40
ตารางที่ 4.18 ข้อมูลความชื้นของเถ้าลอยครั้งที่ 1....41
ตารางที่ 4.19 ข้อมูล Compaction ของเถ้าลอยครั้งที่ 1....42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.20 ข้อมูลความชื้นของเถ้าลอยครั้งที่ 2 43
ตารางที่ 4.21 ข้อมูล Compaction ของเถ้าลอยครั้งที่ 2 43
ตารางที่ 4.22 ข้อมูลความชื้นของเถ้าลอยครั้งที่ 3 44
ตารางที่ 4.23 ข้อมูล Compaction ของเถ้าลอยครั้งที่ 3 44
ตารางที่ 4.24 ข้อมูลความชื้นของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% ครั้งที่ 1 45
ตารางที่ 4.25 ข้อมูล Compaction ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% ครั้งที่ 1 45
ตารางที่ 4.26 ข้อมูลความชื้นของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% ครั้งที่ 2 46
ตารางที่ 4.27 ข้อมูล Compaction ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% ครั้งที่ 2 46
ตารางที่ 4.28 ข้อมูลความชื้นของเถ้าลอย 20% ผสมกับดินลูกรัง 80% ครั้งที่ 1 47
ตารางที่ 4.29 ข้อมูล Compaction ของเถ้าลอย 20% ผสมกับดินลูกรัง 80% ครั้งที่ 1 48
ตารางที่ 4.30 ข้อมูลความชื้นของเถ้าลอย 20% ผสมกับดินลูกรัง 80% ครั้งที่ 2 49
ตารางที่ 4.31 ข้อมูล Compaction ของเถ้าลอย 20% ผสมกับดินลูกรัง 80% ครั้งที่ 2 49
ตารางที่ 4.32 ข้อมูลความชื้นของเถ้าลอย 30% ผสมกับดินลูกรัง 70% ครั้งที่ 1 50
ตารางที่ 4.33 ข้อมูล Compaction ของเถ้าลอย 30% ผสมกับดินลูกรัง 70% ครั้งที่ 1 50
ตารางที่ 4.34 ข้อมูลความชื้นของเถ้าลอย 30% ผสมกับดินลูกรัง 70% ครั้งที่ 2 51
ตารางที่ 4.35 ข้อมูล Compaction ของเถ้าลอย 30% ผสมกับดินลูกรัง 70% ครั้งที่ 2 51
ตารางที่ 4.36 ข้อมูลความชื้นของการทดสอบ CBR ของดินลูกรัง 53
ตารางที่ 4.37 ข้อมูล Compaction ของการทดสอบ CBR ของดินลูกรัง 53
ตารางที่ 4.38 ค่าการพองตัวของการทดสอบ CBR ของดินลูกรัง 54
ตารางที่ 4.39 ค่าหลังการกดทดสอบ CBR ของดินลูกรัง 54
ตารางที่ 4.40 ค่าผลการทดสอบ CBR ของดินลูกรัง 55
ตารางที่ 4.41 ข้อมูลความชื้นของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย (กระทุ้งชั้นละ 56 ครั้ง) 56
ตารางที่ 4.42 ข้อมูล Compaction ของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย (กระทุ้งชั้นละ 56 ครั้ง) 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.43 ค่าการพองตัวของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย (กระทุ้งชั้นละ 56 ครั้ง).....57

ตารางที่ 4.44 ค่าหลังการกดทดสอบ CBR ของเถ้าลอย (กระทุ้งชั้นละ 56 ครั้ง) 58

ตารางที่ 4.45 ค่าผลการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย (กระทุ้งชั้นละ 56 ครั้ง) 59

ตารางที่ 4.46 ข้อมูลความชื้นของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย (กระทุ้งชั้นละ 12,25 ครั้ง).....60

ตารางที่ 4.47 ข้อมูล Compaction ของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย(กระทุ้งชั้นละ 12,25 ครั้ง).60

ตารางที่ 4.48 ค่าการพองตัวของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย (กระทุ้งชั้นละ 12,25 ครั้ง) 61

ตารางที่ 4.49 ค่าหลังการกดทดสอบ CBR ของเถ้าลอย (กระทุ้งชั้นละ 12,25 ครั้ง).....61

ตารางที่ 4.50 ค่าผลการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย (กระทุ้งชั้นละ 12,25,56 ครั้ง) 62

ตารางที่ 4.51 ข้อมูลความชื้นของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% (กระทุ้งชั้นละ 56 ครั้ง).....64

ตารางที่ 4.52 ข้อมูล Compaction ของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% (กระทุ้งชั้นละ 56 ครั้ง).....64

ตารางที่ 4.53 ค่าการพองตัวของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% (กระทุ้งชั้นละ 56 ครั้ง).....65

ตารางที่ 4.54 ค่าหลังการกดทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 10% ผสมดิรลูกรัง 90% (กระทุ้งชั้นละ 56 ครั้ง) 65

ตารางที่ 4.55 ค่าผลการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% (กระทุ้งชั้นละ 56 ครั้ง) 66

ตารางที่ 4.56 ข้อมูลความชื้นของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% (กระทุ้งชั้นละ 12,25 ครั้ง) 67

ตารางที่ 4.57 ข้อมูล Compaction ของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% (กระทุ้งชั้นละ 12,25 ครั้ง).....67

ตารางที่ 4.58 ค่าการพองตัวของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% (กระทุ้งชั้นละ 12,25 ครั้ง) 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.59 ค่าหลังการกดทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% (กระทุ้งชั้นละ 12,25 ครั้ง) 68

ตารางที่ 4.60 ค่าผลการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% (กระทุ้งชั้นละ 12,25 ครั้ง) 69

ตารางที่ 4.61 ข้อมูลความชื้นของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 20% ผสมกับดินลูกรัง 80% 71

ตารางที่ 4.62 ข้อมูล Compaction ของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 20% ผสมกับดินลูกรัง 80% 71

ตารางที่ 4.63 ค่าการพองตัวของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 20% ผสมกับดินลูกรัง 80% 72

ตารางที่ 4.64 ค่าหลังการกดทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 20% ผสมกับดินลูกรัง 80% 72

ตารางที่ 4.65 ค่าผลการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 20% ผสมกับดินลูกรัง 80% 73

ตารางที่ 4.66 ข้อมูลความชื้นของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 30% ผสมกับดินลูกรัง 70% 75

ตารางที่ 4.67 ข้อมูล Compaction ของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 30% ผสมกับดินลูกรัง 70% 75

ตารางที่ 4.68 ค่าการพองตัวของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 30% ผสมกับดินลูกรัง 70% 76

ตารางที่ 4.69 ค่าหลังการกดทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 30% ผสมกับดินลูกรัง 70% 76

ตารางที่ 4.70 ค่าผลการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 30% ผสมกับดินลูกรัง 70% 77

ตารางที่ 4.71 ผลการทดลอง Atterberg's Limit ของทุกเงื่อนไข 79

ตารางที่ 4.72 ผลการทดลอง Compaction ของทุกเงื่อนไข 79

ตารางที่ 4.73 ผลการทดลอง CBR ของทุกเงื่อนไข 80

ตารางที่ 4.74 เทียบผลการทดลองของทุกเงื่อนไขกับมาตราฐานงานทาง 81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

หน้า

รูป 2.1 ส่วนประกอบในชั้นโครงสร้างทางแบบยืดหยุ่น (Flexible Pavement) และแบบแกร่งตัว (Rigid Pavement) 4
รูปที่ 2.2 บริเวณที่พบดินลูกรังในประเทศไทย ที่มา : Hongnoi (1969) 8
รูป 3.1 ถังเก็บดินตามขนาด 12
รูป 3.2 ตะแกรงร่อน (sieve) 12
รูป 3.3 แยกดินออกเป็นเม็ดอิสระด้วยค้อนยาง 13
รูป 3.4 นำตัวอย่างดินมาผัดเพื่อต้องการดินที่แห้ง 13
รูป 3.5 นำตัวอย่างดินมาร่อนผ่านตะแกรง 13
รูป 3.6 อุปกรณ์สำหรับทดสอบหา Liquid Limit 14
รูป 3.7 อุปกรณ์สำหรับทดสอบหา Plastic Limit 14
รูป 3.8 นำตัวอย่างดินที่ผสมน้ำใน ถ้วยเคลือบ 16
รูป 3.9 การบากดินในจาน ด้วย Grooving Tool 16
รูป 3.10 เก็บตัวอย่างดินที่ได้ไปหา ความชื้น 16
รูป 3.11 นำตัวอย่างดินไปคลึงบนกระจก 17
รูป 3.12 เก็บตัวอย่างดินที่ได้ไปหาความชื้น 17
รูป 3.13 อุปกรณ์สำหรับทดสอบการบดอัดดิน 19
รูป 3.14 การใช้ค้อนบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน 21
รูป 3.15 เก็บตัวอย่างดินที่ได้ไปหาความชื้น 21
รูป 3.16 สามขาวัดการบวมตัว (Swell Tripod) 23
รูป 3.17 โมล ซี บี อาร์ (C.B.R. Mold) 23
รูป 3.18 แผนน้ำหนัก (Surcharge Weight) 23
รูป 3.19 นำตัวอย่างดินผสมน้ำ คลุกให้เข้ากัน 25
รูป 3.20 ปาดตัวอย่างดินให้เรียบ เสมอขอบ C.B.R. Mold 25
รูป 3.21 ทำการแช่ตัวอย่างดินเป็น เวลา 4 วัน 25
รูป 3.22 วางสามขาวัดการบวม 25
รูป 3.23 นำ C.B.R. Mold 26
รูป 3.24 นำไปวางในเครื่องทดสอบแรงกด (Loading Machine) มาคว่ำปล่อยทิ้งไว้ 30 นาที 26
รูปที่ 4.1 กราฟ Liquid Limit ของดินลูกรังครั้งที่ 1 29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.2 กราฟ Liquid Limit ของดินลูกรังครั้งที่ 2 30
รูปที่ 4.3 กราฟ Liquid Limit ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% ครั้งที่ 1 32
รูปที่ 4.4 กราฟ Liquid Limit ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% ครั้งที่ 2 33
รูปที่ 4.5 กราฟ Liquid Limit ของเถ้าลอย 20% ผสมดินลูกรัง 80% ครั้งที่ 1 34
รูปที่ 4.6 กราฟ Liquid Limit ของเถ้าลอย 20% ผสมดินลูกรัง 80% ครั้งที่ 2 35
รูปที่ 4.7 กราฟ Liquid Limit ของเถ้าลอย 30% ผสมดินลูกรัง 70% ครั้งที่ 1 37
รูปที่ 4.8 กราฟ Liquid Limit ของเถ้าลอย 30% ผสมดินลูกรัง 70% ครั้งที่ 2 38
รูปที่ 4.9 กราฟ Compaction ของดินลูกรังครั้งที่ 1 40
รูปที่ 4.10 กราฟ Compaction ของดินลูกรังครั้งที่ 2 41
รูปที่ 4.11 กราฟ Compaction ของเถ้าลอยครั้งที่ 1 42
รูปที่ 4.12 กราฟ Compaction ของเถ้าลอยครั้งที่ 2 43
รูปที่ 4.13 กราฟ Compaction ของเถ้าลอยครั้งที่ 3 44
รูปที่ 4.14 กราฟ Compaction ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% ครั้งที่ 1 46
รูปที่ 4.15 กราฟ Compaction ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% ครั้งที่ 2 47
รูปที่ 4.16 กราฟ Compaction ของเถ้าลอย 20% ผสมกับดินลูกรัง 80% ครั้งที่ 1 48
รูปที่ 4.17 กราฟ Compaction ของเถ้าลอย 20% ผสมกับดินลูกรัง 80% ครั้งที่ 2 49
รูปที่ 4.18 กราฟ Compaction ของเถ้าลอย 30% ผสมกับดินลูกรัง 70% ครั้งที่ 1 51
รูปที่ 4.19 กราฟ Compaction ของเถ้าลอย 30% ผสมกับดินลูกรัง 70% ครั้งที่ 2 52
รูปที่ 4.20 กราฟ Compaction ของเถ้าลอยผสมดินลูกรังทั้งสามกรณี 52
รูปที่ 4.21 กราฟผลการกดทดสอบ CBR ของดินลูกรัง 55
รูปที่ 4.22 กราฟ %CBR ของดินลูกรัง 56
รูปที่ 4.23 กราฟผลการกดทดสอบ CBR ของเถ้าลอย (กระทุ้งชั้นละ 56 ครั้ง) 59
รูปที่ 4.24 กราฟผลการกดทดสอบ CBR ของเถ้าลอย (กระทุ้งชั้นละ 12,25 ครั้ง) 62
รูปที่ 4.25 กราฟ %CBR ของเถ้าลอย (กระทุ้งชั้นละ 12,25,56 ครั้ง) 63
รูปที่ 4.26 กราฟผลการกดทดสอบ CBR เถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% (กระทุ้งชั้นละ 56 ครั้ง) 66
รูปที่ 4.27 กราฟผลการกดทดสอบ CBR เถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% (กระทุ้งชั้นละ 12,25 ครั้ง) 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.28 กราฟ %CBR ของเถ้าลอย 10% ผสมกับดินลูกรัง 90% (กระทุ้งชั้นละ 12,25,56 ครั้ง) 70
รูปที่ 4.29 กราฟผลการกดทดสอบ CBR เถ้าลอย 20% ผสมกับดินลูกรัง 80%..... 73
รูปที่ 4.30 กราฟ %CBR ของเถ้าลอย 20% ผสมกับดินลูกรัง 80%..... 74
รูปที่ 4.31 กราฟผลการกดทดสอบ CBR เถ้าลอย 30% ผสมกับดินลูกรัง 70%..... 77
รูปที่ 4.32 กราฟ %CBR ของเถ้าลอย 30% ผสมกับดินลูกรัง 70%..... 78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กากของเสียและวัสดุเหลือทิ้งที่ได้จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานผลิตแอสฟัลต์ซึ่งนับวันยิ่งมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นตามการพัฒนาของประเทศ ก่อให้เกิดปัญหาต่อระบบจัดเก็บและกำจัดกากของเสียและวัสดุเหลือทิ้งเหล่านั้น ในโรงงานผลิตแอสฟัลต์จะมีเถ้าฝุ่นแยกเป็น 2 ส่วนคือ เถ้าก้นเตา (Bottom Ash) เป็นเถ้าฝุ่นที่หนักกว่าจะจมลงที่ก้นถังเก็บ กับ เถ้าลอย (Fly Ash) เป็นเถ้าฝุ่นที่เบา ลอยฟุ้งในอากาศได้ ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้ง เถ้าเหล่านี้จะถูกนำไปทิ้งโดยการฝังกลบ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้มีค่าใช้จ่ายสูงขึ้น แต่ในปัจจุบันได้มีระบบขนส่งเกิดขึ้นมากมายในโลกของเรา ถ้าพูดถึงระบบขนส่งที่มีผลต่อเศรษฐกิจมากสุดคือระบบขนส่งทางบก ดังนั้นโครงสร้างถนนจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ในการก่อสร้างหรือซ่อมบำรุงถนนต้องใช้วัสดุธรรมชาติในการก่อสร้าง เช่น หิน ทราย หรือดินลูกรัง ในโครงสร้างชั้นทางเป็นจำนวนมาก ซึ่งวัสดุเหล่านี้มีราคาแพงและหายาก ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาการแทนที่วัสดุในโครงสร้างชั้นทางด้วยเถ้าลอยที่ได้จากโรงงานผลิตแอสฟัลต์ ซึ่งเป็นแนวทางในการนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ และลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดวัสดุเหลือทิ้ง

ที่ผ่านมายังไม่มีการนำเถ้าลอยมาใช้แทนที่วัสดุในโครงสร้างชั้นทาง ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงต้องการศึกษาการใช้เถ้าลอยมาเป็นสารผสมเพิ่มในการแทนที่หรือปรับปรุงคุณภาพดินลูกรัง เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างชั้นรองพื้นทาง (Subbase) หรือชั้นพื้นทาง (Base) สำหรับงานวิจัยนี้ใช้เถ้าลอยในการแทนที่ดินลูกรัง Type E ตามมาตรฐานวัสดุชั้นรองพื้นทาง (อ้างอิงจากมาตรฐานงานทางของกรมโยธาธิการและผังเมือง พ.ศ. 2554) เพื่อเป็นวัสดุชั้นรองพื้นทาง หรือชั้นพื้นทาง โดยพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพ (Atterberg Limits) คุณสมบัติการบดอัด (Compaction Test) และคุณสมบัติด้านกำลังรับน้ำหนักด้วยการทดสอบ California Bearing Ratio (CBR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาเถ้าลอยที่ได้จาการผลิตแอสฟัลต์มาเสริมความแข็งแรงของดินลูกรัง เทียบกับมาตรฐานงานทางกรมโยธาธิการและผังเมือง พ.ศ.2554

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1) ใช้ดินลูกรังเกรด E ในการทดสอบ
2) เถ้าลอยผ่านตะแกรงเบอร์ 40
3) ใช้การทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ทราบคุณสมบัติพื้นฐานของเถ้าลอย
2) ทราบถึงอิทธิพลของสัดส่วนเถ้าลอยกับดินลูกรัง ที่มีคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม
3) ทราบแนวทางในการนำวัสดุที่มีส่วนผสมระหว่างดินลูกรังกับเถ้าลอยไปใช้ในงานโครงสร้างถนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2
เอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 เถ้าลอย (Fly Ash)

เถ้าลอย คือ ขี้เถ้าที่หลงเหลือจากกระบวนการเผาไหม้ของถ่านหินหรือลิกไนต์ มีขนาดเล็กละเอียดมาก มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน จนถึงประมาณ 200 ไมครอน มีสีเทาหรือน้ำตาล (แล้วแต่แหล่งที่มา) ประกอบด้วยสารซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) และแคลเซียมออกไซด์ (CaO) โดยจะปลิวปนไปกับก๊าซร้อนออกจากปล่องควันของโรงงานที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งถ้ามีปริมาณเถ้าลอยมากในชั้นบรรยากาศ ก็อาจก่อให้เกิดปัญหามลภาวะของอากาศได้ จึงได้มีการศึกษาวิจัยโดยการติดตั้งเครื่องดักจับฝุ่นไฟฟ้าสถิต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแยกก๊าซร้อนและเถ้าลอยออกจากกัน เพื่อนำเอาเถ้าลอยกลับมาใช้ใหม่ โดยงานวิจัยนี้ใช้เถ้าลอยที่นำมาจากโรงงานผลิตแอสฟัลท์ บริษัท เอส.พี.อินเตอร์ ตำบลโคกกรวด อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

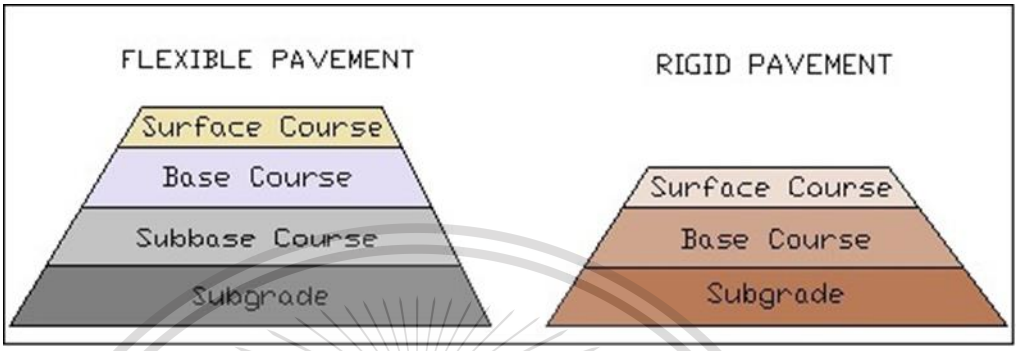
2.2 โครงสร้างทาง

โครงสร้างทางโครงสร้างชั้นทางสามารถแบ่งได้ 3 ประเภทหลักคือโครงสร้างชั้นทางแบบหยุ่นตัว (Flexible Pavement) โครงสร้างชั้นทางแบบแกร่งตัว (Rigid Pavement) และโครงสร้างชั้นทางแบบผสม (Composite Pavement) (วารสารทางหลวง, 2555)

1. โครงสร้างชั้นทางแบบหยุ่นตัว (Flexible Pavement) ซึ่งมักเรียกทั่วไปว่าถนนลาดยาง ตามปกติโครงสร้างของชั้นทางแบบหยุ่นตัวประกอบด้วยผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต (Surface Course) พื้นทาง (Base) รองพื้นทาง (Sub Base) ชั้นวัสดุคัดเลือก (ถ้ามี) วัสดุถมคันทางหรือดินเดิม (Subgrade) ดังรูป โครงสร้างชั้นทางแบบหยุ่นตัวถูกออกแบบให้มีลักษณะเป็นชั้น ๆ หน่วยแรงในแนวดิ่งที่เกิดจากน้ำหนักรถจะกระจายสู่ชั้นโครงสร้างทางตามความลึกซึ่งจะมีความเข้มข้นสูงบริเวณที่ใกล้กับผิวจราจรและจะลดลงตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้นดังนั้นผู้ออกแบบจึงมักใช้วัสดุที่มีคุณภาพดีที่สุดไว้ใกล้กับผิวจราจรและวัสดุที่มีคุณภาพรองลงมาใช้ในชั้นลึกลงไป
2. โครงสร้างชั้นทางแบบแกร่งตัว (Rigid Pavement) หรือโครงสร้างถนนคอนกรีตโครงสร้างของชั้นทางแบบแกร่งตัวนี้ประกอบด้วยผิวทางคอนกรีต (Surface Course) พื้นทาง (Base) วัสดุถมคันทางหรือดินเดิม (Subgrade) ดังรูป ถนนคอนกรีตทั่วไปของกรมทางหลวงจะออกแบบตามวิธีของ Portland Cement Association หรือ PCA (1984) โดยกำหนดอายุการออกแบบไว้ที่ 20 ปีทั้งนี้ถนนคอนกรีตอาจมีอายุยืนยาวถึง 40 ปีถ้ามีการบำรุงรักษาเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

อย่างดีหรืออาจมีอายุการใช้งานสั้นกว่า 20 ปีก็ได้หากมีการแบกรับน้ำหนักบรรทุกเกินว่าที่ได้คาดการณ์ไว้



รูป 2.1 ส่วนประกอบในชั้นโครงสร้างทางแบบยืดหยุ่น (Flexible Pavement) และแบบแกร่งตัว (Rigid Pavement)

(ที่มา; http://rccandconcrete.blogspot.com/2014/02/road-structure.html)

3. โครงสร้างขั้นทางแบบผสม (Composite Pavement) หมายถึงโครงสร้างขึ้นทางที่มีรูปแบบการผสมผสานกันระหว่างโครงสร้างชั้นทางแบบหยุ่นตัวกับโครงสร้างชั้นทางแบบแกร่งตัว โดยทั่วไปมักใช้เป็นรูปแบบโครงสร้างชั้นทางสำหรับงานบูรณะและปรับปรุงถนน (Pavement Rehabilitation) อาทิการเสริมผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตบนถนนคอนกรีต (Overlay) การใช้แผ่นคอนกรีตปิดทับถนนลาดยาง (Whitetopping) เป็นต้นเพื่อช่วยยืดอายุการใช้งานและเพิ่มความแข็งแรงทนทาน

2.2.1 วัสดุพื้นทาง (Base Material) วัสดุสำหรับพื้นทางต้องมีคุณภาพดีเพราะจะต้องรับหน่วยแรงสูงพื้นทางมีหลายชนิดตามชนิดของวัสดุที่ใช้ ได้แก่ พื้นทางหินคลุกประกอบด้วยหินโม่ขนาดใหญ่สุดตั้งแต่ 15 นิ้วลดหลั่นลงมาถึงหินฝุ่นคละรวมกัน (Crushed Rock Soil Aggregate Type) เป็นวัสดุที่มีเนื้อแข็งมีขนาดคละกันอย่างสม่ำเสมอ (Well Graded) โดยจะเกลี่ยแต่งและบดอัดให้ถูกต้องตามข้อกำหนดพื้นทาง กรวดโม่ซึ่งประกอบด้วยวัสดุกรวดโม่มวลรวม (Crushed Gravel Soil Aggregate Type) เป็นวัสดุที่มีเนื้อแข็งมีขนาดคละกันอย่างสม่ำเสมอ (Well Graded) โดยจะเกลี่ยแต่'และบดอัดให้ถูกต้องตามข้อกำหนดพื้นทาง Hot-rolled asphalt และพื้นทาง Soil Stabilization สำหรับประเทศไทยนิยมใช้หินย่อยหรือพื้นทางหินคลุก

2.2.2 วัสดุรองพื้นทาง (Subbase Material) วัสดุที่นิยมใช้สำหรับรองพื้นทางคือวัสดุรองทางวัสดุมวลรวมประกอบด้วยวัสดุมวลรวม (Soil Aggregate) ซึ่งต้องเป็นวัสดุที่มีเม็ดแข็งทนทานมีส่วนหยาบผสมกับส่วนละเอียดที่มีคุณสมบัติเป็นวัสดุเนื้อประสานที่ดีโดยจะเกลี่ยแต่งและบดอัดให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ถูกต้องตามข้อกำหนด ส่วนใหญ่เป็นดินลูกรังหรือใช้รองพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Subbase) ประกอบด้วย การใช้ดินผสมกับปูนซีเมนต์คลุกกันโดยบดอัดตามข้อกำหนด กรณีที่แหล่งลูกรังอยู่ไกลจากหน้างานก่อสร้างก็ได้

2.2.3 วัสดุคัดเลือก (Selective Material) ในกรณีที่คุณภาพของดินเดิมต่ำมาก (CBR ต่ำกว่า 2%) อาจจะหาวัสดุคัดเลือกจากแหล่งอื่นมาใส่เพิ่มอีกชั้นหนึ่ง เพื่อทำให้ดินเดิมมั่นคงขึ้นและแข็งแรงพอที่เครื่องจักรจะเข้าไปทำงานบดอัดวัสดุได้ วัสดุที่เหมาะสำหรับเป็นวัดสุคัดเลือกคือหินผุ ซอยอกริเกท หรือทราย แบ่งออกเป็น

1. วัสดุตัดเลือก ก. (Selective Material A.) เป็นวัสดุมวลรวม (Soil Aggregate) ใช้ก่อสร้างบนชั้นวัสดุคัดเลือก ข. (Selective Material B.) โดยจะเกลี่ยแต่งและบดอัดตามข้อกำหนด

