

การศึกษาการปรับปรุงกำลังรับแรงของดินลูกรังโดยใช้เถ้าลอยและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

Study on Improvement Strength of Lateritic Soil by Using Fly Ash and
Portland Cement



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

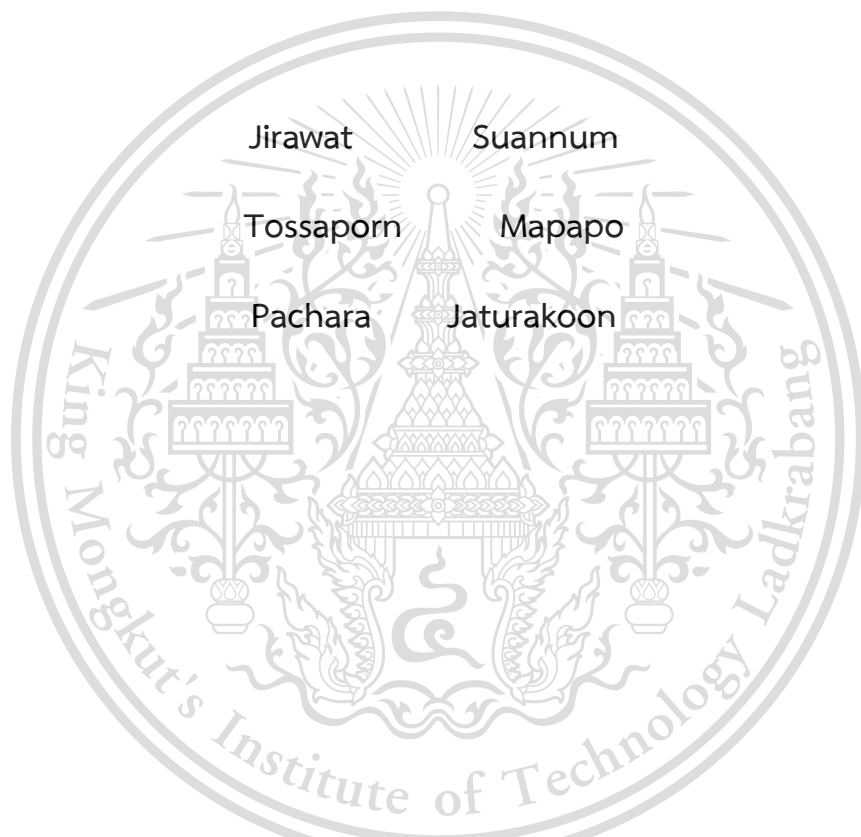
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น 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.

Study on Improvement Strength of Lateritic Soil by Using Fly Ash and
Portland Cement



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
Academic Year 2020

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


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

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาการปรับปรุงกำลังรับแรงของดินลูกรังโดยใช้เถ้าลอยและปูนซีเมนต์
ปอร์ตแลนด์
Study on Improvement Strength of Lateritic Soil by Using Fly Ash
and Portland Cement

นักศึกษา นายจิรวัดน์ สนวนุ่ม รหัสประจำตัว 60010144
นายทศพร มาปะโพธิ์ รหัสประจำตัว 60010370
นายเพชร จตุรกุล รหัสประจำตัว 60010651

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ศลิษา ไชยพุทธ, ผศ.ดร.ธนาตล คงสมบูรณ์

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

วันเดือนปีที่สอบ 22 พฤษภาคม 2564

สถานที่สอบ สอบออนไลน์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(.....)

(ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้จำหน่ายหรือใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าวันที่ 22 พฤษภาคม พ.ศ. 2564 นี้

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

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

การศึกษาการปรับปรุงกำลังรับแรงของดินลูกรังโดยใช้เถ้าลอยและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

นายจิรวุฒิ สนวนุ่ม รหัสประจำตัว 60010144

นายทศพร มาปะโพธิ์ รหัสประจำตัว 60010370

นายเพชร จตุรกุล รหัสประจำตัว 60010651

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ศลิษา ไชยพุทธ, ผศ.ดร.ธนาตล คงสมบูรณ์

ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

ปัจจุบันในประเทศไทย การก่อสร้างถนนพื้นผิวแอสฟัลท์คอนกรีตเส้นทางใหม่ หรือซ่อมแซมพื้นผิวเดิมก็ตามล้วนมีอยู่มากมายและเกิดขึ้นอยู่ตลอด จึงเป็นเหตุให้มีความต้องการใช้วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างถนนอยู่ตลอดเช่นกัน ตัวอย่างเช่น ดินลูกรัง หินคลุก แอสฟัลท์ เป็นต้น วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างเช่น ดินลูกรัง มีหลากหลายคุณภาพตามแหล่งที่มาต่างๆ ซึ่งอยู่ไม่ไกลกับบริเวณก่อสร้าง โดยอาจมีดินลูกรังจากบางแหล่งไม่ผ่านมาตรฐานที่กรมทางหลวงได้กำหนดไว้ จึงต้องมีการขนส่งดินลูกรังจากแหล่งที่ไกลมากขึ้น ซึ่งทำให้ค่าใช้จ่าย และเวลาก่อสร้างเพิ่มขึ้น จากการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงกำลังรับแรงของดินพบว่าเมื่อทำการผสมดินและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สามารถเพิ่มกำลังรับแรงอัดของดินได้ ซึ่งปัจจุบันงานวิจัยดังกล่าวได้ถูกยอมรับและมีการใช้งานจริงแล้ว สำหรับการวิจัยนี้ใช้หลักการคล้ายๆงานวิจัยข้างต้นนำดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐานเกรด E ตามมาตรฐานวัสดุรองพื้นทางของกรมทางหลวง (ทล-ม. 205/2532) มาปรับปรุงคุณสมบัติให้ผ่านมาตรฐาน โดยการนำดินลูกรังมาผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 5% โดยหน่วยน้ำหนักแห้ง และผสมเถ้าลอยที่เป็นของเสียจากการผลิตแอสฟัลท์คอนกรีตโดยแบ่งเป็นอัตราส่วนต่างๆ จากนั้นหาอัตราส่วนที่เหมาะสมพร้อมทั้งผ่านมาตรฐานของกรมทางหลวง ในการใช้งานเป็นชั้นรองพื้นทาง ซึ่งจากผลการทดสอบให้ผลว่าจากการปรับปรุงดินลูกรังเกรด E โดยการผสมปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ 5% โดยหน่วยน้ำหนักแห้ง และเถ้าลอย พบว่าอัตราส่วนเถ้าลอยที่เหมาะสมอยู่ที่ 20 ถึง 30% โดยที่ค่าพิคัดเหลว ค่าพิคัดพลาสติก และค่า C.B.R. ของตัวอย่างผ่านมาตรฐานวัสดุรองพื้นทางของกรมทางหลวง

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.

Study on Improvement Strength of Lateritic Soil by Using Fly Ash and Portland Cement

Mr.Jirawat Suannum Student ID. 60010144
Mr.Tossaporn Mapapo Student ID. 60010370
Mr.Pachara Jaturakoon Student ID. 60010651

Advisors Assoc. Prof. Dr. Salisa Chaiyaput, Asst. Prof. Dr. Thanadol Kongsomboon

Academic Year 2020

Abstract

At this time in Thailand, A new road construction with asphalt concrete surface or maintenance the former surface happen all the time. So there is a constant demand of materials used in road construction, for example, gravel, crushed rock, asphalt, etc. Construction materials such as lateritic soil are various qualities according to different sources, Almost of construction site select them from sources that not far from the construction site. Sometimes, lateritic soil from some sources have properties lower than the standards set by the Department of Highways. Therefore, lateritic soil may be transported from a more distant, which makes higher cost and increases the construction time. From research studies on improving soil strength, it was found that when mixing Portland cement and soil together, the compressive strength of the soil could be increased. Now this research is accepted and applied. For this research, a principle similar to the former research, By using sub-standard lateritic soil grade E from the subbase standards of the Department of Highways (DH-S 205/2532) and improve the qualifications of them to pass the standards by mixing lateritic soil with Portland cement at 5 percent by dry unit weight and fly ash which is the waste from asphalt concrete production. Then divide each example into different ratios for find the suitable ratio of fly ash and pass the standards of the Department of Highways, Then apply to a subbase layer in the finally. As a result, it was found the suitable ratios of fly ash for

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อการค้า
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.

improvement are in range of 20 to 30 percent by dry unit weight and it can make those samples pass the standards of the Department of Highways.



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 ดร.ศลิษา ไชยพุทธ ที่กรุณาให้คำแนะนำเพื่อปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องอีกทั้งยังสละเวลาเพื่อให้คำปรึกษากับคณะผู้จัดทำ ตลอดจนให้ความรู้ เอาใจใส่ ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการแก้ปัญหา ให้ประสบการณ์ที่ดี อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งกับงานวิจัยนี้ พวกเราคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในทุกๆรายวิชาที่ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐาน อันเป็นประโยชน์ยิ่งในการทำปริญญานิพนธ์เล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วง ตลอดจนอาจารย์ประจำภาควิชาท่านต่างๆที่ให้คำแนะนำและกำลังใจอย่างดียิ่ง

ขอขอบพระคุณบุคลากรจากกรมทางหลวง ณ โรงงานที่ตำบลโคกกรวด อำเภอนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา ที่สนับสนุนงานวิจัยโดยการจัดหาเก้าอี้มาให้ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้เป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณพี่ธีรเดช คำวิไล ที่คอยช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา และให้ความรู้ในการทำ การทดลองต่างๆตลอดมา ทั้งยังเตรียมอุปกรณ์การทดลองให้พร้อมทำการทดลองอยู่ตลอดเวลา ซึ่งเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้เป็นอย่างยิ่ง

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ให้ความรักและให้กำลังใจในการสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนของคณะผู้วิจัยมาโดยตลอด ทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้ได้ คณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

จิรวัดน์ สนวนุ่ม

ทศพร มาปะโพธิ์

เพชร จตุรกุล

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.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์.....	4
2.1 โครงสร้างถนนลาดยาง.....	4
2.2 ดินลูกรัง.....	9
2.3 ดินซีเมนต์.....	14
2.4 ฝั่ลลอย.....	17
2.5 การทดสอบ Atterberg's Limit.....	19
2.6 การทดสอบการบดอัด.....	23
2.7 การทดสอบ California bearing ratio (C.B.R.).....	39
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	46
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	49
3.1 บทนำ.....	49
3.2 เงื่อนไขการทดสอบ.....	50
3.3 คุณสมบัติของวัสดุตัวอย่าง.....	52
3.4 การทดสอบหาค่าคุณสมบัติของดินลูกรังผสมกับฝั่ลลอย และปูนซีเมนต์ปอร์ต แลนด.....	72
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 4.1 ที่บทนำไว้สำหรับกรใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้แก้ไขได้ประโยชน์จากการค้า

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
บทที่ 4 ผลการศึกษา (ต่อ)	
4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของดินลูกรังชนิด E ที่ใช้ในการศึกษา.....	75
4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของเถ้าลอย ที่ใช้ในการศึกษา.....	77
4.4 ผลการทดสอบคุณสมบัติของดินลูกรังชนิด E, เถ้าลอย และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสม.....	79
4.5 ผลการทดสอบที่เปรียบเทียบในแต่ละอัตราส่วนของดินลูกรังชนิด E, เถ้าลอย และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	84
4.6 ผลการทดสอบในแต่ละอัตราส่วนของดินลูกรังชนิด E, เถ้าลอย และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่อัตราส่วนต่างๆ เปรียบเทียบกับมาตรฐานของกรมทางหลวง.....	93
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา.....	97
5.1 บทนำ.....	97
5.2 สรุปผลการทดสอบ.....	97
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	98
เอกสารอ้างอิง.....	99
ภาคผนวก ก.....	101
ภาคผนวก ข.....	102
ภาคผนวก ค.....	147

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	ขนาดคละเกรดต่างๆของวัสดุชั้นรองพื้นทาง.....	6
ตารางที่ 2.2	แสดงเกรดของหินคลุก A และ B	8
ตารางที่ 2.3	แสดงขนาดคละต่างๆของดินลูกรังตามมาตรฐานกรมทางหลวง.....	13
ตารางที่ 2.4	ตัวอย่างช่วงของลักษณะคุณสมบัติทางกายภาพของอนุภาคจากแบ็คเฮาส์.....	19
ตารางที่ 2.5	ตารางเปรียบเทียบวิธี Standard Proctor Test และ Modified Proctor Test....	30
ตารางที่ 2.6	แสดงความสัมพันธ์ของ % C.B.R. และการใช้งาน.....	40
ตารางที่ 2.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า % C.B.R. และการใช้งาน.....	41
ตารางที่ 2.8	แสดงค่ามาตรฐานการบดอัดตัวอย่างดินใน C.B.R. Mold.....	43
ตารางที่ 3.1	แสดงอัตราส่วนของดินลูกรังแต่ละประเภทตามมาตรฐานกรมทางหลวง.....	50
ตารางที่ 3.2	แสดงอัตราส่วนการผสมดินลูกรังประเภท E ที่จะใช้ในการทดสอบ.....	50
ตารางที่ 3.3	แสดงอัตราส่วนผสมระหว่าง ดินลูกรังประเภท E, ใ้ล้อย และปูนซีเมนต์ปอร์ต แลนด์.....	51
ตารางที่ 4.1	เปอร์เซ็นต์ของดินลูกรังชนิด E ที่ใช้ในการทดสอบ.....	75
ตารางที่ 4.2	แสดงผลการทดสอบ Atterberg Limit ดินลูกรังชนิด E	75
ตารางที่ 4.3	แสดงผลการทดสอบการบดอัดดินลูกรังชนิด E	76
ตารางที่ 4.4	แสดงผลการทดสอบ California Bearing Ratio ดินลูกรังชนิด E	76
ตารางที่ 4.5	แสดงผลการทดสอบ Atterberg Limit ใ้ล้อย.....	77
ตารางที่ 4.6	แสดงผลการทดสอบการบดอัดใ้ล้อย.....	77
ตารางที่ 4.7	แสดงผลการทดสอบ California Bearing Ratio ใ้ล้อย.....	78
ตารางที่ 4.8	แสดงผลการทดสอบ Atterberg Limit ดินลูกรังผสมใ้ล้อยและปูนซีเมนต์.....	79
ตารางที่ 4.9	แสดงผลการทดสอบการบดอัดดินลูกรังผสมใ้ล้อยและปูนซีเมนต์.....	80
ตารางที่ 4.10	แสดงผลการทดสอบ California Bearing Ratio ดินลูกรังผสมใ้ล้อยและ ปูนซีเมนต์.....	80
ตารางที่ 4.11	แสดงผลการทดสอบ Atterberg Limit ดินลูกรังผสมใ้ล้อยและปูนซีเมนต์.....	81
ตารางที่ 4.12	แสดงผลการทดสอบการบดอัดดินลูกรังผสมใ้ล้อยและปูนซีเมนต์.....	81
ตารางที่ 4.13	แสดงผลการทดสอบ California Bearing Ratio ดินลูกรังผสมใ้ล้อยและ ปูนซีเมนต์.....	82
เอกสารที่ 4.14	แสดงผลการทดสอบ Atterberg Limit ดินลูกรังผสมใ้ล้อยและปูนซีเมนต์.....	82
ตารางที่ 4.15	แสดงผลการทดสอบการบดอัดดินลูกรังผสมใ้ล้อยและปูนซีเมนต์.....	83

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 4.16	แสดงผลการทดสอบ California Bearing Ratio ดินลูกรังผสมเถ้าลอยและ ปูนซีเมนต์.....	83
ตารางที่ 4.17	แสดงค่าขีดจำกัดความเหลว (Liquid Limit) และค่าดัชนีความเป็นพลาสติก (Plasticity Index) เมื่อผสมเถ้าลอย ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆกับดินลูกรังชนิด E.....	84
ตารางที่ 4.18	แสดงค่าความชื้นเหมาะสมเมื่อทำการผสมเถ้าลอย ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆกับดินลูกรัง ชนิด E.....	86
ตารางที่ 4.19	ตารางแสดงความหนาแน่นแห้งเมื่อผสมเถ้าลอย ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆกับดินลูกรัง ชนิด E.....	86
ตารางที่ 4.20	ตารางแสดงการบวมตัวเมื่อผสมเถ้าลอย ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆของดินลูกรังชนิด E โดยแยกเป็นจำนวนครั้งในการบดอัดที่ 12, 25 และ 56 ครั้ง.....	88
ตารางที่ 4.21	ตารางแสดงค่าการบวมตัวที่การบดอัดร้อยละ 95 เมื่อผสมเถ้าลอย ที่เปอร์เซ็นต์ ต่างๆ ของดินลูกรังชนิด E	89
ตารางที่ 4.22	ตารางแสดงค่า C.B.R. เมื่อผสมเถ้าลอย ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆของดินลูกรังชนิด E โดย แยกเป็นจำนวนครั้งในการบดอัดที่ 12, 25 และ 56 ครั้ง.....	90
ตารางที่ 4.23	ตารางแสดงค่า C.B.R. ที่ร้อยละ 95 เมื่อผสมเถ้าลอย ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของดิน ลูกรังชนิด E	91
ตารางที่ 4.24	ตารางแสดงค่า L.L. P.I. และ C.B.R. ที่ตัวอย่างดินลูกรังชนิด E, เถ้าลอย และดิน ลูกรังผสมเถ้าลอย และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่เปรียบเทียบกับมาตรฐานของกรม ทางหลวง.....	95

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
รูปภาพที่ 2.1	การถ่ายแรงในโครงสร้างถนนลาดยาง.....	4
รูปภาพที่ 2.2	ลักษณะของดินลูกรังที่สามารถแบ่งแยกได้อย่างชัดเจน.....	9
รูปภาพที่ 2.3	แหล่งดินลูกรังในประเทศไทย.....	10
รูปภาพที่ 2.4	ลักษณะของดินลูกรังที่ใช้ในการก่อสร้าง.....	11
รูปภาพที่ 2.5	ความสัมพันธ์ของปริมาณดินกับปริมาณความชื้น และค่าความชื้นที่พิกัด Atterberg.....	20
รูปภาพที่ 2.6	การทดสอบพิกัดเหลวเมื่อดินชืดกันยาว 1.3 เซนติเมตร.....	21
รูปภาพที่ 2.7	แสดงการหาค่าพิกัดเหลวจากกราฟ Semi-Log.....	22
รูปภาพที่ 2.8	แสดงปริมาณดิน และปริมาณความชื้นที่จุดพิกัดหัดตัว.....	22
รูปภาพที่ 2.9	การบดอัดดิน.....	23
รูปภาพที่ 2.10	ลักษณะทั่วไปของเส้นการบดอัดดิน.....	24
รูปภาพที่ 2.11	ผลของแรงดึงผิวที่เกิดแรงยึดเหนี่ยวปรากฏ(Apparent Cohesion) ในดินเม็ดหยาบ.....	25
รูปภาพที่ 2.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง และปริมาณความชื้น นำเสนอโดย Hogentogler	25
รูปภาพที่ 2.13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง และปริมาณความชื้น นำเสนอโดย Buchanan	27
รูปภาพที่ 2.14	กราฟแสดงผลของการบดอัดดินนำเสนอโดย Hilf	28
รูปภาพที่ 2.15	ผลกระทบของการบดอัดดินที่มีต่อโครงสร้างดิน.....	29
รูปภาพที่ 2.16	เส้นโค้งการบดอัดดิน.....	31
รูปภาพที่ 2.17	เส้นโค้งการบดอัดดินของดินชนิดต่างๆ.....	33
รูปภาพที่ 2.18	กราฟการบดอัดของดินเหนียวชนิดต่างๆ ที่พลังงานการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน.....	33
รูปภาพที่ 2.19	อิทธิพลของชนิดดินต่อการบดอัดแบบมาตรฐาน.....	34
รูปภาพที่ 2.20	อิทธิพลของพลังงานบดอัดต่อกราฟการบดอัดของดินลูกรัง.....	35
รูปภาพที่ 2.21	การทดสอบความซึมผ่านได้และการบดอัดดิน Siburu	36
รูปภาพที่ 2.22	ลักษณะการอัดตัวของดินตะกอนปนดินเหนียวบดอัดที่ด้านแห้งและ ด้านเปียกของปริมาณ ความชื้นเหมาะสม (b) การเปลี่ยนแปลง ปริมาตรเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจาก สจล. หรือผู้เกี่ยวข้อง

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
รูปภาพที่ 2.23	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดของดินเหนียวบนดินตะกอนบดอัด.....	38
รูปภาพที่ 2.24	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของดินลูกรังบดอัด.....	38
รูปภาพที่ 2.25	แสดงลักษณะชั้นทางของงานถนน.....	41
รูปภาพที่ 2.26	แสดงการ Fail ของดินใต้ Piston.....	42
รูปภาพที่ 2.27	แสดงการปรับแก้โค้งการทดสอบ C.B.R.	44
รูปภาพที่ 2.28	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการบดอัดและ C.B.R.	45
รูปภาพที่ 2.29	แสดงตัวอย่างค่า C.B.R. บนกราฟการบดอัดที่ปริมาณความชื้นต่าง ๆ กัน.....	45
รูปภาพที่ 3.1	แสดงการชั่งน้ำหนักตะแกรง.....	53
รูปภาพที่ 3.2	แสดงการทุบดินลูกรังให้แตกออกจากกันเป็นอิสระ.....	53
รูปภาพที่ 3.3	แสดงการนำตัวอย่างดินและตะแกรงเข้าเครื่องเขย่า.....	54
รูปภาพที่ 3.4	แสดงวัสดุและอุปกรณ์ในการทดสอบ.....	55
รูปภาพที่ 3.5	แสดงการชั่งน้ำหนักและเตรียมตัวอย่างดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 40	56
รูปภาพที่ 3.6	แสดงการบากโดยเครื่องมือบากให้เป็นร่องตรงกลาง.....	57
รูปภาพที่ 3.7	แสดงตัวอย่างการผสมน้ำกับตัวอย่างดิน.....	57
รูปภาพที่ 3.8	แสดงการนำดินตัวอย่างมาปั้นคลึงเป็นแท่งยาว.....	58
รูปภาพที่ 3.9	แสดงวัสดุและอุปกรณ์การทดสอบการบดอัดดิน.....	59
รูปภาพที่ 3.10	แสดงตัวอย่างดินที่จะนำมาทดสอบ.....	61
รูปภาพที่ 3.11	แสดงการร่อนดินผ่านตะแกรง.....	61
รูปภาพที่ 3.12	แสดงตัวอย่างการผสมดิน.....	61
รูปภาพที่ 3.13	แสดงการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Test)	62
รูปภาพที่ 3.14	แสดงการปาดดินส่วนบนของ Mold ให้อยู่ระดับเดียวกับขอบปาก Mold	62
รูปภาพที่ 3.15	แสดงการเก็บตัวอย่างดินเพื่อทำการหาค่าความชื้น.....	63
รูปภาพที่ 3.16	แสดงวัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ California Bearing Ratio : C.B.R.	64
รูปภาพที่ 3.17	แสดงตัวอย่างดินที่จะนำมาทดสอบ.....	66
รูปภาพที่ 3.18	แสดงการบดอัด.....	67
รูปภาพที่ 3.19	แสดงการชั่งน้ำหนักดินในMold.....	67
เอกสารรูปภาพที่ 3.20	แสดงการทดสอบการรูดอัดตัวอย่างดินขนาด 60 มม. ไปเอมูลุ่มดิ่งฝังลงไปใต้ประโยชน์	68

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
รูปภาพที่ 3.21	แสดงการเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำไปหาค่า Water Content.....	68
รูปภาพที่ 3.22	แสดงการแช่ตัวอย่างดินในน้ำ.....	69
รูปภาพที่ 3.23	แสดงการวัดค่าบวมตัวของตัวอย่างดิน.....	70
รูปภาพที่ 3.24	แสดงการเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาค่า Water Content.....	70
รูปภาพที่ 3.25	แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Test Unit Load และ Penetration	71
รูปภาพที่ 3.26	แสดงการร่อนตัวอย่างเถ้าลอยผ่านตะแกรง เบอร์ 40.....	72
รูปภาพที่ 3.27	แสดงการเตรียมตัวอย่างดินลูกรังและเถ้าลอยน้ำหนัก 6 กิโลกรัม.....	73
รูปภาพที่ 4.1	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าขีดความเหลวกับเถ้าลอย ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆของดินลูกรังชนิด E	85
รูปภาพที่ 4.2	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีความเป็นพลาสติกกับเถ้าลอย ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆของดินลูกรังชนิด E	85
รูปภาพที่ 4.3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง กับปริมาณความชื้นของดินลูกรังชนิด E เถ้าลอย และดินลูกรังผสมเถ้าลอยและปูนซีเมนต์ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ในการทดสอบครั้งที่ 1	87
รูปภาพที่ 4.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง กับปริมาณความชื้นของดินลูกรังชนิด E เถ้าลอย และดินลูกรังผสมเถ้าลอยและปูนซีเมนต์ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ในการทดสอบครั้งที่ 2	88
รูปภาพที่ 4.5	กราฟเปรียบเทียบค่าการบวมตัว กับจำนวนครั้งที่บดอัดต่อชั้นของดินลูกรังชนิด E เถ้าลอย และดินลูกรังผสมเถ้าลอยและปูนซีเมนต์ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ.....	89
รูปภาพที่ 4.6	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการบวมตัวที่การบดอัด 95% กับเถ้าลอย ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของดินลูกรังชนิด E	90
รูปภาพที่ 4.7	กราฟเปรียบเทียบค่า C.B.R. กับจำนวนครั้งที่บดอัดต่อชั้นของดินลูกรังชนิด E เถ้าลอย และดินลูกรังผสมเถ้าลอยและปูนซีเมนต์ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ.....	92
รูปภาพที่ 4.8	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า C.B.R. ที่ร้อยละ 95 กับเถ้าลอย ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของดินลูกรังชนิด E	92
รูปภาพที่ 4.9	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าขีดความเหลวกับเถ้าลอย ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของดินลูกรังชนิด E โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของกรมทางหลวง.....	93

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.

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปภาพที่ 4.10	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีความเป็นพลาสติกกับเถ้าลอย ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของดินลูกรังชนิด E โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของกรมทางหลวง.....	94
รูปภาพที่ 4.11	กราฟแสดงการเปรียบเทียบ ค่า C.B.R. ที่ร้อยละ 95 กับเถ้าลอย ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของดินลูกรังชนิด E โดยเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของกรมทางหลวง และงานวิจัยของ Panu Promputthangkoon และ Afolayan and Olaniyi.....	95
รูปภาพที่ ค.1	แสดงการพิบัติของดินลูกรังประเภท E (บดอัด 12 ครั้ง)	147
รูปภาพที่ ค.2	แสดงการพิบัติของดินลูกรังประเภท E (บดอัด 25 ครั้ง)	147
รูปภาพที่ ค.3	แสดงการพิบัติของดินลูกรังประเภท E (บดอัด 56 ครั้ง)	148
รูปภาพที่ ค.4	แสดงการพิบัติของดินลูกรังประเภท E + เถ้าลอย 10 % + ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 5 % (บดอัด 12 ครั้ง)	148
รูปภาพที่ ค.5	แสดงการพิบัติของดินลูกรังประเภท E + เถ้าลอย 10 % + ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 5 % (บดอัด 25 ครั้ง)	149
รูปภาพที่ ค.6	แสดงการพิบัติของดินลูกรังประเภท E + เถ้าลอย 10 % + ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 5 % (บดอัด 56 ครั้ง)	149
รูปภาพที่ ค.7	แสดงการพิบัติของดินลูกรังประเภท E + เถ้าลอย 20 % + ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 5 % (บดอัด 12 ครั้ง)	150
รูปภาพที่ ค.8	แสดงการพิบัติของดินลูกรังประเภท E + เถ้าลอย 20 % + ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 5 % (บดอัด 25 ครั้ง)	150
รูปภาพที่ ค.9	แสดงการพิบัติของดินลูกรังประเภท E + เถ้าลอย 20 % + ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 5 % (บดอัด 56 ครั้ง)	151
รูปภาพที่ ค.10	แสดงการพิบัติของดินลูกรังประเภท E + เถ้าลอย 30 % + ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 5 % (บดอัด 12 ครั้ง)	151
รูปภาพที่ ค.11	แสดงการพิบัติของดินลูกรังประเภท E + เถ้าลอย 30 % + ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 5 % (บดอัด 25 ครั้ง)	152
รูปภาพที่ ค.12	แสดงการพิบัติของดินลูกรังประเภท E + เถ้าลอย 30 % + ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 5 % (บดอัด 56 ครั้ง)	152
รูปภาพที่ ค.13	แสดงการพิบัติของเถ้าลอย 100 % (บดอัด 12 ครั้ง)	153
รูปภาพที่ ค.14	แสดงการพิบัติของเถ้าลอย 100 % (บดอัด 25 ครั้ง)	153
รูปภาพที่ ค.15	แสดงการพิบัติของเถ้าลอย 100 % (บดอัด 56 ครั้ง)	154

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 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในขั้นตอนการก่อสร้างถนนนั้น ดินลูกรังเป็นวัสดุหลักที่นำมาใช้ทำชั้นรองพื้นทาง (Sub-Base) โดยมีคุณสมบัติของดินทางวิศวกรรมตามมาตรฐานที่กรมทางหลวงกำหนด การก่อสร้างบางครั้งอยู่ในพื้นที่ห่างไกลแหล่งลูกรังที่ได้มาตรฐาน ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง และระยะเวลาก่อสร้างเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดที่จะปรับปรุงสมบัติของดินลูกรังใกล้พื้นที่ก่อสร้างที่มีสมบัติทางวิศวกรรมต่ำกว่ามาตรฐาน ให้มีสมบัติทางวิศวกรรมใกล้เคียงกับดินลูกรังมาตรฐาน ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายจากการขนส่งวัสดุจากแหล่งอื่น และช่วยแก้ปัญหาในการขาดแคลนวัสดุ ปัจจุบันการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังวิธีหนึ่งที่ใช้คือการผสมสารผสมเพิ่มเติมส่วนมากสารที่ผสมเข้าไปในดินเพื่อปรับปรุงสมบัติของดินนั้นจะใช้ซีเมนต์เป็นสารผสมเพิ่ม เรียกว่า การปรับปรุงเสถียรภาพด้วยซีเมนต์ (Cement Stabilization) โดยวิธีดังกล่าวเมื่อนำตัวอย่างทดลองไปทำการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength) กับ ค่าซี.บี.อาร์. (California Bearing Ratio) ซึ่งสรุปผลได้ว่า ปริมาณซีเมนต์ตั้งแต่ร้อยละ 3 ขึ้นไป มีผลทำให้กำลังอัดเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดและเมื่ออายุการบ่มมากขึ้นปฏิกิริยาเคมีกับอนุภาคดินจะมีผลต่อกำลังอัดสูงด้วย

และในกระบวนการก่อสร้างถนนที่มีผิวถนนเป็นแอสฟัลท์คอนกรีตนั้น ในโรงงานผลิตแอสฟัลท์จะมีของเสียเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตแอสฟัลท์ ได้แก่ เถ้าลอย (Fly Ash) ที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้และยังต้องมีค่าใช้จ่ายในการหาสถานที่ทิ้งหรือการนำเถ้าลอยไปกำจัด เถ้าลอยที่ใช้เป็นเถ้าที่ได้จากกระบวนการผสมแอสฟัลท์คอนกรีต เป็นเถ้าหรือฝุ่นส่วนเกินที่ไม่จำเป็นในกระบวนการผสม ซึ่งจะถูกเก็บอยู่ในส่วนของเครื่องเก็บฝุ่น (Dust Collector) เพื่อที่อาจจะนำกลับมาใช้ประโยชน์ หรือนำไปทิ้ง โดยประสิทธิภาพเครื่องเก็บฝุ่นนี้จะช่วยป้องกันการแพร่กระจายของฝุ่นในอากาศ ไม่ให้กลายเป็นมลพิษทางอากาศ

ด้วยเหตุนี้ คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเถ้าลอยนี้มาใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังที่มีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐาน เพื่อใช้เป็นชั้นรองพื้นทางของถนนและยังสามารถเป็นการลดต้นทุนด้านการขนส่งวัสดุในพื้นที่ไกลจากแหล่งที่มาของวัสดุ ซึ่งวิธีปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังที่ใช้ คือ วิธีปรับปรุงเสถียรภาพด้วยซีเมนต์ (Cement Stabilization) ซึ่งใช้การผสมซีเมนต์ด้วยอัตราส่วน

ประมาณร้อยละ 5 ของดินลูกรังที่ใช้ โดยการวิจัยนี้จะเป็นการใช้เถ้าลอยนี้มาเพิ่มประสิทธิภาพการเสริมกำลังด้วยดินซีเมนต์โดยการผสมด้วยสัดส่วนต่างๆ หาสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุด ผ่านมาตรฐานที่จะใช้ดินลูกรังนี้เป็น

เอกสารนี้เป็นของสงวนลิขสิทธิ์และจะเผยแพร่เพื่อการศึกษาใช้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ การคัดลอกหรือการนำเนื้อหาไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมายและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐาน ให้ผ่านมาตรฐานเพื่อนำมาเป็นวัสดุในการก่อสร้างชั้นรองพื้นทาง
2. เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างซีเมนต์ และเถ้าลอย ที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังให้ เป็นไปตามข้อกำหนดและมาตรฐานการเลือกวัสดุพื้นทางของกรมทางหลวง

1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน

1. ตัวอย่างของเถ้าลอยซึ่งเป็นของเสียจากกระบวนการผลิตแอสฟัลท์คอนกรีตแบบผสมร้อน มีที่มาจาก โรงงานผลิตแอสฟัลท์ ตั้งอยู่ที่ ตำบลโคกกรวด อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา
2. ตัวอย่างของดินลูกรัง เป็นดินลูกรังเกรด E ที่มีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานที่ใช้เป็นชั้นรองพื้นทาง (Subbase)
3. ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตราบัวหลวง มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 15 เล่ม 1-2555 และมาตรฐานอเมริกัน ASTM C 150 TYPE 1
4. อัตราส่วนการผสมซีเมนต์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห่งมวลรวมทั้งหมด
5. อัตราส่วนการผสมเถ้าลอย 10 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห่งมวลรวมทั้งหมด ซึ่งได้จากการผลิตแอสฟัลท์คอนกรีตแบบผสมร้อน
6. การทดสอบค่าพิกัดอัตราของดินลูกรังทำการทดลองเพียงการหาค่าพิกัดพลาสติก (Plastic Limit) และ พิกัดเหลว (Liquid Limit)
7. การทดสอบค่าพิกัดอัตราของเถ้าลอยทำการทดลองเพียงการหาค่าพิกัดพลาสติก (Plastic Limit)
8. การทดสอบซี.บี.อาร์ (C.B.R) ทำการทดสอบแบบเปียก (Soak Condition)
9. สถานที่ทดสอบ คือ หน่วยทดสอบวัสดุภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

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.

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงสมบัติพื้นฐานของถ้ำลอย
2. ทราบว่าถ้ำลอยสามารถช่วยในการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังได้หรือไม่
3. ทราบอัตราส่วนผสมถ้ำลอยที่เหมาะสมที่จะนำมาปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังที่ต่ำกว่ามาตรฐาน ให้สามารถใช้งานได้ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง
4. ได้วิธีการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังคุณภาพต่ำให้สามารถผ่านมาตรฐานที่กำหนดไว้ของกรมทางหลวง



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.

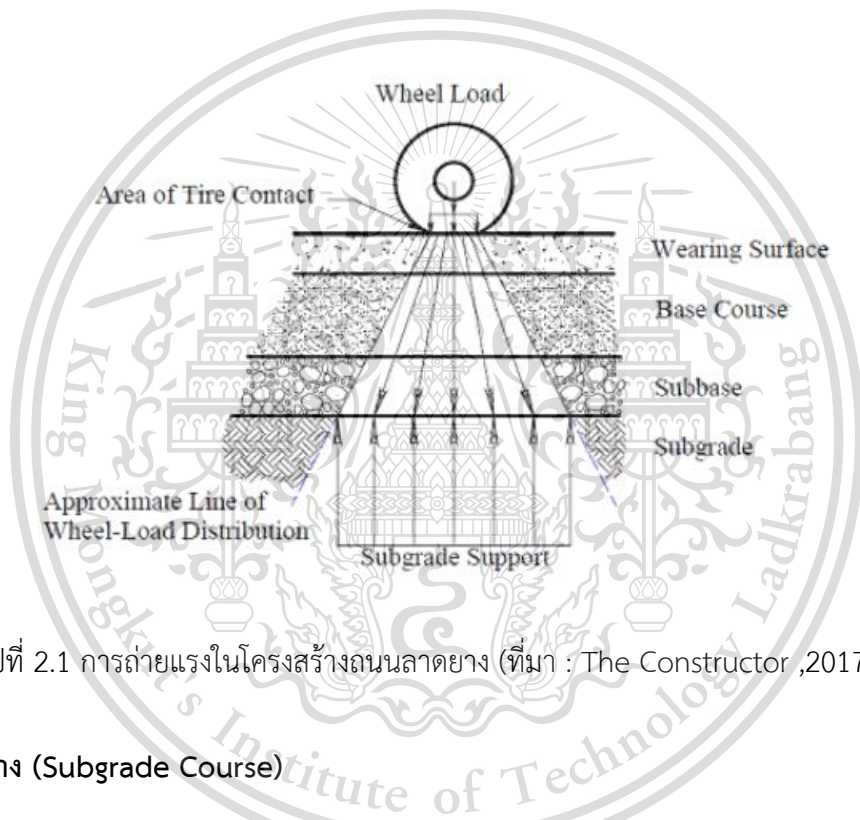
บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 โครงสร้างถนนลาดยาง (Flexible Pavement)

ถนนลาดยางเป็นถนนที่มีผิวถนนเป็นวัสดุที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ เช่น ยางมะตอย ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นเมื่อได้รับแรงจากการจราจรบนท้องถนนจะเกิดการโก่งตัว โครงสร้างของถนนลาดยางนั้นมีความหลากหลายวัสดุแบ่งเป็นชั้นๆ ตามความสามารถในการรับแรงที่ถ่ายจากผิวด้านบนลงมาในแต่ละชั้นได้ดัง รูปที่ 2.1

2.1



รูปที่ 2.1 การถ่ายแรงในโครงสร้างถนนลาดยาง (ที่มา : The Constructor ,2017)

2.1.1 ชั้นคันทาง (Subgrade Course)

เป็นวัสดุดินเดิมตามธรรมชาติที่ต้องทำการปรับปรุงดินให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้โดยการบดอัด ถ้าดินตามธรรมชาตินั้นเป็นดินที่อ่อนเกินไปไม่สามารถบดอัดได้ ก็ต้องทำการขุดดินออก และนำดินที่สามารถบดอัดได้มาแทนที่ โดยกรมทางหลวงได้กำหนดมาตรฐานของวัสดุดินถมคันทาง (ทล.-ม. 102/2532) ไว้ดังนี้

- ค่า ซี.บี.อาร์. ที่ได้จากห้องทดลองไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง คือ ที่ร้อยละ 95 ของค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Density) ตามมาตรฐานการทดสอบเพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์. (C.B.R.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

- มีค่าการบวมตัวไม่เกินกว่าร้อยละ 4 ที่ร้อยละ 95 ของค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดตามแบบมาตรฐาน ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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.

2.1.2 ชั้นวัสดุคัดเลือก (Selected Materials)

ชั้นนี้เป็นชั้นที่นำมาแทนที่ดินเดิม เนื่องจากดินเดิมมีสภาพไม่ดี ไม่สามารถบดอัดได้ (C.B.R. \leq 2%) หรือใช้เสริมระหว่างวัสดุคันทางและวัสดุรองพื้นทาง หรือตามตำแหน่งอื่นๆตามที่แบบได้กำหนดไว้ โดยชั้นนี้จะแบ่งวัสดุได้เป็น 2 แบบ คือ ชั้นวัสดุคัดเลือก ก. และชั้นวัสดุคัดเลือก ข. ซึ่งวัสดุคัดเลือก ก. จะเป็นพวกวัสดุมวลรวมที่มีขนาดใหญ่กว่า 50 มิลลิเมตร และวัสดุคัดเลือก ข. จะมีวัสดุที่มีมวลรวมขนาดเล็กกว่า 50 มิลลิเมตร โดยกรมทางหลวงได้กำหนดมาตรฐานของวัสดุคัดเลือก ก (ทล.-ม 209/2532) ไว้ดังนี้

2.1.2.1 คุณสมบัติของวัสดุมวลรวมที่ใช้ทำชั้นวัสดุคัดเลือก ก.

- มีขนาดเม็ดใหญ่ที่สุดไม่เกิน 50 มิลลิเมตร และผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (ขนาด 0.075 มิลลิเมตร) ไม่เกิน 30 % เมื่อทำการทดสอบหาขนาดเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงเบอร์ล่างและห้ามใช้ทรายที่มีคุณสมบัติในข้อหนึ่งข้อใดต่อไปนี้
 - มีส่วนผ่านตะแกรงขนาด 0.425 มิลลิเมตร เกิน 80 %
 - มีส่วนผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร น้อยกว่า 8 % หรือเกิน 30 %
- มีค่า Liquid Limit (LL) ไม่เกิน 40 % เมื่อทดสอบตาม ทล.-ท. 102
- มีค่า Plasticity Index (PI) ไม่เกิน 20 % เมื่อทดสอบตาม ทล.-ท. 103
- มีค่า C.B.R. ไม่น้อยกว่า 10 % ที่ความหนาแน่นแห้ง 95 % ของความหนาแน่น

แห้งสูงสุดที่ได้จากการทดสอบการบดอัดสูงสุดกว่ามาตรฐาน

- ค่าการขยายตัวเมื่อทดสอบ C.B.R. แบบแช่น้ำต้องไม่เกิน 3 % ที่ความหนาแน่นแห้ง 95 % ของความหนาแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการทดสอบการบดอัดสูงสุดกว่ามาตรฐาน
- กรณีใช้วัสดุจำพวก Shale ต้องมีค่าเฉลี่ย Durability ของวัสดุทั้งชนิดเม็ดละเอียดและชนิดเม็ดหยาบจากการทดสอบหาค่า Durability ของวัสดุ จะต้องไม่น้อยกว่า 30 %
- กรณีวัสดุจำพวก Non Plastic ที่เมื่อทดสอบหาขนาดเม็ดวัสดุตามวิธีหาขนาดเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล่างมีส่วนผ่านตะแกรงขนาด 2.00 มิลลิเมตร เกินกว่า 90 % และคุณภาพดั่งที่ข้างต้นทั้ง 6 ข้อ หากนำมาใช้ต้องทำการบดทับให้ได้ความหนาแน่นแห้งสม่ำเสมอตลอดไม่ต่ำกว่า 100 % ของความหนาแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการทดสอบการบดอัดสูงกว่ามาตรฐาน

2.1.2.2 คุณสมบัติของวัสดุมวลรวมที่ใช้ทำชั้นวัสดุคัดเลือก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ • มีขนาดเม็ดใหญ่ที่สุดไม่เกิน 50 มิลลิเมตร และผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (ขนาด 0.075 มิลลิเมตร) ไม่เกิน 35 % เมื่อทำการทดสอบหาขนาดเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล่าง

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

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

- มีค่า C.B.R. ไม่น้อยกว่า 6 % ที่ความหนาแน่นแห้ง 95 % ของความหนาแน่นสูงสุดที่ได้จากการทดสอบบดอัดสูงกว่ามาตรฐาน
- ค่าการขยายตัวเมื่อทำการทดสอบ C.B.R. แบบแช่น้ำต้องไม่เกิน 3 % ที่ความหนาแน่น 95 % ของความหนาแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการทดสอบการบดอัดสูงกว่ามาตรฐาน

2.1.3 ชั้นรองพื้นทาง (Subbase Course)

ชั้น Subbase นั้นจะถูกออกแบบให้ใช้วัสดุที่คัดสรรมาอย่างระมัดระวังเนื่องจากเป็นชั้นที่อยู่ระหว่างชั้นดินเดิมและ Base ของพื้นถนน ความหนาของ Subbase โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 4-16 นิ้ว, และมันถูกออกแบบมาเพื่อทนต่อความจุของโครงสร้างที่ต้องการของพื้นถนน โดยกรมทางหลวงได้กำหนดมาตรฐานวัสดุรองพื้นทาง (ทล.-ม. 205/2532) ไว้ดังนี้

- มีค่าความสึกกร่อน เมื่อทดลองตามวิธีทดลองหาค่าความสึกกร่อนของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่องมือ Los Angeles Abrasion ไม่เกินร้อยละ 60
- มีขนาดคละที่ดี และเมื่อทดลองตามวิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล่างต้องมีขนาดหนึ่งตาม ตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ขนาดคละเกรดต่างๆของวัสดุชั้นรองพื้นทาง (กรมทางหลวง, 2532)

ขนาดตะแกรง มิลลิเมตร	ร้อยละที่ผ่านตะแกรงโดยมวล				
	A	B	C	D	E
50	100	100	-	-	-
25	-	-	100	100	100
9.5	30-65	40-75	50-85	60-100	-
2	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100
0.425	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50
0.075	2-8	5-20	5-15	5-20	6-20

- ปราศจากก้อนดินเหนียว (Clay Lump) Shale รากไม้หรือวัชพืชอื่นๆ
- ขนาดวัสดุใหญ่ที่สุดไม่เกิน 5 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... ค่าขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 35 ตามมาตรฐานการทดสอบ...
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ค่าขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit: L.L.) ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

- ค่าดัชนีความเป็นพลาสติก (Plasticity Index) ไม่มากกว่าร้อยละ 11 ตามมาตรฐานการทดสอบเพื่อหาค่าขีดพลาสติก (Plastic Limit : P.L.)
- ค่า C.B.R. จากห้องทดลอง (Lab C.B.R.) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ที่ร้อยละ 95 ของค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Density) ตามมาตรฐานการทดสอบเพื่อหาค่า C.B.R. หรือไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง

2.1.4 ชั้นพื้นทาง (Base Course)

ชั้น Base เป็นส่วนของโครงสร้างถนนลาดยางและอยู่ใต้พื้นผิวถนนพอดี ถ้าหากว่ามีชั้น Subbase ชั้น Base จะถูกสร้างเหนือชั้นโดยตรง และหากไม่มีชั้น Subbase ชั้น Base จะถูกสร้างบนชั้นดินเดิม ปกติความหนาของชั้น Base อยู่ในช่วง 4 - 6 นิ้ว และถูกควบคุมโดยคุณสมบัติชั้นที่อยู่ข้างใต้

แรงจากการจราจรเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องบนพื้นผิว และชั้น Base จะดูดซับความเค้นถ่ายเทมาจากชั้นพื้นผิวและความเครียดที่เกิดจากการโก่งตัวของชั้นพื้นผิว โดยทั่วไปชั้น Base จะถูกสร้างด้วยหินคลุกบดที่ยังไม่ปรับสภาพ เช่น หินบด, ตะกรัน หรือกรวด วัสดุที่ทำชั้น Base จะมีความมั่นคงภายใต้การจราจรสูงและมีการระบายน้ำที่ดี

วัสดุชั้น Base มักถูกปรับสภาพด้วยปูนซีเมนต์, น้ำมันดิน, แคลเซียมคลอไรด์, โซเดียมคลอไรด์, แกลลวย หรือหินปูน การปรับสภาพเหล่านี้จะช่วยให้การรับน้ำหนักดีขึ้นสำหรับโหลดน้ำหนักรถสูง เพื่อเพิ่มความแข็งแรงเมื่อเกิดน้ำค้างแข็ง และทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกันความชื้นระหว่างชั้น Base และชั้นพื้นผิว

กรมทางหลวงได้กำหนดมาตรฐานวัสดุรองพื้นทางที่เป็นหินคลุก (ทล.-ม. 201/2544) ไว้ดังนี้

- มีค่าความเสียหาย เมื่อทดสอบตามวิธีการทดลองค่าความสึกกร่อนของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion ไม่เกินร้อยละ 80
- มีค่าส่วนที่ไม่คงทน (Loss) เมื่อทดสอบตามวิธีการทดลองการหาความคงทนของมวลรวม โดยใช้โซเดียมซัลเฟต จำนวน 5 รอบ แล้วไม่เกินร้อยละ 9 ให้มีการทดลองทุกครั้งที่นำมาใช้
- ส่วนเม็ดละเอียด (Fine Aggregate) ต้องเป็นวัสดุชนิดและคุณสมบัติเช่นเดียวกับส่วนหยาบ (Coarse Aggregate) ใช้วัสดุละเอียดชนิดอื่นเจือปน เพื่อปรับปรุงคุณภาพจะต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมทางหลวงก่อน
- มีขนาดละเอียดดี เมื่อทำการทดลองการหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง โดยต้อง

มีขนาดโตขนาดหนึ่งตามนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น 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.

ตารางที่ 2.2 แสดงเกรดของหินคลุก A และ B (กรมทางหลวง, 2544)

ขนาดตะแกรง มิลลิเมตร	ร้อยละที่ผ่านตะแกรงโดยมวล	
	A	B
50	100	100
25	-	75-95
9.5	30-65	40-75
4.75	25-55	30-60
2.00	15-40	20-45
0.425	8-20	15-30
0.075	2-8	5-20

- ขีดเหลว (Liquid Limit) ไม่มากกว่าร้อยละ 25 ตามมาตรฐานการทดสอบเพื่อหาค่าขีดเหลว (Liquid Limit : L.L.)
- ค่าดัชนีความเป็นพลาสติก (Plasticity Index) ไม่มากกว่าร้อยละ 6 ตามมาตรฐานการทดสอบเพื่อหาค่าขีดพลาสติก (Plastic Limit : P.L.)
- ค่า C.B.R. จากห้องทดลอง (Lab C.B.R.) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 สำหรับผิวทางแบบแอสฟัลต์คอนกรีต และไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 สำหรับผิวทางซอร์เฟสทรีตเมนต์ที่ร้อยละ 95 ของค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Density) ตามมาตรฐานการทดสอบเพื่อหาค่า C.B.R.