2. วัสดุคัดเลือก ข. (Selective Material B.) เป็นวัสดุมวลรวมใช้ก่อสร้างไปบนชั้นดินคันทาง (Subgrade)

วัสดุคัดเลือกมักใช้ถมคันทางหรือปรับปรุงขั้นดินเดิม ใช้วัสดุที่ดีกว่าดินเดิมเช่นดินลูกรังหินผุที่มีค่า CBR ในระดับ 6-10%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3 ดินลูกรัง

ดินลูกรังถือเป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญในงานวิศวกรรม เช่น เป็นชั้นทางวัสดุงานทาง เป็นดินถมในคันทางดินถม ในเขื่อน และ ในงานฐานราก เนื่องจากมีราคาถูก หาได้ง่ายในธรรมชาติ รวมถึงดินลูกรังมีคุณสมบัติการบดอัดได้ดี แต่มีศักยภาพในการเกษตรต่ำ ดังนั้นงานวิจัยจึงได้เลือกดินลูกรังมาศึกษาเพื่อพัฒนาวัสดุชั้นทางในงานทาง

2.3.1 คำจำกัดความของดินลูกรัง

คำจำกัดความตามคุณสมบัติการแข็งตัว Buchanan (1807)

เป็นคนแรกที่เริ่มใช้คำว่า “Laterite” ในการอธิบายดินที่มีสีเหลืองปนน้ำตาลเนื่องจากมีแร่เหล็กเป็นส่วนประกอบในอัตราส่วนที่สูง มีลักษณะเป็นรูพรุนไม่มีการแบ่งตัวเป็นชั้นๆและมีโครงสร้างเป็นแบบ Vesicular ซึ่งพบในอินเดีย ดินลูกรังเกิดจากการผุกร่อนของผลึกหินที่เกิดจากภูเขาไฟ โดยดินที่ขุดพบใหม่ๆ จะอ่อนตัว แต่จะแข็งตัวอย่างรวดเร็วเมื่อสัมผัสกับอากาศ ดินนี้จะถูกนำมาใช้แทนก้อนอิฐในการก่อสร้างอาคาร

คำจำกัดความตามคุณสมบัติด้านวิศวกรรม KRINITZSKY และคณะ (1976) โดยให้ความหมายดังนี้

1. Laterite ดินที่มีสีแดงเข้ม-อ่อน มีอัตราการสลายตัวในธรรมชาติสูง ทำให้มีปริมาณเหล็กออกไซด์และอลูมิเนียมออกไซด์สะสมอยู่มาก และอาจมีควอทซ์และคาโอลิไนท์อยู่ด้วย
2. Laterite Soil เป็นดินสีแดงที่ประกอบด้วย เหล็กออกไซด์และอลูมิเนียมออกไซด์สะสมอยู่เป็นจำนวนมาก สามารถแข็งตัวได้เมื่อกระทบกับอากาศ
3. Laterite Rock เป็น Laterite ที่แข็งตัวเต็มที่ มีความเหนียวและแข็ง
4. Laterite Gravel ประกอบด้วยวัสดุเม็ดหยาบ (Coarse-grained) ซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆมีความแข็งแตกต่างกัน แต่บางครั้งอาจยึดเกาะกันเป็นมวลก้อนใหญ่ หรืออาจจะร่วนจนกลายเป็น sity and / or Clayey Lateritic Soil

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.2 คุณสมบัติทางกายภาพของดินลูกรัง

ส่วนใหญ่ดินลูกรังมักจะมีสีแดง แต่จะเข้มหรืออ่อนนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำเป็นส่วนประกอบหลักของออกไซด์เหล็ก อลูมิเนียม โดยสีของดินนั้นขึ้นอยู่กับแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบดังนี้

1. แร่เหล็ก ดินจะมีสีแดง สีส้ม สีเหลือง สีน้ำตาล สีน้ำเงิน และสีเขียว
2. แร่แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม อลูมิเนียม และโปแตสเซียม ดินจะมีสีขาว
3. แร่แมงกานิส ดินจะมีสีดำและสีน้ำตาล
4. สารอินทรีย์ ดินจะมีสีดำ สีน้ำตาลและสีเทา
5. สารอินทรีย์ Newill (1959) กล่าวว่าดินลูกรังที่มีเม็ดละเอียดจะมีปริมาณสารอินทรีย์มากกว่าดินลูกรังที่มีเม็ดหยาบ โดยทั่วไปดินลูกรังมีปริมาณสารอินทรีย์ที่ผิวดิน น้อยกว่าร้อยละ 1.0
6. ความเป็นกรด-ด่าง เปลี่ยนแปลงตามความลึก มีค่าอยู่ในช่วง 4 – 8
7. การกระจายของเม็ดดิน ดินลูกรังส่วนใหญ่มีการกระจายขนาดคละได้ดี
8. ความถ่วงจำเพาะ อยู่ระหว่าง 2.67 – 3.46 หากมีปริมาณของเหล็กออกไซด์มาก จะมีความถ่วงจำเพาะสูง
9. สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนโพรง ความชื้น และความหนาแน่นแห้ง
10. การอดอัด Quinones (1963) ขึ้นอยู่กับการกระจายขนาดของเม็ดดินและความหนาแน่นแห้งสูงสุด

2.3.3 คุณสมบัติทางกายภาพของดินลูกรัง

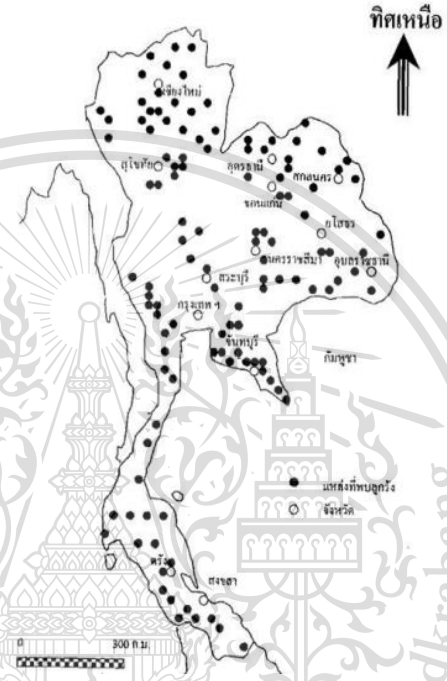
เนื่องจากกระบวนการ Laterization ทำให้ดินลูกรังที่เกิดขึ้นมีลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน จึงมีวิธีจำแนกที่ใช้ในปัจจุบันดังนี้

1. ระบบ AASHTO หรือ Highway Research Board จำแนกดินออกเป็นกลุ่มใหญ่ 7 กลุ่ม คือ A-1 ถึง A-7 และในกลุ่มใหญ่ยังแบ่งย่อยๆเป็น A-1-a, A-1-b เป็นต้น ซึ่งเป็นการจำแนกเพื่อนำไปใช้ในงานทาง
2. ระบบ Unified Soil Classifiction จำแนกดินเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเม็ดหยาบ ได้แก่ กรวดและ ทราย และกลุ่มเม็ดละเอียด ได้แก่ ดินตะกอน และดินเหนียว อีกทั้งแบ่งย่อยเป็นขนาดคละดี และขนาดคละไม่ดี ซึ่งเป็นการจำแนกเพื่อนำไปใช้ในงานวิศวกรรมธรณีเทคนิค เช่น สนามบิน อาคาร เป็นต้น
3. ระบบ Federal Aviation Administration (FAA) จำแนกดินออกเป็น 13 กลุ่ม คือ E-1 ถึง E-13 ซึ่งเป็นการจำแนกเพื่อนำไปใช้ในงานสนามบิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.4 ดินลูกรังในประเทศไทย

ประเทศไทยเหมาะกับการเกิดดินลูกรังอย่างยิ่งและพบได้มาก ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออกและภาคเหนือ โดยต้นกำเนิดส่วนใหญ่เป็นหินดินดาน หินทราย และหินบะซอลท์ บริเวณที่พบดังภาพต่อไปนี้



รูปที่ 2.2 บริเวณที่พบดินลูกรังในประเทศไทย ที่มา : Hongnoi (1969)

Hongnoi (1969) ได้แบ่งดินลูกรังที่พบในประเทศไทย ออกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะการเกิด คือ

1. ดินลูกรังปฐมภูมิ (Primary Lateritic Soils) เป็นดินลูกรังที่เกิดเหนือหินต้นกำเนิด มีเหล็กเป็นส่วนประกอบอยู่มาก การเกิดดินลูกรังประเภทนี้ในประเทศไทยมักจะเกิดขึ้นเป็นชั้นๆ จาก ผิวดินจนถึงหินชั้นต้นกำเนิด โดยทั่วไปขีดจำกัดอัตเตอร์เบอร์กจะต่ำที่ชั้นดินลูกรัง และเพิ่มขึ้นตามความลึก
2. ดินลูกรังทุติยภูมิ (Secondary Lateritic Soils) เป็นดินลูกรังที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนย้ายมาจากแหล่งหินต้นกำเนิดอื่น มีลักษณะไม่แบ่งเป็นหลายๆชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.5 มาตรฐานการทดสอบวัสดุก่อสร้างทางประเภทดินลูกรังซึ่งกำหนดคุณสมบัติดังนี้

1. มีค่าความสึกหรอ เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองหาค่าความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion ไม่เกินร้อยละ 60
2. ปราศจากก้อนดินเหนียว (Clay Lump) Shale รากไม้หรือวัชพืชอื่นๆ
3. ขนาดวัสดุใหญ่สุดไม่โตกว่า 5 เซนติเมตร
4. ค่าขีดเหลว (Liquid Limit) ไม่มากกว่าร้อยละ 35 ตามมาตรฐานการทดสอบเพื่อหาค่าขีดเหลว (Liquid Limit : L.L.)
5. ค่าดัชนีความเป็นพลาสติก (Plasticity Index) ไม่มากกว่าร้อยละ 11 ตามมาตรฐานการ ทดสอบเพื่อหาค่าขีดพลาสติก (Plastic Limit : P.L.)
6. มีขนาดคละที่ดี และเมื่อทดลองตามวิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบ ล้างต้องมีขนาดหนึ่งตามตารางที่ 2.3.1

Sieve size	Percent passing by weight (%)				
	Grade A	Grade B	Grade C	Grade D	Grade E
2" (50.00 mm)	100	100	-	-	-
1" (25.00 mm)	-	-	100	100	100
3/8" (9.50 mm)	30-65	40-75	50-85	60-100	-
No.10 (2.00 mm)	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100
No.40 (0.425 mm)	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50
No.200 (0.075 mm)	2-8	5-20	5-15	5-20	6-20

ตารางที่ 2.1 แสดงขนาดคละต่างๆของดินลูกรังตามมาตรฐานกรมทางหลวง

(กรมทางหลวง, 2532)

7. ค่า ซี.บี.อาร์. จากห้องทดลอง (Lab C.B.R.) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ที่ร้อยละ 95 ของค่า ความแน่นแห้งสูงสุดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Density) ตามมาตรฐาน การทดสอบเพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์. หรือไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 Colonna P.[a], Berloco N.[a], Ranieri V.[a]*, Shuler S.T.[b] (2012)

Colonna P.[a], Berloco N.[a], Ranieri V.[a]*, Shuler S.T.[b] (2012) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการนำเถ้าลอยที่ได้จากโรงงานเผาถ่าน มาประยุกต์ในงานชั้นรองพื้นทางโดยการนำเถ้าลอยมาแทนทรายบางส่วน งานวิจัยพิจารณาเถ้าลอยที่ 15 – 30% และได้มีการทดสอบอันได้แก่ Marshell stability, Marshall rigidity, Cantabro test, Void content เป็นต้น โดยงานวิจัยนี้สรุปได้ว่า เถ้าลอยที่ 15%ทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด และเถ้าลอยที่นำมาศึกษาไม่ควรใช้ในงานผิวทางเนื่องจากมีค่า LA 55%

2.4.2 K. L. Ravisankar[1], S.K. Gowtham[2], T. R. Raghavan[3] (2015)

K. L. Ravisankar[1], S.K. Gowtham[2], T. R. Raghavan[3] (2015) ได้ศึกษาเกี่ยวกับสัดส่วนของเถ้าลอยกับซีเมนต์ที่ทำให้เกิดความแข็งแรงมากที่สุด ได้มีการทดสอบค่าต่างๆ ได้แก่ Compressive strength, Flexural strength โดยได้กำหนดขอบเขตสัดส่วนระหว่างเถ้าลอยกับซีเมนต์ที่ศึกษาดังนี้ 25:75, 27.5:72.5, 30:70, 32.5:67.5, 35:65 และ 37.5:62.5 งานวิจัยนี้สรุปได้ว่า 30:70 เป็นสัดส่วนที่ดีที่สุดที่ทำให้ Compressive strength เพิ่มขึ้น 15.75% และ Flexural strength เพิ่มขึ้น 2.13%

2.4.3 Aonthicha Chansing[1] , Veeraya Chimaoy[2] (2020)

อรทิฆา จันทร์สิงห์[1] และ วีรยา ฉิมอ้อย[2] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการนำเถ้าก้นเตาที่เป็นผลพลอยได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้า มาใช้ในการแทนที่ดินลูกรังสำหรับชั้นรองพื้นทางหรือชั้นพื้นทาง โดยใช้สัดส่วนการแทนที่เถ้าก้นเตาของ Type B ที่ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 และของ Type D ที่ร้อยละ 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 พบว่าเมื่อผสมเถ้าก้นเตาที่สัดส่วนการแทนที่ร้อยละ 30 ของดิน Type B และที่อัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 50 ของดิน Type D จะให้ค่า CBR สูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 บทนำ

ในปัจจุบัน ระบบขนส่งทางบกนั้นมีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจ ดังนั้นโครงสร้างถนนจึงสำคัญไม่ต่างกัน ในการสร้างถนนนั้นจำเป็นต้องใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติตรงตามมาตรฐาน พบว่าบางครั้งลูกรังในบริเวณสถานที่ก่อสร้างไม่เป็นไปตามมาตรฐาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงปรับปรุงให้ลูกรังมีคุณสมบัติที่เป็นไปตามมาตรฐาน

เถ้าลอยที่เกิดจากการผลิตแอสฟัลท์ (Fly Ash) นั้นไม่ได้มีการนำไปใช้ประโยชน์ จึงทำให้เถ้าลอยถูกทิ้งและมองว่าเป็นขยะ หากสามารถนำมาประยุกต์กับงานทางได้จะทำให้ลดต้นทุนการก่อสร้างไปได้ส่วนหนึ่ง รวมทั้งการนำเถ้าลอยที่ถือว่าเป็นขยะมาใช้ประโยชน์ได้อย่างสูงสุด

ในการศึกษาดังต่อไปนี้ เป็นการศึกษาคุณสมบัติของเถ้าลอยที่เกิดจากการผลิตแอสฟัลท์ กำลังรับแรงของเถ้าลอย กำลังรับแรงของดินลูกรัง และกำลังรับแรงของดินลูกรังที่ได้ผสมเถ้าลอยในสัดส่วนต่างๆ เพื่อศึกษาสัดส่วนของเถ้าลอยที่มีผลต่อกำลังรับแรงของดินลูกรัง

3.2 เงื่อนไขการทดลอง

ตัวอย่างดินในการทดลองเพื่อหาคุณสมบัติต่างๆ แบ่งได้ 5 ตัวอย่าง ดังนี้

1) ดินลูกรังเกรด E 100%
2) ดินลูกรังเกรด E 90% + Fly Ash 10%
3) ดินลูกรังเกรด E 80% + Fly Ash 20%
4) ดินลูกรังเกรด E 70% + Fly Ash 30%
5) Fly Ash 100%

โดยดินลูกรังเกรด E มีเปอร์เซ็นผ่านของแต่ละตะแกรง ดังนี้ No.10 (74%), No.40 (20%), No.200 (6%)

3.3 คุณสมบัติของดินในตัวอย่างการทดลอง

ศึกษากำลังรับแรงของเถ้าลอยและดินลูกรัง ต้องมีการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติของเถ้าลอยและดินตัวอย่าง ได้มีการทดสอบหาขีดจำกัดของอัตเตอรเบริ์ก (Atterberg ´s Limits) การทดสอบหาขนาดคละ ของดินตัวอย่าง (Grain size analysis) การทดสอบการบดอัดดิน (Compaction Test) และการทดสอบ ซี.บี.อาร์ (California Bearing Ratio Test) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.1 การทดสอบหาขนาดคละ ของดินตัวอย่าง

(มาตรฐานอ้างอิง: ASTM D 422)

มวลดินที่นำมาใช้ในการทดลองนั้นมีขนาดคละที่ไม่แน่นอน ดังนั้นจะส่งผลต่อคุณสมบัติของตัวอย่างดินที่ใช้ทดลอง เช่น ค่าที่ได้จากการทดสอบการบดอัดดิน (compaction test) และค่าที่ได้จากการทดสอบ C.B.R (California Bearing Ratio) จะได้ค่าที่แตกต่างกัน หากไม่ทำการทดสอบหาขนาดคละ ของดินตัวอย่าง (grain size analysis) แล้วนำมาผสมให้ได้ เกรดของตัวอย่างดินตามที่ต้องการศึกษาเพื่อทราบถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

โดยการหาขนาดคละ ได้เลือกใช้วิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis) มีวิธีการ ดังนี้

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้

1) ตะแกรงร่อน (sieve)
2) ถาดใส่ตัวอย่าง (mixing pan)
3) แปลงท้าความสะอาดตะแกรง
4) ค้อนยาง ช้อนตักตน (soil scoop)
5) ถังเก็บดินตามขนาด
6) ตู้อบ

รูป 3.1 ถังเก็บดินตามขนาด

รูป 3.2 ตะแกรงร่อน (sieve)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วิธีการทดลอง

1) นำดินที่ใช้ในการศึกษาเข้าตู้อบ ทิ้งไว้ 1 วัน จากนั้นในกรณีที่ตัวอย่างดินเกาะเป็นก้อนใหญ่ให้ทุบ แยกดินออกเป็นเม็ดอิสระด้วยค้อนยาง แต่ต้องระวังอย่าให้แรงมากจนเม็ดดินแตก
2) นำตะแกรงมาเรียงซ้อนกันโดยขนาดใหญ่อยู่ข้างบน แล้วเรียงขนาดเล็กลงมาตามลำดับ ให้ได้ตามเกรด E ของดินที่เลือกไว้ ใช้ตะแกรงดังนี้ เบอร์ 10, 40, 200, Pan ตามลำดับ โดยดินลูกรังเกรด E ที่นำมาทดลอง มีเปอร์เซ็นผ่านของแต่ละตะแกรง ดังนี้ No.10 (74%), No.40 (20%), No.200 (6%)
3) นำตัวอย่างดินหลังจากอบมาร่อนผ่านตะแกรงที่เตรียมไว้
4) นำดินที่ค้างในตะแกรงแต่ละเบอร์ใส่ในถังเก็บดินตามขนาด

รูป 3.3 แยกดินออกเป็นเม็ดอิสระด้วยค้อนยาง

รูป 3.4 นำตัวอย่างดินมาผัดเพื่อต้องการดินที่แห้ง

รูป 3.5 นำตัวอย่างดินมาร่อนผ่านตะแกรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.2 การทดสอบหาขีดจำกัดของอัตเตอรเบริ์ก

(มาตรฐานอ้างอิง: ASTM D 4318-93)

วัสดุที่ใช้ในการศึกษานั้น ได้แก่ ดิน และ เถ้าลอย โดยทั่วไปแล้ววัสดุต่างชนิดกันล้วนมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่ต่างกันไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาคุณสมบัติขั้นพื้นฐานของวัสดุนั้นเพื่อนำข้อมูลไปใช้ประกอบในการคัดเลือกวัสดุผ่านตามมาตรฐานที่มีไว้หรือไม่ โดยการทดสอบหาค่าขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit, L.L.), ขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit, P.L.) และ ดัชนีพลาสติก (Plasticity Index, PI)

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้สำหรับทดสอบหา Liquid Limit

1) เครื่องทดสอบหาขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit Device) ตามมาตรฐานASTM D 4318
2) เครื่องมือปาดรองดิน (Grooving Tool)
3) มีดปาดดิน (Spatula) ขนาดกวางประมาณ 3/4 นิ้ว (19 มิลิเมตร) และยาวประมาณ 3 นิ้ว (76 มิลลิเมตร)
4) ชามกระเบื้องเคลือบ (Coat Dish)

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้สำหรับทดสอบหา Plastic Limit

1) แผ่นกระจกทดสอบ Plastic Limit (Glass Plate) ขนาดไม่น้อยกว่า 10 × 10 เซนติเมตร
2) ขวดฉีดน้ำ (Wash Bottle)

รูป 3.6 อุปกรณ์สำหรับทดสอบหา Liquid Limit

รูป 3.7 อุปกรณ์สำหรับทดสอบหา Plastic Limit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วิธีการทดลอง Liquid Limit

1) เตรียมตัวอย่างดิน โดยการนำดินแห้งที่ใช้ในการศึกษามาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 จำนวนประมาณ 100 กรัม
2) นำดินที่เตรียมไว้ใส่ในถ้วยเคลือบ ใส่น้ำประมาณ 15-20 มิลลิลิตร แล้วผสมให้เข้ากัน
3) เตรียมอุปกรณ์ชุดทดสอบ ให้ความสูงของก้นจานอยู่สูงกว่าพื้นรอง 1 ± 0.2 เซนติเมตร โดย ใช้ด้ามของ Grooving Tool นำดินใส่ในจานแล้วใช้มีดปาดดินปาดให้เรียบ โดยดินตรงกลางมีความหนาประมาณ 1 เซนติเมตร
4) ทำการบากดินในจาน ด้วย Grooving Tool ให้เป็นรองในครั้งเดียวจนเห็นพื้นรองจาน และ รอยรองนี้จะแบ่งดินออกเป็น 2 ข้างเท่าๆกันทำการหมุนให้จานตกกระทบกับพื้นรองในทันที ซึ่งใช้ความเร็วในการหมุนประมาณ 2 ครั้ง ต่อ 1 วินาที ทำการหมุนจนกระทั้งดินที่ บากไว้ไหลเข้ามาชนกันเป็นระยะทาง 12.7 มิลลิเมตร

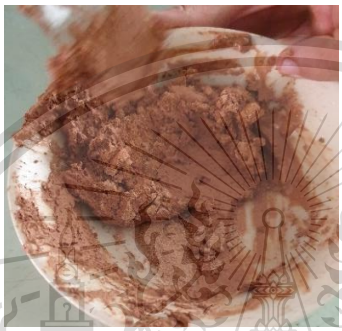
   กำหนดจำนวนการเคาะ ครั้งแรกและครั้งต่อไป เพื่อความสะดวก ดังนี้ (ตามมาตรฐาน ASTM D 4318)

   จำนวนการเคาะ ครั้งที่ 1 ประมาณ 25 – 35 ครั้ง
   จำนวนการเคาะ ครั้งที่ 2 ประมาณ 20 - 30 ครั้ง
   จำนวนการเคาะ ครั้งที่ 3 ประมาณ 15 – 25 ครั้ง

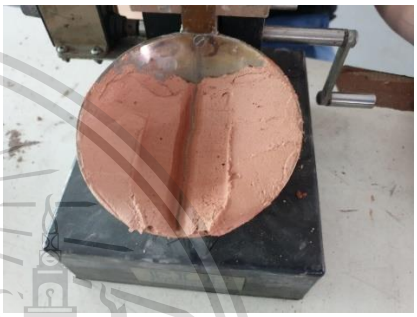
5) เมื่อได้จำนวนการเคาะตามที่กำหนด และดินไหลมาชนกันเป็นระยะทาง 12.7 มิลลิเมตร แล้วทำการ ตักดินเฉพาะตรงที่ดินไหลมาชนกัน โดยใช้ Spatula ปาดขนานกันให้ระยะห่างพอดีกับระยะ ที่ดินไหลมาชนกันนี้แล้วจึงตัดหัวทายของรอยตัดขาดนี้ในแนวตั้งฉากกัน นำดินที่ถูกตักใส่ใน กระป๋อง แล้วนำไปอบเพื่อหาค่าปริมาณความชื้น
6) นำดินที่เหลือในจานออกแล้วนำกลับไปผสมกับดินที่เหลืออยู่ในถ้วยเคลือบ โดยเติมน้ำทีละ น้อย ผสมเข้ากันให้ทั่ว ทำความสะอาดจานของชุดทดสอบ , Grooving Tool, Spatula ให้เรียบร้อย
7) ทำการทดสอบซ้ำเหมือนขั้นตอนที่ 4 - 8 จนกระทั่งครบตามจำนวนตัวอย่างดินที่ต้องการ ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

8) นำข้อมูลที่จำนวนการเคาะ (N) และปริมาณความชื้น (Water Content, w %) ไปเขียน Semi - Log โดยให้จำนวนการเคาะ (N) อยู่ในแนว แกน X (Scale Log) และ ปริมาณความชื้น (Water Content, w %) อยู่ในแนวแกน Y แล้วลากเส้นตรงผ่านจุดเหล่านั้น
9) จากจำนวนการการเคาะ 25 ครั้ง ให้ลากเส้นตรงในแนวดิ่งตัดเส้นกราฟที่ได้เขียนไว้แล้ว ลากเส้นขนานแนวราบไปตัดแกน Y ค่าปริมาณความชื้นที่ได้นี้คือ ค่า Liquid Limit, L.L.