2.1.5 ชั้นผิวทาง (Surface Course)

ชั้นผิวทางในถนนลาดยางนั้นวัสดุที่ใช้เป็นยางมะตอยผสมร้อน (Hot Mix Asphalt) ซึ่งเป็นชั้นที่สัมผัสกับล้อยานพาหนะโดยตรงจะถูกออกแบบให้ผิวขรุขระราบรื่นและมีความปลอดภัย ในขณะเดียวกันก็มีการถ่ายโอนแรงการจราจรที่หนาแน่นผ่านชั้น Base ต่างๆไปพร้อมกัน และเข้าไปในดินชั้น Subbase ที่อยู่ด้านล่าง

2.1.6 ค่า C.B.R. ของวัสดุในแต่ละชั้นของโครงสร้างตามมาตรฐานกรมทางหลวง

ชั้นพื้นทางหินคลุก, C.B.R. \geq 80%

ชั้นรองพื้นทาง, C.B.R. \geq 25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่คัดลอกมาเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดก็ตามผู้ที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการศึกษาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.2 ดินลูกรัง

ดินลูกรังเกิดจากการผุพังของหินในสภาพภูมิอากาศชื้นและมีอุณหภูมิสูง มีคุณสมบัติเฉพาะ คือสามารถแข็งตัวได้เมื่อตั้งทิ้งไว้ในอากาศ และมักมีสีแดงเพราะมีออกไซด์ของเหล็กปะปนอยู่ คุณสมบัติของดินลูกรังจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุต้นกำเนิด ชนิดของดินเดิม ส่วนประกอบทางเคมี และสภาพภูมิอากาศ ดินลูกรังเมื่อนำมาบดอัดจะสามารถรับแรงเฉือนได้สูงขึ้น และมักนิยมใช้เป็นวัสดุก่อสร้างทางวิศวกรรม เช่น สร้างเป็นชั้นทางวัสดุการทางเป็นดินถมในคันดินถมในเขื่อน และในฐานะราก เพราะมีราคาถูก และหาง่ายในธรรมชาติ งานวิจัยนี้จึงเลือกดินลูกรังเป็นวัสดุหลักในการจัดทำงานวิจัย

2.2.1 ความหมายของดินลูกรัง

ดินลูกรัง หรือดินปนกรวด (Skeletal Soils) ตามระบบอนุกรมวิธานดินของกระทรวงเกษตรของสหรัฐอเมริกา หมายถึง ดินซึ่งมีชั้นส่วนหยาบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 2 มิลลิเมตร มากกว่าร้อยละ 35 โดยปริมาตร และมีอนุภาคดินที่พอจะแทรกอยู่ในช่องว่างที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 มิลลิเมตร จากคำนิยามของกองสำรวจดิน กรมพัฒนาที่ดิน หมายถึง เศษส่วนหิน หรือก้อนกรวด

2.2.2 ลักษณะของดินลูกรัง

ดินลูกรัง (Lateritic Soil) ลักษณะของดินลูกรัง จัดอยู่ในประเภท Skeletal Soil ดินที่มีเศษหินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร หรือใหญ่กว่า เป็นปริมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่าโดยปริมาตรที่มีความลึกไม่เกิน 50 เซนติเมตรจากผิวดิน เป็นได้ทั้งหินทราย (Sandy - Skeletal) ดินร่วน (Loamy - Skeletal) และดินเหนียว (Clay - Skeletal) เกิดได้ทุกสภาพพื้นที่



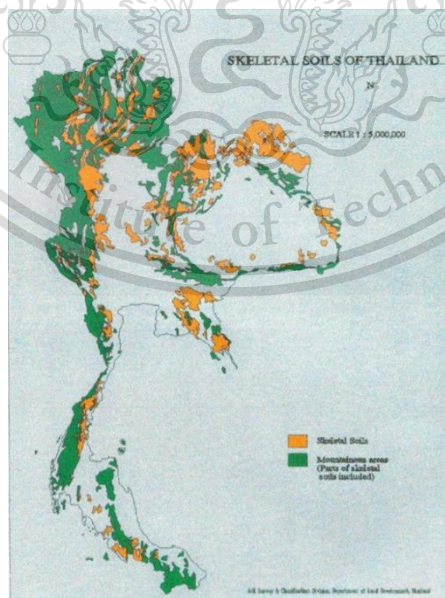
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนที่ออกพิมพ์และเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำไปเผยแพร่และตั้งวางจำหน่ายหรือใช้ซ้ำทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
(ที่มา : <http://www.phenixenterprise.com/product/laterite/>)

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

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

ดินลูกรังโดยทั่วไป สามารถแบ่งแยกได้เป็น 2 ชนิด ที่พบในชั้นของดิน ที่สามารถแยกได้ชัดเจน คือ ประเภทของดินลูกรังร่วน (ดินลูกรังสเปรด) และประเภทเป็นก้อนเกาะเป็นแผ่นแน่นทึบ (ดินลูกรังก้อน) โดยปกติแล้วจะมีขนาดแตกต่างกันมาก ตั้งแต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ถึง 4-5 เซนติเมตร รายละเอียดของ 2 แบบ สามารถแยกได้ดังนี้ แบบแรก คือ เมื่อใช้มือบิออกจะเห็นลักษณะ Concentric Lamination Characteristic แต่แบบที่สองจะไม่เห็นโดยทางปฏิบัติ แบบแรกเรียกว่า True Laterite หรือ Ground Water Laterite ส่วนแบบหลังเรียกว่า Pseudo Laterite โดยทั่วไปจะพบ Laterite ทั้ง 2 แบบปะปนในชั้นดินเสมอ แต่มีชนิดหนึ่งชนิดใดมากกว่ากันขึ้นอยู่กับลักษณะหรือบริเวณที่อยู่ในดิน เช่น Pseudo มักพบที่ส่วนบนสุดของที่ลาดเอียง มีขนาดค่อนข้างสม่ำเสมอ ปกติแล้วมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2 เซนติเมตร แบบที่สองของดินลูกรังเป็นชนิดแผ่นแน่นทึบ แต่ถ้าแบ่งย่อยต่อไปจะแยกได้ชัดว่ามี 3 ชนิด คือ แบบ Honey Comb ซึ่งเป็นแบบที่ลูกรังร่วนเกาะกันแน่นหรือเป็นก้อนกรวดมาอัดกันมากกว่าเป็น Laterite การเกิดหินเหล่านี้แต่ละรูปแบบยังไม่แน่นอนนัก เชื่อว่า Honey Comb เกิดขึ้นจากแร่ธาตุที่มีเหล็กผสมมาก หรือ Plinthite ถูกยกขึ้นบนผิวดิน และนักวิทยาศาสตร์อื่นๆ ได้อธิบายว่า Plinthite สามารถแข็งตัวได้หากสภาพอากาศแห้ง และเปียกสลับกันในช่วงเวลาพอสมควรทั้ง ๆ ที่ไม่ต้องถูกอากาศ สำหรับอีก 2 ชนิด ต้องเกิดการเชื่อมติดกันของลูกรังร่วนและกรวดหินมากกว่าการเชื่อมติดของลูกรังโดยธาตุเหล็ก อย่างไรก็ตามสภาวะสิ่งแวดล้อมทางกายภาพที่อำนวยให้เกิดเหตุการณ์เหล่านั้นยังเป็นที่ถกเถียงกันอยู่ โดยธรรมชาติดินลูกรังเป็นดินแผ่นเกาะกันแน่นจะพบในชั้นดินรูปแบบหักหรือแตก หรือแบบที่เป็นชั้นหรือหิน ดังนั้นแผ่นแข็งมีขนาดแตกต่างกันไป ตั้งแต่เส้นผ่านศูนย์กลาง 2-3 เมตร ถึง 1-2 กิโลเมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 2.3 แหล่งดินลูกรังในประเทศไทย (ที่มา : กรมพัฒนาที่ดิน ,2004)

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.

ประเทศไทยมีพื้นที่ดินลูกรังประมาณ 68,765 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 13.4 ของพื้นที่ทั้งหมดในประเทศ พบการแพร่กระจายอยู่ทั่วประเทศ ในบริเวณตะกัปลำน้ำ ที่ลาดเชิงเขา เนินตะกอนรูปพัด ต่อเนื่องพื้นที่ที่สึกกร่อนจากการชะล้างหน้าดิน (Erosion Surface) เนินเขาและภูเขา พื้นที่ส่วนใหญ่ของดินนี้ส่วนใหญ่อยู่ทางตอนเหนือของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตอนกลางของภาคเหนือ และภาคตะวันออก และพบเล็กน้อยในภาคกลางและภาคใต้



รูปที่ 2.4 ลักษณะของดินลูกรังที่ใช้ในงานก่อสร้างถนน

(ที่มา : http://pariwattomawan.blogspot.com/2015/08/blog-post_12.html)

2.2.3 ประเภทของดินลูกรัง

ประเภทของดินลูกรังตามคุณสมบัติทางฟิสิกส์สามารถแบ่งออกเป็นดังนี้

- 1) Laterite หรือดินลูกรัง หมายถึง ดินที่เกิดจากกระบวนการผุพังในอัตราค่อนข้างสูงและมีคุณสมบัติแข็งตัวเมื่อสัมผัสกับอากาศ
- 2) Lateritic Soil หรือดินลูกรัง หมายถึง ดินสีแดงซึ่งมีออกไซด์ของเหล็ก และอลูมิเนียมในปริมาณสูง ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการ laterization มีคุณสมบัติแข็งตัวได้เองและมี Laterite Rock และ Laterite Gravel ผสมอยู่
- 3) Tropical Red Soil (Latosols) หมายถึง ดินสีแดงที่ไม่มีคุณสมบัติแข็งตัวได้เอง และไม่มี laterite Rock และ laterite Gravel ผสมอยู่
- 4) Laterite Rock หรือหินลูกรัง หมายถึง ดินลูกรังที่เกิดจากการแข็งตัวอย่างสมบูรณ์ มีความเหนียวและแข็ง มีคุณสมบัติเป็นหินมากกว่าดิน เช่น หินศิลาแลง เป็นต้น
- 5) Plinthite หมายถึง หินลูกรังอีกประเภทหนึ่ง ซึ่งสามารถตัดด้วยเครื่องตัดโลหะได้ในขณะอยู่ในดิน เมื่อตั้งทิ้งไว้ในอากาศจะเกิดการแข็งตัวและไม่กลับสู่สภาพเดิม
- 6) Laterite Gravel หรือกรวดลูกรัง หมายถึง ลูกรังที่ประกอบด้วยวัสดุเม็ดหยาบเป็น

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

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

เม็ดเล็ก มีความแข็งแตกต่างกัน บางที่อาจยึดเกาะกันเป็นมวลใหญ่ หรืออาจร่วนเป็น silty และ (หรือ) Clayey Lateritic Soil

2.2.4 สีของดินลูกรัง

ดินลูกรังส่วนใหญ่มักมีสีแดง และจะมีสีแดงเข้มหรือสีแดงอ่อนขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำเป็นส่วนประกอบของเหล็กออกไซด์ อลูมิเนียม ดิตาเนียม และแมงกานีส โดยทั่วไปสีของดินลูกรังจะเกิดจาก

- 1) สารอินทรีย์ ดินจะมีสีดำ สีน้ำตาล และสีเทา
- 2) แร่ธาตุ ๆ ที่เป็นส่วนประกอบของดินลูกรัง
 - แร่เหล็ก ดินมีสีแดง สีส้ม สีเหลือง สีน้ำเงิน และสีเขียว
 - แคลเซียม แมกนีเซียม และโปแทสเซียม ดินจะมีสีขาว
 - อลูมิเนียม ดินจะมีสีขาว
 - แมงกานีส ดินจะมีสีดำ และสีน้ำตาล

ซึ่งจะสังเกตได้ว่าถ้าเป็นบริเวณเชิงลาดสูงสุดของเนินเขาที่มีการระบายน้ำดี ดินลูกรังจะมีสีแดงไปจนถึงน้ำตาลแกมแดง หรือสีแดงสด หรือสีแดงแกมม่วง ซึ่งสีแดงเหล่านี้แสดงถึงการมีเหล็กออกไซด์ประเภทเฮมาไทต์ในดิน แต่ถ้าในบริเวณตอนกลางในเนินเขา และที่ในลักษณะต่ำลงมา การระบายน้ำจะดินน้อยกว่า 2 บริเวณสูงสุดของเนินเขาทำให้ดินมีความชื้นนาน และปริมาณน้ำที่เป็นส่วนประกอบของเหล็กในดินมีปริมาณมากขึ้น ดินลูกรังจะมีสีน้ำตาล หรือสีเหลืองมากกว่าสีแดง เหล็กออกไซด์ในรูปของดินลูกรังบริเวณนี้ส่วนใหญ่จะเป็น จีโอไทต์ และลิโมนาइट แสดงให้เห็นว่ายิ่งต่ำลงมาดินยิ่งเปลี่ยนจากสีน้ำตาลแกมแดงเป็นสีน้ำตาล หรือสีน้ำตาลแกมส้มจนถึงน้ำตาลแกมเหลือง หรืออาจเป็นเหลืองแกมน้ำตาล ส่วนบริเวณที่มีการระบายน้ำไม่ดีดินจะมีสีเทาปนน้ำเงิน

2.2.5 การสำรวจแหล่งลูกรังเพื่อเป็นวัสดุก่อสร้าง

ในการสำรวจหาแหล่งดินลูกรังที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างนั้น จะต้องเริ่มจากการศึกษาข้อมูลของดินลูกรังที่พบอยู่ในประเทศ โดยอาศัยข้อมูลจากแผนที่ภูมิประเทศเพื่อเป็นแนวทางในการหาแหล่งดินลูกรังที่จะนำมาเป็นวัสดุในงานวิศวกรรม เมื่อพบแหล่งดินลูกรังที่ต้องการแล้วก็จะทำการสำรวจเพื่อหาขอบเขตของพื้นที่ที่มีดินลูกรัง

ในการสำรวจหาแหล่งวัสดุ เพื่อใช้เป็นวัสดุก่อสร้างงานทางสามารถแบ่งขั้นตอนการปฏิบัติงานออกได้

2 ขั้นตอน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

- 1) การหาแหล่งหรือบริเวณที่คาดว่าจะมีวัสดุ โดนปกติการทำแหล่งวัสดุที่จะใช้ในงาน

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา 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.

ก่อสร้างจะพยายามหาให้ได้ในบริเวณที่ใกล้เคียงกับงานก่อสร้างทางมากที่สุด เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง การหาแหล่งวัสดุโดยทั่ว ๆ ไปจะต้องเริ่มจากการศึกษาแผนที่ภูมิประเทศ (Topographic Map) เสียก่อน บริเวณที่จะมีแหล่งลูกรังมักจะมีเส้นชั้นความสูงปานกลาง ฉะนั้นควรให้ความสนใจกับแนวทางของน้ำในปัจจุบัน เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดแนวทางของลำน้ำเก่า

หลังจากที่ได้กำหนดจุดสำรวจ ได้แก่ บริเวณที่เป็นเนินและบริเวณที่คาดว่าน่าจะเป็นลำน้ำเก่าแล้ว คณะสำรวจก็จะออกสำรวจโดยการเจาะสุ่มบริเวณต่างๆ ตามที่ได้กำหนดในแผนที่การสังเกตลักษณะพืชพันธุ์สามารถใช้เป็นแนวทางในการสำรวจแหล่งลูกรังได้ นอกจากนี้คณะผู้สำรวจอาจสอบถามจากชาวบ้านที่อาศัยอยู่ในบริเวณที่เข้าไปทำการสำรวจอันจะทำให้เข้าถึงจุดที่ต้องการจะสำรวจได้ง่ายและรวดเร็วยิ่งขึ้น

2) การหาอาณาบริเวณและปริมาณของแหล่งวัสดุ เมื่อทราบวัสดุอยู่ ณ ที่แห่งใดแล้ว ก็ทำการเจาะสำรวจเพื่อหาบริเวณและขอบเขตที่มีวัสดุ การขุดเจาะจะทำการขุดด้วยรถแบล็คโฮ ในการเจาะตรวจสอบความหนาของชั้นดินและความหนาของชั้นดินลูกรังในทุกหลุมที่เจาะ อย่างไรก็ตาม ก่อนที่จะทำการเจาะสำรวจเพื่อครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด ให้เก็บตัวอย่างมาตรวจสอบคุณภาพของวัสดุดินลูกรังเพื่อใช้ในงานวิศวกรรม

2.2.6 มาตรฐานการทดสอบวัสดุก่อสร้างทางประเภทดินลูกรัง

1. มีค่าความสึกกร่อน เมื่อทดสอบตามวิธีการทดสอบหาค่าความสึกกร่อนของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion ไม่เกินร้อยละ 60
2. มีขนาดคละที่ดี เมื่อทดสอบตามวิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล้างต้องมีขนาดดัง ตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงขนาดคละต่างๆของดินลูกรังตามมาตรฐานกรมทางหลวง (กรมทางหลวง, 2532)

ขนาดตะแกรง มิลลิเมตร	ร้อยละที่ผ่านตะแกรงโดยมวล				
	A	B	C	D	E
50	100	100	-	-	-
25	-	-	100	100	100
9.5	30-65	40-75	50-85	60-100	-
2	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100
0.425	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50
0.075	2-8	5-20	5-15	5-20	6-20

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. ปราศจากก้อนดินเหนียว (Clay Lump) Shale รากไม้หรือวัชพืชอื่นๆ
4. ขนาดวัสดุใหญ่สุดไม่เกิน 5 เซนติเมตร
5. ค่าขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit) ไม่มากเกินไปกว่าร้อยละ 35 ตามมาตรฐานการทดสอบเพื่อหาค่าขีดจำกัดขีดเหลว (Liquid Limit: L.L.)
6. ค่าดัชนีความเป็นพลาสติก (Plasticity Index) ไม่มากกว่าร้อยละ 11 ตามมาตรฐานการทดสอบเพื่อหาค่าขีดพลาสติก (Plastic Limit : P.L.)
7. ค่า ซี.บี.อาร์. จากห้องทดลอง (Lab C.B.R.) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ที่ร้อยละ 95 ของค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Density) ตามมาตรฐานการทดสอบเพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์. หรือไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง

2.3 ดินซีเมนต์

2.3.1 ประวัติความเป็นมาของดินซีเมนต์

แนวความคิดเรื่องการปรับปรุงคุณสมบัติของดินให้ดีขึ้น โดยการใช้ผสมเพิ่มได้เกิดขึ้นเป็นเวลากว่าหลายพันปีล่วงมาแล้วอย่างน้อยที่สุดเมื่อประมาณ 5,000 ปีก่อน ได้มีการผสมดินกับปูนขาวหรือกับสาร Pozzolans ซึ่งเป็นการปรับปรุง หรือทำให้คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมดีขึ้น ที่ปฏิบัติสืบต่อกันมาหลายศตวรรษ Terrel, Barenberg, Mitchell และ Thomson [1]

Portland Cement Association [2] ได้บันทึกไว้ว่า Development Department ของ Portland Cement Association ในปี 1935 ได้ศึกษาค้นคว้าทำให้สามารถพัฒนาผลของส่วนผสมที่เหมาะสมของซีเมนต์กับดินหลาย ๆ ชนิด และจากการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวิธีการทดสอบและระเบียบวิธีการก่อสร้างที่ให้ผลเป็นที่น่าเชื่อถือได้ถูกกำหนดขึ้น รูปแบบของวิธีการทดสอบที่ได้มีการพัฒนาขึ้น คือ Moisture-Density, Wet-Dry Test และ Freeze-Thaw Test สำหรับดินซีเมนต์ และวิธีการเหล่านี้ต่อมาได้ถูกนำมาเป็นมาตรฐานการทดสอบของ American Society for Testing Material (ASTM) ในปี 1944 และ American Association of State Highway Officials (AASHTO) ในปี 1945

Davidson [3] กล่าวถึงเรื่องวิวัฒนาการของดินซีเมนต์ที่ได้กำเนิดขึ้นในโลกไว้ว่า กิจการรับเหมาก่อสร้างที่เกี่ยวข้องกับการสร้างถนนในเมือง Sarasota รัฐ Florida ได้ก่อตั้งในปี 1915 น่าจะเป็นการเริ่มต้นครั้งแรกในโลกเกี่ยวกับถนนดินซีเมนต์ จากหลักฐานพบว่าถนน Oak ได้ถูกสร้างขึ้นจากการขุดเอาดิน Shell จากอ่าวมาผสมกับทรายและซีเมนต์ ต่อจากนั้นก็นำส่วนผสมที่ได้เกลี่ยและบดอัดด้วยรถบดไอน้ำที่มีน้ำหนัก 10 ตัน ซึ่งวิธีดังกล่าวเป็นวิธีก่อสร้างที่ไม่เป็นระบบแบบแผนที่ได้วางเอาไว้เนื่องจากการเสียหายของเครื่องผสม

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

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

คอนกรีต และในช่วงศตวรรษที่ 1920 State Highway Department ต่างๆ ในประเทศสหรัฐอเมริกา อันประกอบด้วยรัฐ Iowa , South Dakota, Ohio, California และ Texas ได้มีการทดสอบดินกับซีเมนต์ทำถนน แต่เนื่องจากตอนนั้นขาดความรู้ และความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ทำให้ไม่สามารถทำนายหรืออธิบายผลได้ และยังได้อ้างรายงานของ Mills (1935 ,1936) ว่าในปี 1932 South California State Department ได้ทำการศึกษาส่วนผสมของดินและซีเมนต์ภายใต้การดูแลของ Dr C.H. Moorefield หลายรูปแบบการทดลอง ได้ถูกสร้างขึ้นในปี 1933 และ 1934 ซึ่งได้รายงานผลการทดสอบว่า ดินผสมซีเมนต์เป็นวัสดุที่สามารถเข้ากันได้ และนำมาใช้เป็นวัสดุพื้นทางของถนนที่มีราคาถูกได้

Terrel และคณะ [1], Davidson [3] ได้บันทึกตรงกันว่า เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองของ South Carolina State Highway, Bureau of Public Roads และ PCA ได้ร่วมมือกันก่อสร้างถนนดินซีเมนต์ยาว 1.5 ไมล์ ใกล้กับเมือง Johnsonville ขึ้นในปี 1935 ถนนสายนี้ต่อมากลายเป็นที่รู้จักว่าเป็นโครงการแรกของวิศวกรรมถนนดินซีเมนต์

Davidson [3] ได้รายงานความสำเร็จของ South California State Highway Department นำไปสู่การขยายเขตของการทดลองขึ้นอีกหลายรัฐของสหรัฐอเมริกาในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 ถนนดินซีเมนต์ได้ถูกนำมาใช้กับการก่อสร้างสนามบินอย่างมากระหว่างปี 1941-1944 พบว่ามีปริมาณการใช้มากถึง 22 ล้านตารางหลา แต่ในขณะเดียวกันการก่อสร้างถนนมีปริมาณน้อยลงภายหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 ยุติการใช้ถนนดินซีเมนต์ก็กลับมาเพิ่มขึ้นอีกครั้งนอกเหนือจากการก่อสร้างถนนแล้วยังมีการใช้ดินผสมซีเมนต์เป็นรองพื้นทางของถนนคอนกรีต, ไหล่ทางของถนน, ที่จอดรถ, คลังเก็บสินค้า, รองพื้นอ่างเก็บน้ำของคูและคลองยิ่งกว่านั้นมีการใช้ถนนดินซีเมนต์ได้แผ่ขยายกว้างในสหรัฐ นอกจากนี้ยังมีการนำไปใช้ในประเทศอังกฤษ แอฟริกาใต้ ตะวันออกกลาง อเมริกาใต้ และเยอรมันในเวลาต่อมา

2.3.2 กลไกของการปรับปรุงคุณสมบัติของดินผสมซีเมนต์

กลไก (Mechanism) ที่เกิดขึ้นภายหลังการใช้ซีเมนต์ผสมกับดินจะมีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่เป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ถูกศึกษา และบันทึกโดยนักวิจัยหลายท่าน

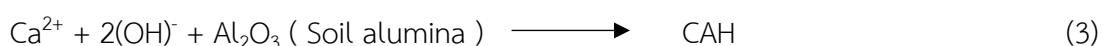
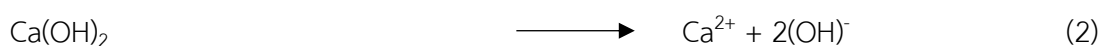
Davidson [3] ได้บันทึกไว้ว่า คุณสมบัติที่เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นภายหลังการผสมดินซีเมนต์กับดินเหนียวขึ้นจะทำให้เกิดการลดลงของค่า Plasticity โดยเหตุผลที่นำมาจากการแยกของ Calcium ion ในระหว่างเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน กลไก (Mechanism) ที่เกิดขึ้นถ้าไม่มาจก Cation Exchange หรือไม่ก็มาจากการจับกลุ่มเพิ่มขึ้นของ Cation ในดินเหนียว จากกระบวนการทั้งสองทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของประจุไฟฟ้า ที่มีอยู่อย่างหนาแน่นบริเวณอนุภาคดินเหนียวประจุไฟฟ้าจะมีการดึงดูดเข้าหากัน เป็นเหตุให้อนุภาคดินเหนียวมีการรวมตัวกันและตกตะกอนเป็นวัสดุที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและขนาดอนุภาคดินเหนียวมีขนาดใหญ่ขึ้นนี้

จะทำให้ดินเหนียวมีคุณสมบัติคล้ายดินตะกอนที่มีค่า Plasticity ต่ำหรือมีค่าการยึดเหนี่ยวต่ำการเชื่อมประสานในการบดอัด Cement Treated soil ปฏิกริยาไฮเดรชันของส่วนประกอบของซีเมนต์จะเกิดขึ้นในเวลาที่แตกต่างกัน โดยผลของปฏิกริยาทำให้เม็ดดินเกิดการยึดเกาะกันเป็นก้อนการยึดเกาะที่เกิดขึ้นนี้เนื่องมาจากการพัฒนาของแรงยึดเกาะทางเคมีที่มีอยู่ในธรรมชาติของดิน หรือการยึดเกาะระหว่างผิวของอนุภาคซีเมนต์ที่อยู่ใกล้กัน

Lambe , Micheals และ Moh [5] ได้ศึกษา Improvements of Soil Cement with Alkali Metal Compound และอธิบายผลไว้ว่าซีเมนต์เป็นวัสดุที่ประกอบขึ้นจากผลึกของ Tricalcium Silicate (C_3S), Dicalcium Silicate (C_2S), Tricalcium Aluminate (C_3A), Tetracalcium Aluminate Ferrite (C_4AF) เมื่อซีเมนต์ผสมเข้ากับดินและน้ำ ในการทำดินซีเมนต์จะทำให้เกิดปฏิกริยาไฮเดรชัน ผลของปฏิกริยาจะทำให้ได้สารประกอบ Calcium Silicate Hydrate, Calcium Aluminate Hydrate และ Hydrated Lime ที่แยกตัวออกมาระหว่างการเกิดปฏิกริยา ซึ่งสารประกอบสองตัวแรกมีคุณสมบัติเชื่อมประสานที่ได้จากปฏิกริยาหลักของซีเมนต์ และนอกจากนี้ Hydrated Lime ได้เข้าทำปฏิกริยากับ Silica และ Alumina ที่ได้จากรีดดินเหนียว ได้สารประกอบที่มีคุณสมบัติเชื่อมประสานเพิ่มขึ้นไปอีก

ปฏิกริยาไฮเดรชันที่ได้จากการทำปฏิกริยาซีเมนต์และน้ำในดินซีเมนต์ ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของ pH ซึ่งเชื่อว่าการเพิ่มขึ้นของ pH เนื่องจากการแตกตัวของของ $Ca(OH)_2$, หรือ Hydrated Lime การเพิ่มขึ้นของ pH จะทำให้เกิดการแตกตัวของแร่ประกอบ Silica และ Alumina จากดินเหนียวเข้าทำปฏิกริยา Calcium ions ก่อให้เกิดวัสดุเชื่อมประสานเพิ่มขึ้น ซึ่งจะต้องใช้ระยะเวลาเพิ่มขึ้น

Moh [6] ได้ศึกษา เรื่อง ปฏิกริยาของแร่ประกอบดินเหนียว (Clay Minerals) กับซีเมนต์ และสารเคมีผสมเพิ่มจำพวกโซเดียม วัตถุประสงค์ของการศึกษาจะมุ่งเน้นศึกษาเพื่อหาปฏิกริยาที่เกิดขึ้นกับการใช้ซีเมนต์หรือปูนขาวเป็นวัสดุส่วนผสม และรวมถึงผลกระทบของสารจำพวกโซเดียมด้วย ซึ่งในการศึกษาดังนี้ จะมุ่งเน้นศึกษาเฉพาะดินและซีเมนต์เท่านั้น สำหรับดินซีเมนต์ปฏิกริยา ที่เกิดขึ้นดังสมการที่ (1), (2) และ (3)



การพัฒนากำลังเกิดจากการที่ซีเมนต์ผสมกับน้ำแล้วเกิดปฏิกริยาซีเมนต์ไฮเดรชัน ผลของปฏิกริยาจะ
ได้สารประกอบ CSH , CAM , Calcium Hydroxide ($Ca(OH)_2$) ปฏิกริยาจะดำเนินต่อไป โดยผลของการทำ

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

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

ปฏิกิริยาระหว่าง $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ที่แตกตัวออกเป็น Ca^{2+} กับแร่ดินเหนียว จะได้ CSH และ CAH สารประกอบเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นตัวเชื่อมประสาน และทำให้เกิดการรวมกันของอนุภาคของดินเป็นผลให้มีขนาดใหญ่ขึ้น และมีกำลังสูงขึ้นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากสมการ (1) , (2) และ (3) เรียกว่าเป็น Primary Reaction และ Secondary Reaction ตามลำดับ

Terrel และคณะ [1] ได้กล่าวถึงปฏิกิริยาของดินซีเมนต์ว่า การผสมซีเมนต์กับเม็ดดินหยาบ (Coarse Grained Soils) ซีเมนต์เพส (Cement Paste) จะทำหน้าที่ยึดอนุภาคของดินเข้าด้วยกันโดยทำการยึดเกาะที่ผิวระหว่างซีเมนต์เจล (Cement Gel) และผิวอนุภาค ส่วนดินเม็ดละเอียด (Fine Grained Soils) โดยเฉพาะที่มีส่วนของดินเหนียวผสมอยู่ด้วยจะมีส่วนช่วยในการทำปฏิกิริยา คือ แร่ดินเหนียวที่สลายออกมาในสภาวะแวดล้อมที่มีค่า pH สูง และจะทำปฏิกิริยากับ Free Lime หรือ Hydrated Lime ที่ได้จากซีเมนต์โดยจะก่อเป็นรูปของ Calcium Silicate Hydrated (CSH) และ Calcium Aluminate Hydrated (CAH)

2.3.3 ปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมกับดินซีเมนต์

เกษม (2541) จากงานวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนด้วยวิธีการปรับปรุงเสถียรภาพด้วยซีเมนต์ (Cement Stabilization Method) จากการใช้ตัวอย่างดินที่ผสมกับซีเมนต์ที่อัตราส่วน 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 เปอร์เซ็นต์ แล้วทำการบ่มภายใต้เงื่อนไขและเวลาเดียวกัน เมื่อทำการทดสอบหาค่ากำลังอัดแกนเดียว (Unconfined Compression Test) พบว่าตั้งแต่อัตราส่วนผสมซีเมนต์ตั้งแต่ 3 เปอร์เซ็นต์เป็นต้นไป ส่งผลให้ค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

2.4 เถ้าลอย (Fly ash)

เถ้าลอยที่ใช้ เป็นเถ้าที่ได้จากกระบวนการผสมแอสฟัลท์คอนกรีตจากโรงงานของกรมทางหลวง เป็นเถ้าหรือฝุ่นส่วนเกินที่ไม่จำเป็นในกระบวนการผสม หรือเป็นอนุภาคละเอียดจากแบ็คเฮาส์ของการผลิตแอสฟัลท์แบบผสมร้อน คือ อนุภาคฝุ่นที่ถูกดักจากก๊าซที่ถูกปล่อยออกมาจากโรงงานผสมยางแอสฟัลท์ เครื่องมือที่ใช้ด้านการกักเก็บลำดับที่สอง เรียกว่า แบ็คเฮาส์ (baghouse) โดยทั่วไปถูกใช้ในการดักเก็บอนุภาคละเอียดขนาดต่างๆ ซึ่งจะถูกเก็บอยู่ในส่วนของเครื่องเก็บฝุ่น (Dust Collector)

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.

2.4.1 การนำกลับมาใช้

ผู้ผลิตแอสฟัลท์ส่วนมากที่ใช้การผสมในโรงงานที่มีเครื่องมือแบ็คเฮาส์ได้ลองพยายามที่จะนำฝุ่นที่ได้กลับเข้าไปในการผสมเพื่อใช้ปูพื้นทางให้มากขึ้นเท่าที่จะเป็นไปได้ แม้ว่าตัวเลขที่แม่นยำจะไม่สามารถรับรู้ได้ แต่ได้มีการประมาณไว้ว่ากว่า 80 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ของฝุ่น จากแบ็คเฮาส์ได้ถูกนำกลับมาใช้ในแอสฟัลท์แบบผสมร้อน

2.4.2 การกำจัดทิ้ง

แม้ว่าส่วนมากฝุ่นจากแบ็คเฮาส์จะถูกนำกลับมาใช้ใหม่ในโรงงานผสมแอสฟัลท์ แต่ผู้ผลิตบางราย (น้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์) ได้ทำการกำจัดฝุ่นเหล่านี้ทิ้งผ่านทางกลิ้งด้วยน้ำ แล้วปล่อยให้ตะกอนในบ่อที่เตรียมไว้หรือปล่อยลงสู่เหมือง สถานที่ที่ใช้ระบบขัดแบบเปียก (Wet Scrubber) เพื่อควบคุมฝุ่นแทนแบ็คเฮาส์ การกลิ้งเพื่อกำจัดฝุ่นก็จะกลายเป็นวิธีธรรมดาทั่วไป

2.4.3 การใช้ในงานทาง

แสดงให้เห็นว่าสำหรับอนุภาค หรือฝุ่นจากแบ็คเฮาส์ถูกนำกลับมาใช้ในงานพื้นผิวแอสฟัลท์ในบางส่วนหรือทั้งหมดของวัสดุเติมแต่ง และสามารถมากขึ้นถึง 5 เปอร์เซ็นต์ในงานพื้นผิวแอสฟัลท์บางประเภท

2.4.4 คุณสมบัติวัสดุ

2.4.4.1 สมบัติทางกายภาพ

อนุภาคละเอียดจากแบ็คเฮาส์ เป็นอนุภาคที่ละเอียดมากๆ โรงงานที่ไม่มีมีการกักเก็บขั้นต้น หรือแบบไซโคลอนมีเปอร์เซ็นต์ค้ำที่ 0.8 ถึง 5.8 เปอร์เซ็นต์ บนตะแกรง 0.6 mm. (No.30) โดยคาดว่านี่เป็นขนาดที่เล็กที่สุดของอนุภาคจากแบ็คเฮาส์

การกระจายของขนาดอนุภาคจากแบ็คเฮาส์ประกอบด้วยส่วนหยาบ และส่วนละเอียด โดยการแบ่งขนาดที่ตะแกรง 0.075 mm. (No.200) ที่เป็นช่วงสำคัญในเปอร์เซ็นต์ของอนุภาคฝุ่นผ่านตะแกรง 0.075 mm. (No.200) โรงงานที่ไม่มีระบบกักเก็บขั้นต้นมักจะเก็บฝุ่นต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ของวัสดุที่ถูกเก็บซึ่งผ่านตะแกรง 0.075 mm. (No.200) ในอีกมุมหนึ่ง มากกว่าครึ่งของโรงงานที่ระบบกักเก็บขั้นต้นเก็บฝุ่นได้ 90 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของอนุภาคที่ละเอียดกว่าตะแกรง 0.075 mm. (No.200) จะทำได้

เอกสารนี้เป็นในสมบัติทางกายภาพที่สำคัญอื่นๆของอนุภาคจากแบ็คเฮาส์ คือ ค่าความถ่วงจำเพาะ พื้นผิวจำเพาะ การค้าไม่ว่า ความชื้นไฮโกรสโคปิก และพิคต้อตตะเบิร์ก ดังตารางที่ 2.4 ได้สรุปช่วงของค่าของสมบัติทางกายภาพที่ได้ไปใช้

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

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

สังเกต ข้อยกเว้นบางประการ อนุภาคจากแบ็คเฮาส์ปกติจะดูน้ำน้อยกว่า 2 เปอร์เซ็นต์ ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50 เปอร์เซ็นต์ อนุภาคจากแบ็คเฮาส์อาจมีส่วนผสมของอนุภาคดินเหนียวบ้าง และโดยทั่วไปอาจมีปัญหาบ้าง เมื่อต้องพบกับความต้องการความเป็นพลาสติกสำหรับสารเติมแต่ง ที่ขีดจำกัดของค่าดัชนีพลาสติก 4.0

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างช่วงของลักษณะคุณสมบัติทางกายภาพของอนุภาคจากแบ็คเฮาส์

(ที่มา : <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/97148/005.cfm>.)

Range	Gradation of Passing				Specific Gravity	Specific Surface* (m ² /g)	Hygroscopic Moisture (%)	Liquid Limit	Plasticity Index
	0.600 mm (No. 30 sieve)	0.300 mm (No. 50 sieve)	0.075 mm (No. 200 sieve)	0.01 mm					
Maximum	100	100	100	78	2.87	2.18	1.9	39	4
Minimum	95	82	28	4	2.57	0.06	0.2	NL	NP
*Measured by air permeability					NL = Nonliquid, NP = Nonplastic				

2.4.4.2 สมบัติทางเคมี

ด้วยบางข้อยกเว้น pH ของอนุภาคจากแบ็คเฮาส์ คือ อัลคาไลน์ โดยปกติจะอยู่ในช่วง 7.2 ถึง 10.8 สำหรับฝุ่นจากวัสดุจำพวกมวลรวมหยาบ หินแกรนิต หินอัคนีดำ และมีค่าอยู่ในช่วง 11.0 ถึง 12.4 สำหรับฝุ่นจากพวกหินปูนและหินโพลีเมอร์ ซึ่งสมบัติทางเคมีของอนุภาคจากแบ็คเฮาส์นั้นจะเป็นไปตามวัสดุมวลรวมที่ใส่ผสมเข้าไป

2.5 การทดสอบ Atterberg's Limit

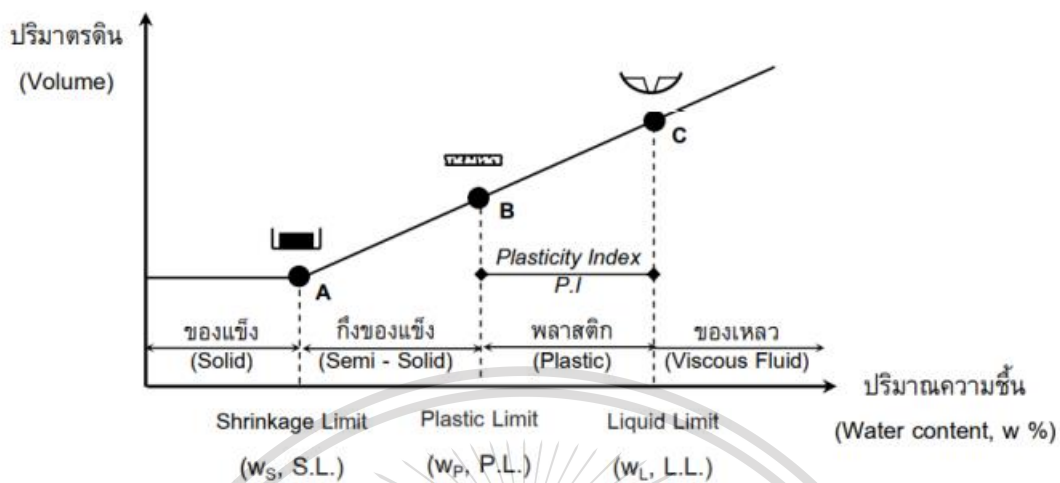
ในปี ค.ศ. 1911 A. Atterberg นักวิทยาศาสตร์การเกษตร ชาวสวีเดน ได้เสนอวิธีแบ่งพิกัดเปลี่ยนสถานภาพของดินออกเป็น 5 พิกัด ดังนั้น Cohesion Limit, Sticky Limit, Shrinkage Limit (wS, wSL หรือ S.L.), Plastic Limit (wP, wPL หรือ P.L.), Liquid Limit (wL, wLL หรือ L.L.) ต่อมาในปี ค.ศ. 1932 Casagrande ได้นำค่าพิกัดมาประยุกต์ใช้ในงานด้านวิศวกรรมกลศาสตร์ของดิน โดยได้กำหนดรูปแบบเครื่องมือ และวิธีการทดสอบ Liquid Limit และ Plastic Limit ซึ่งเป็นดัชนีที่เป็นสิ่งสำคัญของดินซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตามปัจจุบันการศึกษาทางด้านปฐพีกลศาสตร์ได้นำพิกัดสุดท้ายเท่านั้นมาใช้ประโยชน์ คือ พิกัดหดตัว (Shrinkage Limit) พิกัดพลาสติก (Plastic Limit) และพิกัดเหลว (Liquid Limit) โดยการศึกษาครั้งนี้จะศึกษาเฉพาะพิกัดพลาสติก (Plastic Limit) และ พิกัดเหลว (Liquid Limit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ห้ามมิให้ผู้ใดเห็นชอบหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

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 2.5 ความสัมพันธ์ของปริมาตรดินกับปริมาณความชื้น และ ค่าความชื้นที่พิกัด Atterberg (ที่มา : ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ,2015)

- ปริมาณความชื้นที่จุดแบ่งระหว่าง สภาพดินที่อยู่ในสถานะของเหลวกับสถานะพลาสติก เรียกว่า พิกัดเหลว (Liquid Limit) โดยค่ายาม คือ จุดซึ่งดินเริ่มที่จะมีกำลังรับแรงเฉือน ประมาณ 21.7 kN/m
- ปริมาณความชื้นที่จุดแบ่งระหว่างสถานะพลาสติกกับกึ่งของแข็ง เรียกว่า พิกัดพลาสติก (Plastic Limit)
- ปริมาณความชื้น ณ จุดที่ดินไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอีกต่อไป เรียกว่า พิกัดการหดตัว (Shrinkage Limit)

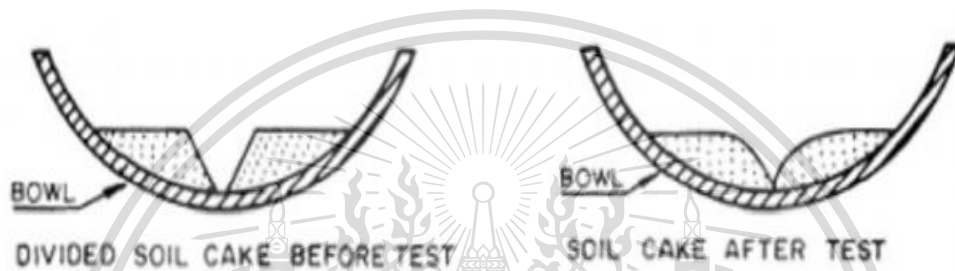
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.5.1 การหาค่าพิกัดเหลว (Liquid Limit)

แบบใช้ถ้วยทองเหลืองโดยค่า Liquid Limit ของดิน คือ ค่าปริมาณความชื้นที่จุ่มรอยปาดร่องดินซึ่งถูกปากด้วยตัวปาดร่องดินมาตรฐาน (Standard Grooving Tool) เคลื่อนที่มาบรรจบกันในถ้วยทองเหลืองมีความยาวประมาณ 1.3 เซนติเมตร (1/2 นิ้ว) เมื่อเคาะได้ 25 ครั้งพอดีโดยว่าระยะตกกระทบของถ้วยทองเหลืองถึงพื้นรองเท่ากับ 1 เซนติเมตร ที่อัตราการหมุนถ้วยทองเหลืองเท่ากับ 120 ครั้งต่อนาที (2 ครั้งต่อวินาที)



รูปที่ 2.6 การทดสอบพิกัดเหลวเมื่อดินขีดกันยาว 1.3 เซนติเมตร

(ที่มา : <https://theconstructor.org/geotechnical/the-liquid-limit-of-soil-test/2877/>)

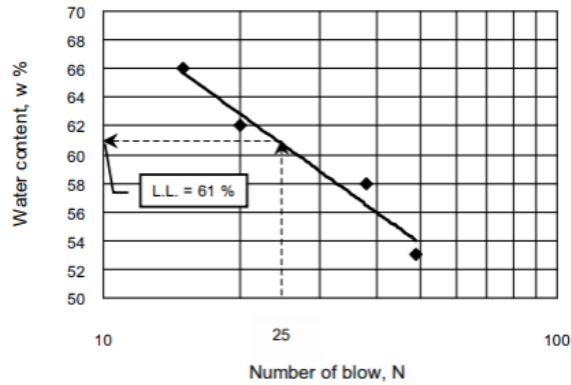
แต่อย่างไรก็ตาม การที่จะเคาะถ้วยทองเหลือง 25 ครั้ง และทำให้ดินไหลมาบรรจบกันที่ระยะเท่ากับ 1.3 เซนติเมตร พอดีนั้นยากมาก หรือแทบจะเป็นไปไม่ได้ในการทดลองเพียงครั้งเดียว ดังนั้นจึงใช้วิธีการหาค่า Liquid Limit จากกราฟ Semi – Log โดยในแกน x (Log Scale) เป็นค่าจำนวนครั้งในการเคาะ (Blow Count, N) และในแกน y (Scale ธรรมดา) เป็นค่าปริมาณความชื้นของดินซึ่งจะต้องทำการทดลองโดยผสมน้ำในดินให้ดินมีค่าปริมาณความชื้น 4 ค่า (หรือประมาณ 3 ถึง 6 ค่า) และนับจำนวนครั้งในการเคาะดินที่บรรจบกันระยะ 1.3 เซนติเมตรพอดี โดยมีหลักคร่าวๆดังนี้

- ครั้งที่ 1 (ค่าปริมาณความชื้นที่ 1) จำนวนครั้งการเคาะ 30 – 35 ครั้ง ปริมาณความชื้นน้อย
 - ครั้งที่ 2 (ค่าปริมาณความชื้นที่ 2) จำนวนครั้งการเคาะ 25 – 30 ครั้ง
 - ครั้งที่ 3 (ค่าปริมาณความชื้นที่ 3) จำนวนครั้งการเคาะ 20 – 25 ครั้ง
 - ครั้งที่ 4 (ค่าปริมาณความชื้นที่ 4) จำนวนครั้งการเคาะ 15 – 20 ครั้ง ปริมาณความชื้นมาก
- ↓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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 2.7 แสดงการหาค่าพิกัดเหลวจากกราฟ Semi-Log
(ที่มา : ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ,2015)

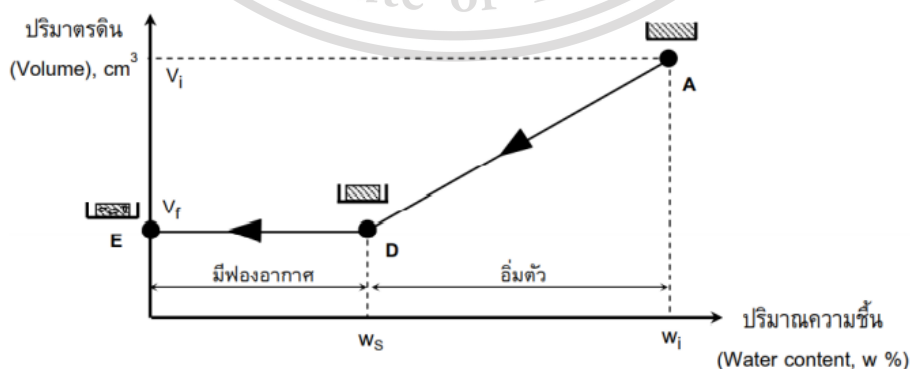
2.5.2 การหาค่าพิกัดพลาสติก (Plastic Limit)

ค่า Plastic Limit เป็นค่าความชื้นในมวลดิน ซึ่งเมื่อถูกปั้นคลึงเป็นเส้นกลมยาวได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 3.2 มิลลิเมตร (1/8 นิ้ว) แล้วจะเริ่มเกิดปรากฏการณ์รอยแตกปริโดยรอบผิวดินขึ้นพอดีซึ่งในการปฏิบัติจริงทำได้ยากพอสมควร ต้องอาศัยความชำนาญกว่าจะได้ผลการทดลองที่น่าเชื่อถือได้

ค่าความชื้นในสถานภาพพลาสติกของดิน เรียกว่า Plasticity Index (P.I. หรือ I_p) คือ ผลต่างของ L.L. และ P.L. มักเป็นตัวแสดงถึงความเหนียวของดิน และยังแสดงถึงความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพต่อความชื้นของมวลดินนั้นๆ จึงเป็นค่าที่สำคัญมากในการจำแนกมวลดิน

2.5.3 การหาค่าพิกัดหดตัว (Shrinkage Limit)

การหาค่าพิกัดหดตัวเป็นค่าความชื้น ณ จุดที่มวลดินจะไม่เปลี่ยนแปลงปริมาตรอีก แม้ว่าความชื้นในดินจะต่ำไปกว่านี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งรูปที่ 2.8 แสดงปริมาณดิน และปริมาณความชื้นที่จุดพิกัดหดตัว
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น (ที่มา : http://www.gerd.eng.ku.ac.th/Cai/Ch04/ch043_A_theory.htm) รังที่มีการนำไปใช้

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

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

สมการ การหาค่า Shrinkage Limit $w_s = w_i - \left(\frac{V_i - V_f}{M_s}\right) \times \rho_w \times 100\%$

โดย w_s คือ ค่า Shrinkage Limit

w_i คือ ค่าปริมาณความชื้นเมื่อเริ่มทำการทดลอง (ที่จุด A)

V_i คือ ค่าปริมาตรดินเมื่อเริ่มทำการทดลอง (ที่จุด A)

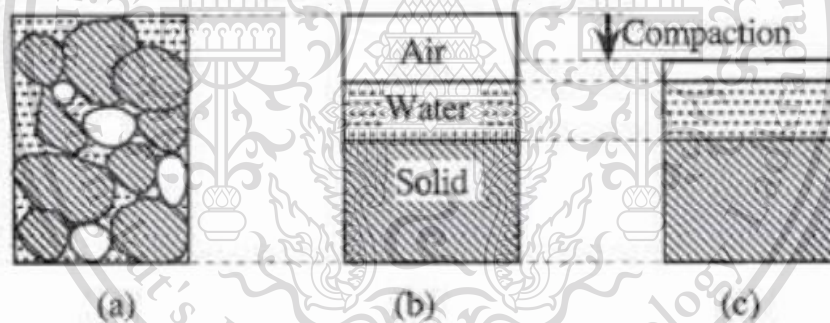
V_f คือ ค่าปริมาตรดินเมื่อดินแห้ง (ที่จุด D หรือ ที่จุด E)

M_s คือ ค่ามวลดินแห้ง

ρ_w คือ ค่าความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ $1,000 \text{ Kg/m}^3$ หรือ 1 g/cm^3

2.6 การทดสอบการบดอัด (Compaction)

โครงสร้างดิน ประกอบด้วย เม็ดดิน ช่องว่าง และน้ำ หลักการของการบดอัดดิน คือ การลดช่องว่างในมวลดิน ด้วยการเพิ่มปริมาณน้ำที่อยู่ในโครงสร้างของมวลดิน และแรงจากภายนอกกระทำกับมวลดิน เพื่อให้อนุภาคของเม็ดดินชิดติดกันมากขึ้น ขณะที่เม็ดดินยังคงมีปริมาตรเท่าเดิม มีเพียงอากาศ ที่ถูกไล่ออกไปจากมวลดิน ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การบดอัดดิน