รูป 3.8 นำตัวอย่างดินที่ผสมน้ำในถ้วยเคลือบ



รูป 3.9 การบากดินในจาน ด้วย Grooving Tool

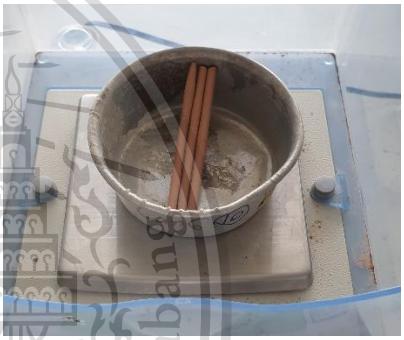
รูป 3.10 เก็บตัวอย่างดินที่ได้ไปหาความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วิธีการทดลอง Plastic Limit

1) เตรียมตัวอย่างดิน โดยการนำดินแห้งที่ใช้ในการศึกษามาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 จำนวนประมาณ 20 กรัม
2) นำดินที่เตรียมไว้ ผสมกับน้ำให้เข้ากัน สามารถปั้นให้เป็นทรงกลมได้
3) นำไปคลึงบนกระจกให้มีลักษณะเป็นเส้นยาว โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3.2 มิลลิเมตร จนกระทั่งเกิดรอยแตกเล็กๆขึ้นทั่วไป จากนั้นจึงนำไปใส่กระป๋องเพื่อหาความชื้น
4) ทำการทดสอบซ้ำอีก 2 ตัวอย่าง เพื่อนำค่าที่ได้มาเฉลี่ยกัน

รูป 3.11 นำตัวอย่างดินไปคลึงบนกระจก



รูป 3.12 เก็บตัวอย่างดินที่ได้ไปหาความชื้น

วิธีการคำนวณ

1) ค่า Liquid Limit, L.L. อ่านได้จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการเคาะ (N) กับปริมาณความชื้น (Water Content , w %) ที่การเคาะที่ 25 ครั้ง
2) ค่า Plastic Limit, P.L. คำนวณได้จากค่าเฉลี่ยของปริมาณความชื้น (Water Content , w %) ที่ได้จากการทดสอบ
3) ค่า Plasticity Index, P.I.

$$P.I. = L.L. - P.L.$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.3 การทดสอบการบดอัดดิน

(มาตรฐานอ้างอิง: D 1557 – 00)

ปริมาณความชื้นที่มีความเหมาะสมที่สุด ในการบดอัดดิน ส่งผลต่อคุณภาพของของดินในเรื่องของกำลังต้านทานน้ำหนัก (Bearing Capacity) ของพื้นทาง และ ความหนาแน่นแห้ง ดังนั้นหากวัสดุที่นำมาทดสอบต่างกันย่อมได้ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมต่างกันไปตามคุณสมบัติของวัสดุนั้นๆ ในการทดสอบการบดอัดดิน (Determination of Compaction Test) มีอยู่ 2 แบบ ได้แก่

1.การบดอัดแบบ มาตรฐาน (Standard Proctor Test)

2.การบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Test)

โดยในการศึกษาเลือกใช้วิธีแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Test) ในการทดสอบเพื่อหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมของเถ้าลอยและดิน

ลำดับที่	วิธีการ		
	A	B	C
1. ขนาดของโมล	4 นิ้ว (101.6 มม)	4 นิ้ว (101.6 มม)	6 นิ้ว (152.4 มม)
2. ความสูงของโมล	4.584 นิ้ว (116.43 มม)	4.584 นิ้ว (116.43 มม)	4.584 นิ้ว (116.43 มม)
3. ปริมาตรของโมล	0.0333 ลบ.ฟุต (944 ลบ.ซม)	0.0333 ลบ.ฟุต (944 ลบ.ซม)	0.075 ลบ.ฟุต (2124 ลบ.ซม)
4. น้ำหนักของค้อน	5.5 ปอนด์ (2.5 กก)	5.5 ปอนด์ (2.5 กก)	5.5 ปอนด์ (2.5 กก)
5. ระยะยก	12.0 นิ้ว (304.8 มม)	12.0 นิ้ว (304.8 มม)	12.0 นิ้ว (304.8 มม)
6. จำนวนชั้น	3	3	3
7. จำนวนครั้งที่กระทุ้งต่อชั้น	25	25	56
8. พลังงานในการบดอัด	12375 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต (600 กน-เมตร/ลบ.ม)	12375 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต (600 กน-เมตร/ลบ.ม)	12375 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต (600 กน-เมตร/ลบ.ม)
9. วัสดุดิน	ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม) อาจจะใช้ดินที่ค้างตะแกรงเบอร์ 4 น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์	ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม) อาจใช้ดินที่ค้างตะแกรงเบอร์ 4 มากกว่าหรือเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ และ ดินที่ค้างตะแกรงขนาด 3/8 นิ้ว(9.5 มม)	ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม) ใช้ดินที่ค้างบนตะแกรงขนาด 3/8 นิ้ว มากกว่าหรือเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ และ ดินที่ค้างตะแกรงเบอร์ 3/4 นิ้ว น้อยกว่า30 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 3.1 วิธีการบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ลำดับที่	วิธีการ		
	A	B	C
1. ขนาดของโมล	4 นิ้ว (101.6 มม)	4 นิ้ว (101.6 มม)	6 นิ้ว (152.4 มม)
2. ความสูงของโมล	4.584 นิ้ว (116.43 มม)	4.584 นิ้ว (116.43 มม)	4.584 นิ้ว (116.43 มม)
3. ปริมาตรของโมล	0.0333 ลบ.ฟุต (944 ลบ.ซม)	0.0333 ลบ.ฟุต (944 ลบ.ซม)	0.075 ลบ.ฟุต (2124 ลบ.ซม)
4. น้ำหนักของค้อน	10 ปอนด์ (4.54 กก)	10 ปอนด์ (4.54 กก)	10 ปอนด์ (4.54 กก)
5. ระยะยก	18.0 นิ้ว (457.2 มม)	18.0 นิ้ว (457.2 มม)	18.0 นิ้ว (457.2 มม)
6. จำนวนชั้น	5	5	5
7. จำนวนครั้งที่กระทุ้งต่อชั้น	25	25	56
8. พลังงานในการบดอัด	56250 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต (2700 กน-เมตร/ลบ.ม)	56250 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต (2700 กน-เมตร/ลบ.ม)	56250 ฟุต-ปอนด์/ลบ.ฟุต (2700 กน-เมตร/ลบ.ม)
9. วัสดุดิน	ใช้ดินที่ค้างตะแกรงเบอร์ 4 น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์	อาจจะใช้ดินที่ค้างตะแกรงเบอร์ 4 มากกว่า หรือเท่ากับ 20 เปอรเซ็นต์ และค้างตะแกรงขนาด 1/8 นิ้ว น้อยกว่าหรือเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์	อาจจะใช้ดินที่ค้างตะแกรงขนาด 3/8 นิ้ว มากกว่า 20 เปอรเซ็นต์ และค้างตะแกรงขนาด ¾ นิ้ว(19 มม) น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 3.2 วิธีการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Test)

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้

1) แบบหล่อทดสอบการบดอัดดิน(Compaction Mold) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 4 นิ้ว (105 ม.ม.) ความสูง 4.584 นิ้ว (116.43 ม.ม)
2) ค้อนบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน หนัก 10 ปอนด์ ระยะยก 18 นิ้ว
3) เหล็กปาดดินสันตรง (Straight Edge) ขนาด 30 ซม
4) เครื่องชั่งขนาด ตั้งแต่ 1.0 กรัม - 10 กิโลกรัม
5) ถาดผสมดิน (Mixing Pan)
6) ที่ตักดิน (Scoop)

รูป 3.13 อุปกรณ์สำหรับทดสอบการบดอัดดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วิธีการทดลอง

1) จัดเตรียมตัวอย่างดินที่ใช้ศึกษา หนักประมาณ 4 กิโลกรัม
2) วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง, ความสูงของ Mold เพื่อหาปริมาตรของดินใน Mold จากนั้นประกอบ Mold และ Base plate พร้อมชั่งน้ำหนัก
3) นำดินที่เตรียมไว้ผสมกับน้ำในค่าเริ่มต้นที่ตั้งไว้ แล้วคลุกเคล้าให้เข้ากัน
4) ตักดินใส่ Mold ที่ประกอบไว้แล้ว โดยกะความสูงให้เท่าๆกันในแต่ละชั้น มีทั้งหมด 5 ชั้น(Modified Proctor Test) ในชั้นสุดท้ายต้องเผื่อระยะพ้นขอบ Mold ประมาณ 1 – 2 ซม.
5) ใช้ค้อนบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน หนัก 10 ปอนด์ บดอัดดินในแต่ละชั้นให้ทั่วทั้ง Mold โดยแต่ละชั้นบดอัด 25 ครั้ง สำหรับ Mold ขนาด 105 ม.ม.
6) เมื่อครบจำนวนชั้น ให้ถอดปลอก (Collar) ออก แล้วใช้ที่ปาดดิน (Straight Edge) ปาดดินที่เกินขอบ Mold ออก แล้วแต่งผิวให้เรียบ ปัดเศษดินที่ติด Mold ออก จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก
7) นำดินที่อยู่ใน Mold ออก แล้วเก็บตัวอย่างดินไปอบ เพื่อหาค่าปริมาณความชื้น (Water Content)
8) ใช้ค้อนยางทุบก้อนดินที่เหลือให้แตกออกจนร่วน จากนั้นผสมน้ำเพิ่มอีก 2% คลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วทดสอบซ้ำตามข้อ 5 - 7 จนกระทั่งน้ำหนักดินเริ่มลดลง จำนวนครั้งในการทดสอบไม่ควรเกิน 5 - 6 ครั้ง

รูป 3.14 การใช้ค้อนบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

รูป 3.15 เก็บตัวอย่างดินที่ได้ไปหาความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วิธีการคำนวณ

1) ความหนาแน่นดินเปียก (Wet density), ρ

$$\rho = \frac{M}{V} \quad t/m^3$$

2) ความหนาแน่นแห้ง (Dry density), ρ_d

$$\rho_d = \frac{\gamma}{1+\frac{w}{100}} \quad t/m^3$$

เมื่อ

M = น้ำหนักดินเปียกใน Mold g

V = ปริมาตรของ Mold cm^3

W = ปริมาณความชื้นของดิน %

3) ปริมาณความชื้น

$$w = \frac{w_1 - w_2}{w_2 - w_c} \times 100 \quad t/m^3$$

เมื่อ

w_c = น้ำหนักกระป๋องเก็บตัวอย่างดิน

w_1 = น้ำหนักกระป๋องเก็บตัวอย่างดินกับน้ำหนักดินเปียก

w_2 = น้ำหนักกระป๋องเก็บตัวอย่างดินกับน้ำหนักดินแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.4 California Bearing Ratio Test การทดสอบ ซี.บี.อาร์

(มาตรฐานอ้างอิง: ASTM D 1883-99)

การทดสอบนี้เพื่อต้องการทราบค่ากำลังรับน้ำหนักของตัวอย่างดินที่ต้องการศึกษา พิจารณาสัดส่วนที่ใช้เถ้าลอยมาผสมนั้นมีผลต่อกำลังรับน้ำหนักอย่างไร ซึ่งการทดลองนี้สำคัญต่อการนำไปเลือกใช้กับงานทางโดยเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดไว้โดย California Division of Highway ดังตารางที่ 3.3

การทดสอบ ซี.บี.อาร์ (Determination of California Bearing Ratio Test) มีอยู่ 2 วิธี ได้แก่

1) การทดสอบกับตัวอย่างที่ไม่แช่น้ำ (Unsoaked Sample)
2) การทดสอบกับตัวอย่างที่แช่น้ำ (Soaked Sample)

โดยในการศึกษาเลือกใช้วิธี การทดสอบกับตัวอย่างที่แช่น้ำ (Soaked Sample) เพื่อหาค่ากำลังรับน้ำหนักของตัวอย่างดินที่ต้องการศึกษา

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

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าหน่วยน้ำหนักมาตรฐานของหินคลุกบดอัดแน่นที่ระยะจมต่างๆ

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้

1) โมล ซีบีอาร์ (C.B.R. Mold) เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 6 นิ้ว ± 0.018 นิ้ว (152.4 ± 0.46 มิลิเมตร) สูง 7 นิ้ว ± 0.018 นิ้ว (177.8 ± 0.46 มิลิเมตร)ยึด ติดกับ Base plate ที่หนา 8 3นิ้ว และมีรูพรุน ขนาดของรูไม่เกิน 1/16 นิ้ว และมี Collar ที่สูง 2 นิ้ว
2) ค้อนบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน หนัก 10 ปอนด์ ระยะยก 18 นิ้ว
3) กระบอกตวงน้ำ
4) เหล็กปาดดินสันตรง (Straight Edge) ขนาด 30 ซม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5) กระดาษกรอง (Filter Paper)
6) ช้อนตักดิน (Soil Scoop)
7) สามขาวัดการบวมตัว (Swell Tripod) ใชประกอบกับมาตรวัดการยุบตัว (Dial Gauge)
8) แผ่นวัดการบวมตัว (Swell Plate หรือ Perforated Plate)
9) มาตรวัดการยุบตัว (Penetration Dial Gauge)
10) แผ่นน้ำหนัก (Surcharge Weight) ใช้วางทับผิวหนาตัวอย่างทดสอบ มีลักณะเป็นรูปเกือกม้า
11) แผ่นเหล็กรอง (Spacer Disc)
12) เครื่องทดสอบแรงกด (Loading Machine)
13) แท่งกด (Penetration Piston)

รูป 3.16 สามขาวัดการบวมตัว (Swell Tripod)

รูป 3.17 โมล ซีบีอาร์ (C.B.R. Mold)

รูป 3.18 แผ่นน้ำหนัก (Surcharge Weight)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

วิธีการทดลอง

1) จัดเตรียมตัวอย่างดินที่ต้องการศึกษา ประมาณ 5 กิโลกรัม โดยนำมาผสมกับน้ำ ในปริมาณ O.M.C. ที่ได้จากการทดสอบ Compaction ให้เข้ากันทั่วถึง
2) ประกอบ C.B.R. Mold กับ Base Plate แล้วทำการชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำ Spacer Disc มาใส่ลงใน C.B.R. Mold และนำกระดาษกรองมารองด้านบนเพื่อป้องกันตัวอย่างติด Spacer Disc พร้อมประกอบ Collar ให้เรียบร้อย
3) ทำการบดอัดตามมาตรฐาน D1557 – 00 ใช้ค้อนขนาด 10 lb ระยะตก 18 in ทำการบดอัดจำนวน 5 ชั้นๆ ละ 12 ครั้ง 25 ครั้ง และ 56 ครั้ง ทั้งหมด 3 ตัวอย่าง
4) ถอด Collar ออก ปาดตัวอย่างดินให้เรียบเสมอขอบ C.B.R. Mold จากนั้นทำการพลิกแล้วนำ Spacer Disc ออก นำกระดาษกรองมารองด้านที่พลิกลง แล้วทำการประกอบ C.B.R. Mold กับ Base Plate เข้าด้วยกัน นำไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักเฉพาะของตัวอย่างดิน
5) นำตัวอย่างดินที่เหลือจากการบดอัดไปหาค่าปริมาณความชื้น (Water Content) ทันที
6) นำตัวอย่างดินที่ได้จากขั้นตอนที่ 4 วางแผ่นวัดการบวมตัว (Swell Plate) และวาง แผ่นน้ำหนัก (Surcharge Weight)
7) แช่ชุดทดสอบในบ่อน้ำ ให้น้ำสามารถไหลเข้าตัวอย่างทดสอบได้ทั้งด้านล่างและด้านบน จากนั้นวางสามขาวัดการบวม (Swell Tripod) แล้วจึงปรับเซ็ท Dial Gauge ให้เป็นศูนย์ ทำการแช่ตัวอย่างดินเป็นเวลา 4 วัน
8) เมื่อครบ 4 วัน ให้วัดค่าการบวมตัว (Swell) ของตัวอย่างทดสอบ จากนั้นนำ C.B.R. Mold ขึ้นจากน้ำ แล้วนำมาคว่ำปล่อยทิ้งไว้ 30 นาที เพื่อระบายน้ำออกจากตัวอย่างทดสอบ หลังจากนั้นนำไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบใน C.B.R. Mold
9) นำตัวอย่างทดสอบที่เตรียมไว้ มาใส่แผ่นน้ำหนัก (Surcharge Weight) เสร็จเรียบร้อยแล้วให้นำไปวางใน เครื่องทดสอบแรงกด (Loading Machine)
10) ทำการปรับแทงกด (Penetration Piston) โดยให้ผ่านรูตรงกลางของแผ่นน้ำหนัก (Surcharge Weight) และให้แท่งกดสัมผัสกับผิวหน้าของตัวอย่างทดสอบพอดี เสร็จแล้วทำการติดตั้ง Penetration Dial Gauge เพื่ออ่านค่าระยะจมของแท่งกด แล้วทำการปรับ Dial Gauge ทั้งสองให้เข็มอยู่ในตำแหน่งเลขศูนย์
11) เริ่มกดแทงกด (Penetration Piston) ลงบนตัวอย่างทดสอบด้วยอัตราการกด 0.05 นิ้ว (1.27 มิลลิเมตร) ต่อนาที ต่อเนื่องกันอย่างสม่ำเสมอ ให้อ่านค่าน้ำหนักกดจาก Load Dial Gauge ที่ระยะจม ดังนี้ 0.025 (0.64 มม.), 0.050 (3.81 มม.), 0.075 (1.91 มม.) , 0.100(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.) และ 0.500 นิ้ว (12.7 มม.) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

12) ทำการถอดแท่งกด (Penetration Piston) กลับดังเดิม แล้วจึงนำชุด C.B.R. Mold ออกจากเครื่องทดสอบนำตัวอย่าง ทดสอบสวนหนึ่งไปหาค่าปริมาณความชื้น (Water Content)

รูป 3.19 นำตัวอย่างดินผสมน้ำคลุกให้เข้ากัน

รูป 3.20 ปาดตัวอย่างดินให้เรียบเสมอขอบ C.B.R. Mold

รูป 3.21 ทำการแช่ตัวอย่างดินเป็นเวลา 4 วัน

รูป 3.22 วางสามขาวัดการบวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูป 3.23 นำ C.B.R. Mold มาคว่ำปล่อยทิ้งไว้ 30 นาที

รูป 3.24 นำไปวางใน เครื่องทดสอบแรงกด (Loading Machine)

วิธีการคำนวณ

1) หาคาหน่วยแรงกด (Test Unit Load) โดยการนำจำนวนขีด (Division, Div) มาคูณกับค่าคงที่ของ เครื่องทดสอบ (Load Factor, k) มีหน่วยเป็น ปอนด์ (lb) หรือกิโลกรัม (kg)

$$\text{Test Unit Load} = \frac{Force\ at\ 0.1\ or\ 0.2\ in. Penetration}{Area\ of\ Piston}$$

เมื่อ

Force at 0.1 or 0.2 in. Penetration = ค่าแรงกดที่อ่านได้ที่ระยะจมของแท่งกด (Penetration Piston) ที่ 0.1 และหรือ 0.2 นิ้ว

Area of Piston = พื้นที่หนาตัดของแท่งกด (Penetration Piston) ตามมาตรฐานจะมีพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว หรือ 19.355 ตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2) คำนวณหาค่าเปอรเซ็นต์การบวมตัว (% Swell)

$$\% \text{ Swell} = \frac{\text{ค่าการบวมตัวระหว่างแช่น้ำ}}{\text{ความสูงตัวอย่างการทดสอบ}} \times 100$$

3) เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหวาง Penetration (ให้เปนแกนนอน) กับ Stress หรือ Test Unit Load (ให้เป็นแกนตั้ง) ของตัวอย่างทดสอบทั้งแบบแช่น้ำ

4) คำนวณหาค่า % C.B.R โดยอ่านค่าจากกราฟที่ Penetration 0.1 นิ้ว และ 0.2 นิ้ว ซึ่งค่า Standard Unit load ที่ 0.1 นิ้ว และ 0.2 นิ้ว ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.3

$$\% \text{ C.B.R.} = \frac{TestUnitLoad}{StandardUnitLoad} \times 100$$

หมายเหตุ

- ถ้า % C.B.R ที่ 0.1 นิ้ว มากกว่า % C.B.R ที่ 0.2 นิ้ว ให้รายงานผลที่ 0.1 นิ้ว
- ถ้า % C.B.R ที่ 0.2 นิ้ว มากกว่า % C.B.R ที่ 0.1 นิ้ว ให้ทำการทดสอบใหม่
- ถ้า % C.B.R ที่ 0.2 นิ้ว ยังคงมากกว่า % C.B.R ที่ 0.1 นิ้วให้รายงานผลที่ 0.2 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4
ผลการศึกษา

4.1. บทนำ

การศึกษาครั้งนี้คือการศึกษาหาความแข็งแรงของดินลูกรังที่ผสมกับเถ้าลอยในเปอร์เซ็นต์ต่างๆเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานวัสดุรองพื้นทาง (Subbase) ในมาตรฐานงานทางของกรมโยธาธิการและผังเมือง พ.ศ. 2557 ว่าสามารถใช้ดินลูกรังที่ผสมกับเถ้าลอยเป็นวัสดุในชั้นรองพื้นทางได้หรือไม่และต้องมีอัตราส่วนในการผสมเท่าไหร่โดยจะทำการเปรียบเทียบค่า atterberg limits และค่า %CBR ที่ 95% ของค่าความหนาแน่นสูงสุด

4.2 ผลการทดสอบค่า Atterberg Limits

4.2.1 ผลการทดสอบค่า Atterberg Limit ของดินลูกรัง

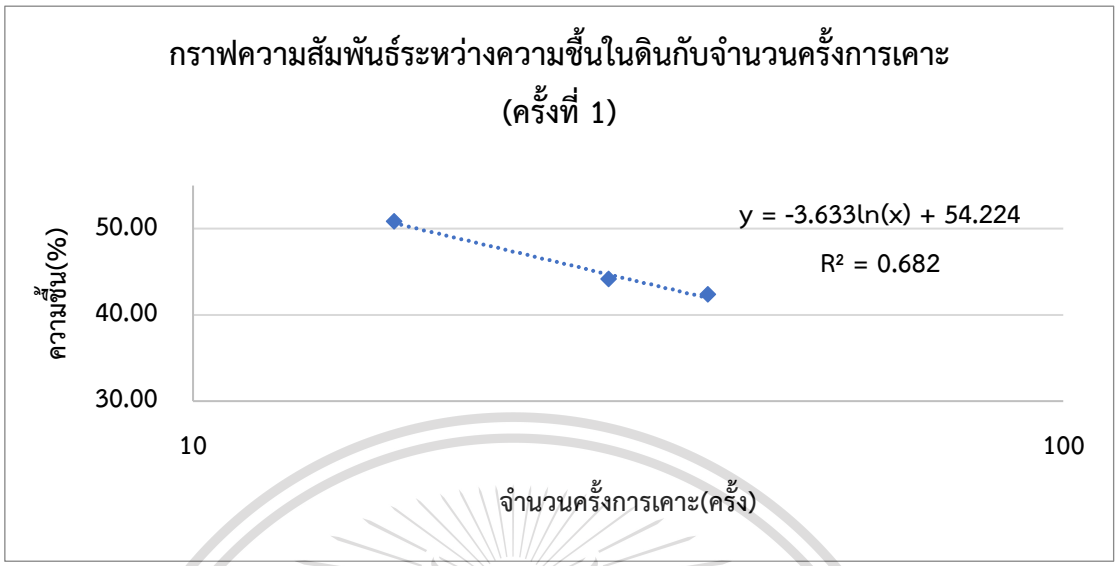
4.2.1.1 ผลการทดสอบค่า Liquid Limit ของดินลูกรัง

ครั้งที่ 1

Moisture can NO.	1	2	3
Number of blows	39	30	17
Weight of can + Wet soil (g)	26.864	26.757	28.479
Weight of can + Dry sand (g)	23.798	22.48	23.945
Weight of can (g)	16.559	12.782	15.025
Weight of water (g)	3.066	4.277	4.534
Weight of dry soil (g)	7.239	9.698	8.92
Water content (%)	42.35	44.10	50.83

ตารางที่ 4.1 ข้อมูล Liquid Limit ของดินลูกรังครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.1 กราฟ Liquid Limit ของดินลูกรังครั้งที่ 1

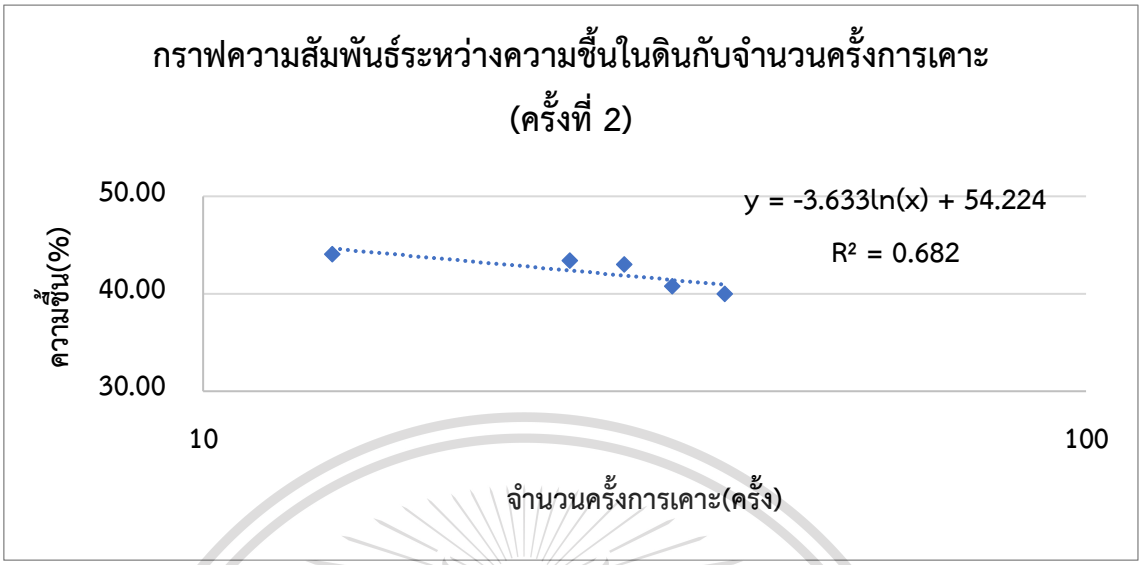
จากกราฟ ที่จำนวนการเคาะที่ 25 ครั้งพบว่า Liquid Limit = -10.47ln(25) + 80.307 = 46.61%

ครั้งที่ 2

Moisture can NO.	1	2	3	4	5
Number of blows	39	34	30	26	14
Weight of can + Wet soil (g)	36.43	31.21	37.773	32.25	47.29
Weight of can + Dry sand (g)	30.32	26.65	31.81	26.35	40.42
Weight of can (g)	15.049	15.468	17.949	12.749	24.819
Weight of water (g)	6.11	4.56	5.963	5.9	6.87
Weight of dry soil (g)	15.271	11.182	13.861	13.601	15.601
Water content (%)	40.01	40.78	43.02	43.38	44.04

ตารางที่ 4.2 ข้อมูล Liquid Limit ของดินลูกรังครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.2 กราฟ Liquid Limit ของดินลูกรังครั้งที่ 2