(ที่มา : ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ,2015)

งานส่วนใหญ่ในทางวิศวกรรมโยธา เช่น งานเขื่อน ถนน สนามบินจะใช้ดินเป็นวัสดุถม (Fill Material) ซึ่งก่อนทำการก่อสร้างงานต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น จำเป็นต้องมีการบดอัดดินเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ คือ

1. ช่วยลดการทรุดตัวของดินในระยะยาว (Long Term Settlement)
2. ช่วยเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักของดิน (Increase Shear Strength)
3. เพื่อลดความซึมของน้ำใต้ดิน (Decrease Soil Permeability)

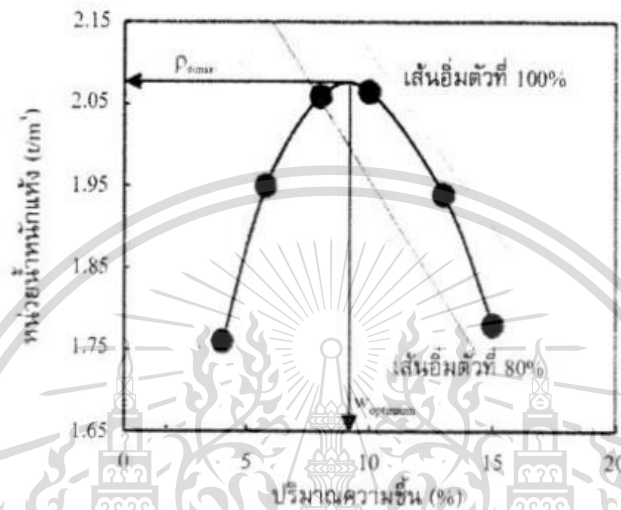
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

2.6.1 ทฤษฎีการบดอัดของดิน Proctor (1930)

ทฤษฎีพื้นฐานการบดอัดดินสำหรับดินที่มีความชื้นแน่นได้ถูกสร้างความสัมพันธ์ขึ้น โดย R.R.Proctor (1930) โดยเริ่มต้นเมื่อมีการสร้างเขื่อนเพื่อกักเก็บน้ำใน Los Angeles และเขาได้พัฒนาหลักการบดอัดดินโดยตีพิมพ์ในหนังสือ Engineering New Record (Proctor, 1933) แล้วนำวิธีการทดสอบนี้ไปใช้ในห้องปฏิบัติการ โดยเรียกวิธีการดังกล่าวว่า Proctor Test



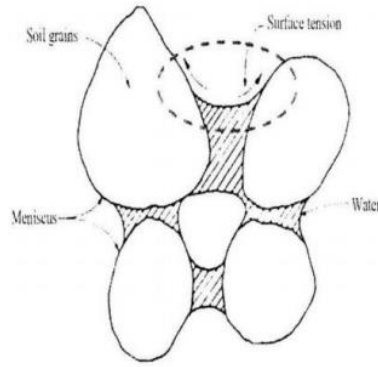
รูปที่ 2.10 ลักษณะทั่วไปของเส้นการบดอัดดิน (ที่มา : โภคินทร์ ชำเกตุ, 2554)

Proctor ได้กล่าวถึงกลไกของการเกิดเส้นการบดอัดดังแสดงใน รูปที่ 2.10 ได้ว่าประสิทธิภาพของการบดอัดดินถูกกำหนดโดยแรงเสียดทานระหว่างเม็ดดิน โดยแบ่งการบดอัดเป็น 2 ด้าน คือ ด้านแห้ง และด้านเปียก สำหรับการบดอัดดินที่แห้งมากๆ ดินจะมีแรงเสียดทานที่สูงมาก เนื่องจากแรงดึงผิวที่เกิดจากความชื้นคาพิลลารี (Capillary Moisture) ดังแสดงในรูปที่ 2.11 เป็นผลให้การบดอัดดินทำได้ยาก แต่เมื่อเติมน้ำเข้าไปในดินที่แห้งมากๆ น้ำจะไปลดแรงคาพิลลารี และเป็นผลให้แรงเสียดทานลดลงไปด้วย ถ้าเติมน้ำเข้าไปอีกเรื่อยๆ จนน้ำไปสลายแรงเสียดทานได้แล้ว น้ำก็จะทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นทำให้เม็ดดินเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ จนถึงปริมาณน้ำที่เต็มช่องว่างในช่วงหนึ่งก็จะทำให้ดินมีความหนาแน่นแห้งสูงสุด โดยเรียกจุดที่มีความหนาแน่นแห้งสูงสุดว่า Maximum Dry Density และเรียกปริมาณความชื้นที่จุดนี้ว่า Optimum Moisture Content หลังจากจุดนี้เมื่อเติมน้ำเข้าไปอีกจะทำให้ความหนาแน่นแห้งลดลง ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเข้าไปแทนที่เนื้อดิน ทำให้เนื้อดินที่มีปริมาตรที่เท่ากันลดลง อีกทั้งเกิดจากความถ่วงจำเพาะของน้ำน้อยกว่าดิน ในขณะที่ความหนาแน่นเปียกมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อความชื้นในดินสูงมากๆ พบว่าดินอยู่ในสภาพอ่อนตัว ซึ่งไม่อยู่ในสภาพที่สามารถรับน้ำหนักได้อีกต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

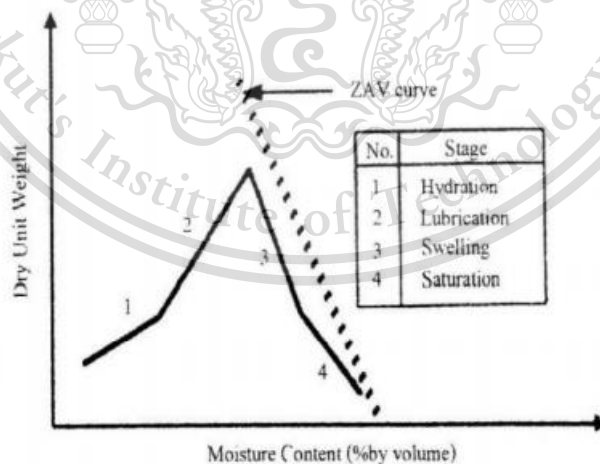
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.11 ผลของแรงตึงผิวที่ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวปรากฏ (Apparent Cohesion) ในดินเม็ดหยาบ (ที่มา : โภคินทร์ ช้าเกตุ, 2554)

2.6.3 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Hogentogler (1936)

Hogentogler นำเสนอเส้นกราฟการบดอัดที่แตกต่างกับ Proctor กล่าวคือ เขาได้นำเสนอเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง (Dry Density) กับปริมาณความชื้นในรูปแบบของปริมาณน้ำต่อปริมาตรรวม (Molding Moisture Content: V_w/V) โดยลักษณะของเส้นกราฟแสดงด้วยเส้นตรง 4 เส้น ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ซึ่งสาเหตุที่เขาได้นำเสนอการพล็อตเส้นกราฟแบบนี้ เนื่องจากเขาพบว่าน้ำมีบทบาทอยู่ 4 ส่วน แบ่งได้เป็น 4 ช่วง ที่มีผลทำให้ดินเกิดความหนาแน่นแห้งสูงสุด และทำให้โครงสร้างของดินบดอัดมีความแตกต่างกัน โดยมีรายละเอียดแต่ละช่วงดังนี้



รูปที่ 2.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง และปริมาณความชื้นนำเสนอโดย

Hogentogler (ที่มา : โภคินทร์ ช้าเกตุ, 2554)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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. Hydration Stage เขากล่าวว่า ในช่วงนี้น้ำจะถูกดูดซึมโดยอนุภาคของดินโดยลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ห่อหุ้มอนุภาคดินเป็นลักษณะเดียวกัน เมื่อพรมน้ำลงไปดินในชั้นในช่วงแรกอนุภาคดินจะดูดซึมน้ำทันที เพื่อไปห่อหุ้มอนุภาคดินก่อน โดยน้ำส่วนกลางที่ทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นน้ำยังไม่มี
2. Lubrication stage ในช่วงนี้น้ำมีบทบาทเป็นสารหล่อลื่น เป็นผลให้ดินเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ในลักษณะที่มวลดินมีความแน่นขึ้น โดยยังคงมีอากาศอยู่ในมวลดินบางส่วน นั้นหมายถึงความหนาแน่นแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเมื่อถึงจุดปริมาณน้ำที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content; O.M.C.) จะทำให้ความหนาแน่นแห้งมีค่าสูงสุด (Maximum Dry Density)
3. Swelling Stage ในช่วงนี้เกิดจากการเติมน้ำที่เกินปริมาณน้ำที่เหมาะสม อากาศในส่วนที่มีอยู่จะไม่มี การเปลี่ยนแปลง เนื่องจากปริมาตรของมวลดินมีค่าน้อยอยู่แล้ว และอยู่ในสภาพที่แน่น ซึ่งจะไม่ให้อากาศที่มีอยู่ออกไป ดังนั้นเมื่อเติมน้ำเข้าไปอีกมวลดินจึงเกิดการบวมตัวในขณะที่ปริมาตรอากาศคงที่อากาศที่มีอยู่ออกไป ดังนั้นเมื่อเติมน้ำเข้าไปอีก มวลดินจึงเกิดการบวมตัวในขณะที่ปริมาตรอากาศคงที่
4. Saturation Stage ในช่วงนี้ เมื่อเติมน้ำเข้าไปอีก น้ำจะเข้าไปแทนที่อากาศในช่องว่างที่เหลืออยู่ในมวลดิน เป็นผลให้ระดับความอิ่มตัว (Degree of Saturation) เพิ่มมากขึ้น และมีแนวโน้มเข้าใกล้เส้นอากาศเป็นศูนย์ (Zero Air Void; ZAV) ดังที่ Hogentogler ได้อธิบายไว้ข้างต้น มักจะประยุกต์ใช้โดยตรงกับดินเหนียวเป็นส่วนใหญ่ เช่นเดียวกับ Proctor

2.6.4 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Buchanan (1942)

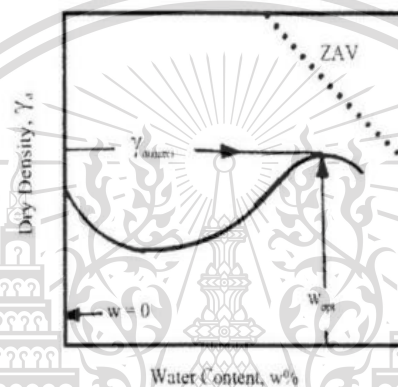
Buchanan ได้อธิบายเส้นกราฟในการบดอัดของดินเม็ดหยาบ โดยเขาพบว่า นอกจากจุดที่มีความหนาแน่นแห้งสูงสุดที่ปรากฏบนเส้นกราฟการบดอัดแล้ว ก่อนถึงด้านแห้งของการบดอัดจะมีจุดที่แสดงถึงค่าความหนาแน่นแห้งต่ำสุด ดังแสดงใน รูปที่ 2.13 ซึ่งเขาได้อธิบายถึงช่วงที่ดินมีความหนาแน่นแห้งลดลงถึงจุดที่มีค่าความหนาแน่นแห้งต่ำสุดว่า ถ้าหากเริ่มบดอัดดินเม็ดหยาบที่แห้งมากๆ หรือดินที่มีปริมาณความชื้นเท่ากับศูนย์ เมื่อเติมน้ำเข้าไปในช่วงแรกจะทำให้มีความหนาแน่นแห้งลดลงจนถึงจุดความหนาแน่นต่ำสุด เมื่อเลยจุดนี้ไปก็จะเข้าสู่เส้นกราฟการบดอัดปกติ ซึ่งถ้าสังเกตจากเส้นกราฟพบว่า เมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นแห้งที่จุดปริมาณความชื้นเท่ากับศูนย์กับจุดที่มีความหนาแน่นแห้งสูงสุด จะมีช่วงความแตกต่างกันค่อนข้างน้อย และเขาได้กล่าวในเชิงวิชาการไว้ว่า สำหรับกรณีของดินทรายที่มีความแห้งมากๆ เมื่อเติมน้ำในช่วงแรกอนุภาคของดินจะจับตัวกันด้วยแผ่นฟิล์มบางๆ ของน้ำในลักษณะกระจุ๊กของก้อนดินหรือทรายรอบตัวเอง ที่

เรียกว่า Arching Effect ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดช่องว่างในมวลดินมากขึ้น โดย Arching Effect จะพัฒนาขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดที่มีความหนาแน่นต่ำสุด ดังนั้นปฏิกิริยาของน้ำที่เติมในช่วงแรกๆ จะแตกต่างจากกรณีของ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ยึดแน่นปรากฏ (Apparent Cohesion) และเมื่อเติมน้ำมากขึ้นแผ่นฟิล์มจะมีความหนาขึ้น มีผลทำให้ Arching Effect ลดน้อยลงไป เป็นผลให้แรงดึงจุดของแรงดึงผิวลดลงตามลำดับ แล้วอนุภาคดินก็เริ่มจัดเรียงตัวใหม่ และหลังจากนั้นก็จะได้เป็นไปตามทฤษฎีที่ได้กล่าวไปแล้ว แต่เขาได้ให้ความหมายของ O.M.C. แตกต่างจากคนอื่น กล่าวคือ O.M.C. คือ น้ำที่มีอยู่พอดีในมวลดินบดอัดที่ทำให้ดินอยู่ในสภาพที่ไปสลายแรงดึงผิวพอดี เรียกว่า Neutralizes Surface Tension และเมื่อมีพลังงานบดอัดมากกระทำ จึงทำให้ทรายจัดเรียงตัวกันใหม่ ทำให้ทรายแน่นขึ้น จนสุดท้ายถึงจุดความหนาแน่นแห่งสูงสุด เมื่อน้ำสูงขึ้นเกิน O.M.C. ดินก็จะอ่อนตัวลง เป็นผลทำให้ความหนาแน่นแห่งลดลง โดยสรุปแล้วในการบดอัดดินทราย การที่จะทำให้ความหนาแน่นแห่งค่อนข้างดี คือ ช่วงที่ทรายแน่นมากๆ และช่วงความชื้นที่ค่อนข้างไปทางเปียกไปแล้ว



รูปที่ 2.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห่งและปริมาณความชื้นน้ำเสนอโดย Buchanan (ที่มา : โภคินทร์ ช้าเกตุ, 2554)

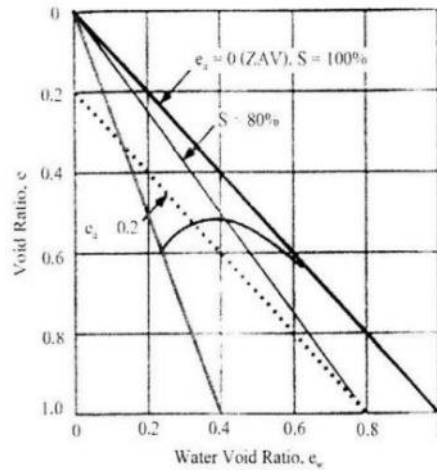
2.6.5 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Hilf (1956)

ได้นำเสนอแนวความคิดใหม่ โดยวางอยู่บนพื้นฐานของแรงดันน้ำในช่องว่าง (Pore Water Pressure) และแรงดันอากาศในช่องว่าง (Pore Air Pressure) ที่มีอยู่ในมวลดินที่บดอัด เขากล่าวไว้ว่า ดินแห้งเป็นดินที่บดอัดได้ยาก เนื่องจากภายในมวลดินมีแรงเสียดทานมากซึ่งเกิดจากแรงคาพิลลารี อย่างไรก็ตามในช่วงดินมีความแห้งมากๆ มวลดินจะมีช่องว่างอยู่มาก การบดอัดจึงไปไล่อากาศให้ออกไปได้อย่างรวดเร็ว เมื่อเติมน้ำเพิ่มแรงดึงผิวก็จะลดลง ทำให้ความเสียดทานลดลงด้วย โดยความแน่นจะค่อยๆเพิ่ม เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามปริมาณน้ำที่เติมเข้าไปจนกระทั่งถึงปริมาณน้ำที่เหมาะสม (O.M.C.) ก็จะได้ค่าความหนาแน่นแห่งสูงสุด (Maximum Dry Density) เขากล่าวว่า ประสิทธิภาพที่น้อยลงไปจากการบดอัดเมื่อเติมน้ำเลยจุด O.M.C. เนื่องจากอากาศถูกกักเอาไว้และเกิดการสะสมกันเป็นแรงดันอากาศในมวลดิน เขาได้เสนอเส้นกราฟการบดอัดโดยการพล็อต

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนช่องว่าง (Void Ratio; e) และอัตราส่วนน้ำในช่องว่าง (Water Void Ratio; ew) ดังแสดงใน รูปที่ 2.14 โดยมีให้ดัดแปลงเนื้อหา 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 2.14 กราฟแสดงผลของการบดอัดดินนำเสนอโดย Hilf (ที่มา : โภคินทร์ ช้าเกตุ, 2554)

โดยพบว่าที่จุด O.M.C. ค่าอัตราส่วนช่องว่างจะมีค่าน้อยที่สุด โดยจุดเริ่มต้นของเส้นกราฟเป็นจุดที่ค่าอัตราส่วนช่องว่างมาก และมีค่าระดับความอิ่มตัวน้อย เมื่อบดอัดไปก็จะได้ค่าอัตราส่วนช่องว่างที่น้อยที่สุด ซึ่งจุดนี้สามารถหาค่าสัดส่วนของอากาศได้ด้วย และพบว่าที่ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด ค่าระดับความอิ่มตัวจะมีค่ามากกว่า หรือเท่ากับร้อยละ 80 วิธีของ Hilf ทำให้ง่ายต่อการหาค่าระดับความอิ่มตัวที่จุดต่างๆ บนเส้นกราฟการบดอัด และสามารถหาปริมาณอากาศที่ความชื้นต่างๆได้

2.6.6 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Lambe (1985)

เขาได้เริ่มนำผลจากการดูโครงสร้างภายในดินเปรียบเทียบกับความหนาแน่นแห้งของดินที่บดอัด โดยเขาสนใจว่าคุณสมบัติของดินที่บดอัดทางด้านเปียกและทางด้านแห้งมีความแตกต่างกันเกิด จากสาเหตุใด เขาสังเกตจากปัจจัยหลายๆ อย่างพบว่า ในความเป็นจริงแล้วการบดอัดในสนามไม่ สามารถบดอัดดินให้ได้ความหนาแน่นแห้งสูงสุด ดังนั้นในการเติมน้ำจะมีช่วงหนึ่ง que เมื่อเติมน้ำเข้าไป ในช่วงนี้แล้วคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมเป็นไปตามที่ต้องการ แต่เมื่อเติมน้ำเกินช่วงนี้ไปเป็นช่วงที่เขาไม่แนะนำ ซึ่งเขาให้เหตุผลจากการพิจารณาโครงสร้างภายในของดินเหนียว พบว่า ในช่วงการบดอัดดินทางด้านแห้ง ลักษณะโครงสร้างของดินจับตัวกันเป็นกระจุก โดยเมื่อพิจารณาที่ความชื้นเดียวกัน การใช้พลังงานบดอัดต่ำความเป็นกระจุกของดินมีมาก และจะน้อยลงเมื่อใช้พลังงานการบดอัดที่สูง เป็นผลให้โครงสร้างของดินชิดกันมากขึ้นด้วย เมื่อเติมน้ำเข้าไปโดยที่พลังงานคงที่ สังเกตเห็นว่า โครงสร้างของดินแน่นขึ้น อัตราส่วนช่องว่างลดลงจนกระทั่งเกินจุด O.M.C. ลักษณะการจัดเรียงตัวของโครงสร้างดินจะเป็นแบบขนานกันมากขึ้น เมื่อความชื้นยิ่งมากขึ้นความเป็นระเบียบของโครงสร้าง ดินก็ยิ่งมากขึ้นตาม การที่โครงสร้างดินจัดเรียงตัวกันในแนวขนานถือว่าไม่ดี เพราะว่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น 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.

เป็นระนาบที่อ่อนแอที่สุด โดยสรุปแล้วเขาพยายามตอบคำถามว่าทำไมจุดที่มีความหนาแน่นแห้งเท่ากันแต่ปริมาณน้ำไม่เท่ากัน เมื่อเขาใช้กล้องจุลทรรศน์ส่องดูพบว่า การบดอัดดินในด้านหนึ่งมีผลทำให้โครงสร้างดินเป็นแบบกระจุกกระจิก (Flocculated Structure) ในทางตรงกันข้าม เมื่อเติมน้ำเกินจุด O.M.C. เป็น การบดอัดทางด้านเปียก มีผลทำให้โครงสร้างดินเป็นแบบขนาน (Dispersed Structure) ดังแสดงใน รูปที่ 2.15 เมื่อพิจารณาที่ความหนาแน่นแห้งเท่ากัน โดยเปรียบเทียบดินบดอัดทางด้านแห้งกับดินบดอัดทางด้านเปียก พบว่า

- กำลังของดินสูงกว่า เนื่องจากความเครียด (Strain) ของดินต่ำกว่า
- ค่าความชื้นน้ำได้สูงกว่า เนื่องจากมวลดินมีช่องว่างมากกว่า
- มีการหดตัวน้อยกว่า เนื่องจากปริมาณน้ำในมวลดินมีน้อยกว่า
- มีค่าการบวมตัวมากกว่า เนื่องจากมีช่องว่างที่น้ำสามารถสัมผัสกับพื้นผิวได้มากกว่า



รูปที่ 2.15 ผลกระทบของการบดอัดดินที่มีต่อโครงสร้างดิน (ที่มา : โภคินทร์ ช้าเกตุ, 2554)

2.6.7 การบดอัดดินในห้องปฏิบัติการ

การบดอัดดินในห้องปฏิบัติการ (Compaction Test) คือ การศึกษาหาค่าความชื้นที่มีเหมาะสม (Optimum Moisture Content) ที่ทำให้เกิดความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) หลังการบดอัดดิน เนื่องจากในระหว่างก่อสร้าง จำเป็นต้องมีการควบคุมคุณภาพงานบดอัดดิน เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าดินในโครงการก่อสร้างมีความหนาแน่นเพียงพอ และมีคุณภาพเหมาะสมเป็นไปตามที่ออกแบบไว้ ดังนั้นจึงต้องมีการนำตัวอย่างดิน ซึ่งเป็นดินที่มาจากแหล่งเดียวกับที่ใช้ในโครงการ ก่อสร้างมาทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อนำผลการทดสอบที่ได้ไปใช้เพื่อเปรียบเทียบกับงานบดอัดดิน ในสนาม ในปี ค.ศ. 1930 R.R. Proctor ได้พัฒนาทฤษฎีการบดอัดดิน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้น และความหนาแน่นของดิน ซึ่ง

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

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

ทฤษฎีดังกล่าวเป็นวิธีที่ใช้ทดสอบการบดอัดดินในห้องปฏิบัติการจนถึงปัจจุบัน เรียกว่า วิธีทดสอบแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test) สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานทางวิศวกรรมโยธาทั่วไป แต่ในปัจจุบัน ยานพาหนะ ได้ถูกพัฒนาให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้มีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น ประกอบกับโครงการก่อสร้างต่างๆ มีขนาดใหญ่ขึ้น ส่งผลทำให้ดินที่นำมาบดอัดในโครงการก่อสร้างต่างๆ ต้องรับน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีการพัฒนาวิธีการทดสอบที่ เรียกว่า วิธีทดสอบแบบโมดิฟายด์ (Modified Proctor Test) โดยเพิ่มพลังงานในการบดอัดดินให้มากขึ้น เพื่อให้สอดคล้องกับน้ำหนักของยานพาหนะ และโครงสร้างที่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2.5 ตารางเปรียบเทียบวิธี Standard Proctor Test และ Modified Proctor Test

(ที่มา : ศลิษา ไชยพุทธ, 2561)

วิธีทดสอบ	วิธีทดสอบแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test)	วิธีการทดสอบแบบโมดิฟายด์ (Modified Proctor Test)
น้ำหนักดัมบดอัด (lb)	5.5	10.0
ระยะยก (in)	12	18
จำนวนครั้งในการตอก/ชั้น	25	25
จำนวนชั้นในการบดอัดดิน	3	5
พลังงานในการบดอัดดิน (ft-lb/ft ³)	12,400	56,200

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.

2.6.8 เส้นโค้งการบดอัดดิน (Compaction Curve)

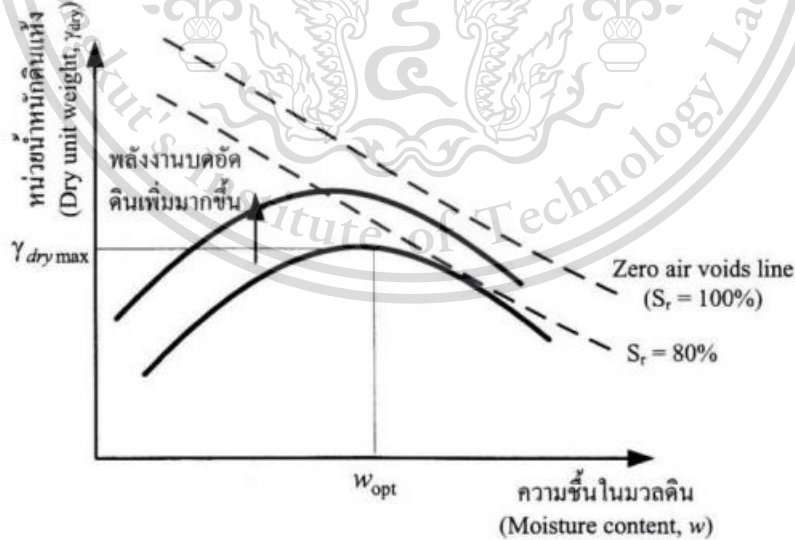
ทฤษฎีพื้นฐานที่นำมาใช้ในการบดอัดดิน คือ สมการความสัมพันธ์ของหน่วยน้ำหนักดินแห้งกับระดับชั้นการอิ่มตัวด้วยน้ำ

$$\gamma_{dry} = \left(\frac{G_s}{1 + e} \right) \gamma_w = \left(\frac{G_s}{1 + \frac{wG_s}{S_r}} \right) \gamma_w$$

การบดอัดดินให้แน่นที่สุดในทางทฤษฎี คือ การพยายามทำให้หน่วยน้ำหนักดินแห้งมากที่สุด (γ_{drymax}) ถ้าพิจารณาจากสมการ การที่ดินจะมีหน่วยน้ำหนักดินแห้งสูงสุดนั้นดินจะต้องมีอัตราส่วนช่องว่างต่ำที่สุด (e_{min}) และจากความสัมพันธ์ที่ว่า $e = wG_s/S_r$ การควบคุมให้ e_{min} นั้น จะต้องให้ดินมีค่า $S_r = 1$ และ $w = w_{opt}$ (optimum water content) กล่าวคือ

1. $S_r = 1$ หมายถึง ดินต้องอยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ
2. w_{opt} หมายถึง ปริมาณน้ำที่เหมาะสมไม่แห้งจนเกินไป (เพราะถ้าแห้งไปดินจะไม่อยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ) และไม่มากจนเกินไป (เพราะจะทำให้อัตราส่วนช่องว่างมากขึ้น)

ถ้านำความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในมวลดิน (แกนนอน) มาเขียนกับหน่วยน้ำหนักดินแห้ง (แกนตั้ง) ของการบดอัดดิน เรียกว่า เส้นโค้งการบดอัดดิน (Compaction Curve) ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 เส้นโค้งการบดอัดดิน (ที่มา : โภคินทร์ ชำเกตุ, 2554)

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.

จากเส้นโค้งการบดอัดดินในรูปที่ 2.16 พบว่าหน่วยน้ำหนักดินแห้งในตอนแรกจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณน้ำในมวลดินมากขึ้นจนกระทั่งถึงจุดที่ทำให้หน่วยน้ำหนักดินแห้งสูงสุด (Maximum Dry Unit Weight, γ_{drymax}) และเรียกปริมาณน้ำ ณ จุดนี้ว่าปริมาณน้ำเหมาะสม (Optimum Water Content, w_{opt}) และเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นมากกว่าจุดนี้จะทำให้หน่วยน้ำหนักดินแห้งลดลง

ในทางปฏิบัติแล้ว การที่จะบดอัดดินให้อยู่ในสภาพทางทฤษฎีนั้นเป็นไปได้ยาก เพราะว่าการบดอัดดินนอกจากจะขึ้นกับปริมาณน้ำแล้ว ยังขึ้นกับระดับพลังงานกล (Mechanical Energy) ที่กระทำกับดินที่บดอัดอีกด้วย โดยพลังงานที่ให้กับดินขณะทำการบดอัดจะต้องมีค่าสูงเพียงพอที่จะขับไล่ฟองอากาศให้ออกจากมวลดิน จนทำให้ดินอยู่เข้าใกล้สภาวะไร้ช่องว่างอากาศ (Zero Air Voids) เมื่อเพิ่มพลังงานการบดอัดดิน จะพบว่าเส้นโค้งการบดอัดดินจะเคลื่อนตัวมาทิศทางบนซ้าย โดยหน่วยน้ำหนักดินแห้งสูงสุดจะมีค่ามากขึ้น แต่ปริมาณน้ำที่เหมาะสม w_{opt} จะมีค่าลดลง แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นเส้นโค้งการบดอัดดินจะถูกควบคุมด้วยเส้นไร้ช่องว่างอากาศ (Zero Air Voids Line) เส้นโค้งการบดอัดดินจะไม่ตัดเส้นไร้ช่องว่างอากาศ สมการเส้นไร้ช่องว่างอากาศจะหาได้จากสมการของ γ_{dry} และแทนค่า $S_r = 1$ นั่นคือ

Zero Air Void Line:
$$\gamma_{dry} = \left(\frac{G_s}{1+wG_s} \right) \gamma_w$$

2.6.8.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการบดอัดดิน

ดังได้อธิบายแล้วข้างต้นว่า ปริมาณความชื้นในดินมีอิทธิพลอย่างมากต่อความหนาแน่นของดินบดอัด นอกเหนือจากปริมาณความชื้นแล้ว ยังมีปัจจัยอีกสองปัจจัย ซึ่งก็คือ ชนิดของดิน และพลังงานในการบดอัด

2.6.8.2 ชนิดของดิน

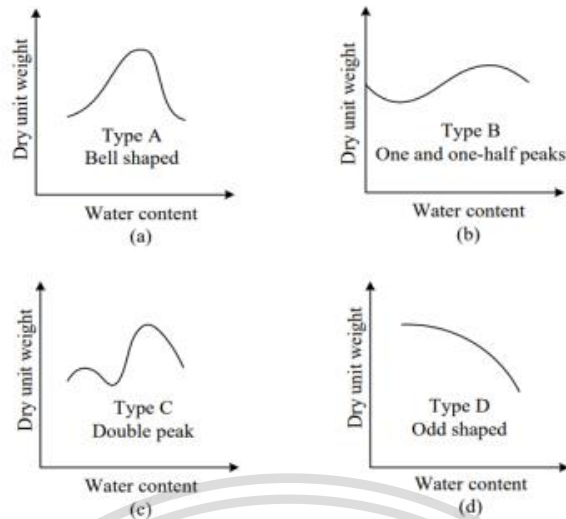
ชนิดของดินในที่นี้ครอบคลุมถึงการกระจายของเม็ดดิน รูปร่างของเม็ดดินความถ่วงจำเพาะของดิน และปริมาณและชนิดของแร่ดินเหนียว

Lee and Suedkamp (1972) ได้ทำการศึกษา กราฟการบดอัดดินของดินที่แตกต่างกัน 35 ชนิด และพบว่ากราฟเหล่านั้นสามารถจำแนกออกได้เป็น 4 ชนิดหลัก ดังแสดงในรูปที่ 2.17 ชนิด A เป็นกราฟที่มีจุดยอดเพียงจุดเดียว โดยทั่วไปมักพบในดินที่มีขีดจำกัดเหลวประมาณร้อยละ 30-70 ชนิด B คือ กราฟที่มี 1 จุดยอด และครึ่งจุดยอด ชนิด C คือกราฟที่มีสองจุดยอด กราฟชนิด B และ C มักพบในดินที่มีขีดจำกัดเหลวน้อยกว่าร้อยละ 30 ชนิด D คือ กราฟที่ไม่แสดงจุดยอดที่ชัดเจน ดินที่มีขีดจำกัดเหลวมากกว่าร้อยละ 70 อาจแสดงลักษณะกราฟเป็นแบบชนิด C หรือ D ซึ่งเป็นลักษณะกราฟที่ไม่ค่อยพบเห็น

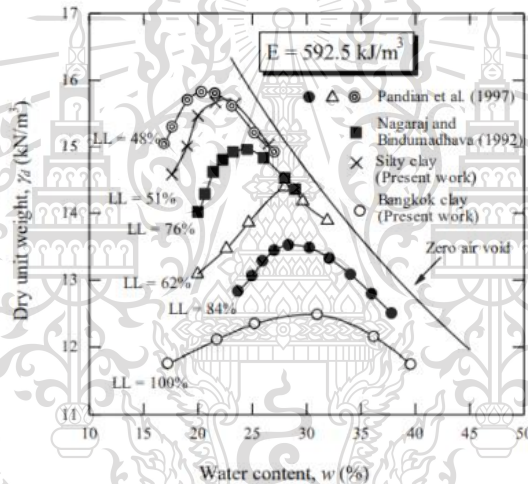
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 2.17 เส้นโค้งการบดอัดดินของดินชนิดต่างๆ (ที่มา : โภคินทร์ ช้าเกตุ, 2011)



รูปที่ 2.18 กราฟการบดอัดของดินเหนียวชนิดต่างๆ ที่พลังงานการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (ที่มา : Horpibulsuk et al., 2005)

Gurtug and Sridharan (2002) แสดงให้เห็นว่า ปริมาณความชื้นเหมาะสมและหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดของดินเม็ดละเอียด (Fine-Grained Soil) ที่บดอัดแบบวิธีมาตรฐาน (Standard Proctor Test) มีความสัมพันธ์โดยตารางกับพิกัดพลาสติก ดังนี้

$$O.M.C. = 0.92PL$$

$$\gamma_{d\max} = 0.98\gamma_{dPL}$$

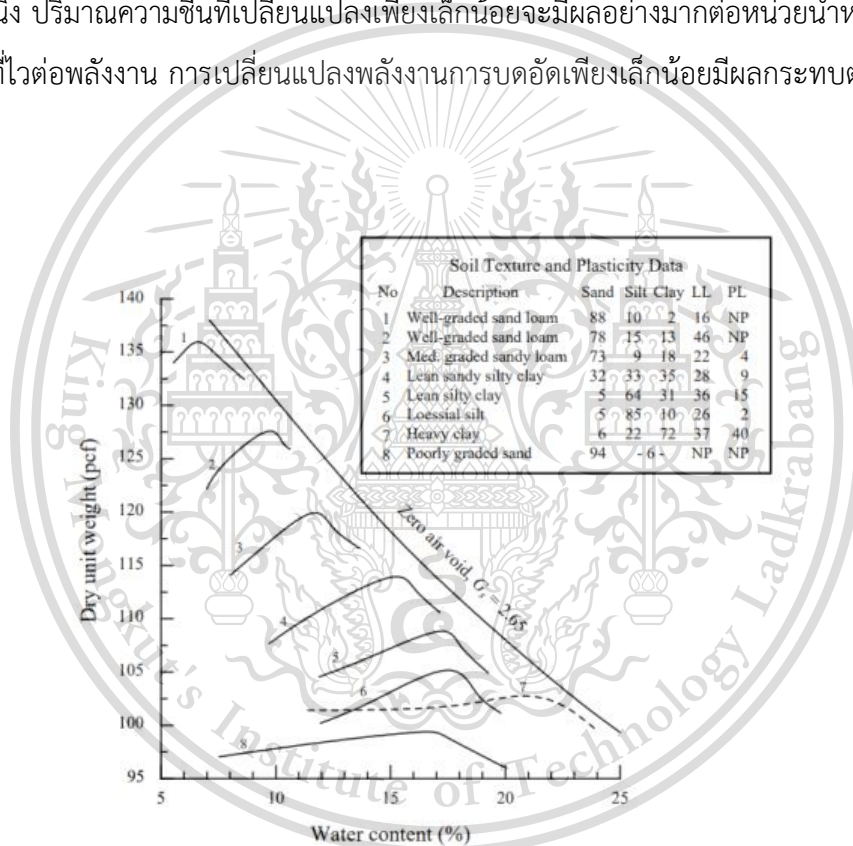
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

เมื่อ γ_{dPL} คือ หน่วยน้ำหนักแห้งที่พิกัดพลาสติก คำนวณโดยสมมติว่าพิกัดพลาสติกมีระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำ เท่ากับร้อยละ 100 ความสัมพันธ์นี้ช่วยให้สามารถประมาณจุดเหมาะสม (Optimum point) ได้ อย่างทันที เมื่อทราบค่า

รูปที่ 2.19 แสดงอิทธิพลของชนิดของดินต่อลักษณะการบดอัด กราฟการบดอัดมีลักษณะแบนสำหรับทรายที่มีขนาดสม่ำเสมอ (Uniformly Graded Sand) ในทางตรงกันข้ามทรายที่มีขนาดละเอียด (Well-Graded Sand) จะแสดงผลทดสอบที่มีจุดยอดอย่างเห็นได้ชัดสำหรับดินเม็ดละเอียดดินที่มีขีดจำกัดเหลวสูง จะมีหน่วยน้ำหนักแห้งต่ำ และปริมาณความชื้นเหมาะสมสูง ดินตะกอนจะแสดงกราฟที่เห็นจุดยอดได้ชัดเจน ขณะที่กราฟการบดอัดดินเหนียวจะมีลักษณะแบน ดินตะกอนเป็นดินที่ไวต่อปริมาณความชื้น กล่าวคือ สำหรับพลังการบดอัดค่าหนึ่ง ปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยจะมีผลอย่างมากต่อหน่วยน้ำหนักแห้ง ส่วนดินเหนียวเป็นดินที่ไวต่อพลังงาน การเปลี่ยนแปลงพลังงานการบดอัดเพียงเล็กน้อยมีผลกระทบต่อหน่วยน้ำหนักแห้งอย่างมาก



รูปที่ 2.19 อิทธิพลของชนิดดินต่อการบดอัดแบบมาตรฐาน (ที่มา : Johnson and Sallberg. 1960)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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.

2.6.9 พลังงานการบดอัด

พลังงานการบดอัดต่อปริมาตร 1 หน่วย (E) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$E = \frac{NB \times NL \times W \times H}{V_{(m)}}$$

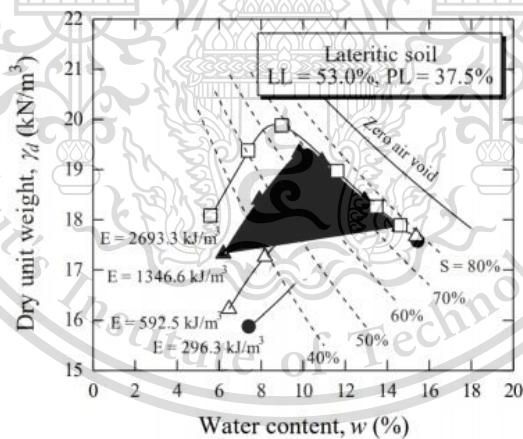
เมื่อ NB = จำนวนการตกระทบของค้อนใน 1 ชั้น (Number of Blows Per Layer)

NL = จำนวนชั้นของการบดอัด (Number of Layers)

W = น้ำหนักของค้อน (Weight of Hammer)

H = ระยะตกระทบของค้อน (Height of Drop of Hammer)

ถ้าพลังงานการบดอัดเปลี่ยนไป กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและหน่วยน้ำหนักแห้งจะเปลี่ยนแปลงด้วย รูปที่ 2.20 แสดงผลทดสอบการบดอัดของดินลูกรังจังหวัดเพชรบูรณ์ ที่พลังงานบดอัดต่างๆ ดินลูกรังประกอบด้วยกรวดเป็นมวลหลักในปริมาณร้อยละ 70 ส่วนที่เหลือเป็นทราย ดินตะกอน และดินเหนียว ดินนี้จัดอยู่ในกลุ่ม SC โดยการจำแนกตามระบบ Unified (USCS)



รูปที่ 2.20 อิทธิพลของพลังงานบดอัดต่อกราฟการบดอัดของดินลูกรัง (ที่มา : Horpibulsuk et al.,2004)

จากรูปที่ 2.20 เราสามารถทำการสรุปได้ว่า

1. หน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้นตามพลังงานการบดอัดที่เพิ่มขึ้น

2. ปริมาณความชื้นเหมาะสมมีค่าลดลงตามการเพิ่มของพลังงานการบดอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือสงวนสิทธิ์ในบางประการ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

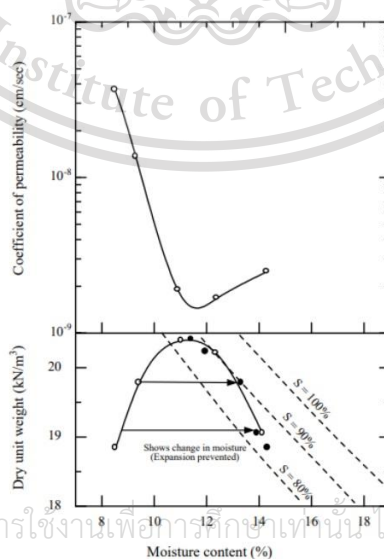
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

2.6.10 การบดอัดและคุณสมบัติเชิงวิศวกรรม

ในกรณีของดินเหนียว การเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นส่งผลให้ความสามารถในการไหลซึมลดลงใน ด้านแห้งของปริมาณความชื้นเหมาะสม (Dry Side of Optimum Moisture Content) และสัมประสิทธิ์การ ซึมผ่านจะมีค่ามากขึ้นในด้านเปียกของปริมาณความชื้นเหมาะสม ดังแสดงใน รูปที่ 2.21 นอกจากนี้การเพิ่มขึ้น ของพลังงานการบดอัดจะช่วยลดสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ เพราะเป็นการช่วยเพิ่มความหนาแน่นแห่ง สูงสุด

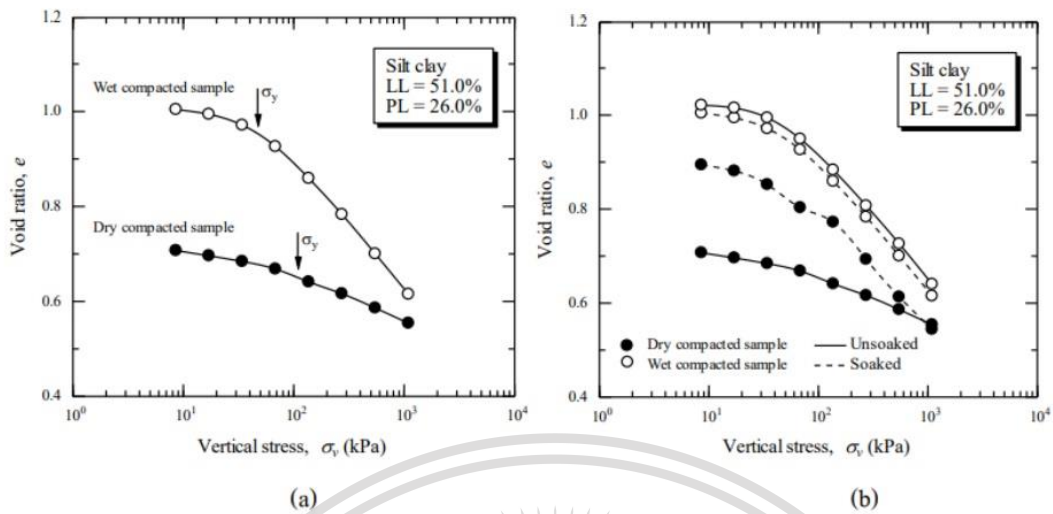
เพื่อความเข้าใจถึงลักษณะการอัดตัวคายน้ำของดินบดอัด ผู้เขียนได้ทำการบดอัดดินเหนียวปนดิน ตะกอน ที่เก็บจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และนำเสนอผลทดสอบดัง รูปที่ 2.21 ซึ่งแสดงอิทธิพลของ ปริมาณความชื้นที่ทำการบดอัดต่อการทรุดตัวของดินเหนียวปนดินตะกอนบดอัดสองตัวอย่างที่มีหน่วยน้ำหนัก แห้งเท่ากัน (ร้อยละ 95 ของหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด) ตัวอย่างหนึ่งบดอัดที่ด้านแห้งของปริมาณความชื้น เหมาะสม อีกตัวอย่างบดอัดที่ด้านเปียกของปริมาณความชื้นเหมาะสม จากผลทดสอบพบว่าดินที่บดอัดด้าน แห้งของปริมาณความชื้นเหมาะสมมีความสามารถด้านการทรุดตัวมากกว่า ดังจะเห็นได้จากความชันของกราฟ มีค่าน้อยกว่า นอกจากนี้ดินที่บดอัดที่ด้านแห้งของปริมาณความชื้นเหมาะสมยังมีค่าความเค้นคราก (σ_y) สูง กว่าแต่อย่างไรก็ตาม ดินบดอัดที่ด้านแห้งจะได้รับผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอย่างมาก เมื่อมีการ เปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น และมีแนวโน้มที่จะขยายตัวเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น (Expansive due to Wetting) ในขณะที่ ดินบดอัดด้านเปียกของปริมาณความชื้นเหมาะสม จะเกิดการอัดตัวเมื่อปริมาณความชื้น เพิ่มขึ้น แต่อิทธิพลของการเพิ่มปริมาณความชื้นมีน้อยมาก เนื่องจากดินบดอัดด้านเปียกมีระดับความอิ่มตัว ด้วยน้ำใกล้เคียงร้อยละ 100 ดังแสดงใน รูปที่ 2.22b



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านวิชาการ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 2.21 การทดสอบความซึมผ่านได้และการบดอัดดิน Siburu (ที่มา : Lambe, 1962)

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 2.22 ลักษณะการอัดตัวของดินตะกอนปนดินเหนียวบดอัดที่ด้านข้างและ ด้านเปียกของปริมาณ ความชื้นเหมาะสม (b) การเปลี่ยนแปลง ปริมาตรเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น (ที่มา : สุขสันต์, 2545)

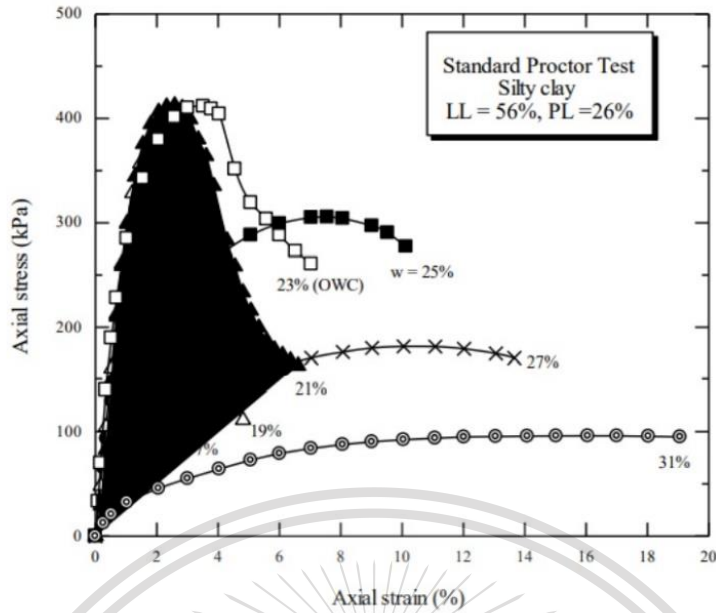
อิทธิพลของปริมาณความชื้นต่อความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดของดินบดอัดจะมีความแตกต่างกันตามแต่ชนิดของดินดังรูปที่ รูปที่ 2.22 และ รูปที่ 2.23 สำหรับดินเม็ดละเอียด (รูปที่ 2.22) ดินตัวอย่างที่บดอัดที่ด้านข้างจะมีกำลังอัดเพิ่มขึ้นตามปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น และมีค่าสูงสุดที่ปริมาณความชื้นเหมาะสม นอกจากนี้ดินบดอัดด้านข้างของปริมาณความชื้นเหมาะสมจะมีค่าความเครียดที่จุดวิบัติต่ำกว่าดินตัวอย่างที่บดอัดที่ด้านเปียก ดินตัวอย่างที่บดอัดที่ด้านเปียกของปริมาณความชื้นเหมาะสม จะแสดงพฤติกรรมเป็นแบบเหนียว (Ductile)

สำหรับดินเม็ดหยาบ (รูปที่ 2.24) กำลังอัดแกนเดียวของดินบดอัดด้านข้างของปริมาณ ความชื้นเหมาะสมมีแนวโน้มที่จะมีคุณสมบัติแบบแตกง่าย (Brittle) มากกว่าด้านเปียกเช่นเดียวกับดินเม็ดละเอียด แต่กำลังอัดแกนเดียวของดินเม็ดหยาบที่ด้านข้างมีค่าลดลงตามปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น และมีค่ามากที่สุดปริมาณความชื้นน้อยกว่าปริมาณความชื้นเหมาะสม

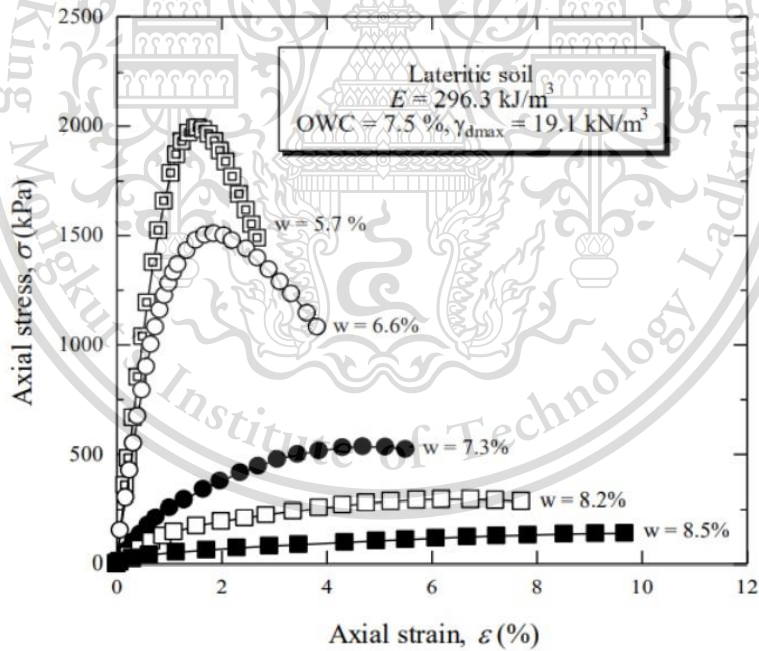
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 2.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดของดินเหนียวปนดินตะกอนบดอัด (ที่มา : สุขสันต์ 2545)



รูปที่ 2.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของดินลูกรังบดอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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.