จากกราฟ ที่จำนวนการเคาะที่ 25 ครั้งพบว่า Liquid Limit = -3.633ln(25) + 54.224 = 42.53%
ดังนั้นค่า Liquid Limit เฉลี่ยทั้งสองครั้ง = (46.61 + 42.53)/2 = 44.57%

4.2.1.2 ผลการทดสอบค่า Plastic Limit ของดินลูกรัง

Moisture can NO.	1	2	3
Weight of can + Wet soil (g)	23.72	26.047	22.987
Weight of can + Dry sand (g)	21.868	24.48	21.199
Weight of can (g)	14.532	17.39	14.488
Weight of water (g)	1.852	1.567	1.788
Weight of dry soil (g)	7.336	7.09	6.711
Water content (%)	25.25	22.10	26.64
Average Plastic limit (%)	24.66		

ตารางที่ 4.3 ข้อมูล Plastic Limit ของดินลูกรัง

จากผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ย Plastic Limit = (25.25+22.1+26.64)/3 = 24.66%
ดังนั้น ค่า Plastic Index = 44.57 – 24.66 = 19.91%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.2 ผลการทดสอบค่า Atterberg Limit ของเถ้าลอย

4.2.2.1 ผลการทดสอบค่า Liquid Limit ของเถ้าลอย

ไม่สามารถหาค่า Liquid Limit ของเถ้าลอยได้

4.2.2.2 ผลการทดสอบค่า Plastic Limit ของเถ้าลอย

Moisture can NO.	1	2	3
Weight of can + Wet soil (g)	20.7	25.28	24.71
Weight of can + Dry sand (g)	19.51	23.25	22.76
Weight of can (g)	14.4	14.1	14
Weight of water (g)	1.19	2.03	1.95
Weight of dry soil (g)	5.11	9.15	8.76
Water content (%)	23.29	22.19	22.26
Average Plastic limit (%)	22.58		

ตารางที่ 4.4 ข้อมูล Plastic Limit ของเถ้าลอย

จากผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ย Plastic Limit = (23.29+22.19+22.26)/3 = 22.58%

ดังนั้น ไม่สามารถหาค่า Plastic Index ได้ เนื่องจากไม่สามารถหาค่า Liquid Limit ได้

4.2.3 ผลการทดสอบค่า Atterberg Limit ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90%

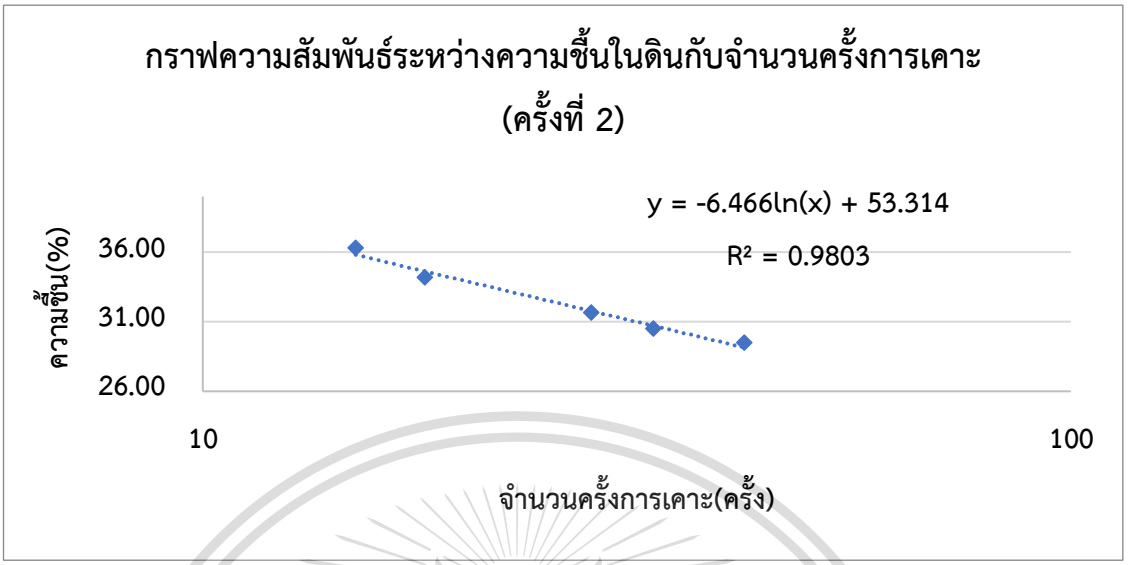
4.2.3.1 ผลการทดสอบค่า Liquid Limit ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90%

ครั้งที่ 1

Moisture can NO.	1	2	3	4	5
Number of blows	42	33	28	18	15
Weight of can + Wet soil (g)	41.721	31.918	30.835	33.786	27.341
Weight of can + Dry sand (g)	35.776	27.904	26.783	28.833	23.467
Weight of can (g)	15.61	14.74	13.97	14.34	12.79
Weight of water (g)	5.945	4.014	4.052	4.953	3.874
Weight of dry soil (g)	20.166	13.164	12.813	14.493	10.677
Water content (%)	29.48	30.49	31.62	34.18	36.28

ตารางที่ 4.5 ข้อมูล Liquid Limit ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.3 กราฟ Liquid Limit ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% ครั้งที่ 1

จากกราฟ ที่จำนวนการเคาะที่ 25 ครั้งพบว่า Liquid Limit = -6.466ln(25) + 53.314 = 32.5%

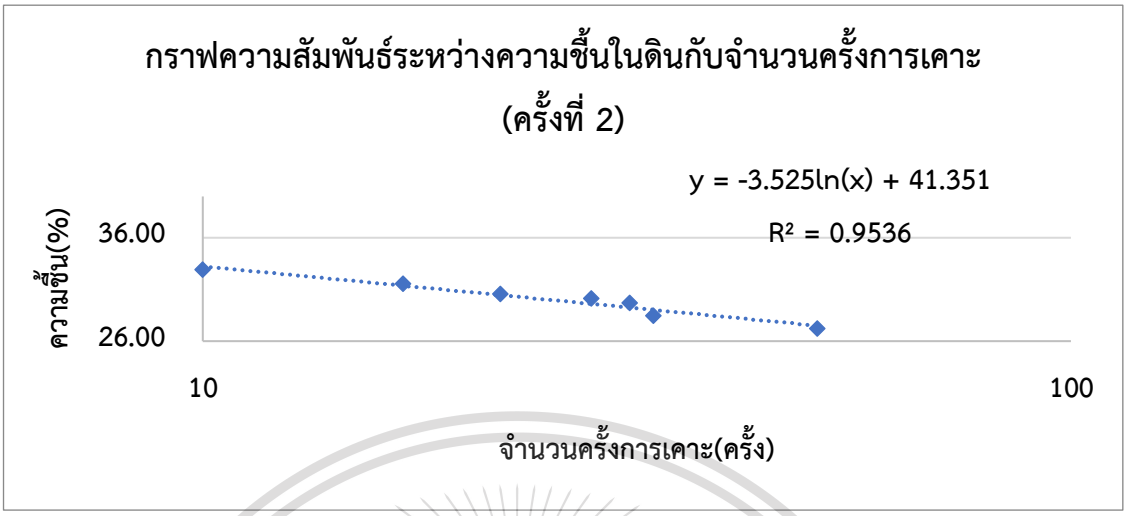
Liquid Limit = -6.466ln(25) + 53.314 = 32.5%

ครั้งที่ 2

Moisture can NO.	1	2	3	4	5	6
Number of blows	51	33	31	28	22	17
Weight of can + Wet soil (g)	32.95	30.942	31.886	32.439	29.972	25.515
Weight of can + Dry sand (g)	29.242	27.354	27.784	28.253	26.589	22.954
Weight of can (g)	15.61	14.74	13.97	14.34	15.52	14.83
Weight of water (g)	3.708	3.588	4.102	4.186	3.383	2.561
Weight of dry soil (g)	13.632	12.614	13.814	13.913	11.069	8.124
Water content (%)	27.20	28.44	29.69	30.09	30.56	31.52

ตารางที่ 4.6 ข้อมูล Liquid Limit ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.4 กราฟ Liquid Limit ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% ครั้งที่ 2

จากกราฟ ที่จำนวนการเคาะที่ 25 ครั้งพบว่า Liquid Limit = -3.525ln(25) + 41.351 = 30%

ดังนั้นค่า Liquid Limit เฉลี่ยทั้งสองครั้ง = (32.5+30)/2 = 31.25%

4.2.3.2 ผลการทดสอบค่า Plastic Limit ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90%

Moisture can NO.	1	2
Weight of can + Wet soil (g)	29.165	28.173
Weight of can + Dry sand (g)	27.119	26.28
Weight of can (g)	15.75	15.52
Weight of water (g)	2.046	1.893
Weight of dry soil (g)	11.369	10.76
Water content (%)	18.00	17.59
Average Plastic limit (%)	17.79	

ตารางที่ 4.7 ข้อมูล Plastic Limit ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90%

จากผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ย Plastic Limit = (18+17.59)/2 = 17.80%

ดังนั้น Plastic Index = 31.25 – 17.8 = 13.45 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

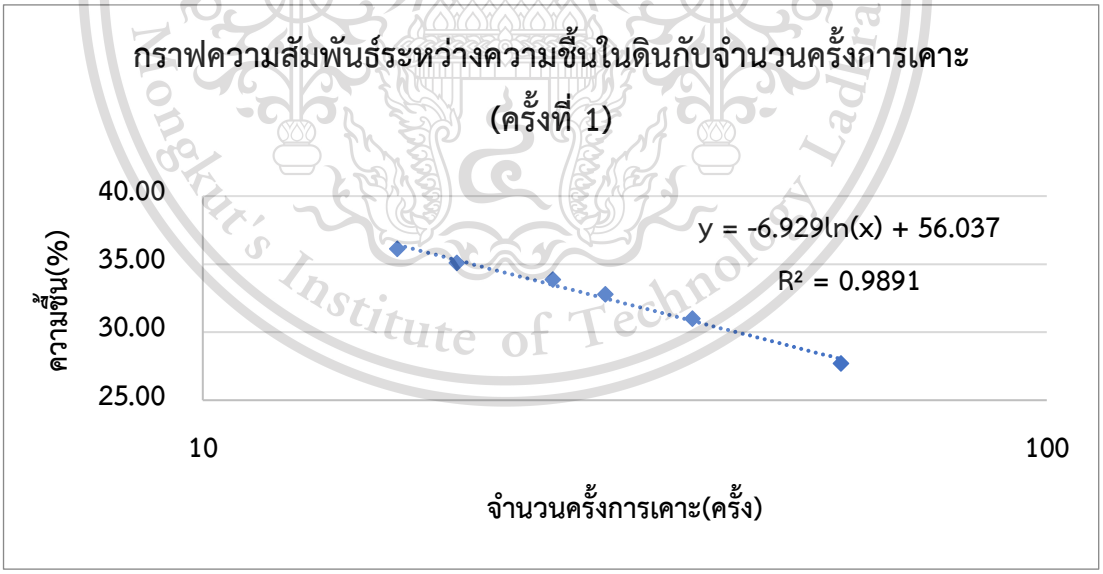
4.2.4 ผลการทดสอบค่า Atterberg Limit ของเถ้าลอย 20% ผสมดินลูกรัง 80%

4.2.4.1 ผลการทดสอบค่า Liquid Limit ของเถ้าลอย 20% ผสมดินลูกรัง 80%

ครั้งที่ 1

Moisture can NO.	1	2	3	4	5	6
Number of blows	57	38	30	26	20	17
Weight of can + Wet soil (g)	37.028	26.113	27.851	27.182	27.221	30.156
Weight of can + Dry sand (g)	32.903	22.468	24.786	23.523	23.993	26.015
Weight of can (g)	18	10.7	15.43	12.72	14.79	14.55
Weight of water (g)	4.125	3.645	3.065	3.659	3.228	4.141
Weight of dry soil (g)	14.903	11.768	9.356	10.803	9.203	11.465
Water content (%)	27.68	30.97	32.76	33.87	35.08	36.12

ตารางที่ 4.8 ข้อมูล Liquid Limit ของเถ้าลอย 20% ผสมดินลูกรัง 80% ครั้งที่ 1



รูปที่ 4.5 กราฟ Liquid Limit ของเถ้าลอย 20% ผสมดินลูกรัง 80% ครั้งที่ 1

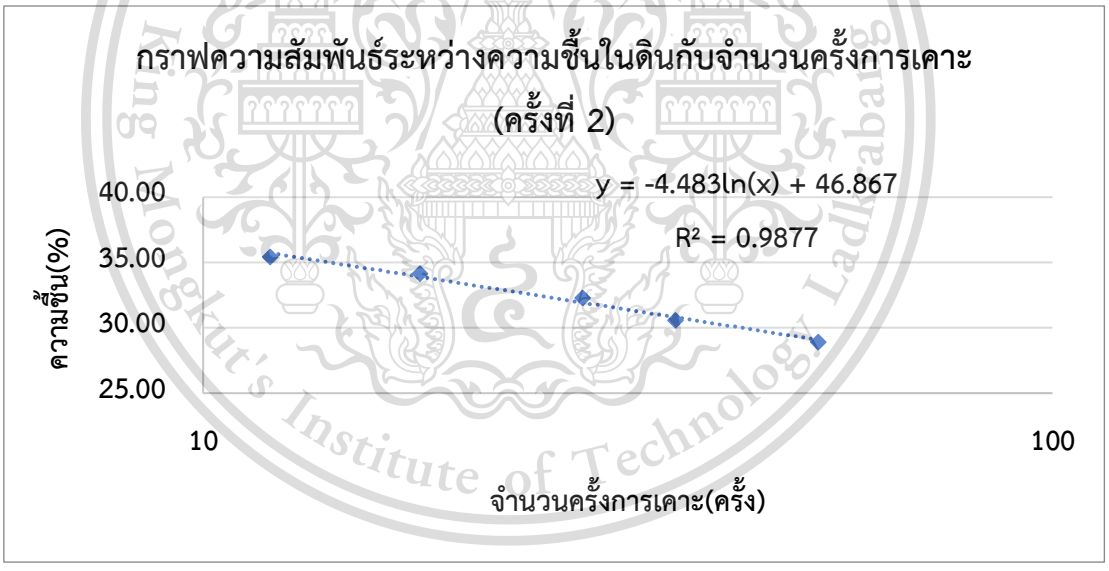
จากกราฟ ที่จำนวนการเคาะที่ 25 ครั้งพบว่า Liquid Limit = -6.929ln(25) + 56.037 = 33.73%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ครั้งที่ 2

Moisture can NO.	1	2	3	4	5
Number of blows	53	36	28	18	12
Weight of can + Wet soil (g)	29.498	27.254	28.813	32.276	31.555
Weight of can + Dry sand (g)	26.382	24.321	25.189	27.71	26.645
Weight of can (g)	15.61	14.74	13.97	14.34	12.79
Weight of water (g)	3.116	2.933	3.624	4.566	4.91
Weight of dry soil (g)	10.772	9.581	11.219	13.37	13.855
Water content (%)	28.93	30.61	32.30	34.15	35.44

ตารางที่ 4.9 ข้อมูล Liquid Limit ของเถ้าลอย 20% ผสมดินลูกรัง 80% ครั้งที่ 2



รูปที่ 4.6 กราฟ Liquid Limit ของเถ้าลอย 20% ผสมดินลูกรัง 80% ครั้งที่ 2

จากกราฟ ที่จำนวนการเคาะที่ 25 ครั้งพบว่า Liquid Limit = -4.483ln(25) + 46.867 = 32.44%

ดังนั้นค่า Liquid Limit เฉลี่ยทั้งสองครั้ง = (33.72+32.44)/2 = 33.09%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.4.2 ผลการทดสอบค่า Plastic Limit ของเถ้าลอย 20% ผสมดินลูกรัง 80%

Moisture can NO.	1	2
Weight of can + Wet soil (g)	30.712	32.361
Weight of can + Dry sand (g)	28.043	29.905
Weight of can (g)	13.91	16.6
Weight of water (g)	2.669	2.456
Weight of dry soil (g)	14.133	13.305
Water content (%)	18.88	18.46
Average Plastic limit (%)	18.67	

ตารางที่ 4.10 ข้อมูล Plastic Limit ของเถ้าลอย 20% ผสมดินลูกรัง 80%

จากผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ย Plastic Limit = (18.88+18.46)/2 = 18.67%

ดังนั้น ค่า Plastic Index = 33.09 – 18.67 = 14.42 %

4.2.5 ผลการทดสอบค่า Atterberg Limit ของเถ้าลอย 30% ผสมดินลูกรัง 70%

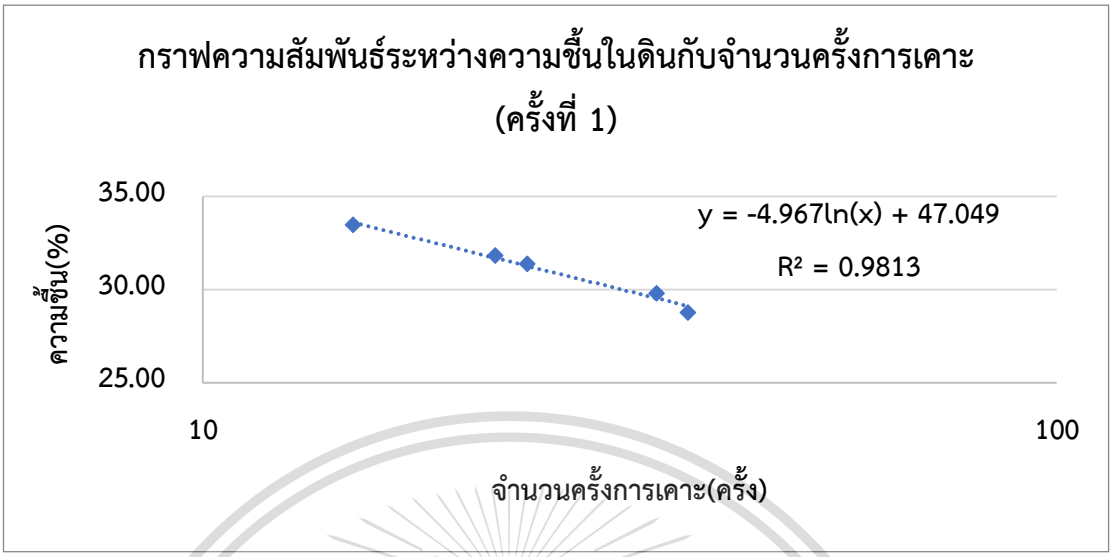
4.2.5.1 ผลการทดสอบค่า Liquid Limit ของเถ้าลอย 30% ผสมดินลูกรัง 70%

ครั้งที่ 1

Moisture can NO.	1	2	3	4	5
Number of blows	37	34	24	22	15
Weight of can + Wet soil (g)	36.095	26.986	29.943	27.401	32.87
Weight of can + Dry sand (g)	32.064	23.262	26.469	23.859	28.347
Weight of can (g)	18.047	10.765	15.399	12.725	14.824
Weight of water (g)	4.031	3.724	3.474	3.542	4.523
Weight of dry soil (g)	14.017	12.497	11.07	11.134	13.523
Water content (%)	28.76	29.80	31.38	31.81	33.45

ตารางที่ 4.11 ข้อมูล Liquid Limit ของเถ้าลอย 30% ผสมดินลูกรัง 70% ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.7 กราฟ Liquid Limit ของเถ้าลอย 30% ผสมดินลูกรัง 70% ครั้งที่ 1

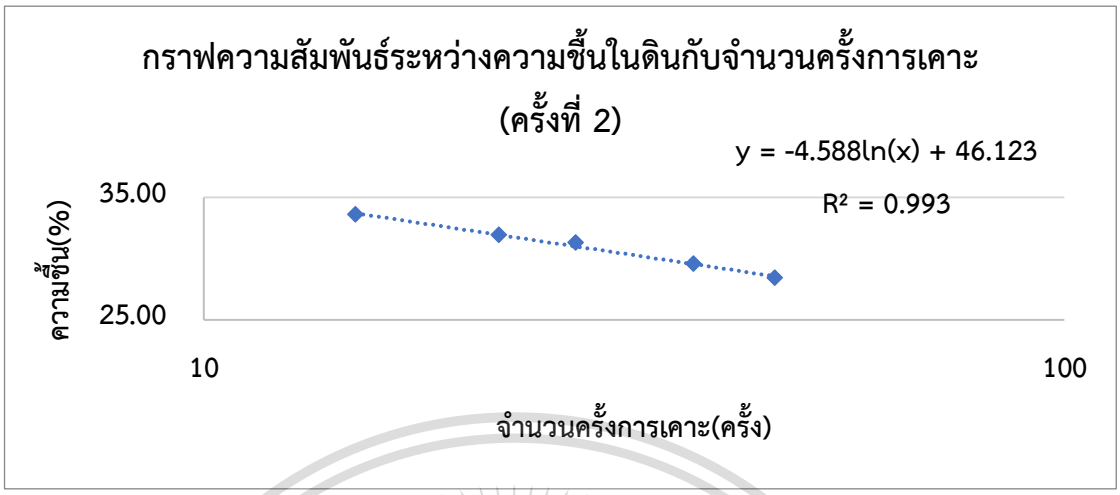
จากกราฟ ที่จำนวนการเคาะที่ 25 ครั้งพบว่า Liquid Limit = -4.967ln(25) + 47.049 = 31.06%

ครั้งที่ 2

Moisture can NO.	1	2	3	4	5
Number of blows	46	37	27	22	15
Weight of can + Wet soil (g)	32.311	33.195	31.883	29.552	33.362
Weight of can + Dry sand (g)	28.609	28.995	27.707	25.511	28.633
Weight of can (g)	15.579	14.79	14.357	12.851	14.55
Weight of water (g)	3.702	4.2	4.176	4.041	4.729
Weight of dry soil (g)	13.03	14.205	13.35	12.66	14.083
Water content (%)	28.41	29.57	31.28	31.92	33.58

ตารางที่ 4.12 ข้อมูล Liquid Limit ของเถ้าลอย 30% ผสมดินลูกรัง 70% ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.8 กราฟ Liquid Limit ของเถ้าลอย 30% ผสมดินลูกรัง 70% ครั้งที่ 2

จากกราฟ ที่จำนวนการเคาะที่ 25 ครั้งพบว่า Liquid Limit = -4.588ln(25) + 46.123 = 31.25%

ดังนั้นค่า Liquid Limit เฉลี่ยทั้งสองครั้ง = (31.06+31.25)/2 = 31.21%

ดังนั้นค่า Liquid Limit เฉลี่ยทั้งสองครั้ง = (31.06+31.25)/2 = 31.21%

4.2.5.2 ผลการทดสอบค่า Plastic Limit ของเถ้าลอย 30% ผสมกับดินลูกรัง 70%

Moisture can NO.	1	2
Weight of can + Wet soil (g)	25.348	26.568
Weight of can + Dry sand (g)	23.673	24.612
Weight of can (g)	14.16	14.83
Weight of water (g)	1.675	1.956
Weight of dry soil (g)	9.513	9.782
Water content (%)	17.61	20.00
Average Plastic limit (%)	18.80	

ตารางที่ 4.13 ข้อมูล Plastic Limit ของเถ้าลอย 30% ผสมดินลูกรัง 70%

จากผลการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ย Plastic Limit = (17.61+20)/2 = 18.80%

ดังนั้น ค่า Plastic Index = 31.21 – 18.80 = 12.4%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3 ผลการทดสอบค่า Compaction

4.3.1 ผลการทดสอบค่า Compaction ของดินลูกรัง

ครั้งที่ 1

Height of mold =	12.11	cm
Diameter of mold =	11.74	cm
Volume of mold =	1310.24	cm^3

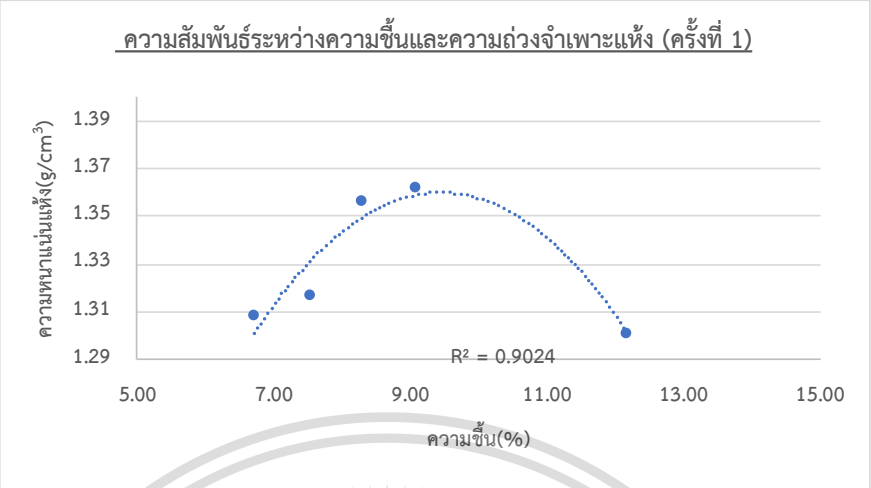
Moisture can no.	1	2	3	4	5
Weight of can + wet soil (g)	52.67	37.96	41.99	27.54	49.45
Weoght of can + dry soil (g)	50.354	36.552	39.952	26.357	45.565
Weight of can (g)	15.86	17.86	15.41	13.37	13.68
Weight of water (g)	2.316	1.408	2.038	1.183	3.885
Weight of dry soil (g)	34.494	18.692	24.542	12.987	31.885
Water content (%)	6.71	7.53	8.30	9.11	12.18

ตารางที่ 4.14 ข้อมูลความชื้นของดินลูกรังครั้งที่ 1

Moisture can no.	1	2	3	4	5
Assume water content (%)	4	6	8	10	12
Weight of soil + mold (g)	5651	5679	5755	5779	5741
Weight of mold (g)	3649	3649	3649	3649	3649
Water content (%)	6.71	7.53	8.30	9.11	12.18
Weight of soil in mold (g)	2002	2030	2106	2130	2092
Wet density (g/cm^3)	1.40	1.42	1.47	1.49	1.46
Dry density (g/cm^3)	1.31	1.32	1.36	1.36	1.30

ตารางที่ 4.15 ข้อมูล Compaction ของดินลูกรังครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.9 กราฟ Compaction ของดินลูกรังครั้งที่ 1

จากกราฟได้ค่า Optimum Moisture Content = 9.5%, Dry Density = 1.36 g/cm^3

ครั้งที่ 2

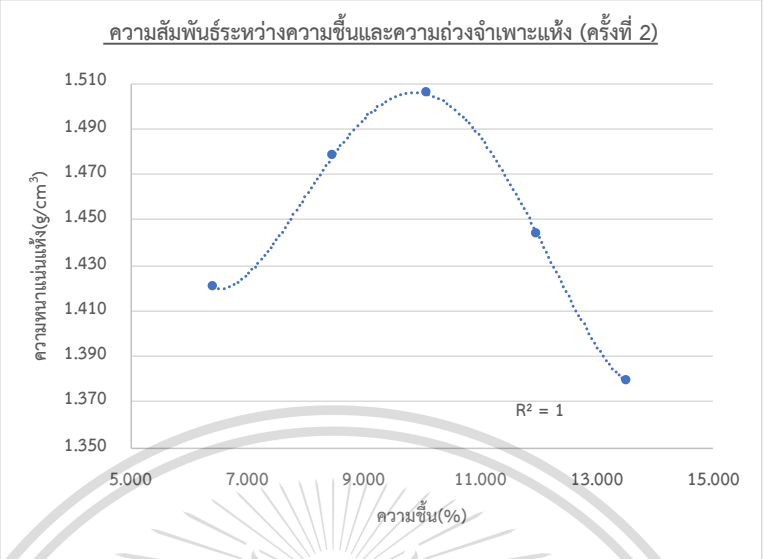
Moisture can no.	1	2	3	4	5
Weight of can + wet soil (g)	38.35	50.25	30.873	40.652	45.816
Weoght of can + dry soil (g)	37.187	48.196	29.204	38.219	42.678
Weight of can (g)	19.058	23.93	12.65	17.909	19.49
Weight of water (g)	1.163	2.054	1.669	2.433	3.138
Weight of dry soil (g)	18.129	24.266	16.554	20.31	23.188
Water content (%)	6.415	8.465	10.082	11.979	13.533

ตารางที่ 4.16 ข้อมูลความชื้นของดินลูกรังครั้งที่ 2

Moisture can no.	1	2	3	4	5
Assume water content (%)	6	8	10	12	14
Weight of soil + mold (g)	5707	5827	5898	5845	5778
Weight of mold (g)	3727	3727	3727	3727	3727
Water content (%)	6.415	8.465	10.082	11.979	13.533
Weight of soil in mold (g)	1980	2100	2171	2118	2051
Wet density (g/cm^3)	1.511	1.603	1.657	1.616	1.565
Dry density (g/cm^3)	1.420	1.478	1.505	1.444	1.379

ตารางที่ 4.17 ข้อมูล Compaction ของดินลูกรังครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.10 กราฟ Compaction ของดินลูกรังครั้งที่ 2

จากกราฟได้ค่า Optimum Moisture Content = 10%, Dry Density = 2.252 g/cm^3

ดังนั้น ค่าเฉลี่ย Optimum Moisture Content ของทั้งสองครั้ง = (9.5 + 10)/2 = 9.75%

ค่าเฉลี่ย Dry Density = (1.36 + 1.5)/2 = 1.431 g/cm^3

4.3.2 ผลการทดสอบค่า Compaction ของเถ้าลอย

ครั้งที่ 1

Height of mold =	11.744	cm
Diameter of mold =	10.118	cm
Volume of mold =	943.79	cm^3

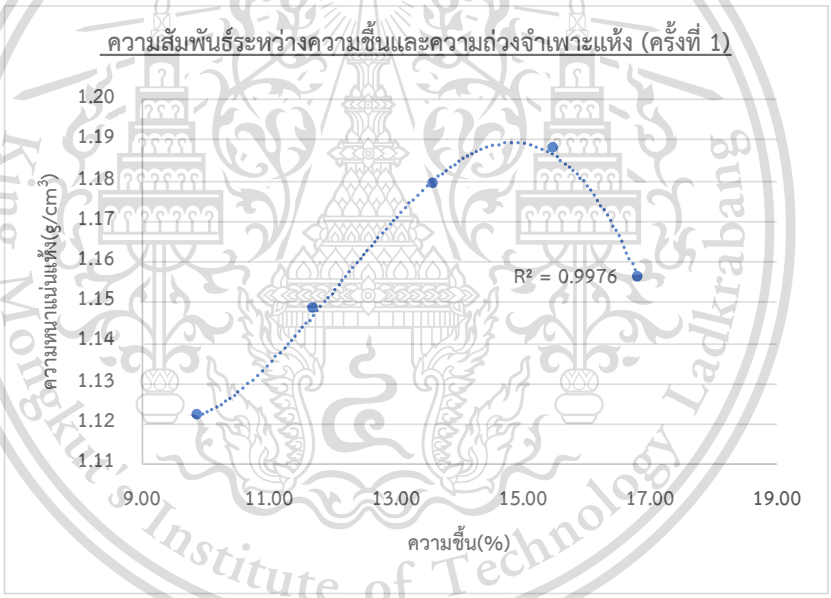
Moisture can no.	1	2	3	4	5
Weight of can + wet soil (g)	68.22	59.27	73.86	77.23	106.18
Weight of can + dry soil (g)	63.71	54.18	66.86	68.57	93.03
Weight of can (g)	18	10.7	15.43	12.72	14.79
Weight of water (g)	4.51	5.09	7	8.66	13.15
Weight of dry soil (g)	45.71	43.48	51.43	55.85	78.24
Weight of content (%)	9.87	11.71	13.61	15.51	16.81

ตารางที่ 4.18 ข้อมูลความชื้นของเถ้าลอยครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Moisture can no.	1	2	3	4	5
Assume water content (%)	8	10	12	14	16
Weight of soil + mold (g)	5472	5544	5625	5672	5641
Weight of mold (g)	3705	3705	3705	3705	3705
Water content (%)	9.87	11.71	13.61	15.51	16.81
Weight of soil in mold (g)	1767	1839	1920	1967	1936
Wet density (g/cm^3)	1.23	1.28	1.34	1.37	1.35
Dry density (g/cm^3)	1.12	1.15	1.18	1.19	1.16

ตารางที่ 4.19 ข้อมูล Compaction ของเถ้าลอยครั้งที่ 1



รูปที่ 4.11 กราฟ Compaction ของเถ้าลอยครั้งที่ 1

จากกราฟได้ค่า Optimum Moisture Content = 15% ,Dry Density = 1.19 g/cm^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

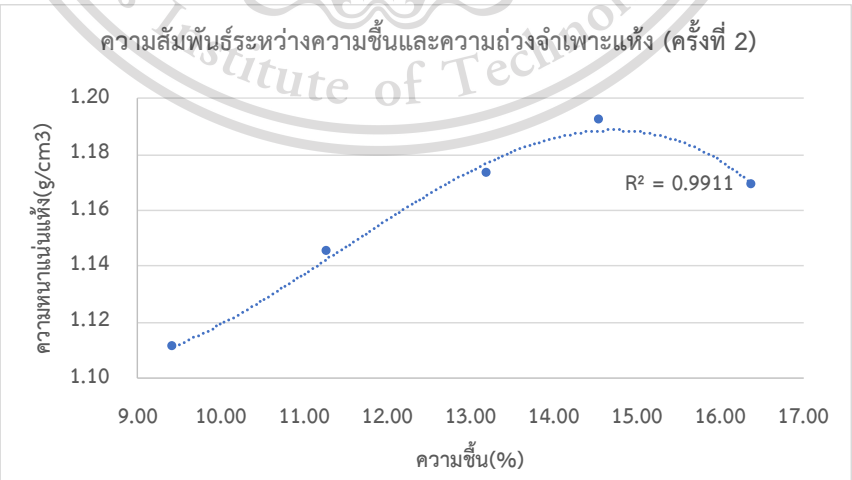
ครั้งที่ 2

Moisture can no.	1	2	3	4	5
Weight of can + wet soil (g)	76.32	65.63	71.34	83.7	82.11
Weight of can + dry soil (g)	70.94	60.66	64.54	74.98	72.77
Weight of can (g)	13.91	16.6	13.06	15.11	15.75
Weight of water (g)	5.38	4.97	6.8	8.72	9.34
Weight of dry soil (g)	57.03	44.06	51.48	59.87	57.02
Weight of content (%)	9.43	11.28	13.21	14.56	16.38

ตารางที่ 4.20 ข้อมูลความชื้นของเถ้าลอยครั้งที่ 2

Moisture can no.	1	2	3	4	5
Assume water content (%)	8	10	12	14	16
Weight of soil + mold (g)	5453	5537	5614	5668	5661
Weight of mold (g)	3710	3710	3710	3710	3710
Water content (g)	9.43	11.28	13.21	14.56	16.38
Weight of soil in mold (g)	1743	1827	1904	1958	1951
Wet density (g/cm^3)	1.22	1.27	1.33	1.37	1.36
Dry density (g/cm^3)	1.11	1.14	1.17	1.19	1.17

ตารางที่ 4.21 ข้อมูล Compaction ของเถ้าลอยครั้งที่ 2



รูปที่ 4.12 กราฟ Compaction ของเถ้าลอยครั้งที่ 2

จากกราฟได้ค่า Optimum Moisture Content = 14.9%, Dry Density = 1.19 g/cm^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

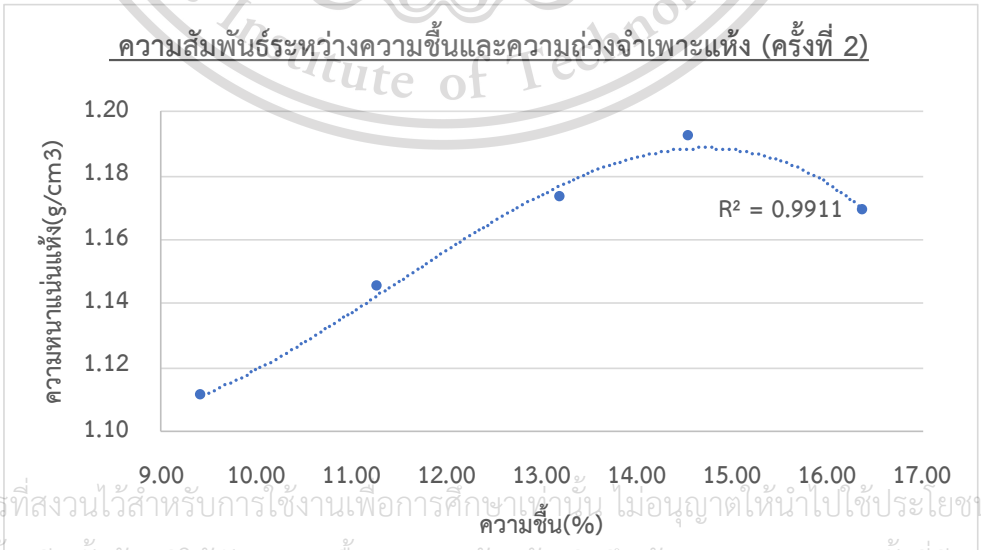
ครั้งที่ 3

Moisture can no.	1	2	3	4	5
Weight of can + wet soil (g)	78.73	50.79	73.35	96.74	110.2
Weight of can + dry soil (g)	72.91	46.77	66.22	85.75	95.41
Weight of can (g)	15.61	14.74	13.97	14.34	12.79
Weight of water (g)	5.82	4.02	7.13	10.99	14.79
Weight of dry soil (g)	57.3	32.03	52.25	71.41	82.62
Weight of content (%)	10.16	12.55	13.65	15.39	17.90

ตารางที่ 4.22 ข้อมูลความชื้นของเถ้าลอยครั้งที่ 3

Moisture can no.	1	2	3	4	5
Assume water content (%)	8	10	12	14	16
Weight of soil + mold (g)	5494	5562	5648	5684	5649
Weight of mold (g)	3710	3710	3710	3710	3710
Water content (g)	10.16	12.55	13.65	15.39	17.90
Weight of soil in mold (g)	1784	1852	1938	1974	1939
Wet density (g/cm^3)	1.24	1.29	1.35	1.38	1.35
Dry density (g/cm^3)	1.13	1.15	1.19	1.19	1.15

ตารางที่ 4.23 ข้อมูล Compaction ของเถ้าลอยครั้งที่ 3



รูปที่ 4.13 กราฟ Compaction ของเถ้าลอยครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for education purposes only and not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากกราฟได้ค่า Optimum Moisture Content = 15.1%, Dry Density = 1.195 g/cm^3

ดังนั้น ค่าเฉลี่ย Optimum Moisture Content ของทั้งสามครั้ง = (15+14.9+15.1)/3 = 15%

ค่าเฉลี่ย Dry Density = (1.19+1.19+1.95)/3 = 1.192 g/cm^3

4.3.3 ผลการทดสอบค่า Compaction ของเถ้าลอย 10% ผสมกับดินลูกรัง 90%

ครั้งที่ 1

Height of mold =	12.11	cm
Diameter of mold =	11.74	cm
Volume of mold =	1310.24	cm^3

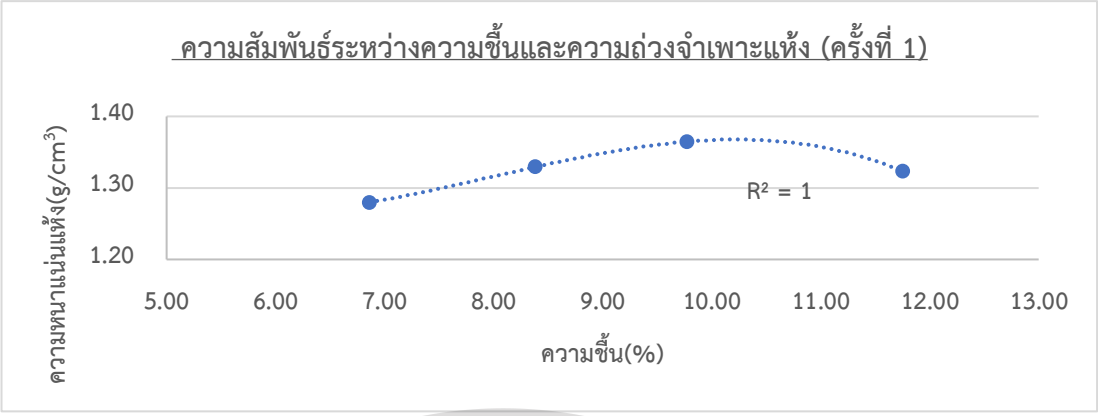
Moisture can no.	1	2	3	4
Weight of can + wet soil (g)	89.377	69.754	101.491	75.264
Weight of can + dry soil (g)	84.795	65.187	93.832	68.688
Weight of can (g)	18	10.7	15.43	12.72
Weight of water (g)	4.582	4.567	7.659	6.576
Weight of dry soil (g)	66.795	54.487	78.402	55.968
Weight of content (%)	6.86	8.38	9.77	11.75

ตารางที่ 4.24 ข้อมูลความชื้นของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% ครั้งที่ 1

Moisture can no.	1	2	3	4
Assume water content (%)	6	8	10	12
Weight of soil + mold (g)	5607	5712	5794	5767
Weight of mold (g)	3646	3646	3646	3646
Water content (%)	6.86	8.38	9.77	11.75
Weight of soil in mold (g)	1961	2066	2148	2121
Wet density (g/cm^3)	1.37	1.44	1.50	1.48
Dry density (g/cm^3)	1.28	1.33	1.36	1.32

ตารางที่ 4.25 ข้อมูล Compaction ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.14 กราฟ Compaction ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% ครั้งที่ 1

จากกราฟได้ค่า Optimum Moisture Content = 10.2%, Dry Density = 1.365 g/cm^3

ครั้งที่ 2

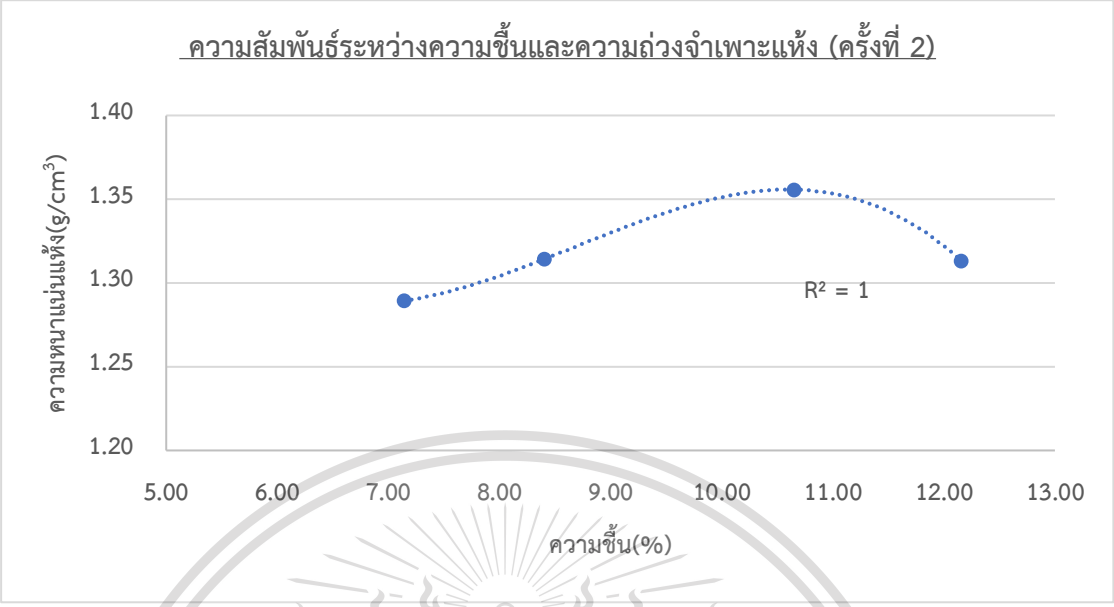
Moisture can no.	1	2	3	4
Weight of can + wet soil (g)	97.835	87.463	123.006	126.777
Weight of can + dry soil (g)	92.244	81.97	112.426	114.678
Weight of can (g)	13.91	16.6	13.06	15.11
Weight of water (g)	5.591	5.493	10.58	12.099
Weight of dry soil (g)	78.334	65.37	99.366	99.568
Weight of content (%)	7.14	8.40	10.65	12.15

ตารางที่ 4.26 ข้อมูลความชื้นของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% ครั้งที่ 2

Moisture can no.	1	2	3	4
Assume water content (%)	6	8	10	12
Weight of soil + mold (g)	5627	5689	5797	5758
Weight of mold (g)	3646	3646	3646	3646
Water content (g)	7.14	8.40	10.65	12.15
Weight of soil in mold (g)	1981	2043	2151	2112
Wet density (g/cm^3)	1.38	1.42	1.50	1.47
Dry density (g/cm^3)	1.29	1.31	1.36	1.31

ตารางที่ 4.27 ข้อมูล Compaction ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.15 กราฟ Compaction ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% ครั้งที่ 2

จากกราฟได้ค่า Optimum Moisture Content = 10.8%, Dry Density = 1.355 g/cm^3

ดังนั้น ค่าเฉลี่ย Optimum Moisture Content ของทั้งสองครั้ง = (10.2+10.8)/2 = 10.5%

ค่าเฉลี่ย Dry Density = (1.365+1.355)/2 = 1.360 g/cm^3

4.3.4 ผลการทดสอบค่า Compaction ของเถ้าลอย 20% ผสมดินลูกรัง 80%

ครั้งที่ 1

Height of mold =	12.11	cm
Diameter of mold =	11.74	cm
Volume of mold =	1310.24	cm^3

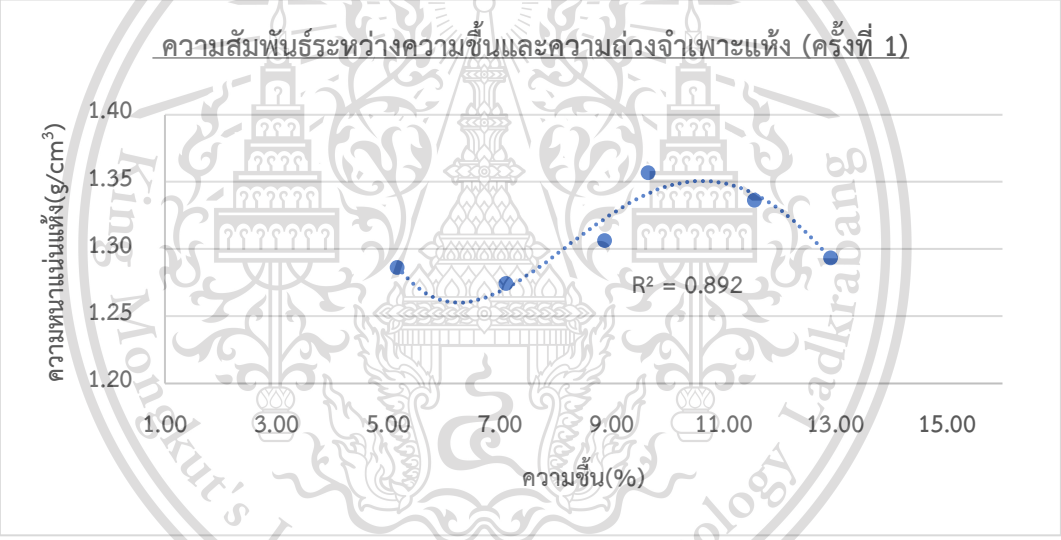
Moisture can no.	1	2	3	4	5	6
Weight of can + wet soil (g)	46.974	105.083	73.995	109.361	104.585	124.151
Weight of can + dry soil (g)	45.351	99.211	69.032	101.066	95.383	111.722
Weight of can (g)	13.91	16.6	13.06	15.11	15.75	15.52
Weight of water (g)	1.623	5.872	4.963	8.295	9.202	12.429
Weight of dry soil (g)	31.441	82.611	55.972	85.956	79.633	96.202
Weight of content (%)	5.16	7.11	8.87	9.65	11.56	12.92

ตารางที่ 4.28 ข้อมูลความชื้นของเถ้าลอย 20% ผสมกับดินลูกรัง 80% ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Moisture can no.	1	2	3	4	5	6
Assume water content (%)	5	7	9	11	13	15
Weight of soil + mold (g)	5586	5604	5686	5780	5784	5741
Weight of mold (g)	3646	3646	3646	3646	3646	3646
Water content (%)	5.16	7.11	8.87	9.65	11.56	12.92
Weight of soil in mold (g)	1940	1958	2040	2134	2138	2095
Wet density (g/cm3)	1.35	1.37	1.42	1.49	1.49	1.46
Dry density (g/cm3)	1.29	1.27	1.31	1.36	1.34	1.29

ตารางที่ 4.29 ข้อมูล Compaction ของเถ้าลอย 20% ผสมกับดินลูกรัง 80% ครั้งที่ 1



รูปที่ 4.16 กราฟ Compaction ของเถ้าลอย 20% ผสมกับดินลูกรัง 80% ครั้งที่ 1

จากกราฟได้ค่า Optimum Moisture Content = 10.5%, Dry Density = 1.377 g/cm^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

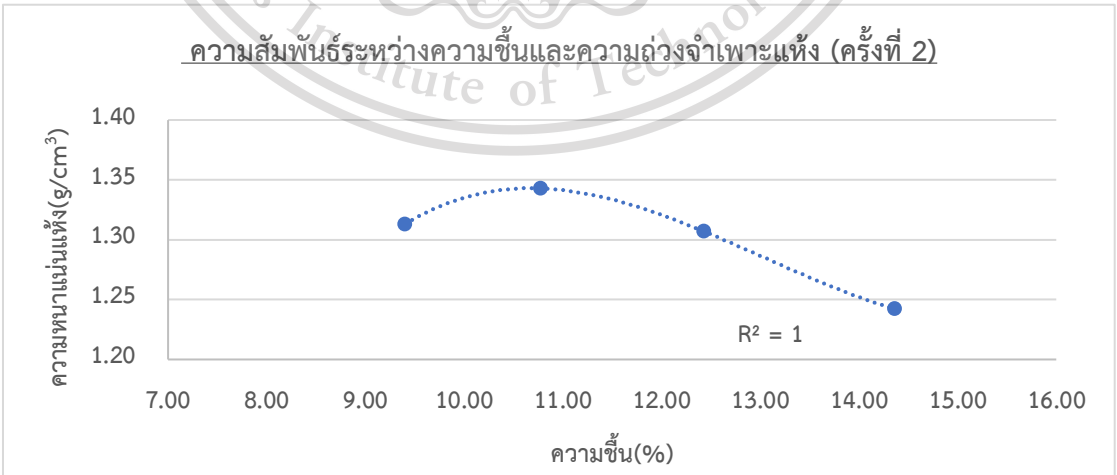
ครั้งที่ 2

Moisture can no.	1	2	3	4
Weight of can + wet soil (g)	117.106	105.462	95.389	108.111
Weight of can + dry soil (g)	108.383	96.637	86.389	96.337
Weight of can (g)	15.61	14.74	13.97	14.34
Weight of water (g)	8.723	8.825	9	11.774
Weight of dry soil (g)	92.773	81.897	72.419	81.997
Weight of content (%)	9.40	10.78	12.43	14.36

ตารางที่ 4.30 ข้อมูลความชื้นของเถ้าลอย 20% ผสมกับดินลูกรัง 80% ครั้งที่ 2

Moisture can no.	1	2	3	4
Assume water content (%)	9	11	13	15
Weight of soil + mold (g)	5706	5779	5753	5683
Weight of mold (g)	3646	3646	3646	3646
Water content (g)	9.40	10.78	12.43	14.36
Weight of soil in mold (g)	2060	2133	2107	2037
Wet density (g/cm^3)	1.44	1.49	1.47	1.42
Dry density (g/cm^3)	1.31	1.34	1.31	1.24

ตารางที่ 4.31 ข้อมูล Compaction ของเถ้าลอย 20% ผสมกับดินลูกรัง 80% ครั้งที่ 2



รูปที่ 4.17 กราฟ Compaction ของเถ้าลอย 20% ผสมกับดินลูกรัง 80% ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น รวมทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากกราฟได้ค่า Optimum Moisture Content = 10.9%, Dry Density = 1.341 g/cm^3

ดังนั้น ค่าเฉลี่ย Optimum Moisture Content ของทั้งสองครั้ง = (10.5+10.9)/2 = 10.7%