2.6.11 ปรัชญาการבודัดงานเขื่อนและงานถนน

สำหรับดินฐานราก (ดินเดิม) ที่มีกำลังต้านทานแรงเฉือนสูง และมีการอัดตัวต่ำควรทำการבודัดดินถมที่ด้านข้างของปริมาณความชื้นเหมาะสม ในการבודัดแบบนี้ นอกจากความดันน้ำส่วนเกินที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการבודัดจะมีค่าต่ำแล้วกำลังต้านทานแรงเฉือนรวมทั้งสติฟเนส (Stiffness) ของดินבודัดจะมีค่าสูง

ในพื้นที่ที่ดินฐานรากเป็นดินอ่อนควรทำการבודัดดินถมที่ด้านเปียกของปริมาณความชื้นเหมาะสม ถึงแม้ว่าการבודัดแบบนี้จะก่อให้เกิดความดันน้ำส่วนเกินที่มาก และดินבודัดมีกำลังต้านทานแรงเฉือนที่ค่อนข้างต่ำ แต่ดินבודัดจะมีความยืดหยุ่นสูง และสามารถต้านทานการทรุดตัวที่แตกต่าง (Differential Settlement) ซึ่งอาจเกิดเนื่องจากการทรุดตัวอย่างมากของดินฐานราก สำหรับงานที่เกี่ยวข้องกับการเก็บกักน้ำ ควรבודัดดินถมที่ด้านเปียกของปริมาณความชื้นเหมาะสมเนื่องจากดินבודัดมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านต่ำ และมีกำลังต้านทานแรงเฉือนต่ำดังนั้นสามารถป้องกันการลดลงของกำลังต้านทานแรงเฉือนและการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอันเนื่องมาจากการอิ่มตัวด้วยน้ำ (Strength Reduction and Volume Change due to Wetting)

2.7 การทดสอบ California bearing ratio (C.B.R.)

การทดสอบ California Bearing Ratio หรือเรียกสั้น ๆ ว่าการทดสอบ C.B.R. เป็นการทดสอบเพื่อหา กำลังรับน้ำหนักของดินที่בודัดแน่น ทั้งวิธีการבודัดแบบมาตรฐานและวิธีแบบสูงกว่ามาตรฐาน ด้วยการใช้ ท่อนเหล็กพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 19.35 ตารางเซนติเมตร กดบนตัวอย่างดินที่ทำการבודัดในแบบ Mold ที่เตรียมไว้ด้วยความเร็ว 0.05 นิ้วต่อนาที แล้วนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่ได้จากการทดสอบกับ วัสดุหินคลุกבודัดแน่นบนพื้นฐานการทดสอบที่เหมือนกัน การใช้เครื่องมืออุปกรณ์การบันทึกข้อมูลและการ คำนวณหาเปอร์เซ็นต์

ในปี ค.ศ.1992 California Division of Highway ได้กำหนดวิธีทดสอบการจำแนกคุณสมบัติของดิน เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมในการก่อสร้างถนน และในระหว่างสงครามโลกครั้งที่สอง จำเป็นต้องพัฒนาการก่อสร้างสนามบิน เพื่อรับน้ำหนักของเครื่องบินรบที่บรรทุกอาวุธจำนวนมาก หน่วยทหาร ช่างของสหรัฐอเมริกาได้นำวิธีการทดสอบคุณสมบัติแบบ C.B.R. มาใช้ในการออกแบบก่อสร้างทางวิ่งของ สนามบิน จุดประสงค์ของการבודัดดินเพื่อต้องการให้ได้กำลังของดินเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีผลกับการไหลซึม ของน้ำผ่านมวลดิน การทรุดตัวและการบวมตัวของดินต่อมาเป็นที่ยอมรับและนิยมใช้ทั่วไปสำหรับชั้นคันทาง ชั้นรองพื้นทางและชั้นพื้นทาง โดยในแบบก่อสร้างทั่วไปจะกำหนดความหนาแน่นของชั้นดินที่จะבודัดให้แน่นมากไปใช้

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

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

ขึ้นตามไปด้วย การทดสอบ C.B.R. เป็นการหาค่าความต้านทานแรงเฉือนของดินหรือหินคลุกที่บดอัดแล้ว โดยค่าที่ได้จากการทดสอบจะอยู่ในรูปของหน่วยแรงต้านทานของตัวอย่างดินทดสอบที่บดอัดต่อหน่วยน้ำหนักมาตรฐานของหินคลุกบดอัดในระดับความลึก หรือระยะจมของแท่งกด (Penetration Piston) ที่เท่ากันแล้ว เปรียบเทียบออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์

2.7.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น

ในการทดลองการบดอัดดินแบบมาตรฐานหรือสูงกว่ามาตรฐานนั้นจะได้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณน้ำ ที่ทำให้ดินแน่นที่สุด ซึ่งดินตัวอย่างแต่ละชนิดจะได้ค่าความหนาแน่นสูงสุดไม่เท่ากันการทดลองหาค่า C.B.R. นั้นเป็นการหาค่ากำลังรับน้ำหนักของดินที่มีความหนาแน่นแห้งสูงสุดแต่ละชนิด โดยทั่วไปพบว่า ถ้าความหนาแน่นแห้งสูงก็จะได้ค่า C.B.R. สูงตามไปด้วย ซึ่งสมบัติของดินที่เหมาะสมในการใช้งาน ด้านงานวิศวกรรมทางจราจรพิจารณาจากค่าของ C.B.R. ของดินการทดสอบ C.B.R. เป็นวิธีการหาลำดับรับน้ำหนักของดินบดอัดแน่น ด้วยการใช้แท่งกดขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว กดลงบนตัวอย่างดิน โดยถ้า % C.B.R. ที่ถูกกำหนดมีค่ามากเท่าใดก็แสดงว่าชั้นดินนั้นต้องบดอัดให้แน่นมากขึ้นตามไปด้วยการทดสอบ C.B.R. เป็นการหาค่าความต้านทานแรงเฉือนของดิน แล้วเปรียบเทียบออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยค่าหน่วยน้ำหนักมาตรฐานได้ถูกกำหนดเป็นค่ามาตรฐาน โดย California Division of Highway ดัง ตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ของ % C.B.R. และการใช้งาน

ระยะจม (Penetration)	น้ำหนักมาตรฐาน (Standard Load)	หน่วยน้ำหนักมาตรฐาน (Standard Unit Load)
2.54 มม. (0.1 นิ้ว)	1,360.8 กก. (3,000 ปอนด์)	70.30 กก./ชม. ² (1,000 ปอนด์/นิ้ว ²)
5.08 มม. (0.2 นิ้ว)	2,041.2 กก. (4,500 ปอนด์)	105.46 กก./ชม. ² (1,500 ปอนด์/นิ้ว ²)
7.62 มม. (0.3 นิ้ว)	2,852.5 กก. (5,700 ปอนด์)	133.59 กก./ชม. ² (1,900 ปอนด์/นิ้ว ²)
10.16 มม. (0.4 นิ้ว)	3,129.8 กก. (6,900 ปอนด์)	161.71 กก./ชม. ² (2,300 ปอนด์/นิ้ว ²)
13.71 มม. (0.5 นิ้ว)	3,538.0 กก. (7,800 ปอนด์)	182.81 กก./ชม. ² (2,600 ปอนด์/นิ้ว ²)

เราสามารถกำหนดคุณสมบัติของดินจากค่า C.B.R. ว่าเหมาะที่จะนำไปใช้งานถนนหรือไม่ และเหมาะที่จะใช้ในชั้นใดของงานทางจาก ตารางที่ 2.7

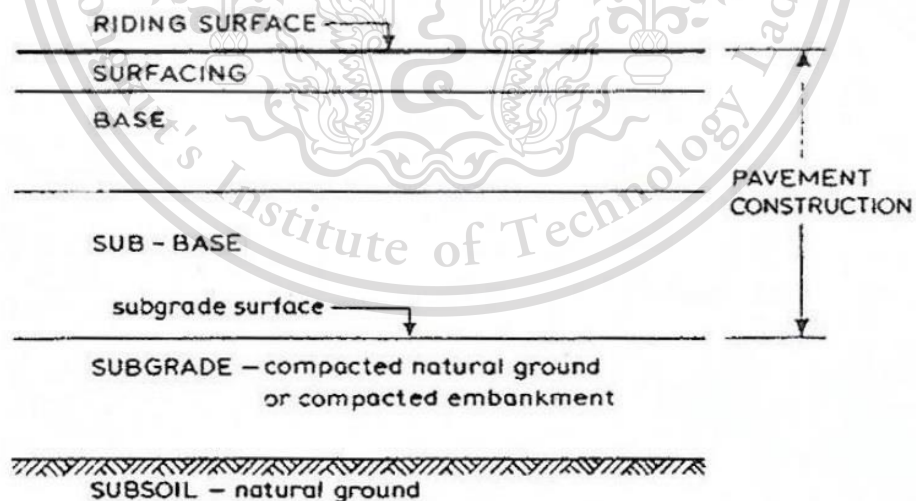
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ตารางที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า % C.B.R. กับการใช้งาน

C.B.R. %	คุณสมบัติเหมาะสมทางวิศวกรรม		การจำแนกดินความเหมาะสม การใช้งานระบบ Unified
	ความเหมาะสม	การใช้งาน	
0-3	ใช้ไม่ได้	วัสดุใช้คันทาง	OH, CH, MH, OL
3-7	ไม่ดีถึงพอใช้	วัสดุชั้นทาง	OH, CH, MH, OL
7-20	พอใช้	วัสดุชั้นรองพื้นทาง	OL, CL, ML SC, SM, SP
20-50	ดี	วัสดุชั้นพื้นทาง รองพื้นทาง	GM, GC, SW, SM
50-80	ดีมาก	วัสดุพื้นทาง	SP, GP, SW, SM
มากกว่า 80	ดีที่สุด	วัสดุพื้นทาง	GW, GM



รูปที่ 2.25 แสดงลักษณะชั้นทางของงานถนน (ที่มา : Head Vol.2 ,1988)

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.

2.7.2 ขอบข่ายในการทดลองหาค่า C.B.R.

การทดลองหาค่า C.B.R เป็นวิธีการเปรียบเทียบกำลังต้านทานแรงเฉือน (Shearing Resistance) ของดินตัวอย่างบดอัดแน่น โดยใช้ค่าปริมาณน้ำที่ O.M.C. เพื่อให้ได้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดแล้วนำค่าไปเปรียบเทียบกับวัสดุดินมาตรฐานที่ได้ทดลองไปแล้ว โดยมีค่าตามตารางที่ 2.7

มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ คือ AASHTO T 193 Test Method for C.B.R. (California Bearing Ratio) of Laboratory Compacted Soils ค่ากำลังของดินบดอัด % C.B.R. โดยทั่วไปแล้วจะใช้ค่าอัตราส่วนของแรงกดที่ความลึก 0.1 นิ้วแต่ถ้า % C.B.R. ของแรงกดที่ความลึก 0.2 นิ้ว สูงกว่าที่ความลึก 0.1 นิ้วการทดลองควรจะต้องทำซ้ำอีกครั้ง และถ้าค่า % C.B.R. ค่าที่ได้ยังเป็นไปในรูปเดิมก็ให้ใช้ค่า % C.B.R. ที่การยุบตัว 0.2 นิ้ว

ค่า C.B.R. ยังสัมพันธ์กับกำลังรับแรงเฉือนของดินอีกด้วย (แต่ไม่ใช่แรงเฉือนโดยตรง) โดยลักษณะการ Fail ของดินใต้ Piston จะได้ดัง รูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 แสดงการ Fail ของดินใต้ Piston (ที่มา : Head Vol.2 ,1988)

การทดลองหาค่า % C.B.R. มี 2 วิธี คือ

1. การทดลองแบบแช่น้ำ (Soaked Sample Test) โดยทำการทดสอบตัวอย่างดินที่บดอัดไว้ แล้วทันที
2. การทดลองแบบไม่แช่น้ำ (Unsoaked Sample Test) ให้ทำการทดสอบตัวอย่างดินที่หลังจากแช่น้ำแล้ว โดยจะต้องทำการแช่ตัวอย่างดินที่ผ่านการบดอัดแล้วในน้ำไม่ต่ำกว่า 96 ชั่วโมง (4 วัน) หรือจนกว่าดินจะหยุดการบวมตัว ซึ่งในระหว่างนี้จะตัวเองวัดการบวมตัว (Swell) ของดินด้วย โดยอัตรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

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.

วันค่าบวมตัวจะเป็นข้อกำหนดหนึ่งในการเลือกใช้วัสดุในการสร้างถนน ดินที่มีค่าบวมตัวสูงจะไม่เหมาะสมสำหรับใช้ทำพื้นทางถนน

การทดสอบตัวอย่างดินแบบแช่น้ำ เพื่อจำลองสภาพจริงที่อาจเกิดขึ้นได้ในถนน เช่น ในกรณีที่มีน้ำท่วมขัง หรือในฤดูฝน โดยค่า C.B.R. ของดินตัวอย่างที่แช่น้ำจะน้อยกว่าค่า C.B.R. ที่ทดสอบแบบแห้ง

ในการทดสอบ C.B.R. ในช่วงที่เราทำการทดสอบ (Penetration Test) และตอนที่เราแช่ตัวอย่างดินในน้ำ เราจะใส่แผ่นน้ำหนัก (Surcharge Weight) บนตัวอย่างดินด้วยเพื่อจำลองน้ำหนักชั้นดินที่กดทับด้านบน น้ำหนักที่ใช้กดก็ขึ้นอยู่กับตัวอย่างดินที่เราจะทดสอบว่าสภาพในสนาม ดินมีน้ำหนักกดทับประมาณเท่าไรแล้วเลือกน้ำหนักให้ใกล้เคียงกับสภาพจริง

ตารางที่ 2.8 แสดงค่ามาตรฐานการบดอัดตัวอย่างดินใน C.B.R. Mold

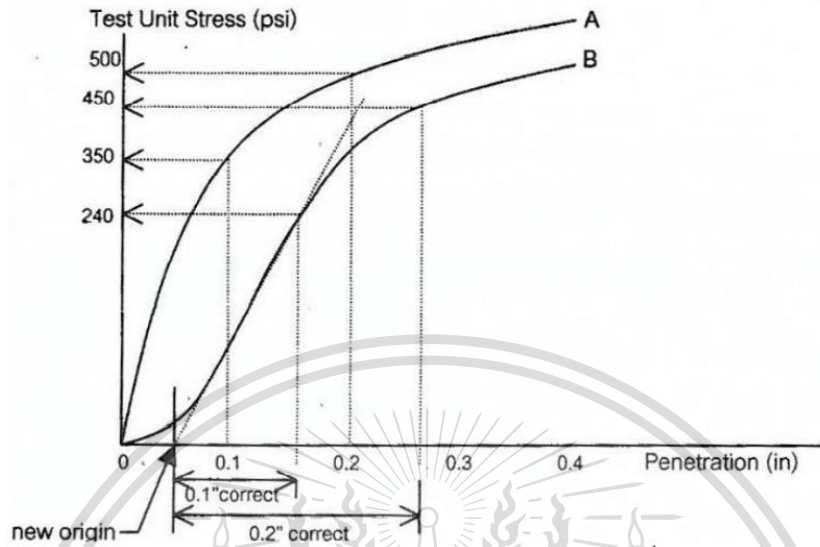
มาตรฐาน	ตุ้มบดอัด (Rammer)		จำนวนชั้นในการบดอัด	จำนวนครั้งในการปล่อยตุ้มต่อชั้น
	น้ำหนักตุ้ม	ระยะตก		
BS "ordinary"	2.5 kg	300 mm	3	62
BS "heavy"	4.5 kg	450 mm	5	62
ASTM "standard"	5.5 lb	12 in	3	56
AASHTO "Modified"	10 lb	18 in	5	56

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.

2.7.3 การปรับแก้โค้งการทดสอบ C.B.R. (Correction to Curve)



รูปที่ 2.27 แสดงการปรับแก้โค้งการทดสอบ C.B.R. (ที่มา : Chonlatee ,2001)

การทดสอบ C.B.R. เมื่อเราเขียนกราฟระหว่างหน่วยแรงกับค่ายุบตัว กราฟจะต้องได้โค้งที่มีวนของเส้นตรงผ่านจุดกำเนิด ถ้าส่วนของเส้นตรงไม่ผ่านจุดกำเนิดจะต้องทำการปรับแก้ไข (Correct) โดยลากเส้นให้สัมผัสกับส่วนของเส้นตรงมากที่สุดมาตัดกับแกนนอนจะได้จุดเริ่มใหม่ (New Origin) ค่ายุบตัว 0.1” และ 0.2” จะต้องเริ่มวัดจากจุดนี้ ดังแสดงในกราฟ B ดังรูปที่ 2.27 (ส่วนของเส้นตรงไม่ผ่านจุดกำเนิดอาจมีสาเหตุมาจากผิวหน้าของดินบดอัดถูกรบกวน หรือได้รับการบดอัดที่ไม่ดี และอาจมีสาเหตุมาจากแท่งเหล็กกดแต่ละผิวตัวอย่างไม่มั่นคงก่อนการทดสอบ)

ส่วนกราฟ A ที่แสดงดังรูปที่ 2.27 สามารถหาค่า Unit Load จากค่าการยุบตัวที่ได้จากการทดลองได้ ตัวอย่างการคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ C.B.R.

$$\text{ค่า C.B.R. (กราฟ A) ที่การยุบตัว 0.1"} = \frac{350}{1000} \times 100 = 35\%$$

$$\text{ค่า C.B.R. (กราฟ A) ที่การยุบตัว 0.2"} = \frac{500}{1500} \times 100 = 33\%$$

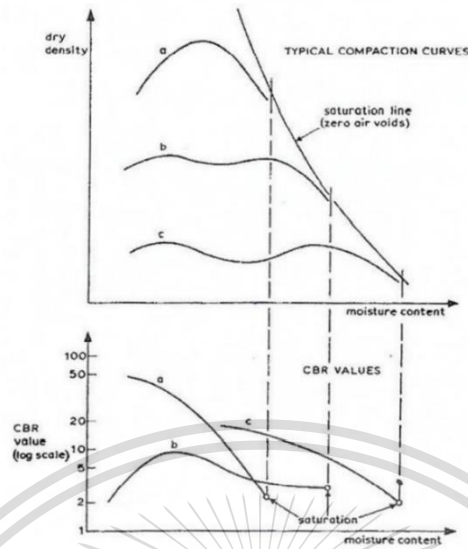
ค่า C.B.R. ที่ 0.1” มากกว่า C.B.R. ที่ 0.2” เพราะฉะนั้นไม่ต้องทดสอบตัวอย่างใหม่ ได้ค่า C.B.R. ของดินตัวอย่าง A = 35 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

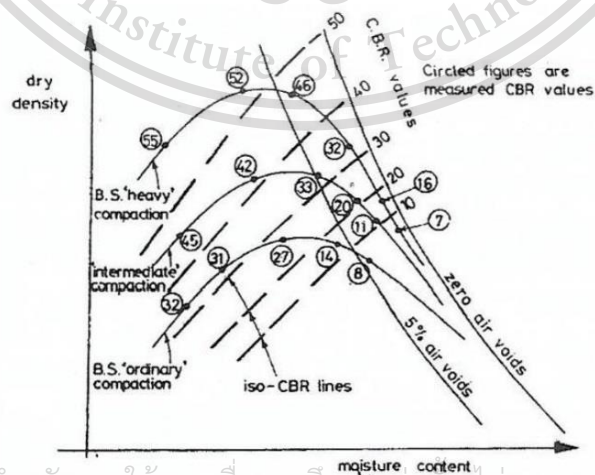
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.7.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า C.B.R กับปริมาณความชื้นและความหนาแน่น



รูปที่ 2.28 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการบดอัดและ C.B.R. (ที่มา : Head Vol.2 ,1988)

ค่า C.B.R. ที่ได้จากการทดสอบจะมีความสัมพันธ์กับค่าความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นในดิน ในกราฟ รูปที่ 2.28 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งของดินที่ได้จากการทดสอบการบดอัดดินและค่า C.B.R. ที่ปริมาณความชื้นต่างๆ ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าค่า C.B.R. จะมีค่าสูงสุดทางด้านแห้ง (Dry Side of Optimum) และจะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น และค่า C.B.R. จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อผ่านจุดที่มีความหนาแน่นสูงสุด (Optimum Moisture Content) หรือลดลงอย่างมากในทางด้านเปียกนั่นเอง (Wet Side of optimum) สังเกตกราฟ C จะมีจุดยอดสองจุดซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ในการบดอัดดินเหนียวโดยเฉพาะเมื่อเราบดอัดน้อย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งรูปที่ 2.29 แสดงตัวอย่างค่า C.B.R. บนกราฟการบดอัดที่ปริมาณความชื้นต่างๆกัน ซึ่งมีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use (ที่มา : Head Vol.2 ,1988) and not allowed for commercial use.

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

เมื่อเราทำการบันทึกค่า C.B.R. ในกราฟการบดอัด (ตัวเลขในวงกลม) ในรูปที่ 2.29 จะสังเกตเห็นว่า เมื่อเราทำการทดสอบหาค่า C.B.R. ที่การให้พลังงานในการบดอัด และปริมาณความชื้นที่ต่างกัน ค่า C.B.R. ที่ได้จากตัวอย่างทดสอบจะน้อยลงในกราฟเส้นเดียวกันและเมื่อเราทำการลากเส้นประในแนวที่ค่า C.B.R. เท่ากัน เช่น 10%, 20%, 30%... จะได้เส้น Contours ที่เรียกว่า “iso-C.B.R. Lines” ซึ่งสามารถใช้ประมาณค่า C.B.R. ในกราฟการบดอัดดินได้ทำให้เราประมาณ ความชื้นที่ต้องใช้ได้ว่าถ้าเราต้องการค่า C.B.R. เท่านี้ จะต้องใส่น้ำประมาณเท่าใด

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 Improvement of Lateritic Soil by Bottom Ash and Lime

กิตติศักดิ์ และประทีป (2011) ได้ศึกษาดินลูกรัง ผสมกับปูนขาวกับเถ้าก้นเตาจากโรงไฟฟ้า เพื่อพัฒนาคุณภาพของวัสดุเพื่อนำไปใช้ในงานทาง โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรัง ที่ผสมเถ้าก้นเตาและปูนขาว ได้แก่ การกระจายขนาดของเม็ดดิน ปริมาณเถ้าก้นเตาและปูนขาว และอายุการบ่ม โดยทำการทดสอบกับดินลูกรังเกรด B และเกรด D ตามมาตรฐานชั้นรองพื้นทางของกรมทางหลวง พบว่า เมื่อผสมปริมาณเถ้าก้นเตาและปูนขาวเพิ่มขึ้น ค่าดัชนีความเหนียวของดินลดลง ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดมีแนวโน้มลดลง และปริมาณความชื้นเหมาะสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ปริมาณเถ้าก้นเตาและปูนขาวที่ทำให้ค่า Unsoaked และ Soaked C.B.R. มีค่าเพิ่มสูงมากที่สุด คือ ประมาณ 40% ในดินลูกรังเกรดผสม B และ D เมื่อผสมเกินกว่าค่านี้อาจจะไม่เพิ่มขึ้นอีก ค่า Unsoaked และ Soaked C.B.R. จะเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่มที่เพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์ความชื้นน้ำที่ทดสอบทันทีหลังบดอัดมีแนวโน้มสูงขึ้นประมาณ 10 เท่าในดินลูกรังเกรด B และสูงขึ้นประมาณ 9 เท่าในดินลูกรังเกรด D และเมื่ออายุการบ่มเพิ่มขึ้นจะทำให้ดินลูกรังเกรด B มีค่าความชื้นน้ำต่ำลงประมาณ 6 เท่า และลูกรังเกรด D มีค่าต่ำลงประมาณ 8 เท่า

2.8.2 Study on Properties of Laterite Soil Portland Cement and Slag Mix as a Pavement Materials

นิโรจน์ (2010) ได้ศึกษาคุณสมบัติของดินชั้นทางลูกรังบดอัดผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และตะกรันเหล็ก เพื่อหาปริมาณส่วนผสมสำหรับใช้ปรับปรุงดินชั้นทาง โดยดินลูกรังเป็นส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมตะกรันเหล็ก เท่ากับ 5% : 0%, 3.5% : 1.5%, 2.5% : 2.5%, 1.5% : 3.5%, และ 0% : 5% โดยน้ำหนักเป็นตัวแปรในการทดสอบ พบว่า ปริมาณดินลูกรัง 95% ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 3.5% และตะกรันเหล็ก เป็นส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด เมื่อเทียบกับส่วนผสมอื่นๆ ซึ่งมีผลทำให้มีค่า ซี.บี.อาร์. ที่สูงขึ้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของชั้นทางดินซีเมนต์ที่กำหนดโดยกรมทางหลวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารทศงานเพื่อใช้ในการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่เนื้อหา 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.

2.8.3 Evaluation of Changes in Index Properties of Lateritic Soil Stabilized with Fly Ash

Agapitus Amadi (2010) ได้ศึกษาการประเมินการเปลี่ยนแปลงของดัชนีของคุณสมบัติ (เช่น ขนาดและการกระจายตัวของเม็ดดิน ชีตจำกัดอัตราเตอร์เบอร์ก และ คุณสมบัติในการบดอัด) ของดินลูกรังผสมกับเถ้าลอย ทำการทดลองกับดินลูกรังที่มีส่วนผสมของเถ้าลอยไม่เกิน 20% ของน้ำหนักแห้งของดิน และเตรียมตัวอย่างสำหรับการบดอัด โดยแต่ละตัวอย่างมีสถานะการบดอัดที่ต่างกันอย่างชัดเจน (ความชื้นที่เหมาะสมในด้านแห้งและด้านเปียก) และทำการบดอัดโดยใช้พลังงานในการบดอัดอ้างอิงตาม British Standard Light (BSL) ส่วนผสมระหว่างดินลูกรังกับเถ้าลอย 15% ถูกจัดเป็นดินแบบ CL ตามการจำแนกชั้นดินแบบ USCS และถูกพล็อตอยู่บนเส้น A-line ในแผนภูมิสภาพความเป็นพลาสติก (Plasticity chart) ในทางกลับกันการผสมเถ้าลอย 20% ให้ผลที่แตกต่าง โดยส่วนผสมนี้ถูกจัดอยู่ในดินแบบ ML และถูกพล็อตในส่วนบนของตะกอน ซึ่งอยู่ใกล้ด้านของ A-line ค่าพิกัดเหลว (Liquid limit: LL) มีค่าอยู่ในช่วง 42.2% ถึง 29.53% แสดงให้เห็นว่ามีการลดลง 70% ในขณะที่ค่าดัชนีพลาสติก (Plastic index: PI) ของตัวอย่างที่มีเถ้าลอย 2% มีค่าน้อยกว่าดินตามธรรมชาติ 16% ความชื้นเหมาะสม (optimum moisture content: OMC) มีค่าอยู่ในช่วง 17.36% ซึ่งเป็นค่าของดินตามธรรมชาติ ถึง 18.34% ซึ่งเป็นค่าของดินที่ผสมเถ้าลอย 20% โดยมีหน่วยน้ำหนักแห้ง 172.3 kN/m^3 สำหรับดินตามธรรมชาติ และ 16.1 kN/m^3 สำหรับดินผสมเถ้าลอย 20% จากการศึกษา พบว่า ทำให้ได้ข้อมูลที่ชัดเจนและเป็นที่น่าสนใจของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินลูกรังเมื่อนำมาใช้งานร่วมกับเถ้าลอย

2.8.4 Stabilization of Expansive Soil Using Industrial Waste: Fly Ash

Mohanty SK, Pradhan PK and Mohanty CR (2017) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงเสถียรภาพของดินที่มีการขยายตัวโดยใช้เถ้าลอย (ของเสียจากภาคอุตสาหกรรม) ร่วมกับปูนขาว ในชั้นต้นเถ้าลอยถูกใส่ผสมกับดินในอัตราส่วนเริ่มตั้งแต่ 5% ถึง 30% โดยน้ำหนักของดินแห้ง ซึ่งจะเพิ่มอัตราส่วนขึ้นครั้งละ 5% จากนั้นศึกษาลักษณะทางธรณีวิทยา เช่น ความเหนียว, การบวมตัว, การบดอัด, ค่า ซี.บี.อาร์. และการอัดตัวคายน้ำของดินที่ปรับปรุงเสถียรภาพแล้ว โดยดินที่ผสมกับเถ้าลอยที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด คือ ดินที่ผสมจากดิน (70%) : เถ้าลอย(30%) จากนั้นผสมปูนขาวที่อัตราส่วนต่ำตั้งแต่ 1% ถึง 5% กับตัวอย่างดินดังกล่าว ซึ่งตัวอย่างดินที่ผสมกับเถ้าลอยและปูนขาวถูกทดสอบในห้องทดลองเพื่อหาสมบัติทางธรณีวิทยา สำหรับการทดสอบค่า ซี.บี.อาร์. แบบเปียก ตัวอย่างดินที่ผสมกับเถ้าลอยและปูนขาวถูกแช่ในน้ำในช่วงเวลา 4, 7, 14, 21, 28 และ 56 วัน จากการศึกษาการทดสอบนี้พบว่าดินที่ผสมดินที่มีการขยายตัวกับเถ้าลอย 30% และปูนขาว 4% ทำให้ ค่า ซี.บี.อาร์. มีค่ามากที่สุด

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.

2.8.5 Effects of Fly ash on Engineering Properties of BC Soil

S.M. Mahajan (2015) ได้ศึกษาดินที่มีสภาพพลาสติกสูงและลักษณะดินอนินทรีย์ที่มีลักษณะการบวมตัวและการหดตัวสูง (ดิน BC) ซึ่งไม่เหมาะสำหรับการก่อสร้าง ซึ่งได้สร้างความท้าทายและปัญหาในการก่อสร้างต่างๆ หนึ่งในของเสียที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่คือเถ้าลอยถูกใช้เพื่อที่จะทำให้ดินมีเสถียรภาพขึ้น การผสมเพิ่มเติมวัสดุดังกล่าวนี้จะช่วยเพิ่มทั้งสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีของดิน ในงานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงการศึกษเกี่ยวกับผลจากปรับปรุงสมบัติทางวิศวกรรมของดินแบบ BC โดยวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ คือ ประเมินผลกระทบของเถ้าลอยกับการปรับปรุงเสถียรภาพของดินแบบ BC โดยการทดลองจะประเมินผลของอัตราส่วนผสมเถ้าลอยต่อความเป็นพลาสติก ดัชนีการบวม การบดอัด และตัวแปรต่างๆของดินนี้ ความเป็นพลาสติกและสมบัติการบวมตัวของตัวอย่างดินที่ผสมเถ้าลอยนั้นเพิ่มขึ้น และหน่วยน้ำหนักแห้งก็ได้มีการเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราส่วนผสมเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้น อัตราส่วนของเถ้าลอยนั้นมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 10% ถึง 50% ซึ่ง พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมของเถ้าลอยคือที่ระหว่าง 20% ถึง 30%

2.8.6 Compound Soil-Tyre Chips Modified by Cement as a Road Construction Material

Panu Promputthangkoon (2013) ได้ศึกษาการปรับปรุงดินลูกรังที่มีคุณภาพต่ำ โดยใช้เศษชิ้นส่วนยางผสมกับปูนซีเมนต์ เพื่อใช้เป็นวัสดุในการก่อสร้างสำหรับชั้นพื้นทางและชั้นรองพื้นทางและสามารถลดการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัว โดยทำการทดสอบ 3 การทดสอบ ได้แก่ การทดสอบ modified compaction การทดสอบ California Bearing Ratio (CBR) และการทดสอบ unconfined compression โดยใช้ตัวอย่างดินลูกรัง ผสมกับยาง 0, 2, 7, 15 และ 25 % และผสมปูนซีเมนต์ 0, 1, 5, 10 และ 15 % จากผลการทดสอบพบว่าค่า C.B.R. ของตัวอย่างทั้งแบบ soaked และแบบ unsoaked มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของปูนซีเมนต์มีค่าเพิ่มขึ้น และค่า C.B.R. (soaked) ของดินลูกรังไม่ผสมปูนซีเมนต์และยางมีค่าเท่ากับ 18% และค่า C.B.R. (soaked) ของดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์ 5% มีค่าเท่ากับ 181%

2.8.7 Evaluation of the effect of lime and cement on the engineering properties of selected soil in a university in southwestern Nigeria

Afolayan and Olaniyi (2017) ได้ศึกษาผลกระทบของจากปูนขาวและปูนซีเมนต์ต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังใน Ladoke Akintola University of Technology, Ogbomosho, Nigeria โดยทำการทดสอบหาดัชนีและคุณสมบัติทางกายภาพของดินลูกรัง จากตัวอย่างดินลูกรังที่มีการผสมปูนขาวและปูนซีเมนต์ในอัตราส่วน 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10 % โดยน้ำหนักของดินแห้ง จากการทดสอบพบว่าดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์ที่ 5 – 7 % ช่วยเพิ่มค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด และค่า C.B.R. ของดินลูกรังไม่ผสมปูนซีเมนต์มีค่าเท่ากับ 6.28% และค่า C.B.R. ของดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์ 5% มีค่าเท่ากับ 29.48%

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

การศึกษาเรื่อง “การศึกษาการพัฒนากำลังของดินลูกรังโดยใช้เถ้าลอยและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์” ซึ่งเป็นการศึกษาเพื่อนำไปใช้ในการปรับคุณสมบัติของวัสดุในงานชั้นทาง โดยใช้วัสดุที่เหลือจากกระบวนการต่างๆในการผลิตยางมะตอยซึ่งก็คือ “เถ้าลอย” กระบวนการเผาไหม้ในการผลิตยางมะตอยนั่นเอง โดยในการทดสอบจะทำการพิจารณาถึง ค่าความแข็งแรงของดินที่บดอัด กับการบวมตัวเป็นหลัก ดังนั้นในขั้นตอนของการทำการทดสอบจึงจะทำการทดสอบการบดอัดของดิน (Compaction Test) เพื่อที่จะทำการหาค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) และค่าความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Ratio : O.M.C.) และทำการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (California Bearing Ratio : C.B.R.) เพื่อหาค่าความแข็งแรงของดินที่เทียบกับค่ามาตรฐานของกรมทางหลวง ที่ความชื้นที่เหมาะสมและความหนาแน่นที่เหมาะสมมากกว่า 95 % ของค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดจากการทดสอบ การบดอัดชั้นดินตามที่มาตรฐานของกรมทางหลวงได้กำหนดไว้ ซึ่งกรมทางหลวงได้กำหนดให้ชั้นรองพื้นทาง (Subbase Course) จะต้องมียค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (California Bearing Ratio : C.B.R.) ไม่น้อยกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ของค่าความหนาแน่นสูงสุด และจะทำการหาค่า Atterberg Limit เพื่อตรวจสอบค่าความเหนียวของดิน และความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสถานะภาพความชื้นของมวลดิน ตามการทดสอบของกรมทางหลวง โดยวัสดุที่มีค่าดรรชนีความเหลว (Plastic Index : PI) สูงจะมีการบวมตัวที่สูง ซึ่งกรมทางหลวงได้กำหนดให้วัสดุในชั้นรองพื้นทาง (Subbase Course) มีค่า PI ไม่เกิน 11 เปอร์เซ็นต์ และยังได้กำหนดให้มีค่าพิกัดเหลว (Liquid Limit) ไม่เกินกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าพิกัดเหลว (Liquid Limit) เป็นค่าที่จะบ่งบอกถึงค่าความต้านทานแรงเฉือนของดิน และในการศึกษาต่อไปนี้ ยังมีการทดสอบหาค่าคุณสมบัติของดินลูกรังประเภท E, เถ้าลอย และดินลูกรังประเภท E ผสมกับเถ้าลอยและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เพื่อทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุที่ทำการปรับปรุง กับมาตรฐานกรมทางหลวงในชั้นรองพื้นทาง (Subbase Course) เพื่อให้สามารถนำมาใช้ในงานก่อสร้างได้จริง

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.

3.2 เงื่อนไขการทดสอบ

1. ดินลูกรังที่เราจะนำมาใช้ในการทดสอบต้องเป็นดินลูกรังประเภท E โดยจะต้องมีอัตราส่วนดัง ตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนของดินลูกรังแต่ละประเภทตามมาตรฐานกรมทางหลวง (กรมทางหลวง, 2532)

Sieve	Percent Passing				
	A	B	C	D	E
2"	100	100	-	-	-
1"	-	-	100	100	100
3/8"	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100	-
No. 10	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70	40 - 100
No. 40	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45	20 - 50
No. 200	2 - 8	5 - 20	5 - 15	5 - 20	6 - 20

ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนการผสมดินลูกรังประเภท E ที่จะใช้ในการทดสอบ

Sieve	Percent Passing
2"	-
1"	0
3/8"	-
10"	74
40"	20
200"	6

2. ในการปรับปรุงคุณสมบัติดินนั้นต้องทำการผสมปูนซีเมนต์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้งของมวลรวมทั้งหมด ในทุกตัวอย่างที่ได้ทำการปรับปรุง

3. ในการทดสอบการหาค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (California Bearing Ratio : C.B.R.) จะเป็นการทดสอบแบบการแช่น้ำ (Soaked Sample) เพื่อจำลองสภาพใช้งานจริงที่ต้องเจอกับความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 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. ในการทดสอบของงานวิจัยนี้จะทำการเตรียมตัวอย่างทั้งหมด 5 ตัวอย่าง ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.3 แสดงอัตราส่วนการผสมระหว่าง ดินลูกรังประเภท E, เถ้าลอย และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

อัตราส่วนผสม (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้งของมวลรวมทั้งหมด)		
ดินลูกรัง	เถ้าลอย	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
100	0	0
90	10	5
80	20	5
70	30	5
0	100	0

โดยที่ค่าอัตราส่วนเปอร์เซ็นต์ทั้งหมดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้งของมวลรวมทั้งหมด

5. ตัวอย่างดินลูกรังทั้งหมดที่นำมาใช้ในการทดสอบต้องผ่านการอบแห้งก่อนที่จะมาทดสอบ เพื่อให้ตัวอย่างดินลูกรังที่ใช้ในการทดสอบไม่มีความชื้นที่จะส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของดินที่จะใช้ในการทดสอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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 คุณสมบัติของวัสดุตัวอย่าง

ก่อนที่จะทำการศึกษาการพัฒนากำลังของดินลูกรังโดยใช้เถ้าลอยและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จำเป็นต้องมีการเตรียมตัวอย่างวัสดุที่จะนำมาใช้ในการทดสอบ ซึ่งประกอบไปด้วยเถ้าลอย และดินลูกรัง ประเภท E แล้วทำการทดสอบหาค่าคุณสมบัติของวัสดุตัวอย่างซึ่งประกอบไปด้วยวิธีต่างๆ ดังนี้ การหาค่าพิกัด อัตตะเบิร์ก (Atterberg's Limit) การบดอัดดิน (Compaction Test) และการทดสอบหาค่าแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (California Bearing Ratio : C.B.R.) โดยจะมีรายละเอียดในการทดสอบดังต่อไปนี้

3.3.1 การหาขนาดของเม็ดดิน (Grain Size Analysis)

(มาตรฐานอ้างอิง : AASHTO T 27-70 และ AASHTO T 88)

มวลดินอาจประกอบด้วยเม็ดดินหลายขนาด ซึ่งขนาดของเม็ดดินนี้จะมีผลต่อคุณสมบัติต่างๆของมวลดินอย่างมาก เช่น มีผลต่อความสามารถในการซึมน้ำ (Permeability) อัตราการทรุดตัว (Rate of Settlement) และความสามารถในด้านกำลัง (Strength) ของมวลดิน เป็นต้น เพราะฉะนั้นเราจึงต้องทราบขนาดผลของเม็ดดินเพื่อให้ทราบคุณสมบัติของดินตัวอย่างที่จะใช้ในการศึกษาด้วย การหาขนาดและการกระจายตัวของเม็ดดินทำได้หลายวิธี ตามความเหมาะสมของขนาดเม็ดดิน และตามชนิดของดิน ดังต่อไปนี้

1. วิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis) สำหรับเม็ดดินที่มีขนาดใหญ่กว่าตะแกรง เบอร์ 200 เป็นส่วนใหญ่ (0.075 มม.)
2. วิธีตกตะกอนโดยไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Analysis) สำหรับดินที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรง เบอร์ 200 เป็นส่วนใหญ่ (ขนาดเล็กกว่า 0.075 มม.) เช่น ดินเหนียว (Clay) ดินเหนียวปนตะกอน (Silty Clay)

ทั้งสองวิธีดังกล่าวอาจใช้ร่วมกันในการวิเคราะห์ขนาดของตัวอย่างเดียวกัน โดยในการศึกษารังนี้ จะใช้ดินลูกรังในการทดสอบ จึงหาขนาดผลของเม็ดดินด้วยวิธีการร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis) เท่านั้น

โดยตัวอย่างดินที่นำมาทำการทดสอบนั้นจะเป็นตัวอย่างดินลูกรังที่ได้ทำการผสมโดยมีอัตราส่วนต่างๆ ที่กำหนดเป็นค่าอย่างชัดเจนแล้ว ดังตารางที่ 3.2 เพราะฉะนั้นการทดสอบจะเป็นการทำย้อนจากการทดสอบมาตรฐานอีกทีหนึ่ง

วัสดุและอุปกรณ์

- เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
1. ถาดตัวอย่าง (Mixing Pan) ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 2. ตะแกรงร่อน (Sieve)

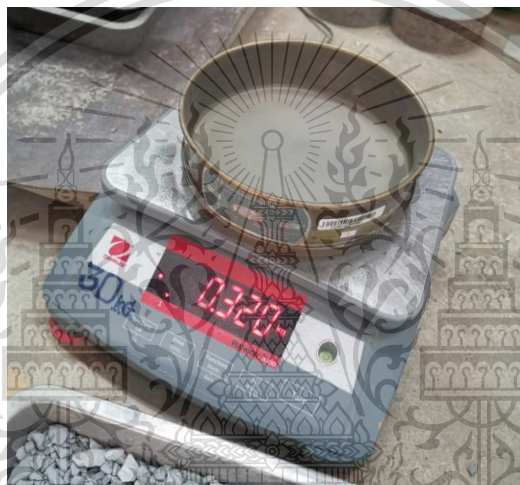
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

3. เครื่องเขย่าตะแกรง (Sieve Shaker)
4. เครื่องชั่งน้ำหนัก ขนาด 20 กิโลกรัม อ่านได้ละเอียด 0.1 กรัม
5. แพลงทำความสะอาดตะแกรง
6. ค้อนยาง และช้อนตักดิน

วิธีการทดสอบ

1. ชั่งตะแกรงทุกๆขนาดที่ใช้ โดยตะแกรงชุดหนึ่งไม่ควรเกิน 7 ใบ โดยมีความละเอียดถึงเบอร์ 200 อยู่ด้วยทุกครั้ง



รูปที่ 3.1 แสดงการชั่งน้ำหนักตะแกรง

2. นำตัวอย่างดินลูกรังที่จะทดสอบไปอบแห้งเสียก่อน ในกรณีที่ตัวอย่างดินเกาะกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ให้ทำการทุบให้แตกออกจากกัน โดยค้อนยาง แต่ต้องระวังอย่าให้แรงมากจนเกินไปจนเม็ดดินแตก



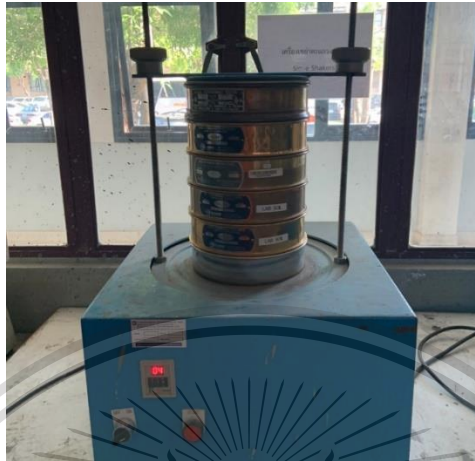
รูปที่ 3.2 แสดงการทุบดินลูกรังให้แตกออกจากกันเป็นอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบทเรียนเพื่อการศึกษาดูแลเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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. นำตัวอย่างดินที่ทำการอบหรือทำให้ดินแห้งด้วยวิธีการต่างๆ มาชั่งน้ำหนักแล้วใส่ลงในตะแกรงที่เรียงลำดับจากหยาบไปละเอียด โดยมีฝาติดด้านบน และมีถาด (Pan) รองด้านล่าง แล้วนำตะแกรงทั้งหมดนำไปเข้าเครื่องเขย่า (Sieve Shaker) ทำการเขย่านานอย่างน้อย 10 นาที



รูปที่ 3.3 แสดงการนำตัวอย่างดินและตะแกรงเข้าเครื่องเขย่า

4. ชั่งทั้งดินที่ค้างอยู่ในแต่ละตะแกรงรวมทั้งน้ำหนักตะแกรง แล้วนำไปคำนวณหาค่า เปอร์เซ็นต์ของดินที่ผ่านตะแกรง (% finer)

วิธีการคำนวณ

1. เปอร์เซ็นต์ของดินที่ค้างบนตะแกรง =
$$\frac{\text{น้ำหนักดินที่ค้างบนแต่ละตะแกรง}}{\text{น้ำหนักดินทั้งหมด}} \times 100\%$$
2. เปอร์เซ็นต์การค้างสะสม = ผลบวกสะสมของเปอร์เซ็นต์ของดินที่ค้างบนตะแกรงที่หยาบกว่า
3. เปอร์เซ็นต์ของดินที่ผ่านตะแกรง (% finer) = 100 - เปอร์เซ็นต์ค้างสะสม

3.3.2 การหาค่าพิกัดอัตราตะเบีร์ก (Atterberg's Limit)

(มาตรฐานอ้างอิง : AASHTO T 89 และ AASHTO T 90)

ในส่วนของวัสดุทดสอบ ทั้งดินลูกรัง ullaoy รวมไปถึงตัวอย่างทดสอบที่ทำการผสมดังตารางที่ 3.3 จะประกอบด้วยวัสดุที่มีขนาดและสัดส่วนที่ต่างกัน ซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติมวลดิน เช่น ความสามารถในการอัดตัว (Compressibility) ของวัสดุ คาคคเนการทรุดตัว (Settlement) คาคคเนการซึมผ่านของน้ำ (Permeability) รวมถึงใช้ในการเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักของวัสดุ และการบวมตัว เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องทำการหาค่าพิกัดอัตราตะเบีร์ก เพื่อทราบคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุตัวอย่างที่จะใช้ในการศึกษา ซึ่งจะทำให้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 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. พิกัดเหลว (Liquid Limit) คือปริมาณน้ำในมวลดินที่เป็นขีดจำกัดระหว่างสถานะ Plastic กับสถานะ Liquid ของดิน หรือกล่าวได้ว่าเป็นปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดที่ทำให้ดินอยู่ในสถานะที่ไหลตัวได้

2. พิกัดพลาสติก (Plastic Limit) คือ ปริมาณน้ำในมวลดินที่แบ่งสถานะระหว่าง Plastic และ Semi-Solid ของดิน เมื่อดินใดๆก็ตามมีปริมาณน้ำเท่ากับ Plastic Limit ดินนั้นจะมีสถานะอยู่ระหว่าง Plastic กับ Semi-Solid ถ้ามีปริมาณน้ำมากกว่าขีดจำกัดนี้ ดินอยู่ในสถานะเป็น Plastic แต่ถ้าปริมาณน้ำน้อยกว่านี้ ดินจะอยู่ในสถานะ Semi-Solid

วัสดุและอุปกรณ์

การทดสอบหาพิกัดเหลว (Liquid Limit)



รูปที่ 3.4 แสดงวัสดุและอุปกรณ์ในการทดสอบ

1. เครื่องเคาะดิน (Casagrande' cup)
2. มีดปาดร่องดิน (Grooving Tool)
3. ถ้วยผสมดิน หรือ ชามกระเบื้องเคลือบ
4. มีดปาดร่อง (Spatula)
5. ขวดฉีดน้ำ (Wash Bottle)
6. ตัวอย่างทดสอบที่มีส่วนผสม ดังตารางที่ 3.3

การทดสอบหาพิกัดพลาสติก (Plastic Limit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

1. แผ่นกระดาษกรอง

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. ฟ่อนโลหะ ขนาด 3.2 ม.ม. (1/8 นิ้ว)
3. ขวดฉีดน้ำ (Wash Bottle)
4. ตัวอย่างทดสอบที่มีส่วนผสม ดังตารางที่ 3.3

การหาค่าความชื้น (Water Content)

1. ครอบงใส่ตัวอย่างดิน
2. ตู้อบ (Drying Oven)
3. ตาชั่งอ่านได้ละเอียด 0.01 กรัม

วิธีการทดลอง

3.3.2.1 การทดสอบหาพิกัดเหลว (Liquid Limit)

1. ร้อนตัวอย่างทดสอบที่อบแห้งแล้วผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ประมาณ 200 กรัม ไว้เพื่อใช้ในการทดสอบหาค่า Liquid Limit และ Plastic Limit



รูปที่ 3.5 แสดงการชั่งน้ำหนักและเตรียมตัวอย่างดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 40

2. นำตัวอย่างทดสอบมาผสมน้ำ โดยให้น้ำเข้าไปในเนื้อตัวอย่างทดสอบอย่างทั่วถึง แล้วจึงใช้มีดปาด (Spatula) ปาดลงบนถ้วยทองเหลือง (Casaerade cup) โดยมีค่าความหนาประมาณ 1 ซม. แล้วทำการบากโดยเครื่องมือบาก (Grooving Tool) ให้เป็นร่องตรงกลาง
- 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 3.6 แสดงการบดโดยเครื่องมือบดให้เป็นร่อนตรงกลาง

3. เคาะถ้วยทองเหลืองด้วยความเร็วสม่ำเสมอ 2 ครั้งต่อวินาที จนกระทั่งตัวอย่างทดสอบตอนล่างของรอยบากเคลื่อนที่เข้าบรรจบกัน 1 ซม. แล้วทำการจดบันทึกจำนวนครั้งของการเคาะไว้

4. ปาดแต่งตัวอย่างทดสอบอีกครั้ง ทำรอยบากแล้วเคาะซ้ำ ถ้าจำนวนการเคาะเท่ากันหรือต่างกันไม่เกิน 2 ครั้ง ให้ใช้ค่าเฉลี่ยเป็นจำนวนการเคาะ (N) ที่ถูกต้อง นำตัวอย่างทดสอบบริเวณรอยบากไปหาค่าปริมาณความชื้น (การเคาะครั้งแรก จำนวนครั้งควรอยู่ที่ประมาณ 40-50 ครั้ง ถ้ามากกว่าให้เพิ่มปริมาณน้ำเข้าไปอีก แต่ถ้าน้อยกว่ามากให้ทำให้แห้งลง)

5. ผสมน้ำในตัวอย่างทดสอบแล้วทำตามข้อ 3 และ 4 โดยให้มีจำนวนครั้งของการเคาะน้อยลงประมาณ 10 ครั้ง และนำไปหาความชื้นในดิน ทำเช่นนี้จนได้จำนวนครั้งของการเคาะอย่างน้อย 4 ค่า (จำนวนการเคาะครั้งสุดท้ายควรอยู่ระหว่าง 5 ถึง 10 ครั้ง)



รูปที่ 3.7 แสดงตัวอย่างการผสมน้ำกับตัวอย่างดิน

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.

6. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคาะ (N) และความชื้น โดยให้จำนวนการเคาะอยู่ในรูปของ Log Scale

7. กราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวควรเป็นเส้นตรง ค่าความชื้นจำนวนการเคาะที่ 25 ครั้ง เรียกว่า “Liquid Limit” (WL หรือ LL)

3.3.2.2 การทดสอบหาพิกัดพลาสติก (Plastic Limit)



รูปที่ 3.8 แสดงการนำดินตัวอย่างมาปั้นคลึงเป็นแท่งยาว

1. นำตัวอย่างทดสอบที่เหลือจากการทดลอง Liquid Limit มาฝึ่งให้หมาดๆ แล้วนำมาปั้นคลึงบนแผ่นกระจกด้วยฝ่ามือ เป็นแท่งยาวขนาดประมาณ 1 ซม. แล้วค่อยๆ คลึงให้ดินเล็กลงจนมีขนาดเท่ากับ 1 หุน (1/8 นิ้ว) แล้วคลึงต่อไปเรื่อยๆ โดยพยายามรักษาขนาดดังกล่าวจนตัวอย่างทดสอบเริ่มปริออก
2. เมื่อตัวอย่างทดสอบเริ่มปริแตก ให้นำตัวอย่างทดสอบที่ปั้นใส่กระป๋อง แล้วจึงนำไปอบเพื่อหาค่าความชื้น (Water Content) ค่าความชื้นดังกล่าว เรียกว่า Plastic Limit (WP หรือ PL)
3. ทำการทดสอบซ้ำตามข้อที่ 1-2 เพื่อหาค่าเฉลี่ย

การคำนวณ

1. Liquid Limit (LL) สามารถอ่านค่าได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเคาะ (N) และความชื้น โดยอ่านค่าที่การเคาะ 25 ครั้ง
2. Plastic Limit (PL) คำนวณจากการหาค่าเฉลี่ยของความชื้นที่ทำได้

3. Plasticity Index (PI) = $LL - PL$ เพื่อการศึกษาเท่านั้น 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 การบดอัดดิน (Compaction Test)

(มาตรฐานอ้างอิง : AASHTO T 180)

งานส่วนใหญ่ในทางวิศวกรรมโยธา เช่น งานเขื่อน ถนน สนามบิน จำเป็นที่จะต้องใช้ดินเป็นวัสดุถม (Fill Material) ซึ่งก่อนที่จะทำการก่อสร้างงานต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น จำเป็นต้องมีการบดอัดดิน เพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

เพื่อทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น เพื่อค่าความหนาแน่นสูงสุด (Maximum Density) เพื่อหาค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) ในการทดลองครั้งนี้ต้องใช้ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับดินลูกรัง เพื่อนำไปหาค่า C.B.R. ต่อไป เพราะฉะนั้นเราจึงต้องทำการทดสอบการบดอัดดินเพื่อให้ทราบคุณสมบัติของดินตัวอย่างที่จะใช้ในการศึกษาด้วย ดังต่อไปนี้

การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

1. นำดินลูกรังที่จะใช้ในการทดสอบมาอบแห้ง เพื่อไม่ให้มีความชื้นในตัวอย่างดินลูกรัง
2. ทำการผสมดินลูกรังให้เป็นดินลูกรังประเภท E (โดยมีอัตราส่วนผสม ดังตารางที่ 3.2)
3. นำดินลูกรังประเภท E ผสมเข้ากับเถ้าลอย และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (โดยมีอัตราส่วนผสม ดังตารางที่ 3.3) เพื่อใช้ในการทดสอบ

วัสดุและอุปกรณ์



รูปที่ 3.9 แสดงวัสดุและอุปกรณ์การทดสอบการบดอัดดิน

1. ถาดผสมดิน (Mixing Pan)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

2. วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ (ทำการผสมตัวอย่างทดสอบ ดังตารางที่ 3.3)

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. ตู้มบอัด (Drop Hammer หรือ Compaction Hammer) ขนาด \varnothing 2 นิ้ว หนัก 10 lb. มีระยะตกกระทบ 18 นิ้ว
4. ไม้บรรทัดเหล็กปาดดิน (Straight Edge) ขนาด 30 เซนติเมตร
5. ช้อนตักดิน (Soil Scoop)
6. แบบอัดดิน (Compaction Mold) \varnothing 4" \times 4.6" with collar 2.5 in high
7. กระบอกลูกตวงน้ำ (Graduate Cylinder)
8. ตะแกรงร่อนขนาดเบอร์ 4 นิ้ว และขนาด 3/4 นิ้ว
9. สิวสำหรับตอกดิน
10. เวอร์เนียคาลิปเปอร์
11. ค้อนยาง และแปรงปัดเศษดิน
12. ขวดฉีดน้ำ (Wash Bottle)
13. ตาชั่งขนาด 20 กิโลกรัม อ่านได้ละเอียด 0.1 กรัม
14. เครื่องดันตัวอย่างดิน (Sample Extruder)

การหาความชื้น (Water Content)

1. กระป๋องใส่ตัวอย่างดิน (Can)
2. ตู้อบ (Drying Oven)
3. ตาชั่งอ่านได้ละเอียด 0.01 กรัม

วิธีการทดลอง

1. เตรียมตัวอย่างดินลูกรังประเภท E (ที่ได้ทำการผสมดัง ตารางที่ 3.2) มาทำการผสมเป็นตัวอย่างต่างๆ ดังตารางที่ 3.3 โดยให้มีน้ำหนักประมาณ 6 kg เพื่อทำการทดสอบแบบ Modified Test (โดยตัวอย่างที่นำมาทำการทดสอบต้องผ่านการอบแห้งมาแล้ว เพื่อไม่ให้มีความชื้นในตัวอย่างทดสอบ)

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 3.10 แสดงตัวอย่างดินที่จะนำมาทดสอบ

2. นำตัวอย่างที่จะใช้ในการทดสอบ ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4 เพื่อเตรียมที่จะนำมาใช้ในการทดสอบ แบบ Modified Test



รูปที่ 3.11 แสดงการร่อนดินผ่านตะแกรง

3. นำตัวอย่างทดสอบที่ร่อนผ่านตะแกรงแล้วใส่ถาดจากนั้นผสมน้ำประมาณ 3-4 % ของน้ำหนักดินทั้งหมด คลุกตัวอย่างทดสอบและน้ำให้เข้ากันดี



รูปที่ 3.12 แสดงตัวอย่างการผสมดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่เอกรรณของหน่วยงาน กรุณาอย่าให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

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. ตักดินใส่ Mold ทีละชั้น โดยใช้ Mold Ø 4" × 4.6" ให้ทดสอบทั้งหมด 3 ชั้น โดยแต่ละชั้นให้ทำการบดอัดทั้งหมด 25 ครั้ง



รูปที่ 3.13 แสดงการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Test)

5. เมื่อทำการบดอัดจนครบทุกชั้น ให้นำ Collar (Extension) ออก จากนั้นให้ทำการปาดตัวอย่างทดสอบในส่วนบนของ Mold ออก ให้อยู่ในระดับเดียวกับปากของ Mold ส่วนบนสุด และให้นำตัวอย่างทดสอบ และ Mold ไปชั่งน้ำหนัก เพื่อหาค่าความหนาแน่นของตัวอย่างทดสอบและเก็บตัวอย่างทดสอบเพื่อหาค่าปริมาณความชื้น



รูปที่ 3.14 แสดงการปาดดินส่วนบนของ Mold ให้อยู่ระดับเดียวกับขอบปาก Mold

6. นำตัวอย่างทดสอบออกจาก Mold ให้หมด และเก็บตัวอย่างทดสอบ เพื่อหาค่า Water Content และผสมลงในภาชนะที่มีตัวอย่างทดสอบเหลืออยู่ จากนั้นเพิ่มปริมาณน้ำอีกประมาณ 2-3 % ของน้ำหนักตัวอย่างทดสอบทั้งหมด ทำการคลุกตัวอย่างทดสอบและน้ำให้เข้ากัน จากนั้นทำการทดสอบซ้ำในข้อ 4 ถึงข้อ 6 จนค่าความหนาแน่นของตัวอย่างทดสอบเริ่มมีค่าลดลง โดยการทดสอบทั้งหมดไม่ควรเกิน 5-6 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่าการเผยแพร่ทางสื่อ อิเล็กทรอนิกส์ หรือในรูปแบบใดก็ตาม และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 3.15 แสดงการเก็บตัวอย่างดินเพื่อทำการหาค่าความชื้น

การคำนวณ

ค่าน้ำหนักรวมต่อหน่วยปริมาตร (Total Unit Weight)

$$1. \text{ ความหนาแน่นเปียกของตัวอย่างทดสอบ (Wet Density)} = \frac{\text{Wet Weight}}{\text{Volume of mold}} \quad \text{lb/ft}^3, \text{ g/cm}^3$$

$$2. \text{ ความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างทดสอบ (Dry Density), } (\gamma_d) = \frac{W}{V(1+w)} \quad \text{lb/ft}^3, \text{ g/cm}^3$$

เมื่อ $W =$ น้ำหนักดินเปียก (Wet Weight) ใน Mold lb, g

$V =$ ปริมาตรของ Mold $\text{ft}^3, \text{ cm}^3$

$w =$ เปอร์เซ็นต์ความชื้นของดิน (Water Content) เปอร์เซ็นต์/100

3.3.4. การทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (California Bearing Ratio : C.B.R.)

(มาตรฐานอ้างอิง : AASHTO T 193)

เป็นวิธีการทดสอบวัดแรงเฉือน (Shearing Resistance) ของดินที่บดอัดจนแน่นดีแล้ว(ส่วนมากจะทดสอบที่ Optimum Moisture Ratio) ค่า C.B.R. นำมาใช้ในการออกแบบความหนาของถนนลาดยาง (Flexible Pavement) โดยการกำหนดความหนาจาก Design Charts หรืออาจใช้ช่วยในการกำหนดค่า Subgrade Modulus (K) ของดินจากตารางเปรียบเทียบ เพื่อช่วยในการออกแบบถนนคอนกรีตได้อีกด้วยการทดสอบ C.B.R. ทำได้ทั้งในห้องปฏิบัติการและในสนาม จากตัวอย่างดินที่ทำการบดอัดแน่นด้วยวิธีการของ Standard หรือ Modified Proctor ดินตัวอย่างที่เตรียมสำหรับทดลองในห้องปฏิบัติการจะต้องเตรียมชั้น 2 ชุด ชุดหนึ่งใช้กดทดลองหาค่า Penetration ทันทีหลังจากเตรียมตัวอย่างเสร็จ อีกชุดหนึ่งจะต้องแช่น้ำไว้ 96

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

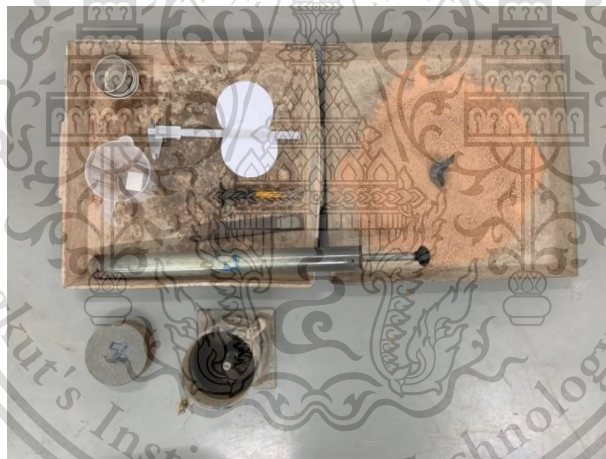
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ชั่วโมง หรือ 4 วัน เพื่อให้ดินอนมน้ำจนอิ่มตัว และเพื่อจุดประสงค์จะวัดค่าการบวมตัวของดินด้วย การทดสอบ C.B.R. ในการทดสอบครั้งนี้มีวัตถุประสงค์อีกข้อหนึ่ง คือ ใช้ค่า C.B.R. ของดินลูกรังที่ผสมกับเถ้าลอย เปรียบเทียบกับ ค่า C.B.R. ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง โดยจะทำการเปรียบเทียบในชั้นรองพื้นทาง (Subbase) ที่ใช้ในงานถนน ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องทำการทดลองหาค่า C.B.R. ซึ่งจะมีวัสดุ-อุปกรณ์ และวิธีการในการทดสอบ ดังต่อไปนี้

การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

1. นำดินลูกรังที่จะใช้ในการทดสอบมาอบแห้ง เพื่อไม่ให้มีความชื้นในตัวอย่างดินลูกรัง
2. ทำการผสมดินลูกรังให้เป็นดินลูกรังประเภท E (โดยมีอัตราส่วนผสม ดังตารางที่ 3.2)
3. นำดินลูกรังประเภท E ผสมเข้ากับเถ้าลอย และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (โดยมีอัตราส่วนผสม ดังตารางที่ 3.3) เพื่อใช้ในการทดสอบ

วัสดุและอุปกรณ์



รูปที่ 3.16 แสดงวัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ California Bearing Ratio : C.B.R.

การบดอัด (Compaction)

1. แบบอัดดิน (Mold) สำหรับเตรียมตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว สูง 7 นิ้ว พร้อมปลอก Collar สูง 2.5 นิ้ว และ แผ่นฐาน (Base Plate) สำหรับยึด Mold และ Collar
2. แผ่นเหล็กรอง (Spacer Disc) สูง 2.5 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
3. ต้มบดอัด (Drop Hammer หรือ Compaction Hammer) ขนาด \varnothing 2 นิ้ว หนัก 10.0 lb. มีระยะการตก
ไม่ว่าตกกระแทก 18 นิ้ว สำหรับการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Test) สารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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. กระบอกตวงน้ำ (Graduated Cylinder) ขนาด 250-500 ลูกบาศก์เซนติเมตร
5. ตะแกรงร่อนดินเบอร์ 4 และ 3/4 นิ้ว
6. เครื่องชั่งขนาด 20 กิโลกรัม อ่านได้ละเอียด 0.1
7. ถาดคลุกดิน (Mixing Pan)
8. เหล็กปาดสันตรง (Straight Edge)
9. กระบอกตวงน้ำ
10. กระดาษกรอง (Filter Papers) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว

การวัดการบวมตัว (Swell Test)

- 1.. ผ่านวัดการบวมตัว (Swelling Plate) มีที่ยึดมาตรวัดการบวมตัว และเกลียวปรับความสูงต่ำได้
2. สามขาวัดการบวมตัว (Swell Tripod) สำหรับยึด Dial Indicator เพื่อวัดอัตราบวมของดินเมื่อทำการแช่น้ำ
3. มาตรวัดการบวมตัว (Swell Dial Gauge) วัดได้ 0.5 นิ้ว อ่านค่าได้ละเอียด 0.001 นิ้ว
4. แผ่นน้ำหนักถ่วงทับ (Surcharge Weight) แบบวงแหวน (Annular Surcharge Weight) ขนาด 10 lb หรือแบบผ่า (Split Surcharge Weight) ขนาด 5 lb
5. ถังแช่ตัวอย่าง (Soaking Tank)

การกดทดสอบ (Penetration)

1. เครื่องกด (Loading Device) แบบ Hydraulic Jack หรือ Screw Jack
2. แท่งเหล็กกดกลมตัน (Penetration Piston) เนื้อที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว มีความยาวอย่างน้อย 4 นิ้ว ต่อเข้ากับ Proving Ring
3. มาตรวัดการยุบตัว (Penetration Dial Gauge) ขนาด 1 นิ้ว อ่านละเอียด 0.001 นิ้ว หรือขนาด 25 มิลลิเมตร อ่านละเอียด 0.01 มิลลิเมตร พร้อมอุปกรณ์ยึดเข้ากับ Penetration Piston

4. Proving Ring สำหรับวัดแรง ขนาด 2000 lb สำหรับดินอ่อน 6000 lb สำหรับดินแข็ง

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.

การเตรียมตัวอย่าง

1. ดินตัวอย่าง ก่อนจะนำมาทำการทดสอบจะต้องปล่อยให้แห้งในห้องปฏิบัติการ (Air Dry) แบ่งดินออกเป็นกองตามวิธี Quartering แล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4" ส่วนที่ค้างอยู่บนตะแกรงเบอร์ 3/4" ให้ทิ้งไปและชดเชยด้วยวัสดุที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4" แต่ค้างอยู่บนตะแกรงเบอร์ 4 ด้วยจำนวนน้ำหนักเท่ากัน
2. หาจุด Optimum Moisture Content ตามการทดลองการบดอัดดินโดยวิธี Modified Proctor Method

วิธีการทดสอบ

1. ชั่งดินที่เตรียมไว้ประมาณ 12 ปอนด์ หรือ 6 กิโลกรัม และน้ำหนักดินตัวอย่างประมาณ 100 กรัม เพื่อนำไปหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Initial Water Content) ที่มีอยู่ในดินตัวอย่าง



รูปที่ 3.17 แสดงตัวอย่างดินที่จะนำมาทดสอบ

2. เตรียม Mold ไว้ 2 ชุด ชั่งน้ำหนัก Mold (เฉพาะ Mold ไม่รวม Base Plate)
3. ประกอบ Mold เข้ากับ Base Plate และ Spacer (ขนาด $\text{Ø } 6'' \times 2''$) ใช้กระดาษกรง $\text{Ø } 6''$ ปูทับบน Spacer เพื่อป้องกันไม่ให้ดินเกาะติดกับแผ่นเหล็ก
4. กระทุ้งดินอัดแน่นใน Mold โดยใช้ตุ้มบดอัด (Drop Hammer) ทำการบดอัดทั้งหมด 5 ชั้น โดยแต่ละชั้นจะทำการบดอัดจำนวน 12 ครั้ง, 25 ครั้ง และ 56 ครั้ง อย่างละ 1 ตัวอย่าง

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 3.18 แสดงการบดอัด

5. หลังจากบดอัดจนครบจำนวนชั้นและจำนวนครั้งแล้วถอน Collar ออก ใช้ไม้บรรทัดเหล็ก (Straight Edge) ปาดดินส่วนที่สูงเกินขอบ Mold พร้อมกับซ่อมแต่ผิวบนของดินตัวอย่างให้เรียบเสมอกันกับปากขอบ Mold

6. ถอด Base Plate และ Spacer Disc ออก นำ Mold และดินไปชั่งน้ำหนักเพื่อนำไปหา Wet Density



รูปที่ 3.19 แสดงการชั่งน้ำหนักดินในMold

7. เอากระดาษรองวางบน Base Plate เพื่อป้องกันไม่ให้ดินเกาะติดแผ่นเหล็กประกอบ Mold ที่มีดินอัดแน่นนี้เข้ากับ Base Plate โดยให้ปาก Mold ด้านที่มีดินเสมอปากวางบน Base Plate และส่วนที่มีช่องว่าง 2.5 นิ้ว อยู่ด้านบน

8. วางแผ่นเหล็ก Surcharge อย่างน้อย 10 ปอนด์ ลงบนดินตัวอย่างใน Mold

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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.

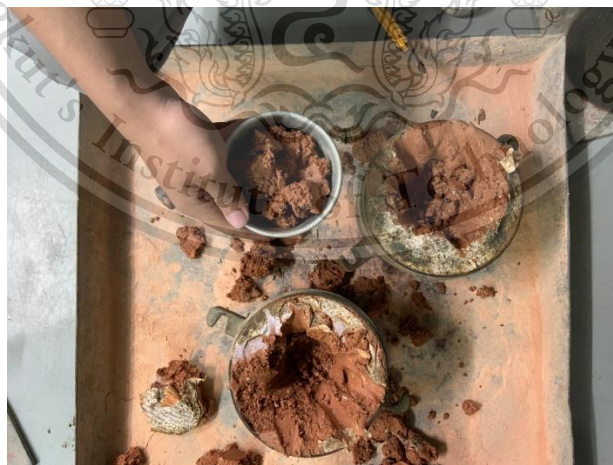
9. จัดวาง Mold พร้อมดินตัวอย่างเข้าเครื่องกดทดลองซึ่งมี Piston ขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว ประกอบติดอยู่ จัดให้ผิวหน้าของดินใน Mold แตะสัมผัสกับ Piston ดังกล่าว จัดเข็ม Dial Gauge ที่จะใช้วัดค่า Penetration ให้อยู่ที่จุดศูนย์



รูปที่ 3.20 แสดงการทดสอบการกดอัดตัวอย่างดิน

10. จัดการ load ให้มีอัตราความเร็วในการกด 0.05 นิ้วต่อนาที พร้อมกับอ่านค่าน้ำหนักที่ตรงกับ Penetration 0, 0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.150, 0.200, 0.250, 0.300, 0.400 และ 0.500 นิ้ว

11. เสร็จแล้วทำการถอด Mold ออกจากเครื่องกดทดลองเก็บตัวอย่างดินตรงกลางตามแนวตั้ง ประมาณ 100 กรัม (Fined Grained Soil) หรือประมาณ 500 กรัม (Coarse Grained Soil) นำไปหาค่า เปอร์เซ็นต์ความชื้น (Water Content)



รูปที่ 3.21 แสดงการเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำไปหาค่า Water Content

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

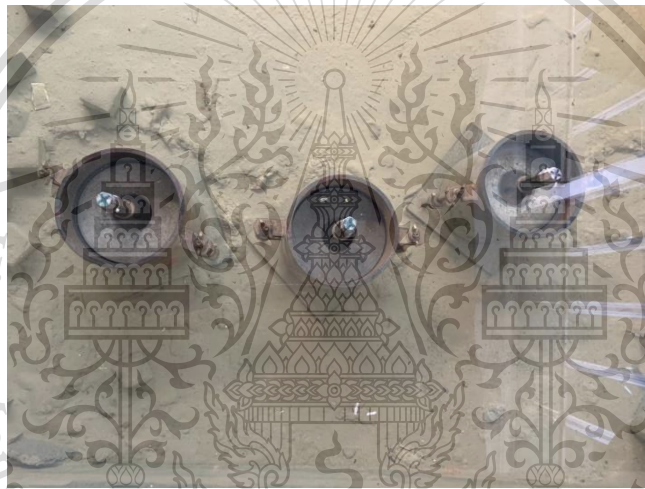
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

สำหรับตัวอย่างวัสดุที่มีการแช่น้ำ (Soaked Sample) ทำข้อ 12-18 เพิ่มเติม

12. วางแผ่นเหล็ก Surchage หน้า 10 ปอนด์ ลงบนตัวอย่างใส่ Swell Plate สำหรับวัดอัตราการบวมตัวของดิน ซึ่งมีด้านที่สามารถขึ้นเกลียวขึ้นลงได้ติดอยู่ตรงกลาง Plate ก่อนวางแผ่นเหล็ก Surchage ลงบนดินตัวอย่างจะต้องเอากระดาษกรองวางคั่นใต้แผ่น Surchage เสียก่อน เพื่อป้องกันไม่ให้ดินติดแน่นกับแผ่นเหล็กหลังจากแช่น้ำแล้ว

13. แช่ Mold ที่เตรียมไว้ในข้อ 12 นี้ ในภาชนะที่เตรียมไว้ ให้น้ำท่วม Surchage ประมาณ 1 นิ้ว ใช้ Dial Gauge อ่านได้ละเอียด 0.001 นิ้ว ยึดติดกับ Tripod แล้ววางบนปาก Mold จัดให้ปลายของ Dial Gaugeแตะสัมผัสกับก้าน Swelling Plate เพื่อหาค่าการบวมตัวของดินตัวอย่าง



รูปที่ 3.22 แสดงการแช่ตัวอย่างดินในน้ำ

14. แช่ดินตัวอย่างไว้ประมาณ 4 วัน จดค่าการบวมตัวจาก Dial Gauge ทุกวันจนครบ 4 วัน (ถ้าหากค่าการบวมตัวคงที่อาจจะหยุดอ่านได้หลังจากแช่น้ำแล้ว 48 ชั่วโมง)

15. หลังจากแช่ครบ 4 วันแล้ว ยก Mold ออกจากน้ำแล้ววางตะแคง Mold เพื่อรินน้ำทิ้งและปล่อยให้ทิ้งไว้ 15 นาที เพื่อให้น้ำไหลออกจาก Mold จนหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

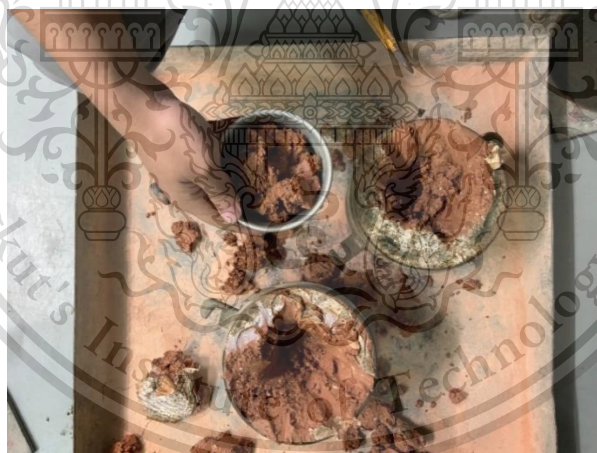
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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



รูปที่ 3.23 แสดงการวัดค่าบวมตัวของตัวอย่างดิน

16. นำ Mold พร้อมดินไปทำการชั่งน้ำหนัก
17. ทำการทดลองตามวิธีข้อ 9 - ข้อ 11
18. เก็บตัวอย่างจาก Soaked Sample ไปหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Water Content)



รูปที่ 3.24 แสดงการเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาค่า Water Content

การคำนวณ

1. คำนวณหาค่าแรงกดโดยสมการ

$$\text{Test Unit Load} = \frac{\text{Penetration Load (lb)}}{3 \text{ (in}^3\text{)}} \text{ psi}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

2. เขียนกราฟระหว่าง Test Unit Load ในแกนตั้งกับ Penetration ในแนวแกนนอน จากค่าที่ได้ทั้ง

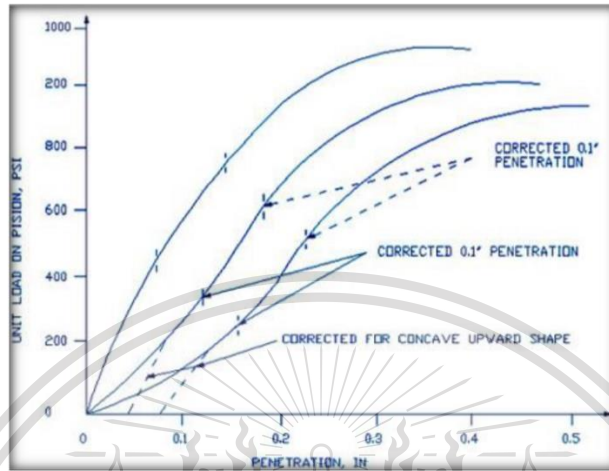
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

Unsoaked และ Soaked Sample ลงในกระดาษกราฟแผ่นเดียวกัน ปกติแล้วจะได้รูป Curve โค้งคว่ำผ่าน

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

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

จุด Origin แต่บางครั้งอาจจะปรากฏว่า Curve ที่ได้มีรัศมีโค้งงอในช่วงแรก ซึ่งจำเป็นต้องมีการแก้ไขให้ได้ค่าที่ถูกต้องด้วยการลากเส้นตรงให้สัมผัสกับ Curve ตรงส่วนที่มี Slope ขั้นที่สุด ไปตัดกับแกนนอนที่จุดนั้นเป็น Origin ใหม่และ Origin ใหม่จะต้องอยู่ด้านขวาของ Origin เดิมเสมอ เรียกว่า “Initial Correction”



รูปที่ 3.25 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Test Unit Load และ Penetration (ที่มา : คู่มือการทดสอบทางปฐพีกลศาสตร์, รศ.สุกิจ นามพิชญ์ และคณะ, 2549)

3. อ่านค่า Test Unit Load จากกราฟที่ 0.1 และ 0.2 นิ้ว จากกราฟ และคำนวณหาค่า % C.B.R. โดยค่า Standard Unit Load ใช้ค่าจากตารางที่ 1

$$C.B.R. = \frac{\text{Test Unit Load}}{\text{Standard Unit Load}} \times 100\%$$

- 4. คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นและค่าความหนาแน่นแห้ง (Dry Density)
- 5. ถ้า % C.B.R. ที่ 0.2 นิ้ว มีค่ามากกว่า % C.B.R. ที่ 0.1 นิ้ว ให้ทำการทดสอบอีกครั้ง ถ้าผลยังเหมือนเดิมให้ใช้ค่า % C.B.R. ที่ 0.2 นิ้ว
- 6. ค่าการบวมตัว (Swell)

$$\text{ค่าการบวมตัว} = \frac{\text{ค่าบวมตัวระหว่างแช่น้ำ}}{\text{ความสูงตัวอย่าง}} \times 100 \quad (\%)$$

7. คำนวณค่าซึมซับได้ (Absorption)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ ค่าซึมซับได้ $= \frac{W_a}{W_s} \times 100$ เท่านั้น (%) อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{W_a(100+w)}{W} \quad (\%)$$

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

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

เมื่อ W_a = น้ำหนักน้ำซึมซับ lb, g

W_s = น้ำหนักดินแห้ง lb, g

W = น้ำหนักดินเปียก (Wet Weight) lb, g

V = ปริมาตรของ Mold ft^3, cm^3

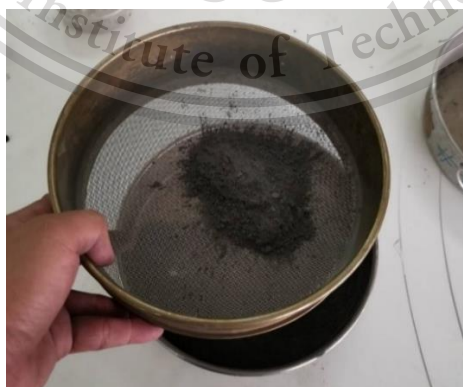
w = เปอร์เซ็นต์ความชื้นของดิน (Water Content) เปอร์เซ็นต์/100

3.4. การทดสอบหาค่าคุณสมบัติของดินลูกรังผสมกับเถ้าลอย และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

การทดสอบหาค่าคุณสมบัติของลูกรังตัวอย่าง (ดินลูกรัง ประเภท E) ผสมเข้ากับเถ้าลอย และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยจะต้องการทำการทดสอบดินลูกรังตัวอย่างที่ผสมเข้ากับเถ้าลอย และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตามอัตราส่วนต่างๆที่ได้ทำการกำหนดไว้ เพื่อหาค่าอัตราส่วนที่มีความเหมาะสมที่สุด จากการทดสอบการบดอัด (Compaction Test) และการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบร์ริง เรโซ (California Bearing Ratio : C.B.R.) แบบแช่น้ำ (Soaked C.B.R. Test) อย่างละ 3 ตัวอย่าง เมื่อได้ค่าอัตราส่วนที่มีความเหมาะสมแล้ว จึงทำการนำอัตราส่วนนั้นมาทำการทดสอบคุณสมบัติให้ครบตามมาตรฐาน คือ การทดสอบการบดอัด (Compaction Test) พิกัดอัตราตะเปิร์ก (Atterberg's Limit) และการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบร์ริง เรโซ (California Bearing Ratio : C.B.R.) แบบแช่น้ำ (Soaked Test) โดยมีวิธีการดังนี้

การทดสอบคุณสมบัติของดินลูกรังประเภท E, เถ้าลอย และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

1. ทำการร่อนเถ้าลอย ได้จากกระบวนการผสมแอสฟัลท์คอนกรีตจากโรงงานของกรมทางหลวง ผ่านตะแกรงเบอร์ 40 และนำส่วนที่ผ่านตะแกรงมาใช้ในการผสมในตัวอย่างทดสอบ



รูปที่ 3.26 แสดงการร่อนตัวอย่างเถ้าลอยผ่านตะแกรง เบอร์ 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

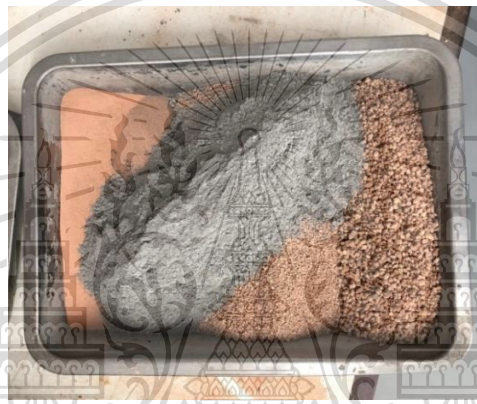
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

2. เตรียมตัวอย่างดินลูกรังประเภท E เพื่อใช้ในการผสมเข้ากับเถ้าลอย และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยอัตราส่วนผสมของดินลูกรังประเภท E ที่ใช้ในการทดสอบจะเป็นดังตารางที่ 3.2 ที่ได้ทำการระบุไว้ในเงื่อนไขการทดสอบ

3. เตรียมดินลูกรังประเภท E ที่ทำการผสมเข้ากับเถ้าลอย และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ดังตารางที่ 3.3) แล้วทำการชั่งน้ำหนักประมาณ 6 กิโลกรัม เพื่อใช้ในการทดสอบการบดอัด (Compaction Test)

4. เตรียมดินลูกรังประเภท E ที่ทำการผสมเข้ากับเถ้าลอย และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ดังตารางที่ 3.3) แล้วทำการชั่งน้ำหนักประมาณ 6 กิโลกรัม เพื่อใช้ในการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (California Bearing Ratio : C.B.R.) แบบแช่น้ำ (Soaked Test)



รูปที่ 3.27 แสดงการเตรียมตัวอย่างดินลูกรังและเถ้าลอยน้ำหนัก 6 กิโลกรัม

5. ร่อนตัวอย่างดินลูกรังประเภท E ที่ผสมเข้ากับเถ้าลอย และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วนดังตารางที่ 3.3 ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ประมาณ 150 กรัม เพื่อใช้ในการทดสอบพิกัดเหลว (Liquid Limit) และพิกัดพลาสติก (Plastic Limit)

6. หลังจากการทดสอบ(ประกอบไปด้วย การทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (California Bearing Ratio : C.B.R., การทดสอบการบดอัด (Compaction Test) และการหาค่าพิกัดอัดตะเบิร์ก (Atterberg's Limit)) จะนำค่าที่ได้จากการทดสอบมาประเมินว่าการพัฒนาคุณสมบัติของตัวอย่างทดสอบ ที่ได้ทำการปรับปรุงในอัตราส่วนผสมดังตารางที่ 3.3 ไตมีว่าอัตราส่วนผสมแบบใดมีค่ามากที่สุด และนำค่าที่ได้ไปทำการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานกรมทางหลวงว่าผ่านเกณฑ์และสามารถนำไปใช้งานจริงได้หรือไม่ ดังที่จะได้แสดงต่อไปในบทที่ 4 และบทที่ 5

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

ในกรณีศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังโดยใช้เถ้าลอยที่ได้จากกระบวนการผลิตแอสฟัลต์และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เพื่อใช้ในงานก่อสร้างถนนชั้นรองพื้นทาง และอื่น ๆ ให้มีคุณสมบัติเหมาะสมตามมาตรฐานพิจารณาถึงความแข็งแรงของดินที่บดอัด การบวมตัว ค่าพิกัดเหลวและค่าดัชนีความเป็นพลาสติกเป็นหลัก ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดลองนำดินลูกรังผสมกับเถ้าลอยและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เพื่อศึกษาว่าอัตราส่วนของเถ้าลอยที่ผสมเป็นเท่าใดจึงจะเหมาะที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงและทำให้กำลังของดินลูกรังมีค่าเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน และนำมาทำการทดสอบการบดอัดดินเพื่อที่จะหาค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและความชื้นที่เหมาะสม และทำการทดลอง C.B.R. แบบ Soak เพื่อหาความแข็งแรงของดินเทียบกับมาตรฐาน ที่ค่าความชื้นที่เหมาะสมและค่าความหนาแน่นมากกว่า 95% ของความหนาแน่นแห้งสูงสุดจากการทดสอบ การบดอัดดินตามที่มาตรฐานของกรมทางหลวงได้กำหนดไว้ ซึ่งกรมทางหลวงกำหนดให้วัสดุในชั้นรองพื้นทางต้องมีค่า C.B.R. ไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ที่ร้อยละ 95 ของความหนาแน่นแห้งสูงสุดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Density) และทำการทดสอบ Atterberg Limit เพื่อตรวจสอบการบวมตัวของดิน ตามการทดสอบของกรมทางหลวง โดยวัสดุที่มีค่า PI สูง จะมีค่าการบวมตัวที่สูง ซึ่งกรมทางหลวงได้กำหนดวัสดุในชั้นพื้นทางจะต้องมีค่า PI ไม่เกิน 11% และค่า L.L. ต้องมีค่าไม่เกิน 35% เมื่อได้ค่าจากการทดสอบแล้ว จะสามารถนำไปเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของดินในชั้นรองพื้นทาง เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสม ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

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 ผลการทดสอบคุณสมบัติของดินลูกรังชนิด E ที่ใช้ในการศึกษา

เพื่อให้ง่ายต่อการทดลองและเป็นการควบคุมคุณภาพของดินลูกรัง จึงได้มีการเตรียมดินลูกรังชนิด E ซึ่งมีส่วนประกอบแต่ละขนาดดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เปอร์เซนต์ของดินลูกรังชนิด E แต่ละขนาดที่ในการทดสอบ

Sieve	Percent Passing
	E
2"	-
1"	100
3/8"	-
No. 10	74
No. 40	20
No. 200	6

4.2.1 การทดสอบคุณสมบัติของดินลูกรังชนิด E

1. การทดสอบ Atterberg Limit

การทดสอบ Atterberg Limit ได้ทำการทดสอบหาค่าพิกัดเหลว ค่าพิกัดพลาสติก และค่าดัชนีความเป็นพลาสติก โดยทำการทดสอบ 2 ครั้ง แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยได้ค่าดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบ Atterberg Limit ดินลูกรังชนิด E

Test NO.	Liquid Limit (%)	Plastic Limit (%)	Plastic Index (%)
1	32.790	16.526	16.264
2	32.363	16.480	15.883
Average	32.577	16.503	16.074

จากตารางที่ 4.2 การทดสอบ Atterberg Limit ค่าพิกัดเหลวเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 32.577 % ค่าพิกัดพลาสติกเฉลี่ยเท่ากับ 16.503 % และค่าดัชนีความเป็นพลาสติกเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 16.074 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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. การทดสอบการบดอัดดิน Compaction ดินลูกรังชนิด E

การทดสอบการบดอัดดิน ได้ทำการทดสอบหาค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด และค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม โดยทำการทดสอบ 2 ครั้ง แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยได้ค่าดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบการบดอัดดินลูกรังชนิด E

Test NO.	M.D.D. (g/cm ³)	O.M.C. (%)
1	2.262	10.44
2	2.275	10.00
Average	2.268	10.22

จากตารางที่ 4.3 การทดสอบ Compaction ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 2.268 g/cm³ และค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมเฉลี่ยเท่ากับ 10.22%

3. การทดสอบ California Bearing Ratio

การทดสอบ California Bearing Ratio ได้ทำการทดสอบหาค่าความหนาแน่นแห้ง ค่า C.B.R. และค่าการบวมตัว ทำการทดสอบโดยการบดอัดเป็นจำนวน 5 ชั้น ชั้นละ 12, 25 และ 56 ครั้ง ได้ค่าดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบ California Bearing Ratio ดินลูกรังชนิด E

No. of Blows	Density (g/cm ³)	C.B.R. (%)	SWELL (%)
12	1.797	0.693	1.61
25	2.041	13.122	0.852
56	2.041	13.682	0.612

จากตารางที่ 4.4 การทดสอบ California Bearing Ratio ดินลูกรังชนิด E ที่การบดอัด 25 และ 56 ครั้งต่อชั้น ให้ค่าความหนาแน่นที่สูงสุดซึ่งเท่ากับ 2.041 g/cm³, ที่การบดอัด 56 ครั้งต่อชั้น ให้ค่า C.B.R. ที่สูงสุดซึ่งเท่ากับ 13.682 % และมีค่าการบวมตัวเท่ากับ 0.612 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารทศวรรษวิสาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น 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 ผลการทดสอบคุณสมบัติของเถ้าลอย ที่ใช้ในการศึกษา

4.3.1 การทดสอบคุณสมบัติของเถ้าลอย (ผ่านตะแกรง No.40)

1. การทดสอบ Atterberg Limit

การทดสอบ Atterberg Limit ได้ทำการทดสอบหาค่าพิกต์เหลว ค่าพิกต์พลาสติก และค่าดัชนีความเป็นพลาสติก โดยทำการทดสอบ 2 ครั้ง แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยได้ค่าดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบ Atterberg Limit เถ้าลอย

Test NO.	Liquid Limit (%)	Plastic Limit (%)	Plastic Index (%)
1	NP	22.474	NP
2	NP	21.686	NP
Average	NP	22.080	NP

จากตารางที่ 4.5 การทดสอบ Atterberg Limit ค่าพิกต์พลาสติกเฉลี่ยเท่ากับ 22.080 % ไม่สามารถหาค่าพิกต์เหลวและค่าดัชนีความเป็นพลาสติกได้

2. การทดสอบการบดอัดดิน Compaction เถ้าลอย

การทดสอบการบดอัดดิน ได้ทำการทดสอบหาค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด และค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม โดยทำการทดสอบ 2 ครั้ง แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยได้ค่าดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบการบดอัดเถ้าลอย

Test NO.	M.D.D. (g/cm ³)	O.M.C. (%)
1	1.808	15.00
2	1.817	15.10
Average	1.813	15.05

จากตารางที่ 4.6 การทดสอบ Compaction ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 1.813 g/cm³ เอกสาร และค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมเฉลี่ยเท่ากับ 15.05 % ภายใต้นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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. การทดสอบ California Bearing Ratio ง่ายๆ

การทดสอบ California Bearing Ratio ได้ทำการทดสอบหาค่าความหนาแน่นแห้ง ค่า C.B.R. และค่าการบวมตัว ทำการทดสอบโดยการบดอัดเป็นจำนวน 5 ชั้น ชั้น 12, 25 และ 56 ครั้ง ได้ค่าดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบ California Bearing Ratio ง่ายๆ

No. of Blows	Density (g/cm ³)	C.B.R. (%)	SWELL (%)
12	1.425	4.430	0.034
25	1.540	16.962	0.034
56	1.761	77.838	0.278

จากตารางที่ 4.7 การทดสอบ California Bearing Ratio ดินลูกรังชนิด E ที่การบดอัด 56 ครั้งต่อชั้น ให้ค่าความหนาแน่นที่สูงที่สุดซึ่งเท่ากับ 1.761 g/cm³, ที่การบดอัด 56 ครั้งต่อชั้นมีค่า C.B.R. ที่สูงที่สุดซึ่งเท่ากับ 77.838 % และมีค่าการบวมตัวเท่ากับ 0.278 %



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 ผลการทดสอบคุณสมบัติของดินลูกรังชนิด E, etailoy และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสม

4.4.1 การทดสอบคุณสมบัติของดินลูกรังชนิด E 85%, etailoy 10% และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 5% ของน้ำหนักทั้งหมด

1. การทดสอบ Atterberg Limit ดินลูกรังผสมetailoyและปูนซีเมนต์

การทดสอบ Atterberg Limit ได้ทำการทดสอบหาค่าพิกัดเหลว ค่าพิกัดพลาสติก และค่าดัชนีความเป็นพลาสติก โดยทำการทดสอบ 2 ครั้ง แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยได้ค่าดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบ Atterberg Limit ดินลูกรังผสมetailoyและปูนซีเมนต์

Test NO.	Liquid Limit (%)	Plastic Limit (%)	Plastic Index (%)
1	34.036	22.494	11.542
2	34.373	23.308	11.065
Average	34.205	22.901	11.304

จากตารางที่ 4.8 การทดสอบ Atterberg Limit ค่าพิกัดเหลวเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 34.205 % ค่าพิกัดพลาสติกเฉลี่ยเท่ากับ 22.901 % และค่าดัชนีความเป็นพลาสติกเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 11.304 %

2. การทดสอบการบดอัดดิน Compaction ดินลูกรังผสมetailoyและปูนซีเมนต์

การทดสอบการบดอัดดิน ได้ทำการทดสอบหาค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด และค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม โดยทำการทดสอบ 2 ครั้ง แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยได้ค่าดังตารางที่ 4.9

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.

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบการบดอัดดินลูกรังผสมเถ้าลอยและปูนซีเมนต์

Test NO.	M.D.D. (g/cm ³)	O.M.C. (%)
1	2.06	10.40
2	2.066	10.00
Average	2.063	10.20

จากตารางที่ 4.9 การทดสอบ Compaction ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 2.063 g/cm³ และค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมเฉลี่ยเท่ากับ 10.20 %

3. การทดสอบ California Bearing Ratio ดินลูกรังผสมเถ้าลอยและปูนซีเมนต์

การทดสอบ California Bearing Ratio ได้ทำการทดสอบหาค่าความหนาแน่นแห้ง ค่า C.B.R. และค่าการบวมตัว ทำการทดสอบโดยการบดอัดเป็นจำนวน 5 ชั้น ชั้น 12, 25 และ 56 ครั้ง ได้ค่าดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดสอบ California Bearing Ratio ดินลูกรังผสมเถ้าลอยและปูนซีเมนต์

No. of Blows	Density (g/cm ³)	C.B.R. (%)	SWELL (%)
12	1.894	194.551	0.200
25	2.018	326.072	0.022
56	2.057	493.13	0.086

จากตารางที่ 4.10 การทดสอบ California Bearing Ratio ดินลูกรังชนิด E ที่การบดอัด 56 ครั้งต่อชั้น ให้ค่าความหนาแน่นที่สูงที่สุดซึ่งเท่ากับ 2.057 g/cm³, ที่การบดอัด 56 ครั้งต่อชั้นมีค่า C.B.R. ที่สูงที่สุดซึ่งเท่ากับ 493.13 % และมีค่าการบวมตัวเท่ากับ 0.086 %

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 การทดสอบคุณสมบัติของดินลูกรังชนิด E 75%, etailoy 20% และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 5% ของน้ำหนักทั้งหมด

1. การทดสอบ Atterberg Limit

การทดสอบ Atterberg Limit ได้ทำการทดสอบหาค่าพิกัดเหลว ค่าพิกัดพลาสติก และค่าดัชนีความเป็นพลาสติก โดยทำการทดสอบ 2 ครั้ง แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยได้ค่าดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดสอบ Atterberg Limit ดินลูกรังผสมetailoyและปูนซีเมนต์

Test NO.	Liquid Limit (%)	Plastic Limit (%)	Plastic Index (%)
1	32.782	22.574	10.208
2	32.701	22.255	10.446
Average	32.742	22.415	10.327

จากตารางที่ 4.11 การทดสอบ Atterberg Limit ค่าขีดจำกัดเหลวเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 32.742 % ค่าขีดจำกัดพลาสติกเฉลี่ยเท่ากับ 22.415 % และค่าดัชนีความเป็นพลาสติกเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 10.327 %

2. การทดสอบการบดอัดดิน Compaction ดินลูกรังผสมetailoyและปูนซีเมนต์

การทดสอบการบดอัดดิน ได้ทำการทดสอบหาค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด และค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม โดยทำการทดสอบ 2 ครั้ง แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยได้ค่าดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แสดงผลการทดสอบการบดอัดดินลูกรังผสมetailoyและปูนซีเมนต์

Test NO.	M.D.D. (g/cm ³)	O.M.C. (%)
1	2.08	11.00
2	2.056	10.80
Average	2.068	10.90

จากตารางที่ 4.12 การทดสอบ Compaction ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 2.068 g/cm³ และค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมเฉลี่ยเท่ากับ 10.90 %

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. การทดสอบ California Bearing Ratio ดินลูกรังผสมเถ้าลอยและปูนซีเมนต์

การทดสอบ California Bearing Ratio ได้ทำการทดสอบหาค่าความหนาแน่นแห้ง ค่า C.B.R. และค่าการบวมตัว ทำการทดสอบโดยการบดอัดเป็นจำนวน 5 ชั้น ชั้น 12, 25 และ 56 ครั้ง ได้ค่าดังตารางที่ 4.13 ตารางที่ 4.13 แสดงผลการทดสอบ California Bearing Ratio ดินลูกรังผสมเถ้าลอยและปูนซีเมนต์

No. of Blows	Density (g/cm ³)	C.B.R. (%)	SWELL (%)
12	1.859	148.788	1.220
25	1.968	292.692	1.177
56	2.042	284.359	1.032

จากตารางที่ 4.13 การทดสอบ California Bearing Ratio ดินลูกรังชนิด E ที่การบดอัด 56 ครั้งต่อชั้น ให้ค่าความหนาแน่นที่สูงที่สุดซึ่งเท่ากับ 2.042 g/cm³, ที่การบดอัด 25 ครั้งต่อชั้นมีค่า C.B.R. ที่สูงที่สุดซึ่งเท่ากับ 292.692 % และมีค่าการบวมตัวเท่ากับ 1.177 %

4.4.3 การทดสอบคุณสมบัติของดินลูกรังชนิด E 65%, เถ้าลอย 30% และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 5% ของน้ำหนักทั้งหมด

1. การทดสอบ Atterberg Limit ดินลูกรังผสมเถ้าลอยและปูนซีเมนต์

การทดสอบ Atterberg Limit ได้ทำการทดสอบหาค่าพิกัดเหลว ค่าพิกัดพลาสติก และค่าดัชนีความเป็นพลาสติก โดยทำการทดสอบ 2 ครั้ง แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยได้ค่าดังตารางที่ 4.14 ตารางที่ 4.14 แสดงผลการทดสอบ Atterberg Limit ดินลูกรังผสมเถ้าลอยและปูนซีเมนต์

Test NO.	Liquid Limit (%)	Plastic Limit (%)	Plastic Index (%)
1	31.850	21.214	10.636
2	32.430	21.565	10.865
Average	32.140	21.390	10.750

จากตารางที่ 4.14 การทดสอบ Atterberg Limit ค่าพิกัดเหลวเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 32.140 % ค่าพิกัดพลาสติกเฉลี่ยเท่ากับ 21.390 % และค่าดัชนีความเป็นพลาสติกเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 10.750 %

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. การทดสอบการบดอัดดิน Compaction ดินลูกรังผสมเถ้าลอยและปูนซีเมนต์

การทดสอบการบดอัดดิน ได้ทำการทดสอบหาค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด และค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม โดยทำการทดสอบ 2 ครั้ง แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยได้ค่าดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 แสดงผลการทดสอบการบดอัดดินลูกรังผสมเถ้าลอยและปูนซีเมนต์

Test NO.	M.D.D. (g/cm ³)	O.M.C. (%)
1	2.040	10.40
2	2.058	11.20
Average	2.049	10.80

จากตารางที่ 4.15 การทดสอบ Compaction ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 2.068 g/cm³ และค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมเฉลี่ยเท่ากับ 10.90 %

3. การทดสอบ California Bearing Ratio ดินลูกรังผสมเถ้าลอยและปูนซีเมนต์

การทดสอบ California Bearing Ratio ได้ทำการทดสอบหาค่าความหนาแน่นแห้ง ค่า C.B.R. และค่าการบวมตัว ทำการทดสอบโดยการบดอัดเป็นจำนวน 5 ชั้น ชั้น 12, 25 และ 56 ครั้ง ได้ค่าดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 แสดงผลการทดสอบ California Bearing Ratio ดินลูกรังผสมเถ้าลอยและปูนซีเมนต์

No. of Blows	Density (g/cm ³)	C.B.R. (%)	SWELL (%)
12	1.823	137.333	1.218
25	1.954	330.718	0.320
56	2.040	324.639	1.202

จากตารางที่ 4.16 การทดสอบ California Bearing Ratio ดินลูกรังชนิด E ที่การบดอัด 56 ครั้งต่อชั้น ให้ค่าความหนาแน่นที่สูงที่สุดซึ่งเท่ากับ 2.040 g/cm³, ที่การบดอัด 25 ครั้งต่อชั้นมีค่า C.B.R. ที่สูงที่สุดซึ่งเท่ากับ 330.718 % และมีค่าการบวมตัวเท่ากับ 0.320 %

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 ผลการทดสอบที่เปรียบเทียบในแต่ละอัตราส่วนของดินลูกรังชนิด E, เถ้าลอย และ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

4.5.1. การทดสอบคุณสมบัติของดินลูกรังชนิด E ผสมเถ้าลอย

1.ค่าพิกัดเหลว (Liquid Limit) และค่าดัชนีความเป็นพลาสติก (Plasticity Index)

ค่าพิกัดเหลว (Liquid Limit) และค่าดัชนีความเป็นพลาสติก (Plasticity Index) ได้จากการทดสอบ Atterberg Limit จากตารางที่ 4.17 ได้แสดงค่าพิกัดเหลว (Liquid Limit) และค่าดัชนีความเป็นพลาสติก (Plasticity Index) ของดินลูกรังชนิด E เถ้าลอย และดินลูกรังผสมเถ้าลอยที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ

ตารางที่ 4.17 แสดงค่าพิกัดเหลว (Liquid Limit) และค่าดัชนีความเป็นพลาสติก (Plasticity Index)เมื่อผสม เถ้าลอย ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆกับดินลูกรังชนิด E

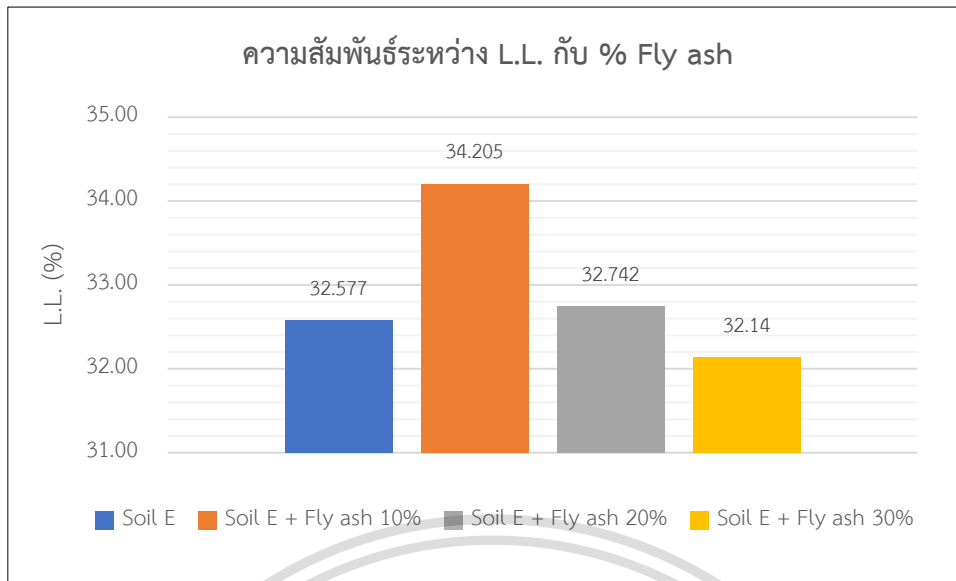
Soil	L.L. (%)	P.I. (%)
E	32.577	16.074
Fly ash	NP	NP
E + fly ash 10%	34.205	11.304
E + fly ash 20%	32.742	10.327
E + fly ash 30%	32.140	10.750

จากตารางที่ 4.17 แสดงค่าพิกัดเหลวและค่าดัชนีความเป็นพลาสติก ที่ตัวอย่างดินลูกรังชนิด E ผสมกับเถ้าลอย 30% มีค่าพิกัดเหลวที่น้อยที่สุดซึ่งเท่ากับ 32.140 % และที่ตัวอย่างดินลูกรังชนิด E ผสมกับเถ้าลอย 20% มีค่าพิกัดเหลวที่น้อยที่สุดซึ่งเท่ากับ 10.327 %

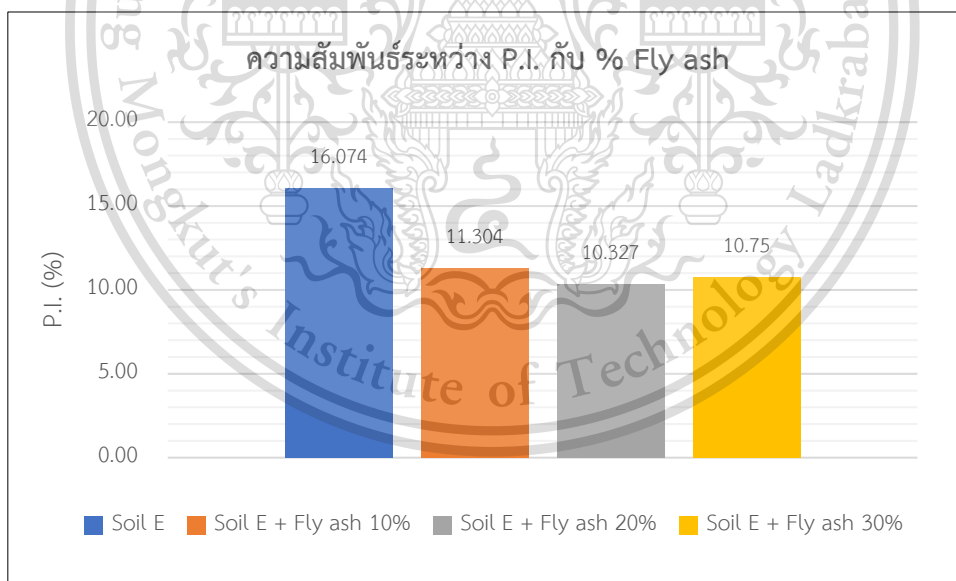
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 กราฟความสัมพัทธ์ระหว่าง ค่าพิกิตเหลวกับเถ้าลอย ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของดินลูกรังชนิด E



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพัทธ์ระหว่าง ค่าดัชนีความเป็นพลาสติกกับเถ้าลอย ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของดินลูกรังชนิด E

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. ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content)

ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) ได้จากการทดสอบการบดอัดดิน จากตารางที่ 4.18 ได้แสดงปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) ของดินลูกรังชนิด E แฉ่ำลอย และดินลูกรังผสมแฉ่ำลอยที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ

ตารางที่ 4.18 แสดงค่าความชื้นที่เหมาะสมเมื่อผสมแฉ่ำลอย ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆกับดินลูกรังชนิด E

Soil	O.M.C. (%)
E	10.22
Fly ash	15.05
E + fly ash 10%	10.20
E + fly ash 20%	10.90
E + fly ash 30%	10.80

จากตารางที่ 4.18 แสดงปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่ตัวอย่างดินลูกรังชนิด E ผสมกับแฉ่ำลอย 10% มีค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมน้อยที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 10.20 % และที่ตัวอย่างแฉ่ำลอย 100% มีค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมมากที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 15.05 %

3. ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density)

ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) ได้จากการทดสอบการบดอัดดิน จากตารางที่ 4.18 ได้แสดงความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) ของดินลูกรังชนิด E แฉ่ำลอย และดินลูกรังผสมแฉ่ำลอยที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ

ตารางที่ 4.19 ตารางแสดงความหนาแน่นแห้งสูงสุดเมื่อผสมแฉ่ำลอย ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆของดินลูกรังชนิด E

Soil	M.D.D. (g/cm ³)
E	2.268
Fly ash	1.813
E + fly ash 10%	2.063
E + fly ash 20%	2.068
E + fly ash 30%	2.049

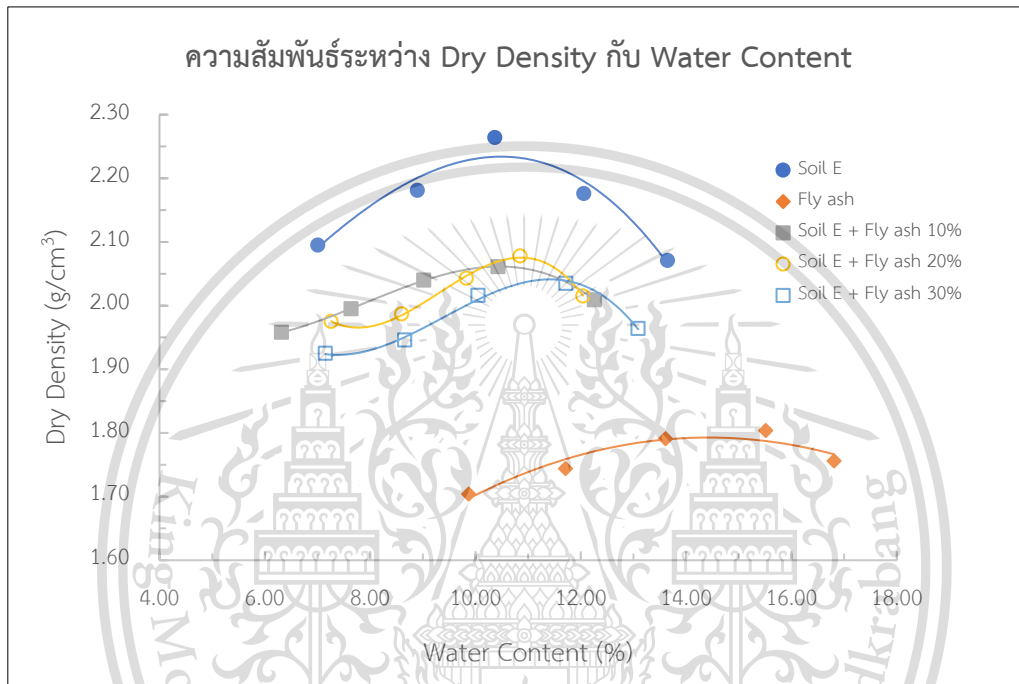
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา 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.

จากตารางที่ 4.19 แสดงความหนาแน่นแห้งสูงสุดที่ตัวอย่างดินลูกรัง 100% มีค่าความหนาแน่นสูงสุดมากที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.268 g/cm^3 และที่ตัวอย่างเถ้าลอย 100% มีค่าความหนาแน่นสูงสุดน้อยที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.813 g/cm^3

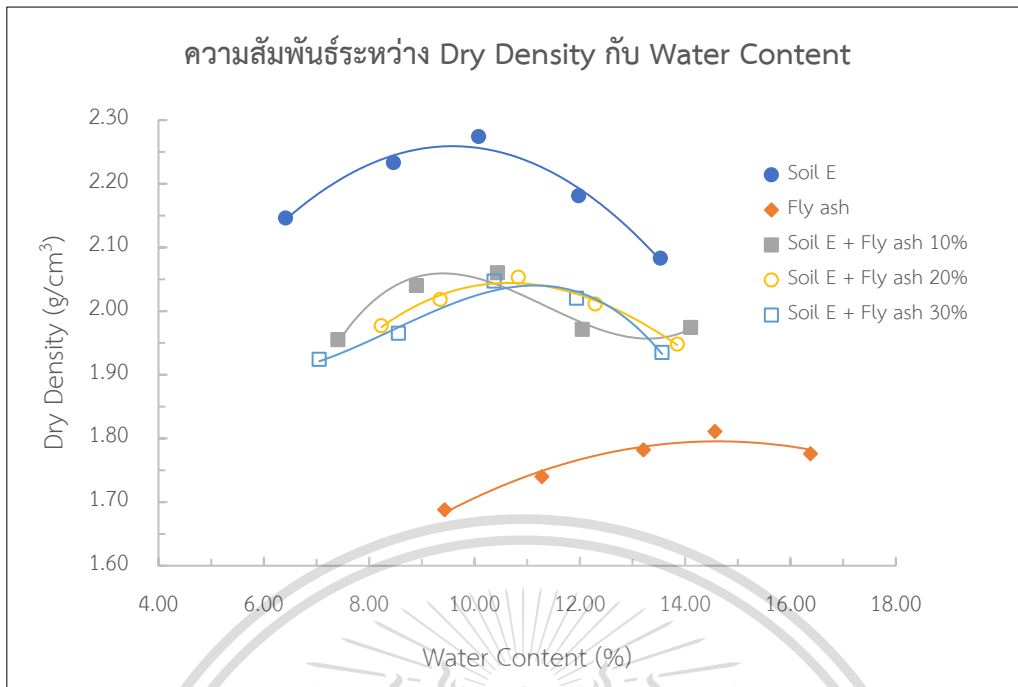


รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง กับปริมาณความชื้นของดินลูกรังชนิด E เถ้าลอย และดินลูกรังผสมเถ้าลอยที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ในการทดสอบครั้งที่ 1

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 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง กับปริมาณความชื้นของดินลูกรังชนิด E ละเอียด และดินลูกรังผสมเถ้าลอยที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ในการทดสอบครั้งที่ 2

4.การบวมตัว (Swell)

สามารถเปรียบเทียบค่าการบวมตัวของดินลูกรังชนิด E ละเอียด และดินลูกรังผสมเถ้าลอยที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ได้จากตารางที่ 4.20 และ 4.21

ตารางที่ 4.20 ตารางแสดงค่าการบวมตัวเมื่อผสมเถ้าลอย ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆของดินลูกรัง ชนิด E โดยแยกเป็นจำนวนครั้งในการบดอัดที่ 12, 25 และ 56 ครั้ง

Soil	Swell (%)		
	12 Blows	25 Blows	56 Blows
E	1.610	0.852	0.612
fly ash	0.034	0.034	0.278
E + fly ash 10%	0.200	0.022	0.086
E + fly ash 20%	1.22	0.177	1.032
E + fly ash 30%	1.218	0.320	1.202

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

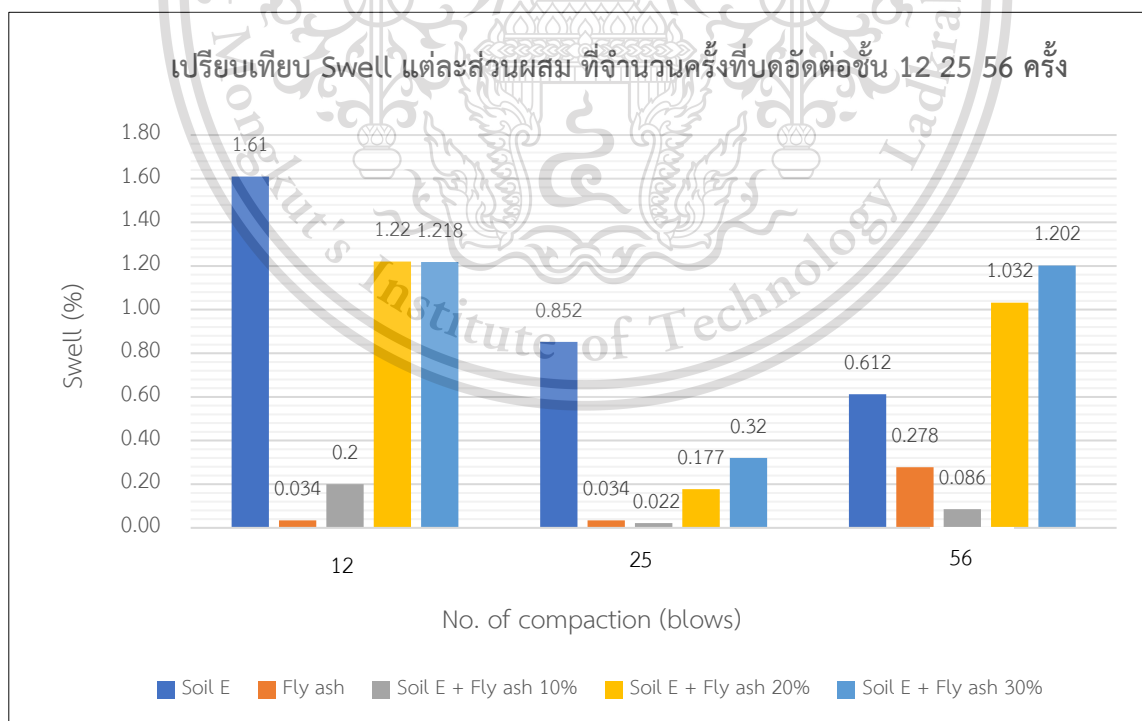
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากตารางที่ 4.20 แสดงค่าการบวมตัวของแต่ละตัวอย่าง โดยแยกเป็นจำนวนครั้งที่บดอัดต่อชั้น ค่าการบวมตัวของทุกตัวอย่างที่ทำการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าน้อยกว่า 2% ทุกกรณีที่ทำการทดสอบ

ตารางที่ 4.21 ตารางแสดงค่าการบวมตัวที่การบดอัดร้อยละ 95 เมื่อผสมเถ้าลอย ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆของดินลูกรัง ชนิด E

Soil	Swell (%)
E	1.099
fly ash	0.191
E + fly ash 10%	0.188
E + fly ash 20%	1.159
E + fly ash 30%	0.914

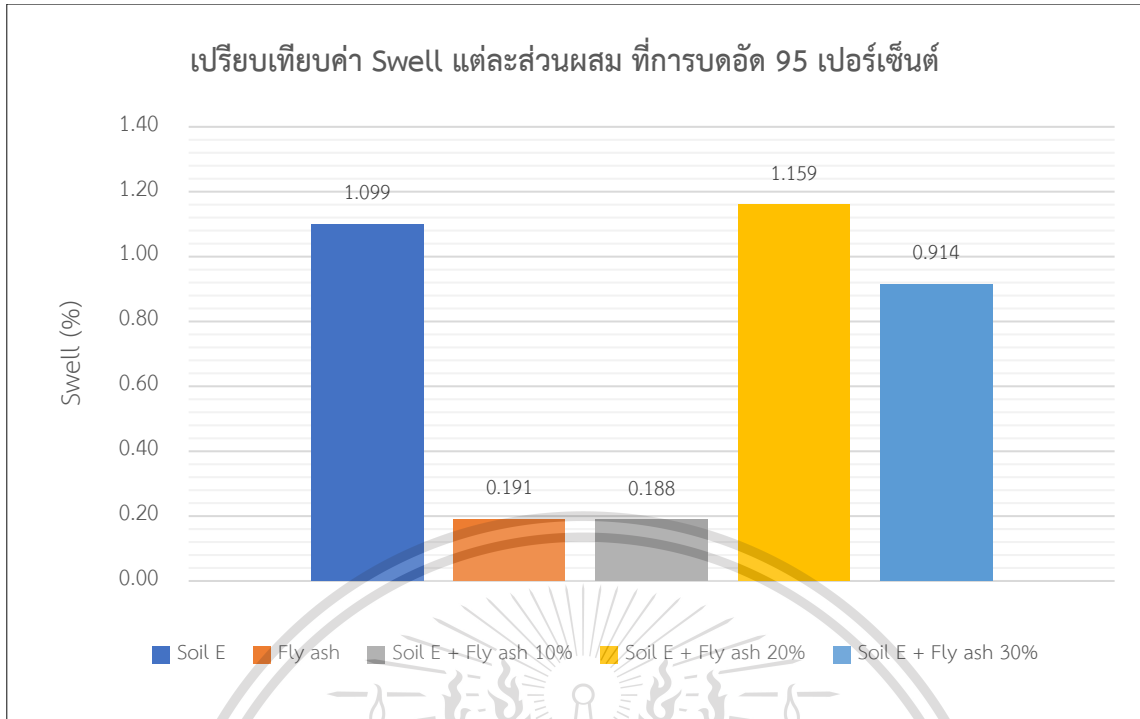
จากตารางแสดงค่าการบวมตัวที่การบดอัดร้อยละ 95 ที่ตัวอย่างดินลูกรังชนิด E ผสมกับเถ้าลอย 20% มีค่าการบวมตัวมากที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.159 % และที่ตัวอย่างดินลูกรังชนิด E ผสมกับเถ้าลอย 10% มีค่าการบวมตัวน้อยที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.188 %



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบค่าการบวมตัว กับจำนวนครั้งที่บดอัดต่อชั้นของดินลูกรังชนิด E เถ้าลอย และดิน
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ลูกรังผสมเถ้าลอยที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ

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 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการบวมตัวที่การบดอัด 95% กับเถ้าลอย ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของดินลูกรังชนิด E

5. California Bearing Ratio

สามารถเปรียบเทียบค่าการบวมตัวของดินลูกรังชนิด E เถ้าลอย และดินลูกรังผสมเถ้าลอยที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ได้จากตารางที่ 4.22 และ 4.23

ตารางที่ 4.22 ตารางแสดงค่า C.B.R. เมื่อผสมเถ้าลอย ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆของดินลูกรัง ชนิด E โดยแยกเป็นจำนวนครั้งในการบดอัดที่ 12, 25 และ 56 ครั้ง

Soil	C.B.R.(soak) (%)		
	12 Blows	25 Blows	56 Blows
E	0.693	13.122	13.682
fly ash	4.430	16.962	77.838
E + fly ash 10%	194.551	326.072	278.337
E + fly ash 20%	148.788	292.692	284.359
E + fly ash 30%	137.333	330.718	324.639

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ในงานวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อเผยแพร่ด้วยประการใดๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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.

จากตารางที่ 4.22 แสดงค่า C.B.R. ของแต่ละตัวอย่าง โดยแยกเป็นจำนวนครั้งที่บดอัดต่อชั้น ที่การบดอัด 56 ครั้งต่อชั้น ซึ่งเป็นชั้นที่มีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด ค่า C.B.R. ของดินลูกรังชนิด E มีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.23 ตารางแสดงค่า C.B.R. ที่ร้อยละ 95 เมื่อผสมเถ้าลอย ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆของดินลูกรังชนิด E

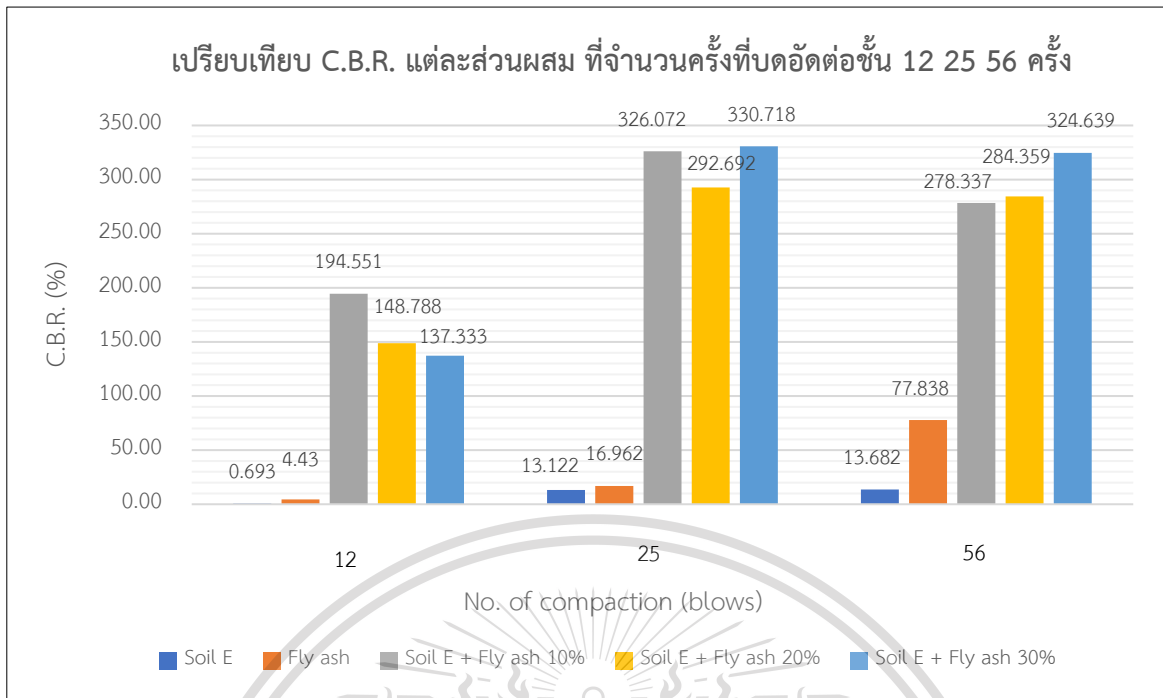
Soil	C.B.R. (soak) (%)
E	8.086
fly ash	55.161
E + fly ash 10%	243.314
E + fly ash 20%	229.064
E + fly ash 30%	263.357

จากตารางที่ 4.23 แสดงค่า C.B.R. ที่ร้อยละ 95 ของแต่ละตัวอย่าง ค่า C.B.R. ที่ร้อยละ 95 ของดินลูกรังชนิด E มีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้น ที่ตัวอย่างดินลูกรังชนิด E มีค่า C.B.R. ที่ร้อยละ 95 น้อยที่สุดซึ่งเท่ากับ 8.086 % และที่ตัวอย่างดินลูกรังชนิด E ผสมกับเถ้าลอย 30% มีค่า C.B.R. ที่ร้อยละ 95 มากที่สุดซึ่งเท่ากับ 263.357 %

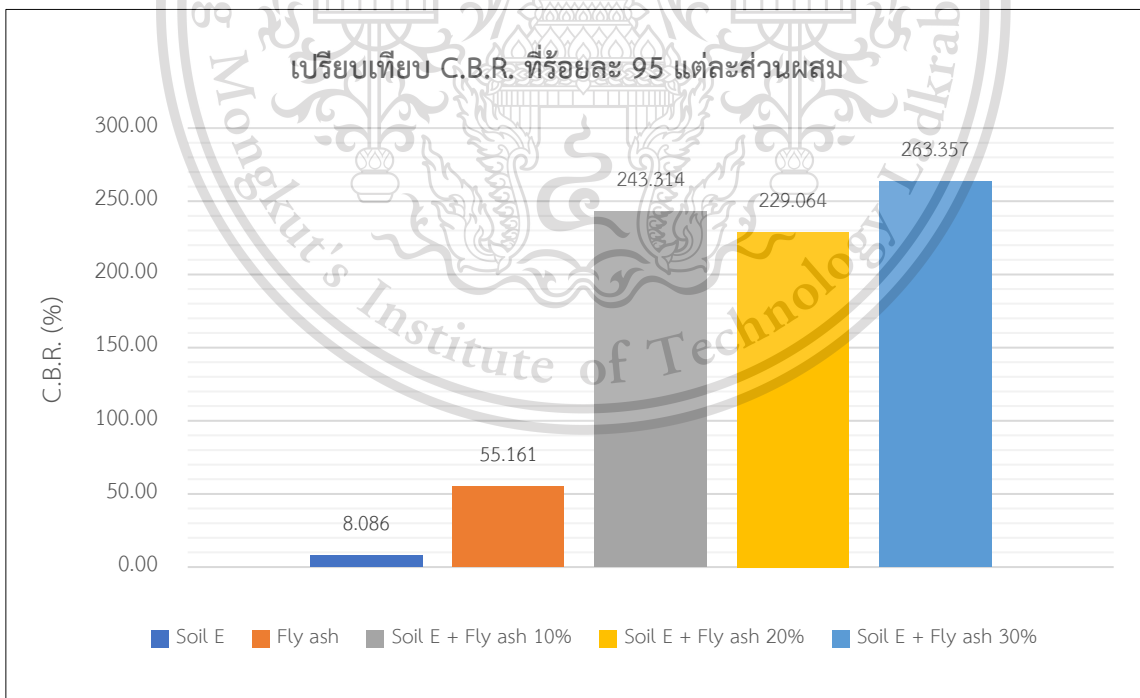
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 กราฟเปรียบเทียบค่า C.B.R. กับจำนวนครั้งที่บดอัดต่อชั้นของดินลูกรังชนิด E ใถ้าลอย และดินลูกรังผสมใถ้าลอยที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ



รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า C.B.R. ที่ร้อยละ 95 กับใถ้าลอย ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของดินลูกรังชนิด E

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

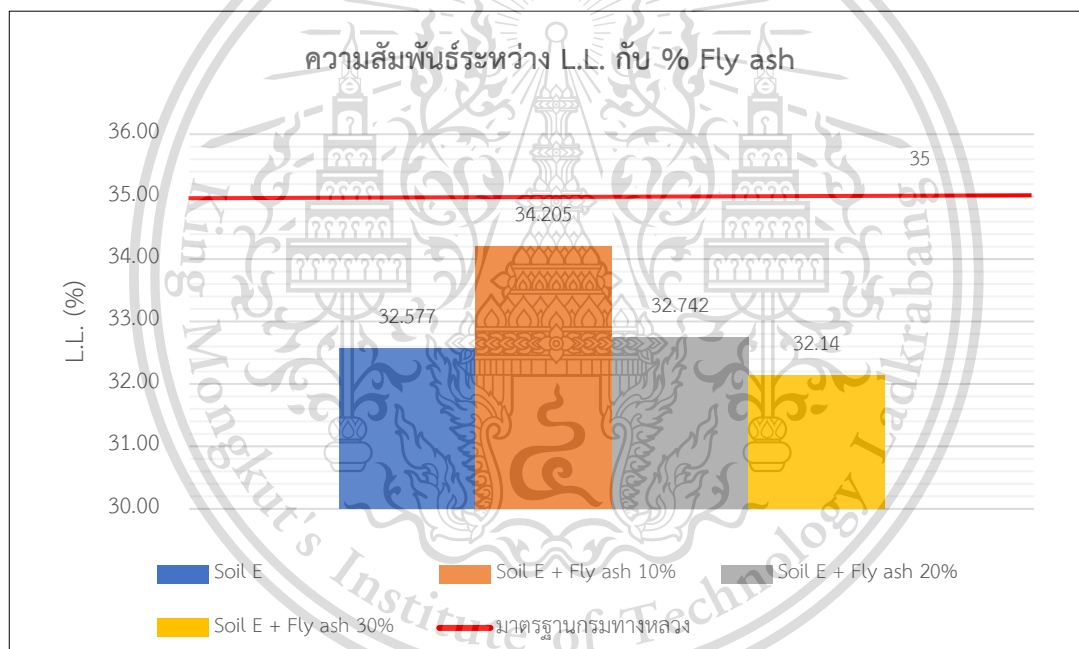
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.6 ผลการทดสอบในแต่ละอัตราส่วนของดินลูกรังชนิด E, ฝ้าลอยและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่อัตราส่วนต่างๆ เปรียบเทียบกับมาตรฐานของกรมทางหลวง

4.6.1. การทดสอบคุณสมบัติของดินลูกรังชนิด E ผสมฝ้าลอย

1.ค่าขีดความเหลว (Liquid Limit) และค่าดัชนีความเป็นพลาสติก (Plasticity Index)

โดยกรมทางหลวงได้ กำหนดมาตรฐานวัสดุรองพื้นทาง (ทล.-ม. 205/2532) ไว้ดังนี้ ค่าขีดความเหลว (Liquid Limit) ไม่มากกว่าร้อยละ 35 ตามมาตรฐานการทดสอบเพื่อหาค่าขีดความเหลว (Liquid Limit : L.L.) และค่าดัชนีความเป็นพลาสติก (Plasticity Index) ไม่มากกว่าร้อยละ 11 ตามมาตรฐานการทดสอบเพื่อหาค่าขีดพลาสติก (Plastic Limit : P.L.)

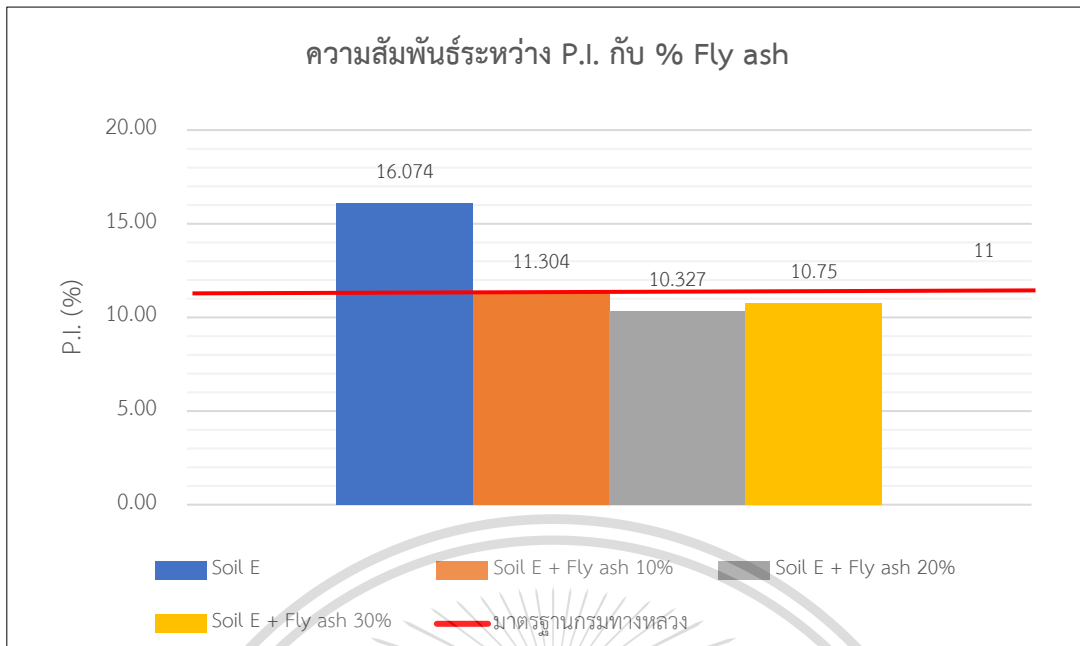


รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าขีดความเหลวกับฝ้าลอย ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของดินลูกรังชนิด E โดยเทียบกับค่ามาตรฐานของกรมทางหลวง

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 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าดัชนีความเป็นพลาสติกกับเถ้าลอย ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของดินลูกรังชนิด E โดยเทียบกับค่ามาตรฐานของกรมทางหลวง

2. California Bearing Ratio

โดยกรมทางหลวงได้ กำหนดมาตรฐานวัสดุรองพื้นทาง (ทล.-ม. 205/2532) ไว้ดังนี้ ค่า C.B.R จากห้องทดลอง (Lab C.B.R.) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ที่ร้อยละ 95 ของค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Density) ตามมาตรฐานการ ทดสอบเพื่อหาค่า C.B.R. หรือไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง

จากงานวิจัยของ Panu Promputthangkoon (2013) พบว่าค่า C.B.R. (Soaked) ของดินลูกรังเมื่อผสมกับปูนซีเมนต์ 5 % มีค่าเท่ากับ 181 % ซึ่งดินลูกรังที่ไม่มีการผสมปูนซีเมนต์มีค่า C.B.R. เท่ากับ 18 %

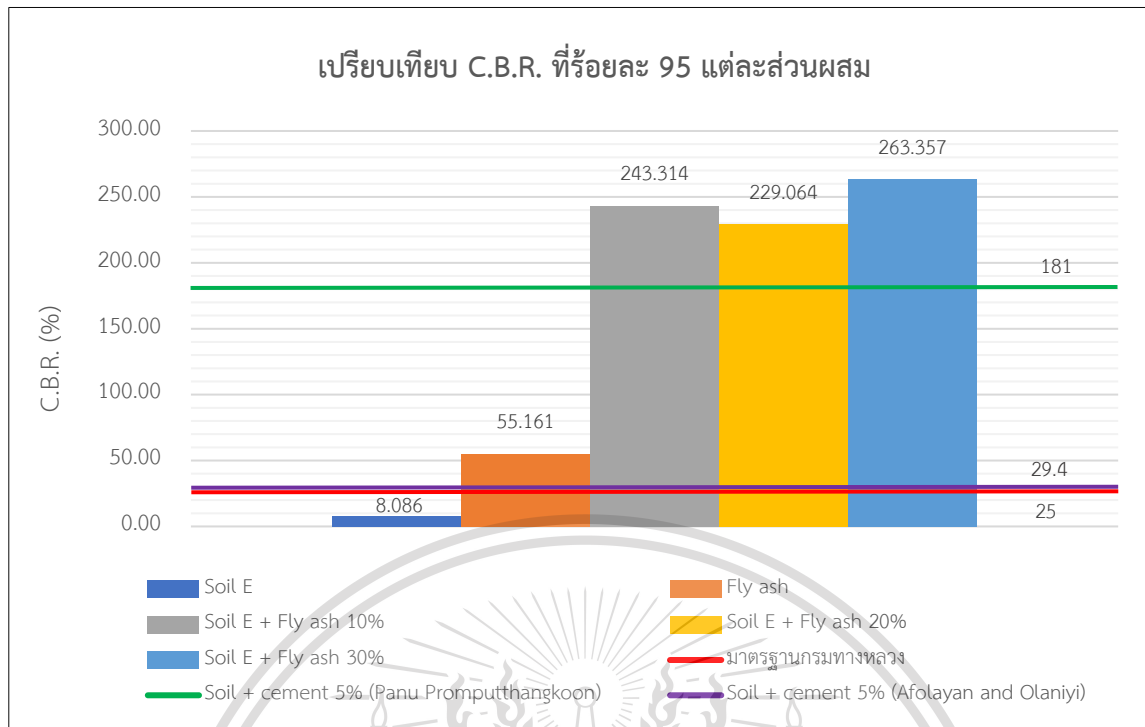
จากงานวิจัยของ Afolayan and Olaniyi (2017) พบว่าค่า C.B.R. ของดินลูกรังเมื่อผสมกับปูนซีเมนต์ 5 % มีค่าเท่ากับ 29.48 % ซึ่งดินลูกรังที่ไม่มีการผสมปูนซีเมนต์มีค่า C.B.R. เท่ากับ 6.28 %

ซึ่งสามารถเปรียบเทียบค่า C.B.R. ของดินลูกรังชนิด E, เถ้าลอย และดินลูกรังชนิด E ผสมเถ้าลอยที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ กับมาตรฐานกรมทางหลวง และเปรียบเทียบค่า C.B.R. ของดินลูกรังผสมกับปูนซีเมนต์ 5% ที่ได้จากงานวิจัย กับค่า C.B.R. ของดินลูกรังชนิด E ผสมปูนซีเมนต์ 5% และเถ้าลอยที่อัตราส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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 4.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ ค่า C.B.R. ที่ร้อยละ 95 กับเถ้าลอย ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของดินลูกรังชนิด E กับค่ามาตรฐานของกรมทางหลวง และงานวิจัยของ Panu Promptthangkoon และ Afolayan and Olaniyi

ผลการทดสอบในแต่ละอัตราส่วนของดินลูกรังชนิด E, เถ้าลอย และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่อัตราส่วนต่างๆ เปรียบเทียบกับมาตรฐานของกรมทางหลวงสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 ตารางแสดงค่า L.L. P.I. และ C.B.R. ที่ตัวอย่างดินลูกรังชนิด E, เถ้าลอย และดินลูกรังผสมเถ้าลอย และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่เปรียบเทียบกับมาตรฐานของกรมทางหลวง

สมบัติ	type of sample					มาตรฐานวัสดุรองพื้นทาง
	Soil E	Fly ash	Soil E + Fly ash 10%	Soil E + Fly ash 20%	Soil E + Fly ash 30%	
L.L. (%)	32.577	NP	34.205	32.742	32.140	< 35
P.I. (%)	16.074	NP	11.304	10.327	10.750	< 11
C.B.R. (%)	8.086	55.161	243.314	229.064	263.357	> 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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.

จากตารางที่ 2.24 แสดงการเปรียบเทียบค่าพิกัดเหลว ค่าดัชนีความเป็นพลาสติกและค่า C.B.R. ที่ร้อยละ 95 กับมาตรฐานชั้นรองพื้นฐานของกรมทางหลวง ค่าพิกัดเหลวของตัวอย่างดินลูกรังชนิด E, etailoy และดินลูกรังผสมetailoy และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทุกตัวอย่างมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวงซึ่งมีค่าน้อยกว่า 35 % ค่าดัชนีความเป็นพลาสติกที่ตัวอย่างดินลูกรังชนิด E ผสมetailoy 20% และที่ตัวอย่างดินลูกรังชนิด E ผสมetailoy 30% มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวงซึ่งมีค่าน้อยกว่า 11 % และค่า C.B.R. ที่ร้อยละ 95 ที่etailoy 100% ที่ตัวอย่างดินลูกรังชนิด E ผสมetailoy 10% ตัวอย่างดินลูกรังชนิด E ผสมetailoy 20% และที่ตัวอย่างดินลูกรังชนิด E ผสมetailoy 30% มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวงซึ่งมีค่ามากกว่า 25 %



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

ผลการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังชนิด E ซึ่งเป็นดินลูกรังที่มีคุณภาพต่ำ โดยการผสม ulla และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ให้มีคุณสมบัติเทียบเท่ากับวัสดุของชั้นรองพื้นทางโดยการผสม ulla และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในดินลูกรังตามอัตราส่วนต่างๆ และนำไปทำการทดสอบ Atterberg Limit, Compaction และ California Bearing Ratio แบบ soaked เพื่อหาอัตราส่วนผสมระหว่างซีเมนต์และ ulla ที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังให้เป็นไปตามข้อกำหนดและมาตรฐานการเลือกวัสดุใน ชั้นรองพื้นทางของกรมทางหลวง

5.2 สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบคุณสมบัติของดินลูกรังชนิด E ผสมกับ ulla และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยกำหนดอัตราส่วนปูนซีเมนต์เท่ากับ 5% โดยน้ำหนักแห้งของมวลรวมทั้งหมด และอัตราส่วน ulla เท่า 10, 20 และ 30% โดยน้ำหนักแห้งของมวลรวมทั้งหมด สามารถสรุปผลกาทดสอบได้ดังนี้

การทดสอบ Atterberg Limit พบว่าดินลูกรังชนิด E ผสมกับ ulla และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ สามารถลดค่าพิกต์เหลวและค่าดัชนีความเป็นพลาสติกของดินลูกรังชนิด E ที่ไม่มีการผสม โดยที่อัตราส่วนดินลูกรังชนิด E ผสมกับ ulla 20% โดยน้ำหนักแห้งของมวลรวมทั้งหมด และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 5% โดยน้ำหนักแห้งของมวลรวมทั้งหมด และอัตราส่วนดินลูกรังชนิด E ผสมกับ ulla 30% โดยน้ำหนักแห้งของมวลรวมทั้งหมด และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 5% โดยน้ำหนักแห้งของมวลรวมทั้งหมด ทำให้ค่าพิกต์เหลวและค่าดัชนีความเป็นพลาสติกของดินลูกรังชนิด E อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานวัสดุรองพื้นทางของกรมทางหลวง (ทล.-ม. 205/2532)

การทดสอบ Compaction พบว่าเมื่ออัตราส่วนของ ulla เพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดมีแนวโน้มลดลง แต่ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

การทดสอบ California Bearing Ratio (C.B.R.) พบว่า ulla สามารถกำลังรับแรงของดินลูกรังชนิด E ได้ จากการทดสอบและการศึกษางานวิจัยของ Panu Promputthangkoon (2013) และ Afolayan and Olaniyi (2017) ค่า C.B.R. ของดินลูกรังชนิด E ผสมกับ ulla และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มีค่ามากกว่าค่า

C.B.R. ของดินลูกรังที่ไม่มีการผสม และดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์ 5% ที่ได้จากการศึกษาวิจัยเป็นอย่างมาก การค่า C.B.R. แสดงให้เห็นว่า ulla สามารถเพิ่มกำลังรับแรงของดินลูกรังชนิด E และยังสามารถเพิ่มค่า C.B.R. ของดิน

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

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

ลูกรังชนิด E ที่มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ให้มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานวัสดุรองพื้นทางของกรมทางหลวง (ทล.-ม. 205/2532)

โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมของเถ้าลอยที่ใช้ในการปรับปรุงดินลูกรังชนิด E นี้เท่ากับ 20 ถึง 30% เนื่องจากอัตราส่วนเถ้าลอยที่ 20 ถึง 30% สามารถทำให้ค่าพิกัดเหลว ค่าดัชนีความเป็นพลาสติก และค่า C.B.R. อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของชั้นรองพื้นทาง (ทล.-ม. 205/2532)

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการเพิ่มจำนวนครั้งการทดสอบการในแต่ละอัตราส่วนให้มากขึ้น เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อน และได้ผลการทดสอบที่แม่นยำมากขึ้น
2. ทำการเพิ่มอัตราส่วนของเถ้าลอยและปูนซีเมนต์ที่ทำการทดสอบให้มีจำนวนมากขึ้น เพื่อนำผลมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ
3. นำผลที่ได้ไปศึกษาต่อกับดินลูกรังประเภท A B C และ D เพื่อให้ครอบคลุมประเภทของดินลูกรังที่ใช้ในงานก่อสร้างงานถนนทั้งหมดตามมาตรฐานของกรมทางหลวง และวิเคราะห์ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นตามอัตราส่วนผสมต่าง ๆ
4. เมื่อนำมาใช้งานจริงในการก่อสร้าง ควรเพิ่มเปอร์เซ็นต์เถ้าลอยเพื่อไว้ เพื่อป้องกันการเกิดความคลาดเคลื่อน (Error)

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

รศ.สุพจน์ ศรีนิวล, รศ.ดร.แหลมทอง เหล่าคงถาวร, ชลธี เร่บ้านเกาะ. (2560). คู่มือปฏิบัติการทดลอง
ปฐพีกลศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด มีน เซอร์วิส ซัพพลาย.

รศ.สุกิจ นามพิชญ์ และคณะ. (2549). คู่มือการทดสอบทางปฐพีกลศาสตร์. สำนักงานกองทุนการวิจัย
แห่งชาติ.

ณัฐพล สุยะตุ่น, ธนนันท์ จันทมาศ ,นวมินทร์ จำรัส. (2561). การปรับปรุงคุณสมบัติดินลูกรังเพื่อให้มี
คุณสมบัติทางวิศวกรรมเทียบเท่าหินคลุก โดยใช้ตะกรันจากกระบวนการถลุงเหล็ก. วิทยานิพนธ์. ประเทศไทย
: วิศวกรรมโยธา, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เกษม เพชรเกตุ. (2541). การปรับปรุงเสถียรภาพดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯด้วยซีเมนต์. วิศวกรรมสถาน
แห่งประเทศไทย.

จิตติมา ประสาระเอ. (2544). การทดสอบการรับกำลังอัด ความคงทน และความชื้นน้ำของดิน
ซีเมนต์. โครงการวิศวกรรม. ประเทศไทย : วิศวกรรมชลประทาน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กำแพงแสน.

กิตติศักดิ์ โชติ, ประทีป ดวงเดือน. (2556). การปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังด้วยเถ้ากันเตาและ ปูนขาว.
วิทยานิพนธ์. ประเทศไทย : วิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิโรจน์ เงินพรหม. (2553). การศึกษาคุณสมบัติของชั้นทางผสมดินลูกรัง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และ
ตะกรันเหล็ก. งานวิจัย. ประเทศไทย : วิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

กรมทางหลวง. (2532). มาตรฐานรองพื้นทางวัสดุมวลรวม. สืบค้นจาก :
<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/01/dhs205-32.pdf>.

กรมทางหลวง. (2544). มาตรฐานชั้นทางหินคลุก. สืบค้นจาก :
<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/01/dhs201-44.pdf>.

กรมทางหลวง. (2544). มาตรฐานชั้นวัสดุคัดเลือก ก. สืบค้นจาก :
<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/01/dhs208-32.pdf>.

กรมทางหลวง. (2544). มาตรฐานชั้นวัสดุคัดเลือก ข. สืบค้นจาก :
<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/01/dhs209-32.pdf>.

กรมทางหลวง. (2543). การหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่ (Pavement Recycling). สืบค้น
จาก : <http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/01/dhs213-43.pdf>.

Federal Highway Administration Research and Technology. (2016). Baghouse fines.
Retrieved from :
<https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/97148/005.cfm>.

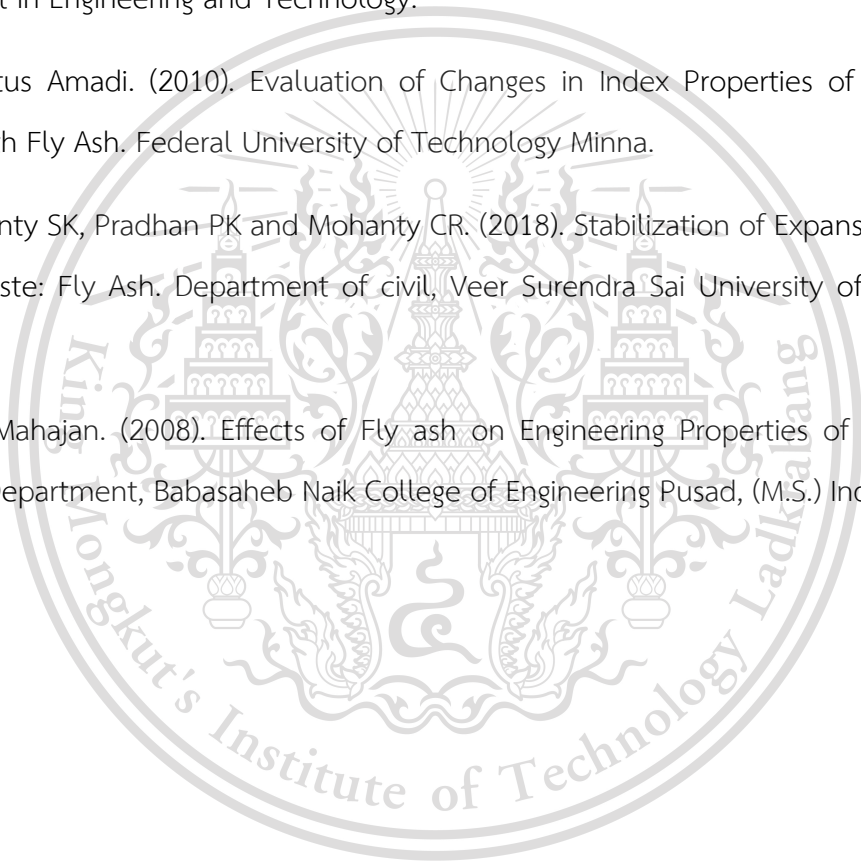
P. Promptthangkoon and B. Kanchanachetanee. (2013). Compound Soil-Tyre chips modified by cement as a road construction material. Songkhlanakarin J. of Sci. and Technology.