ค่าเฉลี่ย Dry Density = (1.377+1.341)/2 = 1.359 g/cm^3

4.3.5 ผลการทดสอบค่า Compaction ของเถ้าลอย 30% ผสมดินลูกรัง 70%

ครั้งที่ 1

Height of mold =	12.11	cm
Diameter of mold =	11.74	cm
Volume of mold =	1310.24	cm^3

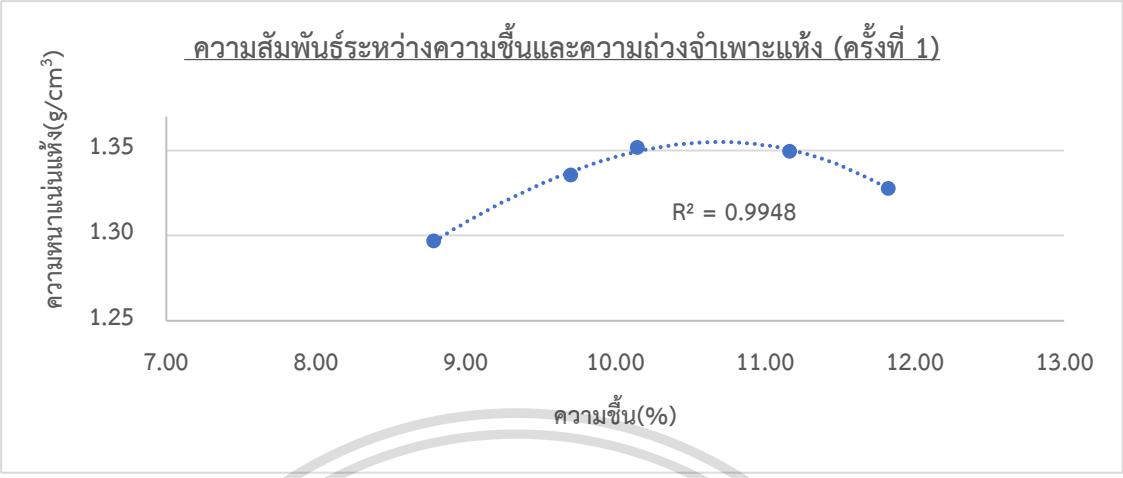
Moisture can no.	1	2	3	4	5
Weight of can + wet soil (g)	116.81	113.26	93.194	148.47	112.42
Weight of can + dry soil (g)	108.83	104.19	86.03	134.84	102.1
Weight of can (g)	18	10.7	15.43	12.72	14.79
Weight of water (g)	7.98	9.07	7.164	13.63	10.32
Weight of dry soil (g)	90.83	93.49	70.6	122.12	87.31
Weight of content (%)	8.79	9.70	10.15	11.16	11.82

ตารางที่ 4.32 ข้อมูลความชื้นของเถ้าลอย 30% ผสมกับดินลูกรัง 70% ครั้งที่ 1

Moisture can no.	1	2	3	4	5
Assume water content (%)	9	10	11	12	13
Weight of soil + mold (g)	5669	5747	5781	5797	5775
Weight of mold (g)	3646	3646	3646	3646	3646
Water content (%)	8.79	9.70	10.15	11.16	11.82
Weight of soil in mold (g)	2023	2101	2135	2151	2129
Wet density (g/cm^3)	1.41	1.47	1.49	1.50	1.48
Dry density (g/cm^3)	1.30	1.34	1.35	1.35	1.33

ตารางที่ 4.33 ข้อมูล Compaction ของเถ้าลอย 30% ผสมกับดินลูกรัง 70% ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.18 กราฟ Compaction ของเถ้าลอย 30% ผสมกับดินลูกรัง 70% ครั้งที่ 1

จากกราฟได้ค่า Optimum Moisture Content = 10.7%, Dry Density = 1.367 g/cm^3

ครั้งที่ 2

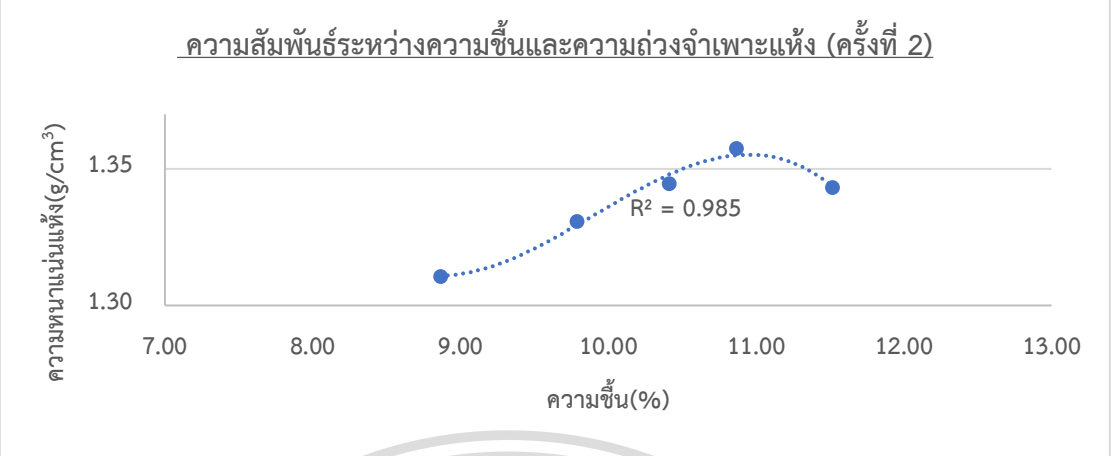
Moisture can no.	1	2	3	4	5
Weight of can + wet soil (g)	95.36	122.18	121.45	125.15	118.67
Weight of can + dry soil (g)	88.73	112.77	111.23	114.43	108.02
Weight of can (g)	13.91	16.6	13.06	15.75	15.52
Weight of water (g)	6.63	9.41	10.22	10.72	10.65
Weight of dry soil (g)	74.82	96.17	98.17	98.68	92.5
Weight of content (%)	8.86	9.78	10.41	10.86	11.51

ตารางที่ 4.34 ข้อมูลความชื้นของเถ้าลอย 30% ผสมกับดินลูกรัง 70% ครั้งที่ 2

Moisture can no.	1	2	3	4	5
Assume water content (%)	9	10	11	12	13
Weight of soil + mold (g)	5692	5741	5775	5804	5794
Weight of mold (g)	3646	3646	3646	3646	3646
Water content (g)	8.86	9.78	10.41	10.86	11.51
Weight of soil in mold (g)	2046	2095	2129	2158	2148
Wet density (g/cm^3)	1.43	1.46	1.48	1.50	1.50
Dry density (g/cm^3)	1.31	1.33	1.34	1.36	1.34

ตารางที่ 4.35 ข้อมูล Compaction ของเถ้าลอย 30% ผสมกับดินลูกรัง 70% ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



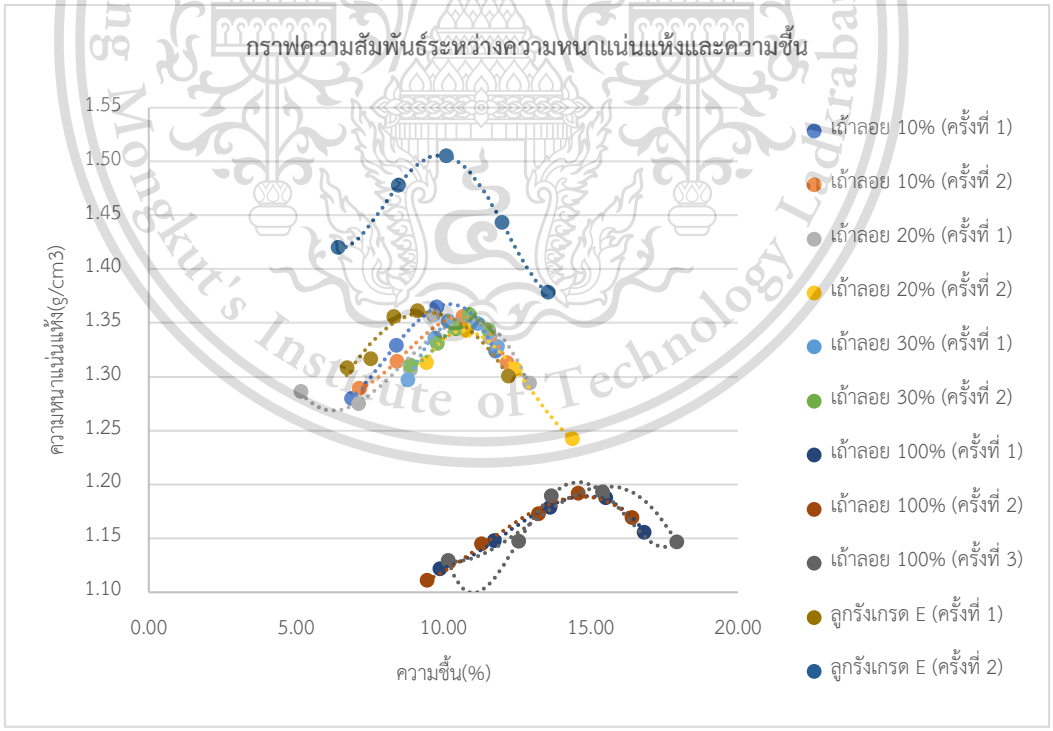
รูปที่ 4.19 กราฟ Compaction ของเถ้าลอย 30% ผสมกับดินลูกรัง 70% ครั้งที่ 2

จากกราฟได้ค่า Optimum Moisture Content = 11.1%, Dry Density = 1.355 g/cm^3

ดังนั้น ค่าเฉลี่ย Optimum Moisture Content ของทั้งสองครั้ง = (10.7+11.1)/2 = 10.9%

ค่าเฉลี่ย Dry Density = (1.367+1.355)/2 = 1.361 g/cm^3

จากการทดสอบทั้งหมด สามารถนำมาเขียนกราฟร่วมกันได้ดังนี้



รูปที่ 4.20 กราฟ Compaction ของเถ้าลอยผสมดินลูกรังในแต่ละกรณี

จากกราฟจะเห็นว่า OMC ของเถ้าลอยแต่ละ % = 10.2% - 11.1%

Dry Density = 1.341 g/cm^3 – 1.377 g/cm^3

จะเห็นว่าค่า OMC ไม่ต่างกันมากในแต่ละกรณี แสดงว่าเถ้าลอยไม่เกิดการดูดน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4 ผลการทดสอบค่า California Bearing Ratio(CBR)

4.4.1 ผลการทดสอบค่า CBR ของดินลูกรัง

4.4.1.1 ผลการทดสอบค่า CBR ของดินลูกรัง

Type of test : Modified	Surcharge Weight : 8.566 kg

Water Content Data						
Condition	Before Soaking			After Soaking		
Condition No.	1	2	3	1	2	3
Weight of wet soil + Container (g)	96.55	116.53	121.97	4588	5027	5534
Weight of dry soil + Container (g)	88.017	107.43	111.53	3971	4449	4986
Weight of Container (g)	10.7	18	15.567	307	423	478
Weight of Water (g)	8.533	9.099	10.441	617	578	548
Weight of Dry soil (g)	77.317	89.433	95.965	3664	4026	4508
Water Content (%)	11.04	10.17	10.88	16.84	14.36	12.16

ตารางที่ 4.36 ข้อมูลความชื้นของการทดสอบ CBR ของดินลูกรัง

Compaction Data						
Condition	Before Soaking			After Soaking		
Mold No.	1	2	3	1	2	3
Number of Blows per Layer (g)	12	25	56	12	25	56
Height of Mold (cm)	10.68	11.5	11.63	10.68	11.5	11.63
Diameter of Mold (cm)	15.26	15.22	15.2	15.26	15.22	15.2
Area of Mold (cm^2)	183	182	181	183	182	181
Volume of Mold (cm^3)	1952	2091	2109	1952	2091	2109
Weight of Mold + Compacted Soil (g)	11371	12066	12132	11659	12256	12256
Weight of Mold (g)	7291	7610	7350	7291	7610	7350
Wet Density (g/cm^3)	2.09	2.13	2.27	2.24	2.22	2.33
Dry Density (g/cm^3)	1.88	1.93	2.04	1.91	1.94	2.07

ตารางที่ 4.37 ข้อมูล Compaction ของการทดสอบ CBR ของดินลูกรัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Swell Data								
Mold No.			1		2		3	
Date	Time	Elapsed Time (hr)	Swell		Swell		Swell	
			(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
19/3/2564	14.00	0	20.6	0	34.21	0	0.991	0
23/3/2564	14.00	96	22.52	1.80	36.78	2.23	1.7018	0.67

ตารางที่ 4.38 ค่าการพองตัวของการทดสอบ CBR ของดินลูกรัง

Penetration Data									
Mold No.	1			2			3		
Penetration (in)	Load (lbs)	Load (kg)	Stress (ksc)	Load (lbs)	Load (kg)	Stress (ksc)	Load (lbs)	Load (kg)	Stress (ksc)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00
0.025	11.24	5.10	0.26	35.97	16.33	0.84	114.65	52.05	2.69
0.050	15.47	7.02	0.36	51.71	23.48	1.21	191.09	86.75	4.48
0.075	17.99	8.17	0.42	62.95	28.58	1.48	269.77	122.48	6.33
0.100	22.48	10.21	0.53	71.94	32.66	1.69	348.45	158.20	8.17
0.150	26.98	12.25	0.63	85.43	38.79	2.00	490.08	222.50	11.50
0.200	31.47	14.29	0.74	98.91	44.91	2.32	618.22	280.67	14.50
0.250	35.97	16.33	0.84	110.16	50.01	2.58	728.38	330.68	17.09
0.300	38.22	17.35	0.90	121.40	55.12	2.85	825.05	374.57	19.35
0.400	44.96	20.41	1.05	143.88	65.32	3.37	993.65	451.12	23.31
0.500	49.46	22.45	1.16	159.61	72.46	3.74	1146.5	520.52	26.89

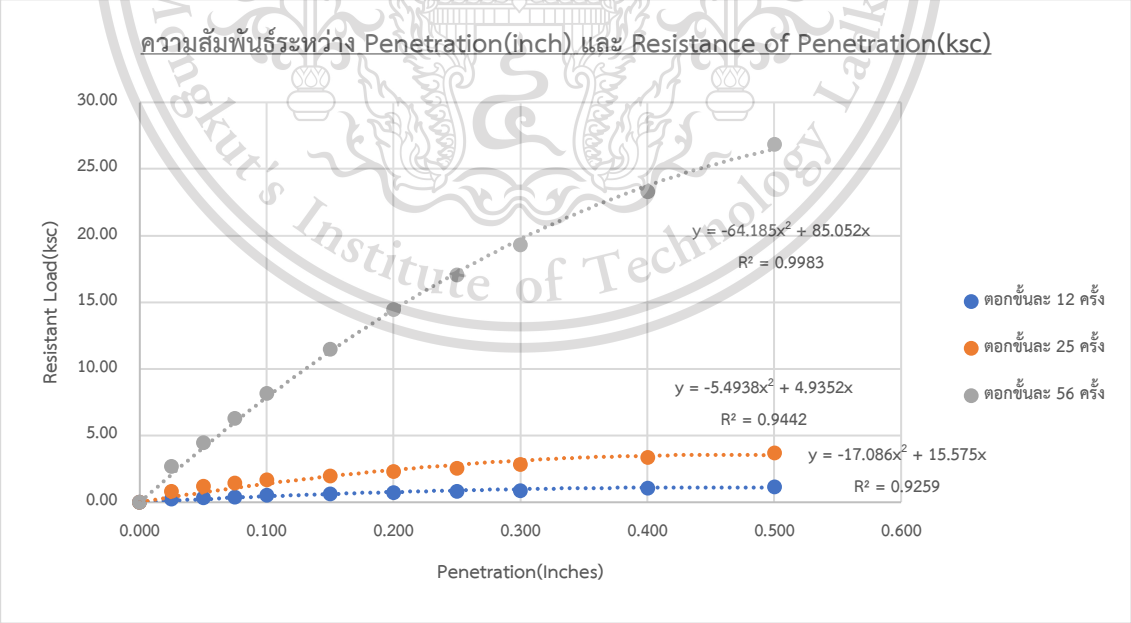
ตารางที่ 4.39 ค่าหลังการกดทดสอบ CBR ของดินลูกรัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Result of Test Data		
Compaction Method : Modified		
Hammer Weight : 4.54 kg	Height of Drop : 45.72 cm	Number of Layer : 5
Maximum Density(g/cm^3) : 2.07	%CBR at 95% of max dry density =	5.21

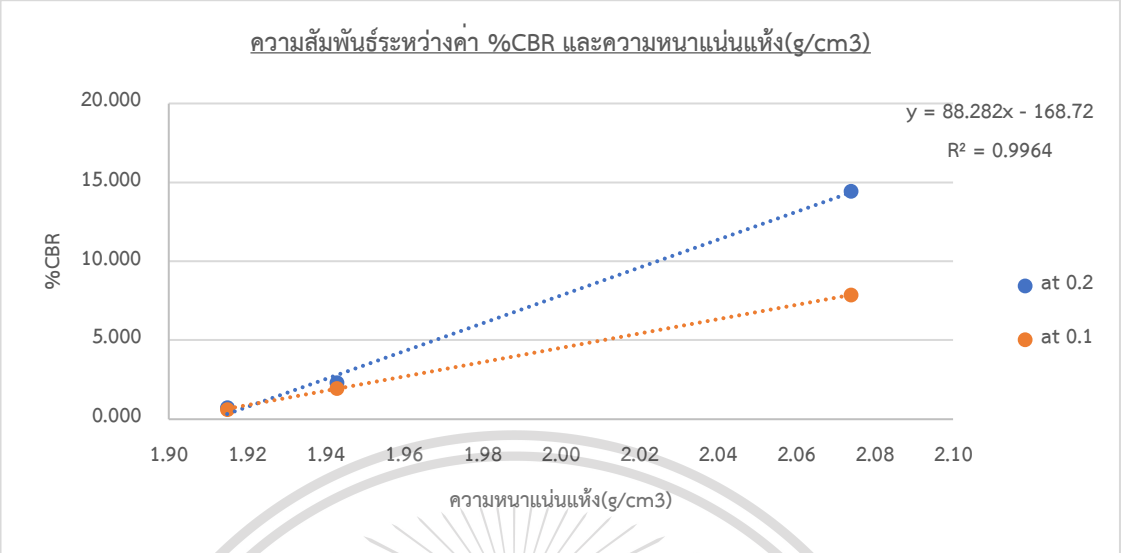
Mold No.	1	2	3
Number of blows per Layer	12	25	56
CBR at 0.1 in Penetration (%)	0.624	1.972	7.86
CBR at 0.2 in Penetration (%)	0.728	2.306	14.44
Dry Density (g/cm3)	1.91	1.94	2.07
Water Content (%)	16.84	14.36	12.16
Percent Swell (%)	1.80	2.23	0.67
Percent Absorbed (%)	0.03	0.01	0.03

ตารางที่ 4.40 ค่าผลการทดสอบ CBR ของดินลูกรัง



รูปที่ 4.21 กราฟผลการกดทดสอบ CBR ของดินลูกรัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.22 กราฟ %CBR ของดินลูกรัง

จากผลการทดลองจากการตอกทั้งสามจะเห็นว่า %CBR ที่ 0.2 นิ้ว มากกว่า %CBR ที่ 0.1 นิ้ว ดังนั้นรายงานผลที่ 0.2 นิ้ว จะได้ว่า

%CBR ที่ 95% ของความหนาแน่นแห้งสูงสุด = 88.282(0.95*2.07) – 168.72 = 5.21%

4.4.2 ผลการทดสอบค่า CBR ของเถ้าลอย

4.4.2.1 ผลการทดสอบค่า CBR ของเถ้าลอย (กระทุ้งชั้นละ 56 ครั้ง)

Type of test :	Modified	Surcharge Weight :	8.566 kg

Water Content Data						
Condition	Before Soaking			After Soaking		
Condition No.	1	2	3	1	2	3
Weight of wet soil + Container (g)	57.536	75.509	61.73	113.336	106.215	87.569
Weight of dry soil + Container (g)	52.25	68.033	56.09	99.278	93.662	77.616
Weight of Container (g)	14.49	15.52	14.96	14.55	14.83	14.16
Weight of Water (g)	5.286	7.476	5.64	14.058	12.553	9.953
Weight of Dry soil (g)	37.76	52.513	41.13	84.728	78.832	63.456
Water Content (%)	14.00	14.24	13.71	16.59	15.92	15.68

ตารางที่ 4.41 ข้อมูลความชื้นของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย (กระทุ้งชั้นละ 56 ครั้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Compaction Data						
Condition	Before Soaking			After Soaking		
Mold No.	1	2	3	1	2	3
Number of Blows per Layer (g)	56	56	56	56	56	56
Height of Mold (cm)	10.68	11.5	11.19	10.68	11.5	11.19
Diameter of Mold (cm)	15.26	15.22	15.16	15.26	15.22	15.16
Area of Mold (cm^2)	182.80	181.84	180.41	182.80	181.84	180.41
Volume of Mold (cm^3)	1952.3	2091.2	2018.8	1952.3	2091.2	2018.8
Weight of Mold + Compacted Soil (g)	11606	11931	11523	11743	12079	11616
Weight of Mold (g)	7291	7610	7179	7291	7610	7179
Wet Density (g/cm^3)	2.21	2.07	2.15	2.28	2.14	2.20
Dry Density (g/cm^3)	1.94	1.81	1.89	1.96	1.84	1.90

ตารางที่ 4.42 ข้อมูล Compaction ของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย (กระทุ้งชั้นละ 56 ครั้ง)

Swell Data								
Mold No.			1		2		3	
Date	Time	Elapsed Time(hr)	Swell		Swell		Swell	
			(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
15/2/2564	12.00	0	28.43	0	20.08	0	19.52	0
19/2/2564	12.00	96	28.64	0.20	20.28	0.17	19.97	0.30

ตารางที่ 4.43 ค่าการพองตัวของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย (กระทุ้งชั้นละ 56 ครั้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Penetration Data									
Mold No.	1			2			3		
Penetration (in)	Load (lbs)	Load (kg)	Stress (ksc)	Load (lbs)	Load (kg)	Stress (ksc)	Load (lbs)	Load (kg)	Stress (ksc)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	344.76	156.38	8.08	719.39	326.31	16.86	899.24	407.89	21.07
0.050	1074.58	487.42	25.18	1416.29	642.42	33.19	1845.68	837.19	43.25
0.075	1731.02	785.18	40.57	1951.33	885.11	45.73	2650.49	1202.24	62.12
0.100	2241.33	1016.65	52.53	2347.00	1064.58	55.00	3250.73	1474.51	76.18
0.150	3003.43	1362.33	70.39	3034.91	1376.61	71.12	4266.86	1935.42	100.00
0.200	3574.44	1621.34	83.77	3659.88	1660.09	85.77	5181.83	2350.44	121.44
0.250	4122.97	1870.15	96.62	4278.10	1940.51	100.26	6108.04	2770.56	143.14
0.300	4597.32	2085.31	107.74	4828.88	2190.34	113.17	6951.07	3152.95	162.90
0.400	5402.13	2450.36	126.60	5721.36	2595.17	134.08	8304.41	3766.82	194.62
0.500	5977.64	2711.41	140.09	6375.56	2891.91	149.41	9066.51	4112.50	212.48

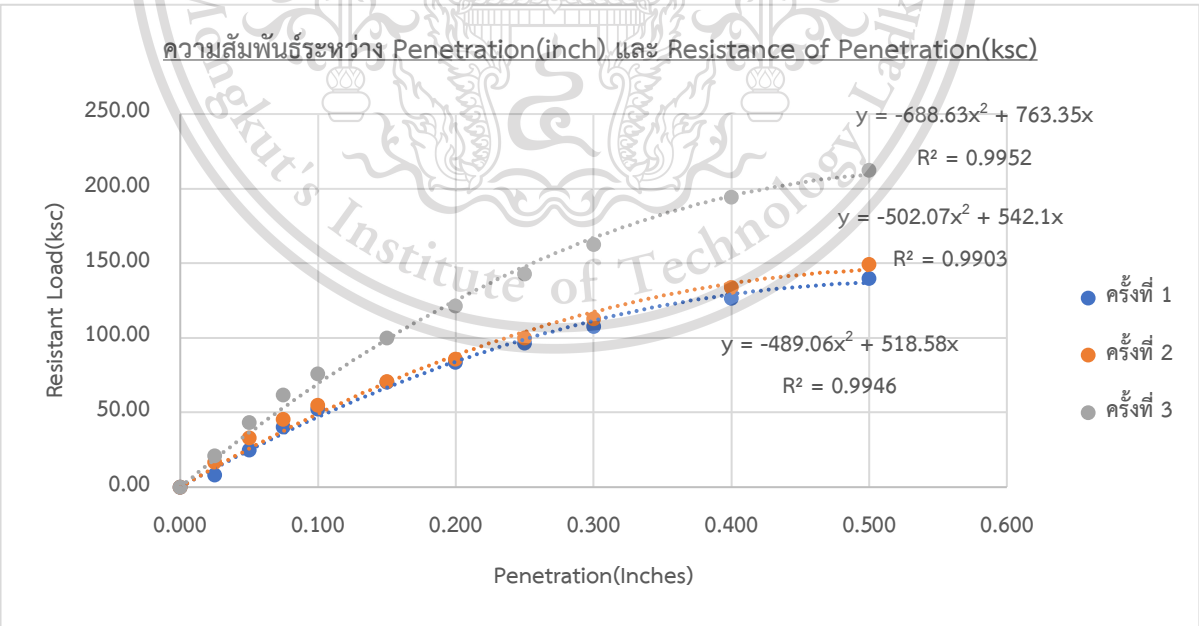
ตารางที่ 4.44 ค่าหลังการกดทดสอบ CBR ของเถ้าลอย (กระทุ้งชั้นละ 56 ครั้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Result of Test Data		
Compaction Method : Modified		
Hammer Weight : 4.54 kg	Height of Drop : 45.72 cm	Number of Layer : 5
Maximum Density(g/cm^3) : 1.96		

Mold No.	1	2	3	AVERAGE
Number of blows per Layer	56	56	56	56
CBR at 0.1 in Penetration (%)	66.80	69.96	98.78	78.52
CBR at 0.2 in Penetration (%)	79.80	83.76	118.65	94.07
Dry Density (g/cm^3)	1.96	1.84	1.90	1.90
Water Content (%)	16.59	15.92	15.68	16.07
Percent Swell (%)	0.20	0.17	0.30	0.22
Percent Absorbed (%)	2.59	1.69	1.97	2.08