Afolayan and Olaniyi. (2017). Evaluation of the effect of lime and cement on the engineering properties of selected soil in a university in southwestern Nigeria. Journal of Advancement in Engineering and Technology.

Agapitus Amadi. (2010). Evaluation of Changes in Index Properties of Lateritic Soil Stabilized with Fly Ash. Federal University of Technology Minna.

Mohanty SK, Pradhan PK and Mohanty CR. (2018). Stabilization of Expansive Soil Using Industrial Waste: Fly Ash. Department of civil, Veer Surendra Sai University of Technology, India.

S.M. Mahajan. (2008). Effects of Fly ash on Engineering Properties of BC Soil. Civil Engineering Department, Babasaheb Naik College of Engineering Pusad, (M.S.) India.



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 ก

สัญลักษณ์

C.B.R.	=	California Bearing Ratio
O.M.C.	=	Optimum Moisture Content
M.D.D.	=	Maximum Dry Density
PI	=	Plasticity Index
LL	=	Liquid Limit
PL	=	Plastic Limit
W	=	น้ำหนักดินชื้น (Wet Weight)
W_a	=	น้ำหนักน้ำซึมซับ
W_s	=	น้ำหนักดินแห้ง (Dry Weight)
V	=	ปริมาตรของ Mold
γ_d	=	ความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างทดสอบ (Dry Density)
w	=	เปอร์เซ็นต์ความชื้นของดิน (Water Content)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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.




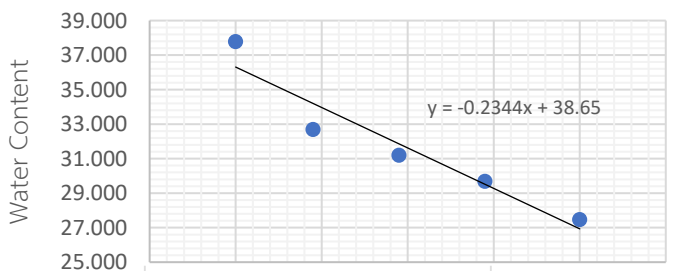
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ข.1 การทดสอบ Atterberg Limit

ข.1.1 การทดสอบ Atterberg Limit ดินลูกรังประเภท E

		DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333				
LIQUID AND PLASTIC LIMITS						
Project :	พัฒนากำลังดินลูกรัง	Req. No.	1			
Location :	-	Req. Date :	-			
Sample From :	-	Date of testing :	01/04/2564			
Sample Description :	ดินลูกรัง E	Type of Compaction :	Modified Proctor			
PLASTIC LIMIT TEST:						
TRAL NO.		1	2	3	4	5
CAN NO.		1E	3E			
WET SOIL + CAN	g.	28.865	24.853			
DRY SOIL + CAN	g.	26.905	23.297			
WT. OF CAN	g.	15.045	13.855			
WT. OF DRY SOIL	g.	1.96	1.556			
WT. OF WATER	g.	11.86	9.442			
% WATTER CONTENT		16.526	16.480			
AVERAGE		16.503				
LIQUID LIMIT TEST:						
Determination No.		1	2	3	4	5
NO. OF BLOWS	N	50	39	29	19	10
CAN NO.		1A	2A	3A	4A	5A
WET SOIL + CAN	g.	38.195	35.128	36.134	36.582	34.067
DRY SOIL + CAN	g.	33.534	30.124	31.053	31.543	28.648
WT. OF CAN	g.	16.561	13.265	14.762	16.128	14.303
WT OF WATER	g.	4.661	5.004	5.081	5.039	5.419
WT. OF DRY SOI	g.	16.973	16.859	16.291	15.415	14.345
% WATER CONTENT		27.461	29.681	31.189	32.689	37.776
						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเชิงวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ทำซ้ำหรือดัดแปลงเนื้อหา 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.



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
 FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
 LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

LIQUID AND PLASTIC LIMITS

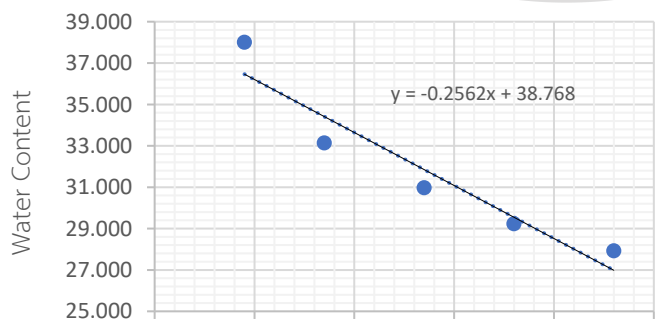
Project :	พัฒนากำลั่งดินลูกรัง	Req. No.	1
Location :	-	Req. Date :	-
Sample From :	-	Date of testing :	01/04/2564
Sample Description :	ดินลูกรัง E	Type of Compaction :	Modified Proctor

PLASTIC LIMIT TEST:

TRAL NO.	1	2	3	4	5
CAN NO.					
WET SOIL + CAN	g.				
DRY SOIL + CAN	g.				
WT. OF CAN	g.				
WT. OF DRY SOIL	g.				
WT. OF WATER	g.				
% WATTER CONTENT					
AVERAGE					

LIQUID LIMIT TEST:

Determination No.	1	2	3	4	5	
NO. OF BLOWS	N	46	36	27	17	9
CAN NO.	1B	2B	3B	4B	5B	
WET SOIL + CAN	g.	38.732	35.358	38.017	38.031	36.411
DRY SOIL + CAN	g.	33.38	30.364	32.018	32.076	30.668
WT. OF CAN	g.	14.209	13.279	12.646	14.103	15.556
WT OF WATER	g.	5.352	4.994	5.999	5.955	5.743
WT. OF DRY SOI	g.	19.171	17.085	19.372	17.973	15.112
% WATER CONTENT		27.917	29.230	30.967	33.133	38.003



AVERAGE


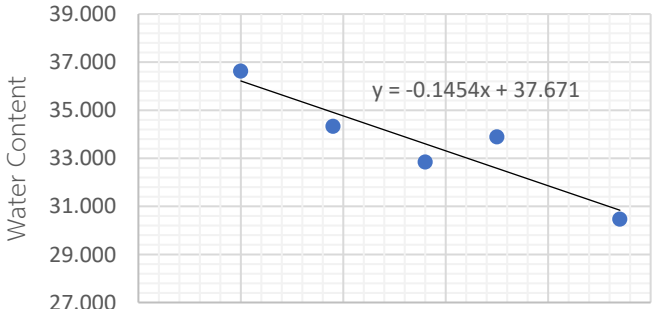
PLASTIC LIMIT = 16.503
 LIQUID LIMIT = 32.577
 PLASTIC INDEX = 16.074

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุที่ดัดแปลงเนื้อหา 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.

ข.1.2 การทดสอบ Atterberg Limit ดินลูกรังประเภท E + etailoy 10%

	DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333					
	LIQUID AND PLASTIC LIMITS					
Project :	พัฒนากำลิ่งดินลูกรัง	Req. No.	2			
Location :	-	Req. Date :	-			
Sample From :	-	Date of testing :	01/04/2564			
Sample Description :	ดินลูกรัง E + etailoy 10%	Type of Compaction :	Modified Proctor			
PLASTIC LIMIT TEST:						
TRAL NO.		1	2	3	4	5
CAN NO.		1E	2E			
WET SOIL + CAN	g.	27.277	35.913			
DRY SOIL + CAN	g.	25.035	32.768			
WT. OF CAN	g.	15.068	19.275			
WT. OF DRY SOIL	g.	2.242	3.145			
WT. OF WATER	g.	9.967	13.493			
% WATTER CONTENT		22.49423	23.308			
AVERAGE		22.901				
LIQUID LIMIT TEST:						
Determination No.		1	2	3	4	5
NO. OF BLOWS	N	47	35	28	19	10
CAN NO.		1A	2A	3A	4A	5A
WET SOIL + CAN	g.	35.06	33.244	34.679	39.479	34.844
DRY SOIL + CAN	g.	30.74	28.186	29.754	33.51	29.013
WT. OF CAN	g.	16.56	13.261	14.759	16.121	13.091
WT OF WATER	g.	4.32	5.058	4.925	5.969	5.831
WT. OF DRY SOI	g.	14.18	14.925	14.995	17.389	15.922
% WATER CONTENT		30.465	33.889	32.844	34.326	36.622
						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่าการแก้ไขที่ต้น สักที่ใด ที่มีที่ที่เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องยังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
 FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
 LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

LIQUID AND PLASTIC LIMITS

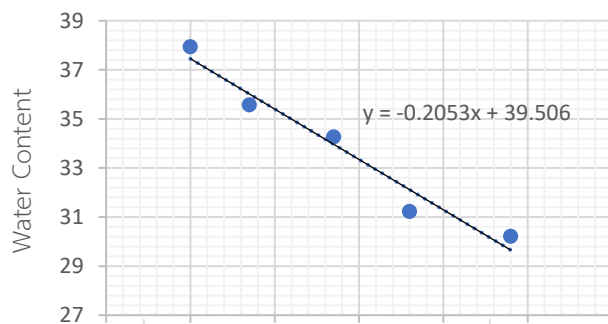
Project :	พัฒนากำลั้งดินลูกรั้้ง	Req. No.	2
Location :	-	Req. Date :	-
Sample From :	-	Date of testing :	01/04/2564
Sample Description :	ดินลูกรั้้ง E + เถ้าลอย 10%	Type of Compaction :	Modified Proctor

PLASTIC LIMIT TEST:

TRAL NO.	1	2	3	4	5
CAN NO.					
WET SOIL + CAN	g.				
DRY SOIL + CAN	g.				
WT. OF CAN	g.				
WT. OF DRY SOIL	g.				
WT. OF WATER	g.				
% WATTER CONTENT					
AVERAGE					

LIQUID LIMIT TEST:

Determination No.	1	2	3	4	5	
NO. OF BLOWS	N	48	36	27	17	10
CAN NO.		1B	2B	3B	4B	5B
WET SOIL + CAN	g.	40.943	34.638	32.391	32.924	38.385
DRY SOIL + CAN	g.	34.741	29.555	27.354	27.986	32.106
WT. OF CAN	g.	14.212	13.277	12.653	14.103	15.554
WT OF WATER	g.	6.202	5.083	5.037	4.938	6.279
WT. OF DRY SOI	g.	20.529	16.278	14.701	13.883	16.552
% WATER CONTENT		30.211	31.226	34.263	35.569	37.935



AVERAGE


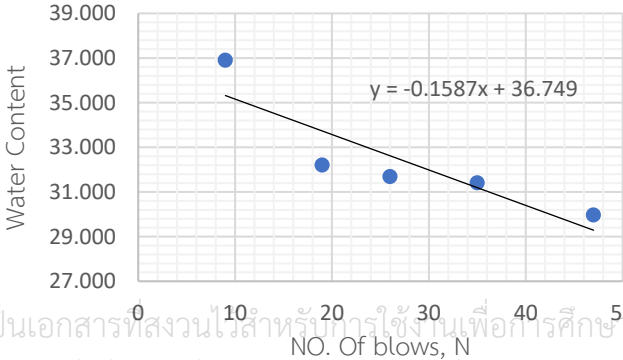
PLASTIC LIMIT = 22.901
 LIQUID LIMIT = 34.205
 PLASTIC INDEX = 11.304

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในห้องเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามนำไปเผยแพร่ลงนิตินัย 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.

ข.1.3 การทดสอบ Atterberg Limit ดินลูกรังประเภท E + etailoy 20%

 DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333						
LIQUID AND PLASTIC LIMITS						
Project :	พัฒนากำลิ่งดินลูกรัง	Req. No.	1			
Location :	-	Req. Date :	-			
Sample From :	-	Date of testing :	02/04/2564			
Sample Description :	ดินลูกรัง E + etailoy 20%	Type of Compaction :	Modified Proctor			
PLASTIC LIMIT TEST:						
TRAL NO.		1	2	3	4	5
CAN NO.		4E	6E			
WET SOIL + CAN	g.	26.393	29.64			
DRY SOIL + CAN	g.	24.099	27.21			
WT. OF CAN	g.	13.937	16.291			
WT. OF DRY SOIL	g.	2.294	2.43			
WT. OF WATER	g.	10.162	10.919			
% WATTER CONTENT		22.574	22.255			
AVERAGE		22.415				
LIQUID LIMIT TEST:						
Determination No.		1	2	3	4	5
NO. OF BLOWS	N	47	35	26	19	9
CAN NO.		1C	2C	3C	4C	5C
WET SOIL + CAN	g.	27.085	26.374	29.875	37.276	36.307
DRY SOIL + CAN	g.	24.29	23.431	26.286	33.726	31.873
WT. OF CAN	g.	14.962	14.06	14.959	22.702	19.856
WT OF WATER	g.	2.795	2.943	3.589	3.55	4.434
WT. OF DRY SOI	g.	9.328	9.371	11.327	11.024	12.017
% WATER CONTENT		29.964	31.405	31.685	32.202	36.898
						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากล่าวถึงผู้จัดทำ หรือผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องแต่อย่างใด และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
 FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
 LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

LIQUID AND PLASTIC LIMITS

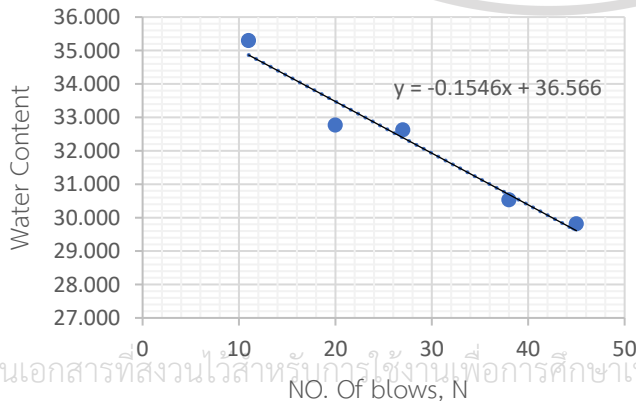
Project :	พัฒนากำลั่งดินลูกรัง	Req. No.	1
Location :	-	Req. Date :	-
Sample From :	-	Date of testing :	02/04/2564
Sample Description :	ดินลูกรัง E + ใถ้ำลลย 20%	Type of Compaction :	Modified Proctor

PLASTIC LIMIT TEST:

TRAL NO.	1	2	3	4	5
CAN NO.					
WET SOIL + CAN	g.				
DRY SOIL + CAN	g.				
WT. OF CAN	g.				
WT. OF DRY SOIL	g.				
WT. OF WATER	g.				
% WATTER CONTENT					
AVERAGE					

LIQUID LIMIT TEST:

Determination No.	1	2	3	4	5	
NO. OF BLOWS	N	45	38	27	20	11
CAN NO.	1D	2D	3D	4D	5D	
WET SOIL + CAN	g.	36.261	33.882	28.718	33.798	36.623
DRY SOIL + CAN	g.	32.311	29.852	25.139	29.877	32.154
WT. OF CAN	g.	19.063	16.652	14.169	17.911	19.492
WT OF WATER	g.	3.95	4.03	3.579	3.921	4.469
WT. OF DRY SOI	g.	13.248	13.2	10.97	11.966	12.662
% WATER CONTENT		29.816	30.530	32.625	32.768	35.295



AVERAGE

PLASTIC LIMIT = 22.415

LIQUID LIMIT = 32.742

PLASTIC INDEX = 10.327

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
 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.

ข.1.4 การทดสอบ Atterberg Limit ดินลูกรังประเภท E + etailoy 30%



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
 FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
 LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

LIQUID AND PLASTIC LIMITS

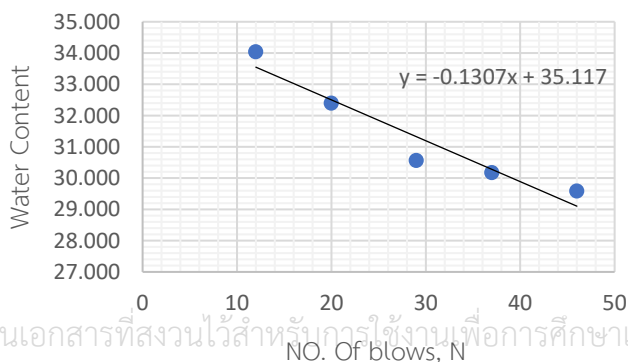
Project :	พัฒนากำลั้ดินลูกรั้	Req. No.	2
Location :	-	Req. Date :	-
Sample From :	-	Date of testing :	02/04/2564
Sample Description :	ดินลูกรั้ E + etailoy 30%	Type of Compaction :	Modified Proctor

PLASTIC LIMIT TEST:

TRAL NO.	1	2	3	4	5
CAN NO.	4E	5E			
WET SOIL + CAN g.	28.145	28.228			
DRY SOIL + CAN g.	25.647	25.918			
WT. OF CAN g.	13.872	15.206			
WT. OF DRY SOIL g.	2.498	2.31			
WT. OF WATER g.	11.775	10.712			
% WATER CONTENT	21.214	21.565			
AVERAGE	21.390				

LIQUID LIMIT TEST:

Determination No.	1	2	3	4	5
NO. OF BLOWS N	46	37	29	20	12
CAN NO.	1C	2C	3C	4C	5C
WET SOIL + CAN g.	33.676	35.613	34.679	42.436	37.456
DRY SOIL + CAN g.	29.403	30.622	30.068	37.607	32.992
WT. OF CAN g.	14.961	14.08	14.982	22.701	19.877
WT OF WATER g.	4.273	4.991	4.611	4.829	4.464
WT. OF DRY SOI g.	14.442	16.542	15.086	14.906	13.115
% WATER CONTENT	29.587	30.172	30.565	32.396	34.037



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่าการแก้ไขที่ใด ๆ ก็ตาม มิใช่ที่ที่เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องยังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
 FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
 LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

LIQUID AND PLASTIC LIMITS

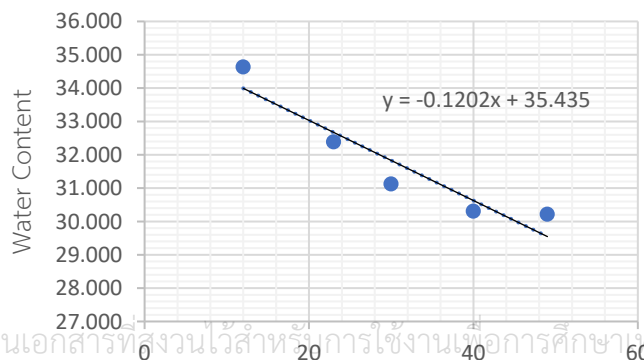
Project :	พัฒนากำลั้งดินลูกรัง	Req. No.	2
Location :	-	Req. Date :	-
Sample From :	-	Date of testing :	02/04/2564
Sample Description :	ดินลูกรัง E + etailoy 30%	Type of Compaction :	Modified Proctor

PLASTIC LIMIT TEST:

TRAL NO.	1	2	3	4	5
CAN NO.					
WET SOIL + CAN	g.				
DRY SOIL + CAN	g.				
WT. OF CAN	g.				
WT. OF DRY SOIL	g.				
WT. OF WATER	g.				
% WATTER CONTENT					
AVERAGE					

LIQUID LIMIT TEST:

Determination No.	1	2	3	4	5	
NO. OF BLOWS	N	49	40	30	23	12
CAN NO.		1D	2D	3D	4D	5D
WET SOIL + CAN	g.	41.518	36.023	34.258	36.995	37.779
DRY SOIL + CAN	g.	36.309	31.518	29.495	32.339	33.078
WT. OF CAN	g.	19.071	16.654	14.191	17.962	19.505
WT OF WATER	g.	5.209	4.505	4.763	4.656	4.701
WT. OF DRY SOI	g.	17.238	14.864	15.304	14.377	13.573
% WATER CONTENT		30.218	30.308	31.123	32.385	34.635



AVERAGE


PLASTIC LIMIT = 21.390
 LIQUID LIMIT = 32.140
 PLASTIC INDEX = 10.750

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ทำซ้ำ, คัดลอก, กระจาย, หรือต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ข.1.5 การทดสอบ Atterberg Limit ภาลลอย 100%

	DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333					
	LIQUID AND PLASTIC LIMITS					
Project :	พัฒนากำล้งดินลูกร้าง	Req. No.	1			
Location :	-	Req. Date :	-			
Sample From :	-	Date of testing :	01/04/2564			
Sample Description :	ภาลลอย 100%	Type of Compaction :	Modified Proctor			
PLASTIC LIMIT TEST:						
TRAL NO.		1	2	3	4	5
CAN NO.		8E	9E			
WET SOIL + CAN	g.	23.784	22.403			
DRY SOIL + CAN	g.	22.258	21.099			
WT. OF CAN	g.	15.468	15.086			
WT. OF DRY SOIL	g.	1.526	1.304			
WT. OF WATER	g.	6.79	6.013			
% WATTER CONTENT		22.474	21.686			
AVERAGE		22.080				
LIQUID LIMIT TEST:						
Determination No.		1	2	3	4	5
NO. OF BLOWS	N					
CAN NO.						
WET SOIL + CAN	g.					
DRY SOIL + CAN	g.					
WT. OF CAN	g.					
WT OF WATER	g.					
WT. OF DRY SOI	g.					
% WATER CONTENT						
AVERAGE PLASTIC LIMIT = 22.080 LIQUID LIMIT = - PLASTIC INDEX = -						

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.

ข.2 การทดสอบการบดอัดดิน

ข.2.1 การทดสอบการบดอัดดิน ดินลูกรังประเภท E

 DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333						
COMPACTION TEST						
(Refer to ASTM D698)						
Project :	พัฒนากำลังดินลูกรัง	Req. No.	1			
Location :	-	Req. Date :	-			
Sample From :	Compaction	Date of testing :	05/11/2563			
Sample Description :	ดินลูกรัง E	Type of Compaction :	Modified Proctor			
		Mold Volume :	867.204	cm ³		
		Mold Weight :	3727	gm.		
DENSITY						
Determination No.		1	2	3	4	5
Weight mold + compacted soil	g.	5671	5787	5894	5842	5768
Weight mold	g.	3727	3727	3727	3727	3727
Weight compacted soil	g.	1944	2060	2167	2115	2041
Wet density	g/cc.	2.242	2.375	2.499	2.439	2.354
Dry density, Gd	g/cc.	2.095	2.181	2.264	2.176	2.071
WATER CONTENT						
Determination No.		1	2	3	4	5
Container No.	g.					
Weight of container + Wet soil	g.	38.843	39.956	40.773	44.403	57.959
Weight of container + Dry soil	g.	37.384	37.776	38.332	41.36	52.714
Weight of water, Ww	g.	16.574	13.294	14.796	16.125	14.294
Weight of container	g.	1.459	2.18	2.441	3.043	5.245
Weight of dry soil, Ws	g.	20.81	24.482	23.536	25.235	38.42
Percentage of water content, w	%	7.01	8.90	10.37	12.06	13.65
Maximum Dry Density	=	2.262		g/cc.		
Optimum Moisture Content	=	10.44		%		

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.

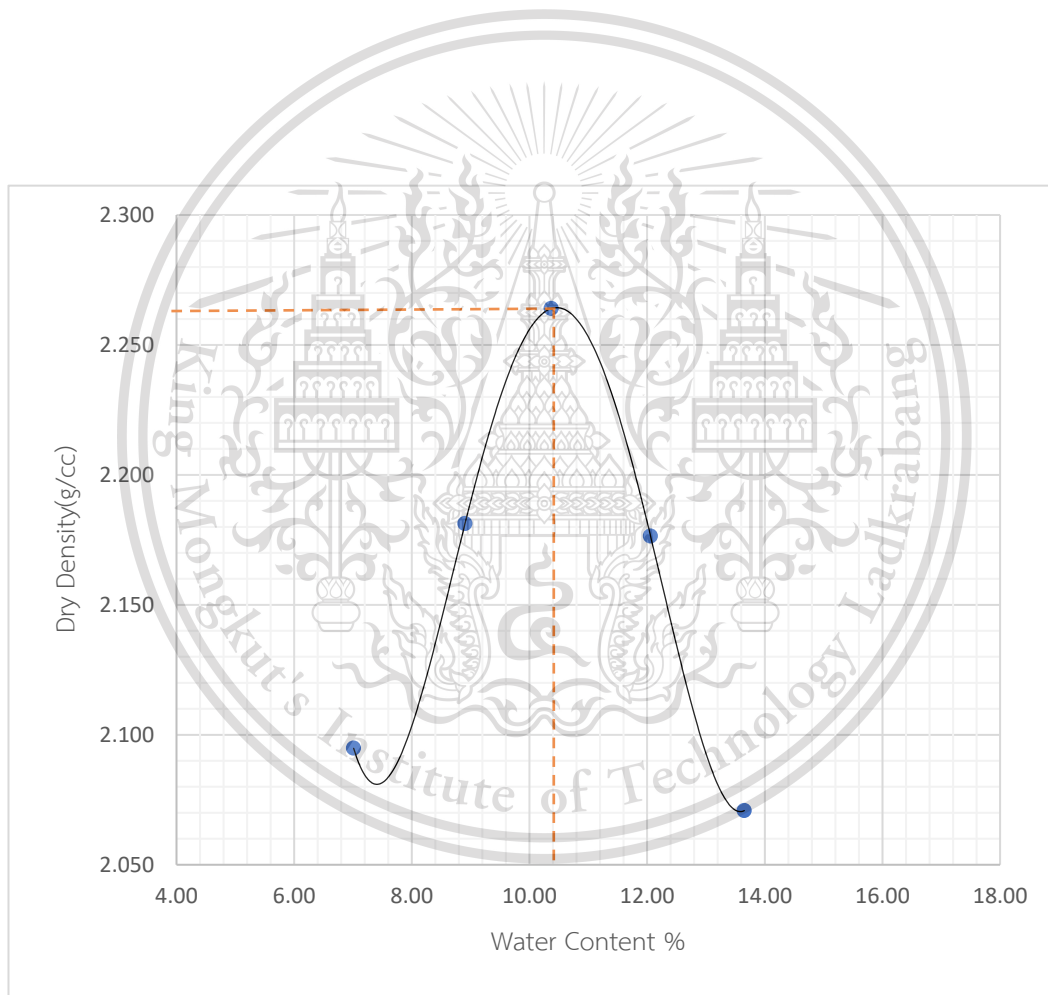


DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

COMPACTION TEST

(Refer to ASTM D698)

Project :	พัฒนากำลังดินลูกรัง	Req. No.	1
Location :	-	Req. Date :	-
Sample From :	Compaction	Date of testing :	05/11/2563
Sample Description :	ดินลูกรัง E	Type of Compaction :	Modified Proctor



Maximum Dry Density = 2.262 g/cc

Optimum Moisture Content = 10.44 %

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

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



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

COMPACTION TEST

(Refer to ASTM D698)

Project :	พัฒนากำลั้ดินลูกรัง	Req. No.	2
Location :	-	Req. Date :	-
Sample From :	Compaction	Date of testing :	05/11/2563
Sample Description :	ดินลูกรัง E	Type of Compaction :	Modified Proctor
		Mold Volume :	867.204 cm ³
		Mold Weight :	3727 gm.

DENSITY

Determination No.	1	2	3	4	5
Weight mold + compacted soil g.	5707	5827	5898	5845	5778
Weight mold g.	3727	3727	3727	3727	3727
Weight compacted soil g.	1980	2100	2171	2118	2051
Wet density g/cc.	2.283	2.422	2.503	2.442	2.365
Dry density, Gd g/cc.	2.146	2.233	2.274	2.181	2.083

WATER CONTENT

Determination No.	1	2	3	4	5
Container No. g.					
Weight of container + Wet soil g.	38.35	50.25	30.873	40.652	45.816
Weight of container + Dry soil g.	37.187	48.196	29.204	38.219	42.678
Weight of water, Ww g.	19.058	23.93	12.65	17.909	19.49
Weight of container g.	1.163	2.054	1.669	2.433	3.138
Weight of dry soil, Ws g.	18.129	24.266	16.554	20.31	23.188
Percentage of water content, w %	6.415	8.465	10.082	11.979	13.533
Maximum Dry Density =	2.275	g/cc.			
Optimum Moisture Content =	10.00	%			

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.

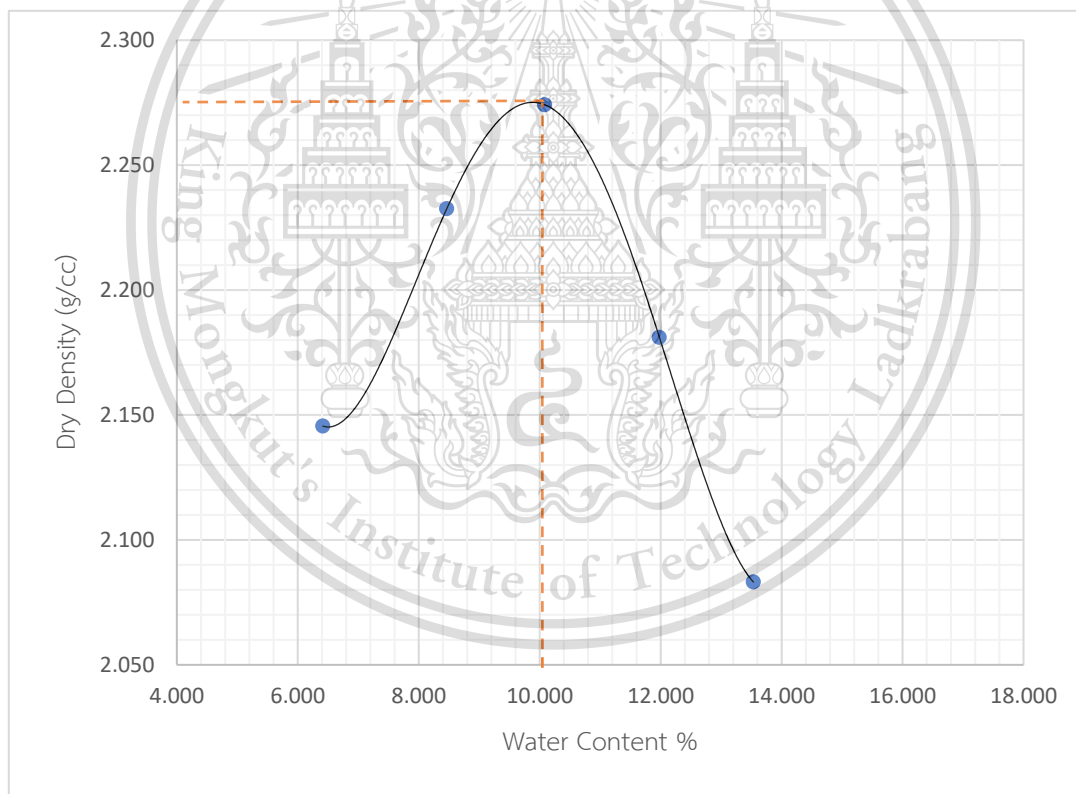


DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

COMPACTION TEST

(Refer to ASTM D698)

Project :	พัฒนากำลังดินลูกรัง	Req. No.	2
Location :	-	Req. Date :	-
Sample From :	Compaction	Date of testing :	05/11/2563
Sample Description :	ดินลูกรัง E	Type of Compaction :	Modified Proctor




Maximum Dry Density = 2.275 g/cc.

Optimum Moisture Content = 10.00 %

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

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

ข.2.2 การทดสอบการบดอัดดิน ดินลูกรังประเภท E + etailoy 10%

 DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333						
COMPACTION TEST						
(Refer to ASTM D698)						
Project :	พัฒนากำลั้ดินลูกรั้	Req. No.	1			
Location :	-	Req. Date :	-			
Sample From :	Compaction	Date of testing :	11/03/2564			
Sample Description :	ดินลูกรั้ E + etailoy 10%	Type of Compaction :	Modified Proctor			
		Mold Volume :	943.79	cm ³		
		Mold Weight :	3646	gm.		
DENSITY						
Determination No.		1	2	3	4	5
Weight mold + compacted soil	g.	5611	5673	5745	5794	5775
Weight mold	g.	3646	3646	3646	3646	3646
Weight compacted soil	g.	1965	2027	2099	2148	2129
Wet density	g/cc.	2.082	2.148	2.224	2.276	2.256
Dry density, Gd	g/cc.	1.958	1.995	2.040	2.061	2.009
WATER CONTENT						
Determination No.		1	2	3	4	5
Container No.	g.					
Weight of container + Wet soil	g.	181.92	140.547	103.795	115.555	139.404
Weight of container + Dry soil	g.	172.085	131.508	96.426	106.164	125.74
Weight of water, Ww	g.	16.589	13.271	14.77	16.124	14.325
Weight of container	g.	9.835	9.039	7.369	9.391	13.664
Weight of dry soil, Ws	g.	155.496	118.237	81.656	90.04	111.415
Percentage of water content, w	%	6.32	7.64	9.02	10.43	12.26
Maximum Dry Density	=	2.060	g/cc.			
Optimum Moisture Content	=	10.40	%			

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.

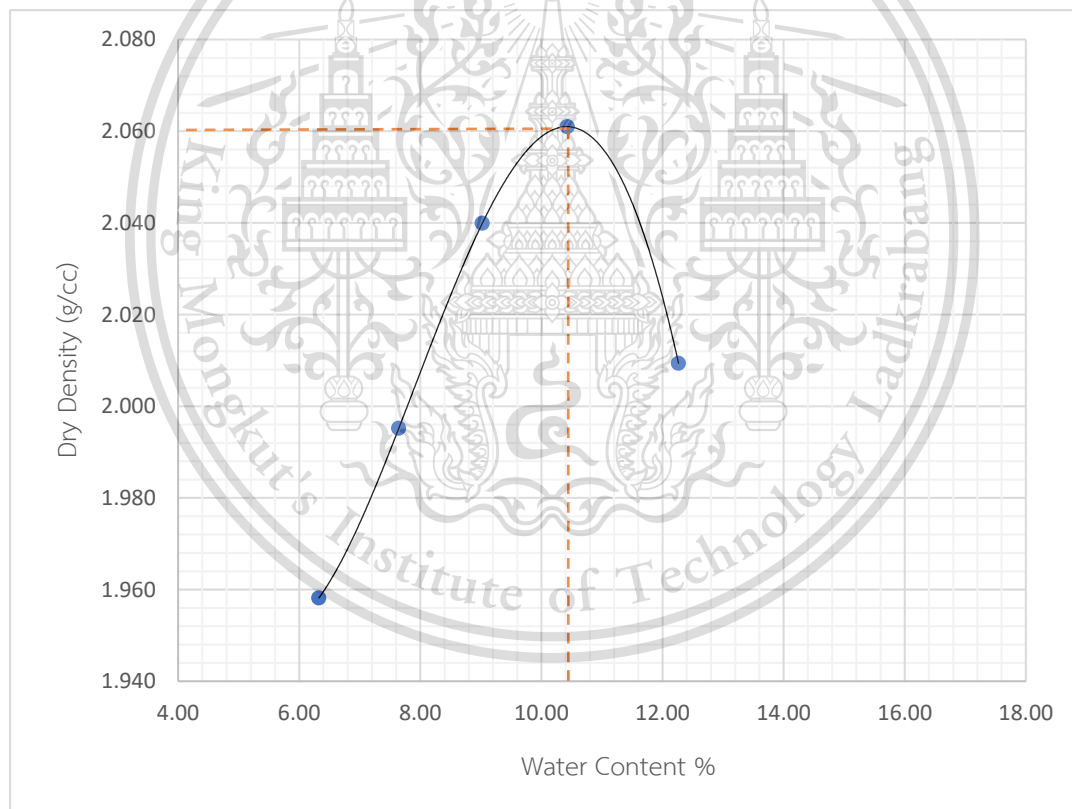


DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

COMPACTION TEST

(Refer to ASTM D698)

Project :	พัฒนากำลั่งดินลูกรัง	Req. No.	1
Location :	-	Req. Date :	-
Sample From :	Compaction	Date of testing :	11/03/2564
Sample Description :	ดินลูกรัง E + ใถ้ำลลย 10%	Type of Compaction :	Modified Proctor



Maximum Dry Density = 2.060 g/cc.

Optimum Moisture Content = 10.40 %

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

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



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

COMPACTION TEST

(Refer to ASTM D698)

Project :	พัฒนากำลั้งดินลูกรัง	Req. No.	2
Location :	-	Req. Date :	-
Sample From :	Compaction	Date of testing :	11/03/2564
Sample Description :	ดินลูกรัง E + etailoy 10%	Type of Compaction :	Modified Proctor
		Mold Volume :	943.79 cm ³
		Mold Weight :	3646 gm.

DENSITY

Determination No.	1	2	3	4	5
Weight mold + compacted soil g.	5628	5743	5793	5730	5772
Weight mold g.	3646	3646	3646	3646	3646
Weight compacted soil g.	1982	2097	2147	2084	2126
Wet density g/cc.	2.100	2.222	2.275	2.208	2.253
Dry density, Gd g/cc.	1.955	2.040	2.060	1.971	1.974

WATER CONTENT

Determination No.	1	2	3	4	5
Container No. g.					
Weight of container + Wet soil g.	124.923	129.191	117.718	182.328	168.61
Weight of container + Dry soil g.	117.338	119.784	108.006	165.165	150.222
Weight of water, Ww g.	14.972	14.094	14.972	22.727	19.874
Weight of container g.	7.585	9.407	9.712	17.163	18.388
Weight of dry soil, Ws g.	102.366	105.69	93.034	142.438	130.348
Percentage of water content, w %	7.410	8.901	10.439	12.049	14.107
Maximum Dry Density =	2.066	g/cc.			
Optimum Moisture Content =	10.00	%			

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.

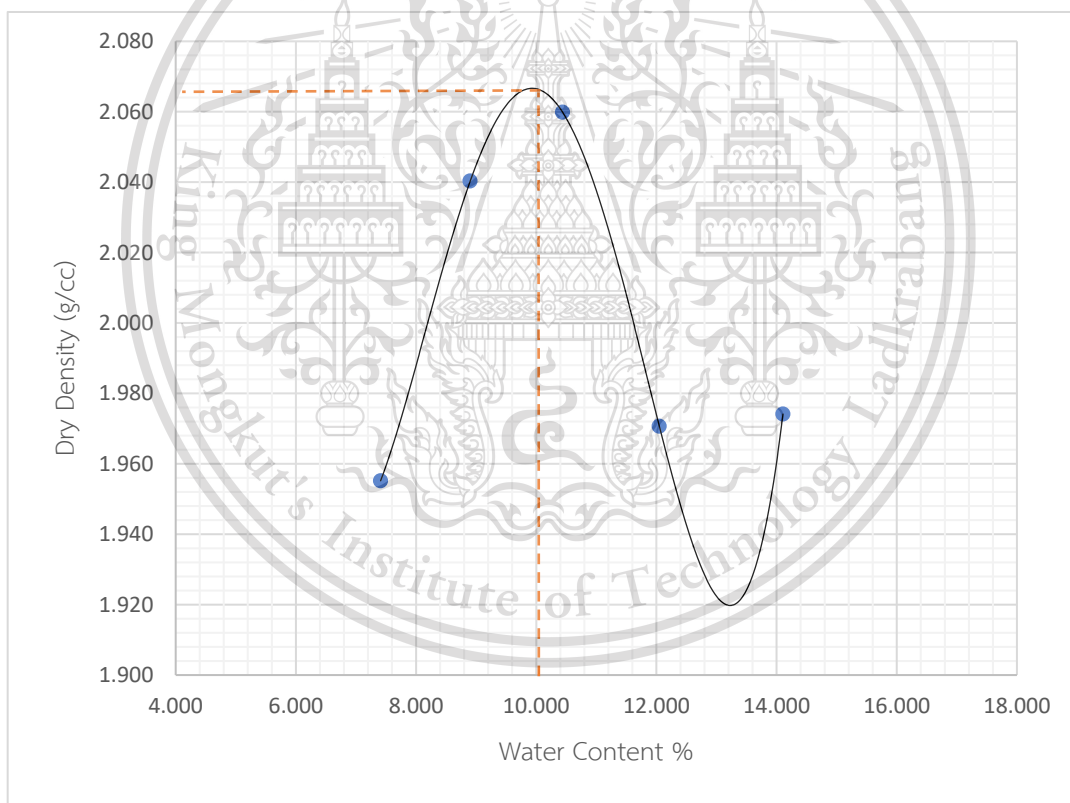


DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

COMPACTION TEST

(Refer to ASTM D698)

Project :	พัฒนากำลั่งดินลูกรัง	Req. No.	2
Location :	-	Req. Date :	-
Sample From :	Compaction	Date of testing :	11/03/2564
Sample Description :	ดินลูกรัง E + ใถ้ำลลย 10%	Type of Compaction :	Modified Proctor



Maximum Dry Density = 2.066 g/cc.

Optimum Moisture Content = 10.00 %

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

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



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

COMPACTION TEST

(Refer to ASTM D698)

Project :	พัฒนากำลั้งดินลูกรัง	Req. No.	1
Location :	-	Req. Date :	-
Sample From :	Compaction	Date of testing :	12/03/2564
Sample Description :	ดินลูกรัง E + etailอย 20%	Type of Compaction :	Modified Proctor
		Mold Volume :	943.79 cm ³
		Mold Weight :	3646 gm.

DENSITY

Determination No.		1	2	3	4	5
Weight mold + compacted soil	g.	5645	5683	5764	5820	5777
Weight mold	g.	3646	3646	3646	3646	3646
Weight compacted soil	g.	1999	2037	2118	2174	2131
Wet density	g/cc.	2.118	2.158	2.244	2.303	2.258
Dry density, Gd	g/cc.	1.975	1.987	2.043	2.078	2.015

WATER CONTENT

Determination No.		1	2	3	4	5
Container No.	g.					
Weight of container + Wet soil	g.	171.153	148.933	112.341	124.783	142.299
Weight of container + Dry soil	g.	160.695	138.193	103.608	114.15	128.549
Weight of water, Ww	g.	16.589	13.271	14.77	16.124	14.325
Weight of container	g.	10.458	10.74	8.733	10.633	13.75
Weight of dry soil, Ws	g.	144.106	124.922	88.838	98.026	114.224
Percentage of water content, w	%	7.26	8.60	9.83	10.85	12.04
Maximum Dry Density	=	2.080	g/cc.			
Optimum Moisture Content	=	11.00	%			

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.

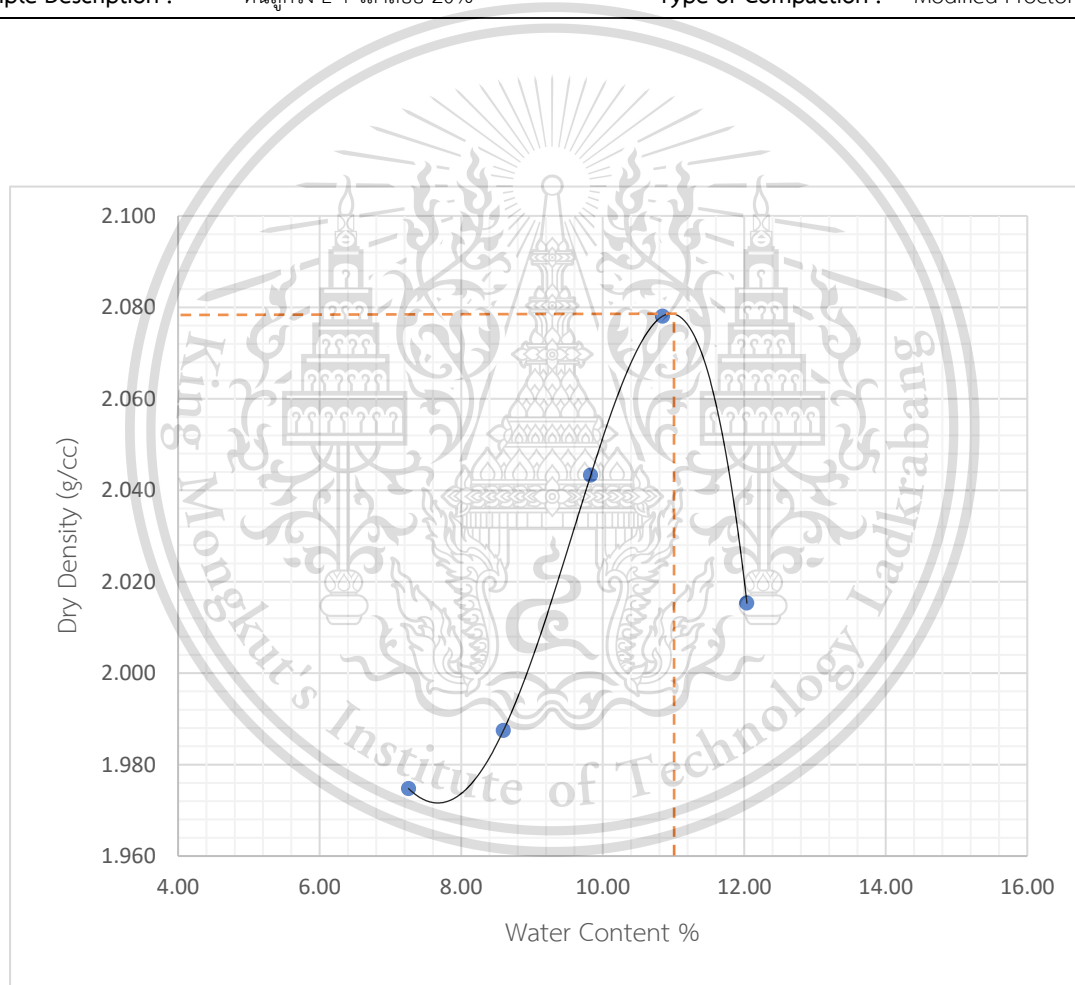


DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

COMPACTION TEST

(Refer to ASTM D698)

Project :	พัฒนากำลั่งดินลูกรัง	Req. No.	1
Location :	-	Req. Date :	-
Sample From :	Compaction	Date of testing :	12/03/2564
Sample Description :	ดินลูกรัง E + เถ้าลอย 20%	Type of Compaction :	Modified Proctor



Maximum Dry Density = 2.080 g/cc.

Optimum Moisture Content = 11.00 %

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

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



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

COMPACTION TEST

(Refer to ASTM D698)

Project :	พัฒนากำลั้งดินลูกรัง	Req. No.	2
Location :	-	Req. Date :	-
Sample From :	Compaction	Date of testing :	12/03/2564
Sample Description :	ดินลูกรัง E + etailoy 20%	Type of Compaction :	Modified Proctor
		Mold Volume :	943.79 cm ³
		Mold Weight :	3646 gm.

DENSITY

Determination No.	1	2	3	4	5
Weight mold + compacted soil g.	5665	5729	5794	5777	5739
Weight mold g.	3646	3646	3646	3646	3646
Weight compacted soil g.	2019	2083	2148	2131	2093
Wet density g/cc.	2.139	2.207	2.276	2.258	2.218
Dry density, Gd g/cc.	1.977	2.018	2.053	2.011	1.948

WATER CONTENT

Determination No.	1	2	3	4	5
Container No. g.					
Weight of container + Wet soil g.	138.286	163.057	171.013	133.354	155.321
Weight of container + Dry soil g.	128.907	150.316	155.76	121.244	138.84
Weight of water, Ww g.	14.972	14.094	14.972	22.727	19.874
Weight of container g.	9.379	12.741	15.253	12.11	16.481
Weight of dry soil, Ws g.	113.935	136.222	140.788	98.517	118.966
Percentage of water content, w %	8.232	9.353	10.834	12.292	13.854
Maximum Dry Density =	2.056	g/cc.			
Optimum Moisture Content =	10.80	%			

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.

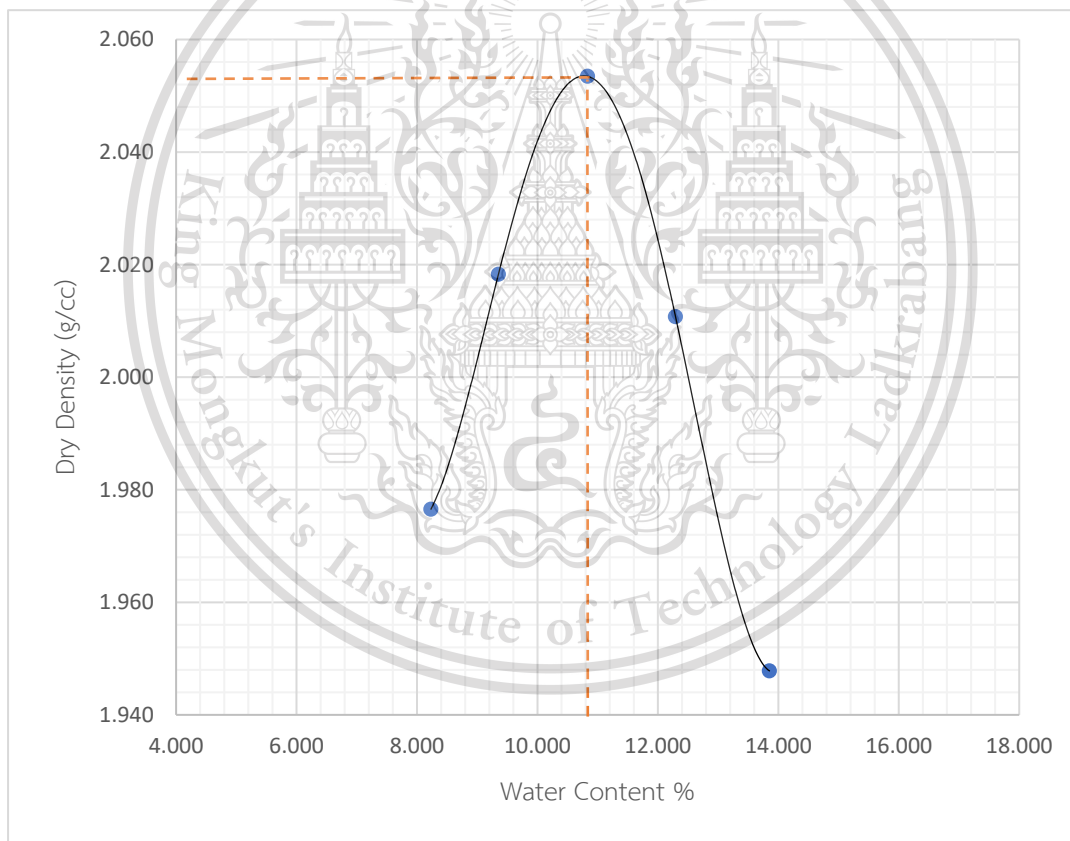


DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

COMPACTION TEST

(Refer to ASTM D698)

Project :	พัฒนากำลังดินลูกรัง	Req. No.	2
Location :	-	Req. Date :	-
Sample From :	Compaction	Date of testing :	12/03/2564
Sample Description :	ดินลูกรัง E + ใ้ล้อย 20%	Type of Compaction :	Modified Proctor




Maximum Dry Density = 2.056 g/cc.

Optimum Moisture Content = 10.80 %

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

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

ข.2.4 การทดสอบการบดอัดดิน ดินลูกรังประเภท E + etailoy 30%

 DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333						
COMPACTION TEST						
(Refer to ASTM D698)						
Project :	พัฒนากำล้งดินลูกรัง	Req. No.	1			
Location :	-	Req. Date :	-			
Sample From :	Compaction	Date of testing :	20/03/2564			
Sample Description :	ดินลูกรัง E + etailoy 30%	Type of Compaction :	Modified Proctor			
		Mold Volume :	943.79	cm ³		
		Mold Weight :	3646	gm.		
DENSITY						
Determination No.		1	2	3	4	5
Weight mold + compacted soil	g.	5593	5642	5740	5792	5742
Weight mold	g.	3646	3646	3646	3646	3646
Weight compacted soil	g.	1947	1996	2094	2146	2096
Wet density	g/cc.	2.063	2.115	2.219	2.274	2.221
Dry density, Gd	g/cc.	1.925	1.946	2.016	2.035	1.964
WATER CONTENT						
Determination No.		1	2	3	4	5
Container No.	g.					
Weight of container + Wet soil	g.	106.475	123.051	134.36	128.223	140.151
Weight of container + Dry soil	g.	100.319	114.304	123.243	116.248	125.729
Weight of water, Ww	g.	14.215	13.283	12.653	14.114	15.57
Weight of container	g.	6.156	8.747	11.117	11.975	14.422
Weight of dry soil, Ws	g.	86.104	101.021	110.59	102.134	110.159
Percentage of water content, w	%	7.15	8.66	10.05	11.72	13.09
Maximum Dry Density	=	2.040	g/cc.			
Optimum Moisture Content	=	11.20	%			

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.

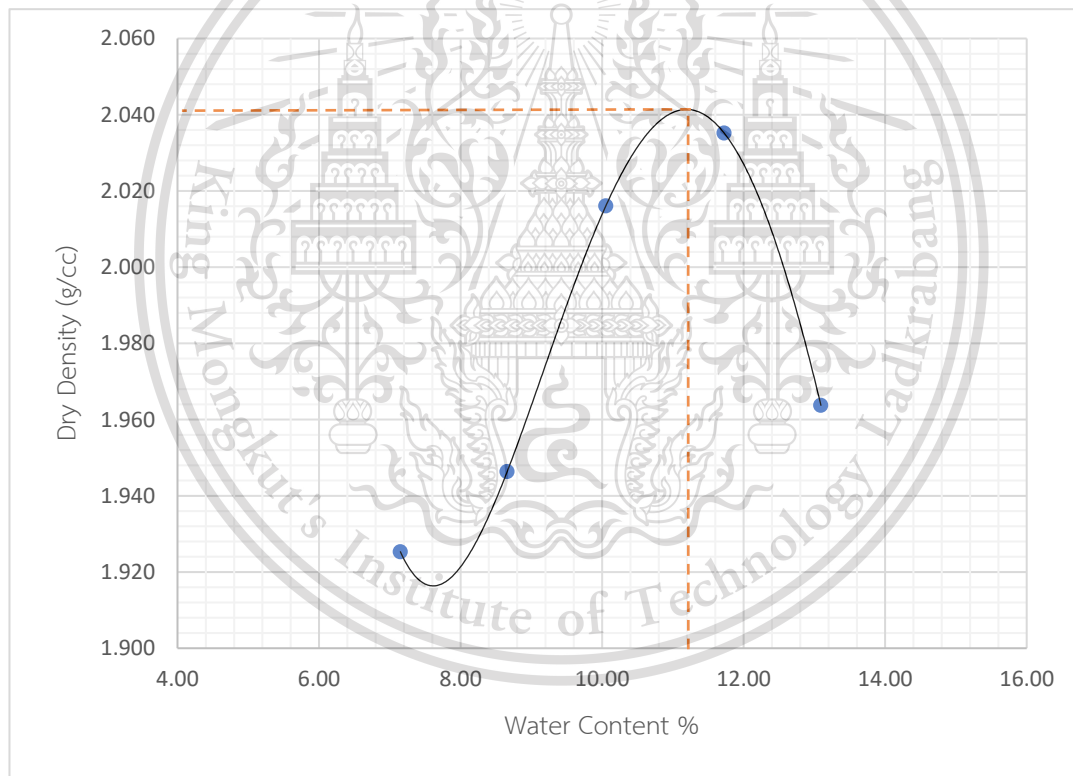


DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

COMPACTION TEST

(Refer to ASTM D698)

Project :	พัฒนากำลั้งดินลูกรัง	Req. No.	1
Location :	-	Req. Date :	-
Sample From :	Compaction	Date of testing :	20/03/2564
Sample Description :	ดินลูกรัง E + ใ้ล้ลลลล 30%	Type of Compaction :	Modified Proctor



Maximum Dry Density = 2.040 g/cc

Optimum Moisture Content = 11.20 %

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

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



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

COMPACTION TEST

(Refer to ASTM D698)

Project :	พัฒนากำลั้งดินลูกรัง	Req. No.	2
Location :	-	Req. Date :	-
Sample From :	Compaction	Date of testing :	20/03/2564
Sample Description :	ดินลูกรัง E + ใ้ล้ลลลล 30%	Type of Compaction :	Modified Proctor
		Mold Volume :	943.79 cm ³
		Mold Weight :	3646 gm.

DENSITY

Determination No.	1	2	3	4	5
Weight mold + compacted soil g.	5590	5659	5778	5780	5720
Weight mold g.	3646	3646	3646	3646	3646
Weight compacted soil g.	1944	2013	2132	2134	2074
Wet density g/cc.	2.060	2.133	2.259	2.261	2.198
Dry density, Gd g/cc.	1.924	1.965	2.047	2.020	1.935

WATER CONTENT

Determination No.	1	2	3	4	5
Container No. g.					
Weight of container + Wet soil g.	137.665	127.524	150.319	169.968	178.534
Weight of container + Dry soil g.	129.58	118.582	137.597	154.259	159.583
Weight of water, Ww g.	14.971	14.099	14.986	22.71	19.869
Weight of container g.	8.085	8.942	12.722	15.709	18.951
Weight of dry soil, Ws g.	114.609	104.483	122.611	131.549	139.714
Percentage of water content, w %	7.054	8.558	10.376	11.942	13.564
Maximum Dry Density =	2.058	g/cc.			
Optimum Moisture Content =	10.40	%			

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.

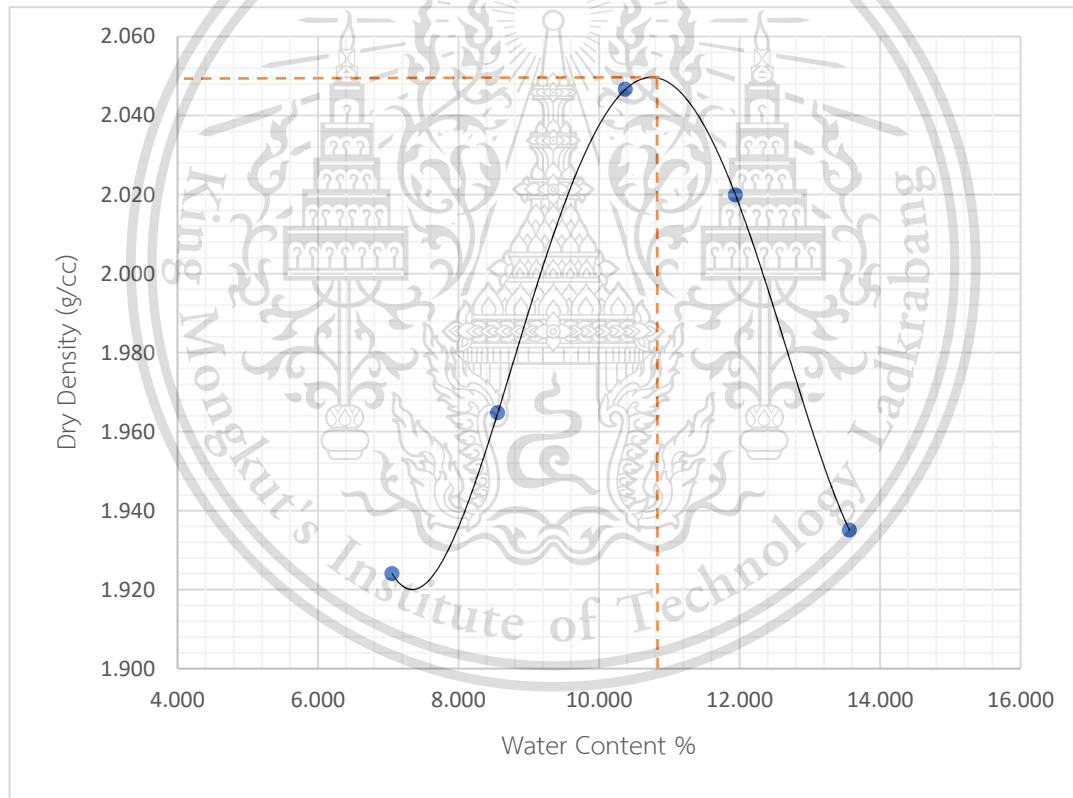


DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

COMPACTION TEST

(Refer to ASTM D698)

Project :	พัฒนากำลั่งดินลูกรัง	Req. No.	2
Location :	-	Req. Date :	-
Sample From :	Compaction	Date of testing :	20/03/2564
Sample Description :	ดินลูกรัง E + เถ้าลอย 30%	Type of Compaction :	Modified Proctor




Maximum Dry Density = 2.058 g/cc.

Optimum Moisture Content = 10.40 %

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

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

ข.2.5 การทดสอบการบดอัดดิน ง่ายๆ 100%

	DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333					
	COMPACTION TEST (Refer to ASTM D698)					
Project :	พัฒนากำลึงดินลูกรัง	Req. No.	1			
Location :	-	Req. Date :	-			
Sample From :	Compaction	Date of testing :	08/02/2564			
Sample Description :	ง่ายๆ 100%	Type of Compaction :	Modified Proctor			
		Mold Volume :	943.79	cm ³		
		Mold Weight :	3646	gm.		
DENSITY						
Determination No.		1	2	3	4	5
Weight mold + compacted soil	g.	5472	5544	5625	5672	5641
Weight mold	g.	3705	3705	3705	3705	3705
Weight compacted soil	g.	1767	1839	1920	1967	1936
Wet density	g/cc.	1.872	1.949	2.034	2.084	2.051
Dry density, Gd	g/cc.	1.704	1.744	1.791	1.804	1.756
WATER CONTENT						
Determination No.		1	2	3	4	5
Container No.	g.					
Weight of container + Wet soil	g.	68.22	59.27	73.86	77.23	106.18
Weight of container + Dry soil	g.	63.71	54.18	66.86	68.57	93.03
Weight of water, Ww	g.	18	10.7	15.43	12.72	14.79
Weight of container	g.	4.51	5.09	7	8.66	13.15
Weight of dry soil, Ws	g.	45.71	43.48	51.43	55.85	78.24
Percentage of water content, w	%	9.87	11.71	13.61	15.51	16.81
Maximum Dry Density	=	1.808	g/cc.			
Optimum Moisture Content	=	15.00	%			

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.

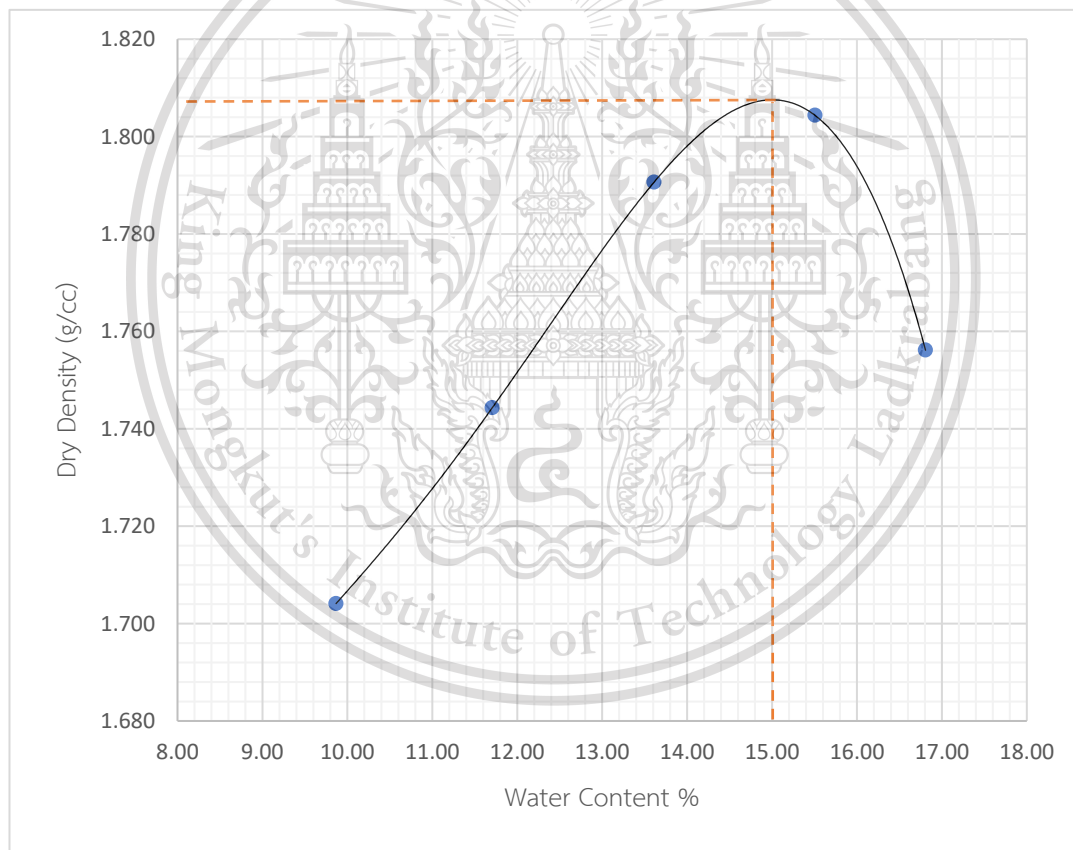


DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

COMPACTION TEST

(Refer to ASTM D698)

Project :	พัฒนากำลั่งดินลูกรัง	Req. No.	1
Location :	-	Req. Date :	-
Sample From :	Compaction	Date of testing :	08/02/2564
Sample Description :	เถ้าลอย 100%	Type of Compaction :	Modified Proctor



Maximum Dry Density = 1.808 g/cc.

Optimum Moisture Content = 15.00 %

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

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



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

COMPACTION TEST

(Refer to ASTM D698)

Project :	พัฒนากำลั่งดินลูกรัง	Req. No.	2
Location :	-	Req. Date :	-
Sample From :	Compaction	Date of testing :	08/02/2564
Sample Description :	เถ้าลอย 100%	Type of Compaction :	Modified Proctor
		Mold Volume :	943.79 cm ³
		Mold Weight :	3646 gm.

DENSITY

Determination No.		1	2	3	4	5
Weight mold + compacted soil	g.	5453	5537	5614	5668	5661
Weight mold	g.	3710	3710	3710	3710	3710
Weight compacted soil	g.	1743	1827	1904	1958	1951
Wet density	g/cc.	1.847	1.936	2.017	2.075	2.067
Dry density, Gd	g/cc.	1.688	1.740	1.782	1.811	1.776

WATER CONTENT

Determination No.		1	2	3	4	5
Container No.	g.					
Weight of container + Wet soil	g.	76.32	65.63	71.34	83.7	82.11
Weight of container + Dry soil	g.	70.94	60.66	64.54	74.98	72.77
Weight of water, Ww	g.	13.91	16.6	13.06	15.11	15.75
Weight of container	g.	5.38	4.97	6.8	8.72	9.34
Weight of dry soil, Ws	g.	57.03	44.06	51.48	59.87	57.02
Percentage of water content, w	%	9.434	11.280	13.209	14.565	16.380
Maximum Dry Density	=	1.817	g/cc.			
Optimum Moisture Content	=	15..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.

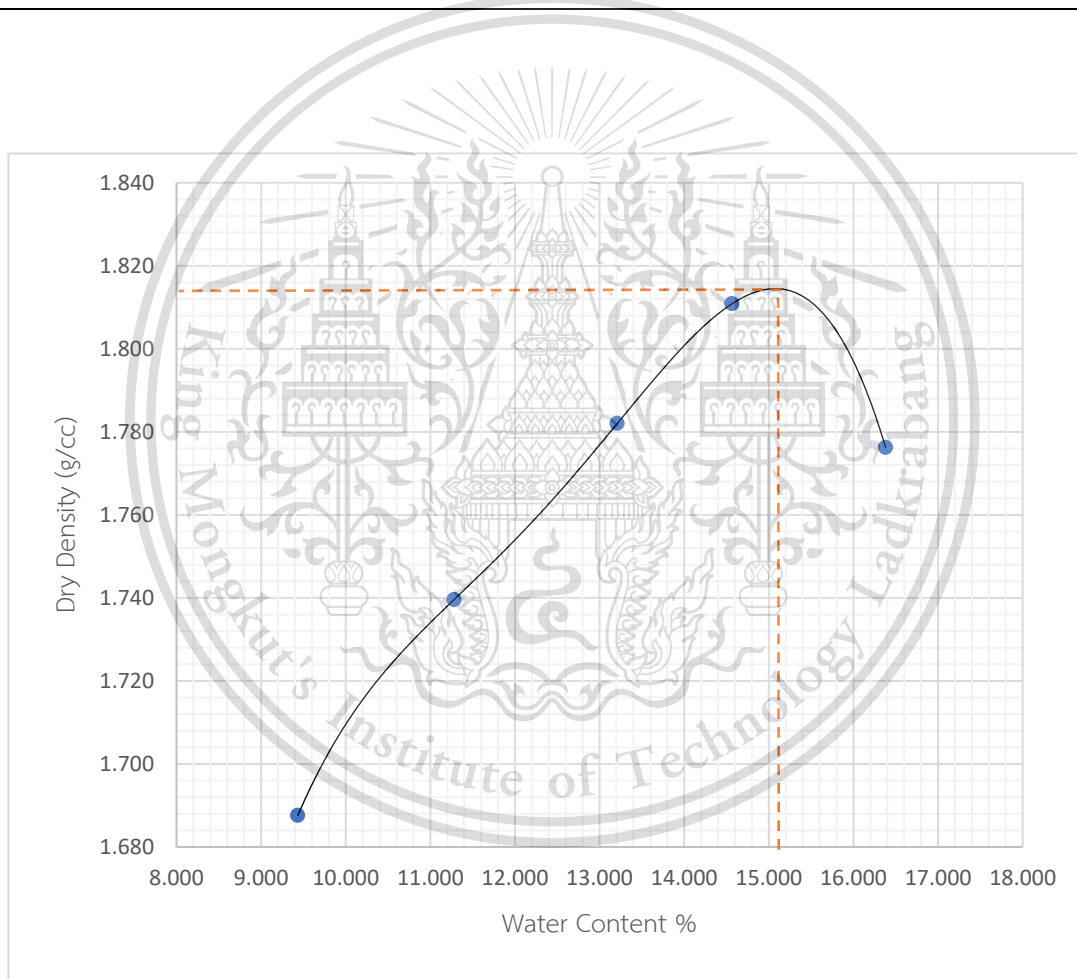


DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
 FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY
 LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333

COMPACTION TEST

(Refer to ASTM D698)

Project :	พัฒนากำลังดินลูกรัง	Req. No.	2
Location :	-	Req. Date :	-
Sample From :	Compaction	Date of testing :	08/02/2564
Sample Description :	เถ้าลอย 100%	Type of Compaction :	Modified Proctor



Maximum Dry Density = 1.817 g/cc

Optimum Moisture Content = 15.10 %


เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตด้วยการค้า
 ไม่สามารถเผยแพร่ทางอื่น ยกเว้นที่ มีมติที่ที่แปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

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

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

ข.3 การทดสอบ C.B.R. และ Swell

ข.3.1 การทดสอบ C.B.R. ดินลูกรัง

		DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333					
CALIFORNIA BEARING RATIO TEST							
Project :	พัฒนากำลังดินลูกรัง	Req. No.	1				
Location :	-	Req. Date :	-				
Sample From :	-	Date of testing :	08/11/2020				
Sample Description :	ดินลูกรัง E	Type of Compaction :	Modified Proctor				
COMPACTION DATA BEFORE SOAKING:							
MOLD NO.		M-1 (A-56)	M-2 (A-25)	M-3 (M-25)			
COMPACTION TYPE		MODIFIED PROTOR	MODIFIED PROTOR	MODIFIED PROTOR			
DIAMETER OF SAMPLE	cm	15.126	15.195	15.204			
HEIGHT OF SAMPLE	cm	11.62	11.625	11.628			
VOLUME OF SAMPLE	cm ³	2088.066	2108.066	2111.109			
WT OF MOLD	g	7160	7264	7350			
WT OF MOLD + WET SOIL	g	11259	12022	12132			
WT WET SOIL	g	4099	4758	4782			
WT DRY SOIL	g	3752	4303	4309			
WET DENSITY	T/m ³	1.963	2.257	2.265			
WATER CONTENT	%	9.248	10.574	10.977			
DRY DENSITY	T/m ³	1.797	2.041	2.041			
AFTER SOAKING							
Determination No.		M-1 (A-56)	M-2 (A-25)	M-3 (M-25)			
SURCHARGE	lb	10	10	10			
INITAIL WT WET SOIL+MOLD+BASE	g	11259	12022	12194			
FINAL WT WET SOIL+MOLD+BASE	g	11548	12057	12256			
WT OF MOLD+BASE PLATE	g	7160	7264	7350			
INITAIL WT OF WET SOIL	g	4099	4758	4782			
WT OF WATER ABSORBED	g	289	35	62			
% WATER ABSORBED		7.051	0.736	1.297			
SWELLING DATA							
MOLD NO.		M-1 (J-12)		M-2 (M-25)		M-3 (N-56)	
DATE	ELAPSE TIME	SWELLING (mm)	%SWELLING	SWELLING (mm)	%SWELLING	SWELLING (mm)	%SWELLING
08/11/2020	0 hr.	23.700	0.00	43.610	0.00	0.991	0.00
12/11/2020	96 hr.	25.56	1.601	44.6	0.852	1.7018	0.612

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่
 ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม หากมีข้อสงสัย กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ โทร. 0-29-8333-1111



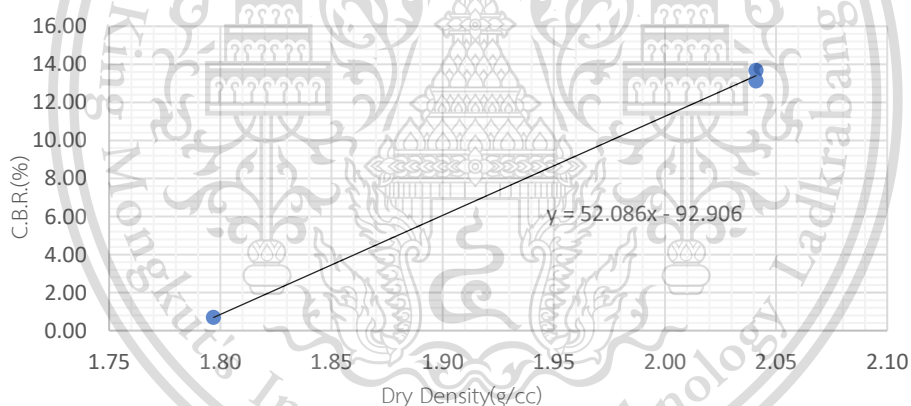
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
 FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S SINSTITUTE OF TECHNOLOGY
 LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0-2329-8333
 SUMMARY OF RESULTS (CBR-SOAKED)

(Refer ASTM D1883)

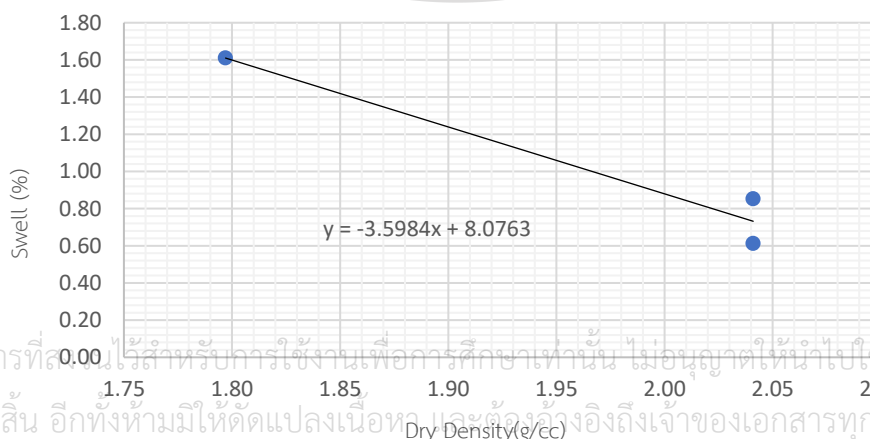
Project :	พัฒนากำลังดินลูกรัง	Req. No.	1
Location :	-	Req. Date :	-
Sample From :	-	Date of testing :	12/11/2020
Sample Description :	ดินลูกรัง E	Type of Compaction :	Modified Proctor

No. of Blows	Density (g/cc.)	C.B.R. (%)	SWELL (%)
12	1.797	0.693	1.61
25	2.041	13.122	0.852
56	2.041	13.682	0.612

100% Compaction (Modified Proctor)	2.041	g/cc.	
95% Compaction (Modified Proctor)	1.939	g/cc.	C.B.R. = 8.086 %



100% Compaction (Modified Proctor)	2.041	g/cc.	
95% Compaction (Modified Proctor)	1.939	g/cc.	Swelling = 1.099 %




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า...
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา 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.

ข.3.2 การทดสอบ C.B.R. ดินลูกรัง + เถ้าลอย 10%

 DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333							
CALIFORNIA BEARING RATIO TEST							
Project :		พัฒนากำลั่งดินลูกรัง		Req. No.		1	
Location :		-		Req. Date :		-	
Sample From :		-		Date of testing :		19/03/2564	
Sample Description :		ดินลูกรัง E + เถ้าลอย 10%		Type of Compaction :		Modified Proctor	
COMPACTION DATA BEFORE SOAKING:							
MOLD NO.		M-1 (F-12)		M-2 (D-25)		M-3 (D-56)	
COMPACTION TYPE		MODIFIED PROTOR		MODIFIED PROTOR		MODIFIED PROTOR	
DIAMETER OF SAMPLE		cm	15.15	15.14	15.16		
HEIGHT OF SAMPLE		cm	11.495	11.58	11.643		
VOLUME OF SAMPLE		cm ³	2072.164	2084.732	2101.615		
WT OF MOLD		g	7386	7364	7337		
WT OF MOLD + WET SOIL		g	11743	12022	12126		
WT WET SOIL		g	4357	4658	4789		
WT DRY SOIL		g	3925	4207	4323		
WET DENSITY		T/m ³	2.103	2.234	2.279		
WATER CONTENT		%	11.006	10.720	10.780		
DRY DENSITY		T/m ³	1.894	2.018	2.057		
AFTER SOAKING							
Determination No.		M-1 (F-12)		M-2 (D-25)		M-3 (D-56)	
SURCHARGE		lb	10	10	10		
INITAIL WT WET SOIL+MOLD+BASE		g	11743	12022	12126		
FINAL WT WET SOIL+MOLD+BASE		g	11884	12080	12151		
WT OF MOLD+BASE PLATE		g	7386	7364	7337		
INITAIL WT OF WET SOIL		g	4357	4658	4789		
WT OF WATER ABSORBED		g	141	58	25		
% WATER ABSORBED			3.24	1.25	0.52		
SWELLING DATA							
MOLD NO.		M-1 (J-12)		M-2 (M-25)		M-3 (N-56)	
DATE	ELAPSE TIME	SWELLING (mm)	%SWELLING	SWELLING (mm)	%SWELLING	SWELLING (mm)	%SWELLING
	0 hr.	19.200	0.00	27.300	0.00	24.100	0.00
	96 hr.	19.43	0.200	27.56	0.022	24.200	0.086

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ควรแก้ไขเนื้อหาทั้งหมด ยกเว้นที่ มีมติให้เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
 FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S SINSTITUTE OF TECHNOLOGY
 LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0-2329-8333

SUMMARY OF RESULTS (CBR-SOAKED)

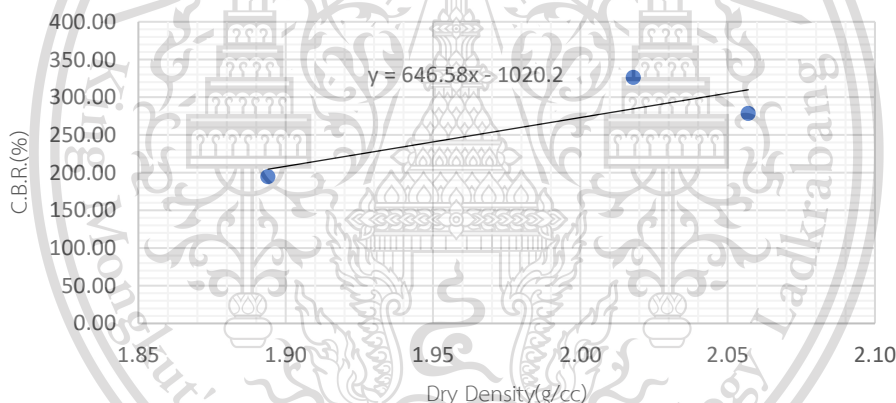
(Refer ASTM D1883)

Project :	พัฒนากำล้งดินลูกรัง	Req. No.	1
Location :	-	Req. Date :	-
Sample From :	-	Date of testing :	23/03/2564
Sample Description :	ดินลูกรัง E + ใ้ลลย 10%	Type of Compaction :	Modified Proctor

No. of Blows	Density (g/cc.)	C.B.R. (%)	SWELL (%)
12	1.894	194.551	0.200
25	2.018	326.072	0.225
56	2.057	278.337	0.086

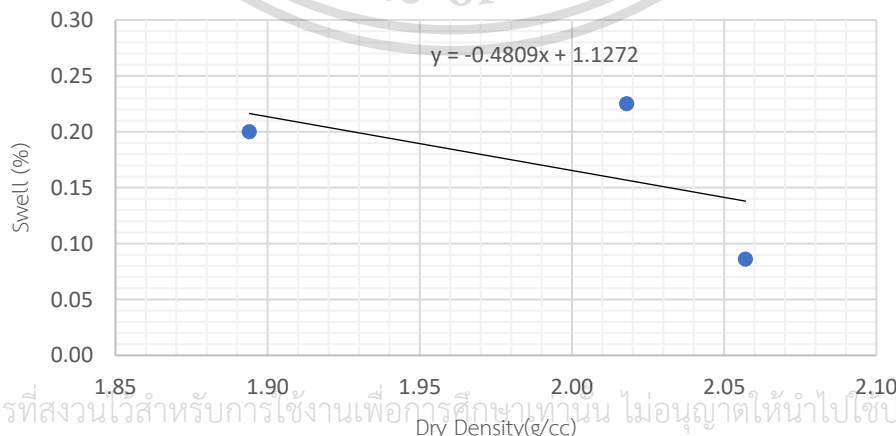
100% Compaction (Modified Proctor)	2.057	g/cc.	
------------------------------------	-------	-------	--

95% Compaction (Modified Proctor)	1.954	g/cc.	C.B.R. = 243.314 %
-----------------------------------	-------	-------	--------------------



100% Compaction (Modified Proctor)	2.057	g/cc.	
------------------------------------	-------	-------	--

95% Compaction (Modified Proctor)	1.954	g/cc.	Swelling = 0.188 %
-----------------------------------	-------	-------	--------------------



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.

ข.3.3 การทดสอบ C.B.R. ดินลูกรัง + เถ้าลอย 20%

MOLD NO.		M-1 (E-12)	M-2 (S-25)	M-3 (A-25)			
COMPACTION TYPE		MODIFIED PROTOR	MODIFIED PROTOR	MODIFIED PROTOR			
DIAMETER OF SAMPLE	cm	15.215	15.182	15.195			
HEIGHT OF SAMPLE	cm	11.635	11.635	11.625			
VOLUME OF SAMPLE	cm ³	2115.437	2106.271	2108.066			
WT OF MOLD	g	7125	7331	7339			
WT OF MOLD + WET SOIL	g	11484	11918	12060			
WT WET SOIL	g	4359	4587	4721			
WT DRY SOIL	g	3933	4145	4304			
WET DENSITY	T/m ³	2.061	2.178	2.239			
WATER CONTENT	%	10.831	10.663	9.689			
DRY DENSITY	T/m ³	1.859	1.968	2.042			
AFTER SOAKING							
Determination No.		M-1 (E-12)	M-2 (S-25)	M-3 (A-25)			
SURCHARGE		lb	10	10	10		
INITAIL WT WET SOIL+MOLD+BASE		g	11484	11918	12060		
FINAL WT WET SOIL+MOLD+BASE		g	11666	12008	12105		
WT OF MOLD+BASE PLATE		g	7125	7331	7339		
INITAIL WT OF WET SOIL		g	4359	4587	4721		
WT OF WATER ABSORBED		g	182	90	45		
% WATER ABSORBED			4.18	1.96	0.95		
SWELLING DATA							
MOLD NO.		M-1 (E-12)		M-2 (S-25)		M-3 (A-25)	
DATE	ELAPSE TIME	SWELLING (mm)	%SWELLING	SWELLING (mm)	%SWELLING	SWELLING (mm)	%SWELLING
	0 hr.	22.600	0.00	26.7400	0.00	27.400	0.00
	96 hr.	24.02	1.220	28.11	1.177	28.600	1.032

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ใช้เฉพาะในสถาบันการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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.



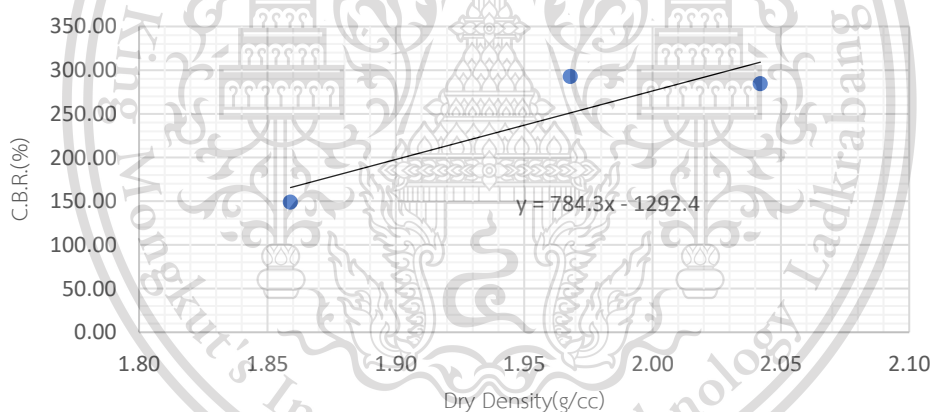
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
 FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S SINSTITUTE OF TECHNOLOGY
 LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0-2329-8333
 SUMMARY OF RESULTS (CBR-SOAKED)

(Refer ASTM D1883)

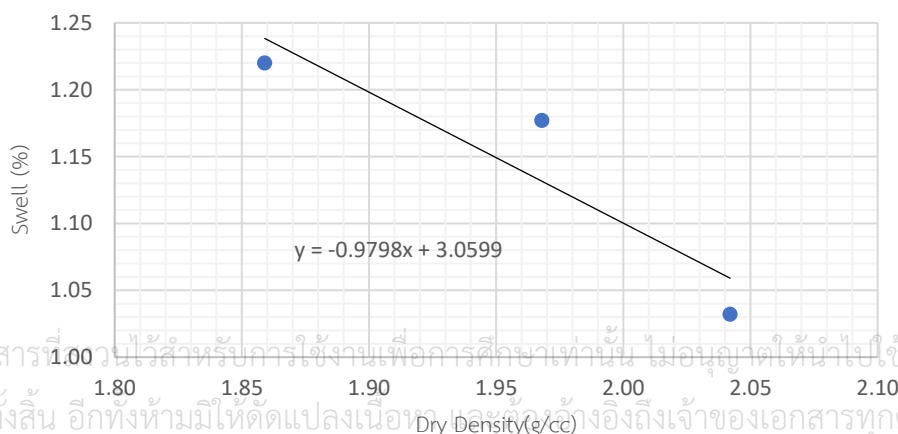
Project :	พัฒนากำลังดินลูกรัง	Req. No.	1
Location :	-	Req. Date :	-
Sample From :	-	Date of testing :	23/03/2564
Sample Description :	ดินลูกรัง E + เถ้าลอย 20%	Type of Compaction :	Modified Proctor

No. of Blows	Density (g/cc.)	C.B.R. (%)	SWELL (%)
12	1.859	148.788	1.220
25	1.968	292.692	1.177
56	2.042	284.359	1.032

100% Compaction (Modified Proctor)	2.042	g/cc.	
95% Compaction (Modified Proctor)	1.940	g/cc.	C.B.R. = 229.064 %



100% Compaction (Modified Proctor)	2.042	g/cc.	
95% Compaction (Modified Proctor)	1.940	g/cc.	Swelling = 1.159 %




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่...
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ข.3.4 การทดสอบ C.B.R. ดินลูกรัง + เถ้าลอย 30%

 DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 02 - 329 - 8333							
CALIFORNIA BEARING RATIO TEST							
Project :		พัฒนากำลังดินลูกรัง		Req. No.		1	
Location :		-		Req. Date :		-	
Sample From :		-		Date of testing :		26/03/2021	
Sample Description :		ดินลูกรัง E + เถ้าลอย 30%		Type of Compaction :		Modified Proctor	
COMPACTION DATA BEFORE SOAKING:							
MOLD NO.		M-1 (F-12)		M-2 (D-25)		M-3 (D-56)	
COMPACTION TYPE		MODIFIED PROTOR		MODIFIED PROTOR		MODIFIED PROTOR	
DIAMETER OF SAMPLE		cm	15.15	15.14	15.16		
HEIGHT OF SAMPLE		cm	11.495	11.58	11.643		
VOLUME OF SAMPLE		cm ³	2072.164	2084.732	2101.615		
WT OF MOLD		g	7386	7364	7337		
WT OF MOLD + WET SOIL		g	11585	11897	12109		
WT WET SOIL		g	4199	4533	4772		
WT DRY SOIL		g	3778	4074	4288		
WET DENSITY		T/m ³	2.026	2.174	2.271		
WATER CONTENT		%	11.143	11.267	11.287		
DRY DENSITY		T/m ³	1.823	1.954	2.040		
AFTER SOAKING							
Determination No.		M-1 (F-12)		M-2 (D-25)		M-3 (D-56)	
SURCHARGE		lb	10	10	10		
INITAIL WT WET SOIL+MOLD+BASE		g	11585	11897	12109		
FINAL WT WET SOIL+MOLD+BASE		g	11803	11992	12148		
WT OF MOLD+BASE PLATE		g	7386	7364	7337		
INITAIL WT OF WET SOIL		g	4199	4533	4772		
WT OF WATER ABSORBED		g	218	95	39		
% WATER ABSORBED			5.19	2.10	0.82		
SWELLING DATA							
MOLD NO.		M-1 (F-12)		M-2 (D-25)		M-3 (D-56)	
DATE	ELAPSE TIME	SWELLING (mm)	%SWELLING	SWELLING (mm)	%SWELLING	SWELLING (mm)	%SWELLING
15/2/2021	0 hr.	25.000	0.00	23.2600	0.00	42.000	0.00
19/2/2021	96 hr.	26.4	1.218	23.63	0.320	43.400	1.202

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต หรือใช้ประโยชน์ทางการค้า
 ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่ในที่สาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
 FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S SINSTITUTE OF TECHNOLOGY
 LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0-2329-8333

SUMMARY OF RESULTS (CBR-SOAKED)

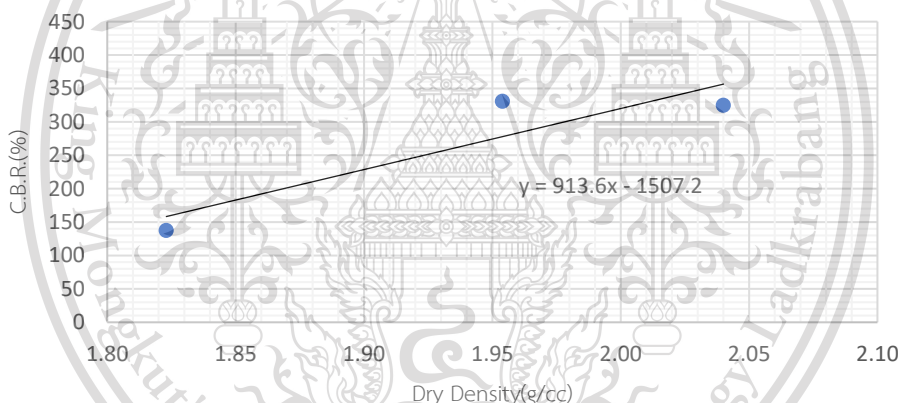
(Refer ASTM D1883)

Project :	พัฒนากำล้งดินลูกรัง	Req. No.	1
Location :	-	Req. Date :	-
Sample From :	-	Date of testing :	30/03/2021
Sample Description :	ดินลูกรัง E + ใล้ลลย 30%	Type of Compaction :	Modified Proctor

No. of Blows	Density (g/cc.)	C.B.R. (%)	SWELL (%)
12	1.823	137.333	1.220
25	1.954	330.718	1.177
56	2.040	324.639	1.032

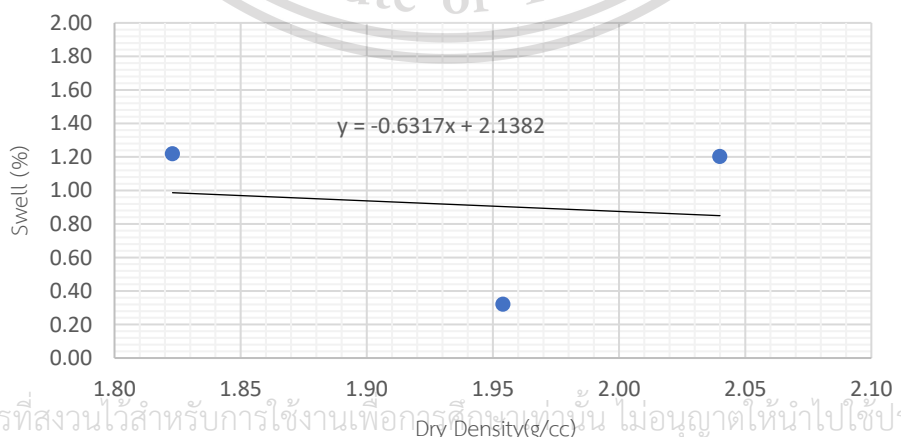
100% Compaction (Modified Proctor) 2.040 g/cc.

95% Compaction (Modified Proctor) 1.938 g/cc. C.B.R. = 263.357 %



100% Compaction (Modified Proctor) 2.040 g/cc.

95% Compaction (Modified Proctor) 1.938 g/cc. Swelling = 0.914 %



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.



DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
 FACULTY OF ENGINEERING, KING MONGKUT ' S SINSTITUTE OF TECHNOLOGY
 LADKRABANG BANGKOK THAILAND. TEL. 0-2329-8333

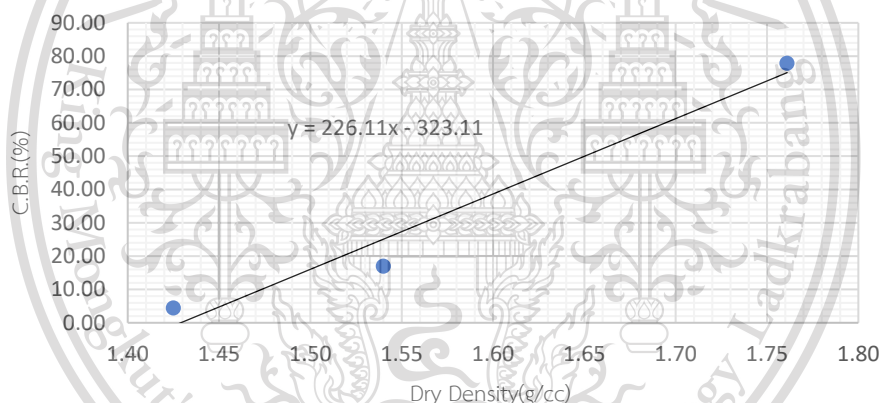
SUMMARY OF RESULTS (CBR-SOAKED)

(Refer ASTM D1883)

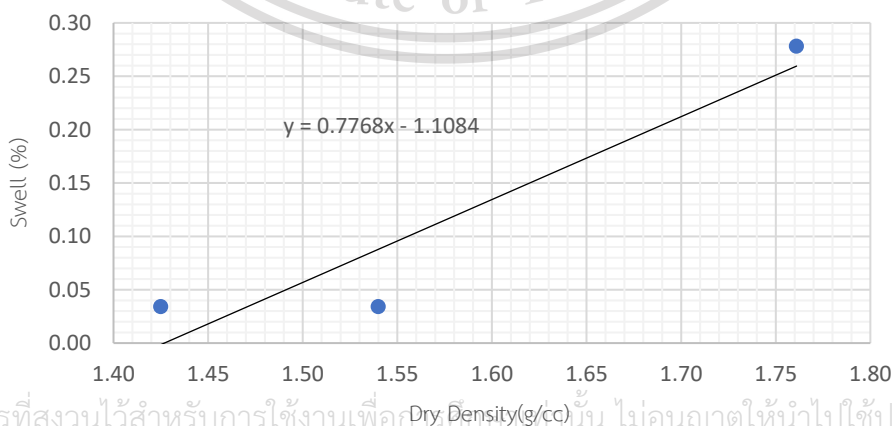
Project :	พัฒนากำลั่งดินลูกรัง	Req. No.	1
Location :	-	Req. Date :	-
Sample From :	-	Date of testing :	03/04/2564
Sample Description :	เถ้าลอย 100%	Type of Compaction :	Modified Proctor

No. of Blows	Density (g/cc.)	C.B.R. (%)	SWELL (%)
12	1.425	4.430	0.034
25	1.540	16.962	0.034
56	1.761	77.838	0.278

100% Compaction (Modified Proctor)	1.761	g/cc.		
95% Compaction (Modified Proctor)	1.673	g/cc.	C.B.R. =	55.161 %



100% Compaction (Modified Proctor)	1.761	g/cc.		
95% Compaction (Modified Proctor)	1.673	g/cc.	Swelling =	0.191 %



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.

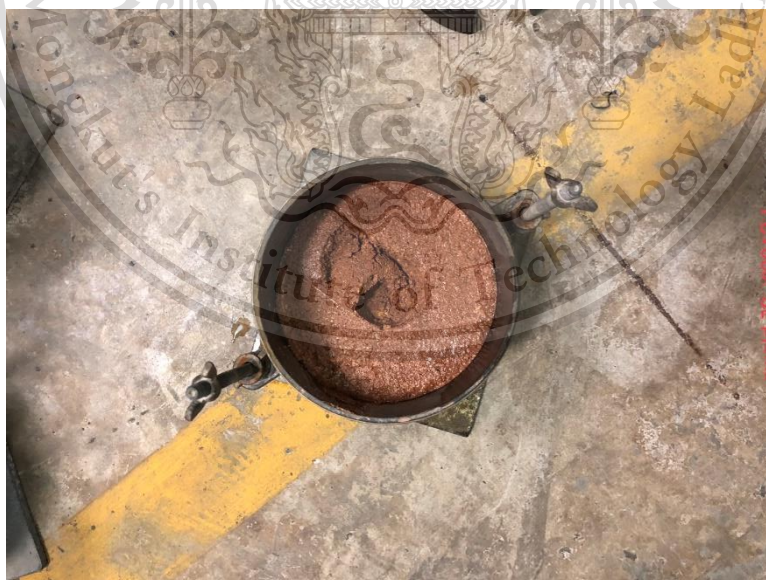
ภาคผนวก ค

รูปภาพตัวอย่างหลังทดสอบ

ค.1 รูปแบบการพิบัตินี้ของตัวอย่างทดสอบ



รูปที่ ค.1 แสดงการพิบัติของดินลูกรังประเภท E (บดอัด 12 ครั้ง)



รูปที่ ค.2 แสดงการพิบัติของดินลูกรังประเภท E (บดอัด 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 ค.3 แสดงการพิบัติของดินลูกรังประเภท E (บดอัด 56 ครั้ง)



รูปที่ ค.4 แสดงการพิบัติของดินลูกรังประเภท E + เถ้าลอย 10 % + ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 5 %
(บดอัด 12 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 ค.5 แสดงการพืบัติของดินลูกรังประเภท E + เถ้าลอย 10 % + ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 5 %
(บดอัด 25 ครั้ง)



รูปที่ ค.6 แสดงการพืบัติของดินลูกรังประเภท E + เถ้าลอย 10 % + ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 5 %
(บดอัด 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.



รูปที่ ค.7 แสดงการพืบัติของดินลูกรังประเภท E + เถ้าลอย 20 % + ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 5 %
(บดอัด 12 ครั้ง)



รูปที่ ค.8 แสดงการพืบัติของดินลูกรังประเภท E + เถ้าลอย 20 % + ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 5 %
(บดอัด 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 ค.9 แสดงการพืดของดินลูกรังประเภท E + เถ้าลอย 20 % + ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 5 %
(บดอัด 56 ครั้ง)



รูปที่ ค.10 แสดงการพืดของดินลูกรังประเภท E + เถ้าลอย 30 % + ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 5 %
(บดอัด 12 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 ค.11 แสดงการพืบัติของดินลูกรังประเภท E + เถ้าลอย 30 % + ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 5 %
(บดอัด 25 ครั้ง)



รูปที่ ค.12 แสดงการพืบัติของดินลูกรังประเภท E + เถ้าลอย 30 % + ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 5 %
(บดอัด 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.



รูปที่ ค.13 แสดงการพืดของเถ้าลอย 100 % (บดอัด 12 ครั้ง)



รูปที่ ค.14 แสดงการพืดของเถ้าลอย 100 % (บดอัด 25 ครั้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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 ค.15 แสดงการพืดของเถ้าลอย 100 % (บดอัด 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.