ตารางที่ 4.45 ค่าผลการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย (กระทุ้งชั้นละ 56 ครั้ง)



รูปที่ 4.23 กราฟผลการกดทดสอบ CBR ของเถ้าลอย (กระทุ้งชั้นละ 56 ครั้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.2.2 ผลการทดสอบค่า CBR ของเถ้าลอย (กระทุ้งชั้นละ 12,25 ครั้ง)

Water Content Data				
Condition	Before Soaking		After Soaking	
Condition No.	5	6	5	6
Weight of wet soil + Container (g)	79.006	93.075	4030	4440
Weight of dry soil + Container (g)	69.638	81.964	3188	3639
Weight of Container (g)	14.79	14.49	498	495
Weight of Water (g)	9.368	11.111	842	801
Weight of Dry soil (g)	54.848	67.474	2690	3144
Water Content (%)	17.08	16.47	31.30	25.48

ตารางที่ 4.46 ข้อมูลความชื้นของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย (กระทุ้งชั้นละ 12,25 ครั้ง)

Compaction Data				
Condition	Before Soaking		After Soaking	
Mold No.	5	6	5	6
Number of Blows per Layer (g)	12	25	12	25
Height of Mold (cm)	11.62	11.7	11.62	11.7
Diameter of Mold (cm)	15.27	15.25	15.27	15.25
Area of Mold (cm^2)	183.04	182.56	183.04	182.56
Volume of Mold (cm^3)	2126.93	2135.97	2126.93	2135.97
Weight of Mold + Compacted Soil (g)	10832	10829	11281	11124
Weight of Mold (g)	7450	7094	7450	7094
Wet Density (g/cm^3)	1.59	1.75	1.80	1.89
Dry Density (g/cm^3)	1.36	1.50	1.37	1.50

ตารางที่ 4.47 ข้อมูล Compaction ของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย (กระทุ้งชั้นละ 12,25 ครั้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Swell Data						
Mold No.			5		6	
Date	Time	Elapsed Time(hr)	Swell		Swell	
			(mm)	(%)	(mm)	(%)
19/3/2564	14.00	0	38.14	0	18.93	0
23/3/2564	14.00	96	38.40	0.22	19.25	0.27

ตารางที่ 4.48 ค่าการพองตัวของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย (กระทุ้งชั้นละ 12,25 ครั้ง)

Penetration Data						
Mold No.	5			6		
Penetration (in)	Load (lbs)	Load (kg)	Stress (ksc)	Load (lbs)	Load (kg)	Stress (ksc)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	38.22	17.34	0.90	107.91	48.95	2.53
0.050	40.46	18.35	0.95	173.10	78.52	4.06
0.075	42.71	19.37	1.00	200.08	90.75	4.69
0.100	44.96	20.39	1.05	211.32	95.85	4.95
0.150	55.23	25.05	1.29	204.58	92.80	4.79
0.200	77.86	35.32	1.82	218.07	98.91	5.11
0.250	90.45	41.03	2.12	240.55	109.11	5.64
0.300	103.41	46.91	2.42	263.03	119.31	6.16
0.400	105.65	47.92	2.48	314.73	142.76	7.38
0.500	112.40	50.98	2.63	364.19	165.19	8.53

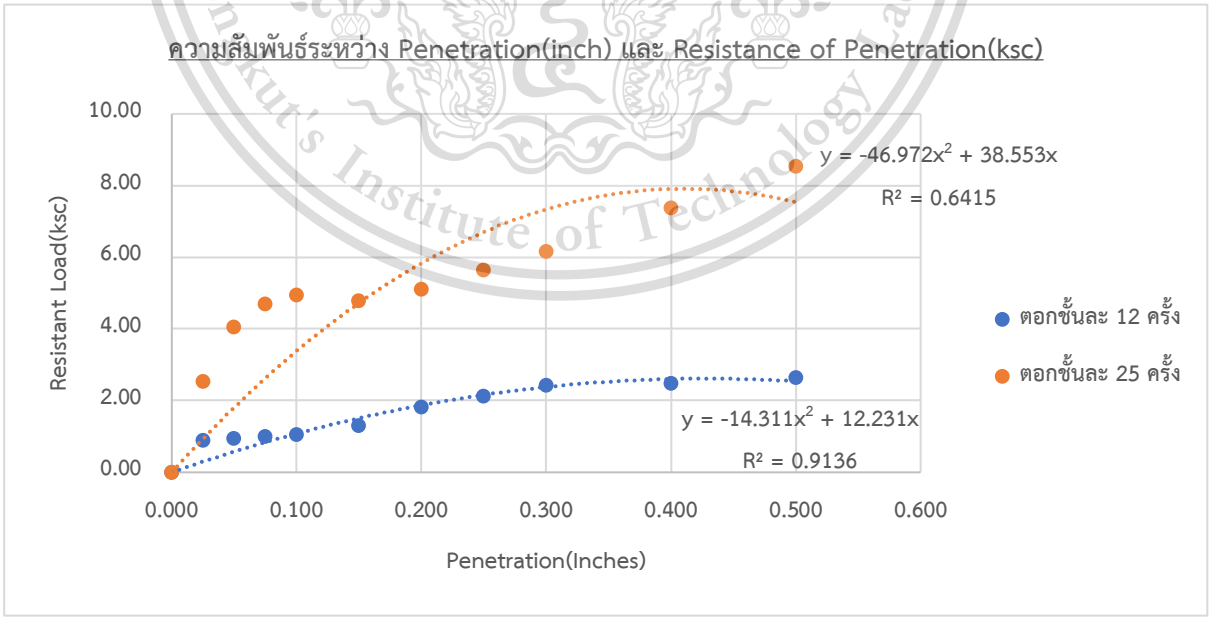
ตารางที่ 4.49 ค่าหลังการกดทดสอบ CBR ของเถ้าลอย (กระทุ้งชั้นละ 12,25 ครั้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Result of Test Data		
Compaction Method : Modified		
Hammer Weight : 4.54 kg	Height of Drop : 45.72 cm	Number of Layer : 5
Maximum Density(g/cm^3) : 1.90	%CBR at 95% of max dry density =	73.44

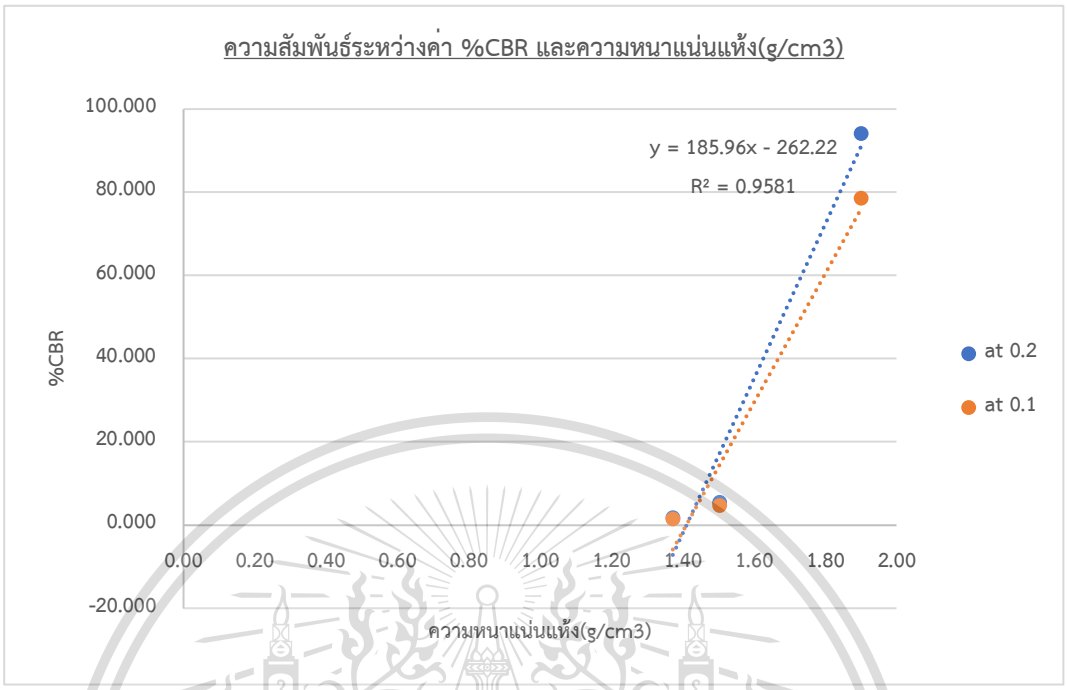
Mold No.	5	6	7
Number of blows per Layer	12	25	56
CBR at 0.1 in Penetration (%)	1.536	4.815	78.52
CBR at 0.2 in Penetration (%)	1.777	5.530	94.06
Dry Density (g/cm^3)	1.37	1.50	1.90
Water Content (%)	31.30	25.48	16.07
Percent Swell (%)	0.22	0.27	0.22
Percent Absorbed (%)	14.22	9.01	2.08

ตารางที่ 4.50 ค่าผลการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย (กระทุ้งชั้นละ 12,25,56 ครั้ง)



รูปที่ 4.24 กราฟผลการกดทดสอบ CBR ของเถ้าลอย (กระทุ้งชั้นละ 12,25 ครั้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.25 กราฟ %CBR ของเถ้าลอย (กระทุ้งชั้นละ 12,25,56 ครั้ง)

จากผลการทดลองจากการตอกทั้งสามจะเห็นว่า %CBR ที่ 0.2 นิ้ว มากกว่า %CBR ที่ 0.1 นิ้ว ดังนั้นรายงานผลที่ 0.2 นิ้ว จะได้ว่า

%CBR ที่ 95% ของความหนาแน่นแห้งสูงสุด = 185.96(0.95*1.9) – 262.22 = 73.44%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.3 ผลการทดสอบค่า CBR ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90%

4.4.3.1 ผลการทดสอบค่า CBR ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% (กระทุ้งชั้นละ 56 ครั้ง)

Type of test :	Modified	Surcharge Weight :	8.566 kg

Water Content Data						
Condition	Before Soaking			After Soaking		
Condition No.	1	2	3	1	2	3
Weight of wet soil + Container (g)	89.857	109.2	112.61	5286	5276	5193
Weight of dry soil + Container (g)	82.348	99.53	103.63	4787	4772	4695
Weight of Container (g)	15.61	14.74	13.97	524	495	487
Weight of Water (g)	7.509	9.672	8.98	499	504	498
Weight of Dry soil (g)	66.738	84.79	89.657	4263	4277	4208
Water Content (%)	11.25	11.41	10.02	11.71	11.78	11.83

ตารางที่ 4.51 ข้อมูลความชื้นของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% (กระทุ้งชั้นละ 56 ครั้ง)

Compaction Data						
Condition	Before Soaking			After Soaking		
Mold No.	1	2	3	1	2	3
Number of Blows per Layer (g)	56	56	56	56	56	56
Height of Mold (cm)	10.68	11.5	11.19	10.68	11.5	11.19
Diameter of Mold (cm)	15.26	15.22	15.16	15.26	15.22	15.16
Area of Mold (cm^2)	182.80	181.84	180.41	182.80	181.84	180.41
Volume of Mold (cm^3)	1952.3	2091.2	2018.8	1952.3	2091.2	2018.8
Weight of Mold + Compacted Soil (g)	12021	12367	11896	12077	12418	11940
Weight of Mold (g)	7291	7610	7179	7291	7610	7179
Wet Density (g/cm^3)	2.42	2.27	2.34	2.45	2.30	2.36
Dry Density (g/cm^3)	2.18	2.04	2.12	2.19	2.06	2.11

ตารางที่ 4.52 ข้อมูล Compaction ของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% (กระทุ้งชั้นละ 56 ครั้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Swell Data								
Mold No.			1		2		3	
Date	Time	Elapsed Time(hr)	Swell		Swell		Swell	
			(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
12/3/2564	14.25	0	20.09	0	21.47	0	29.76	0
16/3/2564	14.25	96	20.20	0.10	21.83	0.31	30.60	0.55

ตารางที่ 4.53 ค่าการพองตัวของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 10%
ผสมดินลูกรัง 90% (กระทุ้งชั้นละ 56 ครั้ง)

Penetration Data									
Mold No.	1			2			3		
Penetration (in)	Load (lbs)	Load (kg)	Stress (ksc)	Load (lbs)	Load (kg)	Stress (ksc)	Load (lbs)	Load (kg)	Stress (ksc)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	65.20	29.57	1.53	65.19	29.57	1.53	53.95	24.47	1.26
0.050	132.64	60.16	3.11	128.14	58.12	3.00	103.41	46.91	2.42
0.075	193.34	87.70	4.53	195.58	88.71	4.58	148.37	67.30	3.48
0.100	251.79	114.21	5.90	260.78	118.29	6.11	195.58	88.71	4.58
0.150	355.20	161.12	8.32	366.44	166.21	8.59	285.50	129.50	6.69
0.200	449.62	203.94	10.54	454.11	205.98	10.64	366.43	166.21	8.59
0.250	537.29	243.71	12.59	532.79	241.67	12.49	438.37	198.84	10.27
0.300	620.47	281.44	14.54	604.73	274.30	14.17	501.32	227.39	11.75
0.400	773.34	350.78	18.12	737.37	334.47	17.28	606.98	275.32	14.22
0.500	984.65	446.63	23.08	856.52	388.51	20.07	701.40	318.15	16.44

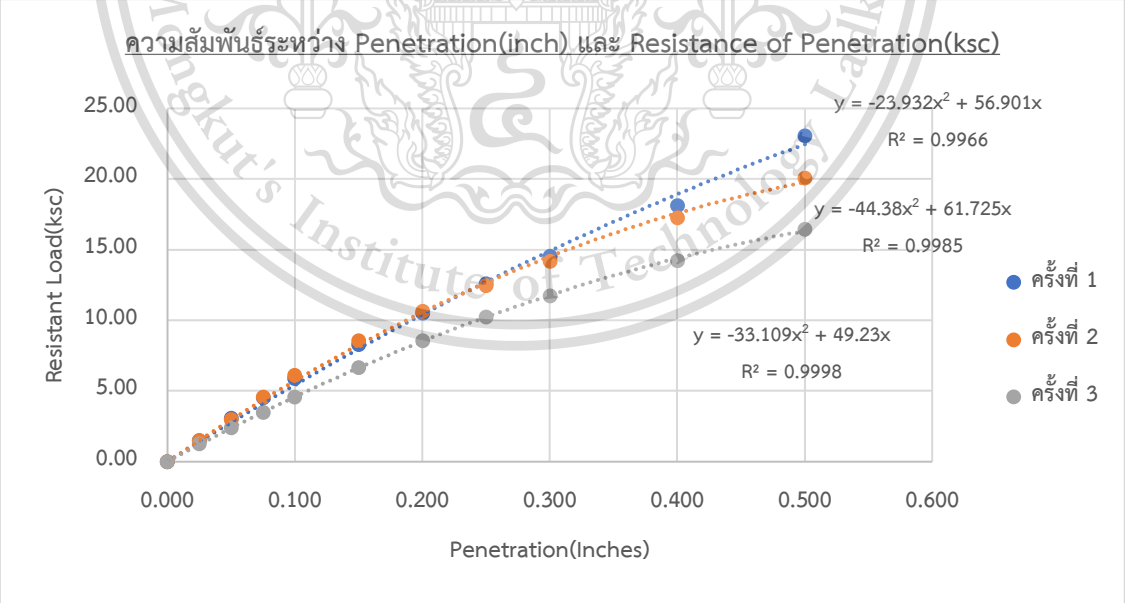
ตารางที่ 4.54 ค่าหลังการกดทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 10%
ผสมดินลูกรัง 90% (กระทุ้งชั้นละ 56 ครั้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Result of Test Data		
Compaction Method : Modified		
Hammer Weight : 4.54 kg	Height of Drop : 45.72 cm	Number of Layer : 5
Maximum Density (g/cm^3) : 2.19		

Mold No.	1	2	3	AVERAGE
Number of blows per Layer	56	56	56	56
CBR at 0.1 in Penetration (%)	7.753	8.148	6.531	7.48
CBR at 0.2 in Penetration (%)	14.825	15.034	12.121	13.99
Dry Density (g/cm^3)	2.19	2.06	2.11	2.12
Water Content (%)	11.71	11.78	11.83	11.77
Percent Swell (%)	0.10	0.31	0.55	0.32
Percent Absorbed (%)	0.45	0.38	1.82	0.88

ตารางที่ 4.55 ค่าผลการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% (กระทุ้งชั้นละ 56 ครั้ง)



รูปที่ 4.26 กราฟผลการกดทดสอบ CBR เถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% (กระทุ้งชั้นละ 56 ครั้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.3.2 ผลการทดสอบค่า CBR ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% (กระทุ้งชั้นละ 12,25 ครั้ง)

Water Content Data				
Condition	Before Soaking		After Soaking	
Condition No.	3	4	3	4
Weight of wet soil + Container (g)	109.164	130.326	4862	5200
Weight of dry soil + Container (g)	99.453	117.435	4272	4657
Weight of Container (g)	15.43	12.72	436	554
Weight of Water (g)	9.711	12.891	590	543
Weight of Dry soil (g)	84.023	104.715	3836	4103
Water Content (%)	11.56	12.31	15.38	13.23

ตารางที่ 4.56 ข้อมูลความชื้นของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% (กระทุ้งชั้นละ 12,25 ครั้ง)

Compaction Data				
Condition	Before Soaking		After Soaking	
Mold No.	3	4	3	4
Number of Blows per Layer (g)	12	25	12	25
Height of Mold (cm)	11.19	11.7	11.19	11.7
Diameter of Mold (cm)	15.16	15.29	15.16	15.29
Area of Mold (cm^2)	180.41	183.52	180.41	183.52
Volume of Mold (cm^3)	2018.82	2147.19	2018.82	2147.19
Weight of Mold + Compacted Soil (g)	11511	12103	11711	12218
Weight of Mold (g)	7179	7532	7179	7532
Wet Density (g/cm^3)	2.15	2.13	2.24	2.18
Dry Density (g/cm^3)	1.92	1.90	1.95	1.93

ตารางที่ 4.57 ข้อมูล Compaction ของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 10% ผสมดินลูกรัง 90% (กระทุ้งชั้นละ 12,25 ครั้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Swell Data						
Mold No.			3		4	
Date	Time	Elapsed Time(hr)	Swell		Swell	
			(mm)	(%)	(mm)	(%)
19/3/2564	14.25	0	22.83	0	28.65	0
23/3/2564	14.25	96	24.23	1.25	29.87	1.04

ตารางที่ 4.58 ค่าการพองตัวของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 10%
ผสมดินลูกรัง 90% (กระทุ้งชั้นละ 12,56 ครั้ง)

Penetration Data						
Mold No.	3			4		
Penetration (in)	Load (lbs)	Load (kg)	Stress (ksc)	Load (lbs)	Load (kg)	Stress (ksc)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	40.47	18.36	0.95	78.68	35.69	1.84
0.050	67.44	30.59	1.58	155.11	70.36	3.64
0.075	87.68	39.77	2.05	209.07	94.83	4.90
0.100	101.16	45.89	2.37	256.28	116.25	6.01
0.150	125.89	57.10	2.95	332.71	150.91	7.80
0.200	146.13	66.28	3.42	391.16	177.43	9.17
0.250	164.11	74.44	3.85	438.37	198.84	10.27
0.300	177.60	80.56	4.16	483.33	219.23	11.33
0.400	206.82	93.81	4.85	559.77	253.91	13.12
0.500	231.55	105.03	5.43	631.71	286.54	14.80

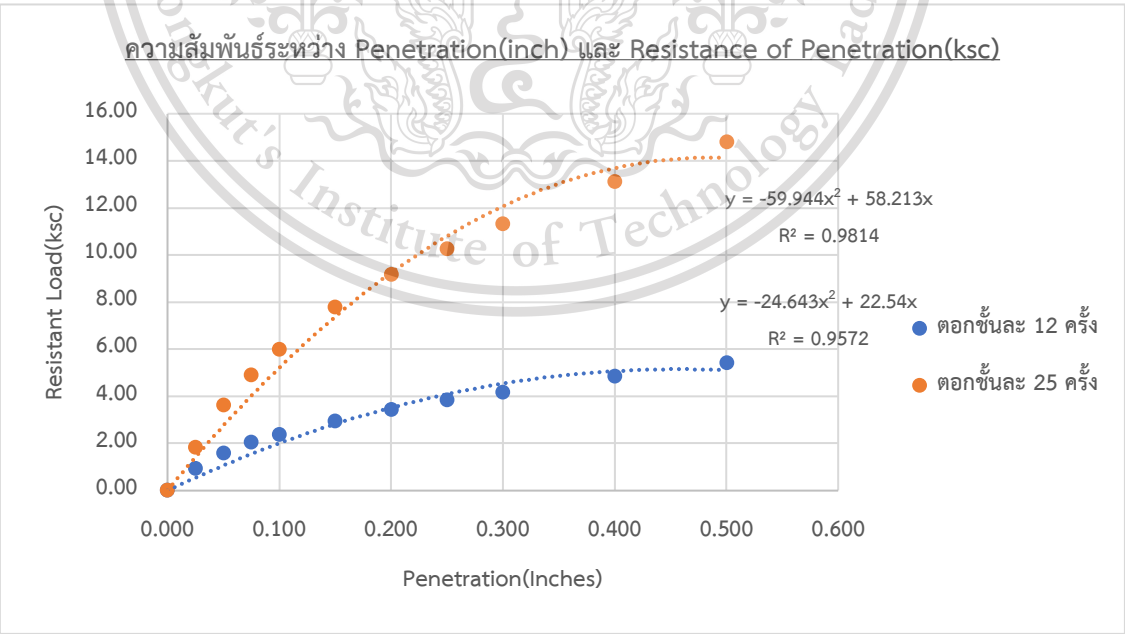
ตารางที่ 4.59 ค่าหลังการกดทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 10%
ผสมดินลูกรัง 90% (กระทุ้งชั้นละ 12,25 ครั้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Result of Test Data		
Compaction Method : Modified		
Hammer Weight : 4.54 kg	Height of Drop : 45.72 cm	Number of Layer : 5
Maximum Density(g/cm^3) : 2.12	%CBR at 95% of max dry density =	11.10

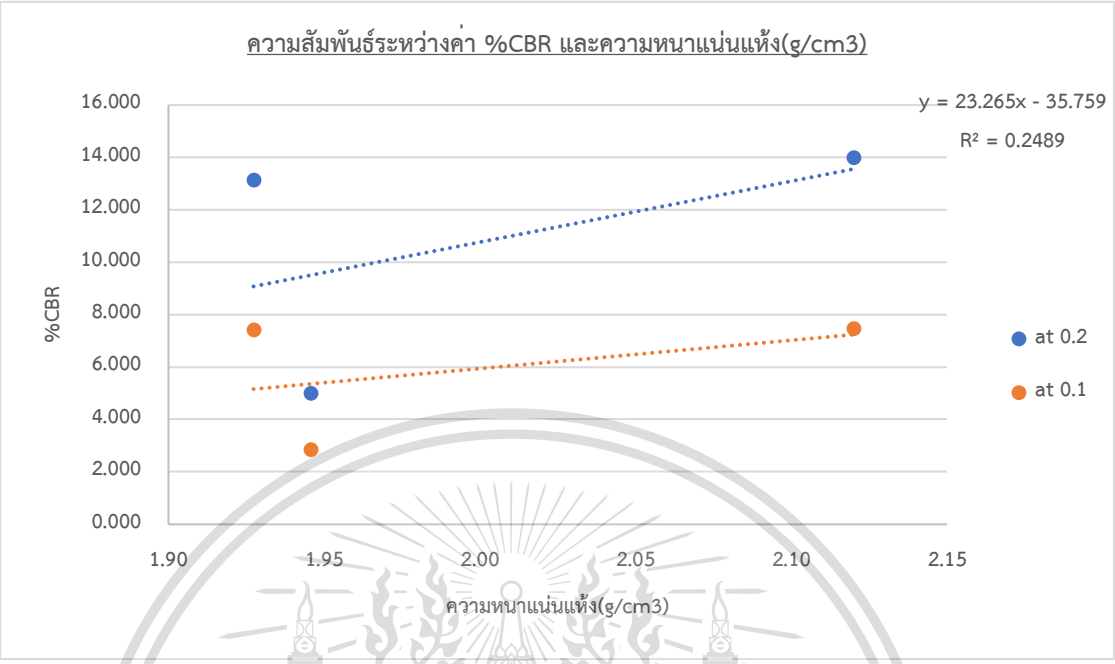
Mold No.	3	4	5
Number of blows per Layer	12	25	56
CBR at 0.1 in Penetration (%)	2.855	7.427	7.48
CBR at 0.2 in Penetration (%)	5.010	13.149	13.99
Dry Density (g/cm^3)	1.95	1.93	2.12
Water Content (%)	15.38	13.23	11.77
Percent Swell (%)	1.25	1.04	0.32
Percent Absorbed (%)	3.82	0.92	0.88

ตารางที่ 4.60 ค่าผลการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 10%
ผสมดินลูกรัง 90% (กระทุ้งชั้นละ 12,25,56 ครั้ง)



รูปที่ 4.27 กราฟผลการกดทดสอบ CBR เถ้าลอย 10%
ผสมดินลูกรัง 90% (กระทุ้งชั้นละ 12,25 ครั้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.28 กราฟ %CBR ของเถ้าลอย 10% ผสมกับดินลูกรัง 90% (กระทุ้งชั้นละ 12,25,56 ครั้ง)

จากผลการทดลองจากการตอกทั้งสามจะเห็นว่า %CBR ที่ 0.2 นิ้ว มากกว่า %CBR ที่ 0.1 นิ้ว ดังนั้นรายงานผลที่ 0.2 นิ้ว จะได้ว่า

%CBR ที่ 95% ของความหนาแน่นแห้งสูงสุด = 23.265(0.95*2.12) – 35.759 = 11.10%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.4 ผลการทดสอบค่า CBR ของเถ้าลอย 20% ผสมดินลูกรัง 80%

Type of test : Modified	Surcharge Weight : 8.566 kg

Water Content Data						
Condition	Before Soaking			After Soaking		
Condition No.	1	2	3	1	2	3
Weight of wet soil + Container (g)	124.363	107.321	110.108	4715	5151	5210
Weight of dry soil + Container (g)	113.202	97.82	101.168	4085	4586	4708
Weight of Container (g)	18	10.7	15.43	307	423	436
Weight of Water (g)	11.161	9.501	8.94	630	565	502
Weight of Dry soil (g)	95.202	87.12	85.738	3778	4163	4272
Water Content (%)	11.72	10.91	10.43	16.68	13.57	11.75

ตารางที่ 4.61 ข้อมูลความชื้นของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 20% ผสมกับดินลูกรัง 80%

Compaction Data						
Condition	Before Soaking			After Soaking		
Mold No.	1	2	3	1	2	3
Number of Blows per Layer (g)	12	25	56	12	25	56
Height of Mold (cm)	10.68	11.5	11.19	10.68	11.5	11.19
Diameter of Mold (cm)	15.26	15.22	15.16	15.26	15.22	15.16
Area of Mold (cm^2)	182.80	181.84	180.41	182.80	181.84	180.41
Volume of Mold (cm^3)	1952.3	2091.2	2018.8	1952.3	2091.2	2018.8
Weight of Mold + Compacted Soil (g)	11541	12247	11929	11785	12367	11979
Weight of Mold (g)	7291	7610	7179	7291	7610	7179
Wet Density (g/cm^3)	2.18	2.22	2.35	2.30	2.27	2.38
Dry Density (g/cm^3)	1.95	2.00	2.13	1.97	2.00	2.13

ตารางที่ 4.62 ข้อมูล Compaction ของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 20% ผสมกับดินลูกรัง 80%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Swell Data								
Mold No.			1		2		3	
Date	Time	Elapsed Time(hr)	Swell		Swell		Swell	
			(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
25/3/2564	15.00	0	21.24	0	36.23	0	20.8	0
29/3/2564	15.00	96	23.46	2.08	38.11	1.63	22.63	1.21

ตารางที่ 4.63 ค่าการพองตัวของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 20% ผสมกับดินลูกรัง 80%

Penetration Data									
Mold No.	1			2			3		
Penetration (in)	Load (lbs)	Load (kg)	Stress (ksc)	Load (lbs)	Load (kg)	Stress (ksc)	Load (lbs)	Load (kg)	Stress (ksc)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	65.19	29.57	1.53	206.82	93.81	4.85	231.56	105.03	5.43
0.050	107.91	48.95	2.53	395.66	179.47	9.27	553.03	250.85	12.96
0.075	134.88	61.18	3.16	512.56	232.49	12.01	876.75	397.69	20.55
0.100	150.62	68.32	3.53	586.75	266.15	13.75	1162.26	527.19	27.24
0.150	179.85	81.58	4.21	692.41	314.07	16.23	1578.16	715.84	36.98
0.200	206.82	93.81	4.85	775.59	351.80	18.18	1881.65	853.50	44.10
0.250	227.06	102.99	5.32	843.03	382.39	19.76	2119.94	961.59	49.68
0.300	245.04	111.15	5.74	901.48	408.90	21.13	2320.02	1052.34	54.37
0.400	281.01	127.46	6.59	1011.64	458.87	23.71	2659.48	1206.32	62.33
0.500	312.48	141.74	7.32	1115.05	505.78	26.13	2951.73	1338.88	69.18

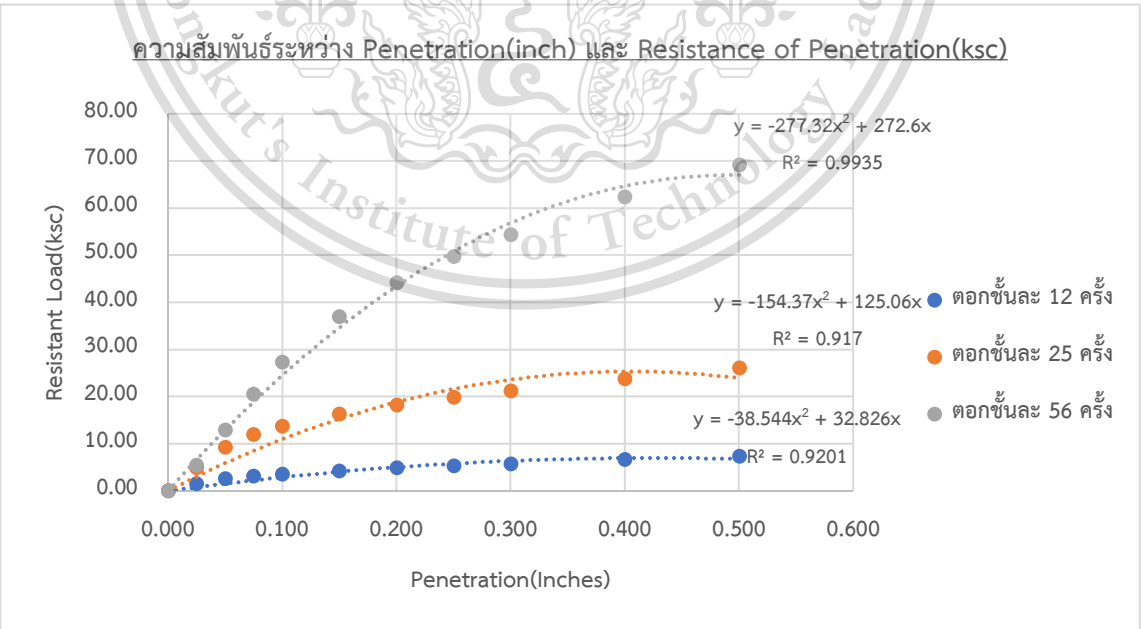
ตารางที่ 4.64 ค่าหลังการกดทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 20% ผสมกับดินลูกรัง 80%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Result of Test Data		
Compaction Method : Modified		
Hammer Weight : 4.54 kg	Height of Drop : 45.72 cm	Number of Layer : 5
Maximum Density(g/cm^3) : 2.13	%CBR at 95% of max dry density =	20.03

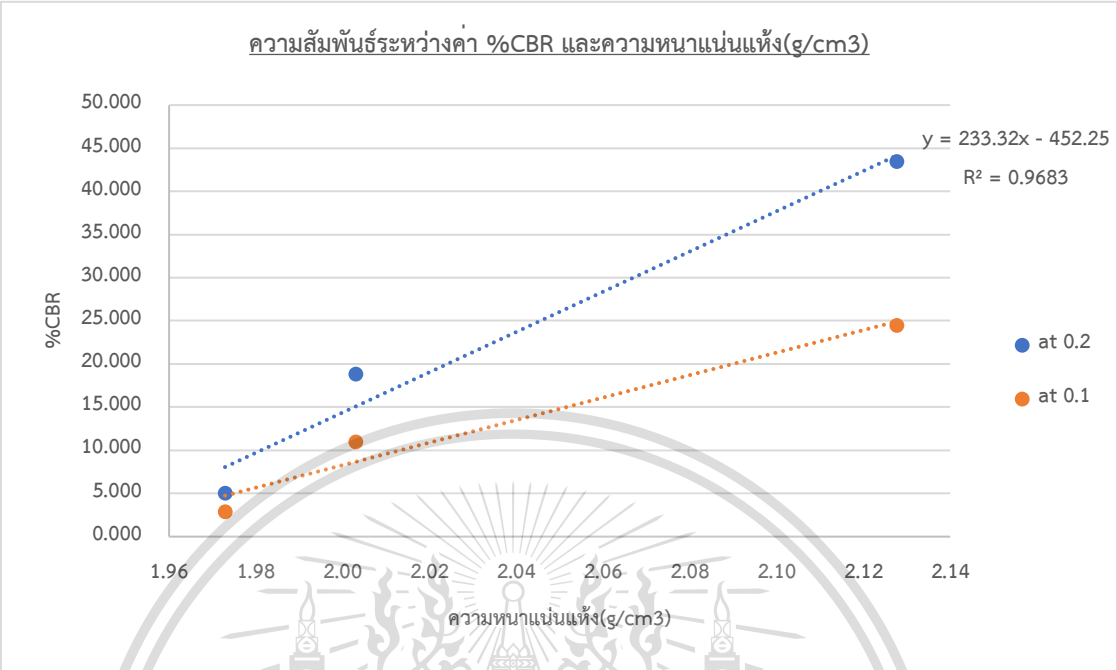
Mold No.	1	2	3
Number of blows per Layer	12	25	56
CBR at 0.1 in Penetration (%)	2.897	10.962	24.487
CBR at 0.2 in Penetration (%)	5.023	18.837	43.427
Dry Density (g/cm^3)	1.97	2.00	2.13
Water Content (%)	16.68	13.57	11.75
Percent Swell (%)	2.08	1.63	1.21
Percent Absorbed (%)	4.95	2.67	1.32

ตารางที่ 4.65 ค่าผลการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 20% ผสมกับดินลูกรัง 80%



รูปที่ 4.29 กราฟผลการกดทดสอบ CBR เถ้าลอย 20% ผสมกับดินลูกรัง 80%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.30 กราฟ %CBR ของเถ้าลอย 20% ผสมกับดินลูกรัง 80%

จากผลการทดลองจากการตอกทั้งสามจะเห็นว่า %CBR ที่ 0.2 นิ้ว มากกว่า %CBR ที่ 0.1 นิ้ว ดังนั้นรายงานผลที่ 0.2 นิ้ว จะได้ว่า

%CBR ที่ 95% ของความหนาแน่นแห้งสูงสุด = 233.32(0.95*2.13) – 452.25 = 20.03%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.5 ผลการทดสอบค่า CBR ของเถ้าลอย 30% ผสมดินลูกรัง 70%

Type of test : Modified	Surcharge Weight : 8.566 kg

Water Content Data						
Condition	Before Soaking			After Soaking		
Condition No.	4	5	6	4	5	6
Weight of wet soil + Container (g)	118.581	95.677	122.026	4812	5112	5266
Weight of dry soil + Container (g)	107.923	89.399	111.53	4149	4538	4751
Weight of Container (g)	12.72	14.79	14.49	487	608	547
Weight of Water (g)	10.658	6.278	10.496	663	574	515
Weight of Dry soil (g)	95.203	74.609	97.04	3662	3930	4204
Water Content (%)	11.20	8.41	10.82	18.10	14.61	12.25

ตารางที่ 4.66 ข้อมูลความชื้นของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 30% ผสมกับดินลูกรัง 70%

Compaction Data						
Condition	Before Soaking			After Soaking		
Mold No.	4	5	6	4	5	6
Number of Blows per Layer (g)	12	25	56	12	25	56
Height of Mold (cm)	11.7	11.62	11.7	11.7	11.62	11.7
Diameter of Mold (cm)	15.29	15.27	15.25	15.29	15.27	15.25
Area of Mold (cm^2)	183.52	183.04	182.56	183.52	183.04	182.56
Volume of Mold (cm^3)	2147.2	2127.0	2136.0	2147.2	2127.0	2136.0
Weight of Mold + Compacted Soil (g)	11689	11873	11785	11978	12025	11849
Weight of Mold (g)	7532	7450	7094	7532	7450	7094
Wet Density (g/cm^3)	1.94	2.08	2.20	2.07	2.15	2.23
Dry Density (g/cm^3)	1.74	1.92	1.98	1.75	1.88	1.98

ตารางที่ 4.67 ข้อมูล Compaction ของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 30% ผสมกับดินลูกรัง 70%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Swell Data								
Mold No.			1		2		3	
Date	Time	Elapsed Time(hr)	Swell		Swell		Swell	
			(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
25/3/2564	15.00	0	30.21	0	39.51	0	24.64	0
29/3/2564	15.00	96	32.01	1.54	41.36	1.59	26.38	1.14

ตารางที่ 4.68 ค่าการพองตัวของการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 30% ผสมกับดินลูกรัง 70%

Penetration Data									
Mold No.	1			2			3		
Penetration (in)	Load (lbs)	Load (kg)	Stress (ksc)	Load (lbs)	Load (kg)	Stress (ksc)	Load (lbs)	Load (kg)	Stress (ksc)
0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.025	78.69	35.69	1.84	249.54	113.19	5.85	258.53	117.27	6.06
0.050	141.63	64.24	3.32	584.50	265.12	13.70	825.05	374.24	19.34
0.075	175.35	79.54	4.11	782.34	354.86	18.33	1398.31	634.26	32.77
0.100	197.83	89.73	4.64	892.49	404.83	20.92	1877.15	851.46	43.99
0.150	227.06	102.99	5.32	1045.39	474.18	24.50	2567.31	1164.51	60.17
0.200	256.28	116.25	6.01	1164.51	528.21	27.29	3016.93	1368.46	70.70
0.250	281.01	127.46	6.59	1279.16	580.22	29.98	3320.42	1506.12	77.82
0.300	303.49	137.66	7.11	1396.06	633.24	32.72	3509.26	1591.77	82.24
0.400	339.46	153.98	7.96	1614.12	732.15	37.83	3871.20	1755.95	90.72
0.500	375.43	170.29	8.80	1796.22	814.75	42.10	4370.27	1982.32	102.42

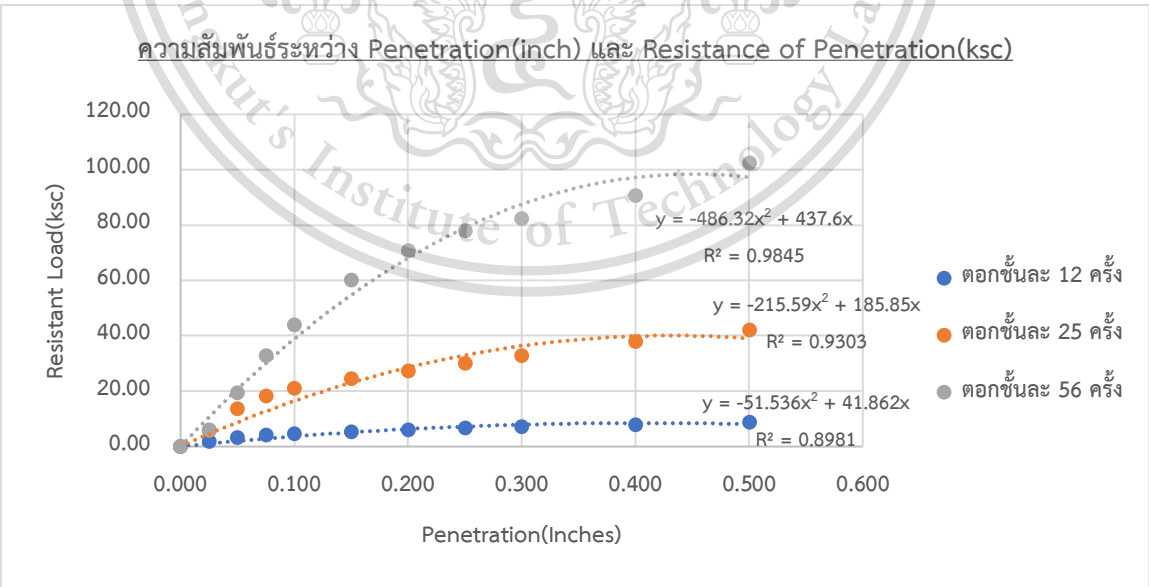
ตารางที่ 4.69 ค่าหลังการกดทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 30% ผสมกับดินลูกรัง 70%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Result of Test Data		
Compaction Method : Modified		
Hammer Weight : 4.54 kg	Height of Drop : 45.72 cm	Number of Layer : 5
Maximum Density(g/cm^3) : 1.98	%CBR at 95% of max dry density =	37.76

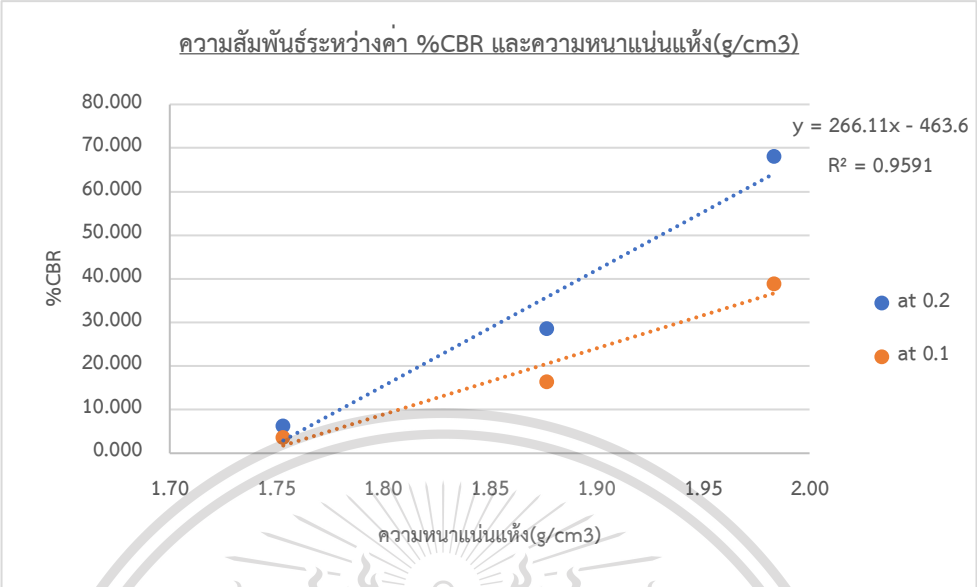
Mold No.	4	5	6
Number of blows per Layer	12	25	56
CBR at 0.1 in Penetration (%)	3.671	16.429	38.897
CBR at 0.2 in Penetration (%)	6.311	28.546	68.067
Dry Density (g/cm^3)	1.75	1.88	1.98
Water Content (%)	18.10	14.61	12.25
Percent Swell (%)	1.54	1.59	1.14
Percent Absorbed (%)	6.91	6.19	1.43

ตารางที่ 4.70 ค่าผลการทดสอบ CBR ของเถ้าลอย 30% ผสมกับดินลูกรัง 70%



รูปที่ 4.31 กราฟผลการกดทดสอบ CBR เถ้าลอย 30% ผสมกับดินลูกรัง 70%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.32 กราฟ %CBR ของเถ้าลอย 30% ผสมกับดินลูกรัง 70%

จากผลการทดลองจากการตอกทั้งสามจะเห็นว่า %CBR ที่ 0.2 นิ้ว มากกว่า %CBR ที่ 0.1 นิ้ว ดังนั้นรายงานผลที่ 0.2 นิ้ว จะได้ว่า

%CBR ที่ 95% ของความหนาแน่นแห้งสูงสุด = 266.11(0.95*1.98) – 463.6 = 37.76%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.5. สรุปผลการทดลอง

4.5.1 Atterberg's Limit

Condition	L.L. (%)	P.L. (%)	P.I. (%)
Fly Ashes 100%	-	22.58	-
Lateritic 100%	44.57	24.66	19.91
Fly Ashes 10% + Lateritic 90%	31.25	17.79	13.46
Fly Ashes 20% + Lateritic 80%	33.09	18.67	14.41
Fly Ashes 30% + Lateritic 70%	31.21	18.80	12.40

ตารางที่ 4.71 ผลการทดลอง Atterberg's Limit ของทุกเงื่อนไข

จากผลการทดลองพบว่าค่าต่างๆ ของการผสมเถ้าลอยกับดินลูกรังในแต่ละกรณีไม่ต่างกันมากดังนั้น สัดส่วนของเถ้าลอยที่ผสมกับดินลูกรังไม่มีผลต่อค่า L.L., P.L. และค่า P.I.

4.5.2 Compaction

Condition	Optimum Water Content (%)	Dry Density (g/cm^3)
Fly Ashes 100%	15.0	1.192
Lateritic 100%	9.8	1.431
Fly Ashes 10% + Lateritic 90%	10.5	1.360
Fly Ashes 20% + Lateritic 80%	10.7	1.359
Fly Ashes 30% + Lateritic 70%	10.9	1.361

ตารางที่ 4.72 ผลการทดลอง Compaction ของทุกเงื่อนไข

จากผลการทดลองพบว่าค่าต่างๆ ของการผสมเถ้าลอยกับดินลูกรังในแต่ละกรณีไม่ต่างกันมากดังนั้น สัดส่วนของเถ้าลอยที่ผสมกับดินลูกรังไม่มีผลต่อค่า OMC และ ค่า Dry Density

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.5.3 CBR

Condition	CBR at 95% Of Max Dry Density (%)	Max Dry Density (g/cm^3)	Swell (%)		
			12 ครั้ง/ชั้น	25 ครั้ง/ชั้น	56 ครั้ง/ชั้น
Fly Ashes 100%	73.44	1.90	0.22	0.27	0.22
Lateritic 100%	5.21	2.07	1.80	2.23	0.67
Fly Ashes 10% + Lateritic 90%	11.10	2.12	1.25	1.04	0.32
Fly Ashes 20% + Lateritic 80%	20.03	2.13	2.08	1.63	1.21
Fly Ashes 30% + Lateritic 70%	37.76	1.98	1.54	1.59	1.14

ตารางที่ 4.73 ผลการทดลอง CBR ของทุกเงื่อนไข

จากผลการทดลองของทั้งสามกรณีจะเห็นว่า กรณีเถ้าลอย 30% ผสมดินลูกรัง 70% มีค่า %CBR ที่ 95% ของความหนาแน่นแห้งสูงสุด มีค่ามากสุด จึงมีความแข็งแรงมากสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.5.4 เทียบผลการทดลองกับมาตรฐานงานทางของกรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย พ.ศ.2557

Condition	The Maximum size Of Material(mm.)	L.L. (%)	P.I. (%)	CBR at 95% Of Max Dry Density (%)
Fly Ashes 100%	< 0.42	-	-	73.44
Lateritic 100%	< 2.00	44.57	19.91	5.21
Fly Ashes 10% + Lateritic 90%	< 2.00	31.25	13.46	11.10
Fly Ashes 20% + Lateritic 80%	< 2.00	33.09	14.41	20.03
Fly Ashes 30% + Lateritic 70%	< 2.00	31.21	12.40	37.76
Standard Of Lateritic Soil In Subbase Course	≤ 50.00	≤ 35.00	≤ 11.00	≥ 25.00

ตารางที่ 4.74 เทียบผลการทดลองของทุกเงื่อนไขกับมาตรฐานงานทาง

หลังจากนำผลการทดลองไปเทียบกับมาตรฐานงานทางของกรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย พ.ศ.2557 จะเห็นว่า กรณีเถ้าลอย (30%) + ดินลูกรัง (70%) ผ่านเกณฑ์ L.L. และ CBR ที่ 95% ของความหนาแน่นแห้งสูงสุด แต่ไม่ผ่านเกณฑ์ P.L.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษา

5.1 บทนำ

ผลการศึกษาความแข็งแรงของดินลูกรังที่ผสมกับเถ้าลอยเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับมาตราฐานวัสดุรองพื้นทาง (Subbase) ในมาตรฐานงานทางของกรมโยธาธิการและผังเมือง พ.ศ. 2557 สามารถศึกษาได้จากการหาค่า Atterberg's Limit (เฉพาะ Liquid Limit และ Plastic Index) และค่า California Bearing Ratio ของเถ้อลอยในเปอร์เซ็นต์ต่างๆ นั้นคือ 10%, 20% และ 30% ผสมกับดินลูกรัง แล้วนำไปเทียบกับมาตรฐานดังที่กล่าวมาว่าผ่านเกณฑ์หรือไม่

5.2 สรุปผลการทดลอง

เมื่อนำผลการทดลองของทั้ง 5 เงื่อนไขไปเทียบกับมาตรฐานวัสดุรองพื้นทาง (Subbase) แล้วปรากฏว่า กรณีเถ้าลอย 30% ผสมกับดินลูกรัง 70% ผ่านมาตรฐานวัสดุรองพื้นทางมากที่สุดนั้น คือ ค่า Liquid Limit และ ค่า California Bearing Ratio แต่ค่า Plastic Index นั้นไม่ผ่านเกณฑ์

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. นำผลที่ได้ไปศึกษาต่อเพื่อใช้ในการก่อสร้างถนนในชั้นพื้นทาง (Subbase)
2. เพิ่มกรณีศึกษาของการลดค่า Plastic Index ให้เข้าเกณฑ์ของมาตรฐานงานทาง
3. เพิ่มจำนวนครั้งการทดลอบของแต่ละเงื่อนไข
4. เพิ่มสัดส่วนในการทดสอบของเปอร์เซ็นต์เถ้อลอยที่ผสมกับดินลูกรัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง

[1] สารานุกรมเสรี วิกิพีเดีย *“เถ้าลอย”* [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://th.wikipedia.org/wiki/เถ้าลอย (วันที่สืบค้นข้อมูล 27 เมษายน 2564)

[2] สำเร็จ สารมาคม. (2556). *การประยุกต์ใช้เถ้าลอยในการผลิตบล็อกประสาน.* นครราชสีมา: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

[3] เรืองศิลป์ บุญละคร. (2556). *การศึกษาสภาพความเสียหายของทางหลวงที่ผ่านการบูรณะด้วยวิธีนำวัสดุหมุนเวียนมาใช้ใหม่*. นครราชสีมา: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

[4] *“โครงสร้างถนนแบบผิวอ่อนตัว”* [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://1.179.128.11/Book/%CD%D2%C7%D8%E2%CA%20%BA%A1.%B7%B7/%C3%C7%C1%20%B4%D2%B4%BC%D4%C7.pdf

[5] นิโรจน์ เงินพรหม. (2554). *ศึกษาความสามารถรับกำลังของอิฐดินดิบลูกรัง*. กรุงเทพฯ: คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

[6] สุกิจ นามพิชญ์, ชูศักดิ์ คีรีรัตน์, เอกรัตน์ รวยรวย, ศุภสิทธิ พงศ์ศิวะสถิตย์, สุธี ปิยะพิพัฒน์. (2547-2548). *คู่มือการทดสอบทางปฐพีกลศาสตร์*. ปทุมธานี: ศูนย์กลางสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล

[7] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย. (2557). *มาตรฐานงานทาง*. กรุงเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก

สัญลักษณ์

L.L.	=	Liquid Limit
P.L.	=	Plastic Limit
P.I.	=	Plastic Index
OMC	=	Optimum Moisture Content
CBR	=	California Bearing Ratio
ρ	=	ความหนาแน่นดินเปียก (Wet density)
ρ_d	=	ความหนาแน่นแห้ง (Dry density)
M	=	น้ำหนักดินเปียกใน Mold
V	=	ปริมาตรของ Mold
W	=	ปริมาณความชื้นของดิน
w_1	=	น้ำหนักกระป๋องเก็บตัวอย่างดินกับน้ำหนักดินเปียก
w_2	=	น้ำหนักกระป๋องเก็บตัวอย่างดินกับน้ำหนักดินแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.